

Verfahren zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats von Baustoffen als Grundlage für Instandhaltungs- strategien am Beispiel der Gebäudehülle

An der Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen
der Technischen Universität Dortmund
zum Antrag auf die Eröffnung des Promotionsverfahrens
vorgelegte

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften

von
Dipl.-Ing. Uwe Thomas Schönfelder

Dortmund
2010

Erster Gutachter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mike Gralla

Zweiter Gutachter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Udo Blecken

Tag der mündlichen Prüfung: 23.03.2011

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Baubetrieb und Bauprozessmanagement der Technischen Universität Dortmund.

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mike Gralla danke ich ganz besonders für seine konstruktive Betreuung dieser Arbeit mit wertvollen fachlichen Diskussionen, vielen guten Ideen und der umfangreichen Unterstützung.

Mein ausdrücklicher Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Udo Blecken einerseits für die Anregung zur Bearbeitung des Themas und dem mir damit entgegengebrachten Vertrauen zur Durchführung dieser Arbeit sowie andererseits für die Bereitschaft, als Zweitgutachter tätig zu werden.

Für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Achim Hettler bedanken.

Darüber hinaus gilt mein Dank den Mitarbeitern des Lehrstuhls Baubetrieb und Bauprozessmanagement sowie meinen Diplomanden, die durch ihre wissenschaftlichen Beiträge Anteil am Gelingen dieser Arbeit hatten.

Mein ganz persönlicher Dank für die sorgfältige Durchsicht dieser Arbeit, die vielen innovativen Anregungen und fachlichen Diskussionen gilt meinen Eltern Prof. Dr. rer. pol. Eva Schönfelder und Prof. Dr.-Ing. Thomas Schönfelder.

Dortmund, November 2010

Uwe Thomas Schönfelder

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|------------|--|-----------|
| I | EINLEITUNG | 1 |
| 1 | Aufgabenstellung und Zielsetzung..... | 1 |
| 2 | Aufbau der Arbeit | 4 |
| II | GEBÄUDEHÜLLE VON IMMOBILIEN | 5 |
| 1 | Schutzfunktion der Gebäudehülle | 5 |
| 2 | Baustoffe der Gebäudehülle..... | 7 |
| 3 | Bauelementspezifische Gliederung der Gebäudehülle | 9 |
| III | GRUNDLAGEN FÜR INSTANDHALTUNGSSTRATEGIEN | 18 |
| 1 | Abnutzungsvorrat und Lebensdauer von Baustoffen | 18 |
| 2 | Beeinflussung des Abnutzungsvorrats durch Instandhaltung | 26 |
| 2.1 | Instandhaltungsbegriff und -normen | 26 |
| 2.2 | Inspektion..... | 28 |
| 2.3 | Wartung | 30 |
| 2.4 | Instandsetzung..... | 32 |
| 2.5 | Verbesserung..... | 39 |
| 3 | Instandhaltungsstrategien..... | 41 |
| 3.1 | Übersicht über Instandhaltungsstrategien | 41 |
| 3.2 | Korrektive Instandhaltungsstrategien | 43 |
| 3.2.1 | Sofortige Instandhaltungsstrategie | 43 |
| 3.2.2 | Aufgeschobene Instandhaltungsstrategie | 46 |
| 3.3 | Präventive Instandhaltungsstrategien..... | 49 |
| 3.3.1 | Vorausbestimmte Instandhaltungsstrategie | 49 |
| 3.3.2 | Zustandsorientierte Instandhaltungsstrategie | 52 |
| 3.3.3 | Voraussagende Instandhaltungsstrategie | 55 |
| 3.4 | Prospektive Instandhaltungsstrategie..... | 57 |
| 3.5 | Wahl geeigneter Instandhaltungsstrategien | 62 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| IV | VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG DES ABNUTZUNGSVORRATS VON BAUSTOFFEN (ERAB) | 65 |
| 1 | Bereichseinteilung und Bereichsbeschreibung des Abnutzungsvorrats | 65 |
| 1.1 | Gegenwärtige Bereichseinteilung und Bereichsbeschreibung | 65 |
| 1.2 | Modellorientierte Bereichseinteilung und Bereichsbeschreibung | 67 |
| 1.3 | Bereichsbeschreibung auf Basis von Qualität | 69 |
| 1.4 | Einführung von Merkmalen, Merkmalsklassen und Merkmalsausprägungen | 70 |
| 1.5 | Skalierungsmöglichkeiten von Merkmalsausprägungen | 75 |
| 1.6 | Bereichsbeschreibung auf Basis von Schaden | 79 |
| 2 | Abnutzungsrelevante Merkmale | 80 |
| 2.1 | Einführung bauspezifischer Merkmalsklassen | 80 |
| 2.2 | Qualitätsbezogene Merkmale | 81 |
| 2.3 | Schadensbezogene Merkmale | 94 |
| 3 | Methode zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats | 125 |
| 3.1 | Nutzwertanalyse als methodische Grundlage | 125 |
| 3.2 | Aufstellung eines Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats | 128 |
| 3.2.1 | Bestimmung geeigneter Merkmale..... | 128 |
| 3.2.2 | Beseitigung von Merkmalskonflikten und Einführung von 12 Abnutzungsmerkmalen .. | 129 |
| 3.2.3 | Hierarchische Strukturierung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats..... | 135 |
| 3.3 | Gewichtung innerhalb des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats | 137 |
| 3.3.1 | Gewichtung der Merkmale..... | 137 |
| 3.3.2 | Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala..... | 141 |
| 3.3.2.1 | Einführung einer Einheitsskala zur Darstellung von Merkmalsausprägungen | 141 |
| 3.3.2.2 | Abnutzungsmerkmal Ablagerung (reversibel und irreversibel)..... | 144 |
| 3.3.2.3 | Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag..... | 146 |
| 3.3.2.4 | Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | 170 |
| 3.3.2.5 | Abnutzungsmerkmal Brandschutz..... | 177 |
| 3.3.2.6 | Abnutzungsmerkmal Feuchteschutz..... | 179 |
| 3.3.2.7 | Abnutzungsmerkmal Riss | 180 |
| 3.3.2.8 | Abnutzungsmerkmal Schallschutz..... | 196 |
| 3.3.2.9 | Abnutzungsmerkmal Tragfähigkeitsverlust..... | 199 |
| 3.3.2.10 | Abnutzungsmerkmal Verformung | 201 |
| 3.3.2.11 | Abnutzungsmerkmal Volumenänderung | 204 |
| 3.3.2.12 | Abnutzungsmerkmal Wärmeschutz..... | 211 |
| 3.3.2.13 | Zuordnungsübersicht der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala..... | 216 |
| 3.3.2.14 | Berechnungsbeispiel für die Ermittlung des Abnutzungsvorrats | 220 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 3.3.3 | Baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats .. | 222 |
| 3.3.3.1 | Einführung der baustoffspezifischen Anpassung | 222 |
| 3.3.3.2 | Anstrich und Beschichtung | 232 |
| 3.3.3.3 | Bitumen..... | 253 |
| 3.3.3.4 | Holz..... | 274 |
| 3.3.3.5 | Kunststoff | 313 |
| 3.3.3.6 | Putz..... | 330 |
| 3.3.3.7 | Sandstein | 352 |
| 3.3.3.8 | Stahl (unlegiert)..... | 368 |
| 3.3.3.9 | Ziegel | 392 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| V | INSTANDHALTUNGSSTRATEGISCHE RELEVANZ DES ABNUTZUNGSVORRATS | 432 |
| 1 | Einflussfaktoren auf den Abnutzungsvorrat | 432 |
| 1.1 | Übersicht über die Einflussfaktoren | 432 |
| 1.2 | Einflussfaktor Baustoffqualität | 434 |
| 1.3 | Einflussfaktor Ausführungsqualität | 437 |
| 1.4 | Natürliche Einflussfaktoren | 439 |
| 1.5 | Menschliche Einflussfaktoren | 444 |
| 1.6 | Beziehungen zwischen den Bauelementen..... | 445 |
| 1.7 | Einflussfaktor Instandhaltung..... | 453 |
| 2 | Abnutzungsvorrat als zentrale Größe für Instandhaltungsstrategien | 456 |
| 2.1 | Ermittlung des gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrats | 456 |
| 2.2 | Ermittlung des zukunftsbezogenen Abnutzungsvorrats | 456 |
| 2.3 | Kosten-Nutzen-Analyse im Rahmen der prospektiven Instandhaltungsstrategie | 459 |
| 2.3.1 | Werte des Abnutzungsvorrats als Grundlage der Kosten-Nutzen-Analyse | 459 |
| 2.3.2 | Betrachtung des Nutzens innerhalb der Kosten-Nutzen-Analyse | 460 |
| 2.3.3 | Betrachtung der Kosten innerhalb der Kosten-Nutzen-Analyse..... | 475 |
| 2.3.4 | Beispiel einer Kosten-Nutzen-Analyse von Instandhaltungsvarianten..... | 478 |
| VI | ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK..... | 483 |
| 1 | Zusammenfassung..... | 483 |
| 2 | Ausblick..... | 485 |
| | LITERATURVERZEICHNIS..... | 488 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|----------|--|----|
| Abb. 1: | Bauteile der Gebäudehülle..... | 6 |
| Abb. 2: | Gängige Arten von Baustoffen | 8 |
| Abb. 3: | Grundbegriffe zur Systemdefinition..... | 9 |
| Abb. 4: | Kostengruppen (KG) nach DIN 276-1 im Bezug auf die Gebäudehülle..... | 12 |
| Abb. 5: | Bauelementgliederung in Anlehnung an die DIN 276-1 (1 von 3)..... | 14 |
| Abb. 6: | Bauelementgliederung in Anlehnung an die DIN 276-1 (2 von 3)..... | 15 |
| Abb. 7: | Bauelementgliederung in Anlehnung an die DIN 276-1 (3 von 3)..... | 16 |
| Abb. 8: | Beispiel einer bauelementspezifischen Gliederung eines Gebäudes | 17 |
| Abb. 9: | Arten von Abnutzung..... | 19 |
| Abb. 10: | Beispiel für den Abbau des Abnutzungsvorrats AV durch Abnutzung A..... | 20 |
| Abb. 11: | Beispiele für Typen von Abbaukurven | 24 |
| Abb. 12: | Instandhaltung in Anlehnung an die DIN 31051..... | 26 |
| Abb. 13: | Beispiel der Beeinflussung des Abnutzungsvorrats AV durch Inspektion..... | 29 |
| Abb. 14: | Beispiel der Beeinflussung des Abnutzungsvorrats AV durch Wartung..... | 31 |
| Abb. 15: | Instandsetzungsdifferenzierung | 33 |
| Abb. 16: | Beispiel der Beeinflussung des Abnutzungsvorrats AV durch Instandsetzung mittels Ausbessern | 34 |
| Abb. 17: | Beispiel der Beeinflussung des Abnutzungsvorrats AV durch Instandsetzung mittels Austauschen | 36 |
| Abb. 18: | Beispiel der Instandsetzung des Bauelements Putz..... | 37 |
| Abb. 19: | Berechnungsgrundlage zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats bei Teilinstandsetzungen | 38 |
| Abb. 20: | Berechnungsbeispiel zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats bei Teilinstandsetzungen | 38 |
| Abb. 21: | Beispiel der Beeinflussung des Abnutzungsvorrats AV durch Verbesserung..... | 39 |
| Abb. 22: | Übersicht über Instandhaltungsstrategien..... | 42 |
| Abb. 23: | Vor- und Nachteile der sofortigen Instandhaltungsstrategie | 44 |
| Abb. 24: | Beispiel eines Abbauverlaufs bei einer sofortigen Instandhaltungsstrategie | 45 |
| Abb. 25: | Vor- und Nachteile der aufgeschobenen Instandhaltungsstrategie | 47 |
| Abb. 26: | Beispiel eines Abbauverlaufs bei einer aufgeschobenen Instandhaltungsstrategie | 48 |
| Abb. 27: | Vor- und Nachteile der vorausbestimmten Instandhaltungsstrategie..... | 50 |
| Abb. 28: | Beispiel eines Abbauverlaufs bei einer vorausbestimmten Instandhaltungsstrategie..... | 51 |
| Abb. 29: | Vor- und Nachteile der zustandsorientierten Instandhaltungsstrategie..... | 53 |
| Abb. 30: | Beispiel eines Abbauverlaufs bei einer zustandsorientierten Instandhaltungsstrategie..... | 54 |
| Abb. 31: | Vor- und Nachteile der voraussagenden Instandhaltungsstrategie | 55 |
| Abb. 32: | Beispiel eines Abbauverlaufs bei einer voraussagenden Instandhaltungsstrategie | 56 |
| Abb. 33: | Prospektive Instandhaltungsstrategie als Weiterentwicklung gegenwärtiger Instandhaltungsstrategien | 58 |
| Abb. 34: | Vor- und Nachteile der prospektiven Instandhaltungsstrategie..... | 60 |
| Abb. 35: | Beispiel eines Abbauverlaufs bei einer prospektiven Instandhaltungsstrategie..... | 61 |
| Abb. 36: | Bewertung von Entscheidungskriterien in Abhängigkeit von der Instandhaltungsstrategie..... | 62 |
| Abb. 37: | Wahl von Instandhaltungsstrategien unter Berücksichtigung instandhaltungsrelevanter Entscheidungen | 64 |
| Abb. 38: | Beispiele zu Bereichseinteilungen und -beschreibungen verschiedener Quellen..... | 66 |
| Abb. 39: | Modellorientierte Bereichseinteilung des Abnutzungsvorrats | 67 |
| Abb. 40: | Beispieldarstellung zur Beschreibung des Begriffs der Qualität | 72 |
| Abb. 41: | Beispiele für Merkmale mit Merkmalsausprägungen | 72 |
| Abb. 42: | Zusammenhang von Merkmalsklassen, Merkmalen und Merkmalsausprägungen | 74 |
| Abb. 43: | Skalenarten der Merkmalsausprägungen und ihre Eigenschaften | 78 |
| Abb. 44: | Zuordnung qualitätsbezogener Merkmale zu bauspezifischen Merkmalsklassen | 82 |
| Abb. 45: | Beispiele für Wasserdampfdiffusionswiderstände verschiedener Baustoffe..... | 84 |
| Abb. 46: | Baustoffklassen gemäß DIN 4102 | 85 |
| Abb. 47: | Beispiele von pH-Werten unterschiedlicher Stoffe..... | 87 |
| Abb. 48: | Kapillare Wasseraufnahme in Abhängigkeit vom Wasseraufnahmekoeffizient w | 88 |
| Abb. 49: | Beispiele für Schallabsorptionsgrade von Bauelementoberflächen | 90 |

| | | |
|----------|---|-----|
| Abb. 50: | Zuordnung schadensbezogener Merkmale zu bauspezifischen Merkmalsklassen (1 von 3)..... | 95 |
| Abb. 51: | Zuordnung schadensbezogener Merkmale zu bauspezifischen Merkmalsklassen (2 von 3)..... | 96 |
| Abb. 52: | Zuordnung schadensbezogener Merkmale zu bauspezifischen Merkmalsklassen (3 von 3)..... | 97 |
| Abb. 53: | Beispiele für die Korrosion von Baustoffen | 107 |
| Abb. 54: | Kontaktkorrosion nichtmetallisch-anorganischer Baustoffe auf metallischen Baustoffen | 108 |
| Abb. 55: | Spannungsreihe zur Ermittlung der elektrochemischen Korrosion durch Kontaktkorrosion metallischer Baustoffe.. | 109 |
| Abb. 56: | Elektrochemische Korrosion durch Kontaktkorrosion metallischer Baustoffe in der Atmosphäre | 110 |
| Abb. 57: | Baustoffabtragraten metallischer Baustoffe aufgrund atmosphärischer Korrosion..... | 111 |
| Abb. 58: | Beispiele von Verlaufsformen der Korrosionsschichtbildung bei Metallen | 112 |
| Abb. 59: | Rissgrad zur Beschreibung von Rissen | 116 |
| Abb. 60: | Merkmalsaspekte des Merkmals Riss..... | 117 |
| Abb. 61: | Einzelschritte für die Aufstellung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats | 127 |
| Abb. 62: | Qualitätsbezogene Merkmale mit unveränderlichen Merkmalsausprägungen | 129 |
| Abb. 63: | Zuordnung qualitätsbezogener Merkmale zu den Abnutzungsmerkmalen | 133 |
| Abb. 64: | Zuordnung schadensbezogener Merkmale zu den Abnutzungsmerkmalen (1 von 2)..... | 134 |
| Abb. 65: | Zuordnung schadensbezogener Merkmale zu den Abnutzungsmerkmalen (2 von 2)..... | 135 |
| Abb. 66: | Hierarchische Strukturierung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Gesamtübersicht..... | 136 |
| Abb. 67: | Beispiel zur Gewichtung der Merkmalsklassen innerhalb der Ebene 1 | 138 |
| Abb. 68: | Gewichtungsbeispiel innerhalb des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats..... | 139 |
| Abb. 69: | Beispiel der Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale..... | 140 |
| Abb. 70: | Wertezuordnung zur Einheitsskala am Beispiel des Abnutzungsmerkmals Ablagerung..... | 142 |
| Abb. 71: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Ablagerung (reversibel und irreversibel) | 144 |
| Abb. 72: | Merkmalsausprägungen des Abnutzungsmerkmals Ablagerung (reversibel und irreversibel, nicht maßstabsgetreu) | 145 |
| Abb. 73: | Merkmalsaspekte des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag | 147 |
| Abb. 74: | Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung)..... | 148 |
| Abb. 75: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Schadensfläche des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung) | 149 |
| Abb. 76: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Abblätterungsgröße des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung, nicht maßstabsgetreu)..... | 150 |
| Abb. 77: | Möglichkeiten der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung)..... | 151 |
| Abb. 78: | Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung)..... | 152 |
| Abb. 79: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung)..... | 153 |
| Abb. 80: | Blasengrade nach DIN EN ISO 4628-2 (nicht maßstabsgetreu)..... | 154 |
| Abb. 81: | Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung)..... | 155 |
| Abb. 82: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Blasenmenge des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung) | 156 |
| Abb. 83: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Blasengröße des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung) | 156 |
| Abb. 84: | Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung)..... | 157 |
| Abb. 85: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung) | 157 |
| Abb. 86: | Zuordnung der Blasengrade zu den Einheitsskalenwerten für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung)..... | 158 |
| Abb. 87: | Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion)..... | 159 |
| Abb. 88: | Merkmalsausprägungen des Merkmalsaspekts Rostgrad (nicht maßstabsgetreu) | 160 |
| Abb. 89: | Gewichtung der Merkmalsaspekte des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | 161 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Abb. 90: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Rostgrad des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion)..... | 162 |
| Abb. 91: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Schichtdicke des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | 162 |
| Abb. 92: | Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion)..... | 163 |
| Abb. 93: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion)..... | 164 |
| Abb. 94: | Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag)..... | 165 |
| Abb. 95: | Gewichtung der Merkmalsaspekte des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag)..... | 166 |
| Abb. 96: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Schadensfläche des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | 167 |
| Abb. 97: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Schichtdicke des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | 167 |
| Abb. 98: | Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag)..... | 168 |
| Abb. 99: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag)..... | 169 |
| Abb. 100: | Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | 170 |
| Abb. 101: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Schadensart des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | 171 |
| Abb. 102: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Schadensgröße des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall..... | 172 |
| Abb. 103: | Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) mehrerer Schadensarten des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall am Beispiel Flachdach | 174 |
| Abb. 104: | Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall..... | 175 |
| Abb. 105: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | 176 |
| Abb. 106: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Brandschutz..... | 177 |
| Abb. 107: | Auszug der Brandschutzanforderungen nach BauO NRW | 178 |
| Abb. 108: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Feuchteschutz | 179 |
| Abb. 109: | Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) des Abnutzungsmerkmals Riss | 180 |
| Abb. 110: | Grafische Darstellung des Merkmalsaspekts Rissmenge des Abnutzungsmerkmals Riss (nicht maßstabsgetreu) | 182 |
| Abb. 111: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Rissmenge des Abnutzungsmerkmals Riss..... | 183 |
| Abb. 112: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Rissbreite des Abnutzungsmerkmals Riss..... | 183 |
| Abb. 113: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Risstiefe des Abnutzungsmerkmals Riss..... | 184 |
| Abb. 114: | Grafische Darstellung des Merkmalsaspekts Rissbild des Abnutzungsmerkmals Riss (1 von 3)..... | 185 |
| Abb. 115: | Grafische Darstellung des Merkmalsaspekts Rissbild des Abnutzungsmerkmals Riss (2 von 3)..... | 186 |
| Abb. 116: | Grafische Darstellung des Merkmalsaspekts Rissbild des Abnutzungsmerkmals Riss (3 von 3)..... | 187 |
| Abb. 117: | Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Rissbild des Abnutzungsmerkmals Riss | 188 |
| Abb. 118: | Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Riss (1 von 7) | 188 |
| Abb. 119: | Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Riss (2 von 7) | 189 |
| Abb. 120: | Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Riss (3 von 7) | 190 |
| Abb. 121: | Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Riss (4 von 7) | 191 |
| Abb. 122: | Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Riss (5 von 7) | 192 |

| | |
|---|-----|
| Abb. 123: Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Riss (6 von 7) | 193 |
| Abb. 124: Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Riss (7 von 7) | 194 |
| Abb. 125: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Riss..... | 195 |
| Abb. 126: Auszug aus der DIN 4109 für die erforderliche Luft- und Trittschalldämmung | 196 |
| Abb. 127: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Schallschutz | 197 |
| Abb. 128: Rechenwerte für das bewertete Schalldämm-Maß einschaliger biegesteifer Wände..... | 198 |
| Abb. 129: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Tragfähigkeitsverlust | 200 |
| Abb. 130: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Verformung..... | 201 |
| Abb. 131: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Verformung mit Wertebereich für die Berücksichtigung einer Abweichung zum Referenz-Zustand..... | 202 |
| Abb. 132: Verformung von Stützen – Beispieldarstellung | 203 |
| Abb. 133: Verformung von Balken – Beispieldarstellung | 204 |
| Abb. 134: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Volumenänderung | 205 |
| Abb. 135: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Volumenänderung mit Wertebereich für die Berücksichtigung einer Abweichung zum Referenz-Zustand..... | 206 |
| Abb. 136: Beispiele von Schwind- und Quellmaßen in Abhängigkeit des Feuchtegehalts des Baustoffs Holz | 207 |
| Abb. 137: Schwind- und Quellmaße in Abhängigkeit des Feuchtegehalts der Holzart Fichte | 207 |
| Abb. 138: Bezugsrichtung der Schwind- und Quellmaße des Baustoffs Holz | 208 |
| Abb. 139: Ermittlung der Länge L_3 im Bezug auf die maximal zulässige Abweichung zum Referenz-Zustand | 209 |
| Abb. 140: Ermittlung eines Einheitsskalenwerts für das Abnutzungsmerkmal Volumenänderung am Baustoff Holz (Holzart Fichte) | 210 |
| Abb. 141: Beispiele von Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) nach EnEV 2009 | 211 |
| Abb. 142: Beispiele typischer Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauelementen..... | 212 |
| Abb. 143: Beispiele für den Ausgleichsfeuchtegehalt von Baustoffen | 213 |
| Abb. 144: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Wärmeschutz..... | 214 |
| Abb. 145: Wärmedämmung in Abhängigkeit des Feuchtegehalts am Beispiel Mauerwerk | 215 |
| Abb. 146: Zuordnungsübersicht der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala (1 von 4) | 216 |
| Abb. 147: Zuordnungsübersicht der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala (2 von 4) | 217 |
| Abb. 148: Zuordnungsübersicht der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala (3 von 4) | 218 |
| Abb. 149: Zuordnungsübersicht der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala (4 von 4) | 219 |
| Abb. 150: Beispiel zur Berechnung der Abnutzung und des Abnutzungsvorrats..... | 221 |
| Abb. 151: Beispiel der Stufengewichte von Abnutzungsmerkmalen | 223 |
| Abb. 152: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bl. 1 | 226 |
| Abb. 153: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bl. 2 | 227 |
| Abb. 154: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bl. 3 | 228 |
| Abb. 155: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bl. 4 | 229 |
| Abb. 156: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bl. 5 | 230 |
| Abb. 157: Beispiele von lokal begrenzte Intensivschäden | 231 |
| Abb. 158: Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Anstrich und Beschichtung | 233 |
| Abb. 159: Gewichtung der Merkmalsklassen – Anstrich und Beschichtung – Ebene 1 | 235 |
| Abb. 160: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Anstrich und Beschichtung – Ebene 2, Spalte 1 | 235 |
| Abb. 161: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Anstrich und Beschichtung – Ebene 2, Spalte 2 | 236 |
| Abb. 162: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Anstrich und Beschichtung – Ebene 2, Spalte 3 | 236 |
| Abb. 163: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Anstrich und Beschichtung – Ebene 2, Spalte 4 | 237 |
| Abb. 164: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Anstrich und Beschichtung | 237 |
| Abb. 165: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Anstrich und Beschichtung | 238 |
| Abb. 166: Vorschlag zur Bewertung von Anstrich und Beschichtung – speziell Anstrich auf Beton | 239 |
| Abb. 167: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 1 | 240 |
| Abb. 168: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 2 | 241 |
| Abb. 169: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 3 | 242 |

| | |
|---|-----|
| Abb. 170: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 4 | 243 |
| Abb. 171: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 5 | 244 |
| Abb. 172: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 6 | 245 |
| Abb. 173: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 7 | 246 |
| Abb. 174: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 8 | 247 |
| Abb. 175: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 9 | 248 |
| Abb. 176: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 10 | 249 |
| Abb. 177: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 11 | 250 |
| Abb. 178: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 12 | 251 |
| Abb. 179: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 13 | 252 |
| Abb. 180: Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Bitumen | 254 |
| Abb. 181: Gewichtung der Merkmalsklassen – Bitumen – Ebene 1 | 255 |
| Abb. 182: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Bitumen – Ebene 2, Spalte 1 | 255 |
| Abb. 183: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Bitumen – Ebene 2, Spalte 2 | 256 |
| Abb. 184: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Bitumen – Ebene 2, Spalte 3 | 256 |
| Abb. 185: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Bitumen | 257 |
| Abb. 186: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Bitumen | 257 |
| Abb. 187: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Bitumen | 258 |
| Abb. 188: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Flachdächern mit Bauelementen aus Bitumen (Bitumenpappdach) ... | 259 |
| Abb. 189: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 1 | 261 |
| Abb. 190: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 2 | 262 |
| Abb. 191: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 3 | 263 |
| Abb. 192: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 4 | 264 |
| Abb. 193: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 5 | 265 |
| Abb. 194: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 6 | 266 |
| Abb. 195: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 7 | 267 |
| Abb. 196: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 8 | 268 |
| Abb. 197: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 9 | 269 |
| Abb. 198: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 10 | 270 |
| Abb. 199: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 11 | 271 |
| Abb. 200: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 12 | 272 |
| Abb. 201: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 13 | 273 |
| Abb. 202: Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Holz | 275 |
| Abb. 203: Gewichtung der Merkmalsklassen – Holz, statisch relevante Bauelemente – Ebene 1 | 277 |
| Abb. 204: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 1 | 277 |
| Abb. 205: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 2 | 278 |
| Abb. 206: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 4 | 278 |
| Abb. 207: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch relevante Bauelemente | 279 |
| Abb. 208: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch relevante Bauelemente | 280 |
| Abb. 209: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Holz, statisch relevante Bauelemente | 281 |
| Abb. 210: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 1 | 282 |
| Abb. 211: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 2 | 283 |
| Abb. 212: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 3 | 284 |
| Abb. 213: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 4 | 285 |
| Abb. 214: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 5 | 286 |
| Abb. 215: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 6 | 287 |
| Abb. 216: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 7 | 288 |
| Abb. 217: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 8 | 289 |
| Abb. 218: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 9 | 290 |
| Abb. 219: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 10 | 291 |
| Abb. 220: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 11 | 292 |
| Abb. 221: Gewichtung der Merkmalsklassen – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 1 | 293 |

| | |
|--|-----|
| Abb. 222: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 1..... | 294 |
| Abb. 223: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 2..... | 294 |
| Abb. 224: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 4..... | 295 |
| Abb. 225: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente..... | 296 |
| Abb. 226: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente..... | 296 |
| Abb. 227: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Holz, statisch nicht relevante Bauelemente (Bsp. Fenster)..... | 297 |
| Abb. 228: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 1.... | 298 |
| Abb. 229: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 2.... | 299 |
| Abb. 230: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 3.... | 300 |
| Abb. 231: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 4.... | 301 |
| Abb. 232: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 5.... | 302 |
| Abb. 233: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 6.... | 303 |
| Abb. 234: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 7.... | 304 |
| Abb. 235: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 8.... | 305 |
| Abb. 236: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 9.... | 306 |
| Abb. 237: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 10.. | 307 |
| Abb. 238: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 11 .. | 308 |
| Abb. 239: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 12.. | 309 |
| Abb. 240: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 13.. | 310 |
| Abb. 241: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 14 .. | 311 |
| Abb. 242: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 15.. | 312 |
| Abb. 243: Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Kunststoff..... | 314 |
| Abb. 244: Gewichtung der Merkmalsklassen – Kunststoff – Ebene 1..... | 316 |
| Abb. 245: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Kunststoff – Ebene 2, Spalte 1..... | 316 |
| Abb. 246: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Kunststoff – Ebene 2, Spalte 2..... | 317 |
| Abb. 247: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Kunststoff – Ebene 2, Spalte 3..... | 317 |
| Abb. 248: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Kunststoff – Ebene 2, Spalte 4..... | 318 |
| Abb. 249: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Kunststoff..... | 318 |
| Abb. 250: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Kunststoff..... | 319 |
| Abb. 251: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Kunststoff..... | 320 |
| Abb. 252: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Kunststoff – Bl. 1..... | 321 |
| Abb. 253: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Kunststoff – Bl. 2..... | 322 |
| Abb. 254: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Kunststoff – Bl. 3..... | 323 |
| Abb. 255: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Kunststoff – Bl. 4..... | 324 |
| Abb. 256: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Kunststoff – Bl. 5..... | 325 |
| Abb. 257: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Kunststoff – Bl. 6..... | 326 |
| Abb. 258: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Kunststoff – Bl. 7..... | 327 |
| Abb. 259: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Kunststoff – Bl. 8..... | 328 |
| Abb. 260: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Kunststoff – Bl. 9..... | 329 |
| Abb. 261: Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Putz..... | 331 |
| Abb. 262: Gewichtung der Merkmalsklassen – Putz – Ebene 1..... | 333 |
| Abb. 263: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Putz – Ebene 2, Spalte 1..... | 333 |
| Abb. 264: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Putz – Ebene 2, Spalte 2..... | 334 |
| Abb. 265: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Putz – Ebene 2, Spalte 3..... | 334 |
| Abb. 266: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Putz – Ebene 2, Spalte 4..... | 335 |
| Abb. 267: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Putz..... | 335 |
| Abb. 268: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Putz..... | 336 |
| Abb. 269: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Fassadenoberflächen aus Putz..... | 337 |
| Abb. 270: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 1..... | 338 |
| Abb. 271: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 2..... | 339 |
| Abb. 272: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 3..... | 340 |

| | |
|---|-----|
| Abb. 273: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 4..... | 341 |
| Abb. 274: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 5..... | 342 |
| Abb. 275: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 6..... | 343 |
| Abb. 276: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 7..... | 344 |
| Abb. 277: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 8..... | 345 |
| Abb. 278: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 9..... | 346 |
| Abb. 279: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 10..... | 347 |
| Abb. 280: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 11..... | 348 |
| Abb. 281: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 12..... | 349 |
| Abb. 282: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 13..... | 350 |
| Abb. 283: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 14..... | 351 |
| Abb. 284: Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Sandstein..... | 353 |
| Abb. 285: Gewichtung der Merkmalsklassen – Sandstein, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 1..... | 354 |
| Abb. 286: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Sandstein, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 2..... | 355 |
| Abb. 287: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Sandstein, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 4..... | 355 |
| Abb. 288: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Sandstein, statisch nicht relevante Bauelemente..... | 356 |
| Abb. 289: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Sandstein, statisch nicht relevante Bauelemente..... | 356 |
| Abb. 290: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Sandstein..... | 357 |
| Abb. 291: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Sandstein – Bl. 1..... | 359 |
| Abb. 292: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Sandstein – Bl. 2..... | 360 |
| Abb. 293: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Sandstein – Bl. 3..... | 361 |
| Abb. 294: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Sandstein – Bl. 4..... | 362 |
| Abb. 295: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Sandstein – Bl. 5..... | 363 |
| Abb. 296: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Sandstein – Bl. 6..... | 364 |
| Abb. 297: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Sandstein – Bl. 7..... | 365 |
| Abb. 298: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Sandstein – Bl. 8..... | 366 |
| Abb. 299: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Sandstein – Bl. 9..... | 367 |
| Abb. 300: Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Stahl (unlegiert)..... | 369 |
| Abb. 301: Gewichtung der Merkmalsklassen – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Ebene 1..... | 370 |
| Abb. 302: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 1..... | 370 |
| Abb. 303: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 2..... | 371 |
| Abb. 304: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente..... | 371 |
| Abb. 305: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente..... | 372 |
| Abb. 306: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente..... | 373 |
| Abb. 307: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 1..... | 374 |
| Abb. 308: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 2..... | 375 |
| Abb. 309: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 3..... | 376 |
| Abb. 310: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 4..... | 377 |
| Abb. 311: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 5..... | 378 |
| Abb. 312: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 6..... | 379 |
| Abb. 313: Gewichtung der Merkmalsklassen – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 1..... | 380 |
| Abb. 314: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 1..... | 381 |
| Abb. 315: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 2..... | 381 |
| Abb. 316: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente.. | 382 |

| | |
|---|-----|
| Abb. 317: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente | 382 |
| Abb. 318: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente (Bsp. Spenglerarbeiten) | 383 |
| Abb. 319: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 1 | 385 |
| Abb. 320: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 2 | 386 |
| Abb. 321: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 3 | 387 |
| Abb. 322: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 4 | 388 |
| Abb. 323: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 5 | 389 |
| Abb. 324: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 6 | 390 |
| Abb. 325: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 7 | 391 |
| Abb. 326: Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Ziegel | 393 |
| Abb. 327: Gewichtung der Merkmalsklassen – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Ebene 1 | 395 |
| Abb. 328: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 1 | 396 |
| Abb. 329: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 2 | 396 |
| Abb. 330: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 3 | 397 |
| Abb. 331: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 4 | 397 |
| Abb. 332: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch relevante Bauelemente | 398 |
| Abb. 333: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch relevante Bauelemente | 398 |
| Abb. 334: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Ziegel, statisch relevante Bauelemente | 400 |
| Abb. 335: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 1 | 402 |
| Abb. 336: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 2 | 403 |
| Abb. 337: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 3 | 404 |
| Abb. 338: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 4 | 405 |
| Abb. 339: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 5 | 406 |
| Abb. 340: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 6 | 407 |
| Abb. 341: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 7 | 408 |
| Abb. 342: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 8 | 409 |
| Abb. 343: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 9 | 410 |
| Abb. 344: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 10 | 411 |
| Abb. 345: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 11 | 412 |
| Abb. 346: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 12 | 413 |
| Abb. 347: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 13 | 414 |
| Abb. 348: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 14 | 415 |
| Abb. 349: Gewichtung der Merkmalsklassen – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 1 | 416 |
| Abb. 350: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 1 | 417 |
| Abb. 351: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 2 | 417 |
| Abb. 352: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 3 | 418 |
| Abb. 353: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 4 | 418 |
| Abb. 354: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente | 419 |
| Abb. 355: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente | 419 |
| Abb. 356: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente (Bsp. Dacheindeckung) | 420 |
| Abb. 357: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 1 | 422 |
| Abb. 358: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 2 | 423 |
| Abb. 359: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 3 | 424 |

| | |
|--|-----|
| Abb. 360: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 4 | 425 |
| Abb. 361: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 5 | 426 |
| Abb. 362: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 6 | 427 |
| Abb. 363: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 7 | 428 |
| Abb. 364: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 8 | 429 |
| Abb. 365: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 9 | 430 |
| Abb. 366: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 10 | 431 |
| Abb. 367: Einflussfaktoren auf den Abnutzungsvorrat | 433 |
| Abb. 368: Auszug aus der DIN 18350 – Abschnitt 2 Stoffe, Bauteile | 435 |
| Abb. 369: Auszug aus der DIN 18350 – Abschnitt 3 Ausführung | 438 |
| Abb. 370: Übersicht über die natürlichen Einflussfaktoren | 440 |
| Abb. 371: Vordach als Beispiel für konstruktiven Schutz | 446 |
| Abb. 372: Abbauverlauf mit und ohne konstruktiven Schutz | 447 |
| Abb. 373: Wirkungsweise von Pigmenten | 449 |
| Abb. 374: Abbauverlauf mit und ohne physikalischen bzw. chemischen Schutz | 450 |
| Abb. 375: Abbauverlauf mit und ohne internen Schutz | 452 |
| Abb. 376: Potentielle Instandsetzungsmaßnahmen zur Erhöhung des Abnutzungsvorrats..... | 454 |
| Abb. 377: Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{in} unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren | 457 |
| Abb. 378: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 1 | 463 |
| Abb. 379: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 2 | 464 |
| Abb. 380: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 3 | 465 |
| Abb. 381: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 4 | 466 |
| Abb. 382: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 5 | 467 |
| Abb. 383: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 6 | 468 |
| Abb. 384: Ermittlung des Abnutzungsvorrats aufgrund einer potentiellen Instandsetzungsmaßnahme – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 1 | 469 |
| Abb. 385: Ermittlung des Abnutzungsvorrats aufgrund einer potentiellen Instandsetzungsmaßnahme – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 2 | 470 |
| Abb. 386: Ermittlung des Abnutzungsvorrats aufgrund einer potentiellen Instandsetzungsmaßnahme – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 3 | 471 |
| Abb. 387: Ermittlung des Abnutzungsvorrats aufgrund einer potentiellen Instandsetzungsmaßnahme – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 4 | 472 |
| Abb. 388: Ermittlung des Abnutzungsvorrats aufgrund einer potentiellen Instandsetzungsmaßnahme – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 5 | 473 |
| Abb. 389: Ermittlung des Abnutzungsvorrats aufgrund einer potentiellen Instandsetzungsmaßnahme – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 6 | 474 |
| Abb. 390: Instandhaltungskosten für Konstruktionen (Baualtersklasse 1977 - 1994, Auszug) | 476 |
| Abb. 391: Berechnungsgrundlage zur Ermittlung des Barwerts von Kosten | 477 |
| Abb. 392: Beispielabbaukurven im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse von Instandhaltungsvarianten..... | 479 |
| Abb. 393: Barwertermittlung der Instandsetzungskosten | 481 |
| Abb. 394: Beispielergebnis der Kosten-Nutzen-Analyse von Instandhaltungsvarianten im Rahmen einer prospektiven Instandhaltungsstrategie | 482 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|----------------|---|
| A | Abnutzung |
| AA | Ausführungsart |
| A_{T_n} | Abnutzung im Zeitabschnitt T_n |
| $A_{T_n, mS}$ | Abnutzung im Zeitabschnitt T_n mit Schutz |
| $A_{T_n, oS}$ | Abnutzung im Zeitabschnitt T_n ohne Schutz |
| a. a. R. d. T. | allgemein anerkannte Regeln der Technik |
| ABK | Abbaukurve |
| AK | Ausführungsklasse |
| allg. | allgemein |
| Aufl. | Auflage |
| AV | Abnutzungsvorrat |
| $AV_{F_{alt}}$ | Abnutzungsvorrat bezogen auf die nicht instandgesetzte Teilfläche |
| $AV_{F_{ges}}$ | Abnutzungsvorrat bezogen auf die Gesamtfläche |
| $AV_{F_{neu}}$ | Abnutzungsvorrat bezogen auf die instandgesetzte Teilfläche |
| AV_{Grenz} | Grenz-Abnutzungsvorrat |
| AV_{Mind} | Mindest-Abnutzungsvorrat |
| AV_{Ref} | Referenz-Abnutzungsvorrat |
| AV_{Rest} | Rest-Abnutzungsvorrat |
| AV_{Soll} | Soll-Abnutzungsvorrat |
| AV_{t_n} | Abnutzungsvorrat zum Zeitpunkt t_n |
| Bbl. | Beiblatt |
| Bl. | Blatt |
| Bsp. | Beispiel |
| bspw. | beispielsweise |
| bzgl. | bezüglich |
| ca. | cirka |
| DIN | Deutsches Institut für Normung |

| | |
|--------------|---|
| E | Erhöhung |
| ERAB | <u>E</u> rmittlung des <u>A</u> bnutzungsvorrats von <u>B</u> austoffen |
| E_{T_n} | Erhöhung im Zeitabschnitt T_n |
| eff. | effektiv |
| engl. | englisch |
| ESW | Einheitsskalenwert |
| f | Durchbiegung |
| F_{alt} | nicht instandgesetzte Teilfläche |
| F_{ges} | Gesamtfläche |
| F_{neu} | instandgesetzte Teilfläche |
| G | Gewichtungsfaktor |
| ggf. | gegebenenfalls |
| Hrsg. | Herausgeber |
| i. d. R. | in der Regel |
| i. Allg. | im Allgemeinen |
| IHS | Instandhaltungsstrategie |
| inkl. | inklusive |
| k. A., K. A. | keine Angabe |
| KG | Kostengruppe |
| KO | Knock Out |
| l | Länge |
| L_p | Schalldruckpegel |
| $L'_{n,w}$ | Norm-Trittschallpegel |
| L_{Nutz} | Nutzungsdauer |
| L_{tech} | technische Lebensdauer |
| L_{wirt} | wirtschaftliche Lebensdauer |
| MA | Merkmalsausprägung |
| MA_{komb} | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
| max. | maximal |
| ME | Mengeneinheit |
| min. | minimal |
| o. Ä. | oder Ähnlichen |

| | |
|---------------------|---|
| ρ_{alt} | Prozentsatz der nicht instandgesetzten Teilfläche |
| ρ_{neu} | Prozentsatz der instandgesetzten Teilfläche |
| R'_w | Schalldämm-Maß |
| $R'_{w,R}$ | Schalldämm-Maß (Rechenwert) |
| resp. | respektive |
| s., S. | siehe |
| S. | Seite |
| s. a. | siehe auch |
| sog. | so genannte |
| TGA | Technische Gebäudeausrüstung |
| t_n, t_n | Zeitpunkt n |
| T_n, T_n | Zeitabschnitt $T_n = t_n - t_{n-1}$ |
| u. a. | unter anderem; und andere |
| usw. | und so weiter |
| UVV | Unfallverhütungsvorschrift |
| vgl., Vgl. | vergleiche |

I Einleitung

1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Im Zuge einer modernen, lebenszyklusorientierten Betrachtung von Immobilien¹ stehen grundsätzlich die Optimierung der Herstellung im Vordergrund, aber auch zunehmend die wirtschaftlich orientierten Verbesserungen innerhalb der Nutzungsphase. Während sich bei der Realisierung von Neubauvorhaben bereits viele geeignete und optimierte Methoden etabliert haben, konzentriert sich die Forschung verstärkt auf die effiziente **Erhaltung und Bewirtschaftung von Gebäuden**. So wurden im Rahmen der Gebäudenutzung unterschiedliche Instandhaltungsstrategien entwickelt, um möglichst wirtschaftlich einen dem Zweck entsprechenden Gebäudezustand zu erhalten. Ausgangspunkt dafür ist die Bewertung des Ist-Zustands eines Gebäudes bzw. seiner Bauelemente.

Aufgrund der Vielzahl von Konstruktionsmöglichkeiten sowie des Einsatzes unterschiedlichster Baustoffe für die verschiedenen Bauelemente ist gegenwärtig fast jedes Gebäude in seiner Art einzigartig. Eine Standardstrategie zum Erhalt von Gebäuden innerhalb der Nutzungsphase, d. h. der Einsatz einer geeigneten, universell einsetzbaren **Instandhaltungsstrategie**, ist daher nicht möglich, zumal individuelle Vorgaben des Nutzers bzw. Eigentümers mit einfließen. Jedes Gebäude bedarf daher einer spezifischen Planung, Betrachtung und Bewertung.

Oftmals existiert im Bezug auf die Erhaltung von Gebäuden gar keine Instandhaltungsstrategie. So werden häufig Bauelemente erst dann ersetzt, wenn sie bereits stark schadhaft oder zerstört sind. Eine Überprüfung, ob geeignete Maßnahmen nicht zu einem früheren Zeitpunkt, d. h. bei einem besseren Zustand des jeweiligen Bauelements, hätten getätigt werden sollen, findet oft nicht statt. Dies hängt zum einen mit den mangelnden personellen sowie finanziellen Kapazitäten zusammen, zum anderen fehlt es am Wissen zur **qualifizierten Beurteilung des aktuellen Zustands**

¹ Immobilien sind unbewegliche Sachen, Liegenschaften (bebaute und unbebaute Flächen), Grundstücke und grundstücksgleiche Rechte (vgl. BROCKHAUS, F. A. (Hrsg.): Brockhaus Enzyklopädie – Band 13 HURS - JEM. 21. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2006, S. 105; GRABENER, H. J.: Immobilien Fachwissen von A - Z. 3. Aufl. Schwedeneck : Grabener Verlag, 1999, S. 123). Innerhalb dieser Arbeit werden lediglich Gebäude betrachtet, die für eine Wohn- bzw. Büronutzung vorgesehen sind.

der Gebäude einschließlich ihrer Bauelemente. Ohne eine fachlich begründete Zustandsanalyse kann deshalb auch keine geeignete Instandhaltungsstrategie angewendet werden. Dabei ist es durchaus empfehlenswert zu prüfen, ob mittels geeigneter Maßnahmen zum richtigen Zeitpunkt beim Erhalt von Gebäuden Kosten gespart bzw. Nutzungseigenschaften bewahrt und verbessert werden können.

Basis für die Anwendung geeigneter Instandhaltungsstrategien ist die Analyse und qualifizierte Bewertung des Gebäudezustands. Auf Grundlage der hierbei gewonnenen Zustandsdaten können geeignete Maßnahmen zum Erhalt der Gebäude geplant und realisiert werden. Gegenwärtig erfolgt eine **Einschätzung des Zustands** von Gebäuden bzw. von deren Bauelementen i. d. R. nur **nach subjektiven Kriterien**. Die sich daraus ergebenden Instandhaltungsmaßnahmen können keiner optimalen Instandhaltungsstrategie entsprechen.

Auch die Beschreibung vertraglich relevanter Vorgaben, z. B. bei der Definition der Übergabequalität eines Gebäudes nach Beendigung eines PPP-Vertrags², gestaltet sich schwierig, wenn diese anhand subjektiver Merkmale erfolgt. Derartige Merkmale ermöglichen unkalkulierbare Spielräume bei der Leistungserfüllung, was zu Meinungsverschiedenheiten zwischen den Beteiligten, z. B. Vertragspartnern, führen kann.

Um die Maßnahmenplanung zur Gebäudeerhaltung innerhalb einer Instandhaltungsstrategie effizient zu gestalten bzw. Vertragsvorgaben exakt definieren zu können, bedarf es der **Einführung einer objektiven Analyse und Bewertung des Zustands von Gebäuden** bzw. ihrer Bauelemente.

² „Public Private Partnership (PPP) bezeichnet das partnerschaftliche Zusammenwirken von öffentlicher Hand und Privatwirtschaft mit dem Ziel einer besseren wirtschaftlichen Erfüllung öffentlicher Aufgaben als bisher. PPP-Projekte erfassen das gesamte Spektrum zwischen der rein hoheitlichen Realisierung öffentlicher Aufgaben einerseits und der vollständigen Privatisierung öffentlicher Aufgaben andererseits.“ (BERTELSMANN STIFTUNG (Hrsg.): Prozessleitfaden Public Private Partnership – Eine Publikation aus der Reihe PPP für die Praxis. Frankfurt am Main : Clifford Chance Pünder, k. A., S. 9)

Ziel dieser Arbeit ist es, den Ist-Zustand von Gebäuden durch die **Ermittlung eines quantitativen Werts für den aktuellen Abnutzungsvorrat** ihrer Bauelemente, im Speziellen ihrer Baustoffe, objektiv zu bestimmen. Es werden im Rahmen des entwickelten Verfahrens baustoffspezifische Bewertungsregeln zur Verfügung gestellt, die Daten zur nachvollziehbaren Berechnung des vorhandenen Abnutzungsvorrats liefern. Dadurch wird eine solide Planungsgrundlage für die Anwendung geeigneter Instandhaltungsstrategien geschaffen.

Aufgrund des hier vorgestellten Verfahrens zur mathematischen Ermittlung von quantitativen Werten für den Zustand von Gebäuden ergibt sich ein völlig neuer Ansatz einer **prospektiven Instandhaltungsstrategie**. Die Grundzüge dieser neuen Instandhaltungsstrategie werden ebenfalls in dieser Arbeit aufgezeigt und den gegenwärtigen Instandhaltungsstrategien gegenübergestellt.

2 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit entwickelt ein Verfahren zur **Ermittlung** des **Abnutzungsvorrats** von **Baustoffen** (ERAB) und wird exemplarisch auf ausgewählte Bauelemente der Gebäudehülle, die in **Kapitel II** eingeführt werden, angewendet. Eine derartige Ermittlung des Abnutzungsvorrats objektiviert die Zustandsbeschreibung von Bauelementen bzw. ihrer Baustoffe. Werden alle Bauelemente eines Gebäudes in dieser Form bewertet, kann daraus letztlich auf den Zustand des gesamten Gebäudes geschlossen werden. Eine objektive Ermittlung des Abnutzungsvorrats und damit des Zustands von Bauelementen bzw. ihrer Baustoffe ist zugleich eine solide Grundlage zur Festlegung geeigneter Instandhaltungsstrategien.

Die Grundlagen für Instandhaltungsstrategien werden im **Kapitel III** vorgestellt und die wesentlichen Begriffe im Rahmen der Instandhaltung näher eingeführt. Darüber hinaus erfolgt eine Darstellung der gängigen Instandhaltungsstrategien unter Bezug auf den Abnutzungsvorrat, um davon ausgehend Ansätze einer neuen Instandhaltungsstrategie – der prospektiven Instandhaltungsstrategie – aufzuzeigen. Eine Entscheidungshilfe für den Einsatz einer geeigneten Instandhaltungsstrategie wird durch Auswahlkriterien gegeben.

Im **Kapitel IV** wird das Verfahren ERAB aufgestellt, um für die Anwendung einer Instandhaltungsstrategie eine objektive Bewertung des Zustands von Gebäuden bzw. ihrer Bauelemente vornehmen zu können. Als methodische Grundlage dient hierbei die Nutzwertanalyse, deren relevante Bestandteile innerhalb des Verfahrens vorgestellt werden. Zusätzlich wird anhand von Beispielen an gängigen Baustoffen die Praxistauglichkeit des Verfahrens ERAB aufgezeigt.

Kapitel V nimmt zur instandhaltungsstrategischen Relevanz des Abnutzungsvorrats von Baustoffen Stellung. Unter Berücksichtigung der Veränderung des Abnutzungsvorrats durch Einflussfaktoren können innerhalb einer Instandhaltungsstrategie Entscheidungen bzgl. zukünftiger Maßnahmen getroffen werden. Am Beispiel eines neuen Ansatzes, der prospektiven Instandhaltungsstrategie, wird dies verdeutlicht.

II Gebäudehülle von Immobilien

1 Schutzfunktion der Gebäudehülle

Immobilien dienen sowohl dem Schutz der Privatsphäre als auch dem Schutz vor äußeren Witterungseinflüssen wie Niederschlag, Wind und Außentemperaturen. Dabei übernimmt hauptsächlich die äußere Struktur der Immobilie, d. h. die Gebäudehülle, diese Aufgabe.

Unter dem Begriff **Gebäudehülle** werden i. Allg. diejenigen Bauteile aufgeführt, welche das Bauwerk gegen die Umwelt, insbesondere das Außenklima abgrenzen.³

Das **Außenklima** entspricht dem an einem Ort oder in einem Bereich vorherrschenden Wetter, wie es statistisch durch meteorologische Parameter, welche über eine längere Zeitspanne aufgezeichnet wurden, festgestellt wird.⁴

Die Gebäudehülle umfasst im Wesentlichen die folgenden Bauteile:

- Dach
- Außenwände
- Fenster
- Türen.

Als oberer Abschluss und vor allem als Witterungsschutz eines Gebäudes dient das **Dach**. Je nach Dachneigung wird in geneigte Dächer und Flachdächer unterschieden.⁵ Die umschließenden und den Innenraum eines Gebäudes nach außen abgrenzenden Wände werden als **Außenwände** bezeichnet. Sie haben i. d. R. die Funktion des Wärme-, Schall-, Brand- sowie Schlagregenschutzes und werden meist tragend ausgebildet.⁶ **Fenster** sind die der Belichtung bzw. Belüftung eines Gebäudeinneren

³ Vgl. RAGONESI, M.: Bautechnik der Gebäudehülle. Stuttgart : Teubner Verlag, 1993, S. 4

⁴ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 12944-2 – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme – Teil 2: Einteilung der Umgebungsbedingungen. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 07-1998, S. 4

⁵ Vgl. WORMUTH, R. (Hrsg.); SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.): Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2000, S. 52

⁶ Vgl. WORMUTH, R. (Hrsg.); SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.): Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2000, S. 18

dienenden Fassaden- bzw. Wandbauteile. Sie werden überwiegend aus Glas, Holz, Kunststoff oder Metall hergestellt.⁷ Die Bauteile, welche zum Öffnen und Verschließen von begehbaren Wandöffnungen dienen, werden als **Türen** bezeichnet.⁸

Die an das Erdreich angrenzenden Bauteile, wie die Gründung (Bodenplatte) oder aufgehendes Kellermauerwerk, können der Gebäudehülle zugeordnet werden, sind aber nicht Gegenstand dieser Arbeit. Eine Übersicht über die betrachteten Bauteile der Gebäudehülle zeigt Abb. 1.

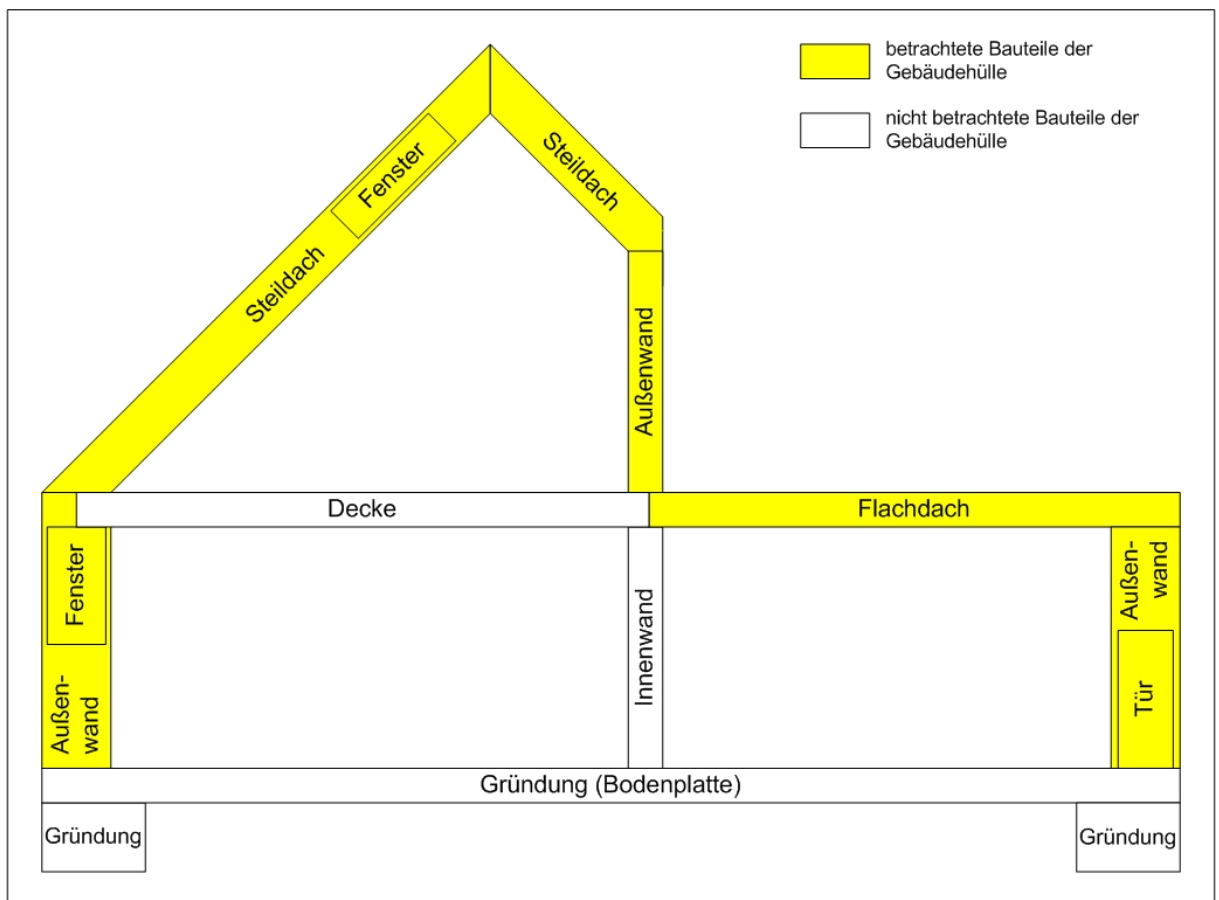


Abb. 1: Bauteile der Gebäudehülle

⁷ Vgl. WORMUTH, R. (Hrsg.); SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.): Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2000, S. 83

⁸ Vgl. ebenda, S. 276

2 Baustoffe der Gebäudehülle

Die Gebäudehülle von Immobilien kann aus verschiedenen auf dem Markt angebotenen bauspezifischen Systemen bestehen. Diese bauspezifischen Systeme bedürfen einer fachgerechten Ausführung nach den Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen, Verarbeitungsvorschriften sowie allgemein anerkannten Regeln der Technik⁹ (a. a. R. d. T.). Für die Ausführung der bauspezifischen Systeme werden unterschiedliche Arten von Baustoffen eingesetzt. Baustoffe lassen sich hierbei wie folgt definieren:

Ein **Baustoff** ist ein Stoff, der zur Herstellung von Bauteilen und Bauelementen verwendet wird und nach dessen Einbau Bestandteil des Bauwerks wird.¹⁰

Neben dem Begriff des Baustoffs wird in der einschlägigen Fachliteratur häufig auch von Material bzw. Baumaterial gesprochen.

„**Material** ist die zusammenfassende Bezeichnung für alle natürlichen und synthetischen Stoffe.“¹¹

Innerhalb dieser Arbeit wird lediglich der Begriff Baustoff verwendet. Die gängigsten Arten von Baustoffen für die Gestaltung der Gebäudehülle werden in Abb. 2 dargestellt und teilweise in Abschnitt IV3.3.3 näher erläutert.

⁹ Die allgemein anerkannten Regeln der Technik (a. a. R. d. T.) dienen als Grundlage für den Entwurf sowie die Ausführung baulicher Anlagen und werden in der Wissenschaft als theoretisch richtig anerkannt. Bei Technikern sind diese Regeln durchweg bekannt und gelten als Maßstab für die Erstellung von Bauwerken (vgl. KLOCKE, W.: Mein Haus wird älter – was tun?. Wiesbaden : Bauverlag, 1988, S.117; STEINHÖFEL, H.-J.: Sanierung von Flachdächern – Vorbereitung und Rechtsfragen. Köln : Rudolf Müller, 1986, S. 10).

¹⁰ Vgl. BRÜSSEL, W.: Baubetrieb von A bis Z. 4. Aufl. Düsseldorf : Werner Verlag, 2002, S. 83

¹¹ CZICHOS, H. (Hrsg.): Die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften. 30. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 1996, S. D1

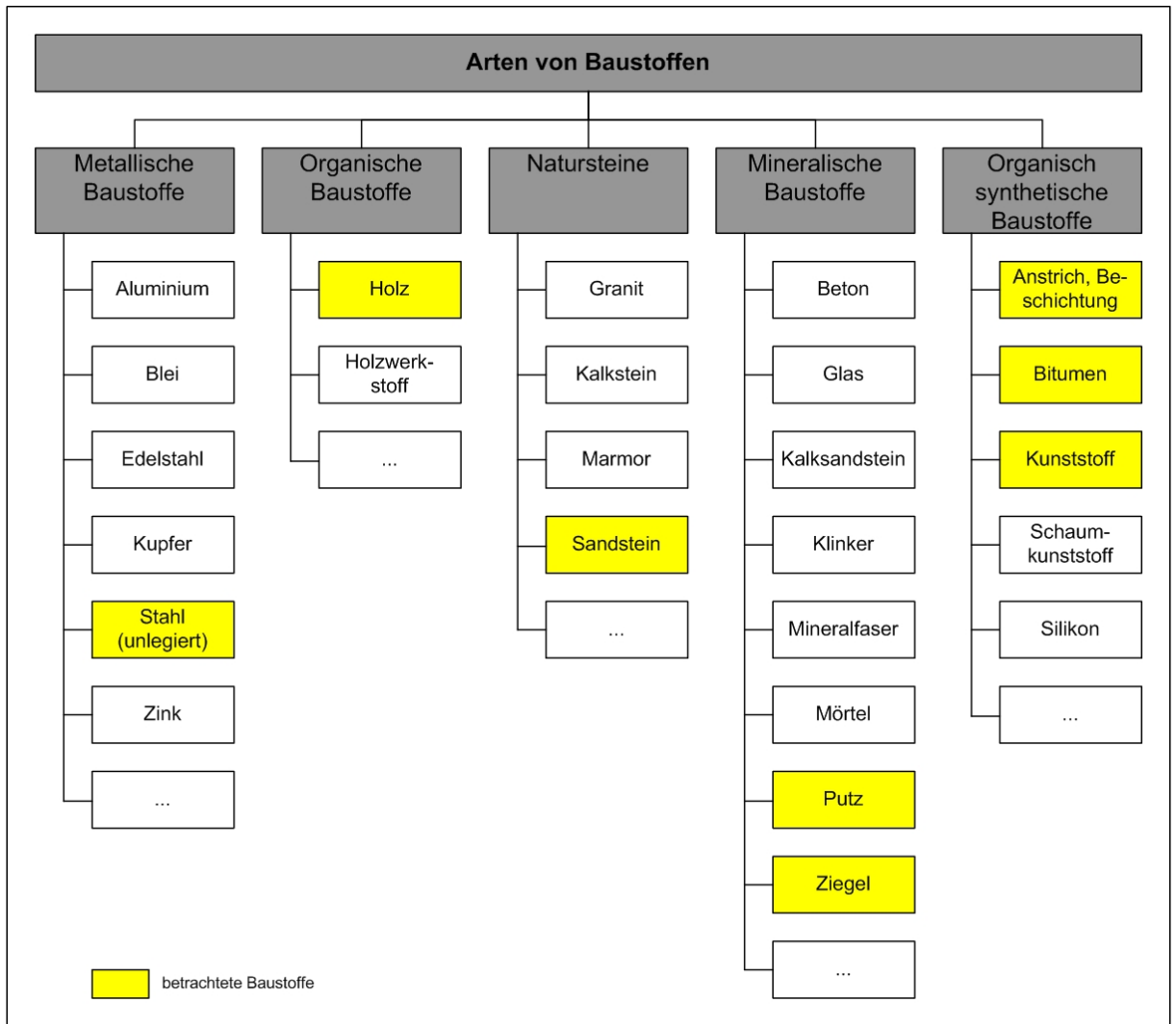


Abb. 2: Gängige Arten von Baustoffen¹²

¹² In Anlehnung an GRUNAU, E. B.: Lebenserwartung von Baustoffen – Funktionsdauer von Baustoffen und Bauteilen; Wirtschaftlichkeit durch langlebige Baustoffe. Braunschweig : Vieweg, 1980, S. V

3 Bauelementspezifische Gliederung der Gebäudehülle

Neben einer baustoffspezifischen Betrachtung der Gebäudehülle gemäß Abschnitt II2 ist eine elementspezifische Unterteilung sinnvoll. Hierbei werden bauspezifische Systeme auf Basis ihrer Bauelemente (Systemelemente) betrachtet, wie dies grundlegend Abb. 3 zeigt.

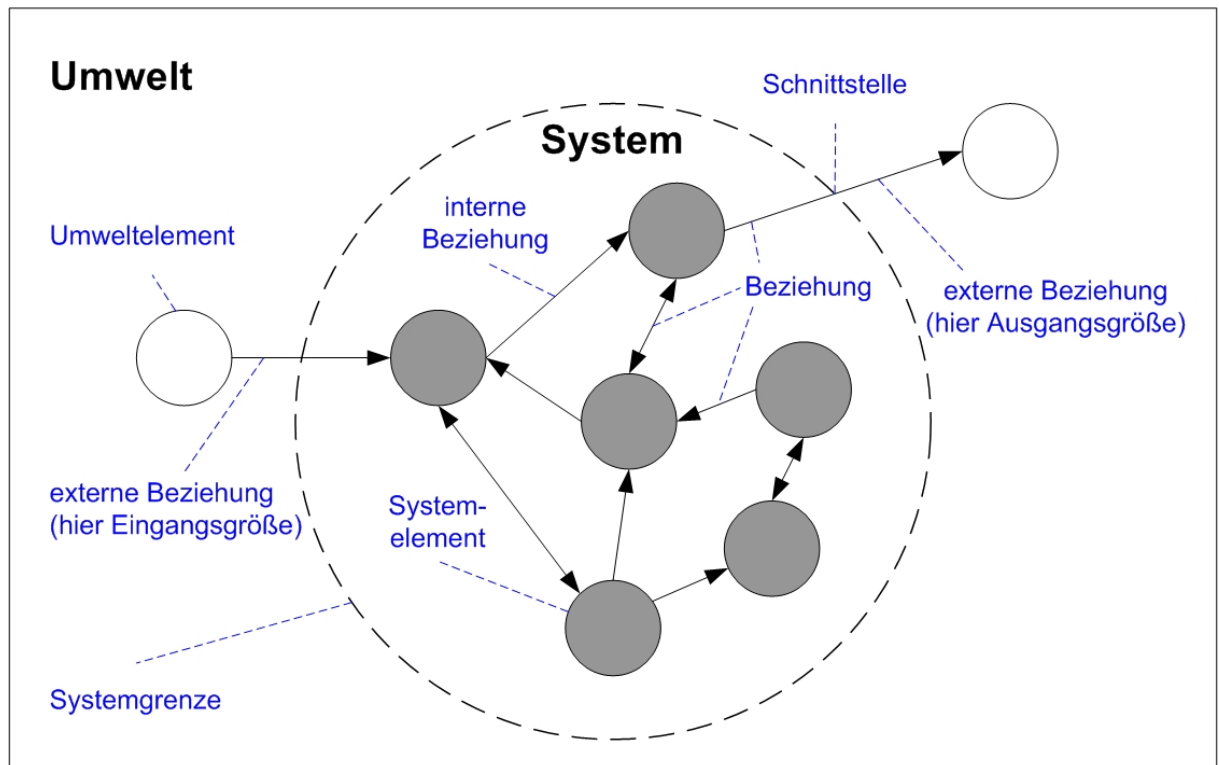


Abb. 3: Grundbegriffe zur Systemdefinition¹³

Ein **System** ist eine gegenüber der Umwelt abgegrenzte Gesamtheit von Systemelementen, die durch Beziehungen miteinander verknüpft sind.¹⁴

Ein Beispiel für ein bauspezifisches System ist ein Sparrendach mit den Systemelementen Dampfsperre, Sparren, Wärmedämmung, Unterspannbahn, Konterlattung, Lattung und Dachziegel.

¹³ Vgl. SCHULTE-ZURHAUSEN, M.: Organisation. 4. Aufl. München : Verlag Franz Vahlen, 2005, S. 36; SCHÖNFELDER, T.; SCHÖNFELDER, E.; SCHÖNFELDER, U.: Studienbuch Unternehmensorganisation. Meschede : Fachhochschule Südwestfalen, Wissenschaftliche Genossenschaft Südwestfalen eG, 2009, S. 42

¹⁴ Vgl. SCHULTE-ZURHAUSEN, M.: Organisation. 4. Aufl. München : Verlag Franz Vahlen, 2005, S. 36

Die **Systemelemente**, im Folgenden auch als Element und bauspezifisch als Bauelement bezeichnet, sind Träger verschiedener Eigenschaften und können sowohl untereinander als auch mit der Umwelt (auch Umgebung oder Systemumgebung genannt) in Beziehung stehen.¹⁵

Unter einem **Element** wird in Abhängigkeit von der Betrachtung die als unteilbar aufgefasste Einheit der untersten Betrachtungsebene verstanden.¹⁶

Demnach wird unter einem **Bauelement**, in Abhängigkeit von der Betrachtungsebene, die kleinste im Sinne der Betrachtung nicht weiter zu unterteilende Einheit innerhalb eines bauspezifischen Systems verstanden. So kann bspw. das bauspezifische System Außenwand in die Bauelemente Mauerwerk, Mörtel, Putz und Anstrich unterteilt werden.

Unter der **Systemgrenze** wird die Abgrenzung zwischen System und Umwelt verstanden.¹⁷

Unter **Beziehungen**, auch Relationen genannt, werden die Verbindungen zwischen den Elementen verstanden. Die Beziehungen können durch eine Richtungsangabe charakterisiert werden, wie dies in Abb. 3 durch Pfeile ausgedrückt ist. Die Beziehungen verdeutlichen, dass die Aktivitäten der einzelnen Systemelemente sich gegenseitig in ihrem Verhalten beeinflussen.¹⁸ Es wird zwischen internen und externen Beziehungen unterschieden.

¹⁵ Vgl. SCHÖNFELDER, T.; SCHÖNFELDER, E.; SCHÖNFELDER, U.: Studienbuch Unternehmensorganisation. Meschede : Fachhochschule Südwestfalen, Wissenschaftliche Genossenschaft Südwestfalen eG, 2009, S. 43

¹⁶ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN 40150 – Begriffe zur Ordnung von Funktions- und Baueinheiten. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 10-1979, S. 1

¹⁷ Vgl. SCHULTE-ZURHAUSEN, M.: Organisation. 4. Aufl. München : Verlag Franz Vahlen, 2005, S. 37

¹⁸ Vgl. SCHÖNFELDER, T.; SCHÖNFELDER, E.; SCHÖNFELDER, U.: Studienbuch Unternehmensorganisation. Meschede : Fachhochschule Südwestfalen, Wissenschaftliche Genossenschaft Südwestfalen eG, 2009, S. 43 f.

Interne Beziehungen liegen zwischen einzelnen Systemelementen sowie auch zwischen Unter- oder Teilsystemen vor, wobei jeweils die Ausgangsgröße zur Eingangsgröße wird.

Externe Beziehungen sind die Beziehungen zwischen dem System und seiner Umwelt.

Relevant werden Beziehungen bspw. bei der gegenseitigen Einflussnahme der Bauelemente (vgl. Abschnitt V1.6). So können sich die unterschiedlichen Bauelemente aufgrund ihrer baustofflichen Eigenschaften sowie deren Lage innerhalb des Systems positiv oder negativ beeinflussen.

Auch unterschiedliche Systeme können in Beziehung miteinander stehen, wobei eine Abgrenzung der Systeme und ihrer Systemelemente durch eine definierte Schnittstelle sinnvoll ist.

„Eine **Schnittstelle** ist ein Übergang an der Grenze zwischen dem System und der Umwelt, d. h., es wird hier eine Beziehung zerschnitten. Von Schnittstellen kann auch bei den Übergängen zwischen einzelnen Unter- oder Teilsystemen gesprochen werden.“¹⁹

¹⁹ SCHÖNFELDER, T.; SCHÖNFELDER, E.; SCHÖNFELDER, U.: Studienbuch Unternehmensorganisation. Meschede : Fachhochschule Südwestfalen, Wissenschaftliche Genossenschaft Südwestfalen eG, 2009, S. 47

In Deutschland hat sich für eine sinnvolle **bauelementspezifische Gliederung** von Gebäuden die Kostengliederung der DIN 276-1²⁰ etabliert. Innerhalb dieser Arbeit werden Bauelemente aus den folgenden Kostengruppen (KG) nach DIN 276-1 betrachtet, welche der Gebäudehülle (s. Abb. 4) zugeordnet werden können:

- KG 330 Außenwände
- KG 331 Tragende Außenwände
- KG 332 Nichttragende Außenwände
- KG 334 Außentüren und -fenster
- KG 335 Außenwandbekleidungen, außen
- KG 360 Dächer
- KG 361 Dachkonstruktionen
- KG 362 Dachfenster, Dachöffnungen
- KG 363 Dachbeläge.

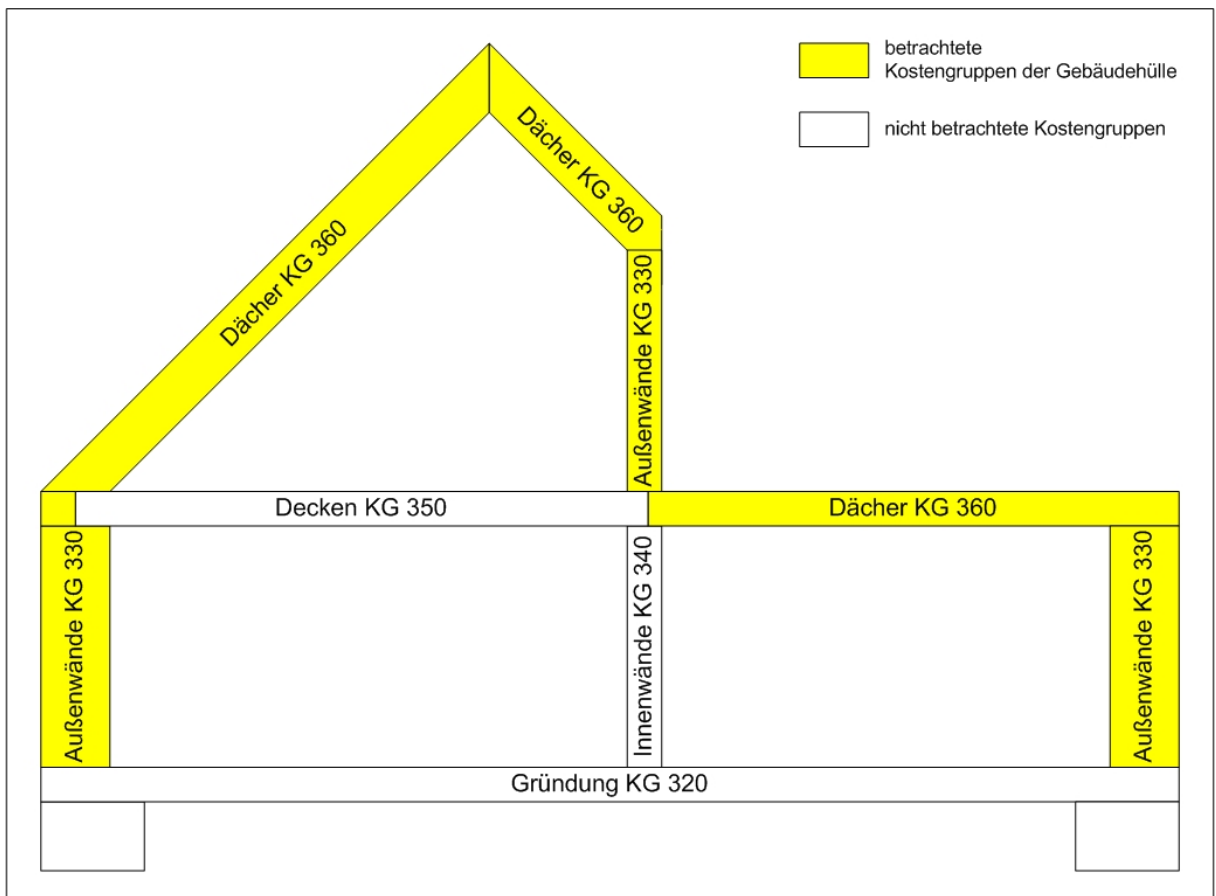


Abb. 4: Kostengruppen (KG) nach DIN 276-1 im Bezug auf die Gebäudehülle

²⁰ DIN (Hrsg.): DIN 276-1 – Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 11-2006

Innerhalb der DIN 276-1 werden Bauelemente bis zur dritten Ebene gegliedert, wobei dies ausschließlich funktional und ohne Differenzierung zu Konstruktion sowie Arten von Baustoffen geschieht.

Um bzgl. der Gebäudehülle eine entsprechende Instandhaltungsstrategie anwenden zu können, ist es erforderlich, eine **Bauelementgliederung** einzuführen. Dazu wird das der DIN 276-1 zugrundeliegende Ordnungssystem genutzt und um die folgenden Ebenen ergänzt:

- Ausführungsklasse (AK)
- Ausführungsart (AA).

Die **Ausführungsklasse** (AK) beschreibt die Art des Baustoffs, während die **Ausführungsart** (AA) Angaben zur Qualität mittels Qualitätsklassifikationen (bspw. Hart- oder Weichholz) enthält.²¹

Ggf. sollte darüber hinaus die Bauelementgliederung noch um die folgenden Ebenen ergänzt werden:

- Konstruktive Klasse²²
- Baustoffqualitätsklasse²³
- Bewitterungsklasse.²⁴

Die in dieser Ausarbeitung betrachteten Bauelemente (s. dazu Abschnitt IV3.3.3) werden in der so eingeführten Bauelementgliederung (Abb. 5 bis Abb. 7) farblich dargestellt. Übergeordnete Gliederungspunkte sind fett hervorgehoben, Bauelemente mit detaillierten Angaben zur Ausführungsart (AA) sind kursiv gekennzeichnet.

²¹ Siehe hierzu die erweiterte Bauelementgliederung gemäß Baukosteninformationszentrum (vgl. BKI (Hrsg.): BKI Baukosten 2008 Teil 2 – Statistische Kostenkennwerte für Bauelemente. Stuttgart : Rudolf Müller, 2008, S. 29).

²² Angabe, ob Bauelement für die Konstruktion statisch relevant oder irrelevant ist

²³ Angaben zur Baustoff- und Ausführungsqualität in Anlehnung an Abschnitt V1.2 und V1.3 sowie ggf. Angabe eines abgeminderten Referenz-Abnutzungsvorrats AV_{Ref} gemäß Abschnitt III1

²⁴ Angabe, ob Bauelement bewittert oder unbewittert ist

| Baelementgliederung | | | |
|---------------------|-----------|-----------|---------------------------------|
| KG | AK | AA | Bezeichnung |
| 330 | 00 | 00 | Außenwände |
| 331 | 00 | 00 | Tragende Außenwände |
| 331 | 10 | 00 | Mauerwerkswand |
| 331 | 11 | 00 | Betonsteine |
| 331 | 14 | 00 | Kalksandsteine |
| 331 | 16 | 00 | Mauerziegel |
| 331 | 17 | 00 | Natursteine |
| 331 | 17 | 10 | Kalksteine |
| 331 | 17 | 20 | Sandsteine |
| 331 | 19 | 00 | Sonstiges |
| 331 | 19 | 10 | Mauermörtel |
| 331 | 20 | 00 | Betonwand |
| 331 | 21 | 00 | Ortbetonwand, schwer |
| 331 | 24 | 00 | Fertigteil, schwer |
| 332 | 00 | 00 | Nichttragende Außenwände |
| 332 | 10 | 00 | Mauerwerkswand |
| 332 | 11 | 00 | Betonsteine |
| 332 | 14 | 00 | Kalksandsteine |
| 332 | 16 | 00 | Mauerziegel |
| 332 | 17 | 00 | Natursteine |
| 332 | 17 | 10 | Kalksteine |
| 332 | 17 | 20 | Sandsteine |
| 332 | 19 | 00 | Sonstiges |
| 332 | 19 | 10 | Mauermörtel |
| 332 | 20 | 00 | Betonwand |
| 332 | 21 | 00 | Ortbetonwand, schwer |
| 332 | 24 | 00 | Fertigteil, schwer |
| 334 | 00 | 00 | Außentüren und -fenster |
| 334 | 10 | 00 | Türen |
| 334 | 11 | 00 | Ganzglas |
| 334 | 12 | 00 | Holz |
| 334 | 13 | 00 | Kunststoff |
| 334 | 16 | 00 | Aluminium |
| 334 | 20 | 00 | Fenstertüren |
| 334 | 21 | 00 | Ganzglas |
| 334 | 22 | 00 | Holz |
| 334 | 23 | 00 | Kunststoff |
| 334 | 26 | 00 | Aluminium |
| 334 | 60 | 00 | Fenster |
| 334 | 61 | 00 | Ganzglas |
| 334 | 62 | 00 | Holz |
| 334 | 63 | 00 | Kunststoff |
| 334 | 66 | 00 | Aluminium |

betrachtete Baelemente

Abb. 5: Baelementgliederung in Anlehnung an die DIN 276-1²⁵ (1 von 3)

²⁵ DIN (Hrsg.): DIN 276-1 – Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 11-2006

| Baelementgliederung | | | |
|---------------------|-----------|-----------|---|
| KG | AK | AA | Bezeichnung |
| 330 | 00 | 00 | Außenwände |
| 331 | 00 | 00 | Tragende Außenwände |
| 335 | 00 | 00 | Außenwandbekleidungen, außen |
| 335 | 10 | 00 | Unterkonstruktion |
| 335 | 17 | 00 | Dämmung |
| 335 | 20 | 00 | Oberflächenbehandlung |
| 335 | 21 | 00 | Anstrich |
| 335 | 22 | 00 | Beschichtungen |
| 335 | 29 | 00 | Imprägnierung |
| 335 | 29 | 10 | auf Holz |
| 335 | 29 | 20 | auf Mauerwerk |
| 335 | 29 | 30 | auf Beton |
| 335 | 29 | 40 | auf Kalk- und Zementputze |
| 335 | 29 | 50 | auf Beschichtungen |
| 335 | 30 | 00 | Putz |
| 335 | 31 | 00 | Putz |
| 335 | 31 | 10 | Kalk- und Zementputze |
| 335 | 31 | 20 | Silikatputze und Dispersions-Silikatputze |
| 335 | 31 | 30 | Kunstharpitze |
| 335 | 31 | 40 | Silikonharpitze |
| 335 | 36 | 00 | Wärmedämmung, Putz (WDVS) |
| 335 | 36 | 10 | Kalk- und Zementputze |
| 335 | 36 | 20 | Silikatputze und Dispersions-Silikatputze |
| 335 | 36 | 30 | Kunstharpitze |
| 335 | 36 | 40 | Silikonharpitze |
| 335 | 40 | 00 | Bekleidung und Unterkonstruktion |
| 335 | 42 | 00 | Beton |
| 335 | 43 | 00 | Glas |
| 335 | 44 | 00 | Holz |
| 335 | 46 | 00 | Kunststoff |
| 335 | 47 | 00 | Metall |
| 335 | 47 | 10 | Stahlblech |
| 335 | 47 | 20 | Aluminiumblech |
| 335 | 47 | 30 | Kupferblech |
| 335 | 47 | 40 | Zinkblech |
| 335 | 50 | 00 | Verblendung |
| 335 | 52 | 00 | Betonwerksteine |
| 335 | 54 | 00 | Mauerwerk |
| 335 | 54 | 10 | Kalksandsteine |
| 335 | 54 | 20 | Ziegel und Klinker |
| 335 | 55 | 00 | Natursteine |
| 335 | 55 | 10 | Kalksteine |
| 335 | 55 | 20 | Sandsteine |
| 335 | 56 | 00 | Holz |

betrachtete Bauelemente

Abb. 6: Bauelementgliederung in Anlehnung an die DIN 276-1²⁶ (2 von 3)

²⁶ DIN (Hrsg.): DIN 276-1 – Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 11-2006

| Baelementgliederung | | | |
|---------------------|-----------|-----------|---|
| KG | AK | AA | Bezeichnung |
| 360 | 00 | 00 | Dächer |
| 361 | 00 | 00 | Dachkonstruktionen |
| 361 | 40 | 00 | Holzkonstruktionen, Holzträgerkonstruktionen |
| 361 | 41 | 00 | Vollholzbalken |
| 361 | 42 | 00 | Brettschichtholzbalken |
| 362 | 00 | 00 | Dachfenster, Dachöffnungen |
| 362 | 10 | 00 | Dachflächenfenster |
| 362 | 11 | 00 | Holz |
| 362 | 14 | 00 | Kunststoff |
| 362 | 15 | 00 | Metall |
| 362 | 15 | 10 | Aluminium |
| 363 | 00 | 00 | Dachbeläge |
| 363 | 10 | 00 | Abdichtung |
| 363 | 11 | 00 | Abdichtung |
| 363 | 11 | 10 | Bitumenbahnen |
| 363 | 11 | 20 | Kunststoffbahnen |
| 363 | 12 | 00 | Kiesfilter |
| 363 | 20 | 00 | Wärmedämmung |
| 363 | 21 | 00 | Wärmedämmung |
| 363 | 21 | 10 | Schaumkunststoff-Wärmedämmung |
| 363 | 21 | 20 | Mineralfaser-Wärmedämmung |
| 363 | 30 | 00 | Dachsteine |
| 363 | 31 | 00 | Ziegel |
| 363 | 33 | 00 | Betondachstein |
| 363 | 50 | 00 | Metall |
| 363 | 51 | 00 | Aluminiumblech |
| 363 | 53 | 00 | Kupferblech |
| 363 | 55 | 00 | Stahlblech |
| 363 | 57 | 00 | Zinkblech |
| 363 | 70 | 00 | Dachentwässerung |
| 363 | 71 | 00 | Zink |
| 363 | 72 | 00 | Kupfer |
| 363 | 73 | 00 | Kunststoff |
| 363 | 74 | 00 | Aluminium |

betrachtete Bauelemente

Abb. 7: Bauelementgliederung in Anlehnung an die DIN 276-1²⁷ (3 von 3)

Neben der Gliederungsmöglichkeit nach DIN 276-1 werden Bauelemente häufig gemäß DIN 18960²⁸ geordnet. Hierbei wird nicht in Kostengruppen sondern in Nutzungskostengruppen unterschieden. Aufgrund der bauelementspezifischen Ausrichtung dieser Arbeit wird auf die DIN 18960 nicht eingegangen.

²⁷ DIN (Hrsg.): DIN 276-1 – Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 11-2006

²⁸ DIN (Hrsg.): DIN 18960 – Nutzungskosten im Hochbau. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 02-2008

Zusammenfassend lässt sich ein Gebäude in bauspezifische Systeme gemäß Abb. 8 unterteilen, die wiederum in Bauelemente gegliedert werden können, welche aus unterschiedlichen Baustoffen gemäß Abb. 2 bestehen können.

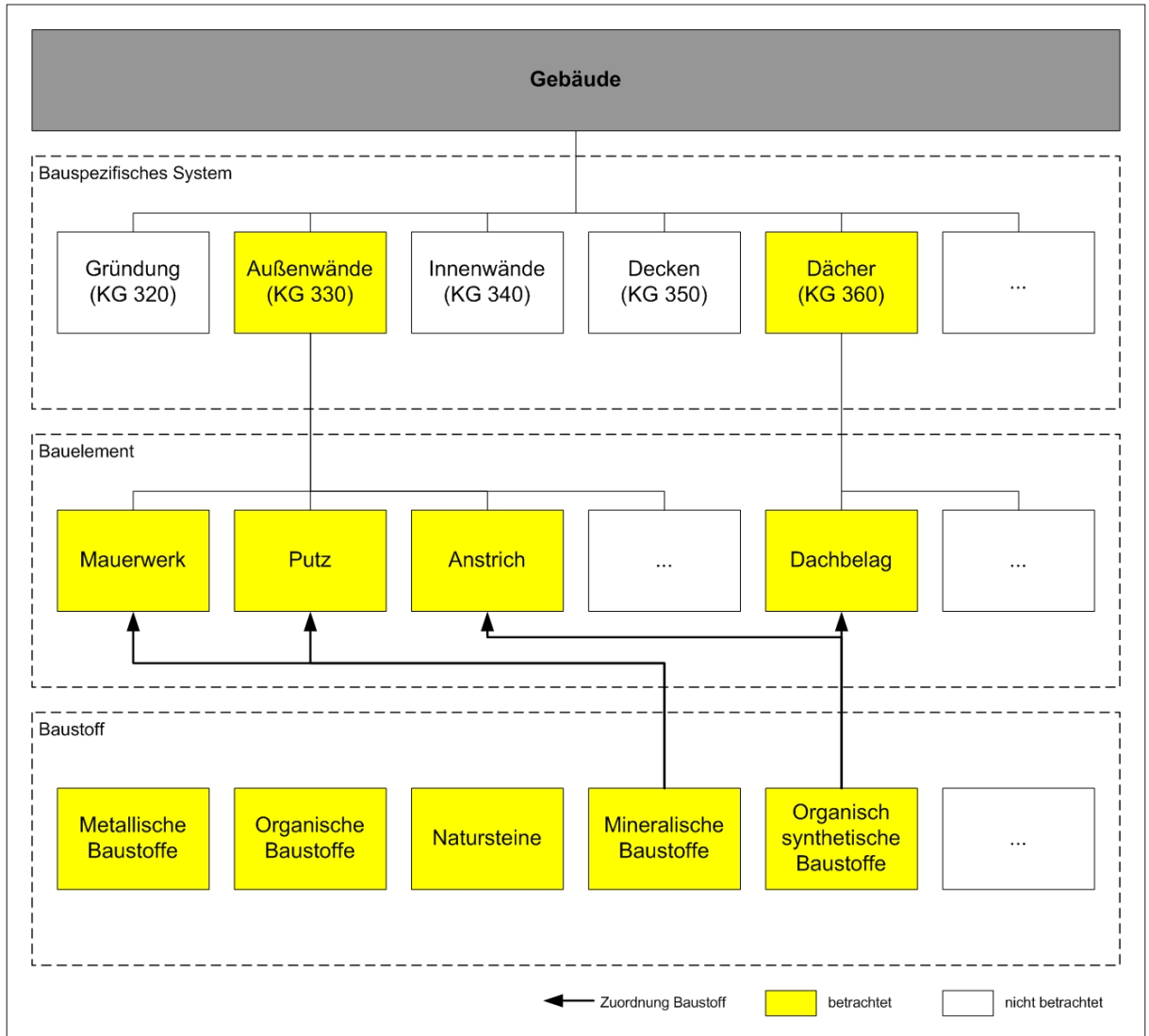


Abb. 8: Beispiel einer bauelementspezifischen Gliederung eines Gebäudes

III Grundlagen für Instandhaltungsstrategien

1 Abnutzungsvorrat und Lebensdauer von Baustoffen

In der einschlägigen Fachliteratur werden die unterschiedlichsten Begriffe für die unerwünschte Veränderung von Bauelementen und ihrer Baustoffe verwendet. Neben den Begriffen wie Alterung²⁹, Ermüdung, Veränderung, Verschleiß, Versagen, Zerstörung oder Ausfall werden im Zuge dieser Arbeit lediglich die nach DIN 31051³⁰ definierten und im Folgenden aufgeführten Begriffe verwendet:

- Abnutzung
- Abnutzungsvorrat
- Abnutzungsgrenze.

Unter der **Abnutzung** A wird der Abbau des Abnutzungsvorrats AV verstanden, welcher durch chemische, biologische bzw. physikalische Vorgänge hervorgerufen wird.³¹

Chemische, biologische bzw. physikalische Vorgänge können der materiellen Abnutzung zugeordnet werden (vgl. Abb. 9) im Gegensatz zur immateriellen Abnutzung, welche durch Wertverlust infolge wachsender Anforderungen, Ansprüche oder technologischer Fortschritte verursacht wird.

²⁹ Siehe dazu DIN (Hrsg.): DIN 50035 – Begriffe auf dem Gebiet der Alterung von Materialien – Teil 1: Grundbegriffe. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 03-1989

³⁰ DIN (Hrsg.): DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2003

³¹ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2003, S. 5; KLINGENBERGER, J.: Modell zur Bildung von Strategien der Instandhaltung für Gebäude. In: Bauingenieur (2008), Heft 83, S. 100

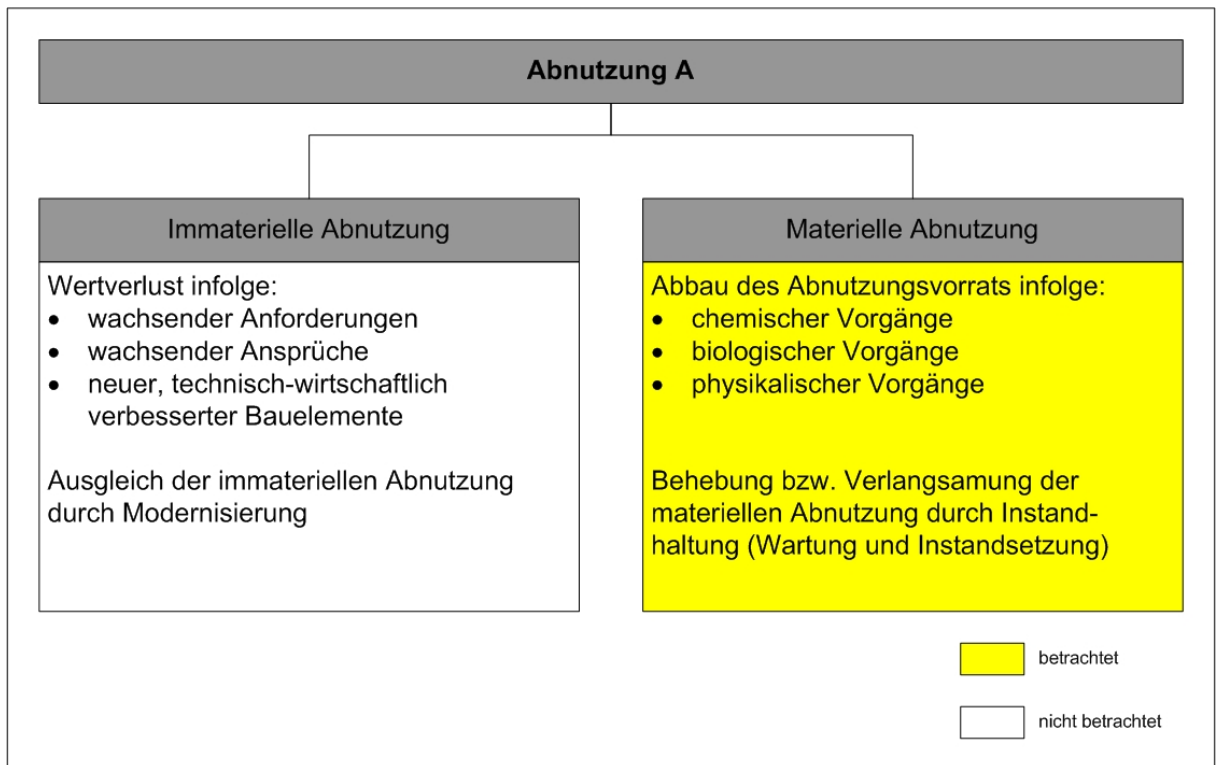


Abb. 9: Arten von Abnutzung³²

Die **immaterielle Abnutzung** lässt sich durch Modernisierungen entscheidend ausgleichen und wird im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet.

Die **materielle Abnutzung** lässt sich i. d. R. durch Instandsetzungen beheben und durch Wartungsmaßnahmen verlangsamen (s. dazu Abschnitt III2).

³² In Anlehnung an KRUG, K.-E.: Wirtschaftliche Instandhaltung von Wohngebäuden durch methodische Inspektion und Instandsetzungsplanung. Braunschweig, Technische Universität, Fachbereich für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Dissertation, 1985, S. 11; OTTO, J.: Wissensintensives Facility Management – Grundlagen und Anwendungen. Renningen : Expert Verlag, 2006, S. 180 f.; KRIMMLING, J.: Facility Management – Strukturen und methodische Instrumente. Stuttgart : IRB Verlag, 2005, S. 90

Die Abnutzung A ist unvermeidbar und bewirkt innerhalb des betrachteten Zeitabschnitts T_n eine Abminderung des sog. Abnutzungsvorrats (s. Abb. 10). Unter dem **Abnutzungsvorrat AV** versteht die DIN 31051 den

„Vorrat der möglichen Funktionserfüllungen unter festgelegten Bedingungen, der einer Betrachtungseinheit aufgrund der Herstellung, Instandsetzung oder Verbesserung innewohnt.“³³

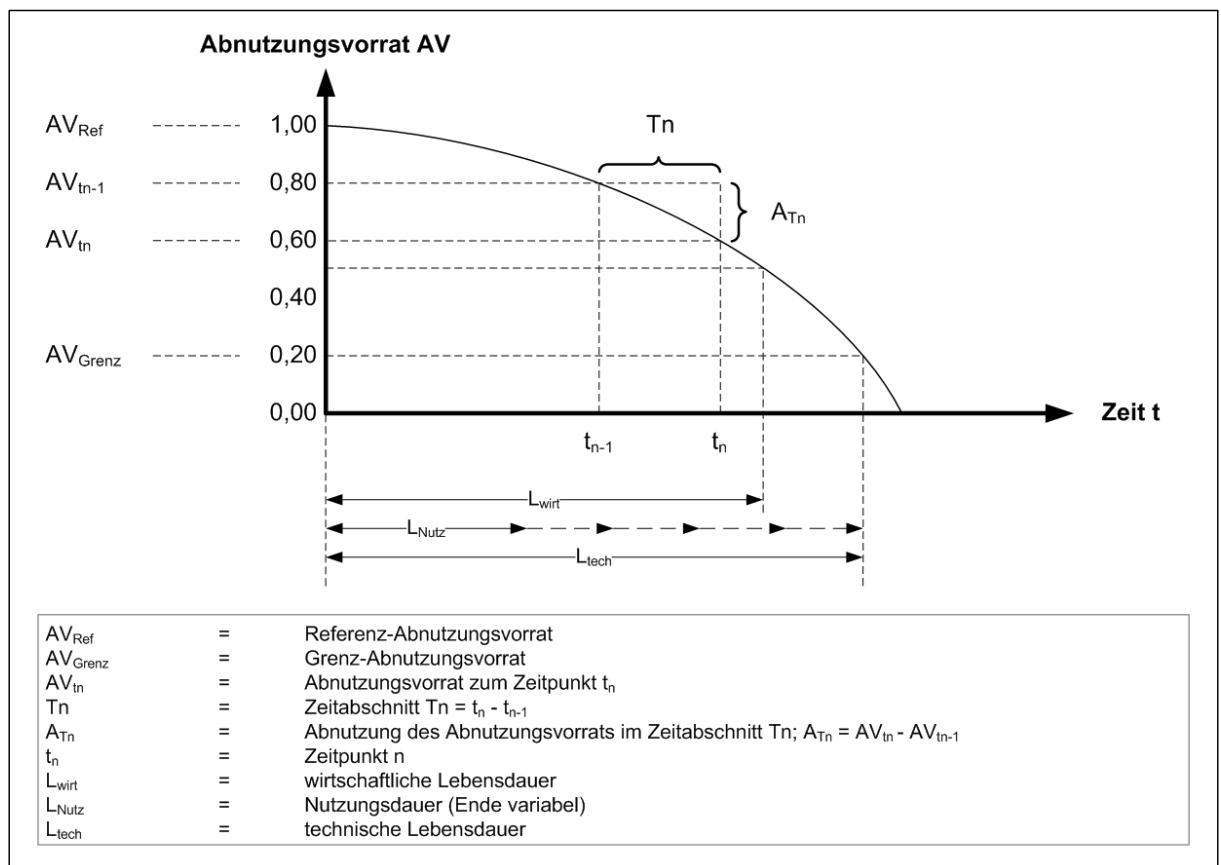


Abb. 10: Beispiel für den Abbau des Abnutzungsvorrats AV durch Abnutzung A³⁴

³³ DIN (Hrsg.): DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2003, S. 5

³⁴ Im Rahmen einer mathematischen Betrachtung sollte allgemein von „Veränderung des Abnutzungsvorrats“ zwischen dem jetzigen Zeitpunkt und einem früheren Zeitpunkt gesprochen werden. Ist die Veränderung des Abnutzungsvorrats negativ, so handelt es sich hierbei um eine Abnutzung A gemäß Abb. 10; ist die Veränderung positiv, so handelt es sich um eine Erhöhung E gemäß Abb. 16 und Abb. 17 (Beispielabbaukurve in Anlehnung an IP BAU (Hrsg.): Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten – Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1994).

Der Abnutzungsvorrat mit dem Wert 1,0 wird als Referenz-Abnutzungsvorrat bezeichnet.

Der **Referenz-Abnutzungsvorrat** AV_{Ref} definiert sich aus der Baustoff- und Ausführungsqualität³⁵, d. h. diejenigen Eigenschaften des Baustoffs, welche einerseits durch den Herstellungsprozess und andererseits durch den Ausführungsprozess auf der Baustelle vor Ort erreicht werden. Relevant für den Referenz-Abnutzungsvorrat sind die Materialwahl, Materialkombination, Materialgüte, Materialverträglichkeit, Materialverarbeitung, ggf. die Konstruktionsart sowie der Grad der Übereinstimmung zwischen Konzeptqualität und tatsächlich realisierter Qualität.³⁶

Der Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} , der auch als Referenz-Zustand bezeichnet werden kann, wird nur dann erreicht, wenn alle relevanten Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen, Verarbeitungsvorschriften sowie a. a. R. d. T. erfüllt sind und eine Abnahme erfolgte. Werden die oben genannten Vorgaben nicht eingehalten, d. h., es treten Defizite bei der Herstellung des Baustoffs bzw. bei dessen Verarbeitung auf, so liegt der sich daraus ergebene Abnutzungsvorrat unterhalb des Referenz-Abnutzungsvorrats AV_{Ref} von 1,0.

Ausgehend vom Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} baut sich der Abnutzungsvorrat durch die in Abschnitt V1.4 und V1.5 aufgeführten chemischen, biologischen und physikalischen Vorgänge ab. Dieses Abnutzungsverhalten wird durch die sog. **Abbaukurve** (ABK) des Abnutzungsvorrats beschrieben und kann je nach Bauelement und Einflussfaktoren unterschiedlich verlaufen. Eine beispielhafte Darstellung eines Abbauperlaufs zeigt Abb. 10.

³⁵ Siehe dazu Abschnitt V1.2 und V1.3

³⁶ In Anlehnung an GABLER (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon – Taschenbuch-Kassette mit 10 Bd. – Band 1 – A. 14. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997, S. 313; ISO (Hrsg.): ISO 15686-1 – Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles. Geneva : International Organization for Standardization, 09-2000, S. 26

Ist ein Bauelement soweit abgenutzt, dass seine Gebrauchs- bzw. Funktionstüchtigkeit nicht mehr gegeben ist – i. d. R. liegt hierbei ein Ausfall³⁷ vor – so ist der Grenz-Abnutzungsvorrat AV_{Grenz} (in der DIN 31051 als Abnutzungsgrenze bezeichnet) erreicht.

Der **Grenz-Abnutzungsvorrat** (Abnutzungsgrenze) AV_{Grenz} ist der vereinbarte oder festgelegte Mindestwert des Abnutzungsvorrats.³⁸

In Abb. 10 liegt der Grenz-Abnutzungsvorrat AV_{Grenz} bei einem Wert von 0,20.³⁹ Es können jedoch nach Betrachtungsweise bzw. Erkenntnisstand auch andere Werte für den Grenz-Abnutzungsvorrat AV_{Grenz} angesetzt werden.⁴⁰ Ist der Grenz-Abnutzungsvorrat AV_{Grenz} erreicht, so endet die technische Lebensdauer L_{tech} des Bauelements.

Die **technische Lebensdauer** L_{tech} ist die Zeit (bzw. der Zeitabschnitt), in welcher der Abnutzungsvorrat AV einer Betrachtungseinheit unter Einbeziehung der notwendigen und üblichen Instandhaltungsmaßnahmen (z. B. Wartung) sowie Schutzmaßnahmen aufgrund Beziehungen zwischen den Bauelementen (z. B. Schutzanstrich auf einer Betrachtungseinheit) bis auf AV_{Grenz} verbraucht wird. Die technische Lebensdauer endet, wenn die Betrachtungseinheit ihre erwünschte Funktion nicht mehr erfüllen kann und eine Reparatur technisch nicht mehr sinnvoll ist.⁴¹

³⁷ Ein Ausfall beschreibt die Beendigung der Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion zu erfüllen (Vgl. DIN (Hrsg.): DIN EN 13306 – Begriffe der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 09-2001, S. 15).

³⁸ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2003, S. 5

³⁹ In Anlehnung an IP BAU (Hrsg.): Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten – Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1994, S. 9

⁴⁰ Ein Beispiel stellt hierfür der Ansatz der IP Bau z. B. für Steil- und Flachdächer mit den Werten 0,30 bzw. 0,55 dar (vgl. IP BAU (Hrsg.): Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten – Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1994, S. 15).

⁴¹ In Anlehnung an SIMONS, K.; HIRSCHBERGER, H.; STÖLTING, D.: Lebensdauer von Bauteilen und Baustoffen – Abschlussbericht. Bonn : Technische Universität Braunschweig, 1987, S. 3; IRB (Hrsg.): Lebensdauer der Baustoffe und Bauteile zur Harmonisierung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer im Wohnungsbau. Hannover : IRB Verlag, 2005, S. 11; IFB (Hrsg.): Bauunterhaltungskosten beanspruchter Bauteile in Abhängigkeit von Baustoffen und Baukonstruktionen. Hannover : IRB Verlag, 2001, S. 20

Neben der technischen Lebensdauer L_{tech} wird in der Fachliteratur häufig von wirtschaftlicher Lebensdauer und Nutzungsdauer gesprochen (vgl. Abb. 10).⁴²

Die **wirtschaftliche Lebensdauer** L_{wirt} ist die Zeit, in der die Betrachtungseinheit wirtschaftlich, d. h. in einem vorgegebenen Kostenrahmen, genutzt werden kann. Sie ist für die meisten Betrachtungseinheiten kürzer als die technische Lebensdauer.⁴³

Die **Nutzungsdauer** L_{Nutz} ist die Zeit, in der die Betrachtungseinheit tatsächlich genutzt wird, d. h., es findet eine bestimmungsgemäße und den a. a. R. d. T. entsprechende Verwendung statt. Sie ist meistens kürzer als die technische Lebensdauer.⁴⁴

Die Länge der technischen Lebensdauer L_{tech} und damit verbunden der Abbau des Abnutzungsvorrats AV sind abhängig von den im Folgenden aufgeführten Einflussfaktoren, welche im Kapitel V betrachtet werden:

- Einflussfaktor Baustoffqualität
- Einflussfaktor Ausführungsqualität
- Natürliche Einflussfaktoren
- Menschliche Einflussfaktoren
- Beziehungen zwischen den Bauelementen
- Einflussfaktor Instandhaltung.

⁴² Zu Lebens- und Nutzungsdauern s. PFEIFFER, M.; BEHTE, A.; FANSLAU-GÖRLITZ, D.: Nutzungsdauertabellen für Wohngebäude – Lebensdauer von Bau- und Anlagenteilen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2010; HAUPTVERBAND DER ALLGEMEIN BEEIDETEN UND GERICHTLICH ZERTIFIZIERTEN SACHVERSTÄNDIGEN ÖSTERREICHS (Hrsg.): Nutzungsdauerkatalog baulicher Anlagen und Anlagenteile. 3. Aufl. Graz : SV-Landesverband Steiermark und Kärnten, 2006; IEMB (Hrsg.): Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten. Berlin : Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V., 2006

⁴³ In Anlehnung an SIMONS, K.; HIRSCHBERGER, H.; STÖLTING, D.: Lebensdauer von Bauteilen und Baustoffen – Abschlussbericht. Bonn : Technische Universität Braunschweig, 1987, S. 3; IRB (Hrsg.): Lebensdauer der Baustoffe und Bauteile zur Harmonisierung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer im Wohnungsbau. Hannover : IRB Verlag, 2005, S. 11

⁴⁴ In Anlehnung an SIMONS, K.; HIRSCHBERGER, H.; STÖLTING, D.: Lebensdauer von Bauteilen und Baustoffen – Abschlussbericht. Bonn : Technische Universität Braunschweig, 1987, S. 3; DIN (Hrsg.): DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2003, S. 6

Bislang ist i. Allg. der Abbau des Abnutzungsvorrats AV von Immobilien und im Speziellen von Bauelementen unzureichend erforscht. Theoretisch kann die Änderung des Abnutzungsvorrats AV in Abhängigkeit der oben aufgeführten Einflussfaktoren vielfältige Abbaukurven (degressiv fallend, progressiv fallend, linear fallend, Mischform usw.) annehmen. Die einschlägige Fachliteratur⁴⁵ beschreibt hierbei die im Folgenden aufgeführten **Typen von Abbaukurven**, welche in Abb. 11 dargestellt sind.

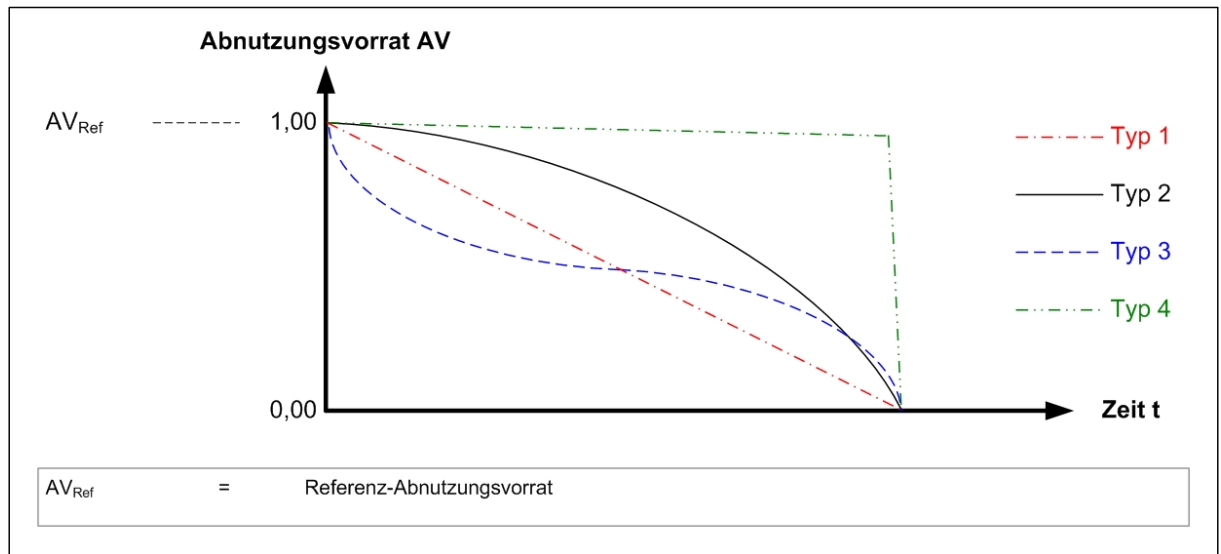


Abb. 11: Beispiele für Typen von Abbaukurven⁴⁶

Bei einem **linear fallenden Verlauf** (Typ 1) bleibt die Abnutzung A über den Betrachtungszeitraum konstant. Beispiele hierfür sind der Abrieb eines Bodenbelags und Korrosionsvorgänge. Der lineare Verlauf dient bei den meisten Bauelementen der modellhaften Annäherung an die Realität, ist aber oftmals nicht wissenschaftlich belegt.⁴⁷

⁴⁵ Vgl. SCHRÖDER, J.: Zustandsbewertung grosser Gebäudebestände. In: Schweizer Ingenieur und Architekt (1989), Heft 17, S. 452 f.; KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 83 ff.; MEYER-MEIÉRLING, P.: Gesamtleitung von Bauten – Ein Lehrbuch der Projektsteuerung. Zürich: Hochschul-Verlag, 2000, S. 384; DIN (Hrsg.): DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2003, S. 6; LBB (Hrsg.): Geplante Instandhaltung – Ein Verfahren zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Aachen: LBB, 1995, S. 12

⁴⁶ Vgl. LBB (Hrsg.): Geplante Instandhaltung – Ein Verfahren zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Aachen: LBB, 1995, S. 12

⁴⁷ Vgl. KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 85; LBB (Hrsg.): Geplante Instandhaltung – Ein Verfahren zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Aachen: LBB, 1995, S. 12

Bei einem **progressiv fallenden Verlauf** (Typ 2) nach Wertermittlungsrichtlinie WertR 2006 nimmt die Abnutzung im Betrachtungszeitraum stetig zu. Der Verlauf basiert auf der Annahme, dass zum Erstellungszeitpunkt eines Bauelements die Abnutzung minimal ist und sich mit zunehmender Lebensdauer beschleunigt.⁴⁸ Beispiele hierfür sind laut Fachliteratur der Verlauf der Abnutzung bei den baurelevanten Systemen Fassade, Dach, Fenster und Rohbau.⁴⁹

Bei einem **s-kurvigen Verlauf** (Typ 3, Mischform eines degressiv fallenden⁵⁰ und progressiv fallenden Verlaufs) ist der Abbau des Abnutzungsvorrats AV in der ersten und der letzten Lebensphase deutlich stärker als in der mittleren. Beispiel hierfür ist der Abnutzungsverlauf von Zahnrädern (hoher Anfangsverschleiß bei der Inbetriebnahme aufgrund eines Maximums an zu verschleißendem Zahnmaterial sowie hoher Endverschleiß aufgrund von Materialermüdung).⁵¹

Bei einem **eckigen Verlauf** (Typ 4) bleibt der Abnutzungsvorrat AV zunächst nahezu konstant und fällt mit einem Mal auf null ab.⁵² Mit diesem Verlauf werden Bauteile aus der Elektrotechnik beschrieben, welche einen plötzlichen Komplettausfall aufweisen (bspw. Leuchtdioden (LED)).⁵³

⁴⁸ Vgl. KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 84

⁴⁹ Vgl. CHRISTEN, K.; MEYER-MEIERLING, P.: Optimierung von Instandsetzungszyklen und deren Finanzierung bei Wohnbauten. Zürich : vdf Hochschulverlag, 1999, S. 80; BUERGEL-GOODWIN, E.: Vergleichende Studie zu Erneuerung, Unterhalt und Betrieb von Bestandsgebäuden auf Bauteilebene. Karlsruhe, Technische Universität, Fakultät für Architektur, Diplomarbeit, 2004, S. 25

⁵⁰ Bzgl. der Darstellung eines degressiv fallenden Kurvenverlaufs s. PREISLER, P. R.; PREISLER, G.: Lexikon Controlling. 2. Aufl. Landsberg am Lech : mi-Fachverlag, 2007, S. 190; BREUER, W.: Investition 1 – Entscheidungen bei Sicherheit. 3. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 2007, S. 29; RÜTH, D.: Kostenrechnung 1. 2. Aufl. München : Oldenbourg Verlag, 2006, S. 15 f.

⁵¹ Vgl. KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 84; LBB (Hrsg.): Geplante Instandhaltung – Ein Verfahren zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Aachen : LBB, 1995, S. 12

⁵² Vgl. BECKMANN, G.; MARX, D.: Instandhaltung von Anlagen – Methoden, Organisation, Planung. 4. Aufl. Leipzig : Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1994, S. 50

⁵³ Vgl. LBB (Hrsg.): Geplante Instandhaltung – Ein Verfahren zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Aachen : LBB, 1995, S. 12

2 Beeinflussung des Abnutzungsvorrats durch Instandhaltung

2.1 Instandhaltungsbegriff und -normen

In der Fachliteratur wie auch in den entsprechenden Normen werden die unterschiedlichsten **Begriffe** für die Wahrung bzw. Wiederherstellung der Bausubstanz von Immobilien gegeben. Neben Begriffen wie Sanierung, Restaurierung, Mängelbeseitigung, Reparatur, Unterhalt, Erhalt, Modernisierung, Erneuerung oder Ersatz werden im Zuge dieser Arbeit lediglich die nach **DIN 31051**⁵⁴ (s. Abb. 12) definierten und im Folgenden aufgeführten Begriffe verwendet:

- Instandhaltung
- Inspektion
- Wartung
- Instandsetzung
- Verbesserung.

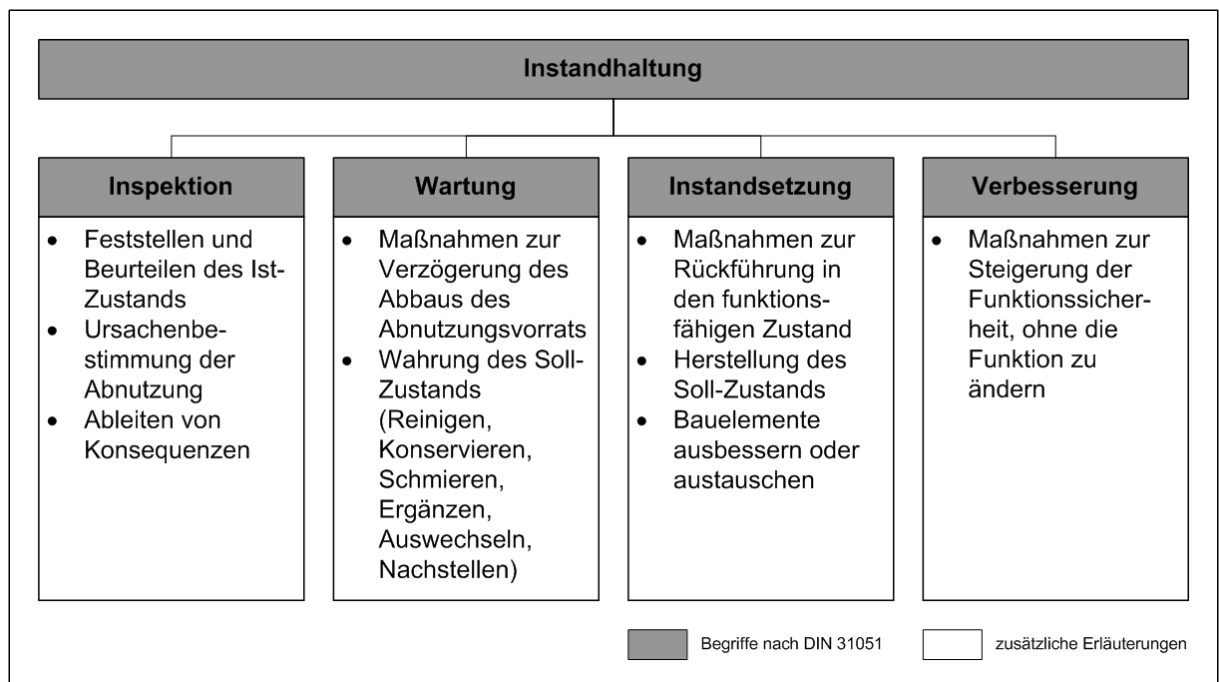


Abb. 12: Instandhaltung in Anlehnung an die DIN 31051⁵⁵

⁵⁴ DIN (Hrsg.): DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2003

⁵⁵ In Anlehnung an KLINGENBERGER, J.: Modell zur Bildung von Strategien der Instandhaltung für Gebäude. In: Bauingenieur (2008), Heft 83, S. 100; ADAMS, H. W.; SLAGHUIS, H.: Was der Instandhalter vom Recht wissen muß – Mit 25 Beispielen aus der Rechtspraxis. 3. Aufl. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1997, S. 16

Neben der DIN 31051 wird die Instandhaltung auch in anderen **Normen** bzw. anerkannten Regelwerken thematisiert. Hierzu sind folgende gängige Quellen zu nennen, die jedoch innerhalb dieser Arbeit nicht betrachtet werden:

- DIN EN 13306⁵⁶
- DIN 18960⁵⁷
- DIN 32736⁵⁸
- GEFMA 200⁵⁹
- HOAI (§ 3)⁶⁰
- SIA 469⁶¹
- VDI 2885.⁶²

Die DIN 31051 versteht unter der **Instandhaltung** die

„Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Betrachtungseinheit zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustands oder der Rückführung in diesen, so dass sie die geforderte Funktion erfüllen kann.“⁶³

⁵⁶ DIN (Hrsg.): DIN EN 13306 – Begriffe der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 09-2001

⁵⁷ DIN (Hrsg.): DIN 18960 – Nutzungskosten im Hochbau. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 02-2008

⁵⁸ DIN (Hrsg.): DIN 32736 – Gebäudemanagement – Begriffe und Leistungen. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 08-2000

⁵⁹ GEFMA (Hrsg.): GEFMA 200 – Kosten im FM – Kostengliederungsstruktur zu GEFMA 100. Bonn : GEFMA e.V. Deutscher Verband für Facility Management, 07-2004

⁶⁰ HOAI (Hrsg.): HOAI Textausgabe – Honorarordnung für Architekten und Ingenieure. 2. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2001

⁶¹ SIA (Hrsg.): SIA 469 – Erhaltung von Bauwerken. Zürich : SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, 10-1997

⁶² VDI (Hrsg.): VDI 2885 – Einheitliche Daten für die Instandhaltungsplanung und Ermittlung von Instandhaltungskosten. Berlin : Verein Deutscher Ingenieure, 12-2003

⁶³ DIN (Hrsg.): DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2003, S. 3

Die Gesamtheit der Instandhaltung umfasst hierbei die folgenden Maßnahmen, welche in den folgenden Abschnitten erläutert werden:

- Inspektion
- Wartung
- Instandsetzung
- Verbesserung.

2.2 Inspektion

Die DIN 31051 versteht unter der **Inspektion** die

„Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustands einer Betrachtungseinheit einschließlich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung.“⁶⁴

Die Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustands lassen sich im Sinne der Inspektion in die folgenden Teilmaßnahmen gliedern:⁶⁵

- 1) Ist-Zustand von technischen Einrichtungen feststellen (Messen und Prüfen)
- 2) Auswerten der Ist-Zustand-Information (Vergleichen und Ermittlung von Abweichungen)
- 3) Beurteilen des Ist-Zustands
- 4) Veranlassung weiterer Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des beurteilten Ist-Zustands.

⁶⁴ DIN (Hrsg.): DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2003, S. 3

⁶⁵ Vgl. WARNECKE, H.-J.: Handbuch Instandhaltung. Band 1 – Instandhaltungsmanagement. 2. Aufl. Köln : TÜV-Verlag, 1992, S. 21

Die Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustands⁶⁶ sollten regelmäßig erfolgen, um das Unterschreiten eines definierten Zustands, d. h. eines Mindest-Abnutzungsvorrats AV_{Mind} gemäß Abb. 35, frühzeitig zu erkennen.

Die Instandhaltungsmaßnahme „Inspektion“ hat für sich betrachtet keinen Einfluss auf die Wiederherstellung des Abnutzungsvorrats AV (s. Abb. 13). Durch die Inspektion wird lediglich der zum Zeitpunkt t_n vorhandene Abnutzungsvorrat AV_{t_n} festgestellt, aber keine Maßnahmen zur Verbesserung des Zustands durchgeführt. Oftmals ist die Inspektion Anstoß für weitere Instandhaltungsmaßnahmen, wie Wartung, Instandsetzung oder Verbesserung.

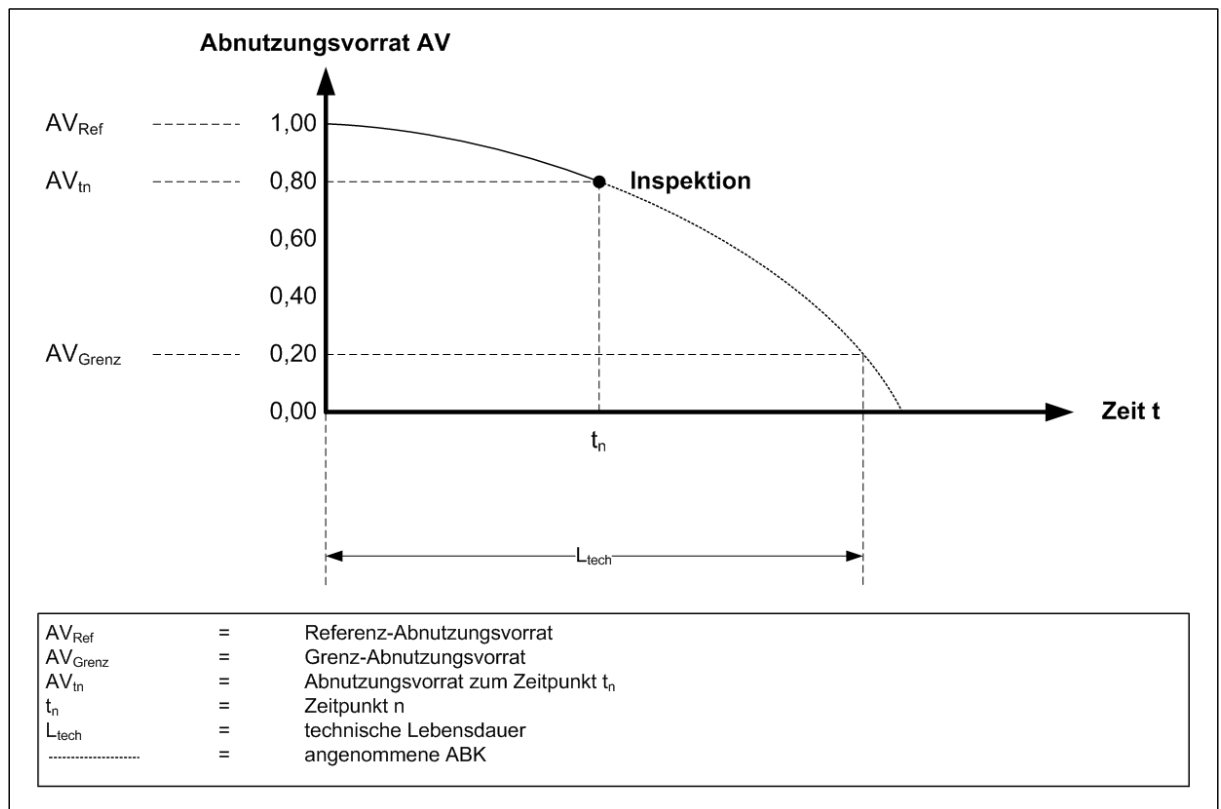


Abb. 13: Beispiel der Beeinflussung des Abnutzungsvorrats AV durch Inspektion

⁶⁶ Der Ist-Zustand beinhaltet die zu einem gegebenen Zeitpunkt festgestellte Gesamtheit der Merkmalswerte (vgl. IFB (Hrsg.): Bauunterhaltungskosten beanspruchter Bauteile in Abhängigkeit von Baustoffen und Baukonstruktionen. Hannover : IRB Verlag, 2001, S. 9).

2.3 **Wartung**

Die DIN 31051 versteht unter der **Wartung** die

„Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrats.“⁶⁷

Die **Wartung** umfasst besonders die folgenden Maßnahmen zur Verzögerung des Abnutzungsvorrats:⁶⁸

- Reinigen
- Konservieren
- Schmieren
- Ergänzen
- Auswechseln
- Nachstellen.

Das **Reinigen** umfasst das Entfernen von Fremd- und Hilfsstoffen (durch Saugen, Scheuern, Anwendung von Lösungsmitteln usw.). **Konservieren** beinhaltet das Durchführen von Schutzmaßnahmen gegen Fremdeinflüsse zum Zwecke des Haltbarmachens einer Betrachtungseinheit. Das Zuführen von Schmierstoffen zur Schmierstelle bzw. zur Reibstelle zwecks Erhaltung der Gleitfähigkeit wird als **Schmieren** definiert. Das Nach- und Auffüllen von Hilfsstoffen wird als **Ergänzen** verstanden. Das **Auswechseln** bezeichnet das Ersetzen von Hilfsstoffen und Kleinteilen (kurzfristige Tätigkeiten mit einfachen Werkzeugen oder Vorrichtungen). Unter **Nachstellen** werden Maßnahmen zur Beseitigung von Abweichungen mit Hilfe dafür vorgesehener Einrichtungen verstanden.⁶⁹

⁶⁷ DIN (Hrsg.): DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2003, S. 3

⁶⁸ Vgl. KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 25 f.; WARNECKE, H.-J.: Handbuch Instandhaltung. Band 1 – Instandhaltungsmanagement. 2. Aufl. Köln : TÜV-Verlag, 1992, S. 18 ff.; BMRBS (Hrsg.): Leitfaden Instandhaltung Flachdächer. Koblenz : H. Fuck, 1982, S. 32

⁶⁹ Vgl. WARNECKE, H.-J.: Handbuch Instandhaltung. Band 1 – Instandhaltungsmanagement. 2. Aufl. Köln : TÜV-Verlag, 1992, S. 18 f.

Die Teilmaßnahmen der Wartung führen zu einer Abbauverlangsamung des Abnutzungsvorrats AV ab dem Zeitpunkt der Wartung (s. Abb. 14). Daraus resultieren ein flacherer Verlauf der ABK und eine neue technische Lebensdauer L_{tech} .

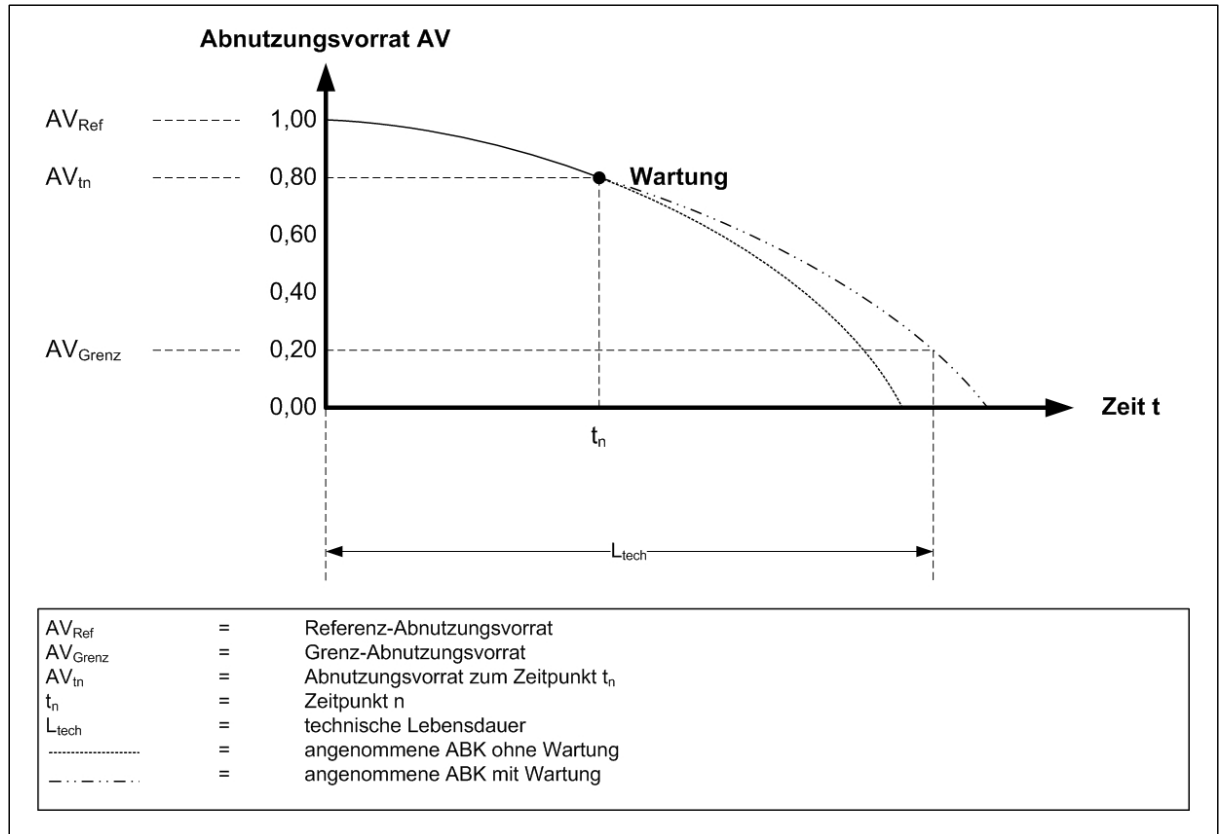


Abb. 14: Beispiel der Beeinflussung des Abnutzungsvorrats AV durch Wartung⁷⁰

⁷⁰ In Anlehnung an KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 26; RÖTZEL, A.: Instandhaltung – eine betriebliche Herausforderung. 3. Aufl. Berlin : VDE Verlag, 2005, S. 14; CHRISTEN, K.; MEYER-MEIERLING, P.: Optimierung von Instandsetzungszyklen und deren Finanzierung bei Wohnbauten. Zürich : vdf Hochschulverlag, 1999, S. 31

2.4 Instandsetzung

Die DIN 31051 versteht unter der **Instandsetzung** die

„Maßnahmen zur Rückführung einer Betrachtungseinheit in den funktionsfähigen Zustand, mit Ausnahme von Verbesserungen.“⁷¹

In der Praxis wird oftmals in **kleine Instandsetzung**⁷² und **große Instandsetzung**⁷³ unterschieden. Dadurch lassen sich Instandsetzungsmaßnahmen u. a. kosten-, kostengruppen-, planungs- bzw. aufwandsabhängig zuordnen.

Bei einer **kostenabhängigen Betrachtung** der Instandsetzungsmaßnahmen werden bspw. die Kosten für kleine Instandsetzungen unterhalb des Richtwerts von 5.000,- € angesetzt, während bei großen Instandsetzungen die Kosten über 5.000,- € liegen.

Bei einer **kostengruppenabhängigen Betrachtung** der Instandsetzungsmaßnahmen wird bspw. die kleine Instandsetzung der Kostengruppe „Betriebskosten“, die große Instandsetzung der Kostengruppe „Bauunterhaltung“ zugeordnet. So fallen bspw. Wartungsarbeiten oft unter die kleine Instandsetzung, was allerdings nicht der Definition nach DIN 31051 entspricht.

Ein weiteres Beispiel einer kostengruppenabhängigen Betrachtung der Instandsetzungsmaßnahmen ist die Zuordnung aller mietumlagefähigen Maßnahmen zur kleinen Instandsetzung, während die nicht mietumlagefähigen Maßnahmen der großen Instandsetzung zugeordnet werden. Wohnungsbauunternehmen wenden dieses Verfahren häufig an.

⁷¹ DIN (Hrsg.): DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2003, S. 4

⁷² Die GEFMA 200 versteht unter einer kleinen Instandsetzung das Ersetzen von Verschleißteilen, wie Filter usw. (vgl. GEFMA (Hrsg.): GEFMA 200 – Kostenrechnung im Facility Management. Bonn : GEFMA e.V. Deutscher Verband für Facility Management, 12-1996, S. 3).

⁷³ Die GEFMA 200 versteht unter einer großen Instandsetzung alle Maßnahmen zur Wiederherstellung des ursprünglichen Soll-Zustands (vgl. GEFMA (Hrsg.): GEFMA 200 – Kostenrechnung im Facility Management. Bonn : GEFMA e.V. Deutscher Verband für Facility Management, 12-1996, S. 3).

Bei einer **planungsabhängigen Betrachtung** der Instandsetzungsmaßnahmen werden alle geplanten Maßnahmen der kleinen Instandsetzung zugeordnet, während die große Instandsetzung ungeplante Maßnahmen beinhaltet.

Bei einer **aufwandsabhängigen Betrachtung** der Instandsetzungsmaßnahmen werden kleine Instandsetzungen mit Maßnahmen gleichgesetzt, die nur einen geringen Umfang haben, z. B. (Schönheits-)Reparaturarbeiten. Große Instandsetzungen sind hingegen umfangreiche Maßnahmen, die einen höheren Arbeits- bzw. Zeitaufwand erfordern.

Innerhalb dieser Arbeit werden die Begriffe der kleinen und großen Instandsetzung nicht weiter angewendet. Vielmehr erfolgt eine Unterteilung der Instandsetzungsmaßnahmen nach Instandsetzungen mittels Ausbessern (Bearbeiten) und Austauschen (Ersetzen) gemäß Abb. 15.

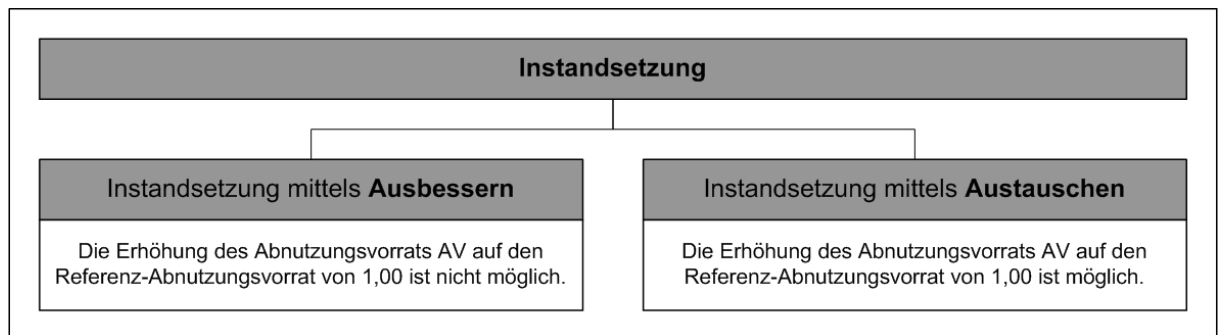


Abb. 15: Instandsetzungsdifferenzierung⁷⁴

⁷⁴ In Anlehnung an WARNECKE, H.-J.: Handbuch Instandhaltung. Band 1 – Instandhaltungsmanagement. 2. Aufl. Köln : TÜV-Verlag, 1992, S. 24

Unter **Instandsetzung mittels Ausbessern** werden Maßnahmen zur Rückführung der Betrachtungseinheit in den funktionsfähigen Zustand durch Bearbeitung des vorhandenen eingebauten Baustoffs des Bauelements verstanden. Der vorhandene eingebaute Baustoff des Bauelements wird nicht demontiert, sondern lediglich modifiziert. Eine Erhöhung E^{75} des Abnutzungsvorrats AV auf den Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} von 1,00 ist durch eine Instandsetzung mittels Ausbessern nicht möglich.

Die Beeinflussung des Abnutzungsvorrats AV durch Instandsetzung mittels Ausbessern wird beispielhaft in Abb. 16 dargestellt.

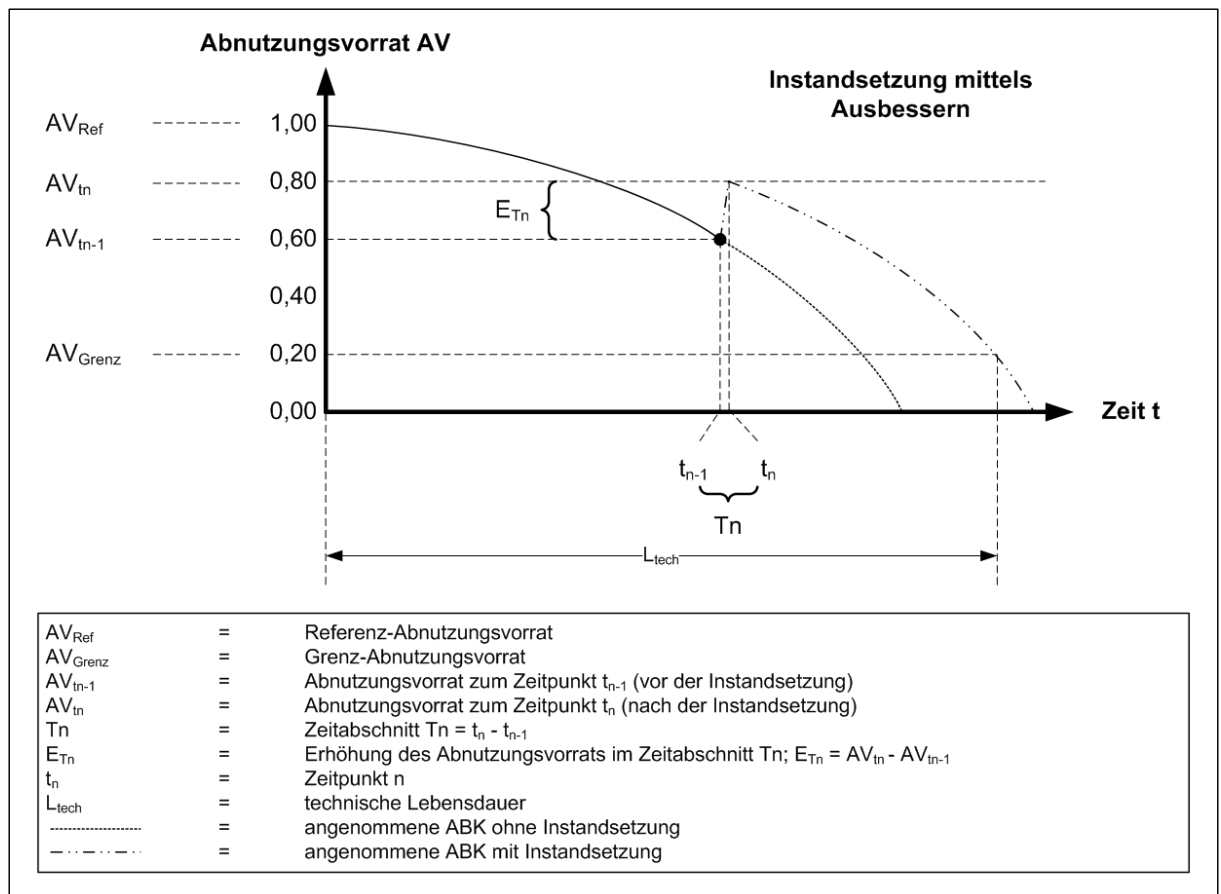


Abb. 16: Beispiel der Beeinflussung des Abnutzungsvorrats AV durch Instandsetzung mittels Ausbessern

⁷⁵ Im Rahmen einer mathematischen Betrachtung sollte allgemein von „Veränderung des Abnutzungsvorrats“ zwischen dem jetzigen Zeitpunkt und einem früheren Zeitpunkt gesprochen werden. Ist die Veränderung des Abnutzungsvorrats negativ, so handelt es sich hierbei um eine Abnutzung A gemäß Abb. 10; ist die Veränderung positiv, so handelt es sich um eine Erhöhung E gemäß Abb. 16 und Abb. 17.

Der maximal mögliche Abnutzungsvorrat AV_{tn} , welcher durch Instandsetzung mittels Ausbessern erreicht werden kann, liegt generell unterhalb des Referenz-Abnutzungsvorrats AV_{Ref} von 1,00. Ausbesserungen von Bestandsbaustoffen können bereits vorhandene schadhafte Veränderungen des Baustoffs nicht reversibel machen. Dies gelingt nur durch Austausch und damit Neuerstellung des gesamten Bauelements, wie dies bei Instandsetzung mittels Austauschen gemäß Abb. 17 geschieht.

Unter **Instandsetzung mittels Austauschen** werden Maßnahmen zur Rückführung der Betrachtungseinheit in den funktionsfähigen Zustand durch Ersatz des vorhandenen eingebauten Baustoffs des Bauelements verstanden. Der vorhandene eingebaute Baustoff des Bauelements wird komplett demontiert und im Anschluss daran wieder nach dem Stand der Technik hergestellt. Es wird eine Erhöhung E ⁷⁶ des Abnutzungsvorrats AV auf den Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} von 1,00 durch eine Instandsetzung mittels Austauschen erreicht.

⁷⁶ Im Rahmen einer mathematischen Betrachtung sollte allgemein von „Veränderung des Abnutzungsvorrats“ zwischen dem jetzigen Zeitpunkt und einem früheren Zeitpunkt gesprochen werden. Ist die Veränderung des Abnutzungsvorrats negativ, so handelt es sich hierbei um eine Abnutzung A gemäß Abb. 10; ist die Veränderung positiv, so handelt es sich um eine Erhöhung E gemäß Abb. 16 und Abb. 17.

Die Beeinflussung der ABK durch Instandsetzung mittels Austauschen wird beispielhaft in Abb. 17 dargestellt.

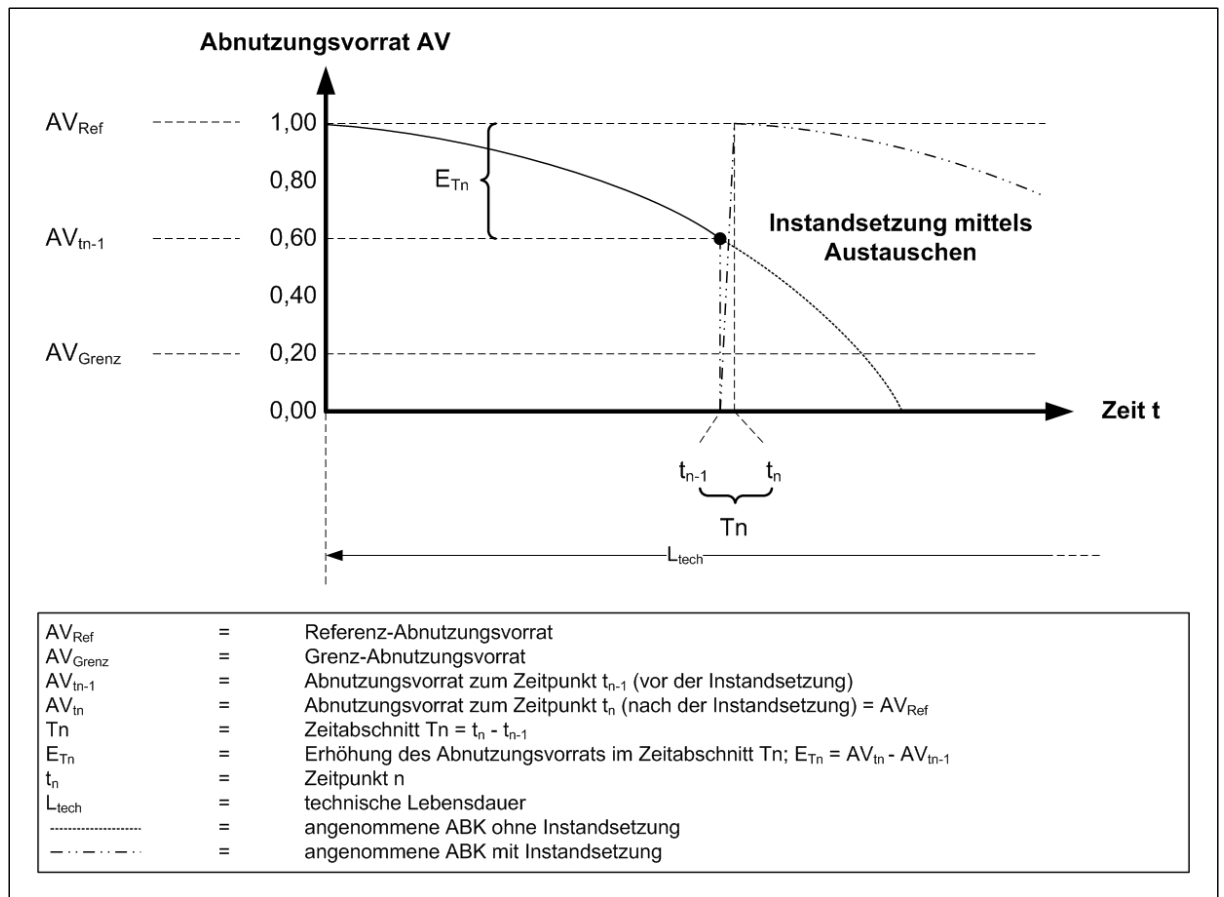


Abb. 17: Beispiel der Beeinflussung des Abnutzungsvorrats AV durch Instandsetzung mittels Austauschen⁷⁷

⁷⁷ In Anlehnung an RÖTZEL, A.: Instandhaltung – eine betriebliche Herausforderung. 3. Aufl. Berlin : VDE Verlag, 2005, S. 14

Die Ermittlung des aufgrund einer Instandsetzungsmaßnahme erhöhten Abnutzungsvorrats AV_{tn} erweist sich als schwierig, wenn nur Teile des betroffenen Bauelements ausgebessert oder ausgetauscht werden. Als Beispiel ist hier die Instandsetzung des Bauelements Putz bei einer Außenfassade zu nennen. So lassen sich Fehlstellen im Bauelement Putz durch Aufbringung eines neuen Putzes an den Fehlstellen instandsetzen, wie dies beispielhaft in Abb. 18 dargestellt wird.

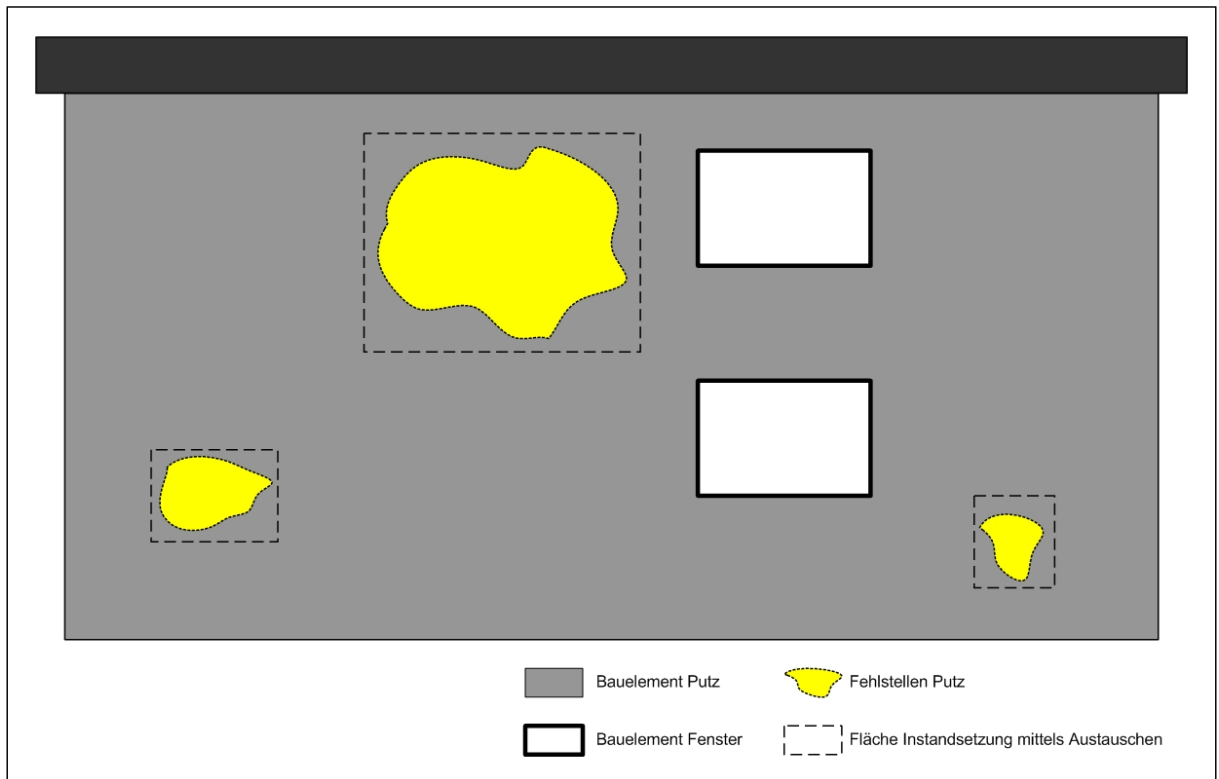


Abb. 18: Beispiel der Instandsetzung des Bauelements Putz

Bei einer derartigen Maßnahme werden lediglich die Fehlstellen des Bauelements Putz und ggf. die Randbereiche der Fehlstellen einer Instandsetzung mittels Austauschen unterworfen. Die restliche Putzfläche wird nicht weiter instandgesetzt. Für die Ermittlung des erhöhten Abnutzungsvorrats AV aufgrund der Instandsetzung kann der Berechnungsansatz gemäß Abb. 19 gewählt werden. Dieser gilt sowohl bei Instandsetzung mittels Austauschen als auch bei Instandsetzung mittels Ausbessern, wird aber innerhalb dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

Berechnungsgrundlage:

$$AV_{F_{ges}} = \frac{p_{alt}}{100\%} \cdot AV_{F_{alt}} + \frac{p_{neu}}{100\%} \cdot AV_{F_{neu}} \quad \text{mit} \quad p_{alt} = \frac{F_{alt}}{F_{ges}} \cdot 100\% \quad p_{neu} = \frac{F_{neu}}{F_{ges}} \cdot 100\%$$

| | | |
|----------------|---|---|
| $AV_{F_{ges}}$ | = | Abnutzungsvorrat bezogen auf die Gesamtfläche F |
| $AV_{F_{neu}}$ | = | Abnutzungsvorrat bezogen auf die instandgesetzte Teilfläche |
| $AV_{F_{alt}}$ | = | Abnutzungsvorrat bezogen auf die nicht instandgesetzte Teilfläche |
| F_{ges} | = | Gesamtfläche |
| F_{neu} | = | instandgesetzte Teilfläche |
| F_{alt} | = | nicht instandgesetzte Teilfläche |
| p_{neu} | = | Prozentsatz der instandgesetzten Teilfläche |
| p_{alt} | = | Prozentsatz der nicht instandgesetzten Teilfläche |

Abb. 19: Berechnungsgrundlage zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats bei Teilinstandsetzungen

Werden innerhalb der Instandsetzung Teile ausgetauscht, so wird für den Abnutzungsvorrat bezogen auf die instandgesetzte Teilfläche der Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} angesetzt, d. h. $AV_{F_{neu}} = AV_{Ref} = 1,00$. In Abb. 20 wird ein Beispiel für die Ermittlung des Abnutzungsvorrats bei Teilinstandsetzungen gegeben.

Berechnungswerte:

| | | |
|----------------|---|------|
| $AV_{F_{neu}}$ | = | 1,00 |
| $AV_{F_{alt}}$ | = | 0,50 |
| p_{neu} | = | 20 % |
| p_{alt} | = | 80 % |

Berechnungsgrundlage:

$$AV_{F_{ges}} = \frac{p_{alt}}{100\%} \cdot AV_{F_{alt}} + \frac{p_{neu}}{100\%} \cdot AV_{F_{neu}}$$

$$AV_{F_{ges}} = \frac{80\%}{100\%} \cdot 0,50 + \frac{20\%}{100\%} \cdot 1,00$$

$$AV_{F_{ges}} = 0,40 + 0,20$$

$$AV_{F_{ges}} = 0,60$$

| | | |
|----------------|---|---|
| $AV_{F_{ges}}$ | = | Abnutzungsvorrat bezogen auf die Gesamtfläche F |
| $AV_{F_{neu}}$ | = | Abnutzungsvorrat bezogen auf die instandgesetzte Teilfläche |
| $AV_{F_{alt}}$ | = | Abnutzungsvorrat bezogen auf die nicht instandgesetzte Teilfläche |
| F_{ges} | = | Gesamtfläche |
| F_{neu} | = | instandgesetzte Teilfläche |
| F_{alt} | = | nicht instandgesetzte Teilfläche |
| p_{neu} | = | Prozentsatz der instandgesetzten Teilfläche |
| p_{alt} | = | Prozentsatz der nicht instandgesetzten Teilfläche |

Abb. 20: Berechnungsbeispiel zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats bei Teilinstandsetzungen

2.5 Verbesserung

Die DIN 31051 versteht unter der **Verbesserung** die

„Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements zur Steigerung der Funktionssicherheit einer Betrachtungseinheit, ohne die von ihr geforderte Funktion zu ändern.“⁷⁸

Die Beeinflussung der ABK durch Instandhaltung mittels Verbesserung wird beispielhaft in Abb. 21 dargestellt.

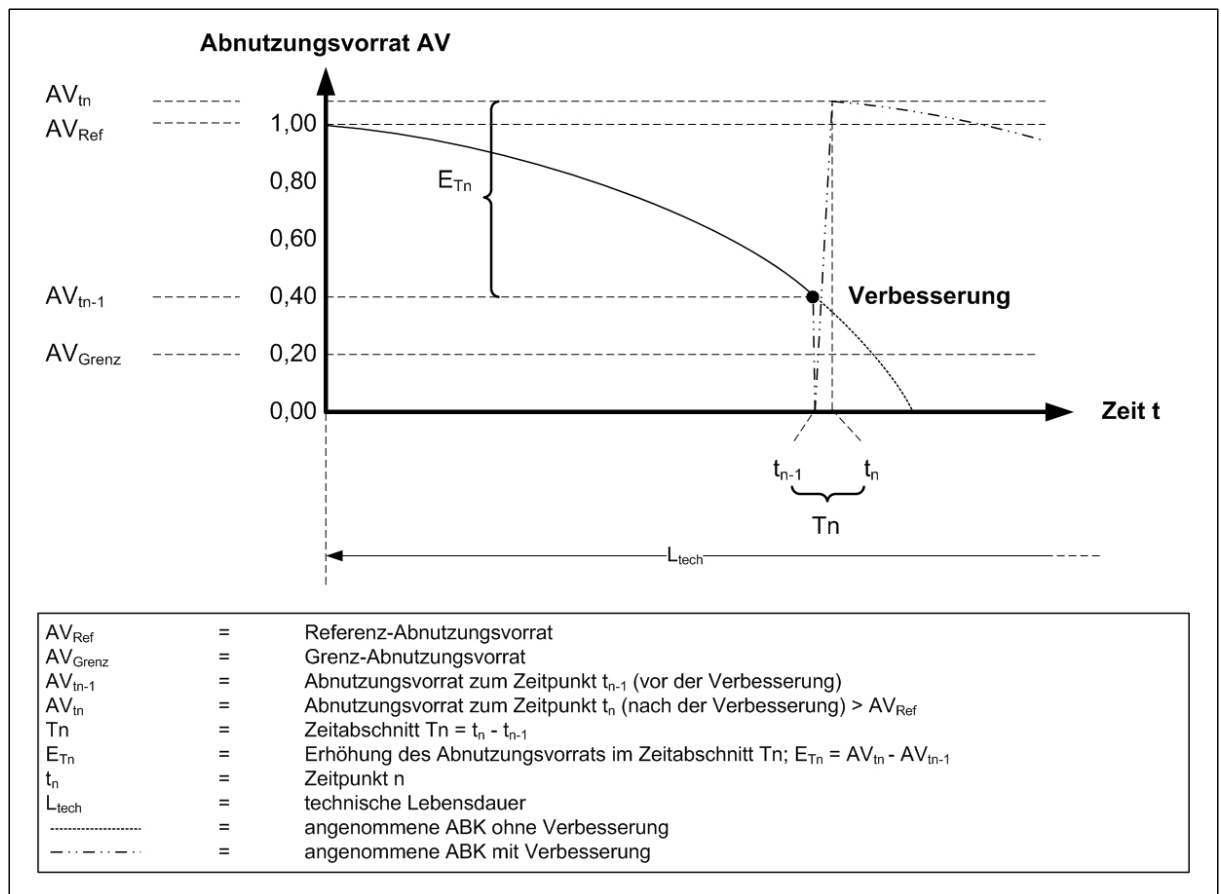


Abb. 21: Beispiel der Beeinflussung des Abnutzungsvorrats AV durch Verbesserung

⁷⁸ DIN (Hrsg.): DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2003, S. 4

Während unter einer Instandsetzung mittels Austauschen gemäß Abschnitt III.2.4 lediglich die Wiederherstellung einer Betrachtungseinheit in den Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} von 1,00 verstanden wird, werden bei einer Verbesserung Maßnahmen ergriffen, die identifizierte Schwachstellen eines Instandhaltungsobjekts beseitigen und dessen Funktionalität erhöhen (z. B. Erhöhung der Wärmedämmeigenschaften oder der Dichtigkeit). Durch eine Verbesserung wird nicht nur der Abnutzungsvorrat AV aufgebaut, sondern ein Niveau von über 1,00 bezogen auf den Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} erreicht (s. Abb. 21).

Innerhalb dieser Arbeit wird unterstellt, dass durch eine Verbesserung (genau wie bei einer Instandsetzung mittels Austauschen) der Abnutzungsvorrat AV aufgrund der Demontage des Bauelements modellhaft auf 0,00 abfällt. Im Anschluss wird der Abnutzungsvorrat AV_{tn} aufgrund der verbesserten Eigenschaften über das Niveau von 1,00 bezogen auf den Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} erhöht.

3 Instandhaltungsstrategien

3.1 Übersicht über Instandhaltungsstrategien

In Abhängigkeit von dem gegenwärtigen Ist-Abnutzungsvorrat, dem Soll-Abnutzungsvorrat AV_{Soll} ⁷⁹, der Abnutzung A, den Abnutzungseinflüssen (s. Abschnitt V1.4 und V1.5), den Nutzerpräferenzen sowie sonstigen ökologischen und ökonomischen Faktoren lässt sich eine immobilien- bzw. bauelementabhängige Instandhaltungsstrategie ableiten. Dabei werden je nach Strategie die unter Abschnitt III2 vorgegebenen Instandhaltungsmaßnahmen geplant oder ungeplant eingesetzt.

Unter einer **Instandhaltungsstrategie** werden die übergeordneten Regeln und Ziele zur Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen an einem bestimmten Objekt zu bestimmten oder unbestimmten Zeitpunkten innerhalb eines vorgegebenen Zeitraumes verstanden.⁸⁰

Ziel einer Instandhaltungsstrategie kann bspw. die Erhaltung eines festgelegten Zustands bzw. die Verlängerung der Lebenserwartung einer Immobilie unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Budgets sein.

Gegenwärtig sind in der einschlägigen Fachliteratur verschiedene übergeordnete Instandhaltungsstrategien aufgeführt, wobei unterschiedliche Begrifflichkeiten Anwendung finden. Innerhalb dieser Arbeit werden die folgenden Instandhaltungsstrategien nach den Begriffen der DIN 13306⁸¹ gemäß Abb. 22 betrachtet und in den Abschnitten III3.2 und III3.3 erläutert:

- Korrektive Instandhaltungsstrategien
- Präventive Instandhaltungsstrategien.

⁷⁹ Der Soll-Abnutzungsvorrat beschreibt den Soll-Zustand. Der Soll-Zustand ist die für den jeweiligen Fall festzulegende Gesamtheit der Merkmalswerte (vgl. IFB (Hrsg.): Bauunterhaltungskosten beanspruchter Bauteile in Abhängigkeit von Baustoffen und Baukonstruktionen. Hannover : IRB Verlag, 2001, S. 9).

⁸⁰ In Anlehnung an KALUSCHE, W.; OELSNER, U.: Instandhaltung von Gebäuden und ihre Finanzierung. In: Forum der Forschung (2003), Heft 16, S. 83

⁸¹ DIN (Hrsg.): DIN EN 13306 – Begriffe der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 09-2001

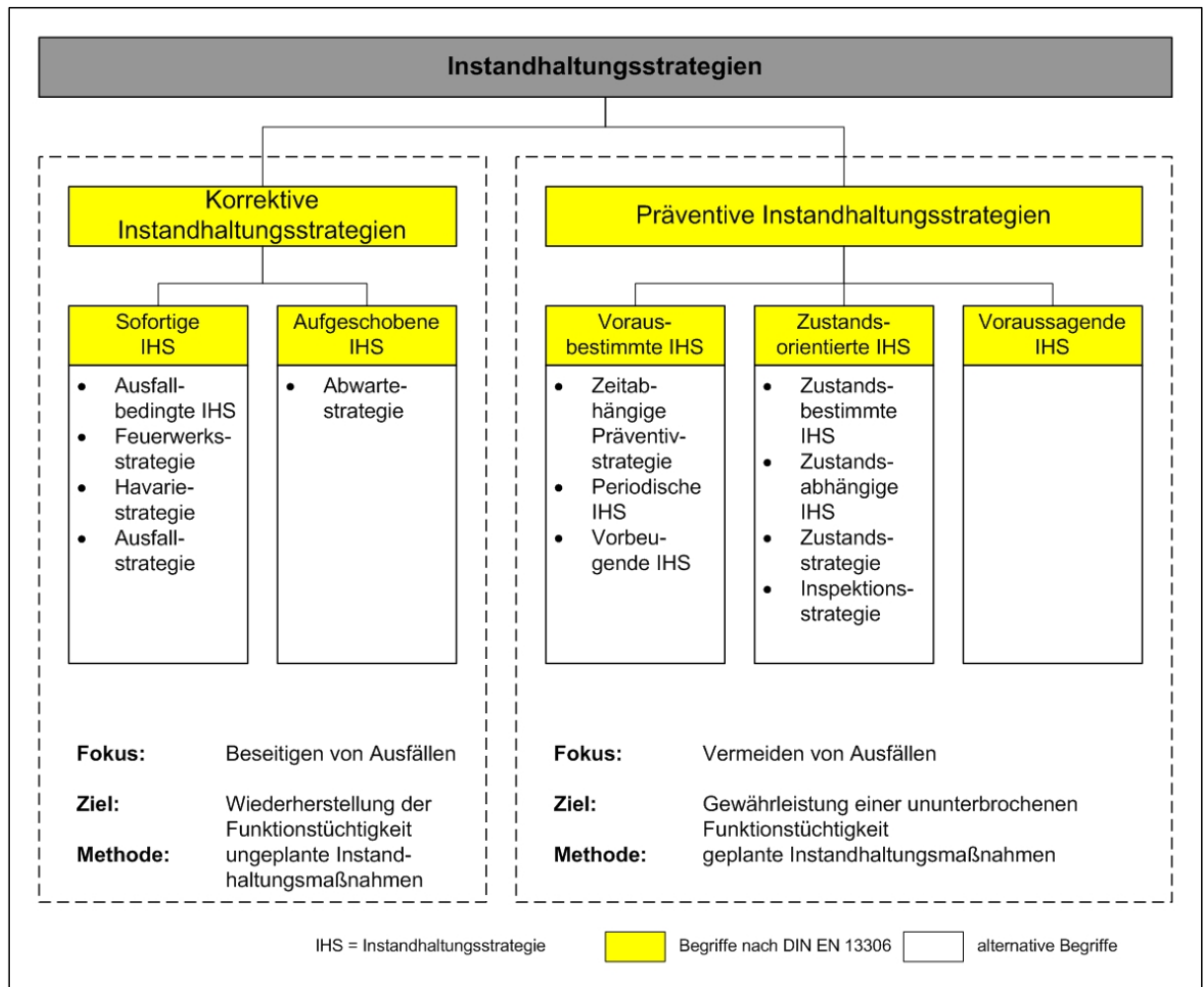


Abb. 22: Übersicht über Instandhaltungsstrategien⁸²

Korrektive Instandhaltungsstrategien verfolgen das Ziel der Beseitigung von Ausfällen durch die Wiederherstellung eines funktionserfüllenden Abnutzungsvorrats AV mittels Umsetzung von ungeplanten Instandhaltungsmaßnahmen, welche nach der Fehlererkennung am Instandhaltungsobjekt durchgeführt werden.⁸³

⁸² In Anlehnung an DIN (Hrsg.): DIN EN 13306 – Begriffe der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 09-2001, S. 21 ff.; KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 140; KLINGENBERGER, J.: Modell zur Bildung von Strategien der Instandhaltung für Gebäude. In: Bauingenieur (2008), Heft 83, S. 102

⁸³ In Anlehnung an DIN (Hrsg.): DIN EN 13306 – Begriffe der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 09-2001, S. 22; KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 140

Ein Ausfall beschreibt dabei die Beendigung der Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion zu erfüllen.⁸⁴

Präventive Instandhaltungsstrategien verfolgen das Ziel der Vermeidung bzw. Minimierung von Ausfällen durch die Umsetzung von geplanten, präventiven, in festgelegten Abständen oder nach vorgeschriebenen Kriterien durchzuführenden Instandhaltungsmaßnahmen.⁸⁵

Die zu den oben aufgeführten Instandhaltungsstrategien gehörenden untergeordneten Strategien sind in Abb. 22 dargestellt und werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

3.2 Korrektive Instandhaltungsstrategien

3.2.1 Sofortige Instandhaltungsstrategie

Die **sofortige Instandhaltungsstrategie** verfolgt das Ziel der unmittelbaren Beseitigung von Ausfällen durch die Wiederherstellung eines funktionserfüllenden Abnutzungsvorrats mittels Umsetzung von ungeplanten Instandhaltungsmaßnahmen, welche direkt nach der Ausfallerkennung am Instandhaltungsobjekt durchgeführt werden.⁸⁶

Die sofortige Instandhaltungsstrategie wird auch als ausfallbedingte Instandhaltungsstrategie⁸⁷, Feuerwerks-⁸⁸, Havarie-⁸⁹ oder Ausfallstrategie⁹⁰ bezeichnet.

⁸⁴ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN EN 13306 – Begriffe der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 09-2001, S. 15

⁸⁵ In Anlehnung an DIN (Hrsg.): DIN EN 13306 – Begriffe der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 09-2001, S. 21; KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 139

⁸⁶ In Anlehnung an DIN (Hrsg.): DIN EN 13306 – Begriffe der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 09-2001, S. 23; KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 140

⁸⁷ Vgl. KLINGENBERGER, J.: Modell zur Bildung von Strategien der Instandhaltung für Gebäude. In: Bauingenieur (2008), Heft 83, S. 102

⁸⁸ Vgl. KALUSCHE, W.; OELSNER, U.: Instandhaltung von Gebäuden und ihre Finanzierung. In: Forum der Forschung (2003), Heft 16, S. 83

Die Vor- und Nachteile der sofortigen Instandhaltungsstrategie in Bezug auf die Umsetzung der Instandhaltungsstrategie sowie auf das instand zu haltende Bauelement zeigt Abb. 23.

| Vor- und Nachteile der sofortigen Instandhaltungsstrategie | | |
|--|---|---|
| Bezug | Vorteile | Nachteile |
| Bezogen auf die Umsetzung der Instandhaltungsstrategie | <ul style="list-style-type: none"> • geringer Inspektionsbedarf • geringer Planungsaufwand • geringer Personalaufwand • geringer Dokumentationsaufwand • geringe Planungs- und Inspektionskosten | <ul style="list-style-type: none"> • geringe Planbarkeit der Maßnahmen • geringe Abstimmbarkeit der Maßnahmen mit Nutzern (z. B. Mieter oder Produktion) • hohe Ausfall-/Folgekosten • hohe Störungsanfälligkeit • hohe Störungsbeseitigungszeit • geringes Optimierungspotenzial |
| Bezogen auf das instand zu haltende Bauelement | <ul style="list-style-type: none"> • sehr hohe Ausnutzung des Abnutzungsvorrats AV (hierbei wird der Bereich AV_{Ref} bis AV_{Grenz} voll ausgenutzt) • geringe Instandsetzungshäufigkeit (während der Gesamtnutzungsdauer der Immobilie) | <ul style="list-style-type: none"> • sehr hohe Instandsetzungskosten (meist inkl. Demontagekosten) • ggf. geringe Bauelementqualität • hohes Ausfallrisiko • geringe Dokumentationsqualität • geringes Instandsetzungsoptimierungspotenzial |

Abb. 23: Vor- und Nachteile der sofortigen Instandhaltungsstrategie⁹¹

⁸⁹ Vgl. KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 149

⁹⁰ Vgl. OTTO, J.: Wissensintensives Facility Management – Grundlagen und Anwendungen. Renningen : Expert Verlag, 2006, S. 183

⁹¹ In Anlehnung an BIEDERMANN, H. (Hrsg.): Anlagen-Controlling – Gestaltungssystem zur technisch-wirtschaftlichen Anlagenoptimierung. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1992, S. 223; KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 149; RASCH, A. A.: Erfolgspotential Instandhaltung – Theoretische Untersuchung und Entwurf eines ganzheitlichen Instandhaltungsmanagements. Berlin : Erich Schmidt Verlag, 2000, S. 88; OTTO, J.: Wissensintensives Facility Management – Grundlagen und Anwendungen. Renningen : Expert Verlag, 2006, S. 186

Die sofortige Instandhaltungsstrategie sollte bei Bauelementen, die i. d. R. folgende Gegebenheiten aufweisen, angewendet werden:⁹²

- Ein Ausfall ist i. d. R. nicht zu erkennen.
- Ein Versagen hat keine bedeutsame Folgen.
- Es bestehen keine Forderungen nach ständiger Verfügbarkeit.
- Die Ermittlung des Ist-Abnutzungsvorrats ist wirtschaftlich nicht vertretbar bzw. technisch nicht möglich.
- Die Ausfallkosten oder Folgekosten sind niedrig.

Der durch eine sofortige Instandhaltungsstrategie resultierende Abbauverlauf ist beispielhaft in Abb. 24 dargestellt. Hierbei wird der Zusammenhang zwischen einem Ausfall und der anschließenden unmittelbaren Instandsetzung aufgezeigt.

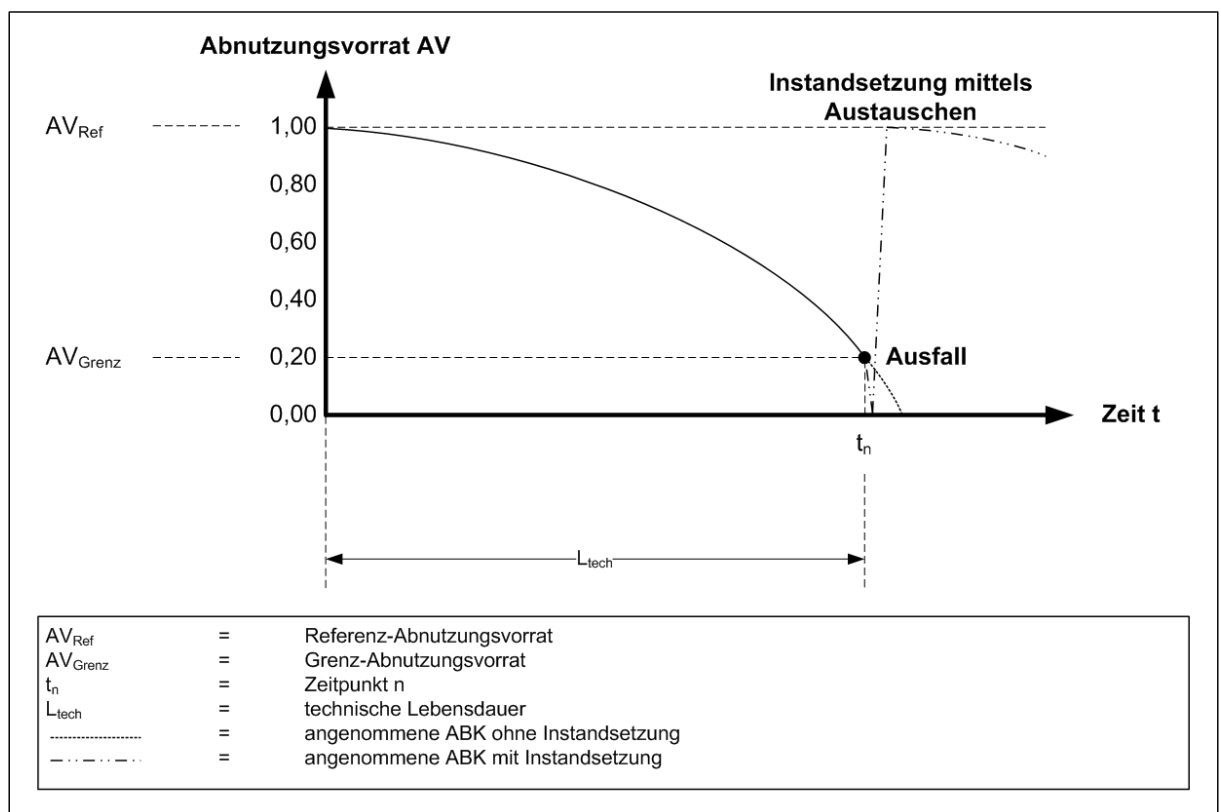


Abb. 24: Beispiel eines Abbauverlaufs bei einer sofortigen Instandhaltungsstrategie

⁹² Vgl. BIEDERMANN, H. (Hrsg.): Anlagen-Controlling – Gestaltungssystem zur technisch-wirtschaftlichen Anlagenoptimierung. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1992, S. 223

3.2.2 Aufgeschobene Instandhaltungsstrategie

Die **aufgeschobene Instandhaltungsstrategie** verfolgt das Ziel der Beseitigung von Ausfällen durch die Wiederherstellung eines funktionserfüllenden Abnutzungsvorrats AV mittels Umsetzung von ungeplanten Instandhaltungsmaßnahmen, welche nicht unmittelbar nach der Fehlererkennung am Instandhaltungsobjekt durchgeführt werden, sondern nach Vorgaben zeitlich versetzt erfolgen.⁹³

Die aufgeschobene Instandhaltungsstrategie wird auch als Abwartestrategie⁹⁴ bezeichnet und ähnelt der einer sofortigen Instandhaltungsstrategie. Der Unterschied besteht darin, dass eine Instandsetzung nicht direkt nach der Ausfallerkennung, d. h. dem Erreichen des Grenz-Abnutzungsvorrats AV_{Grenz} , erfolgt, sondern zu einem wesentlich späteren Zeitpunkt (vgl. Abb. 26).

Die Vor- und Nachteile der aufgeschobenen Instandhaltungsstrategie in Bezug auf die Umsetzung der Instandhaltungsstrategie sowie auf das instand zu haltende Bauelement zeigt Abb. 25.

⁹³ In Anlehnung an DIN (Hrsg.): DIN EN 13306 – Begriffe der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 09-2001, S. 23; KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 140

⁹⁴ Vgl. OTTO, J.: Wissensintensives Facility Management – Grundlagen und Anwendungen. Renningen : Expert Verlag, 2006, S. 183; BRAUN, H.-P.; OESTERLE, E.; HALLER, P.: Facility Management. 4. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2004, S. 85

| Vor- und Nachteile der aufgeschobenen Instandhaltungsstrategie | | |
|--|---|--|
| Bezug | Vorteile | Nachteile |
| Bezogen auf die Umsetzung der Instandhaltungsstrategie | <ul style="list-style-type: none"> • geringer Inspektionsbedarf • geringer Planungsaufwand • geringer Personalaufwand • geringer Dokumentationsaufwand • geringe Planungs- und Inspektionskosten | <ul style="list-style-type: none"> • geringe Planbarkeit der Maßnahmen • geringe Abstimmbarkeit der Maßnahmen mit Nutzern (z. B. Mieter oder Produktion) • sehr hohe Ausfall-/Folgekosten (infolge des Aufschubs der Instandsetzung) • hohe Störungsanfälligkeit • sehr hohe Störungsbeseitigungszeit • geringes Optimierungspotenzial |
| Bezogen auf das instand zu haltende Bauelement | <ul style="list-style-type: none"> • sehr hohe Ausnutzung des Abnutzungsvorrats AV (hierbei wird der Bereich AV_{Ref} bis AV_{Grenz} voll ausgenutzt) • geringe Instandsetzungshäufigkeit (während der Gesamtnutzungsdauer der Immobilie) | <ul style="list-style-type: none"> • sehr hohe Instandsetzungskosten (meist inkl. Demontage- und Folgekosten) • ggf. geringe Bauelementqualität • hohes Ausfallrisiko • geringe Dokumentationsqualität • geringes Instandsetzungsoptimierungspotenzial |

Abb. 25: Vor- und Nachteile der aufgeschobenen Instandhaltungsstrategie⁹⁵

Die aufgeschobene Instandhaltungsstrategie sollte bei Bauelementen, die i. d. R. folgende Gegebenheiten aufweisen, angewendet werden:⁹⁶

- Ein Ausfall ist i. d. R. nicht zu erkennen.
- Ein Versagen hat keine bedeutsame Folgen.
- Es bestehen keine Forderungen nach ständiger Verfügbarkeit.
- Die Ermittlung des Ist-Abnutzungsvorrats ist wirtschaftlich nicht vertretbar bzw. technisch nicht möglich.
- Die Herstellungs- bzw. Abrisskosten sind hoch.
- Die Ausfallkosten oder Folgekosten sind niedrig.

⁹⁵ In Anlehnung an BIEDERMANN, H. (Hrsg.): Anlagen-Controlling – Gestaltungssystem zur technisch-wirtschaftlichen Anlagenoptimierung. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1992, S. 223; KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 148

⁹⁶ Vgl. BIEDERMANN, H. (Hrsg.): Anlagen-Controlling – Gestaltungssystem zur technisch-wirtschaftlichen Anlagenoptimierung. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1992, S. 223

Der durch eine aufgeschobene Instandhaltungsstrategie resultierende Abbauverlauf ist beispielhaft in Abb. 26 dargestellt. Hierbei wird der Zusammenhang zwischen einem Ausfall zum Zeitpunkt t_n und der zeitlich versetzten Instandsetzung zum Zeitpunkt t_{n+1} aufgezeigt.

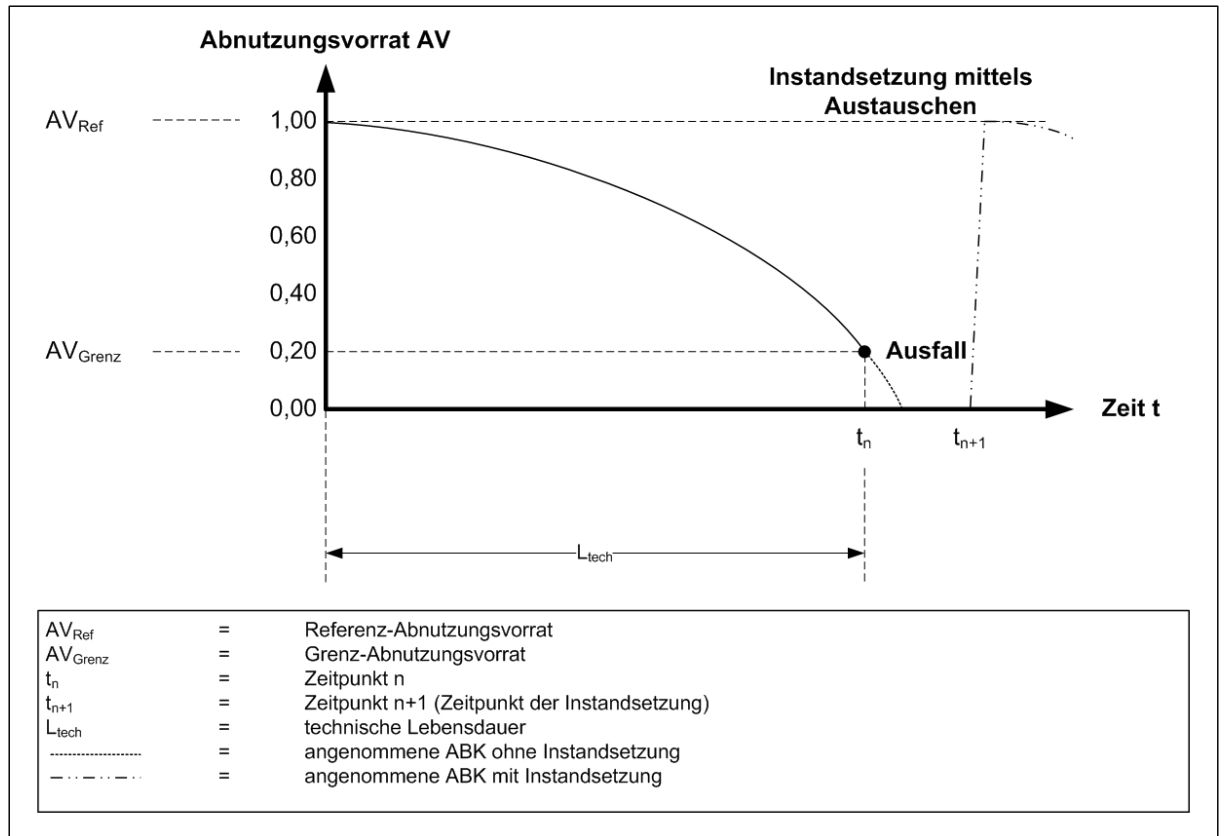


Abb. 26: Beispiel eines Abbauverlaufs bei einer aufgeschobenen Instandhaltungsstrategie

3.3 Präventive Instandhaltungsstrategien

3.3.1 Vorausbestimmte Instandhaltungsstrategie

Die **vorausbestimmte Instandhaltungsstrategie** verfolgt das Ziel der Vermeidung von Ausfällen durch die Umsetzung von geplanten, präventiven Instandhaltungsmaßnahmen, welche in festgelegten Zeitabständen bzw. Zeitpunkten oder nach einer festgelegten Zahl von Nutzungseinheiten, jedoch ohne vorherige Ermittlung des Ist-Abnutzungsvorrats, am Instandhaltungsobjekt durchgeführt werden.⁹⁷

Die vorausbestimmte Instandhaltungsstrategie wird auch als zeitabhängige Präventivstrategie⁹⁸, periodische⁹⁹ oder vorbeugende¹⁰⁰ Instandhaltungsstrategie bezeichnet.

Die Vor- und Nachteile der vorausbestimmten Instandhaltungsstrategie in Bezug auf die Umsetzung der Instandhaltungsstrategie sowie auf das instand zu haltende Bauelement zeigt Abb. 27.

⁹⁷ In Anlehnung an DIN (Hrsg.): DIN EN 13306 – Begriffe der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 09-2001, S. 21; KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 140

⁹⁸ Vgl. KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 143

⁹⁹ Vgl. BIEDERMANN, H. (Hrsg.): Anlagen-Controlling – Gestaltungssystem zur technisch-wirtschaftlichen Anlagenoptimierung. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1992, S. 224

¹⁰⁰ Vgl. BRAUN, H.-P.; OESTERLE, E.; HALLER, P.: Facility Management. 4. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2004, S. 84; RASCH, A. A.: Erfolgspotential Instandhaltung – Theoretische Untersuchung und Entwurf eines ganzheitlichen Instandhaltungsmanagements. Berlin : Erich Schmidt Verlag, 2000, S. 90; Grothus, Horst: Die totale vorbeugende Instandhaltung. Dorsten : Grothus Verlag, 1974, S. 16

| Vor- und Nachteile der vorausbestimmten Instandhaltungsstrategie | | |
|--|--|---|
| Bezug | Vorteile | Nachteile |
| Bezogen auf die Umsetzung der Instandhaltungsstrategie | <ul style="list-style-type: none"> • geringer Inspektionsbedarf • sehr hohe Planbarkeit der Maßnahmen • geringe Inspektionskosten • geringe Ausfall-/Folgekosten | <ul style="list-style-type: none"> • geringes Optimierungspotenzial |
| Bezogen auf das instand zu haltende Bauelement | <ul style="list-style-type: none"> • hohe Bauelementqualität | <ul style="list-style-type: none"> • geringe Ausnutzung des Abnutzungsvorrats AV • hohe Instandsetzungshäufigkeit (während der Gesamtnutzungsdauer der Immobilie) • hohe Instandsetzungskosten |

Abb. 27: Vor- und Nachteile der vorausbestimmten Instandhaltungsstrategie¹⁰¹

Die vorausbestimmte Instandhaltungsstrategie sollte bei Bauelementen, die i. d. R. folgende Gegebenheiten aufweisen, angewendet werden:¹⁰²

- Die Gewährleistung einer hohen Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit wird verlangt.
- Die Ermittlung des Ist-Abnutzungsvorrats ist wirtschaftlich nicht vertretbar bzw. technisch nicht möglich.
- Die Instandhaltungskosten und der Bauelementrestwert sind niedriger als Ausfallkosten bzw. Folgekosten.

¹⁰¹ In Anlehnung an BIEDERMANN, H. (Hrsg.): Anlagen-Controlling – Gestaltungssystem zur technisch-wirtschaftlichen Anlagenoptimierung. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1992, S. 224; RASCH, A. A.: Erfolgspotential Instandhaltung – Theoretische Untersuchung und Entwurf eines ganzheitlichen Instandhaltungsmanagements. Berlin : Erich Schmidt Verlag, 2000, S. 90; KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 142 f.; OTTO, J.: Wissensintensives Facility Management – Grundlagen und Anwendungen. Renningen : Expert Verlag, 2006, S. 186

¹⁰² Vgl. BIEDERMANN, H. (Hrsg.): Anlagen-Controlling – Gestaltungssystem zur technisch-wirtschaftlichen Anlagenoptimierung. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1992, S. 224; BRAUN, H.-P.; OESTERLE, E.; HALLER, P.: Facility Management. 4. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2004, S. 84

Der durch eine vorausbestimmte Instandhaltungsstrategie resultierende Abbauverlauf wird beispielhaft in Abb. 28 dargestellt. Hierbei werden die präventiven Instandsetzungsmaßnahmen zu festgelegten Zeitabständen bzw. Zeitpunkten aufgezeigt.

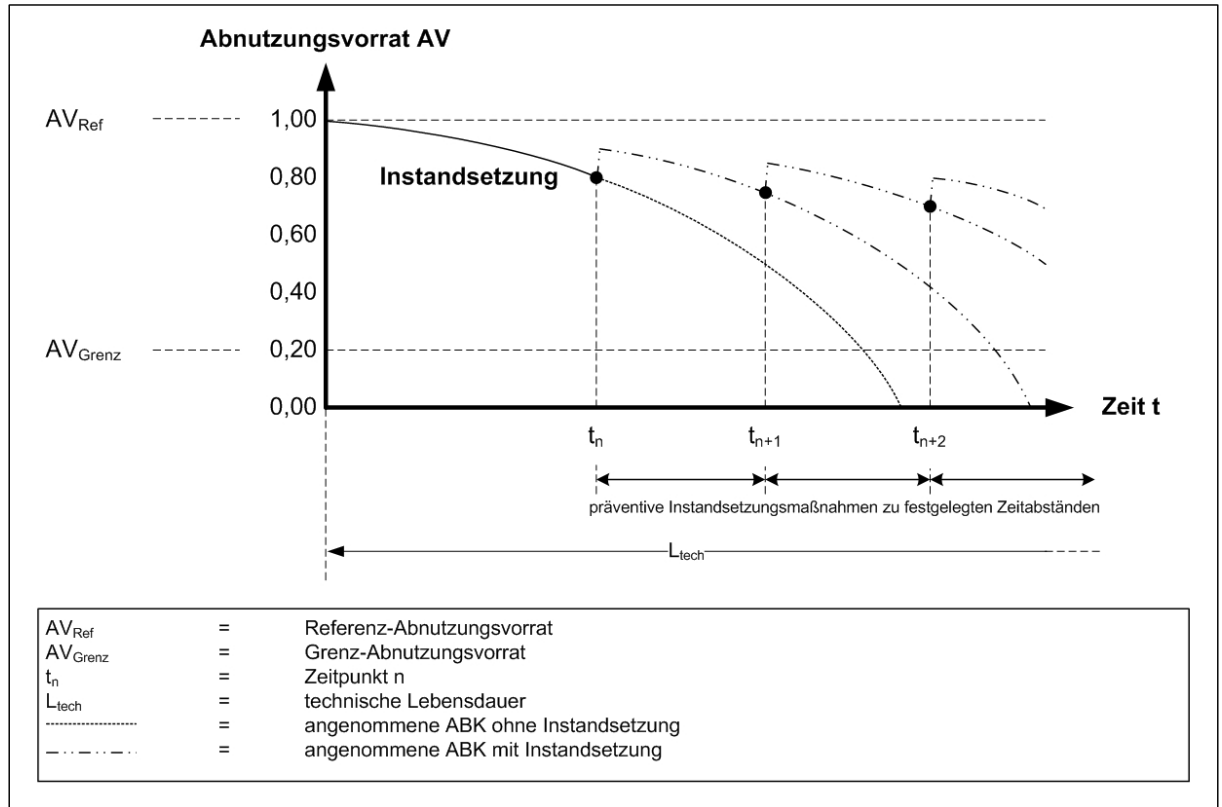


Abb. 28: Beispiel eines Abbauverlaufs bei einer vorausbestimmten Instandhaltungsstrategie

3.3.2 Zustandsorientierte Instandhaltungsstrategie

Die **zustandsorientierte Instandhaltungsstrategie** verfolgt das Ziel der Vermeidung von Ausfällen durch eine kontinuierliche Überwachung der Funktion bzw. qualitativer Merkmale des Instandhaltungsobjekts¹⁰³ gekoppelt mit der Umsetzung präventiver Instandhaltungsmaßnahmen.¹⁰⁴

Die zustandsorientierte Instandhaltungsstrategie wird sowohl als zustandsbestimmte¹⁰⁵ als auch zustandsabhängige¹⁰⁶ Instandhaltungsstrategie, Zustandsstrategie¹⁰⁷ oder Inspektionsstrategie¹⁰⁸ bezeichnet.

Die Vor- und Nachteile der zustandsorientierten Instandhaltungsstrategie in Bezug auf die Umsetzung der Instandhaltungsstrategie sowie auf das instand zu haltende Bauelement zeigt Abb. 29.

¹⁰³ Dies erfolgt z. B. mit Hilfe des Verfahrens ERAB gemäß Kapitel IV.

¹⁰⁴ In Anlehnung an DIN (Hrsg.): DIN EN 13306 – Begriffe der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 09-2001, S. 22; KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 140

¹⁰⁵ Vgl. KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 140

¹⁰⁶ Vgl. BARANEK, M.; JAKOB, V.: Zustandsorientierte Instandhaltung von Güterwagen – Datenfunkbasierte Betriebs- und Zustandsüberwachung. In: EI – Eisenbahningenieur (2006), 5, S. 36; IPA/ÖVIA/SVI (Hrsg.): Moderne Instandhaltungstechniken – Aktuelle und zukunftsweisende Lösungen für die betriebliche Praxis. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1995, S. 30

¹⁰⁷ Vgl. OTTO, J.: Wissensintensives Facility Management – Grundlagen und Anwendungen. Renningen : Expert Verlag, 2006, S. 183; BRAUN, H.-P.; OESTERLE, E.; HALLER, P.: Facility Management. 4. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2004, S. 85

¹⁰⁸ Vgl. KALUSCHE, W.; OELSNER, U.: Instandhaltung von Gebäuden und ihre Finanzierung. In: Forum der Forschung (2003), Heft 16, S. 83

| Vor- und Nachteile der zustandsorientierten Instandhaltungsstrategie | | |
|--|---|--|
| Bezug | Vorteile | Nachteile |
| Bezogen auf die Umsetzung der Instandhaltungsstrategie | <ul style="list-style-type: none"> • hohe Planbarkeit der Maßnahmen • hohe Abstimmbarkeit der Maßnahmen mit Nutzern (z. B. Mieter oder Produktion) • geringe Ausfall-/Folgekosten • geringe Störung anfälligkeit • geringe Störungsbeseitigungszeit • hohes Optimierungspotenzial | <ul style="list-style-type: none"> • hoher Inspektionsbedarf • hoher Planungsaufwand • hoher Personalaufwand • hoher Dokumentationsaufwand • hohe Planungskosten • sehr hohe Inspektionskosten |
| Bezogen auf das instand zu haltende Bauelement | <ul style="list-style-type: none"> • geringe Instandsetzungshäufigkeit (während der Gesamtnutzungsdauer der Immobilie) • hohe Bauelementqualität • geringes Ausfallrisiko • hohe Dokumentationsqualität • hohes Instandsetzungsoptimierungspotenzial | |

Abb. 29: Vor- und Nachteile der zustandsorientierten Instandhaltungsstrategie¹⁰⁹

Die zustandsorientierte Instandhaltungsstrategie sollte bei Bauelementen, die i. d. R. folgende Gegebenheiten aufweisen, angewendet werden:¹¹⁰

- Ein Verschleißverhalten ist erkennbar.
- Es existieren hohe Sicherheitsanforderungen (z. B. gesetzliche Vorschriften).
- Die Ermittlung des Ist-Abnutzungsvorrats ist wirtschaftlich vertretbar und technisch möglich.
- Die Inspektionskosten sind niedriger als die Ausfallkosten bzw. die Folgekosten.

¹⁰⁹ In Anlehnung an BIEDERMANN, H. (Hrsg.): Anlagen-Controlling – Gestaltungssystem zur technisch-wirtschaftlichen Anlagenoptimierung. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1992, S. 225; RASCH, A. A.: Erfolgspotential Instandhaltung – Theoretische Untersuchung und Entwurf eines ganzheitlichen Instandhaltungsmanagements. Berlin : Erich Schmidt Verlag, 2000, S. 92; KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 146

¹¹⁰ Vgl. BIEDERMANN, H. (Hrsg.): Anlagen-Controlling – Gestaltungssystem zur technisch-wirtschaftlichen Anlagenoptimierung. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1992, S. 225

Der durch eine zustandsorientierte Instandhaltungsstrategie resultierende Abbauverlauf wird beispielhaft in Abb. 30 dargestellt, wobei zum Zeitpunkt t_{n+1} die geplante Instandsetzung erfolgt.

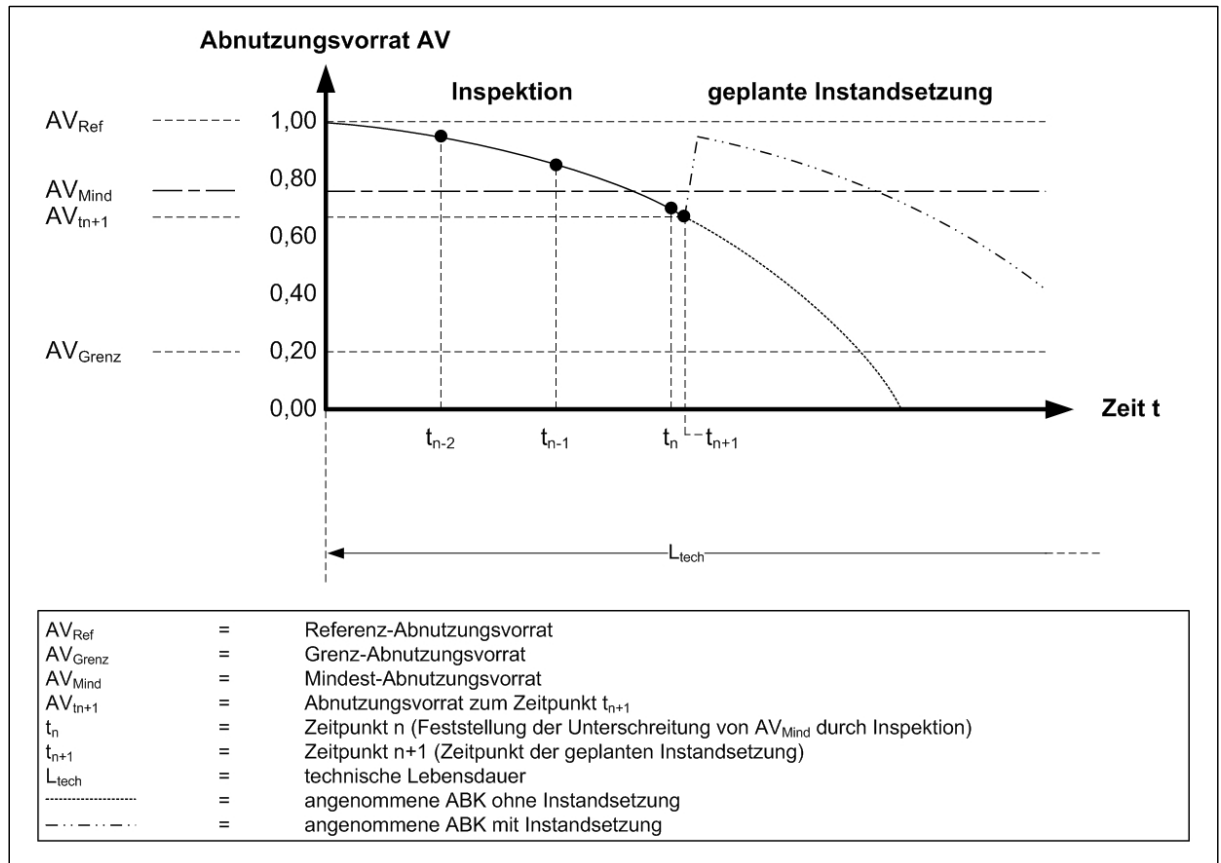


Abb. 30: Beispiel eines Abbauverlaufs bei einer zustandsorientierten Instandhaltungsstrategie

In Abb. 30 wird aufgezeigt, dass durch wiederholte Inspektionen (zu den Zeitpunkten t_{n-2} bis t_n) geprüft wird, ob der Ist-Abnutzungsvorrat oberhalb eines festgelegten Mindest-Abnutzungsvorrats AV_{Mind} ¹¹¹ liegt. Sobald der festgelegte Mindest-Abnutzungsvorrat unterschritten wird (in Abb. 30 zum Zeitpunkt t_n), wird die geplante Instandsetzungsmaßnahme eingeleitet.

¹¹¹ AV_{Mind} sollte je nach (vertraglicher) Festlegung innerhalb der Nutzungsdauer nicht unterschritten werden. Eine Unterschreitung ist durch geeignete Instandhaltungsmaßnahmen umgehend zu beheben.

3.3.3 Voraussagende Instandhaltungsstrategie

Die **voraussagende Instandhaltungsstrategie** verfolgt das Ziel der Vermeidung von Ausfällen durch die Umsetzung von geplanten Instandhaltungsmaßnahmen, welche sich aus dem Ist-Abnutzungsvorrat und einem vorhergesagten, durch Verschlechterungsparameter determinierten Abnutzungsverlauf ableiten.¹¹²

Die Vor- und Nachteile der voraussagenden Instandhaltungsstrategie in Bezug auf die Umsetzung der Instandhaltungsstrategie sowie auf das instand zu haltende Bauelement zeigt Abb. 31.

| Vor- und Nachteile der voraussagenden Instandhaltungsstrategie | | |
|--|---|--|
| Bezug | Vorteile | Nachteile |
| Bezogen auf die Umsetzung der Instandhaltungsstrategie | <ul style="list-style-type: none"> • hohe Planbarkeit der Maßnahmen • hohe Abstimmbarkeit der Maßnahmen mit Nutzern (z. B. Mieter oder Produktion) • geringe Ausfall-/Folgekosten • geringe Störunganfälligkeit • geringe Störungsbeseitigungszeit • hohes Optimierungspotenzial | <ul style="list-style-type: none"> • hoher Planungsaufwand • hoher Personalaufwand • hoher Dokumentationsaufwand • hohe Planungskosten • hohe Inspektionskosten |
| Bezogen auf das instand zu haltende Bauelement | <ul style="list-style-type: none"> • hohe Ausnutzung des Abnutzungsvorrats AV • geringe Instandsetzungshäufigkeit (während der Gesamtnutzungsdauer der Immobilie) • hohe Bauelementqualität • geringes Ausfallrisiko • hohe Dokumentationsqualität • hohes Instandsetzungsoptimierungspotenzial | |

Abb. 31: Vor- und Nachteile der voraussagenden Instandhaltungsstrategie¹¹³

¹¹² In Anlehnung an DIN (Hrsg.): DIN EN 13306 – Begriffe der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 09-2001, S. 22; KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 140

¹¹³ In Anlehnung an BIEDERMANN, H. (Hrsg.): Anlagen-Controlling – Gestaltungssystem zur technisch-wirtschaftlichen Anlagenoptimierung. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1992, S. 224; KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 144 f.

Die voraussagende Instandhaltungsstrategie sollte bei Bauelementen, die i. d. R. folgende Gegebenheiten aufweisen, angewendet werden:¹¹⁴

- Die Gewährleistung einer hohen Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit wird verlangt.
- Die Ermittlung des Ist-Abnutzungsvorrats ist wirtschaftlich vertretbar und technisch möglich.
- Die Inspektionskosten sind niedriger als die Ausfallkosten bzw. die Folgekosten.

Der durch eine voraussagende Instandhaltungsstrategie resultierende Abbauverlauf wird beispielhaft in Abb. 32 dargestellt. Hierbei wird aufgezeigt, dass mittels Inspektionen (zu den Zeitpunkten t_{n-2} bis t_n) Daten für eine zukünftige, angenommene ABK ermittelt werden und darauf aufbauend geeignete Instandhaltungsmaßnahmen (in Abb. 32 zu den Zeitpunkten t_{n+1} und t_{n+2}) geplant werden können.

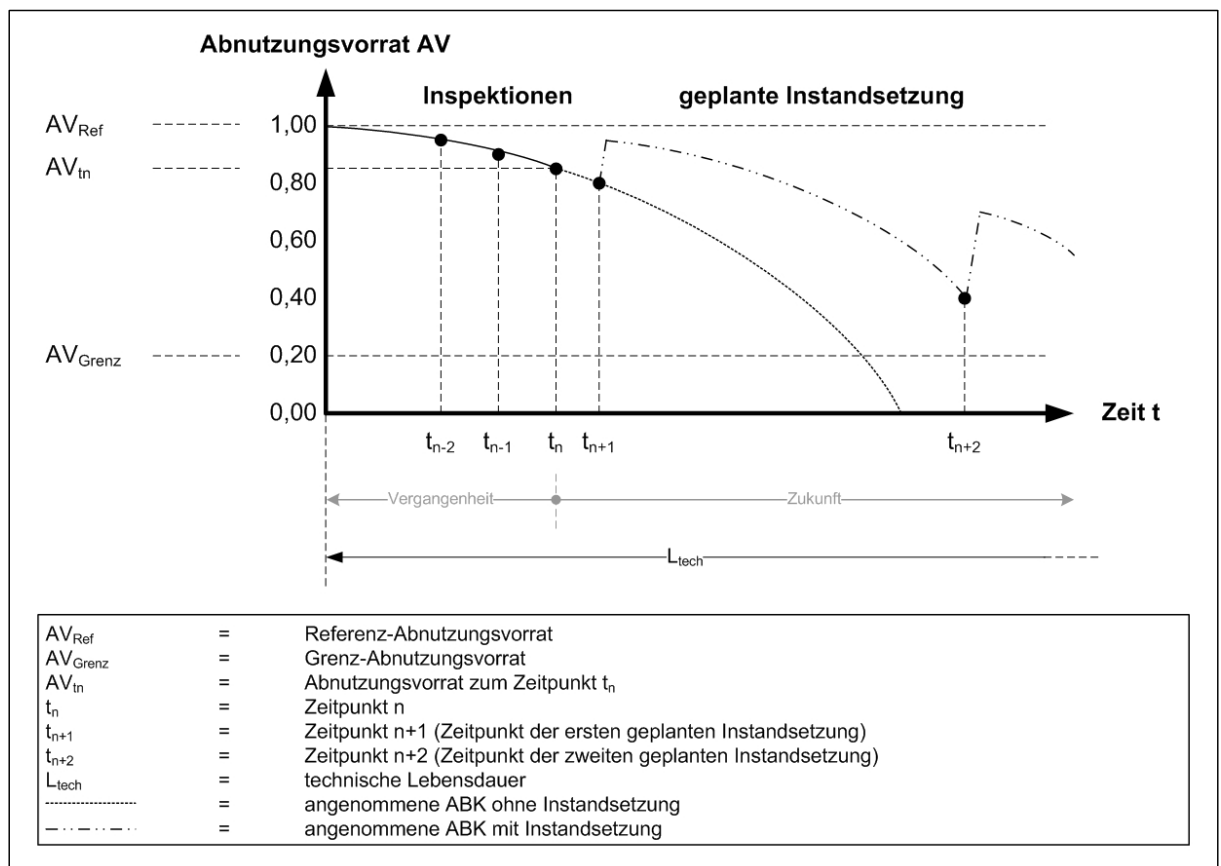


Abb. 32: Beispiel eines Abbauverlaufs bei einer voraussagenden Instandhaltungsstrategie

¹¹⁴ Vgl. BIEDERMANN, H. (Hrsg.): Anlagen-Controlling – Gestaltungssystem zur technisch-wirtschaftlichen Anlagenoptimierung. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1992, S. 224

3.4 Prospektive Instandhaltungsstrategie

Zusätzlich zu den gegenwärtig in der Fachliteratur aufgeführten Instandhaltungsstrategien wird an dieser Stelle eine neue Instandhaltungsstrategie, die prospektive Instandhaltungsstrategie, eingeführt.

Die **prospektive Instandhaltungsstrategie** verfolgt das Ziel der Vermeidung von Ausfällen und die Gewährleistung einer ununterbrochenen Funktionstüchtigkeit durch die Umsetzung von geplanten Instandhaltungsmaßnahmen, welche sich aus dem Ist-Abnutzungsvorrat und einem vorhergesagten, durch Verschlechterungsparameter determinierten Abnutzungsverlauf ableiten. Planungsgrundlage der Instandhaltungsmaßnahmen sind die Durchführung eines Variantenvergleichs potentieller Instandhaltungsmaßnahmen, die Berücksichtigung einer vorgegebenen Nutzungsdauer sowie die Vorgabe eines Rest- bzw. Mindest-Abnutzungsvorrats.

Die prospektive Instandhaltungsstrategie lässt sich innerhalb der gegenwärtigen in der Fachliteratur aufgeführten Instandhaltungsstrategien gemäß Abb. 33 einordnen und stellt eine Weiterentwicklung aus der zustandsorientierten und der voraussagenden Instandhaltungsstrategie dar.

Gegenüber der zustandsorientierten und der voraussagenden Instandhaltungsstrategie werden innerhalb der prospektiven Instandhaltungsstrategie die folgenden zusätzlichen Gegebenheiten berücksichtigt:

- Ermittlung optimaler Instandhaltungszeitpunkte und -maßnahmen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten durch Variantenvergleich der Instandhaltungsmaßnahmen in der Planungsphase
- Option der kostenoptimalen Agglomeration (Bündelung) verschiedener bauelementbetreffender Instandhaltungsmaßnahmen
- Vorgabe der Nutzungsdauer L_{Nutz} des Instandhaltungsobjekts
- Ggf. Vorgabe eines Mindest-Abnutzungsvorrats AV_{Mind} des Instandhaltungsobjekts
- Ggf. Vorgabe eines Rest-Abnutzungsvorrats AV_{Rest} des Instandhaltungsobjekts.

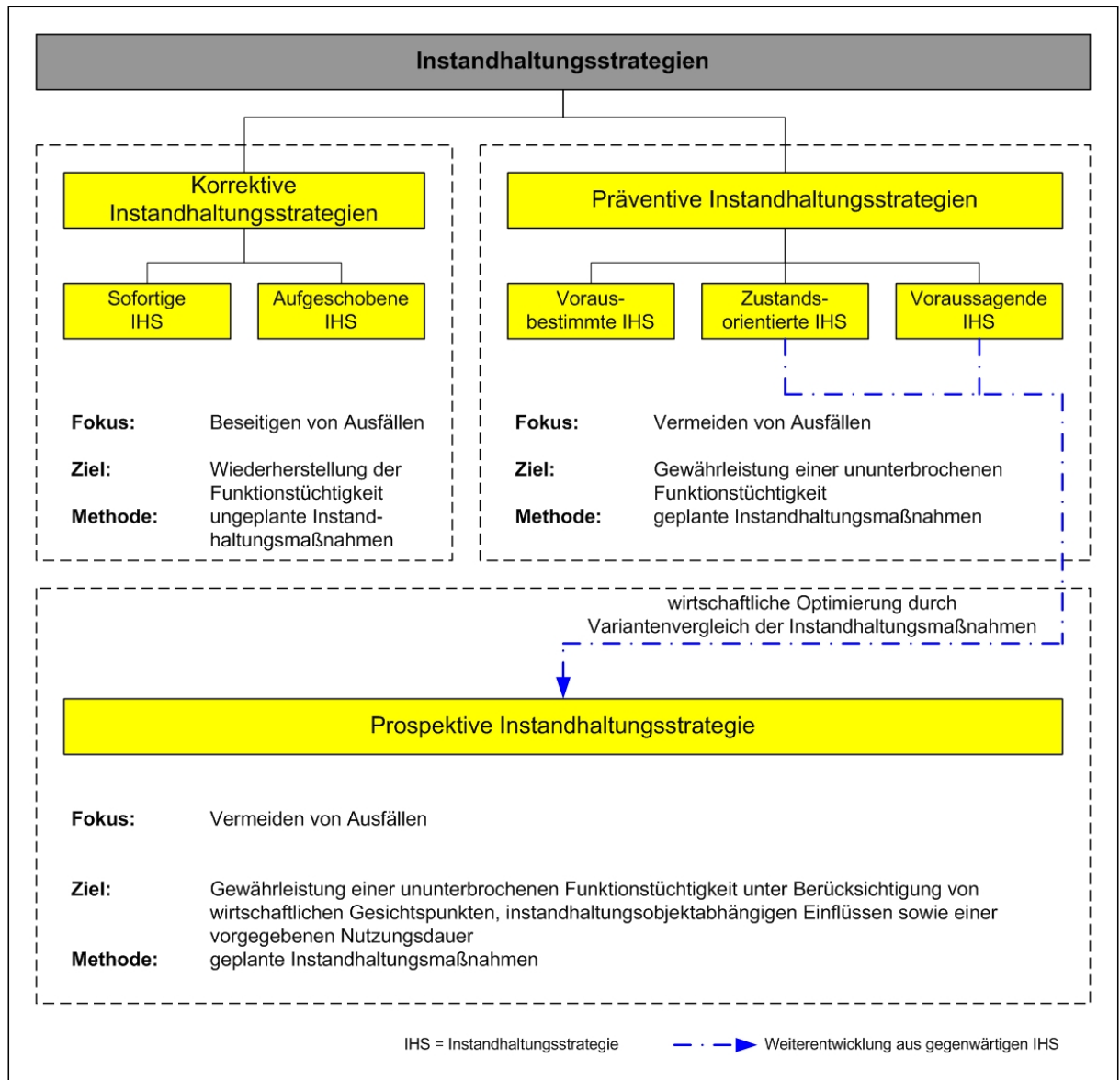


Abb. 33: Prospektive Instandhaltungsstrategie als Weiterentwicklung gegenwärtiger Instandhaltungsstrategien

Die prospektive Instandhaltungsstrategie setzt bereits in der Planungsphase ein und ermittelt damit vorausschauend – d. h. prospektiv – den optimalen Zeitpunkt für vorzusehende Instandhaltungsmaßnahmen oder sogar ganze Maßnahmenbündel. Mit Hilfe eines Variantenvergleichs, der die unterschiedlichen Möglichkeiten der Instandhaltungsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Kosten und erzielbaren Qualitäten bewertet, können die optimalen Instandhaltungszeitpunkte und -maßnahmen festgelegt werden. Hierbei werden je nach Vorgabe die Nutzungsdauer L_{Nutz} , der Mindest-Abnutzungsvorrat AV_{Mind} bzw. der Rest-Abnutzungsvorrat AV_{Rest} des Instandhaltungsobjekts berücksichtigt.

Die **Vorgabe der Nutzungsdauer** L_{Nutz} des Instandhaltungsobjekts ist Grundlage für die Planung der Instandhaltungsmaßnahmen über den gesamten Zeitraum der Nutzungsdauer L_{Nutz} . Somit lassen sich bspw. Instandhaltungsmaßnahmen dahingehend optimieren, dass diese mit Ende der Nutzungsdauer L_{Nutz} wirtschaftlich amortisiert sind. Der durch die Instandhaltungsmaßnahmen aufgebaute Abnutzungsvorrat AV sollte so festgelegt sein, dass zwar eine Funktionstüchtigkeit am Ende der Nutzungsdauer L_{Nutz} noch gewährleistet ist, der Abnutzungsvorrat AV des Instandhaltungsobjektes nach Möglichkeit aber nicht mehr im neuwertigen Bereich¹¹⁵ liegt.

Die **Vorgabe eines Mindest-Abnutzungsvorrats** AV_{Mind} des Instandhaltungsobjekts verhindert die Unterschreitung einer festgelegten Mindestqualität während der Nutzungsdauer L_{Nutz} . Dadurch wird erreicht, dass ein Mindestqualitätsstandard während der Nutzung vorhanden ist. Der Mindest-Abnutzungsvorrat AV_{Mind} kann dem Grenz-Abnutzungsvorrat AV_{Grenz} entsprechen, sollte aber wesentlich höher angesetzt werden.

Die **Vorgabe eines Rest-Abnutzungsvorrats** AV_{Rest} des Instandhaltungsobjekts verhindert die Unterschreitung einer festgelegten Mindestqualität am Ende der Nutzungsdauer L_{Nutz} . Dadurch wird erreicht, dass für eine eventuelle weitere Nutzung ein Minimum an Abnutzungsvorrat AV und damit an Gebrauchsfähigkeit bzw. Qualität zur Funktionserfüllung vorhanden sind. Der Rest-Abnutzungsvorrat AV_{Rest} kann dem Grenz-Abnutzungsvorrat AV_{Grenz} entsprechen, sollte aber bei einer weiteren Nutzung höher angesetzt werden.

Die Vorgabe eines Rest-Abnutzungsvorrat AV_{Rest} wird bspw. bei PPP-Projekten im Rahmen der Definition einer Übergabequalität am Ende der PPP-Vertragslaufzeit relevant.¹¹⁶

¹¹⁵ Bereichsdefinition s. Abschnitt IV1

¹¹⁶ Siehe dazu BMVBS (Hrsg.): Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Public Private Partnership Modellen im kommunalen Hoch- und Tiefbau – Leitfaden III: Outputorientierte Ausschreibungsunterlagen für Schulen. Berlin : Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, 2007, S. 31; FINANZMINISTERIUM DES LANDES NRW (Hrsg.): Public Private Partnership im Hochbau – Bestandsbeurteilung. Düsseldorf : Public Private Partnership-Initiative NRW, 2004, S. 16; BERTELSMANN STIFTUNG (Hrsg.): Prozessleitfaden Public Private Partnership – Eine Publikation aus der Reihe PPP für die Praxis. Frankfurt am Main : Clifford Chance Pünder, k. A., S. 89

Die Vor- und Nachteile der prospektiven Instandhaltungsstrategie in Bezug auf die Umsetzung der Instandhaltungsstrategie sowie auf das instand zu haltende Bauelement zeigt Abb. 34.

| Vor- und Nachteile der prospektiven Instandhaltungsstrategie | | |
|---|---|---|
| Bezug | Vorteile | Nachteile |
| Bezogen auf die Umsetzung der Instandhaltungsstrategie | <ul style="list-style-type: none"> • hohe Planbarkeit der Maßnahmen • hohe Abstimmbarkeit der Maßnahmen mit Nutzern (z. B. Mieter oder Produktion) • geringe Ausfall-/Folgekosten • geringe Störungsanfälligkeit • geringe Störungsbeseitigungszeit • sehr hohes Optimierungspotenzial | <ul style="list-style-type: none"> • sehr hoher Planungsaufwand • hoher Personalaufwand • hoher Dokumentationsaufwand • hohe Planungskosten |
| Bezogen auf das instand zu haltende Bauelement | <ul style="list-style-type: none"> • hohe Ausnutzung des Abnutzungsvorrats AV • geringe Instandsetzungshäufigkeit (während der Gesamtnutzungsdauer der Immobilie) • geringe Instandsetzungskosten • hohe Bauelementqualität • geringes Ausfallrisiko • hohe Dokumentationsqualität • sehr hohes Instandsetzungsoptimierungspotenzial | |

Abb. 34: Vor- und Nachteile der prospektiven Instandhaltungsstrategie

Die prospektive Instandhaltungsstrategie lohnt sich nicht nur für die Betrachtung einzelner Bauelemente. Je nach Instandhaltungsobjekt kann es sinnvoll sein, eine Bündelung verschiedener bauelementbetreffender Instandhaltungsmaßnahmen vorzunehmen, um dadurch ein wirtschaftliches Optimum zu erreichen.

Der durch eine prospektive Instandhaltungsstrategie resultierende Abbauverlauf wird beispielhaft in Abb. 35 dargestellt. Hierbei wird aufgezeigt, dass mittels Inspektionen Daten für die zukünftige ABK, d. h. die angenommene ABK ohne Instandhaltung, ermittelt werden und darauf aufbauend geeignete prospektive Instandhaltungsmaßnahmen geplant werden können. Die potentiellen Varianten der Instandhaltungsmaßnahmen müssen hierbei die entsprechenden Vorgaben, wie Einhaltung des Mindest-Abnutzungsvorrats AV_{Mind} und Einhaltung des Rest-Abnutzungsvorrats AV_{Rest} , erfüllen.

Die Entscheidung für eine tatsächlich durchzuführende prospektive Instandhaltungsmaßnahme wird durch einen auf wirtschaftlichen Gesichtspunkten basierenden Variantenvergleich ermittelt. Ein Beispiel eines Variantenvergleichs im Rahmen der prospektiven Instandhaltungsstrategie wird in Abschnitt V2.3.4 gegeben.

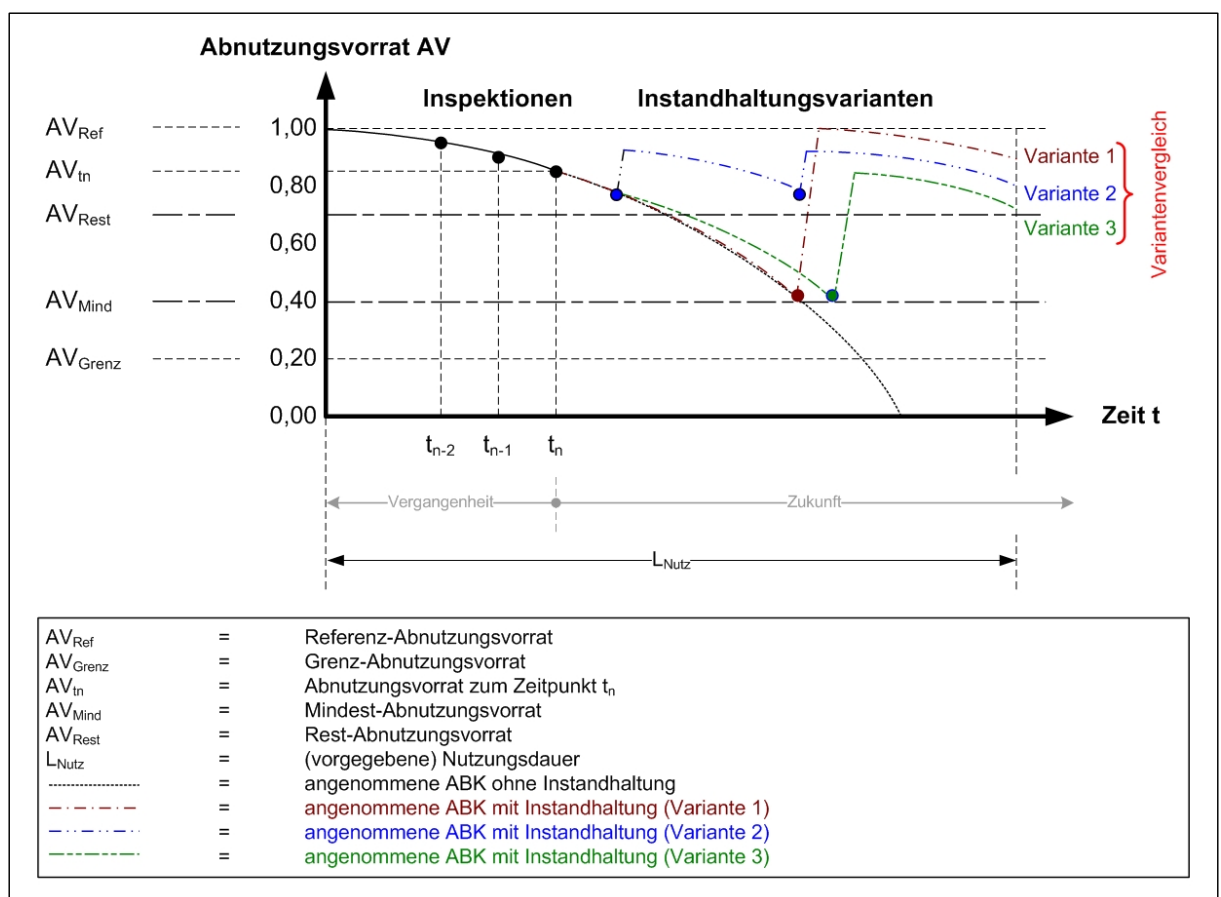


Abb. 35: Beispiel eines Abbauverlaufs bei einer prospektiven Instandhaltungsstrategie

3.5 Wahl geeigneter Instandhaltungsstrategien

Die **Wahl der geeigneten Instandhaltungsstrategie** ist nicht immer einfach und muss von Fall zu Fall individuell geprüft werden. In Abb. 36 werden Entscheidungskriterien, deren Ausprägungen sowie eine entsprechende Bewertung aufgeführt, welche bei der Auswahl der geeigneten Instandhaltungsstrategie helfen.

| | | | Bewertung von Entscheidungskriterien in Abhängigkeit von der Instandhaltungsstrategie | | | | | | |
|------------------------|--|--------------------------------------|---|--|--|--|--|--------------------------------------|--|
| | | | Korrektive Instandhaltungsstrategie | | Präventive Instandhaltungsstrategie | | | Aktuelle Forschung | |
| | | | Sofortige Instandhaltungsstrategie | Aufgeschobene Instandhaltungsstrategie | Vorausbestimmte Instandhaltungsstrategie | Zustandsbestimmte Instandhaltungsstrategie | Voraussagende Instandhaltungsstrategie | Prospektive Instandhaltungsstrategie | |
| Entscheidungskriterien | Bezogen auf die Umsetzung der Instandhaltungsstrategie | Planbarkeit der Maßnahmen | - | - | ++ | + | + | + | |
| | | Planungsaufwand | - | - | o | + | + | ++ | |
| | | Planungskosten | - | - | o | + | + | + | |
| | | Inspektionsbedarf | - | - | - | + | o | o | |
| | | Inspektionskosten | - | - | - | ++ | + | o | |
| | | Dokumentationsaufwand | - | - | o | + | + | + | |
| | | Personalaufwand | - | - | o | + | + | + | |
| | | Störungsanfälligkeit | + | + | o | - | - | - | |
| | | Störungsbeseitigungszeit | + | ++ | o | - | - | - | |
| | | Ausfall-/Folgekosten | + | ++ | - | - | - | - | |
| | | Optimierungspotenzial | - | - | - | + | + | ++ | |
| | Abstimmbarkeit der Maßnahmen mit Nutzer | - | - | o | + | + | + | | |
| | Bezogen auf das Instand zu haltende Bauelement | Instandsetzungshäufigkeit | - | - | + | - | - | - | |
| | | Instandsetzungskosten | + | ++ | + | o | o | - | |
| | | Instandsetzungsoptimierungspotential | - | - | o | + | + | ++ | |
| | | Ausnutzung des Abnutzungsvorrats | ++ | ++ | - | o | + | + | |
| | | Bauelementqualität | - | - | + | + | + | + | |
| Ausfallrisiko | | + | + | o | - | - | - | | |
| Dokumentationsqualität | - | - | o | + | + | + | | | |

| | | | | |
|--------------------|---|---|---|----------|
| Ausprägung: | ++ sehr hoch | + hoch | o mittel | - gering |
| Bewertung: | positiv | neutral | negativ | |

Abb. 36: Bewertung von Entscheidungskriterien in Abhängigkeit von der Instandhaltungsstrategie

Die Entscheidungskriterien beziehen sich hierbei auf die Umsetzung der Instandhaltungsstrategie sowie auf das instand zu haltende Bauelement und begründen sich aus den Aussagen gemäß den Abschnitten III3.2.1 bis III3.4. Die Ausprägungen werden in Abb. 36 in sehr hoch, hoch, mittel und gering differenziert. Zusätzlich findet eine Bewertung bzgl. der Ausprägungen der Entscheidungskriterien statt. Diese Bewertung kann hierbei positiv, neutral oder negativ sein und unterstützt somit die Beurteilung der Instandhaltungsstrategien.¹¹⁷

Für die Wahl der geeigneten Instandhaltungsstrategie sollten zunächst geeignete Entscheidungskriterien bestimmt werden. Dies kann u. a. mit Hilfe der Methode der Nutzwertanalyse geschehen (s. dazu Abschnitt IV3.1). Die Instandhaltungsstrategien mit den meisten positiven Ausprägungen bezogen auf die geeigneten Entscheidungskriterien sollten in die engere Auswahl kommen.

Zusätzlich kann für die Wahl der geeigneten Instandhaltungsstrategie die Abb. 37 zu Hilfe genommen werden. In dieser Abbildung werden unter Berücksichtigung entsprechender Entscheidungen den aufgeführten Bauelementklassen A bis F entsprechende Instandhaltungsstrategien zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt hierbei durch die Prüfung der folgenden Entscheidungskriterien:

- Vorhandensein gesetzlicher und herstellerspezifischer Vorschriften
- Ausschluss von Personenschäden
- Lebenserwartung des Bauelements kürzer als Nutzungsdauer
- Ausschluss hoher Ausfall- und Folgekosten
- Messbarkeit der Abnutzung
- Erfordernis von Wartungsarbeiten.

¹¹⁷ Die Entscheidungskriterien sowie deren Ausprägungen und Bewertungen können nach entsprechender Expertenbeurteilung bzw. zu betrachtendem Bauelement variieren.

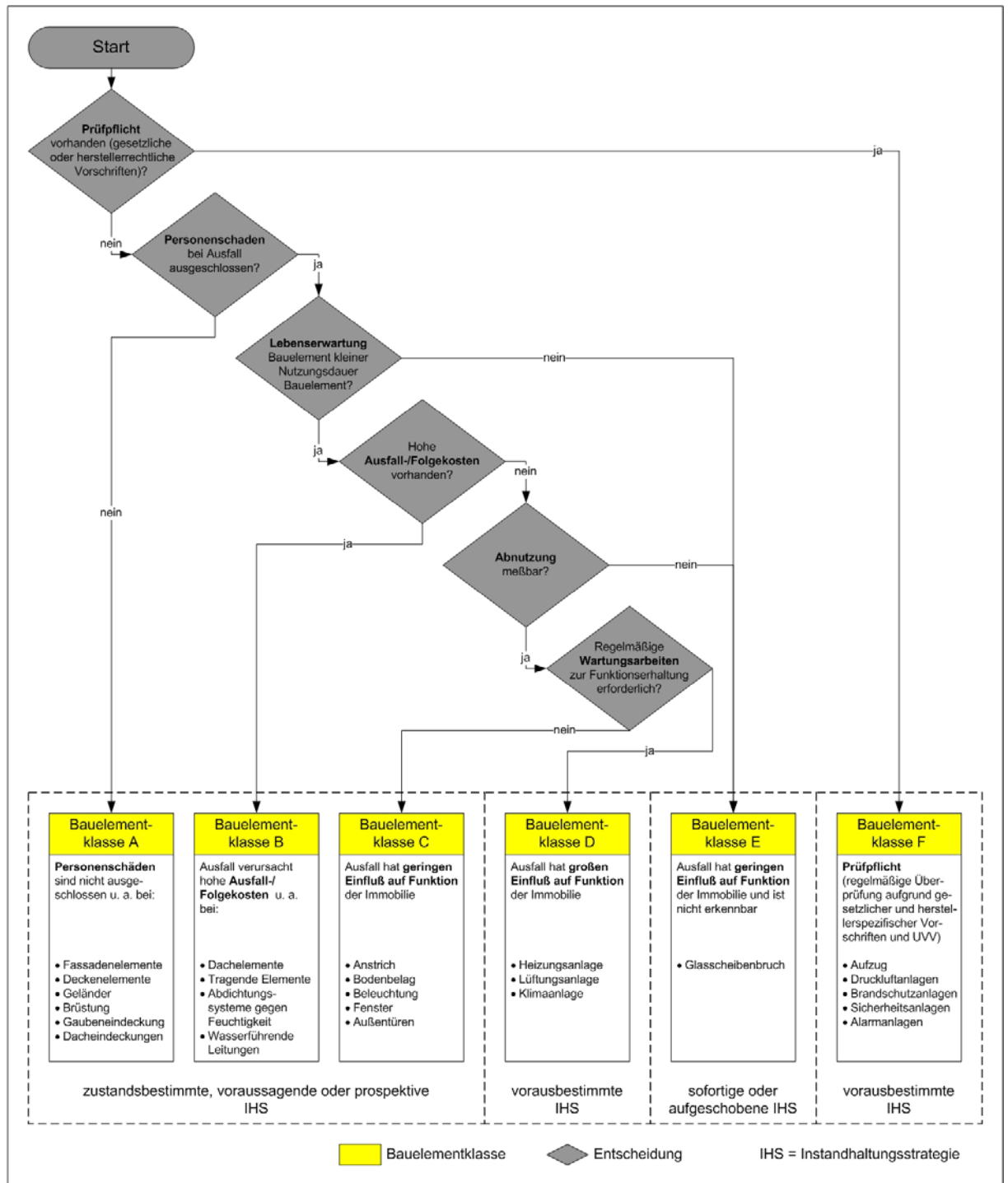


Abb. 37: Wahl von Instandhaltungsstrategien unter Berücksichtigung instandhaltungsrelevanter Entscheidungen¹¹⁸

¹¹⁸ Überarbeitete Darstellung in Anlehnung an KUHNE, V.: Ein Instandhaltungsmodell für Hochbauten. In: Schweizer Ingenieur und Architekt (1991), Heft 03, S. 248; KALAITZIS, D. (Hrsg.): Instandhaltungscontrolling – Führungs- und Steuerungssystem erfolgreicher Instandhaltung. 3. Aufl. Köln : TÜV-Verlag, 2004, S. 145 f.; KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007, S. 140

IV Verfahren zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats von Baustoffen (ERAB)

1 Bereichseinteilung und Bereichsbeschreibung des Abnutzungsvorrats

1.1 Gegenwärtige Bereichseinteilung und Bereichsbeschreibung

In der einschlägigen Fachliteratur gibt es Ansätze, den Abnutzungsvorrat von Bauelementen in Bereiche einzuteilen und zu beschreiben.¹¹⁹ Dabei unterscheiden sich diese Ansätze nicht nur hinsichtlich ihrer Anzahl der Bereichseinteilungen, sondern auch hinsichtlich der Art und des Umfangs ihrer Beschreibung. Eine grobe Übersicht ist in Abb. 38 dargestellt. Dabei ist festzustellen, dass gegenwärtig der Abnutzungsvorrat in mindestens vier Bereiche unterteilt wird. Diese Bereiche werden durch uneinheitliche Begriffe wie Abnutzungsstufe, Code, Note, Wertung, Stufe oder Bauzustandsstufe benannt. Darüber hinaus werden die Bereiche mittels Aussagen zum Schadensausmaß (z. B. geringe Schäden, Verschleiß 26 % - 50 %, leichte Abnutzung, Gebrauchs- oder Funktionstüchtigkeit ist erheblich gemindert) näher beschrieben. Teilweise werden Empfehlungen bzgl. der Instandhaltung gegeben.

Für eine erste grobe Orientierung sind die in der einschlägigen Fachliteratur dargestellten **Bereichseinteilungen und Bereichsbeschreibungen des Abnutzungsvorrats** ausreichend. Jedoch lassen sie einen subjektiven Spielraum bei ihrer Interpretation zu. Abhängig vom jeweiligen Prüfer und dem zu bewertenden Bauelement können unterschiedliche Aussagen zum Abnutzungsvorrat AV getroffen werden, was zu unterschiedlichen Bewertungsergebnissen führen kann. Für eine eindeutige Bewertung fehlen hierbei objektiv messbare Größen. Außerdem beziehen sich die Bereichseinteilungen und Bereichsbeschreibungen des Abnutzungsvorrats AV gemäß Fachliteratur häufig auf die gesamte Immobilie und nicht auf einzelne Bauelemente, wie Anstrich oder Putz. Der Prüfer wird demnach gezwungen, eine subjektive Gewichtung zwischen stärker abgenutzten und weniger abgenutzten Bauelementen zu erstellen, um den Bereich der Abnutzung zu bestimmen. Diese Gewichtung kann bei einem anderen Prüfer zu einem anderen Ergebnis führen.

¹¹⁹ Einige Ansätze sind beschrieben in BAHR, C.; LENNERTS, K.: Lebens- und Nutzungsdauer von Bauteilen – Endbericht. k. A. : k. A., 2010, S. 76.

| Bereichseinteilung und Bereichsbeschreibung des Abnutzungsvorrats | Krug | IP Bau | Merminod | Schröder | Couball | Stahr |
|--|---|--|--|---|---|--|
| | Abnutzungsstufe I keine oder unbedeutende Schäden keinerlei oder unbedeutende Gebrauchs- oder Funktionsminderungen, die keine Instandsetzung notwendig machen | Code a Zustand: gut Maßnahme: Unterhalt | Note 4 guter Zustand | Wertung 1,0 neu (intakt) | Stufe 1 keine Mängel und Schäden; keine Instandhaltungs- bzw. Instandsetzungsarbeiten notwendig; volle Funktionsfähigkeit vorhanden | Bauzustandsstufe 1 Durchschnittlicher Verschleiß: 0 % - 10 % Bewertung: sehr gut |
| | | | | Wertung 0,9 gebraucht (intakt) | Stufe 2 keine Mängel und Schäden; Pflege- und Kontrollarbeiten bzw. Instandhaltungsarbeiten erforderlich; volle Funktionsfähigkeit vorhanden | |
| | Abnutzungsstufe II geringe Schäden Gebrauchs- oder Funktionstüchtigkeit ist in geringem Maße beeinträchtigt; Instandsetzungen können zweckmäßig sein, um die Funktionsstörungen zu beseitigen und eine Ausweitung der Schäden zu vermeiden | Code b Zustand: leichte Abnutzung Maßnahme: kleinere Instandsetzung | Note 3 geringfügige Mängel | Wertung 0,8 leicht schadhaft | Stufe 3 leichte Schäden an untergeordneten Bauteilen; Instandsetzungsarbeiten zur Beseitigung der Schäden erforderlich; noch volle Funktionsfähigkeit vorhanden | Bauzustandsstufe 2 Durchschnittlicher Verschleiß: 11 % - 25 % Bewertung: gut |
| | Abnutzungsstufe III schwere Schäden Gebrauchs- oder Funktionstüchtigkeit ist erheblich gemindert; Instandsetzungen größeren Ausmaßes sind angezeigt | Code c Zustand: größere Abnutzung Maßnahme: größere Instandsetzung | Note 2 erhebliche Mängel resp. teilweises Fehlen von Einrichtungen | Wertung 0,5 mittel schadhaft | Stufe 4 schwere Schäden an untergeordneten Bauteilen und leichte bis mittlere Schäden an Teilen der Hauptkonstruktion; Instandsetzungen an den Schadstellen; teilweises Auswechseln bzw. Ersetzen von einzelnen Elementen; Wiederherstellung der vollen Funktionsfähigkeit unbedingt erforderlich, um schwerwiegenden Schäden vorzubeugen | Bauzustandsstufe 3 Durchschnittlicher Verschleiß: 26 % - 50 % Bewertung: befriedigend |
| Abnutzungsstufe IV Schadensgrenze ist erreicht oder der untere akzeptable Standard des Elements ist überschritten Gebrauchs- oder Funktionstüchtigkeit ist nicht mehr gewährleistet; eine Instandsetzung ist erforderlich | Code d Zustand: Ende Lebensdauer Maßnahme: Erneuerung (Ersatz) | Note 1 schlechter Zustand resp. gänzlich Fehlen von Einrichtungen | Wertung 0,2 stark schadhaft | Stufe 5 Zerstörungen an untergeordneten Bauteilen; schwere Schäden an Hauptkonstruktionen; Ersatz bzw. Sanierung von Elementen bzw. Bauteilen erforderlich; die Funktionsfähigkeit bzw. Standsicherheit des Gebäudes ist nicht mehr gewährleistet; Sofortmaßnahmen zur Wiederherstellung der Funktions- bzw. Standsicherheit erforderlich | Bauzustandsstufe 3-4 Durchschnittlicher Verschleiß: 51 % - 80 % Bewertung: mangelhaft | |
| | | | Wertung 0,0 irreparabel | | Bauzustandsstufe 4 Durchschnittlicher Verschleiß: 81 % - 100 % Bewertung: ungenügend | |

Abb. 38: Beispiele zu Bereichseinteilungen und -beschreibungen verschiedener Quellen¹²⁰

¹²⁰ Vgl. KRUG, K.-E.: Wirtschaftliche Instandhaltung von Wohngebäuden durch methodische Inspektion und Instandsetzungsplanung. Braunschweig, Technische Universität, Fachbereich für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Dissertation, 1985, S. 52; IP BAU (Hrsg.): Grobdiagnose – Zustandserfassung und Kostenschätzung von Gebäuden – Methode. 2. Aufl. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1995, S. 22; MERMINOD, P.; VICARI, J.: Handbuch MER – Methode zur Ermittlung der Kosten der Wohnungserneuerung. Bern : Bundesamt für Wohnungswesen, 1984, S. 14; SCHRÖDER, J.: Zustandsbewertung grosser Gebäudebestände. In: Schweizer Ingenieur und Architekt (1989), Heft 17, S. 451; COUBALL, B.: Eine Methode zur Erfassung und Bewertung des Bauzustands von Gebäuden der Industrie. In: Bauplanung – Bautechnik (1979), Heft 3, S. 121; STAHR, M. (Hrsg.): Bausanierung – Erkennen und Beheben von Bauschäden. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2009, S. 8

1.2 Modellorientierte Bereichseinteilung und Bereichsbeschreibung

Für eine objektive Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV, welche u. a. für den wirtschaftlichen Variantenvergleich innerhalb der prospektiven Instandhaltungsstrategie von Bedeutung ist (vgl. Abschnitt III3.4), wird der Abnutzungsvorrat auf einer Skala zwischen 0 und 1 betrachtet und in fünf gleichgroße Bereiche unterteilt. Die Obergrenze der Skala bildet der Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} mit dem Wert 1,00. Unterhalb des Grenz-Abnutzungsvorrats AV_{Grenz} (hier mit dem Wert 0,20 angesetzt) beginnt der zerstörte Bereich. Die **modellorientierte Bereichseinteilung des Abnutzungsvorrats AV** zeigt Abb. 39.

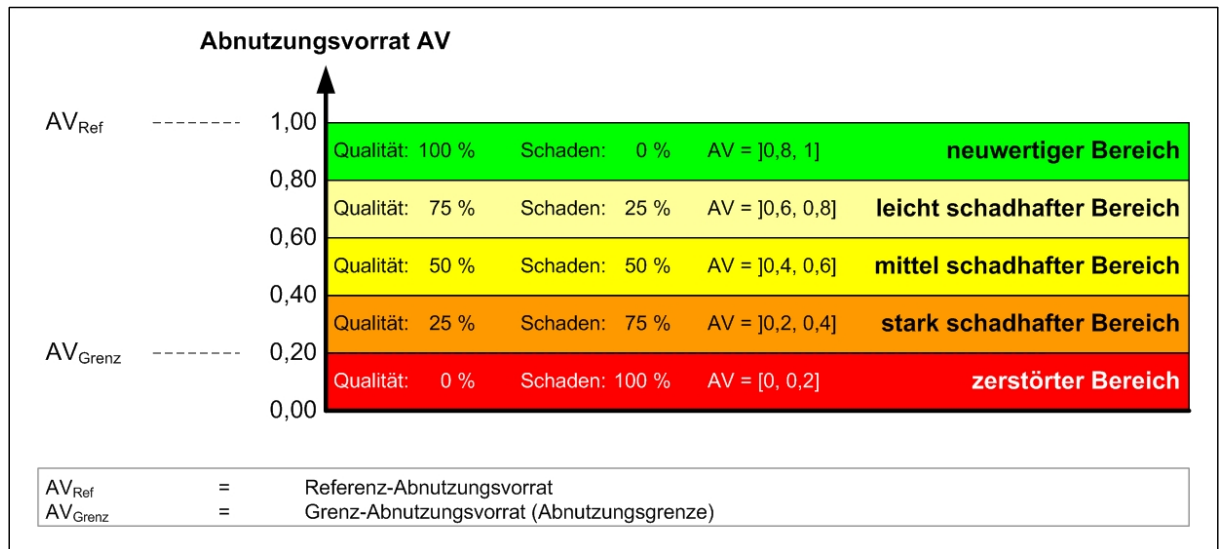


Abb. 39: Modellorientierte Bereichseinteilung des Abnutzungsvorrats¹²¹

Um die Bereiche des Abnutzungsvorrats zwecks Umsetzung einer Instandhaltungsstrategie möglichst objektiv darstellen zu können, wird als Basis für die modellorientierte Bereichsbeschreibung des Abnutzungsvorrats AV eine Beschreibung mittels Qualität und Schaden gewählt.

¹²¹ Die Bereichseinteilung kann in Abhängigkeit vom Baustoff bzw. nach Expertenbeurteilung oder Stand der Technik variieren.

Diese Wahl erfolgt bewusst mit dem Ziel, den Abnutzungsvorrat durch vielfältig bekannte Merkmale im Bauwesen auszudrücken, wobei zunächst eine Vielzahl der in Betracht zu ziehenden Merkmale in Abschnitt IV2.1 eingeführt und in qualitätsbezogene und schadensbezogene Merkmale (vgl. Abschnitt IV2.2 und IV2.3) unterteilt wird.

Für eine Bereichsbeschreibung ist es deshalb notwendig, die folgenden Begriffe in den nachfolgenden Abschnitten näher zu beschreiben:

- Qualität
- Schaden
- Merkmal
- Merkmalsklasse
- Merkmalsausprägung
- Merkmalsaspekt
- Skalierung der Merkmalsausprägung.

Die modellorientierte Bereichseinteilung des Abnutzungsvorrats AV in Kombination mit der in Abschnitt IV3.3.3 aufgeführten baustoffspezifischen Beschreibung stellt u. a. die Grundlage für die Ermittlung der folgenden Instandhaltungsparameter dar:

- Bestimmung des Abnutzungsvorrats AV_{t_n} zum Zeitpunkt t_n im Rahmen einer Inspektion (vgl. Abb. 13), im Rahmen einer Wartung (vgl. Abb. 14) oder im Rahmen von Instandsetzungsmaßnahmen (vgl. Abb. 16 und Abb. 17)
- Bestimmung des Grenz-Abnutzungsvorrats AV_{Grenz} im Rahmen einer sofortigen Instandhaltungsstrategie (vgl. Abb. 24)
- Bestimmung eines Mindest-Abnutzungsvorrats AV_{Mind} im Rahmen einer zustandsorientierten Instandhaltungsstrategie (vgl. Abb. 30)
- Bestimmung eines Rest-Abnutzungsvorrats AV_{Rest} im Rahmen einer prospektiven Instandhaltungsstrategie (vgl. Abb. 35).

1.3 Bereichsbeschreibung auf Basis von Qualität

Der Begriff der Qualität ist in der Norm DIN EN ISO 8402 wie folgt definiert:

Qualität ist die Gesamtheit von *Merkmalen* (und Merkmalswerten) einer *Einheit* bzgl. ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen.¹²²

Unter einer **Einheit** ist dabei etwas zu verstehen, was einzeln beschrieben und betrachtet werden kann, so z. B. eine Tätigkeit, ein Prozess, eine Dienstleistung, ein Produkt, ein Bauelement oder eine Organisation.¹²³ Innerhalb dieser Arbeit werden qualitative Beschreibungen an der Einheit „Bauelement“ durchgeführt.

Der Begriff „Qualität“ wird branchenabhängig in verschiedenen Zusammenhängen gebraucht und steht häufig für Anforderung, Anspruchsklasse, Beschaffenheit, Eigenschaft, Güte, Sorte bzw. Wertigkeit.¹²⁴

Die spezifischen Angaben zur Qualität innerhalb des Bauwesens werden vorwiegend in Verordnungen, Gesetzen, Richtlinien, Verarbeitungsvorschriften, Normen, Verträgen, Ausschreibungen, Beschreibungen oder Regelwerken definiert.¹²⁵

Auf der Basis von Qualität, speziell durch qualitative Merkmale (s. Abschnitt IV2.2), erfolgt u. a. die Bereichsbeschreibung des Abnutzungsvorrats gemäß Abb. 39.

¹²² Vgl. DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 8402 – Qualitätsmanagement – Begriffe. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 08-1995, S. 9

¹²³ Vgl. ebenda, S. 6

¹²⁴ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN 55350-11 – Begriffe zum Qualitätsmanagement – Teil 11: Ergänzung zu DIN EN ISO 9000:2005. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 05-2008, S. 4, S. 10

¹²⁵ Vgl. JÖBSTL, O.: Einsatz von Qualitätsinstrumenten und -methoden – Ein Anwendungsmodell für Dienstleistungen am Beispiel der Instandhaltung. Wiesbaden : Deutscher Universitäts-Verlag, 1999, S. 9; IRB (Hrsg.): Lebensdauer der Baustoffe und Bauteile zur Harmonisierung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer im Wohnungsbau. Hannover : IRB Verlag, 2005, S. 15; BEZOLD, T.: Zur Messung der Dienstleistungsqualität – Eine theoretische und empirische Studie zur Methodenentwicklung unter besonderer Berücksichtigung des ereignisorientierten Ansatzes. Frankfurt am Main : Peter Lang Verlag, 1996, S. 37; WÜRFELE, F.; BIELEFELD, B.; GRALLA, M.: Bauobjektüberwachung – Kosten – Qualitäten – Termine – Organisation – Leistungsinhalt – Rechtsgrundlagen – Haftung – Vergütung. Wiesbaden : Vieweg, 2007, S. 65 ff.; DIN (Hrsg.): DIN 55350-11 – Begriffe zum Qualitätsmanagement – Teil 11: Ergänzung zu DIN EN ISO 9000:2005. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 05-2008

1.4 Einführung von Merkmalen, Merkmalsklassen und Merkmalsausprägungen

Die Qualität einer Einheit lässt sich durch Merkmale beschreiben. Als **Merkmal** werden interessierende Größen, Variablen und kennzeichnende Eigenschaften verstanden. Beispiele für Merkmale sind Leistung, Brauchbarkeit, Zuverlässigkeit¹²⁶, Verfügbarkeit, Funktion¹²⁷ bzw. Funktionsfähigkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit¹²⁸, (Umwelt-)Verträglichkeit¹²⁹, Wirtschaftlichkeit und Ästhetik.¹³⁰

Merkmale lassen sich in **Merkmalsklassen** wie physikalische (z. B. mechanische oder elektrische), chemische (z. B. Reaktionsfähigkeit von Stoffen), biologische (z. B. Pflanzenwachstum), sensorische (z. B. bzgl. Geruch, Berührung, Geschmack, Sehvermögen, Gehör), verhaltensbezogene (z. B. Anständigkeit, Ehrlichkeit, Wahrheitsliebe), zeitbezogene (z. B. Pünktlichkeit, Verlässlichkeit, Verfügbarkeit), ergonomische (z. B. physiologische oder auf Sicherheit für den Menschen bezogene Merkmale) bzw. funktionale (z. B. Wärmedämmung eines Bauelements) unterteilen.¹³¹

¹²⁶ Zusammenfassender Ausdruck zur Beschreibung der Verfügbarkeit und ihrer Einflussfaktoren: Funktionsfähigkeit, Instandhaltbarkeit und Instandhaltungsbereitschaft (vgl. DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 8402 – Qualitätsmanagement – Begriffe. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 08-1995, S. 12)

¹²⁷ Eine Funktion wird durch die bei der Herstellung definierten Anforderungen z. B. Angaben zur Tragfähigkeit, den Dämmeigenschaften oder der Winddichtigkeit charakterisiert (vgl. DIN (Hrsg.): DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2003, S. 7).

¹²⁸ Zustand, in dem das Risiko eines Personen- oder Sachschadens auf einen annehmbaren Wert begrenzt ist (vgl. DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 8402 – Qualitätsmanagement – Begriffe. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 08-1995, S. 12)

¹²⁹ Eignung von Einheiten, die unter spezifischen Bedingungen zusammen benutzt werden, um relevante Forderungen zu erfüllen (vgl. DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 8402 – Qualitätsmanagement – Begriffe. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 08-1995, S. 12)

¹³⁰ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 8402 – Qualitätsmanagement – Begriffe. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 08-1995, S. 9

¹³¹ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 9000 – Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 12-2005, S. 26; ELLIS, A.; KAUFERSTEIN, M.: Dienstleistungsmanagement – Erfolgreicher Einsatz von prozessorientiertem Service Level Management. Berlin : Springer-Verlag, 2004, S. 25

Ein konkreter Wert eines Merkmals wird **Merkmalsausprägung** (MA) genannt.¹³² Aufgrund der Art ihrer Merkmalsausprägungen werden Merkmale wie folgt unterschieden:

- qualitative Merkmale
- quantitative Merkmale.

Unter einem **qualitativen Merkmal** (auch kategoriales Merkmal genannt) werden Größen verstanden, die endlich viele (Merkmals-)Ausprägungen besitzen. Die Ausprägungen lassen sich in Nominal- bzw. Ordinalskalen darstellen (vgl. S. 76). Die Ausprägungen widerspiegeln keine Intensität oder Ausmaße.¹³³ Beispiele für qualitative Merkmale sind Angaben zu Instandhaltungskosten wie hoch, mittel, niedrig oder Angaben zum Ist-Zustand einer Außenwand wie gut, mittel, schlecht.

Ausprägungen, die eine Intensität oder Ausmaße widerspiegeln, d. h., es können Messwerte mit Maßzahl und Maßeinheit angegeben werden, werden einem **quantitativen Merkmal** (auch objektiv messbares Merkmal genannt) zugeordnet. Die Ausprägungen lassen sich in Intervall- bzw. Verhältnisskalen darstellen (vgl. S. 77).¹³⁴ Beispiele für quantitative Merkmale sind Angaben zur Bauelementdicke wie 15 mm.

Zwecks Beschreibung des Begriffs der Qualität wird im Folgenden beispielhaft der Zusammenhang von Merkmalen und Merkmalsklassen in Abb. 40 dargestellt.

¹³² Vgl. FAHRMEIR, L.; KÜNSTLER, R.; PIGEOT, I.: Statistik – Der Weg zur Datenanalyse. 6. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2007, S. 15; ELLIS, A.; KAUFERSTEIN, M.: Dienstleistungsmanagement – Erfolgreicher Einsatz von prozessorientiertem Service Level Management. Berlin : Springer-Verlag, 2004, S. 25; GABLER (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon – Taschenbuch-Kassette mit 10 Bd. – Band 7 – O-R. 14. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997, S. 3161

¹³³ Vgl. FAHRMEIR, L.; KÜNSTLER, R.; PIGEOT, I.: Statistik – Der Weg zur Datenanalyse. 6. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2007, S. 20; FÜHRER, H.; GRIEF, M.: Gebäudemanagement für Architekten und Ingenieure. Darmstadt : DLB Verlag, 1997, S. 55; DIN (Hrsg.): DIN 55350-12 – Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik – Merkmalsbezogene Begriffe. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 03-1989, S. 3

¹³⁴ Vgl. FAHRMEIR, L.; KÜNSTLER, R.; PIGEOT, I.: Statistik – Der Weg zur Datenanalyse. 6. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2007, S. 20; FÜHRER, H.; GRIEF, M.: Gebäudemanagement für Architekten und Ingenieure. Darmstadt : DLB Verlag, 1997, S. 55; GABLER (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon – Taschenbuch-Kassette mit 10 Bd. – Band 7 – O-R. 14. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997, S. 3165; DIN (Hrsg.): DIN 55350-12 – Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik – Merkmalsbezogene Begriffe. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 03-1989, S. 2

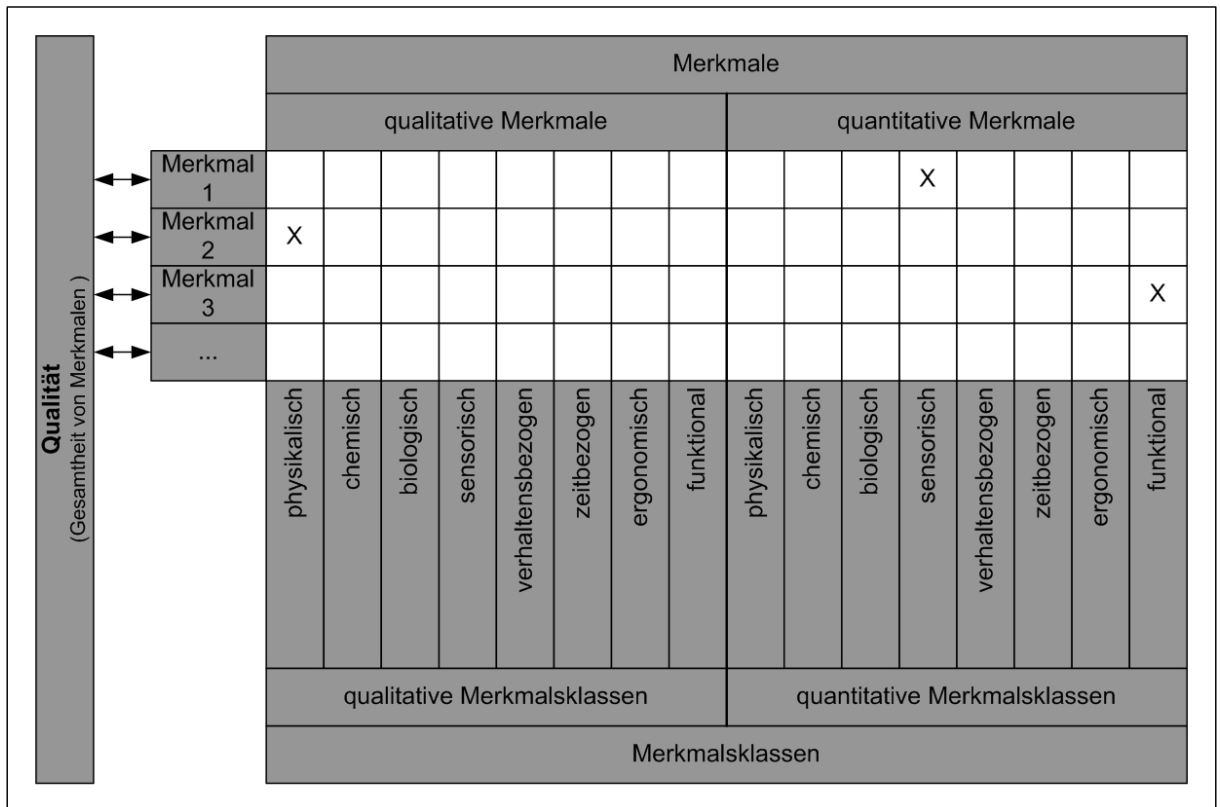


Abb. 40: Beispieldarstellung zur Beschreibung des Begriffs der Qualität

In Abb. 41 werden einige Beispiele für Merkmale und jeweils eine zugehörige Merkmalsausprägung aufgezeigt.¹³⁵

| Merkmale | | Merkmalsausprägung (Merkmalswert) |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| qualitative Merkmale | quantitative Merkmale | |
| | Alter des Bauelements | 10 Jahre |
| | Dicke des Bauelements | 15 mm |
| | Raumtemperatur | + 21°C |
| Zustand der Außenwand | | schlecht |
| ... | ... | ... |

Abb. 41: Beispiele für Merkmale mit Merkmalsausprägungen

¹³⁵ Vgl. FAHRMEIR, L.; KÜNSTLER, R.; PIGEOT, I.: Statistik – Der Weg zur Datenanalyse. 6. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2007, S. 11, S. 16

Abb. 42 zeigt allgemein den Zusammenhang von Merkmalen, Merkmalsausprägungen und Merkmalsklassen. Für jedes Merkmal lassen sich Merkmalsausprägungen ermitteln, wobei ihre Anzahl differieren kann. Ein Merkmal lässt sich wiederum zu einer spezifischen Merkmalsklasse zuordnen, wobei sich letztendlich zwei generelle Merkmalsklassen – qualitativ und quantitativ – ergeben.

Im allgemeinen Sprachgebrauch werden oftmals Begriffe im Sinne eines Merkmals verwendet, die mehrere interessierende Größen, Variablen bzw. Eigenschaften zusammenfassen und somit nicht nur eine Merkmalsausprägung aufweisen. Um diese Begriffe auch innerhalb dieser Arbeit anwenden zu können, wird der Begriff Merkmalsaspekt eingeführt.

Bei einem **Merkmalsaspekt** handelt es sich um ein Teilmerkmal, das nur eine bestimmte Merkmalsausprägung, d. h. Werte mit gleicher Einheit bzw. Eigenschaft, eines übergeordneten Merkmals verkörpert und somit das übergeordnete Merkmal in Teilen charakterisiert. Die Gesamtheit der Merkmalsaspekte sowie ihrer Merkmalsausprägungen beschreiben das betrachtete übergeordnete Merkmal.

Merkmalsaspekte sind in Abb. 42 beispielhaft unter dem Merkmal 5 aufgeführt. Das schadensbezogene Merkmal Riss in Abschnitt IV2.3 weist bspw. die Merkmalsaspekte Rissmenge, Risslänge, Rissbreite, Risstiefe sowie Rissbild auf (vgl. Abb. 60). Die Beschreibung des Einflusses der einzelnen Merkmalsausprägungen der jeweiligen Merkmalsaspekte¹³⁶ im Hinblick auf die Ermittlung des Abnutzungsvorrats erfolgt in Abschnitt IV3.3.2.7.

¹³⁶ Hier werden speziell die Rissanzahl bezogen auf die betrachtete Gesamtfläche, die Längenangaben bezogen auf die Risslänge, -breite und -tiefe sowie die spezifischen Rissbilder betrachtet.

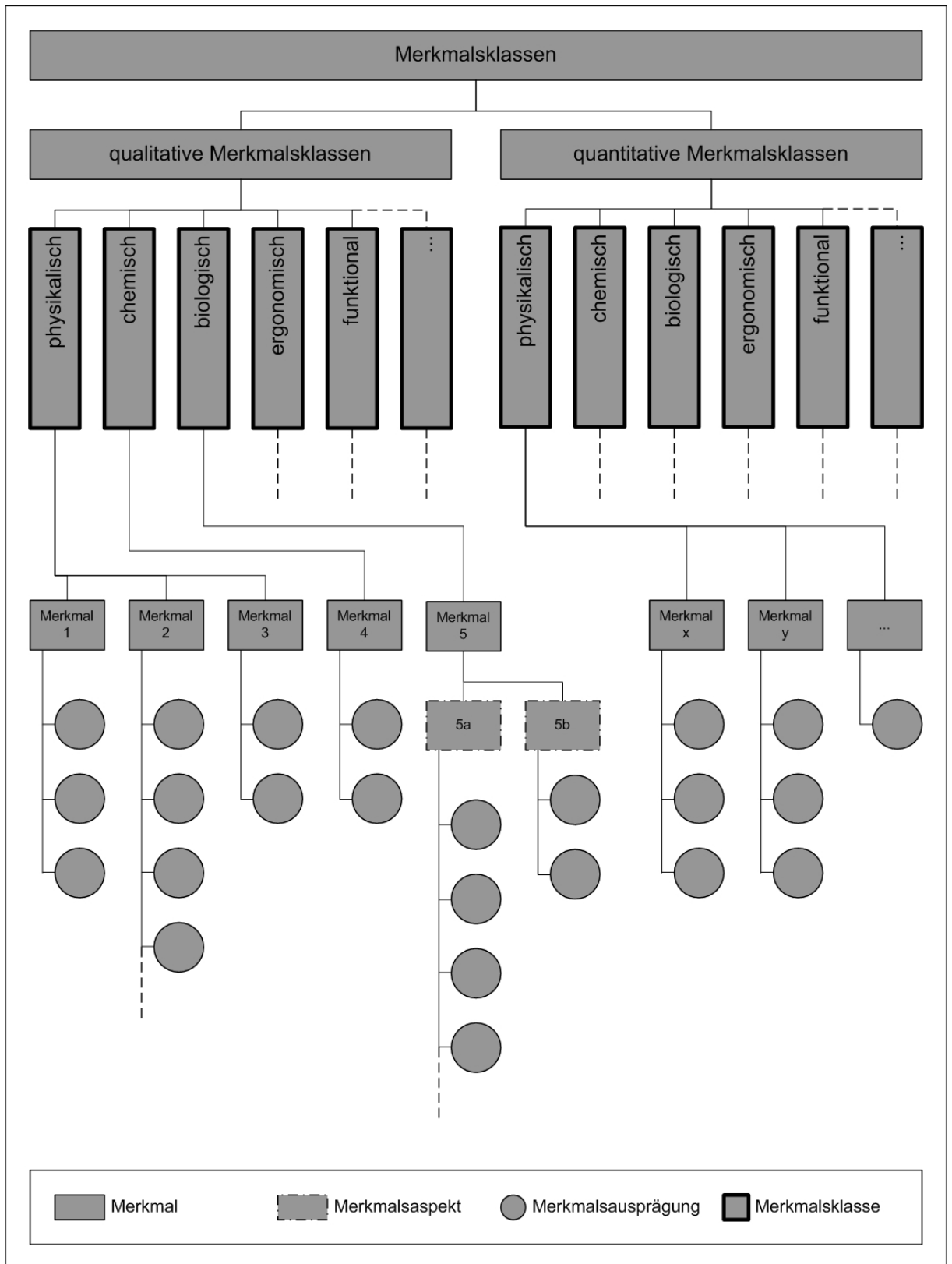


Abb. 42: Zusammenhang von Merkmalsklassen, Merkmalen und Merkmalsausprägungen

1.5 Skalierungsmöglichkeiten von Merkmalsausprägungen

Für die Darstellung von Merkmalsausprägungen existieren die folgenden Skalen, welche sich hinsichtlich ihrer Aussagekraft sowie ihrer Eignung für arithmetische Operationen unterscheiden:¹³⁷

- Nominalskala (geeignet für qualitative Merkmale)
- Ordinalskala (geeignet für qualitative Merkmale)
- Intervallskala (geeignet für quantitative Merkmale)
- Verhältnisskala (Ratioskala; geeignet für quantitative Merkmale).

Die **Nominalskala** ist die einfachste Form der Skalierung. Die Ausprägungen sind u. a. Namen oder Kategorien, wie Farben, Religionszugehörigkeiten oder Geschlecht. Die Aussagekraft einer Nominalskala ist gering. Die Ausprägungen auf Nominalskalen sind nicht für arithmetische Operationen geeignet. Ein zulässiges statistisches Maß ist lediglich die Häufigkeit.¹³⁸

Oftmals werden aus technischen Gründen den Merkmalsausprägungen Zahlen zugewiesen, die nur der Kodierung dienen und denselben Zweck wie Namen erfüllen.¹³⁹ Beispiele hierfür sind:

- Flachdach vorhanden: nein = 0 ja = 1
- Farbe des Außenputzes: weiß = 0 gelb = 1 grau = 2

¹³⁷ Vgl. FAHRMEIR, L.; KÜNSTLER, R.; PIGEOT, I.: Statistik – Der Weg zur Datenanalyse. 6. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2007, S. 17 ff.; OLFERT, K. (Hrsg.): Investition. 8. Aufl. Ludwigshafen : Friedrich Kiehl Verlag, 2001, S. 322 ff.; BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; PLINKE, W.: Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung. 9. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2000, S. XVIII ff.; HARTUNG, J.; ELPELT, B.; KLÖSENER, K.-H.: Statistik – Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. 4. Aufl. München : Oldenbourg Verlag, 1985; SCHÖNFELDER, E.: Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung von Schichtsystemen nach arbeitswissenschaftlichen Kriterien. Frankfurt am Main : Peter Lang Verlag, 1991, S. 155; ZANGEMEISTER, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. 4. Aufl. München : Wittmann, 1976, S. 149 ff.

¹³⁸ Vgl. BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; PLINKE, W.: Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung. 9. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2000, S. XIX

¹³⁹ Vgl. FAHRMEIR, L.; KÜNSTLER, R.; PIGEOT, I.: Statistik – Der Weg zur Datenanalyse. 6. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2007, S. 17; BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; PLINKE, W.: Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung. 9. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2000, S. XVIII

Die **Ordinalskala** (Rangskala) enthält alternative Ausprägungen, die neben Verschiedenheit auch eine Rangordnung zum Ausdruck bringen, d. h. geordnet werden können. Die Abstände der Ausprägungen sind allerdings nicht interpretierbar. Die Ausprägungen von Ordinalskalen sind nicht für arithmetische Operationen geeignet. Zulässige statistische Maße sind Häufigkeiten, Median¹⁴⁰ (Grenze zwischen zwei Hälften) oder Quantile¹⁴¹ (Streuungsmaß in der Statistik).¹⁴²

Beispiele für eine Ordinalskala sind die Ritzhärte nach Mohs (s. Härte S. 86) und die Anwendung von Schulnoten. Es ist bekannt, dass ein „sehr gut“ (Note 1) besser ist als ein „gut“ (Note 2), doch der Abstand zwischen den Noten lässt sich nicht interpretieren oder vergleichen bspw. mit dem Abstand zwischen der Note „befriedigend“ (Note 3) und „ausreichend“ (Note 4).¹⁴³

Die in der einschlägigen Fachliteratur verwendeten Ansätze zur Einteilung des Abnutzungsvorrats (s. Abb. 38) werden vorwiegend mittels Anwendung einer Ordinalskala dargestellt. Ein Beispiel hierzu ist die Bereichsbeschreibung mittels Ausprägungen wie neu, leicht schadhaft, mittel schadhaft, stark schadhaft sowie irreparabel.¹⁴⁴

¹⁴⁰ In der Statistik halbiert der Median bspw. eine Verteilung.

¹⁴¹ In der Statistik wird unter Quantil ein vorgegebener Anteil einer Verteilung verstanden.

¹⁴² Vgl. BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; PLINKE, W.: Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung. 9. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2000, S. XIX

¹⁴³ Vgl. FAHRMEIR, L.; KÜNSTLER, R.; PIGEOT, I.: Statistik – Der Weg zur Datenanalyse. 6. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2007, S. 17; SCHÖNFELDER, E.: Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung von Schichtsystemen nach arbeitswissenschaftlichen Kriterien. Frankfurt am Main : Peter Lang Verlag, 1991, S. 155; GABLER (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon – Taschenbuch-Kassette mit 10 Bd. – Band 7 – O-R. 14. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997, S. 2869

¹⁴⁴ Vgl. SCHRÖDER, J.: Zustandsbewertung grosser Gebäudebestände. In: Schweizer Ingenieur und Architekt (1989), Heft 17, S. 451

Die **Intervallskala** enthält alternative Ausprägungen, die neben Verschiedenheit auch eine Rangordnung zum Ausdruck bringen, d. h. geordnet werden können. Zusätzlich sind auch die Abstände der Ausprägungen interpretierbar. Die Ausprägungen von Intervallskalen sind für arithmetische Operationen wie Addition und Subtraktion geeignet. Zulässige statistische Maße sind Häufigkeiten, Median (Grenze zwischen zwei Hälften), Quantile (Streuungsmaß in der Statistik), Mittelwert (arithmetisches Mittel) und Standardabweichung, nicht aber die Summe.¹⁴⁵

Ein Beispiel für die Anwendung einer Intervallskala ist die Ermittlung der Temperatur mittels eines Thermometers.

Die **Verhältnisskala (Ratioskala)** enthält alternative Ausprägungen, die neben Verschiedenheit auch eine Rangordnung zum Ausdruck bringen, d. h. geordnet werden können. Zusätzlich sind auch die Abstände der Ausprägungen interpretierbar und lassen sich in ein Verhältnis bringen, d. h., es existiert ein natürlicher Nullpunkt. Die Ausprägungen von Verhältnisskalen (Ratioskalen) sind für alle arithmetischen Operationen wie Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division bzw. das Verhältnis (Ratio) geeignet. Zulässige statistische Maße sind Häufigkeiten, Median (Grenze zwischen zwei Hälften), Quantile (Streuungsmaß in der Statistik), Mittelwert (arithmetisches Mittel), Standardabweichung und die Summe.¹⁴⁶

Beispiele für eine Verhältnisskala (Ratioskala) sind die Anwendung physikalischer Merkmale wie Länge, Gewicht oder Geschwindigkeit, aber auch die Anwendung ökonomischer Merkmale wie Einkommen, Kosten und Preis.¹⁴⁷

¹⁴⁵ Vgl. . FAHRMEIR, L.; KÜNSTLER, R.; PIGEOT, I.: Statistik – Der Weg zur Datenanalyse. 6. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2007, S. 18; BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; PLINKE, W.: Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung. 9. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2000, S. XIX; GABLER (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon – Taschenbuch-Kassette mit 10 Bd. – Band 5 – I-K. 14. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997, S. 2016

¹⁴⁶ Vgl. BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; PLINKE, W.: Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung. 9. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2000, S. XIX f.

¹⁴⁷ Vgl. . FAHRMEIR, L.; KÜNSTLER, R.; PIGEOT, I.: Statistik – Der Weg zur Datenanalyse. 6. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2007, S. 18; BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; PLINKE, W.: Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung. 9. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2000, S. XIX; GABLER (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon – Taschenbuch-Kassette mit 10 Bd. – Band 9 – T-VE. 14. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997, S. 4049

Abb. 43 zeigt in Abhängigkeit zu den verschiedenen Skalenarten die vorhandenen Ausprägungseigenschaften, zulässigen statistischen Maße sowie zulässigen arithmetischen Operationen auf. Dabei ist ersichtlich, dass sich mit Zunahme des Skalenniveaus, ausgehend von der Nominalskala bis hin zur Verhältnisskala, die Möglichkeiten der arithmetischen Operationen und die Anzahl zulässiger statistischer Maße erhöhen.¹⁴⁸

| Skala | Skaleneigenschaften | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|------------------------------|---|--|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------|-------|-------------------------------------|-------------|----------------|----------|
| | Ausprägungseigenschaften | | | Zulässige statistische Maße | | | | | | Zulässige arithmetische Operationen | | | |
| | Rangordnung der Ausprägungen | Interpretierbarkeit der Abstände der Ausprägungen | Existenz eines Nullpunkts der Ausprägungen | Häufigkeit | Median (Grenze zwischen zwei Hälften) | Quantile (Streuungsmaß) | Mittelwert (arithmetisches Mittel) | Standardabweichung | Summe | Addition | Subtraktion | Multiplikation | Division |
| Nominalskala | - | - | - | + | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ordinalskala | + | - | - | + | + | + | - | - | - | - | - | - | - |
| Intervallskala | + | + | - | + | + | + | + | + | - | + | + | - | - |
| Verhältnisskala | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |

+ möglich/vorhanden
 - nicht möglich/nicht vorhanden

Abb. 43: Skalenarten der Merkmalsausprägungen und ihre Eigenschaften¹⁴⁹

¹⁴⁸ Vgl. BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; PLINKE, W.: Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung. 9. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2000, S. XX

¹⁴⁹ In Anlehnung an FAHRMEIR, L.; KÜNSTLER, R.; PIGEOT, I.: Statistik – Der Weg zur Datenanalyse. 6. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2007, S. 18; BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; PLINKE, W.: Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung. 9. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2000, S. XIX ff.

1.6 Bereichsbeschreibung auf Basis von Schaden

Neben der Beschreibung der Bereiche des Abnutzungsvorrats im Hinblick auf Qualität besteht die Abgrenzungsmöglichkeit unter Berücksichtigung des Schadens.

Unter einem **Schaden** wird im Sinne der Instandhaltung ein Zustand beschrieben, welcher nach Unterschreiten eines bestimmten Grenzwertes des Abnutzungsvorrats eine im Hinblick auf die Verwendung unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit bedingt.¹⁵⁰

Innerhalb dieser Arbeit werden speziell die Bauschäden als Eigenschaften, d. h. als Merkmale von Objekten (im Speziellen von Bauelementen), untersucht.

„**Bauschäden** sind Auswirkungen nicht erfüllter vorgeschriebener oder vereinbarter Forderungen bzw. Eigenschaften, die die Stand- bzw. Tragsicherheit bzw. die Funktions- bzw. Gebrauchssicherheit innerhalb der normalen Nutzungsdauer beeinträchtigen. Bauschäden sind alle unbeabsichtigten Veränderungen, die während der Herstellung und Nutzung auftreten.“¹⁵¹

Beispiele für die Charakterisierung der Bereiche des Abnutzungsvorrats mittels Schaden sind Angaben zum Korrosionsgrad, der Risslänge oder der Volumenabnahme (s. dazu Abschnitt IV2.3).

¹⁵⁰ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN 31051 – Instandhaltung – Begriffe und Maßnahmen. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-1985; (Der Begriff „Schaden“ wurde in der neuen Ausgabe der DIN 31051 gestrichen und an seiner Stelle der Begriff „Abnutzungsgrenze“ eingeführt [vgl. DIN (Hrsg.): DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2003, S. 12].)

¹⁵¹ THIENEL, K.-C.: Bauschäden – Frühlingstrimester 2006. München : Universität der Bundeswehr München, 2006, S. 13

2 Abnutzungsrelevante Merkmale

2.1 Einführung bauspezifischer Merkmalsklassen

Für die Charakterisierung des Abnutzungsvorrats gibt es viele verschiedene für das Bauwesen relevante Merkmale. Aufgrund redundanter kennzeichnender Eigenschaften bzw. Ähnlichkeiten lassen sich diese Merkmale den folgenden vier **bauspezifischen Merkmalsklassen**¹⁵² zuordnen:¹⁵³

- baustatische Merkmalsklasse
- chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse
- bauphysikalische Merkmalsklasse
- optische Merkmalsklasse.

Die **baustatische Merkmalsklasse** umfasst alle Merkmale, welche in Bezug auf die Statik, die Festigkeitslehre der Bauelemente sowie die Einwirkung und Abtragung von Kräften relevant sind.

Die **chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse** umfasst alle Merkmale, welche den Aufbau sowie die Struktur eines Baustoffs bzw. dessen Abbau durch chemische, biologische bzw. physikalische Prozesse beeinflusst.

Die **bauphysikalische Merkmalsklasse** umfasst alle Merkmale, welche in Verbindung mit den bauspezifischen Bereichen Brand-, Feuchte-, Schall- und Wärmeschutz sowie Licht stehen.

Die **optische Merkmalsklasse** umfasst alle Merkmale, welche in Bezug auf Aussehen, Erscheinungsbild bzw. Reinheit relevant sind.

¹⁵² Die Zuordnung der Merkmale zu den bauspezifischen Merkmalsklassen ist für die Ermittlung des Abnutzungsvorrats mittels der Nutzwertanalyse gemäß Abschnitt IV3 notwendig. Für die Charakterisierung des Abnutzungsvorrats anderer Bauelemente (z. B. Bauelemente der technischen Gebäudeausrüstung) kann es sinnvoll sein, neue bauspezifische Merkmalsklassen einzuführen, d. h. ihre Anzahl zu erweitern oder zu reduzieren.

¹⁵³ In Anlehnung an GÄNßMANTEL, J.; GEBURTIG, G.; SCHAU, A.: Sanierung und Facility Management – Nachhaltiges Bauinstandhalten und Bauinstandsetzen. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2005, S. 132 ff.; SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 15

2.2 Qualitätsbezogene Merkmale

Die Bereiche des Abnutzungsvorrats gemäß Abb. 39 können u. a. mittels Angaben zur Qualität (vgl. Abschnitt IV1.3) beschrieben werden. Gemäß der aufgeführten Qualitätsdefinition werden Merkmale zur qualitativen Beschreibung einer Einheit, im speziellen Fall eines Bauelements, herangezogen.

In der einschlägigen Fachliteratur finden eine Vielzahl an bauspezifischen Merkmalen für die Beschreibung der Qualität von Bauelementen Anwendung. Hierbei gilt es zu untersuchen, ob diese bauspezifischen Merkmale für die Charakterisierung der Bereiche des Abnutzungsvorrats geeignet sind. Zunächst werden die häufigsten in der Fachliteratur aufgeführten **qualitätsbezogenen Merkmale** in Abb. 44 aufgelistet und ihre Zugehörigkeit zu den bauspezifischen Merkmalsklassen aus Abschnitt IV2.1 aufgezeigt. Diejenige bauspezifische Merkmalsklasse, welcher ein qualitätsbezogenes Merkmal primär zugehört, ist in Abb. 44 farblich hervorgehoben.¹⁵⁴ Die qualitätsbezogenen Merkmale werden im Folgenden beschrieben.

Mittels der **Biegefestigkeit** (Biegezugfestigkeit) werden Baustoffe bewertet, bei denen die Zugfestigkeit kleiner ist als die Druckfestigkeit. Bei diesen Baustoffen erfolgt der Bruch durch ein Versagen in der Zugzone. Die Biegefestigkeit ist bei spröden Baustoffen wie Gusseisen, Mörtel oder Beton von Bedeutung und wird in Kraft pro Fläche (z. B. N/mm²) angegeben.¹⁵⁵

Die **biologische Beständigkeit** beschreibt den Widerstand eines Bauelements gegen das Einwirken von biologischen Einflüssen, wie Bakterien, Algen, Pilzbefall, Flechten, Moose und Pflanzen.¹⁵⁶

Die **chemische Beständigkeit** beschreibt den Widerstand eines Bauelements gegen das Einwirken von chemischen Einflüssen, wie Salze, Rauchgase, Abgase, Fet-

¹⁵⁴ Das dient der Beseitigung von Bewertungsmerkmalskonflikten gemäß Abschnitt IV3.2.2.

¹⁵⁵ Vgl. WENDEHORST, R.: Baustoffkunde. 26. Aufl. Hannover : Curt R. Vincentz, 2004, S. 16

¹⁵⁶ In Anlehnung an BENEDIX, R.: Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 368

te, Öle, anorganische bzw. organische Säuren und Laugen (Basen).¹⁵⁷ Die chemische Beständigkeit kann mit der Korrosionsbeständigkeit gleichgesetzt werden und beinhaltet auch die pH-Beständigkeit.¹⁵⁸

| Merkmal (qualitätsbezogen) | Bauspezifische Merkmalsklassen | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--|---------------------------------|-------------------------|
| | Baustatische Merkmalsklasse | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | Bauphysikalische Merkmalsklasse | Optische Merkmalsklasse |
| Biegefestigkeit | + | | | |
| Biologische Beständigkeit | o | + | | o |
| Chemische Beständigkeit | o | + | | |
| Dauerstandfestigkeit | + | | | |
| Dichte | o | o | + | |
| Dichtigkeit | | o | + | |
| Diffusionsfähigkeit | | o | + | |
| Druckfestigkeit | + | | | |
| Elastizität | + | | | |
| Erosionsbeständigkeit | o | + | | |
| Farbbeständigkeit | | | | + |
| Feuerbeständigkeit | | o | + | |
| Frostbeständigkeit | o | + | | |
| Haftfestigkeit | + | o | | |
| Härte | o | + | | |
| Korrosionsbeständigkeit | o | + | | |
| pH-Beständigkeit | o | + | | |
| Plastizität | + | o | | |
| Porosität | o | o | + | |
| Raumbeständigkeit | + | | | o |
| Salzbeständigkeit | | + | | |
| Schallabsorptionsvermögen | | o | + | |
| Scherfestigkeit | + | | | |
| Schichtdicke | | + | | |
| Standsicherheit | + | | | |
| Temperaturwechselbeständigkeit | o | + | | |
| Tragfähigkeit | + | | | |
| Transparenz | | | o | + |
| UV-Beständigkeit | | + | | |
| Verschleißfestigkeit | o | + | | |
| Verschmutzungsbeständigkeit | | o | | + |
| Wärmedurchgang | | | + | |
| Wasserundurchlässigkeit | | | + | |
| Witterungsbeständigkeit | o | + | | |

+ = hohe Zugehörigkeit o = geringe Zugehörigkeit primäre Zugehörigkeit

Abb. 44: Zuordnung qualitätsbezogener Merkmale zu bauspezifischen Merkmalsklassen¹⁵⁹

¹⁵⁷ In Anlehnung an BENEDIX, R.: Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 368

¹⁵⁸ Vgl. RIECHE, G.: Dauerhaftigkeit von Außenwandkonstruktionen. In: VDI-Berichte (1978), Heft 305, S. 72

¹⁵⁹ Vgl. MEISEL, U.: Naturstein – Erhaltung und Restaurierung von Außenbauteilen. Berlin : Bauverlag, 1988, S. 147 ff.; ZECHO, M.: Korrosionsverhalten von Zink- und Zink-Aluminium-Überzügen auf Stahl. Stuttgart : Otto-Graf-Institut, 2000, S. 2; SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 15; IRB (Hrsg.): Wirtschaftliche Konzepte für die Bauwerksdiagnose und Dokumentation in der Instandhaltung, Instandsetzung und Modernisierung. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2001, S. 30

Zur Beurteilung des Langzeitverhaltens von Baustoffen unter Dauerbelastung wird die **Dauerstandfestigkeit** (Ermüdungsfestigkeit) mittels Standversuch nach DIN EN 10291 ermittelt. Die Dauerstandfestigkeit gibt Auskunft über die Zustandsänderungen von Baustoffen, wie plastische Verformung (Fließen), Spannungsrelaxation (Entspannung) und Zeitstandverformungen (Kriechen).¹⁶⁰

Als **Dichte** wird die Masse bezogen auf das Volumen eines Baustoffs definiert. Die Dichte (ρ) wird in der Einheit kg/m^3 angegeben.¹⁶¹ Die Dichte verhält sich reziprok zur Porosität.

Die **Dichtigkeit** beschreibt die materielle Eigenschaft eines Baustoffs gegenüber Gas, Flüssigkeit, Strahlung, Wärme, Schall o. Ä. undurchlässig zu sein. Die Dichtigkeit kann hierbei mit dem Dichtigkeitsgrad angegeben werden. Unter dem Dichtigkeitsgrad wird der volumenmäßige Anteil, der von einer dichten, porenfreien Masse ausgefüllt wird, verstanden.¹⁶²

Die **Diffusionsfähigkeit** gibt die Durchlässigkeit von Baustoffen für Teilchen (normalerweise für Wasserdampf) an. Die Diffusionsfähigkeit wird mittels Wasserdampfdiffusionswiderstand (vgl. Abb. 45) angegeben – ein Maß für den Widerstand gegen das Wandern des Wasserdampfs der Luft durch einen Baustoff.¹⁶³

Die **Druckfestigkeit** beschreibt den Widerstand eines Bauelements gegen das Einwirken von Druckkräften aus ständigen bzw. veränderlichen Lasten.¹⁶⁴ Durch die Druckfestigkeit wird die Werkstoffhärte eines Baustoffs festgestellt. Das Messen der Druckfestigkeit erfolgt u. a. durch das Klopfen mit einem Hammer oder durch den Schmidt'schen Rückprallhammer. Die Druckfestigkeit wird in Kraft pro Fläche (z. B. N/mm^2) angegeben.¹⁶⁵

¹⁶⁰ Vgl. WENDEHORST, R.: Baustoffkunde. 26. Aufl. Hannover : Curt R. Vincentz, 2004, S. 20 f.

¹⁶¹ Vgl. WENDEHORST, R.: Baustoffkunde. 26. Aufl. Hannover : Curt R. Vincentz, 2004, S. 6

¹⁶² Vgl. WENDEHORST, R.: Baustoffkunde. 26. Aufl. Hannover : Curt R. Vincentz, 2004, S. 8; BROCKHAUS (Hrsg.): Die Enzyklopädie in 30 Bänden – Band 6 COMF-DIET. 21. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2005, S. 780

¹⁶³ Vgl. BEUTH, A.; BEUTH, M.: Lexikon Bauwesen. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2001, S. 51 f., S. 159

¹⁶⁴ Vgl. BEUTH, A.; BEUTH, M.: Lexikon Bauwesen. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2001, S. 55

¹⁶⁵ Vgl. SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 56

| Baustoff | | Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ | |
|-------------------------|--|---|--------|
| | | trocken | feucht |
| Mauerwerk | Vollziegel | 16 | 10 |
| | Kalksandstein | 20 | 15 |
| Beton | Normalbeton $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$ | 100 | 60 |
| | Normalbeton $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$ | 130 | 80 |
| | Beton mit Leichtzuschlägen | 15 | 10 |
| | Porenbeton | 10 | 6 |
| Holz und Holzwerkstoffe | Sperrholz $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ | 200 | 70 |
| | Sperrholz $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ | 250 | 110 |
| | Spanplatte $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$ | 50 | 10 |
| | Spanplatte $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ | 50 | 15 |
| Dämmstoffe | Mineralwolle | 1 | 1 |
| | Expandierter Polystyrolhartschaum | 60 | 60 |
| | Schaumglas | praktisch dampfdicht | |
| | Holzwohle-Leichtbauplatten | 5 | 3 |
| Putz und Mörtel | Gipsputz | 10 | 6 |
| | Kalk, Sand | 10 | 6 |
| | Zement, Sand | 10 | 6 |

| | |
|---------------------|---|
| hoher μ -Wert | = hoher Widerstand gegen das Wandern des Wasserdampfs |
| kleiner μ -Wert | = kleiner Widerstand gegen das Wandern des Wasserdampfs |
| ρ | = Dichte |

Abb. 45: Beispiele für Wasserdampfdiffusionswiderstände verschiedener Baustoffe¹⁶⁶

Elastizität beschreibt die Fähigkeit von Baustoffen, nach einer Beanspruchung (z. B. Dehnung oder Stauchung durch Temperatur oder äußere Kräfte) die Ausgangsform wieder anzunehmen.¹⁶⁷

¹⁶⁶ Vgl. WILLEMS, W. M.; SCHILD, K.; DINTER, S.: Handbuch Bauphysik Teil 1 – Wärme- und Feuchteschutz, Behaglichkeit, Lüftung. Wiesbaden : Vieweg, 2006, S. 5.22 f.

¹⁶⁷ Vgl. WORMUTH, R. (Hrsg.); SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.): Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2000, S. 76; BROCKHAUS (Hrsg.): Der Brockhaus in drei Bänden – Band 1 A-Gn. 4. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2006, S. 606

Die **Erosionsbeständigkeit** beschreibt den Widerstand eines Bauelements gegen Erosion, d. h. den (schleifenden) Baustoffabtrag durch Wasser und in Wasser mitgeführter fester Teilchen.¹⁶⁸

Die **Farbbeständigkeit** (Farbstabilität) beschreibt die Widerstandsfähigkeit einer Oberfläche (z. B. Anstrich), seine Farbe, d. h. die durch Licht wahrnehmbare Oberflächenqualität, beizubehalten.¹⁶⁹

Die **Feuerbeständigkeit** gibt Auskunft über das Brandverhalten, die Entzündbarkeit, die Brandweiterleitung sowie die Wärmeentwicklung von Baustoffen.¹⁷⁰ Die Feuerbeständigkeit wird mittels Brandverhalten gemäß DIN 4102 Teil 1¹⁷¹ beschrieben und in unterschiedliche Baustoffklassen gemäß Abb. 46 unterteilt.

| Baustoffklasse | | Bauaufsichtliche Benennung |
|----------------|----|---|
| | | Nichtbrennbare Baustoffe |
| A | A1 | (Voraussetzungen für die Klassifizierung gemäß DIN 4102-1, Abschnitt 5) |
| | A2 | (Voraussetzungen für die Klassifizierung gemäß DIN 4102-1, Abschnitt 5) |
| | | Brennbare Baustoffe |
| B | B1 | Schwerentflammbare Baustoffe |
| | B2 | Normalentflammbare Baustoffe |
| | B3 | Leichtentflammbare Baustoffe |

Abb. 46: Baustoffklassen gemäß DIN 4102¹⁷²

¹⁶⁸ Vgl. SCHÖNBURG, K.: Korrosionsschutz am Bau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006, S. 22; FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 32

¹⁶⁹ Vgl. WORMUTH, R. (Hrsg.); SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.): Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2000, S. 88

¹⁷⁰ Vgl. WENDEHORST, R.: Baustoffkunde. 26. Aufl. Hannover : Curt R. Vincentz, 2004, S. 27

¹⁷¹ DIN (Hrsg.): DIN 4102-1 – Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 05-1998

¹⁷² Vgl. DIN (Hrsg.): DIN 4102-1 – Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 05-1998, S. 3

Als **Frostbeständigkeit** wird die Eigenschaft eines Baustoffs verstanden, im durchfeuchteten Zustand wiederholte Frostbeanspruchungen ohne Zerstörung oder Schäden zu überstehen.¹⁷³

Die **Haftfestigkeit** (Haftzugfestigkeit, Oberflächenzugfestigkeit) definiert die höchsten senkrecht zur Haftfläche erzielbaren Spannungen zwischen zwei miteinander verbundenen Baustoffen. Die Kenntnis der Haftfestigkeit ist u. a. bei Anstrichen, Beschichtungen und Putzen wichtig.¹⁷⁴ Die Haftfestigkeit wird an Putzen mittels Haftzugprüfgerät, an Anstrichen mittels Klebebandversuch (Tape-Test) oder mittels Gitterschnittprüfung nach DIN EN ISO 2409¹⁷⁵ gemessen und in Kraft pro Fläche (z. B. N/mm²) angegeben.¹⁷⁶

Unter **Härte** wird der Widerstand verstanden, welcher ein Körper dem Eindringen eines anderen, härteren Körpers entgegensetzt. Gemäß der Ritzhärte nach Mohs hat bspw. Gips eine Mohshärte von 2, Quarz eine Mohshärte von 7 und Diamant eine Mohshärte von 10.¹⁷⁷

Die **Korrosionsbeständigkeit** soll dazu beitragen, Korrosion, d. h. die von der Oberfläche ausgehende Zerstörung von Werkstoffen durch (elektro-)chemische Reaktionen mit den umgebenden Medien, zu vermeiden.¹⁷⁸ Die Korrosionsbeständigkeit kann mit der chemischen Beständigkeit gleichgesetzt werden und beinhaltet auch die pH-Beständigkeit.¹⁷⁹

¹⁷³ Vgl. WENDEHORST, R.: Baustoffkunde. 26. Aufl. Hannover : Curt R. Vincentz, 2004, S. 26

¹⁷⁴ Vgl. WENDEHORST, R.: Baustoffkunde. 26. Aufl. Hannover : Curt R. Vincentz, 2004, S. 19 f.

¹⁷⁵ DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 2409 – Beschichtungsstoffe – Gitterschnittprüfung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 08-2007

¹⁷⁶ Vgl. SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 56

¹⁷⁷ Vgl. WENDEHORST, R.: Baustoffkunde. 26. Aufl. Hannover : Curt R. Vincentz, 2004, S. 23

¹⁷⁸ Vgl. GÄNßMANTEL, J.; GEBURTIG, G.; SCHAU, A.: Sanierung und Facility Management – Nachhaltiges Bauinstandhalten und Bauinstandsetzen. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2005, S. 133

¹⁷⁹ Vgl. RIECHE, G.: Dauerhaftigkeit von Außenwandkonstruktionen. In: VDI-Berichte (1978), Heft 305, S. 72

Die **pH-Beständigkeit** (Säure- und Laugenbeständigkeit) ist die Widerstandsfähigkeit von Baustoffen gegenüber Stoffen mit unterschiedlichen pH-Werten. Der pH-Wert ist hierbei der Parameter für die Wasserstoffionenkonzentration, welcher basisch ist, sobald der pH-Wert über 7 liegt (Laugen), und sauer ist, sobald der pH-Wert unterhalb 7 liegt (Säuren). Der pH-Wert wird in mol/l angegeben.¹⁸⁰ Beispiele für pH-Werte unterschiedlicher Stoffe sowie den Einfluss des pH-Werts auf Beton werden in Abb. 47 dargestellt.

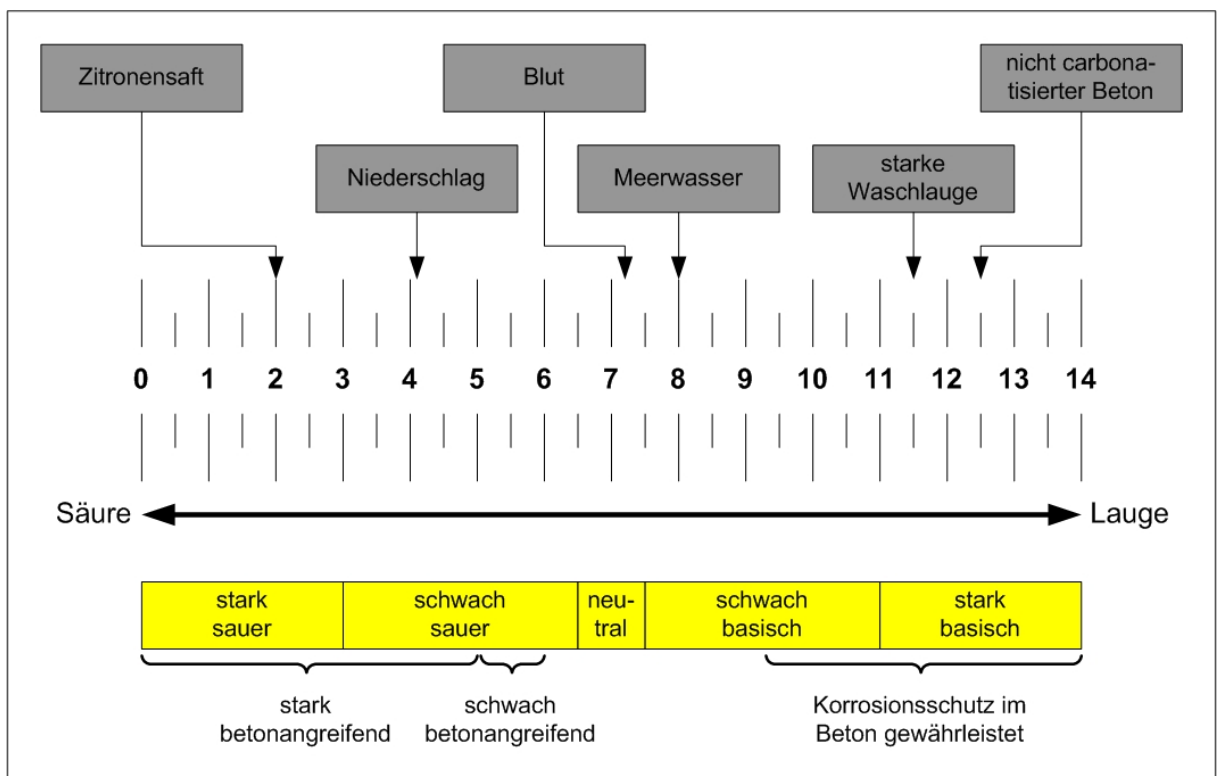


Abb. 47: Beispiele von pH-Werten unterschiedlicher Stoffe¹⁸¹

¹⁸⁰ Vgl. WORMUTH, R. (Hrsg.); SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.): Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2000, S. 203

¹⁸¹ Vgl. STAHR, M. (Hrsg.): Bausanierung – Erkennen und Beheben von Bauschäden. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2009, S. 135; BENEDIX, R.: Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 187

Die **Plastizität** beschreibt das Formveränderungsvermögen, d. h. die Fähigkeit eines Festkörpers, nach einer Beanspruchung (z. B. Dehnung oder Stauchung) nicht wieder seine Ursprungsform anzunehmen.¹⁸²

Unter **Porosität** wird die Gesamtheit der Hohlräume (punktartige Öffnungen) eines Baustoffs verstanden. Die Porosität hat Einfluss auf die Dichte eines Baustoffs.¹⁸³ Poren haben einen Durchmesser unter 1 mm und besitzen die physikalische Eigenschaft, Wasser aufzusaugen und in große Höhen zu transportieren (Kapillarsog).¹⁸⁴ Die kapillare Wasseraufnahme wird mittels Wasseraufnahmekoeffizient w gemäß Abb. 48 gemessen. Mit Zunahme der Porosität fallen die Festigkeit, Wasserdichtigkeit sowie Wärmeleitfähigkeit und es steigen die Verformbarkeit, Wasseraufnahme sowie die Abnutzung (Verschleiß).¹⁸⁵

| Bezeichnung der kapillaren Wasseraufnahme | Wasseraufnahmekoeffizient w [kg/(m ² · h ^{0,5})] |
|---|--|
| Wasserdichte Schicht | [0, 0,001] |
| Wasserabweisende Schicht |]0,001, 0,5] |
| Wasserhemmende Schicht |]0,5, 2] |
| Wassersaugende Schicht |]2, ∞[|

Abb. 48: Kapillare Wasseraufnahme in Abhängigkeit vom Wasseraufnahmekoeffizient w ¹⁸⁶

¹⁸² Vgl. WORMUTH, R. (Hrsg.); SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.): Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2000, S. 205

¹⁸³ Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 213; LBB (Hrsg.); MUSEWALD, J.: Stahlbeton prüfen und dauerhaft erhalten. Aachen : Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung (LBB), 1990, S. 45

¹⁸⁴ Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 212

¹⁸⁵ Vgl. WENDEHORST, R.: Baustoffkunde. 26. Aufl. Hannover : Curt R. Vincentz, 2004, S. 8

¹⁸⁶ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN 4108-3 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2001, S. 6

Die **Raumbeständigkeit** (Formbeständigkeit) ist ein Faktor für die Volumenkonstanz eines Baustoffs. Für Baustoffe, die keine ausreichende Raumbeständigkeit aufweisen, besteht u. a. die Gefahr der Absprengungen, der Bildung von Rissen oder des Zerfalls. Dies gilt vorwiegend für poröse Baustoffe (Natursteine und mineralische Baustoffe), wie Sandstein, Putze oder Beton.¹⁸⁷

Die **Salzbeständigkeit** beschreibt den Widerstand eines Bauelements gegen die Auswirkungen bauschädlicher Salze. Die Beständigkeit besteht hierbei gegenüber Nitraten, Sulfaten, Carbonaten und Chloriden und den durch Salze verursachten Schadensprozessen wie Hygroskopizität¹⁸⁸, Kristallisationsdruck¹⁸⁹, Hydrationsdruck bzw. Salzquellen.¹⁹⁰

Unter dem **Schallabsorptionsvermögen** von Baustoffen wird die Fähigkeit verstanden, auftretende Schallenergie in andere Energiearten umzuwandeln und nur Teile der auftreffenden Schallenergie zu reflektieren.¹⁹¹ Der Schallabsorptionsgrad α_s ist ein Maß für die absorbierte Schallintensität. Beispiele für Schallabsorptionsgrade von Bauelementoberflächen werden in Abb. 49 aufgezeigt.

Die **Scherfestigkeit** ist jene größte Widerstandsfähigkeit, die ein Baustoff einer äußeren Schubbeanspruchung entgegensetzt.¹⁹² Die Scherfestigkeit wird in Kraft pro Fläche (z. B. N/mm²) angegeben.

¹⁸⁷ Vgl. WENDEHORST, R.: Baustoffkunde. 26. Aufl. Hannover : Curt R. Vincentz, 2004, S. 26

¹⁸⁸ Fähigkeit eines Stoffes, in Abhängigkeit von der Luftfeuchte Wasser zu binden. Salz ist somit in der Lage, die Gleichgewichtsfeuchte eines Baustoffs durch ihre hygroskopischen Eigenschaften zu erhöhen und damit auch den Feuchtegehalt des Baustoffs.

¹⁸⁹ Kristallisation ist die Volumenvergrößerung von Salz von einer gelösten in eine kristallisierte Form. Die Volumenvergrößerung äußert sich im Kristallisationsdruck bzw. linearen Wachstumsdruck (vgl. STARK, J.; STÜRMER, S.: Bauschädliche Salze. Weimar : Bauhaus-Universität Weimar, 1996, S. 18).

¹⁹⁰ In Anlehnung an ARENDT, C.; SEELE, J.: Feuchte und Salze in Gebäuden. 2. Aufl. Leinfelden-Echterdingen : Verlagsanstalt Alexander Koch, 2001, S. 15

¹⁹¹ Vgl. WENDEHORST, R.: Baustoffkunde. 26. Aufl. Hannover : Curt R. Vincentz, 2004, S. 31

¹⁹² Vgl. WENDEHORST, R.: Baustoffkunde. 26. Aufl. Hannover : Curt R. Vincentz, 2004, S. 19

| Baelementoberfläche | Schallabsorptionsgrad α_s für Oktavband-Mittenfrequenzen [Hz] | | | | | |
|--|--|------|------|------|------|------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| Marmor, Fliesen, Klinker auf massiver Bodendecke | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 |
| Harter Bodenbelag (z. B. PVC) auf massiver Bodendecke | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| Weicher Bodenbelag (≤ 5 mm) auf massiver Bodendecke | 0,02 | 0,03 | 0,06 | 0,15 | 0,30 | 0,40 |
| Weicher Bodenbelag (≥ 10 mm) auf massiver Bodendecke | 0,04 | 0,08 | 0,15 | 0,30 | 0,45 | 0,55 |
| Holzboden, Parkett auf Leisten | 0,12 | 0,10 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| Korkparkett | 0,04 | 0,03 | 0,05 | 0,11 | 0,07 | 0,02 |
| Beton, verputztes Mauerwerk | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| Mauerwerk, unverputzt | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,07 |
| Scherff-Akustikputz (ca. 8 mm) | 0,01 | 0,09 | 0,15 | 0,25 | 0,45 | 0,56 |
| Scherff-Akustikputz (ca. 20 mm) | 0,23 | 0,30 | 0,59 | 0,64 | 0,67 | 0,82 |
| Türen (Holz) | 0,14 | 0,10 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| Fenster, Glasfassade | 0,12 | 0,08 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,02 |

Abb. 49: Beispiele für Schallabsorptionsgrade von Baelementoberflächen¹⁹³

¹⁹³ Vgl. WILLEMS, W. M.; SCHILD, K.; DINTER, S.: Handbuch Bauphysik Teil 2 – Schall- und Brandschutz, Fachwörterglossar deutsch-englisch, englisch-deutsch. Wiesbaden : Vieweg, 2006, S. 9.24 f.; DIN (Hrsg.): DIN EN 12354-6 – Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 6: Schallabsorption in Räumen. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 04-2004, S. 13

Die **Schichtdicke** ist ein Maß für die Stärke eines Bauelements, d. h. der Abstand zwischen der Oberfläche der Schicht und der Oberfläche des Trägerstoffs. Die Messung der Schichtdicke erfolgt bspw. bei Putzen zerstörend durch Herausnehmen oder -bohren von Festmörtel und bei Anstrichen auf ebenen, ferromagnetischen Metalluntergründen durch das zerstörungsfreie Verfahren der magnetischen Schichtdickenmessung. Die Messung der Schichtdicke auf allen anderen ebenen Untergründen kann mittels Schichtdickenmessung durch eine Filmmessuhr erfolgen, wobei dieses Verfahren zerstörend auf die Messstelle wirkt. Schichtdickenangaben erfolgen in mm oder μm .¹⁹⁴

Die **Standicherheit** (Lagesicherheit) beschreibt die Sicherheit gegen die Veränderung der Lage, wie (Um-)Kippen, Gleiten, Abrutschen, Verschieben u. Ä.¹⁹⁵ Die Lage legt i. Allg. die Position des Bauelements fest, welche in einem dreidimensionalen Raum durch die Angabe von Koordinaten definiert werden kann.

Die **Temperaturwechselbeständigkeit** stellt die Widerstandsfähigkeit eines Baustoffs gegenüber Temperaturänderungen dar, d. h. dem ständigen Wechsel zwischen hohen Temperaturen (Wärme) und niedrigen Temperaturen (Kälte). Temperaturänderungen verursachen an Baustoffen i. d. R. Dehnungen und Spannungen.¹⁹⁶

Die **Tragfähigkeit** beschreibt die höchste Belastung, die ein Bauteil aufnehmen kann oder nach den Bestimmungen aufnehmen darf.¹⁹⁷ Die Tragfähigkeit wird in Kraft pro Fläche (z. B. N/mm²) angegeben.

¹⁹⁴ Vgl. SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 58

¹⁹⁵ Vgl. WORMUTH, R. (Hrsg.); SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.): Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2000, S. 271

¹⁹⁶ In Anlehnung an WORMUTH, R. (Hrsg.); SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.): Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2000, S. 283

¹⁹⁷ Vgl. BEUTH, A.; BEUTH, M.: Lexikon Bauwesen. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2001, S. 143

Unter **Transparenz** wird im Sinne der Materialeigenschaft die Transmission, d. h. die Blick- und Bilddurchlässigkeit bzw. Durchsichtigkeit und Lichtdurchlässigkeit, verstanden. Die Transparenz gibt an, welche Wellenlänge ein Material in welchem Umfang durchlässt.¹⁹⁸ Transparenz kann mittels Durchsichtigkeitsgrad bestimmt werden. Hierbei wird das Verhältnis des hindurchgelassenen Lichtstroms zu dem in das lichtdurchlässige Medium eindringenden Lichtstrom bestimmt.¹⁹⁹

Die **UV-Beständigkeit** stellt die Widerstandsfähigkeit eines Baustoffs gegenüber UV-Strahlung dar, d. h. der ultravioletten Strahlung der Sonne oder anderer Energiequellen. UV-Strahlung kann auf einige Baustoffe zerstörend wirken.²⁰⁰

Die **Verschleißfestigkeit** (Abriebwiderstand) gibt Auskunft über die Widerstandsfähigkeit eines Baustoffs gegenüber Verschleiß, d. h. den unerwünschten Veränderungen an Oberflächen von Baustoffen durch Massen- oder Volumenverlust infolge mechanischer Beanspruchung (z. B. durch Schleifen, Rollen oder Stoßen). Die Verschleißfestigkeit eines Baustoffs ist abhängig von dessen Härte.²⁰¹

Unter **Verschmutzungsbeständigkeit** wird die Widerstandsfähigkeit eines Bauelements gegen Schmutz, Staub und sonstige Verschmutzungen verstanden. Die verschmutzungsbeständigen Bauelemente weisen eine schmutzabweisende Oberfläche auf, die durch ihren Selbstreinigungseffekt die Reinigung erleichtern.²⁰²

¹⁹⁸ Vgl. WELLER, B.; HÄRTH, K.; TASCHE, S.: Konstruktiver Glasbau – Grundlagen Anwendung Beispiele. Regensburg : Aumüller, 2008, S. 33 f.

¹⁹⁹ Vgl. MEYER (Hrsg.): Meyers großes Universallexikon in 15 Bänden – Band 4: Do-Fd. Mannheim : Meyers Lexikonverlag, 1981, S. 140

²⁰⁰ In Anlehnung an WORMUTH, R. (Hrsg.); SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.): Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2000, S. 303

²⁰¹ Vgl. WENDEHORST, R.: Baustoffkunde. 26. Aufl. Hannover : Curt R. Vincentz, 2004, S. 24

²⁰² In Anlehnung an WELLER, B.; HÄRTH, K.; TASCHE, S.: Konstruktiver Glasbau – Grundlagen Anwendung Beispiele. Regensburg : Aumüller, 2008, S. 15

Der **Wärmedurchgang** beschreibt die Wärmeübertragung (Transmission) durch ein Bauelement von der warmen auf die kalte Seite. Er wird mittels Wärmedurchlasswiderstand ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) und Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert in $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$) angegeben. Je kleiner der Wärmedurchgangskoeffizient, desto besser ist der Wärmeschutz.²⁰³

Wasserundurchlässigkeit ist ein Maß für die Dichtigkeit von Baustoffen gegenüber Wasser. Wasserundurchlässigkeit liegt vor, wenn bei einem Baustoffprobekörper auf der dem Druckwasser gegenüberliegenden Seite nach einer festgelegten Prüfzeit kein Wasser austritt oder wenn die Wassereindringtiefe einen bestimmten Wert nicht überschreitet. Wasserundurchlässigkeit ist abhängig von der Porosität des Baustoffs, der Art der Poren, der Dicke des Baustoffs sowie dem anliegenden Wasserdruck.²⁰⁴ Die Wasserundurchlässigkeit kann mit Hilfe der kapillaren Wasseraufnahme in Abhängigkeit vom Wasseraufnahmekoeffizienten gemäß Abb. 48 beschrieben werden.

Unter der **Witterungsbeständigkeit** wird der Widerstand von Baustoffen gegenüber Umwelteinflüssen (z. B. Niederschlag und UV-Strahlung) und ihren Folgen verstanden.²⁰⁵

²⁰³ Vgl. BEUTH, A.; BEUTH, M.: Lexikon Bauwesen. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2001, S. 158; DIN (Hrsg.): DIN 4108-2 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 07-2003; WILLEMS, W. M.; SCHILD, K.; DINTER, S.: Handbuch Bauphysik Teil 1 – Wärme- und Feuchteschutz, Behaglichkeit, Lüftung. Wiesbaden : Vieweg, 2006, S. 2.2, S. 2.10 ff.

²⁰⁴ Vgl. WENDEHORST, R.: Baustoffkunde. 26. Aufl. Hannover : Curt R. Vincentz, 2004, S. 11

²⁰⁵ Vgl. WENDEHORST, R.: Baustoffkunde. 26. Aufl. Hannover : Curt R. Vincentz, 2004, S. 26

2.3 Schadensbezogene Merkmale

Die Bereiche des Abnutzungsvorrats können neben Angaben zur Qualität und damit mittels qualitätsbezogener Merkmale auch durch schadensbezogene Merkmale beschrieben werden. Gemäß der in Abschnitt IV1 aufgeführten Definition zu Bauschäden werden Auswirkungen nicht erfüllter, vorgeschriebener oder vereinbarter Forderungen bzw. Eigenschaften, welche die Stand-, Trag-, Funktions- bzw. Gebrauchssicherheit beeinträchtigen, als Bauschäden bezeichnet. Die verschiedenen für das Bauwesen relevanten schadensbezogenen Merkmale lassen sich den folgenden vier **bauspezifischen Merkmalsklassen**²⁰⁶ zuordnen.²⁰⁷

- baustatische Merkmalsklasse
- chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse
- bauphysikalische Merkmalsklasse
- optische Merkmalsklasse.

Die einzelnen bauspezifischen Merkmalsklassen wurden bereits in Abschnitt IV2.1 beschrieben.

In der einschlägigen Fachliteratur finden eine Vielzahl bauspezifischer Merkmale für die Beschreibung von Schäden an Bauelementen Anwendung. Hierbei gilt es zu untersuchen, ob diese **schadensbezogenen Merkmale** für die Charakterisierung der Bereiche des Abnutzungsvorrats geeignet sind. Zunächst werden die häufigsten in der Fachliteratur aufgeführten Merkmale in Abb. 50 bis Abb. 52 aufgelistet und ihre Zugehörigkeit zu den bauspezifischen Merkmalsklassen aufgezeigt. Diejenige bauspezifische Merkmalsklasse, welcher ein schadensbezogenes Merkmal primär zuge-

²⁰⁶ Die Zuordnung der Merkmale zu den bauspezifischen Merkmalsklassen ist für die Ermittlung des Abnutzungsvorrats mittels der Nutzwertanalyse gemäß Abschnitt IV3 notwendig. Für die Charakterisierung des Abnutzungsvorrats anderer Bauelemente (z. B. Bauelemente der technischen Gebäudeausrüstung) kann es sinnvoll sein, neue bauspezifische Merkmalsklassen einzuführen, d. h. ihre Anzahl zu erweitern.

²⁰⁷ In Anlehnung an GÄNßMANTEL, J.; GEBURTIG, G.; SCHAU, A.: Sanierung und Facility Management – Nachhaltiges Bauinstandhalten und Bauinstandsetzen. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2005, S. 132 ff.; SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 15; FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 26 ff.; IP BAU (Hrsg.): Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, S. 116 ff.

hört, ist in Abb. 50 bis Abb. 52 farblich hervorgehoben.²⁰⁸ Die schadensbezogenen Merkmale werden im Folgenden beschrieben.

| Merkmal (schadensbezogen) | Bauspezifische Merkmalsklassen | | | |
|------------------------------|--------------------------------|--|---------------------------------|-------------------------|
| | Baustatische Merkmalsklasse | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | Bauphysikalische Merkmalsklasse | Optische Merkmalsklasse |
| Abblätterung | o | + | o | o |
| Abbröckelung | o | + | o | o |
| Abbruch | o | + | o | o |
| Ablagerung | | o | | + |
| Ablösung | o | + | o | o |
| Abpelling | o | + | o | o |
| Abplatzung | o | + | o | o |
| Abrasion | o | + | o | o |
| Absandung | o | + | o | o |
| Absplitterung | o | + | o | o |
| Algenbefall | | + | | o |
| Ausbauchung | + | | o | o |
| Ausbleichung | | | | + |
| Ausblühung | o | | | + |
| Ausknickung | + | | | |
| Auslaugung | o | | | + |
| Aussinterung | o | | | + |
| Bakterienbefall | o | + | | o |
| Blasenbildung | o | + | | o |
| Bruch | o | + | o | o |
| Durchbiegung | + | | | o |
| Durchfeuchtung | | o | + | |
| Ermüdung | + | | | |
| Erosion | o | + | o | o |
| Fäulnis | o | + | o | o |
| Festigkeitsverlust | o | + | o | o |
| Flechtenbefall | | + | | o |
| Flecken | | | | + |

+ = hohe Zugehörigkeit o = geringe Zugehörigkeit primäre Zugehörigkeit

Abb. 50: Zuordnung schadensbezogener Merkmale zu bauspezifischen Merkmalsklassen (1 von 3)²⁰⁹

²⁰⁸ Das dient der Beseitigung von Bewertungsmerkmalskonflikten gemäß Abschnitt IV3.2.2.

²⁰⁹ Vgl. GÄNßMANTEL, J.; GEBURTIG, G.; SCHAU, A.: Sanierung und Facility Management – Nachhaltiges Bauinstandhalten und Bauinstandsetzen. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2005, S. 132 ff.; MEISEL, U.: Naturstein – Erhaltung und Restaurierung von Außenbauteilen. Berlin : Bauverlag, 1988, S. 147 ff.; KLOPFER, H.: Anstrichschäden – Strukturen, Verhaltensweisen und Schadensformen von Anstrichen und Kunststoffbeschichtungen. Wiesbaden : Bauverlag, 1976, S. 47; STAHR, M. (Hrsg.): Praxiswissen Bausanierung – Erkennen und Beheben von Bauschäden. Wiesbaden : Vieweg, 1999, S. 63; SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 15; IP BAU (Hrsg.): Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, S. 14, S. 30, S. 116 ff.; BÖHNING, J.: Altbaumodernisierung im Detail – Konstruktionsempfehlungen. 4. Aufl. Köln : Rudolf Müller, 2002, S. 15 ff.; ARENDT, C.; SEELE, J.: Feuchte und Salze in Gebäuden. 2. Aufl. Leinfelden-Echterdingen : Verlagsanstalt Alexander Koch, 2001, S. 17 ff.; IRB (Hrsg.): Wirtschaftliche Konzepte für die Bauwerksdiagnose und Dokumentation in der Instandhaltung, Instandsetzung und Modernisierung. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2001, S. 30

| Merkmal (schadensbezogen) | Bauspezifische Merkmalsklassen | | | |
|------------------------------|--------------------------------|--|---------------------------------|-------------------------|
| | Baustatische Merkmalsklasse | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | Bauphysikalische Merkmalsklasse | Optische Merkmalsklasse |
| Gefügelockerung | o | + | o | o |
| Haftungsverlust | o | + | o | o |
| Insektenbefall | o | + | | o |
| Kohäsionsverlust | o | + | o | o |
| Korrosion | o | + | o | o |
| Korrosion | o | + | | o |
| Kratzer | | o | | + |
| Kruste | o | + | o | o |
| Kryptoeffloreszenz | o | + | o | o |
| Moosbefall | | + | | o |
| Neigung | + | | | o |
| Oberflächenabtrag | o | + | o | o |
| Pflanzenbewuchs | | + | o | o |
| Pilzbefall | | + | | o |
| Quellen | + | | | o |
| Querschnittsminderung | + | o | o | o |
| Riss | + | o | o | o |
| Schalenbildung | o | + | o | o |
| Schimmelpilzbefall | o | + | | o |
| Schnitte | | + | | o |
| Schwammbefall | o | + | | o |
| Schwinden | o | | | o |
| Spaltung | + | | | o |
| Tragfähigkeitsverlust | + | | | |
| Treiben | o | | | o |
| Umwandlung | o | + | o | o |
| Undichtigkeit | | o | + | |
| Verdrehung | + | | | o |
| Verfärbung | | | | + |
| Verformung | + | | | o |
| Verkrustung | | o | | + |
| Verrottung | o | + | | o |
| Versalzung | | + | | o |
| Versatz | + | | | o |

+ = hohe Zugehörigkeit o = geringe Zugehörigkeit primäre Zugehörigkeit

Abb. 51: Zuordnung schadensbezogener Merkmale zu bauspezifischen Merkmalsklassen (2 von 3)²¹⁰

²¹⁰ Vgl. GÄNßMANTEL, J.; GEBURTIG, G.; SCHAU, A.: Sanierung und Facility Management – Nachhaltiges Bauinstandhalten und Bauinstandsetzen. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2005, S. 132 ff.; MEISEL, U.: Naturstein – Erhaltung und Restaurierung von Außenbauteilen. Berlin : Bauverlag, 1988, S. 147 ff.; KLOPFER, H.: Anstrichschäden – Strukturen, Verhaltensweisen und Schadensformen von Anstrichen und Kunststoffbeschichtungen. Wiesbaden : Bauverlag, 1976, S. 47; STAHR, M. (Hrsg.): Praxiswissen Bausanierung – Erkennen und Beheben von Bauschäden. Wiesbaden : Vieweg, 1999, S. 63; SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 15; IP BAU (Hrsg.): Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, S. 14, S. 30, S. 116 ff.; BÖHNING, J.: Altbaumodernisierung im Detail – Konstruktionsempfehlungen. 4. Aufl. Köln : Rudolf Müller, 2002, S. 15 ff.; ARENDT, C.; SEELE, J.: Feuchte und Salze in Gebäuden. 2. Aufl. Leinfelden-Echterdingen : Verlagsanstalt Alexander Koch, 2001, S. 17 ff.; IRB (Hrsg.): Wirtschaftliche Konzepte für die Bauwerksdiagnose und Dokumentation in der Instandhaltung, Instandsetzung und Modernisierung. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2001, S. 30

| Merkmal (schadensbezogen) | Bauspezifische Merkmalsklassen | | | |
|------------------------------|--------------------------------|--|---------------------------------|-------------------------|
| | Baustatische Merkmalsklasse | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | Bauphysikalische Merkmalsklasse | Optische Merkmalsklasse |
| Verschmutzung | | | | + |
| Versottung | | | + | |
| Versprödung | | o | + | o |
| Volumenänderung | + | | | o |
| Wölbung | + | | | o |
| Zerbröckelung | o | + | o | o |
| Zerfall | o | + | o | o |

+ = hohe Zugehörigkeit o = geringe Zugehörigkeit primäre Zugehörigkeit

Abb. 52: Zuordnung schadensbezogener Merkmale zu bauspezifischen Merkmalsklassen (3 von 3)²¹¹

Abblätterung (auch Abschuppung genannt) sind flächige Abwitterungen, die oberflächenparallel verlaufen und der Schalenbildung ähnlich sind. Bei Abblätterung bilden sich kleine, dünne, lamellenartige Schuppen bzw. Blättchen mit einer Flächen-größe kleiner 5 cm² und einer Schichtdicke bis zu 5 mm. Ursachen von Abblätterungen sind u. a. Frostsprengung, Salzkristallisation (Salzsprengung) sowie hygrisches Quellen.²¹² Abblätterung wird mittels Abblätterungsgrad bewertet, d. h., abgeblätterte Flächen werden nach Menge (Flächenanteil), Größe und Tiefe charakterisiert.²¹³

²¹¹ Vgl. GÄNßMANTEL, J.; GEBURTIG, G.; SCHAU, A.: Sanierung und Facility Management – Nachhaltiges Bauinstandhalten und Bauinstandsetzen. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2005, S. 132 ff.; MEISEL, U.: Naturstein – Erhaltung und Restaurierung von Außenbauteilen. Berlin : Bauverlag, 1988, S. 147 ff.; KLOPFER, H.: Anstrichschäden – Strukturen, Verhaltensweisen und Schadensformen von Anstrichen und Kunststoffbeschichtungen. Wiesbaden : Bauverlag, 1976, S. 47; STAHR, M. (Hrsg.): Praxiswissen Bausanierung – Erkennen und Beheben von Bauschäden. Wiesbaden : Vieweg, 1999, S. 63; SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 15; IP BAU (Hrsg.): Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, S. 14, S. 30, S. 116 ff.; BÖHNING, J.: Altbaumodernisierung im Detail – Konstruktionsempfehlungen. 4. Aufl. Köln : Rudolf Müller, 2002, S. 15 ff.; ARENDT, C.; SEELE, J.: Feuchte und Salze in Gebäuden. 2. Aufl. Leinfelden-Echterdingen : Verlagsanstalt Alexander Koch, 2001, S. 17 ff.; IRB (Hrsg.): Wirtschaftliche Konzepte für die Bauwerksdiagnose und Dokumentation in der Instandhaltung, Instandsetzung und Modernisierung. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2001, S. 30

²¹² Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 77 f.; FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 30

²¹³ Siehe auch Abb. 76; vgl. DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-5 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 5: Bewertung des Abblätterungsgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004, S. 4 ff.

Unter **Abbröckelung** wird eine stückweise Lösung eines Baustoffs verstanden. Abbröckelung wird häufig bei Mauerwerk oder Putz vorgefunden.²¹⁴

Das zerstörende Abtragen, Abstoßen bzw. Entfernen vorhandener Baustoffsubstanz wird als **Abbruch** (Exfoliation) bezeichnet.²¹⁵

Bei einer **Ablagerung** handelt es sich um auf der Bauelementoberfläche verbleibendes (haftendes), ursprünglich nicht vorgesehenes Material, welches einerseits in exogener Form (Staub, Schmutz, Graffiti, biologischer Bewuchs) oder in endogener Form (Baustoffbestandteile des Bauelements, z. B. Ausblühung) auftreten kann.²¹⁶

Bei einer **Ablösung** (Delamination, Enthftung) liegt ein Bindungsverlust zwischen zwei Baustoffen vor, z. B. zwischen Mörtel und Ziegel oder Putz und Mauerwerk. Ursachen für eine Ablösung können u. a. Frostdehnung oder Salzkristallisation (Salzsprengung) sein.²¹⁷

Unter **Abpelling** wird die Ablösung einer Beschichtung, Glasur oder Haut verstanden, d. h., es findet ein Haftungsverlust zwischen zwei Baustoffen statt. Ursachen für Abpellungen sind u. a. Frost und Algenwachstum zwischen Beschichtung und Untergrund.²¹⁸

Unter **Abplatzung** (Absprengung) wird die Ablösung eines relativ dicken Baustoffteils aus der Bauelementoberfläche verstanden. Abplatzungen resultieren u. a. aus Frost bzw. Salzkristallisation.²¹⁹

²¹⁴ In Anlehnung an WAHRIG, G.: Deutsches Wörterbuch. 7. Aufl. Gütersloh : Wissen Media Verlag, 2005, S. 128

²¹⁵ Vgl. BEUTH, A.; BEUTH, M.: Lexikon Bauwesen. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2001, S. 9

²¹⁶ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 27

²¹⁷ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 33

²¹⁸ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 32 f.

²¹⁹ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 30

Unter **Abrasion** wird der Materialabtrag eines Baustoffs durch ritzende Beanspruchung wie Mikrospanen, Mikropflügen bzw. Mikrobrechen verstanden.²²⁰

Unter **Absandung** werden Lockerungen, Lösungen bzw. Zerstörungen von Kornbindungen (Teilchenbindung) bzw. den Bindemitteln im Kornverband (Teilchenverband) verstanden. Durch Absandungen werden die oberen Kornlagen abgetragen, d. h., es kommt zu einem Materialverlust. Zu den Ursachen gehören Frostsprengung, Salzkristallisation (Salzsprengung), thermische Dehnung bzw. Oberflächenerosion. Neben dem Begriff der Absandung (vorwiegend bei Mörteln) wird in der Fachliteratur auch von Abmehlung (bei Ziegeln), Abkalkung (bei kalzitischen Baustoffen) oder Abkreidung (bei Zement) gesprochen.²²¹

Unter **Absplitterung** wird das Ablösen von Teilen eines Baustoffs in Form von Splintern, d. h. spitzer, abgesprungener Stücke, verstanden. Absplitterungen kommen vorwiegend bei organischen Baustoffen wie Holz vor und resultieren meist aus mechanischen Beschädigungen, wie Vibration, thermische Ausdehnung, Setzungen des Fundaments oder Anwendung von Werkzeugen.²²²

Algenbefall ist eine Form des biologischen Befalls. Er liegt vor, wenn sich die Mikroorganismenform Algen (ein- bis vielzellige, meist autotroph und im Wasser lebende Organisationsstufe der Pflanzen) auf Bauelemente ansiedelt. Die Intensität der Algenbildung ist abhängig von der zur Verfügung stehenden Feuchtigkeit sowie von Mineralstoffen, Spurenelementen, Stickstoffverbindungen und Licht.²²³ Algen wirken u. a. sehr baustoffschädigend, da sie teilweise aggressive Stoffwechselprodukte bilden, welche die Minerale und andere Bestandteile der Baustoffe angreifen. Außerdem speichern Algen Wasser und schränken das natürliche Wasserverdunstungs-

²²⁰ Vgl. CZICHOS, H. (Hrsg.): Die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften. 30. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 1996, S. D 72

²²¹ Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 75; FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 31

²²² Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 36

²²³ Vgl. HANKAMMER, G.: Abnahme von Bauleistungen Hochbau – Erkennen und Beurteilen von Planungs- und Ausführungsmängeln. 3. Aufl. Köln : Rudolf Müller, 2007; BROCKHAUS (Hrsg.): Die Enzyklopädie in 30 Bänden – Band 1 A-ANAT. 21. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2005, S. 514

verhalten der Baustoffe ein. Dadurch werden Abnutzungsprozesse begünstigt, die bei Feuchtigkeit ablaufen.²²⁴ Ein Algenbefall von Bauelementen wird i. d. R. durch eine Nord-Ost-Lage, Verschattung, nahe stehende Bäume und Büsche sowie einer hohen Wärmedämmung begünstigt.²²⁵

Unter **Ausbauchung** werden Wölbungen von meist scheibenförmigen Bauelementen verstanden.

Der Verlust der Originalfarbintensität oder -leuchtkraft wird als **Ausbleichung**²²⁶ bezeichnet und resultiert u. a. aus chemischen Angriffen oder der Globalstrahlung (UV-Licht).²²⁷

Ausblühungen sind gewöhnlich weiße oder weißgraue Ablagerungen, die durch den Kapillartransport löslicher Salze auf der Baustoffoberfläche entstehen. Der Kapillartransport resultiert aus dem Wechsel von Durchfeuchtung und Trocknung (Verdunstung des Wassers an der Baustoffoberfläche). Ausblühungen weisen i. d. R. auf im Baustoff verborgene Salzkristallisation hin, welche Abmehlung, Blasenbildung oder Abblätterung verursachen kann.²²⁸

Unter **Ausknickung** wird das seitliche Abweichen von der Symmetrieachse eines im Verhältnis zu seinem Querschnittsabmessungen langen Stabes unter dem Einfluss einer in Längsrichtung wirkenden Druckkraft verstanden.²²⁹

²²⁴ Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 66 f.; SCHÖNBURG, K.: Korrosionsschutz am Bau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006, S. 19

²²⁵ Vgl. PUCHE, M.: Mängel an Gebäude- und Bauteiloberflächen. Köln : Rudolf Müller, 2007. S. 154

²²⁶ Ausbleichung (wie auch Verfärbung) wird gemäß Abb. 64 der optischen Merkmalsklasse Ablagerung (irreversibel) zugeordnet, da es die Optik irreversibel verändert.

²²⁷ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 27

²²⁸ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 28; RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 72

²²⁹ Vgl. BROCKHAUS (Hrsg.): Die Enzyklopädie in 30 Bänden – Band 15 KIND-KRUS. 21. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2006, S. 201

Auslaugung bezeichnet das Herauslösen eines Stoffes aus festen Gemengen durch ein geeignetes Lösungsmittel.²³⁰

Weißer bis weißgraue Schleier, Ablaufbahnen oder Ablagerungen auf Baustoffoberflächen im Bereich von Fugen werden als **Aussinterung** bezeichnet. Aussinterungen bestehen i. d. R. aus einer mehrere Millimeter dicken Kalkverbindung und entstehen, wenn Feuchtigkeit und Luftkohlendioxid in den erhärteten Mörtel eindringen und das Calciumcarbonat in eine wässrige Calciumhydrogencarbonatlösung umwandeln. Die wässrige Calciumhydrogencarbonatlösung wird an die Baustoffoberfläche transportiert und bei der Verdunstung des Wassers wieder in Calciumcarbonat umgewandelt.²³¹

Bakterienbefall ist eine Form des biologischen Befalls. Bakterien sind einzellige Kleinstlebewesen und wirken u. a. sehr baustoffschädigend, da sie teilweise aggressive Stoffwechselprodukte (z. B. Säure) bilden, welche die Minerale und andere Bestandteile der Gesteine angreifen. So genannte nitrifizierende Bakterien sind bspw. in der Lage, aus dem Abbau von Ammoniak und organischen Stickstoffverbindungen wie Harn oder Eiweiß Salpetersäure zu bilden. Bakterien sind darüber hinaus in der Lage, durch Umwandlungsprozesse Gips zu bilden oder Eisen- und Manganverbindungen aufzulösen.²³²

Halbkugelförmige Aufwölbungen, welche durch Ausdehnung der Oberflächenschicht resultieren, so dass mit Gas, Flüssigkeit oder Kristallen gefüllte Hohlräume entstehen, werden als **Blasenbildung** bezeichnet. Blasenbildung kann zum Ablösen von Teilen der Oberflächen führen. Häufigste Ursachen für Blasenbildung sind Salzkristallisation in oder unter der Oberflächenschicht, thermische Ausdehnung, Quellreaktionen der Oberflächenschicht, nachträglich aufgebracht Material sowie Feuer.²³³

²³⁰ Vgl. BROCKHAUS (Hrsg.): Die Enzyklopädie in 30 Bänden – Band 2 ANAU-AUSV. 21. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2005, S. 752

²³¹ Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 71

²³² Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 66 f.; SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 32

²³³ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 30 f.

Ein **Bruch** (auch Ausbruch oder Fehlstellen genannt) ist ein Substanzverlust, der durch mechanische Beschädigungen, Rostsprengung, Frostsprengung bzw. Salzkristallisation (Salzsprengung) verursacht wird. Der Substanzverlust kann von kleinen Oberflächenbereichen bis zum Totalverlust variieren.²³⁴

Eine bogenartige Abweichung der gesamten Struktur eines Bauelements gegenüber seiner Originalform wird als **Durchbiegung** bezeichnet. Ursachen für Durchbiegungen sind u. a. starke Belastungen, Spannungen, Salzkristallisation oder hohe Temperaturen (z. B. Feuer).²³⁵

Bei einer **Durchfeuchtung** eines Baustoffs wird dieser mit Feuchtigkeit durchdrungen, d. h., Wasser in flüssigem oder dampfförmigem Zustand wird durch das Porengefüge eines Baustoffs aufgenommen.²³⁶ Aufgrund von Durchfeuchtung können sich bauphysikalische Eigenschaften wie der Wärmedurchgang verschlechtern. Der Feuchtigkeitsgehalt beschreibt den Anteil des in gasförmigem, flüssigem oder festem Zustand vorkommenden Wassers in einem Baustoff. Er beschreibt massebezogen den Quotienten aus der Masse des verdampfbaren Wassers und der Masse des betrachteten Stoffes oder volumenbezogen den Quotienten aus dem Volumen des verdampfbaren Wassers und dem Volumen des betrachteten Stoffes.²³⁷ Der Feuchtigkeitsgehalt mineralischer Baustoffe wird bspw. mittels Calciumcarbidmethode bestimmt. Der Feuchtigkeitsgehalt organischer Baustoffe (Holz und Holzwerkstoffe) wird am Objekt mit einem elektrischen Widerstands-Messgerät ermittelt und generell in Prozent angegeben.²³⁸

²³⁴ Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 79

²³⁵ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 34 f.

²³⁶ Vgl. ARENDT, C.; SEELE, J.: Feuchte und Salze in Gebäuden. 2. Aufl. Leinfelden-Echterdingen : Verlagsanstalt Alexander Koch, 2001, S. 11

²³⁷ Vgl. WORMUTH, R. (Hrsg.); SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.): Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2000, S. 93

²³⁸ Vgl. SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 56

Unter dem Sammelbegriff der **Ermüdung** wird die abnehmende Werkstofffestigkeit bei veränderlicher Beanspruchung eines Baustoffs verstanden. Hierbei ist ein Versagen mit fortschreitender Rissbildung verbunden, wobei die zum Bruch führende Spannung mit zunehmender Anzahl der Beanspruchungswechsel kleiner wird.²³⁹

Abrasive (d. h. schleifende) Baustoffabtragung durch Wasser und in Wasser mitgeführter fester Teilchen wird als **Erosion** bezeichnet. Die Abtragung erfolgt hierbei durch Reibung. Bauelemente in Flüssen, Meeresbrandungen, Gletscher, aber auch in Wasser- und Abwasseranlagen erfahren häufig erosive Abtragung.²⁴⁰

Der Abbau organischer Stoffe durch Mikroorganismen ohne Luftsauerstoff wird **Fäulnis** genannt. Fäulnis geht mit der Bildung übelriechender chemischer Verbindungen einher.²⁴¹

Der Widerstandsverlust eines Werkstoffs gegen das Einwirken einer Kraft (z. B. Druck- oder Zugkraft) wird als **Festigkeitsverlust** (Kohäsionsverlust) bezeichnet.²⁴² Der Festigkeitsverlust führt zum Zerfall des Baustoffs in Pulver, Körnchen oder Bruchstücke.²⁴³

²³⁹ Vgl. WORMUTH, R. (Hrsg.); SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.): Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2000, S. 82

²⁴⁰ Vgl. SCHÖNBURG, K.: Korrosionsschutz am Bau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006, S. 22; FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 32

²⁴¹ Vgl. WORMUTH, R. (Hrsg.); SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.): Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2000, S. 88

²⁴² Vgl. BEUTH, A.; BEUTH, M.: Lexikon Bauwesen. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2001, S. 66

²⁴³ Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 212; FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 30

Flechtenbefall ist eine Form des biologischen Befalls. Flechten sind niedere Pflanzen aus Algen und Pilzfäden, die in Symbiose leben und zu krustigen, strauchigen Körpern zusammenwachsen. In der Symbiose versorgt der Pilz die Alge mit Wasser und Nährsalzen, während die Alge die organischen Nährstoffe durch Fotosynthese bildet.²⁴⁴ Flechten wirken u. a. sehr baustoffschädigend, da sie teilweise aggressive Stoffwechselprodukte bilden, welche die Minerale und andere Bestandteile der Gesteine angreifen. Flechten speichern Wasser und schränken das natürliche Wasserverdunstungsverhalten der Baustoffe ein. Dadurch werden Abnutzungsprozesse begünstigt, die bei Feuchtigkeit ablaufen.²⁴⁵

Als **Flecken** werden Verfärbungen bezeichnet, welche in einem kleinen Bereich und in unterschiedlicher Farbe auf Bauelementoberflächen auftreten. Flecken können u. a. durch Eisen, Vanadium, Mangan, Ausbluten von Holz, freigesetzte Stoffe wachsender Pflanzen, chemisch/biologischen Angriff, Wasser, Säuren, Kondensation oder aufsteigende Feuchtigkeit entstehen.²⁴⁶

Unter einer **Gefügelockerung** wird die Veränderung des Gefüges, d. h. der mikroskopischen Anordnung der Kristalle und der Störungen eines Baustoffs, verstanden.²⁴⁷

²⁴⁴ Vgl. DUDEN (Hrsg.): Das große Wörterbuch der deutschen Sprache in acht Bänden. 2. Aufl. Mannheim : Dudenverlag, 1993; BROCKHAUS (Hrsg.): Die Enzyklopädie in 30 Bänden – Band 9 FASZ-FRIER. 21. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2005, S. 346; FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 37

²⁴⁵ Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 66 f.

²⁴⁶ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 27

²⁴⁷ Vgl. HORNBOGEN, E.: Werkstoffe – Aufbau und Eigenschaften von Keramik, Metallen, Kunststoffen und Verbundwerkstoffen. Berlin : Springer-Verlag, 1979, S. 8

Das Ablösen eines Baustoffs von einem anderen Baustoff wird **Haftungsverlust** genannt. Hierbei wird in die drei Arten Abpölung, Blasenbildung und Ablösung unterschieden. Abpölung und Blasenbildung betreffen eine relativ dünne Oberflächenschicht (z. B. des Putzes oder der Beschichtung). Ablösungen finden häufig zwischen Mörtel und Ziegel oder Putz und Mauerwerk statt.²⁴⁸

Insektenbefall ist eine Form des biologischen Befalls. Insekten, die Baustoffe befallen, können diese meist schädigen. Unter Insekten werden alle Arten tierischer Schädlinge verstanden, wie Käfer und Hautflügler sowie alle Entwicklungsstadienformen wie Larven oder Puppen. Insekten befallen vorwiegend organische Baustoffe wie Holz.²⁴⁹

Unter dem **Kohäsionsverlust** (Festigkeitsverlust) wird der Verlust des Zusammenhalts der Moleküle innerhalb eines Baustoffs verstanden. Der Zusammenhalt der Moleküle ist u. a. bei Haftzugeigenschaften eines Stoffes oder bei Verklebungen von Bedeutung. Der Kohäsionsverlust führt zum Zerfall des Baustoffs in Pulver, Körnchen oder Bruchstücke.²⁵⁰

Unter **Korrasion** (Windabrasion) wird die Schlageinwirkung der in Wind mitgeführten Feststoffe (z. B. Hagel, Graupel, Sand, Staub, Asche) auf Bauelemente verstanden.²⁵¹

²⁴⁸ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 32 f.

²⁴⁹ Vgl. STAHR, M. (Hrsg.): Bausanierung – Erkennen und Beheben von Bauschäden. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2009, S. 160

²⁵⁰ Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 212; FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 30

²⁵¹ Vgl. SCHÖNBURG, K.: Korrosionsschutz am Bau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006, S. 23

Unter **Korrosion** werden alle vom Menschen unbeabsichtigten Oberflächenveränderungen von Werkstoffen durch (elektro-)chemische Reaktionen verstanden, welche die Werkstoffe in ihrer chemischen und physikalischen Struktur verändern oder zerstören. Korrosion greift i. d. R. alle Baustoffe an, also nicht nur Stahl (Rostbildung), sondern u. a. auch Holz, Natursteine oder Beton. Die Stärke und Auswirkung von Korrosion sind abhängig vom Bindungsbestreben bzw. der Verbindungsneigung und der Affinität der Stoffe zu ihrem Umgebungsmedium (s. Abb. 53).²⁵²

Nach den Gesetzen der Thermodynamik hat speziell bei metallischen Baustoffen das energiereiche System Metall das Bestreben, sich in den energieärmeren Zustand einer Verbindung (z. B. eines Oxids) umzuwandeln.²⁵³ Ursache dieser metallischen Korrosion ist die relative Instabilität der reinen Metalle gegenüber ihren Metalloxiden. Infolge der Affinität zu Sauerstoff in ungeschütztem Zustand und unter Einfluss feuchter Luft sowie sauerstoff- und kohlendioxidhaltigen Wassers korrodiert bspw. der Baustoff Stahl (unlegiert)²⁵⁴ schnell und intensiv (atmosphärische Korrosion).²⁵⁵

Bei den Baustoffen treten häufig die folgende Korrosionsarten auf:²⁵⁶

- chemische Korrosion (aufgrund von Alkalien, Salzlösungen bzw. Säuren, z. B. durch Kontaktkorrosion nichtmetallisch-anorganischer Baustoffe wie Gipsbinder, Anhydritbinder (Sulfate), Magnesiabinder (Chloride) (s. Abb. 54))
- elektrochemische Korrosion (z. B. Kontaktkorrosion metallischer Baustoffe (s. Abb. 56))
- atmosphärische Korrosion (durch Sauerstoff und feuchter Luft).

²⁵² Vgl. GÄNßMANTEL, J.; GEBURTIG, G.; SCHAU, A.: Sanierung und Facility Management – Nachhaltiges Bauinstandhalten und Bauinstandsetzen. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2005, S. 133; SCHÖNBURG, K.: Korrosionsschutz am Bau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006, S. 12; SCHÖNBURG, K.: Korrosionsschutz am Bau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006, S. 13 f.

²⁵³ Vgl. BECKMANN, G.; MARX, D.: Instandhaltung von Anlagen – Methoden, Organisation, Planung. 2. Aufl. Leipzig : VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1981, S. 78 ff.

²⁵⁴ Siehe dazu Abschnitt IV3.3.3.8.

²⁵⁵ Vgl. SCHÖNBURG, K.: Korrosionsschutz am Bau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006, S. 47; KNÖFEL, D.: Stichwort Baustoffkorrosion. Wiesbaden : Bauverlag, 1982, S. 143 f.

²⁵⁶ Vgl. EMPA-AKADEMIE (Hrsg.): Die Gebäudehülle – Konstruktive, bauphysikalische und umweltrelevante Aspekte. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2000, S. 78, KNÖFEL, D.: Stichwort Baustoffkorrosion. Wiesbaden : Bauverlag, 1982, S. 128 ff.

| Baustoff | | Affinität zu | Affinitätsreaktion und deren Auswirkung |
|-----------------------|---|--|---|
| Metallisch | Blei | Luftsauerstoff (O ₂) und Kohlendioxid (CO ₂) | Bildung von basischem Bleicarbonat |
| | Kupfer | Luftfeuchtigkeit (H ₂ O) | Bildung von rotem Kupferoxid, das dem Kupfererz Kuprit entspricht |
| | | Luftfeuchtigkeit (H ₂ O) und Kohlendioxid (CO ₂) | Bildung von grünem basischem Kupfercarbonat, das dem Kupfererz Azurit entspricht. Beide schützen Kupfer vor Luft. |
| | Stahl (unlegiert), Eisen | Luftsauerstoff (O ₂) und Luftfeuchtigkeit (H ₂ O) | Reaktion zu Eisenoxidhydrat, das etwa dem Eisenerz Limolit entspricht; durch weitere Sauerstoffaufnahme entsteht Rost; das Eisen wird zerstört |
| Zink | Kohlendioxid (CO ₂) und Luftfeuchtigkeit (H ₂ O) | Bildung von basischem Zinkcarbonat, das etwa dem natürlichen Zinkerz, der Zinkblüte, entspricht und Zink vor reiner Luft schützt | |
| Mineralisch | Kalkhaltige Stoffe (z. B. Kalksandstein, Putz) | Kohlendioxid (CO ₂) und Luftfeuchtigkeit (H ₂ O) | Reaktion mit Kohlensäure unter Bildung von wasserlöslichem Calciumhydrogencarbonat, das wiederum durch Kohlensäure in porösen Kalksinter umgesetzt wird |
| | Schwach gebrannter Ton (z. B. Terrakotten) | Luftfeuchtigkeit (H ₂ O) | Starkes Aufsaugen, Quellen und Zerstörung bei Frost |
| Organisch | Holz | Luftfeuchtigkeit (H ₂ O), Wärme- und UV-Strahlung | Starkes Aufsaugen, Quellen und Schwinden sowie Versprödung und Verfärbung durch Depolymerisation sowie fotochemische Reaktion von Holzinhaltstoffen |
| Organisch synthetisch | Plastomere, Elastomere | Wärme- und UV-Strahlung, Temperaturwechsel | Versprödung durch Depolymerisation |

Abb. 53: Beispiele für die Korrosion von Baustoffen²⁵⁷

²⁵⁷ Vgl. SCHÖNBURG, K.: Korrosionsschutz am Bau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006, S. 14

Eine Übersicht über *chemische Korrosion* durch Kontaktkorrosion nichtmetallisch-anorganischer Baustoffe auf metallischen Baustoffen wird in Abb. 54 gegeben. Die chemische Korrosion umfasst hierbei alle Vorgänge einer unmittelbaren Reaktion zwischen einem Metall und einem bestimmten Baustoff.

| Kontaktkorrosion | | | | | | |
|---|--|------------------------|----------------|--------------|--------------|-------|
| Baustoff | | Alu- minium (Al) | Kupfer (Cu) | Zinn (Zn) | Blei (Pb) | Stahl |
| Nichtmetallisch- anorganischer Baustoff | Kalke, Zementmörtel, Beton (alkalisches Milieu) | X | | X | X | |
| | Gips- und Anhydritbinder (Sulfate) | X | | X | | X |
| | Magnesiabinder (Chloride) | X | X | X | | X |

X Korrosion

Abb. 54: Kontaktkorrosion nichtmetallisch-anorganischer Baustoffe auf metallischen Baustoffen²⁵⁸

Die *elektrochemische Korrosion* durch Kontaktkorrosion metallischer Baustoffe erfolgt aufgrund der unterschiedlichen elektrochemischen Potenziale der Metallphasen. Je größer die Potenzialdifferenz zweier metallischer Baustoffe ist, desto stärker die Korrosion. Die unedlere Metallphase (Anode mit dem kleineren Spannungswert gemäß Abb. 55) unterliegt gegenüber der edleren Metallphase (Kathode), d. h., die Anode korrodiert. Von wesentlicher Bedeutung für die Korrosion und damit der Baustoffabtragung ist das Größenverhältnis von Anode zu Kathode. Ist die Anode im Verhältnis zur Kathode klein, so ist die anodische Abtragung besonders stark.²⁵⁹

²⁵⁸ Vgl. BENEDIX, R.: Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 271; KNÖFEL, D.: Stichwort Baustoffkorrosion. Wiesbaden : Bauverlag, 1982, S. 173

²⁵⁹ Vgl. KNÖFEL, D.: Stichwort Baustoffkorrosion. Wiesbaden : Bauverlag, 1982, S. 132 f.

| Spannungsreihen nach Oelsner | | | | | |
|---|-------|---|--------|---|-------|
| Praktische Spannungsreihe für Wasser pH 6,0 | | Elektrochemische Spannungsreihe der Elemente (Normalpotentiale) | | Praktische Spannungsreihe für Meerwasser pH 7,5 | |
| Metall | mV *) | Metall | mV *) | Metall | mV *) |
| Silber (Ag) | + 195 | Silber (Ag) | + 799 | Silber (Ag) | + 149 |
| Kupfer (Cu) | + 140 | Kupfer (Cu) | + 345 | Nickel (Ni) | + 46 |
| Nickel (Ni) | + 118 | Blei (Pb) | - 130 | Kupfer (Cu) | + 10 |
| Aluminium (Al) | - 169 | Zinn (Zn) | - 140 | Blei (Pb) | - 259 |
| Zinn (Zn) | - 175 | Nickel (Ni) | - 230 | Zink (Zn 98,5) | - 284 |
| Blei (Pb) | - 283 | Cadmium (Cd) | - 400 | Stahl | - 335 |
| Stahl | - 350 | Eisen (Fe) | - 440 | Cadmium (Cd) | - 519 |
| Cadmium (Cd) | - 574 | Zink (Zn 98,5) | - 760 | Aluminium (Al) | - 667 |
| Zink (Zn 98,5) | - 823 | Aluminium (Al) | - 1660 | Zinn (Zn) | - 809 |

*) Potentialangaben beziehen sich auf die Normalwasserstoffelektrode

Abb. 55: Spannungsreihe zur Ermittlung der elektrochemischen Korrosion durch Kontaktkorrosion metallischer Baustoffe²⁶⁰

Eine Übersicht über elektrochemische Korrosion durch Kontaktkorrosion bei Baume-tallen (hier speziell atmosphärischer Korrosion) wird in Abb. 56 dargestellt.

²⁶⁰ Vgl. KNÖFEL, D.: Stichwort Baustoffkorrosion. Wiesbaden : Bauverlag, 1982, S. 132

| Elektrochemische Korrosion durch Kontaktkorrosion | | | | | | |
|---|----------------|-------------|-----------|-----------|--------------|------------------|
| Metall | Aluminium (Al) | Kupfer (Cu) | Zinn (Zn) | Blei (Pb) | Unleg. Stahl | Nichtrost. Stahl |
| Aluminium (Al) | | X | | X | X | O, M |
| Kupfer (Cu) | X | | X | | X | |
| Zinn (Zn) | | X | | X | O | O |
| Blei (Pb) | X | | X | | O | O |
| Unleg. Stahl | X | X | O | O | | X |
| Nichtrost. Stahl | O, M | | O | O | X | |

keine Korrosion
 O geringe Korrosion
 X Korrosion
 M Korrosion in Meeresatmosphäre

Abb. 56: Elektrochemische Korrosion durch Kontaktkorrosion metallischer Baustoffe in der Atmosphäre²⁶¹

Die Auswirkungen *atmosphärischer Korrosion* sind neben dem Einfluss feuchter Luft sowie sauerstoff- und kohlendioxidhaltigen Wassers abhängig vom Anteil weiterer korrosionsfördernder Anteile, wie Schadstoffe und Chloride. Je nach Atmosphärentyp lassen sich entsprechende Baustoffabtragsraten herleiten. Eine Übersicht über die Baustoffabtragsraten metallischer Baustoffe aufgrund atmosphärischer Korrosion ist in Abb. 57 dargestellt.

²⁶¹ Vgl. KNÖFEL, D.: Stichwort Baustoffkorrosion. Wiesbaden : Bauverlag, 1982, S. 142

| Baustoff | Baustoffabtragsrate in Abhängigkeit zum Atmosphärentyp [µm/Jahr] | | | |
|----------------|---|----------------------|--------------------------|-----------------------|
| | Land- atmosphäre | Stadt- atmosphäre | Industrie- atmosphäre | Meeres- atmosphäre |
| Aluminium (Al) | < 0,1 | 0,1 – 1,0 | 1,0 – 3,0 | ~ 1,0 |
| Blei (Pb) | < 0,3 | ~ 0,5 | 0,5 – 2,0 | 0,5 – 1,0 |
| Kupfer (Cu) | < 0,5 | 0,5 – 2,0 | 1,0 – 5,0 | 1,0 – 2,0 |
| Unleg. Stahl | 10,0 – 65,0 | 30,0 – 70,0 | 40,0 – 170,0 | 20,0 – 200,0 |
| Zinn (Zn) | 2,0 – 4,0 | 2,0 – 8,0 | 8,0 – 20,0 | 3,0 – 15,0 |

Abb. 57: Baustoffabtragsraten metallischer Baustoffe aufgrund atmosphärischer Korrosion²⁶²

Gemäß DIN 55928 Teil 1 werden die in Abb. 57 aufgeführten Atmosphärentypen wie folgt definiert:²⁶³

- Landatmosphäre (Land)

Meist ländliche oder kleinstädtische Gebiete ohne nennenswerte Belastungen an Schwefeldioxid und anderen korrosionsfördernden Schadstoffen
- Stadtatmosphäre

Durch Schwefeldioxid und andere Schadstoffe verunreinigte Atmosphäre in dicht besiedelten Gebieten ohne starke Industrieansammlungen
- Industrielatmosphäre

Stark durch Schwefeldioxid und andere Schadstoffe belastete Atmosphäre; typisch für Ballungsgebiete der Industrie und Bereiche, die in der Hauptwindrichtung solcher Gebiete liegen
- Meeresatmosphäre

Vorwiegend durch Chloride belastete Atmosphäre; typisch für das Meer und einen schmalen Küstenstreifen.

²⁶² Vgl. KNÖFEL, D.: Stichwort Baustoffkorrosion. Wiesbaden : Bauverlag, 1982, S. 139; SCHMID, E. V.: Außenanstriche im Hochbau – Lebensdauer unter Umwelteinflüssen. Wiesbaden : Bauverlag, 1994, S. 30, S. 36; SIMONS, K.; HIRSCHBERGER, H.; STÖLTING, D.: Lebensdauer von Bauteilen und Baustoffen – Abschlussbericht. Bonn : Technische Universität Braunschweig, 1987, S. 74; NÜRNBERGER, U.: Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen Band 1. Wiesbaden : Bauverlag, 1995, S. 217

²⁶³ Vgl. KNÖFEL, D.: Stichwort Baustoffkorrosion. Wiesbaden : Bauverlag, 1982, S. 137;

DIN (Hrsg.): DIN 55928-1 – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge – Allgemeines, Begriffe, Korrosionsbelastungen. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 03-1991, S. 4

Die aus Korrosion resultierenden Korrosionsprodukte liegen meist körnig und lose auf der Metalloberfläche, was zu einem Verlust der Schichtdicke (Querschnittsminderung) und der Entstehung einer Korrosionsschicht führt.²⁶⁴ Die drei typischen Verlaufsformen der Korrosionsschichtbildung bei Metallen sind in Abb. 58 dargestellt.

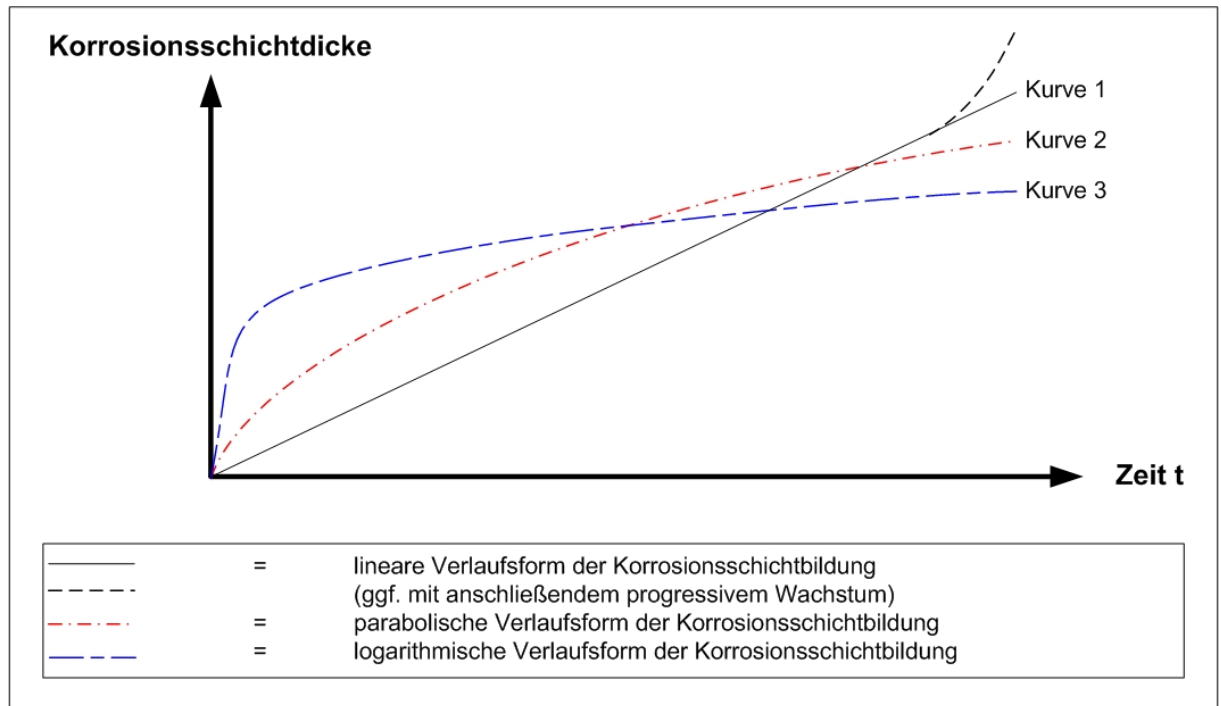


Abb. 58: Beispiele von Verlaufsformen der Korrosionsschichtbildung bei Metallen ²⁶⁵

Eine lineare Verlaufsform der Korrosionsschichtbildung (Kurve 1) findet vorwiegend bei unedlen Metallen wie Natrium (Na), Kalium (K), Calcium (Ca) und Barium (Ba) statt, d. h., die Korrosionseindringtiefe verhält sich proportional zur Zeit.

Eine parabolische Verlaufsform der Korrosionsschichtbildung (Kurve 2), bei der die Korrosionsgeschwindigkeit gegenüber dem Anlauf langsam abklingt, findet bei der Mehrzahl der Metalle wie Eisen (Fe), Kupfer (Cu), Titanium (Ti) sowie Nickel (Ni) statt.

²⁶⁴ Vgl. KNÖFEL, D.: Stichwort Baustoffkorrosion. Wiesbaden : Bauverlag, 1982, S. 143

²⁶⁵ Vgl. BECKMANN, G.; MARX, D.: Instandhaltung von Anlagen – Methoden, Organisation, Planung. 4. Aufl. Leipzig : Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1994, S. 79

Eine logarithmische Verlaufsform der Korrosionsschichtbildung (Kurve 3), bei der der Korrosionsprozess nach raschem Anlauf schnell abnimmt und bei der es zur Ausbildung einer echten Schutzschicht kommt, findet nur bei wenigen Metallen wie Aluminium (Al) bei Raumtemperatur statt.²⁶⁶

Ein **Kratzer** ist eine aufgrund von Reibung, Schabung, Ritzung oder anderer physikalischer Einwirkung verursachte oberflächennahe Schramme in einem Baustoff.²⁶⁷

Bei einer **Kruste** handelt es sich um eine chemische Umwandlung einer relativ dicken Oberflächenschicht, die im Gegensatz zu einer Verkrustung nicht gut haftet. Krusten unterscheiden sich gegenüber dem Originalbaustoff in Farbe, Gestalt, thermischen sowie hygri-schen Eigenschaften und treten in feuchten Bereichen auf. Die Dicke von Krusten kann mehrere Millimeter betragen. Krusten werden meist durch Frostsprengung und Salzkristallisation (Salzspren-gung) vom Originalbaustoff abgelöst.²⁶⁸

Bei einer **Kryptoeffloreszenz** (oder verborgene Kristallisation) findet Kristallisation aufgrund von Verdunstung von Porenwasser unterhalb der Bauelementoberfläche statt. Die Kristallisation tritt allerdings nur auf, wenn die Verdunstung des Porenwassers stärker ist als der Kapillartransport. Das Schadensbild der Kryptoeffloreszenz gleicht dem eines Frostschadens, wird allerdings durch Salzkristalle hervorgerufen.²⁶⁹

²⁶⁶ Vgl. BECKMANN, G.; MARX, D.: Instandhaltung von Anlagen – Methoden, Organisation, Planung. 2. Aufl. Leipzig : VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1981, S. 78 ff.

²⁶⁷ In Anlehnung an WAHRIG, G.: Deutsches Wörterbuch. 7. Aufl. Gütersloh : Wissen Media Verlag, 2005, S. 776

²⁶⁸ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 29; RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 70

²⁶⁹ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 28

Bei **Moosbefall** handelt es sich um einen flächig auftretenden, grünen, teilweise auch gelblichen bis rötlichen Bewuchs. Dieser tritt bevorzugt auf rauen Bauelementoberflächen in Verbindung mit Feuchtigkeit und nährstoffangereicherten Ablagerungen auf.²⁷⁰ Moose wirken u. a. sehr baustoffschädigend, da sie teilweise aggressive Stoffwechselprodukte wie Säuren bilden, welche die Minerale und andere Bestandteile der Gesteine angreifen. Moose speichern Wasser und schränken das natürliche Wasserverdunstungsverhalten der Baustoffe ein. Dadurch werden Abnutzungsprozesse begünstigt, die bei Feuchtigkeit ablaufen.²⁷¹

Die Abweichung eines Gebäudes oder eines Bauelements gegenüber der ursprünglichen Stellung wird **Neigung** (Schiefstellung) genannt. Die Neigung kann sich über einen Teil oder die gesamte Länge bzw. Höhe des Bauteils erstrecken. Mögliche Ursachen sind Setzungen im Gründungsbereich.²⁷²

Unter **Oberflächenabtrag** (Verschleiß) werden Abtragungen von Baustoffen durch mechanische oder chemische Beanspruchung der Oberflächen verstanden, die u. a. durch Korrosion, Erosion, Reibung, Stoß- bzw. Schlageinwirkung entstehen. Anstelle des Begriffs des Oberflächenabtrags wird häufig auch von Verschleiß, Schichtabnutzung oder Abtragung gesprochen.²⁷³

²⁷⁰ Vgl. LBB (Hrsg.); MUSEWALD, J.: Stahlbeton prüfen und dauerhaft erhalten. Aachen : Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung (LBB), 1990, S. 45

²⁷¹ Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 66 f.; FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 37; SCHÖNBURG, K.: Korrosionsschutz am Bau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006, S. 19

²⁷² Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 35

²⁷³ Vgl. SCHÖNBURG, K.: Korrosionsschutz am Bau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006, S. 22; BENEDIX, R.: Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 248

Pflanzenbewuchs ist eine Form des biologischen Befalls. Pflanzen, d. h. aus Wurzeln, Stiel und Blättern bestehende Organismen, siedeln sich hierbei dauerhaft an feuchten, nährstoffreichen und belichteten Stellen an.²⁷⁴ Besonders die Sprengwirkung von Wurzeln, das Rückhalten von Wasser sowie die durch Umwandlungsprozesse aus der Substanz abgestorbener Pflanzen entstehenden organischen Säuren gefährden weitgehend die Bauelemente.²⁷⁵ Pflanzenbewuchs wird in kleine (z. B. Gras, Farne, Blumen) und große Pflanzen (z. B. Büsche, Bäume) unterteilt.²⁷⁶

Pilzbefall ist eine Form des biologischen Befalls. Pilze siedeln sich hierbei dauerhaft an feuchten Stellen an und verbreiten oftmals einen muffigen Geruch sowie eine Verfärbung. Die Sporenbildung von Pilzen kann Gesundheitsschäden hervorrufen. Pilze, die Baustoffe befallen, können diese meist schädigen.²⁷⁷

Unter **Quellen** wird der physikalische Prozess der Volumenvergrößerung eines Baustoffs infolge von Wasseraufnahme verstanden.²⁷⁸

Unter einer **Querschnittsminderung** wird die Reduktion eines Querschnitts, d. h. dem rechtwinklig zur Stabachse liegenden Schnitt, verstanden.²⁷⁹ Eine Querschnittsminderung kann bereits beim Bauen, durch nachträgliche (meist nutzungsbedingte) Veränderungen oder durch Umwelteinflüsse (aggressive Medien, Insektenfraß usw.) entstehen.²⁸⁰

²⁷⁴ In Anlehnung an DUDEN (Hrsg.): Das große Wörterbuch der deutschen Sprache in acht Bänden. 2. Aufl. Mannheim : Dudenverlag, 1993, S. 2534

²⁷⁵ Vgl. SCHÖNBURG, K.: Korrosionsschutz am Bau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006, S. 19, S. 175; RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 67

²⁷⁶ In Anlehnung an FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 37

²⁷⁷ Vgl. BEUTH, A.; BEUTH, M.: Lexikon Bauwesen. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2001, S. 115

²⁷⁸ Vgl. WORMUTH, R. (Hrsg.); SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.): Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2000, S. 216

²⁷⁹ Vgl. WENDEHORST, R.: Baustoffkunde. 26. Aufl. Hannover : Curt R. Vincentz, 2004, S. 650

²⁸⁰ Vgl. GÄNßMANTEL, J.; GEBURTIG, G.; SCHAU, A.: Sanierung und Facility Management – Nachhaltiges Bauinstandhalten und Bauinstandsetzen. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2005, S. 134

Ein **Riss** stellt eine ungewollte Gefügetrennung dar, die in unterschiedlicher Breite, Länge und Tiefe auftreten kann. Er entsteht immer durch Spannungen (ein- oder mehrdimensional; z. B. Dehnung, Schwindung, Volumenzunahme), welche zu einer Überbeanspruchung der Bindungskräfte innerhalb des Baustoffs führen. Ein Riss vergrößert sich so lange, bis die verursachenden Spannungen abgebaut sind. Erst mit dem Erreichen eines spannungsarmen Zustands kommt auch die Rissbildung zum Stillstand. Risse führen u. a. zu Abblätterung, Absandung, Ablösung, Gefügelockerung und/oder Zerfall.²⁸¹

Risse werden durch den Rissgrad²⁸² sowie den Merkmalsaspekt Rissbild (vgl. bspw. Abb. 114 bis Abb. 116) beschrieben. Der Rissgrad lässt sich durch die in Abb. 59 aufgeführten Merkmalsaspekte Rissmenge (beinhaltet neben der Menge auch die Risslänge), Rissbreite und Risstiefe charakterisieren.²⁸³

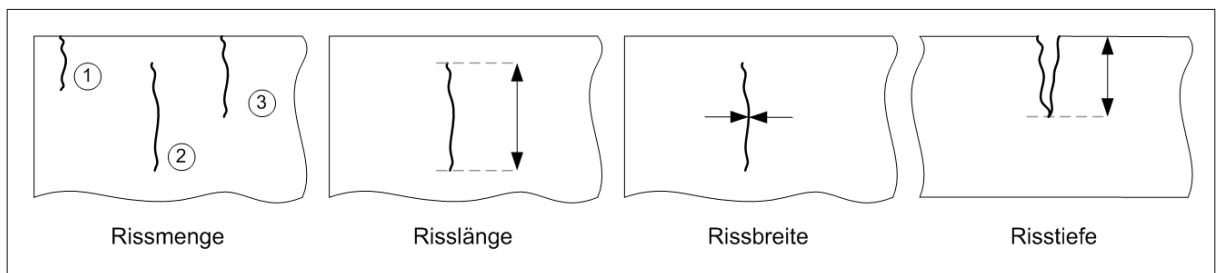


Abb. 59: Rissgrad zur Beschreibung von Rissen

²⁸¹ Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 73 f.; FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 33

²⁸² Der Rissgrad ist eine Bewertungsform der Risse nach DIN (vgl. DIN EN ISO 4628-4 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 4: Bewertung des Rissgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004, S. 4).

²⁸³ Vgl. SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 56; DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-4 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 4: Bewertung des Rissgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004, S. 4

Der Zusammenhang der Merkmalsaspekte zur Beschreibung des Merkmals Riss ist in Abb. 60 dargestellt.

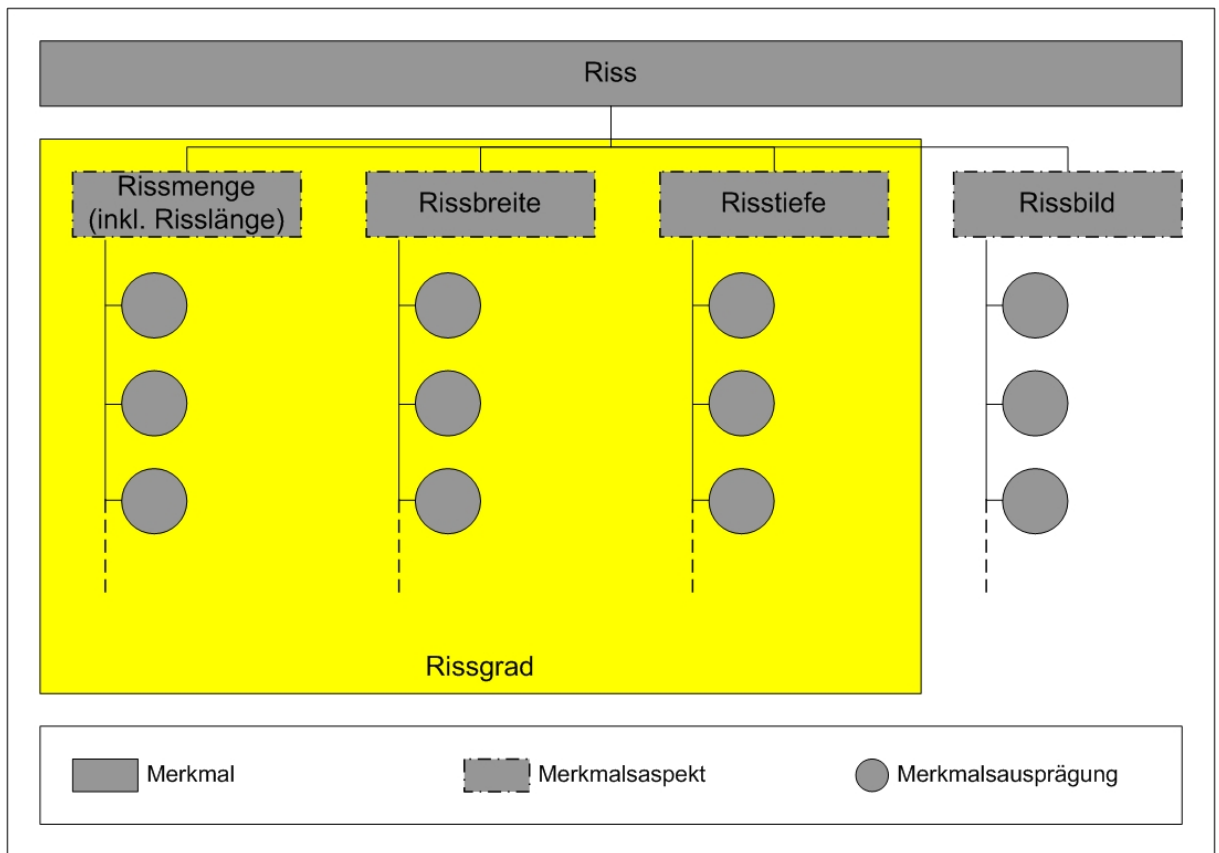


Abb. 60: Merkmalsaspekte des Merkmals Riss

Risse können aufgrund ihres Rissgrads und ihres Rissbilds u. a. in die folgenden Rissarten unterschieden werden:

- Mikrorisse
- Makrorisse (Haarrisse)
- Einzelrisse
- Netzwerkrisse
- Krakelees (Craquelé)
- Sternrisse.

Mikrorisse sind kleine (Rissbreite unter 0,1 mm), mit dem bloßen Auge nicht sichtbare Risse, die durch baustoffinterne Spannungen, thermische Dehnung, Frostspren-

gung, Salzkristallisation (Salzsprengeung) bzw. Schädigung aufgrund der Oberflächenbearbeitung entstehen können.²⁸⁴

Makrorisse (Haarrisse) sind Risse mit einer Breite zwischen 0,1 mm und 0,2 mm.²⁸⁵

Einzelrisse sind Risse mit Breiten ab 0,2 mm. Einzelrisse ab einer Rissbreite von 1,0 mm können i. d. R. instandgesetzt, d. h. verschlossen werden.²⁸⁶

Netzwerkrisse sind netzartige Rissmuster mit Rissbreiten ab 0,15 mm. Sie resultieren häufig aus thermischer Beanspruchung oder Schwindungsprozessen.²⁸⁷

Krakelees (Craquelé) sind netzartige Rissmuster mit Rissbreiten unter 0,15 mm.²⁸⁸

Sternrisse sind sternförmige Arrangements von Rissen, bei denen Rissbreiten von über 0,15 mm auftreten. Verursacht werden Sternrisse u. a. durch Materialausdehnung in oder unter der Oberfläche im Zentrum des Sterns oder durch Einschlag eines kleinen Objekts.²⁸⁹

Die Rissbilder lassen oft eine Aussage zur Rissursache zu. Häufig auftretende Rissbilder und die dazugehörigen Rissursachen werden in den Abb. 114 bis Abb. 116 dargestellt.²⁹⁰

²⁸⁴ Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 73

²⁸⁵ Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 73; FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 33

²⁸⁶ Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 74

²⁸⁷ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 34

²⁸⁸ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 34

²⁸⁹ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 34

²⁹⁰ Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 74 f.

Oberflächenparallele Ablösungen an Baustoffen werden **Schalenbildung** genannt. Schalen sind verdichtete oder zumindest in ihren Kennwerten vom übrigen Gestein abweichende Schichten und ähneln Krusten. Die Schalen können bis zu mehreren Zentimetern dick werden. Sie entstehen durch natürliche Prozesse (z. B. Baustoffveränderungen bei Sedimentgestein) oder chemische Prozesse (z. B. durch Beschichtungen). In Kombination mit Frostsprengung, Salzkristallisation (Salzsprengung), Temperaturschwankungen bzw. Lösungsprozessen werden Schalen meist abgelöst.²⁹¹

Schimmelpilzbefall ist eine Form des biologischen Befalls. Der Schimmelpilz ist eine gesundheitsschädliche Pilzform, welche auf feuchtem²⁹², nährstoffreichem Untergrund wächst und flächige Schimmelkolonien bildet. Schimmel ist ein staub- oder mehlartiger, flockiger oder rasiger, meist weißer oder grünlicher bis schwärzlicher Überzug.²⁹³

Schnitte an Bauelementen treten durch die physikalische Einwirkung scharfer Gegenstände auf, die sich in die Bauelementoberfläche eingravieren bzw. einritzen und meist dauerhafte (optische) Spuren hinterlassen sowie einen Abtrag des Baustoffs verursachen.

Schwammbefall ist eine Form des biologischen Befalls. Der Schwamm ist eine Holz zerstörende Pilzform. Der gefährlichste Schwamm ist der echte Hausschwamm, welcher dauerfeuchte organische Baustoffe in meist kühlen, dunklen Räumen befällt.²⁹⁴

²⁹¹ Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 76

²⁹² Angaben zur Wachstumsvoraussetzung hinsichtlich Temperatur, relativer Feucht und pH-Wert s. SEDLBAUER, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Stuttgart, Universität, Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen, Dissertation, 2001, S. 24

²⁹³ Vgl. BEUTH, A.; BEUTH, M.: Lexikon Bauwesen. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2001, S. 126; BROCKHAUS (Hrsg.): Die Enzyklopädie in 30 Bänden – Band 24 SANTI-SELD. 21. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2005, S. 265

²⁹⁴ Vgl. BEUTH, A.; BEUTH, M.: Lexikon Bauwesen. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2001, S. 131, S. 56

Schwinden beschreibt die Volumenverringerung eines unbelasteten Baustoffs während der Austrocknung, wobei angenommen wird, dass keine Beeinflussung des Schwindvorgangs durch eventuelle im Baustoff wirkende Spannungen vorliegt.²⁹⁵

Eine durch Zugspannung verursachte Teilung innerhalb eines Bauelements in getrennte Bruchstücke wird als **Spaltung** bezeichnet. Ursache für Spaltungen sind neben statischen Zugspannungen auch sich wiederholende thermische Ausdehnung und Kontraktion.²⁹⁶

Tragfähigkeitsverlust beschreibt die Abminderung der maximalen Tragfähigkeit, d. h. den Verlust der höchst möglichen Belastung, die ein Bauelement aufnehmen kann oder nach den Bestimmungen aufnehmen darf.²⁹⁷

Treiben ist die Bildung von Produkten innerhalb eines Baustoffs, die durch chemische Reaktion zwischen einem aggressiven Medium und dem Baustoff entstehen und ein größeres Volumen beanspruchen als im Ausgangsbaustoff.²⁹⁸

Veränderungen von Bauelementoberflächen, welche eine chemische Konversion des Baustoffs beinhalten, werden **Umwandlung** genannt. Beispiele für Umwandlungen sind Krustenbildung sowie Patina.²⁹⁹

Unter **Undichtigkeit** wird die materielle Eigenschaft eines Baustoffs verstanden, gegenüber einem Stoff, Gas, Flüssigkeit, Strahlung, Wärme, Schall o. Ä. durchlässig zu sein. Die Undichtigkeit verhält sich reziprok zur Dichtigkeit.³⁰⁰

²⁹⁵ Vgl. WORMUTH, R. (Hrsg.); SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.): Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2000, S. 250

²⁹⁶ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 34

²⁹⁷ Vgl. BEUTH, A.; BEUTH, M.: Lexikon Bauwesen. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2001, S. 143

²⁹⁸ Vgl. BENEDIX, R.: Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 371

²⁹⁹ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 29

³⁰⁰ In Anlehnung an WENDEHORST, R.: Baustoffkunde. 26. Aufl. Hannover : Curt R. Vincentz, 2004, S. 8; BROCKHAUS (Hrsg.): Die Enzyklopädie in 30 Bänden – Band 6 COMF-DIET. 21. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2005, S. 780

Die spiralförmige Abweichung der gesamten Struktur eines Bauelements von der ursprünglichen Form wird **Verdrehung** genannt. Ursachen für Verdrehungen sind Lastbeanspruchungen, Fugenauswaschungen bzw. Setzungen des Fundaments.³⁰¹

Verfärbungen³⁰² sind farbliche Veränderungen auf Baustoffoberflächen, die einen optischen Mangel darstellen. Ausbleichen, Nachdunkeln oder Flecken können zu Verfärbungen führen.³⁰³

Volumen- bzw. Formänderungen von Bauelementen stellen eine **Verformung** dar. Es wird in lastabhängige und lastunabhängige Verformung unterschieden.³⁰⁴ Beispiele für Verformungen sind Deckendurchbiegungen, Ausknickung von Stützen, Verdrehungen und Verschiebungen, Dehnung eines Bauelements durch Temperaturerhöhung, Volumenänderung von Baustoffen durch Feuchtigkeit usw.³⁰⁵

Bei einer **Verkrustung** handelt es sich i. d. R. um weiße, gut haftende Ablagerungen aus herausgelaugten Mörtelbestandteilen (herausgelöste Salze des Mörtelbindemittels). Verkrustungen bestehen gewöhnlich aus kalzitischen bzw. sulphatischen Bestandteilen und haben eine dichte, glasige Struktur.³⁰⁶

³⁰¹ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 35

³⁰² Verfärbung (wie auch Ausbleichung) wird gemäß Abb. 65 der optischen Merkmalsklasse Ablagerung (irreversibel) zugeordnet, da es die Optik irreversibel verändert.

³⁰³ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 27; RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 71

³⁰⁴ Vgl. WORMUTH, R. (Hrsg.); SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.): Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2000, S. 307

³⁰⁵ Vgl. GÄNßMANTEL, J.; GEBURTIG, G.; SCHAU, A.: Sanierung und Facility Management – Nachhaltiges Bauinstandhalten und Bauinstandsetzen. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2005, S. 134 f.; FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 34

³⁰⁶ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 28

Der Abbau organischer Baustoffe (z. B. Holz) durch Mikroorganismen unter Anwesenheit von Sauerstoff wird **Verrottung** (Rotte) genannt.³⁰⁷

Unter **Versalzung** wird die Anreicherung eines Bauelements mit Salz verstanden. Salze sind im chemischen Sinne Neutralisationsprodukte von Säuren und Laugen. Salze gelangen in Baustoffe u. a. durch Kapillartransport, Schadstoffe (z. B. SO₂-Belastung), Streusalz, salzhaltiges Wasser (z. B. Meerwasser) und säurebildende Mikroorganismen.³⁰⁸ Versalzung kann u. a. Schadensmechanismen wie treibenden Angriff (Kristallisation, Hydratation), lösenden Angriff (Schwefelsäure) oder Spannungskorrosion auslösen.³⁰⁹

Verschiebungen eines Bauelements aufgrund von Belastungen bzw. Quellreaktionen werden **Versatz** genannt. Ursachen von Versatz können Frost und die damit verbundene Eisbildung sein, aber auch Treibreaktionen z. B. bei Mauermörtel durch Frost oder Salze.³¹⁰

Bei einer **Verschmutzung** handelt es sich um exogene Ablagerungen aus nichtkristallinem und unverfestigtem Material auf der Bauelementoberfläche u. a. durch Sedimente, unverfestigte Feststoffe, physikalischen oder chemischen Zerfall des Baustoffs, organische Materialien (z. B. getrocknete Algen), Staub oder Ruß. Verschmutzungen liegen i. d. R. als dunkle Schmutzpartikel dünn auf der Bauelementoberfläche auf und bilden keine eigene Schichtdicke aus. Verschmutzungen stellen im Anfangsstadium kein Schaden dar, sondern werden als ein optischer Mangel bewertet. Eine intensive Verschmutzung erhöht allerdings den Aufwand der Ablagerungsbeseitigung.³¹¹

³⁰⁷ Vgl. WORMUTH, R. (Hrsg.); SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.): Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2000, S. 309, S. 230

³⁰⁸ Vgl. STARK, J.; STÜRMER, S.: Bauschädliche Salze. Weimar : Bauhaus-Universität Weimar, 1996, S. 4

³⁰⁹ Vgl. STARK, J.; STÜRMER, S.: Bauschädliche Salze. Weimar : Bauhaus-Universität Weimar, 1996, S. 17

³¹⁰ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 35

³¹¹ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 27; RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 68

Versottung bezeichnet die Durchfeuchtung der Schornsteinwandungen mit dem in den Rauchgasen enthaltenem Wasserdampf, der sich im kalten Schornsteinzug als Kondenswasser niederschlägt. Hierbei wird die Abnutzung der Schornsteinwandungen durch die in den Rauchgasen enthaltenen schwefligen Verbrennungsrückständen beschleunigt.³¹²

Unter **Versprödung** (Brüchigkeit) wird der Verlust von Dehnbarkeit und der Zerfall in kleine Stücke eines Baustoffs verstanden. Versprödung tritt vorwiegend bei organisch synthetischen Baustoffen (bspw. Kunststoffen) auf, wobei es sich hierbei um eine Weichmacherwanderung handelt.³¹³ Weichmacher sind flüssige oder feste, indifferente organische Substanzen mit geringem Dampfdruck, welche Baustoffen zugesetzt werden, um diesen angestrebte physikalische Eigenschaften wie z. B. erhöhtes Formänderungsvermögen bzw. erhöhte elastische Eigenschaften (wie die Dehnbarkeit) zu verleihen.³¹⁴

Bei einer **Volumenänderung** dehnt sich ein Medium räumlich aus oder zieht sich zusammen (Ab- oder Zunahme des Volumens), so dass der erreichte Rauminhalt nicht mehr dem Ursprungsrauminhalt entspricht. Ursachen von Volumenänderungen können u. a. Feuchteadsorption durch Wasserdampf oder flüssiges Wasser, Salzkristallisation (Salzsprengung), Temperaturdifferenzen oder Baustoffreaktionen sein.³¹⁵

³¹² Vgl. BEUTH, A.; BEUTH, M.: Lexikon Bauwesen. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2001, S. 154 f.

³¹³ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN EN 971-2 – Fachausdrücke und Definitionen für Beschichtungsstoffe – Teil 2: Spezielle Fachausdrücke für Merkmale und Eigenschaften. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 07-1996, S. 4; ROSS, F. W.; BRACHMANN, R.; HOLZNER, P.: Ermittlung des Bauwertes von Gebäuden und des Verkehrswertes von Grundstücken. 28. Aufl. Hannover : Theodor Oppermann Verlag, 1997, S. 257; BROCKHAUS (Hrsg.): Die Enzyklopädie in 30 Bänden – Band 26 SPOT-TALA. 21. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2006, S. 40

³¹⁴ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN EN 971-1 – Fachausdrücke und Definitionen für Beschichtungsstoffe – Teil 1: Allgemeine Begriffe. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 09-1996, S. 8 sowie Bbl. S. 4

³¹⁵ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 35

Die durch eine Krümmung in einer Teilstruktur hervorgerufene Abweichung eines Bauelements gegenüber seiner Originalform wird als **Wölbung** bezeichnet. Ursachen für Wölbungen sind u. a. Frost, Feuchtigkeit, Stoffreaktionen (z. B. rostende Bauelemente), Spannungen oder Treibreaktionen unterschiedlicher Baustoffe.³¹⁶

Der Zerfall von Baustoffen in kleine kompakte, formlose oder unförmige Baustoffmassen (Brocken) wird als **Zerbröckelung** bezeichnet. Die Ursachen können Verarbeitungs-/Herstellungsfehler des Baustoffs, Salzkristallisation bzw. Frost sein.³¹⁷

Bei einem **Zerfall** werden durch chemische Lösungsprozesse, hygrisches Quellen sowie Frostsprengung oder Salzkristallisation (Salzsprengung) zusammenhängende bis zu mehreren Zentimetern große Teile des Baustoffs aus der Oberfläche gelöst.³¹⁸

³¹⁶ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 34

³¹⁷ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 31

³¹⁸ Vgl. RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 78

3 Methode zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats

3.1 Nutzwertanalyse als methodische Grundlage

Für die Ermittlung des Abnutzungsvorrats sind die Ansätze aus der einschlägigen Fachliteratur sowie die gegenwärtig angewendeten Methoden nur unbefriedigend. Hinsichtlich der Beurteilung von Bauelementqualitäten werden überwiegend subjektiv interpretierbare Beschreibungen gemäß Abb. 38 angewendet. Diese Qualitätsbeschreibungen sind jedoch nicht objektiv messbar und damit in der Anwendung ungenau, was bspw. zu Meinungsverschiedenheiten hinsichtlich der Qualitätsbeurteilung durch Vertragspartner führen kann. Bisher wird der Abnutzungsvorrat lediglich durch eine meist ordinale Beschreibung charakterisiert und dadurch nur grob sowie subjektiv ermittelt.

Im Folgenden wird deshalb das Verfahren zur **Ermittlung des Abnutzungsvorrats von Baustoffen (ERAB)** vorgestellt, mit dem der Abnutzungsvorrat AV von Baustoffen objektiv ermittelt und somit der baustoffabhängige Qualitätszustand von Bauelementen bewertet werden kann. Dies geschieht mittels der in den Abschnitten IV2.2 und IV2.3 aufgeführten qualitätsbezogenen sowie schadensbezogenen Merkmalen und unter Zuhilfenahme des Prinzips der Nutzwertanalyse – primär ein Instrument zur Analyse und Beurteilung von Alternativen.

„Die **Nutzwertanalyse** ist die Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die Elemente dieser Menge entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers bzgl. eines multidimensionalen Zielsystems zu ordnen. Die Abbildung der Ordnung erfolgt durch die Angabe der Nutzwerte (Gesamtwerte) der Alternativen.“³¹⁹

Die Nutzwertanalyse wird vorwiegend zur Beurteilung von Projekten, Maßnahmen bzw. Investitionsvorhaben mittels Bewertungsmerkmalen mit nicht monetärem Charakter eingesetzt.³²⁰

³¹⁹ ZANGEMEISTER, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. 4. Aufl. München : Wittmann, 1976, S. 45

³²⁰ Vgl. FIEDLER, R.: Controlling von Projekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 42

Innerhalb dieser Arbeit wird die Vorgehensweise bei der Nutzwertanalyse hingegen für die qualitative und quantitative Bewertung, d. h. die Charakterisierung des Abnutzungsvorrats von Baustoffen, angewendet. Hierfür finden aus der Nutzwertanalyse vorrangig die Aufstellung eines Zielsystems (System zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats gemäß Abschnitt IV3.2) sowie dessen Bewertung gemäß Abschnitt IV3.3 Anwendung. Ziel der **Methode zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats auf Grundlage der Nutzwertanalyse** ist es, mit Hilfe objektiv nachvollziehbarer Bewertungen durch geeignete Merkmale eine Charakterisierung des Abnutzungsvorrats und dessen Bereiche vorzunehmen. Mit dieser Methode kann das Ergebnis gezielter Instandhaltungsmaßnahmen, d. h. der durch Instandhaltung erzielte erhöhte Abnutzungsvorrat, objektiv bestimmt werden.

Für die Ermittlung des Abnutzungsvorrats müssen die folgenden **Schritte in Anlehnung an die Nutzwertanalyse** durchgeführt werden:³²¹

- Aufstellung eines Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats
 - Bestimmung geeigneter Merkmale
 - Beseitigung von Merkmalskonflikten und Einführung von 12 Abnutzungsmerkmalen
 - Hierarchische Strukturierung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats
- Gewichtung innerhalb des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats
 - Gewichtung der Merkmale
 - Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala
 - Baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats.

Die Einzelschritte für die Aufstellung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats sind in Abb. 61 dargestellt und werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

³²¹ In Anlehnung an FIEDLER, R.: Controlling von Projekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 42 ff.; SCHÖNFELDER, E.: Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung von Schichtsystemen nach arbeitswissenschaftlichen Kriterien. Frankfurt am Main : Peter Lang Verlag, 1991, S. 141 ff.; CADEZ, I.: Risikowertanalyse als Entscheidungshilfe zur Wahl des optimalen Bauvertrags. Düsseldorf : VDI Verlag, 1998, S. 69; BMVBS: PPP im öffentlichen Hochbau – Band I: Leitfaden. Berlin : Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2003; S. 117 f.; LEIMBÖCK, E.: Bauwirtschaft. Stuttgart : Teubner Verlag, 2000, S. 255

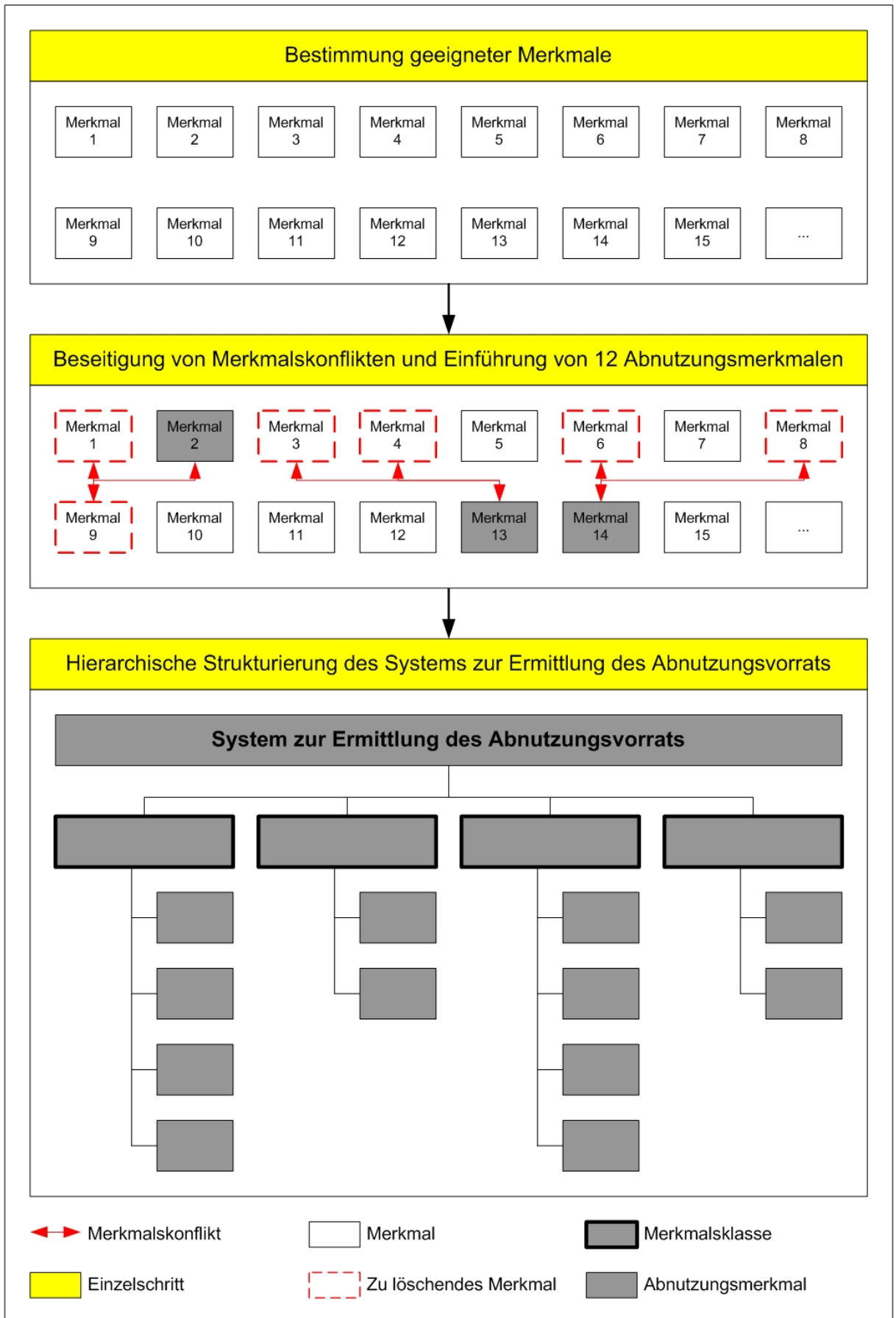


Abb. 61: Einzelschritte für die Aufstellung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats

3.2 **Aufstellung eines Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats**

3.2.1 **Bestimmung geeigneter Merkmale**

Für die Ermittlung des Abnutzungsvorrats auf Grundlage der Nutzwertanalyse muss zunächst ein geeignetes System aufgestellt werden. Die **Aufstellung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats** weist dabei eine hierarchische Gliederung geeigneter Merkmale auf, welche in den unteren Ebenen messbar oder bewertbar sind.³²²

Für die **Bestimmung geeigneter Merkmale** lassen sich die in den Abschnitten IV2.2 und IV2.3 aufgelisteten qualitäts- und schadensbezogenen Merkmale heranziehen. Bei der Analyse dieser Merkmale muss jedoch festgestellt werden, dass nicht alle für die Ermittlung des Abnutzungsvorrats geeignet sind.³²³ So definieren bspw. einige qualitätsbezogene Merkmale spezifische Baustoff- und Ausführungsqualitäten, deren Merkmalsausprägungen unveränderlich sind. Diese speziellen Merkmale³²⁴ (vgl. Abb. 62) sind für Aussagen zu Qualitätsänderungen aufgrund äußerer Einflüsse nicht geeignet und werden für die Ermittlung des Abnutzungsvorrats nicht weiter betrachtet. Teilweise sind jedoch die Merkmale aus Abb. 62 Bestandteil der Beschreibung der Baustoff- und Ausführungsqualität (vgl. Abschnitte V1.2 und V1.3).

Da die hier beschriebene Methode zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats auf Grundlage der Nutzwertanalyse einen Modellcharakter aufweist, können für differenziertere Anwendungen zusätzliche Merkmale mit einbezogen bzw. in einer anderen Konstellation angewendet werden. So bedarf es ggf. bei der Ermittlung des Abnutzungsvorrats von elektronischen Anlagen im Bereich der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) der Anwendung von Merkmalen aus dem Bereich der Elektrotechnik. Je nach Anwendungszweck können auch einige innerhalb dieser Arbeit aufgeführten Merkmale entfallen.

³²² In Anlehnung an SCHÖNFELDER, E.: Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung von Schichtsystemen nach arbeitswissenschaftlichen Kriterien. Frankfurt am Main : Peter Lang Verlag, 1991, S. 142 ff.

³²³ Dies resultiert u. a. daraus, dass in Abschnitt IV2.2 und IV2.3 zunächst die gängigsten Merkmale aus der Fachliteratur zusammengetragen wurden, ohne dass hier bereits eine Selektion stattfand.

³²⁴ Diese Merkmale sind eine Teilmenge der Merkmale aus Abb. 44.

| Merkmal (qualitätsbezogen) | Bauspezifische Merkmalsklassen | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--|---------------------------------|-------------------------|
| | Baustatische Merkmalsklasse | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | Bauphysikalische Merkmalsklasse | Optische Merkmalsklasse |
| Biologische Beständigkeit | o | + | | o |
| Chemische Beständigkeit | o | + | | |
| Diffusionsfähigkeit | | o | + | |
| Erosionsbeständigkeit | o | + | | |
| Farbbeständigkeit | | | | + |
| Frostbeständigkeit | o | + | | |
| Härte | o | + | | |
| Korrosionsbeständigkeit | o | + | | |
| pH-Beständigkeit | o | + | | |
| Raumbeständigkeit | + | | | o |
| Salzbeständigkeit | | + | | |
| Scherfestigkeit | + | | | |
| Temperaturwechselbeständigkeit | o | + | | |
| UV-Beständigkeit | | + | | |
| Verschleißfestigkeit | o | + | | |
| Verschmutzungsbeständigkeit | | o | | + |
| Witterungsbeständigkeit | o | + | | |

+ = hohe Zugehörigkeit o = geringe Zugehörigkeit primäre Zugehörigkeit

Abb. 62: Qualitätsbezogene Merkmale mit unveränderlichen Merkmalsausprägungen

3.2.2 Beseitigung von Merkmalskonflikten und Einführung von 12 Abnutzungsmerkmalen

Bei der Auswahl geeigneter Merkmale muss neben der Eliminierung ungeeigneter Merkmale³²⁵ zusätzlich festgestellt werden, dass einige qualitätsbezogene und schadensbezogene Merkmale ähnliche Größen, Variablen bzw. kennzeichnende Eigenschaften aufweisen. Diese Ähnlichkeiten führen zu Merkmalskonflikten.

Merkmalskonflikte liegen vor, wenn mehrere Merkmale oder deren Merkmalsausprägungen eine Komplementarität, d. h. eine Ergänzung, Abhängigkeit bzw. Überschneidung, aufweisen.³²⁶

³²⁵ Ungeeignete Merkmale stellen die Merkmale aus Abb. 62 dar. Diese werden aufgrund ihrer unveränderlichen Merkmalsausprägungen nicht weiter betrachtet.

³²⁶ In Anlehnung an SCHÖNFELDER, E.: Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung von Schichtsystemen nach arbeitswissenschaftlichen Kriterien. Frankfurt am Main : Peter Lang Verlag, 1991, S. 144

Aufgrund der späteren Gewichtung der Merkmale müssen diese Merkmalskonflikte beseitigt werden, da es sonst zu Doppelbewertungen kommt, die das Ergebnis verfälschen.³²⁷ Im Zuge der **Beseitigung von Merkmalskonflikten und Einführung von 12 Abnutzungsmerkmalen** werden die betroffenen ähnlichen Merkmale zusammengefasst und einem gemeinsamen, übergeordneten Abnutzungsmerkmal zugeordnet (vgl. Abb. 61). Trotz der in dieser Arbeit vorgenommenen Beseitigung von Merkmalskonflikten ist eine vollständige Unabhängigkeit der übergeordneten Abnutzungsmerkmale praktisch kaum möglich. Einige der Merkmale aus Abb. 44 sowie Abb. 50 bis Abb. 52 weisen eine Zugehörigkeit zu verschiedenen bauspezifischen Merkmalsklassen auf. Diese Überschneidungen können durch die Zusammenfassung und Zuordnung zu einem übergeordneten Abnutzungsmerkmal bei der Beseitigung von Merkmalskonflikten nicht eliminiert, aber zumindest minimiert werden.

Folgende 12 übergeordnete **Abnutzungsmerkmale** werden in dieser Arbeit eingeführt:³²⁸

- Ablagerung (reversibel)
- Ablagerung (irreversibel)
- Baustoffabtrag
- Biologischer Befall
- Brandschutz
- Feuchteschutz
- Riss
- Schallschutz
- Tragfähigkeitsverlust
- Verformung
- Volumenänderung
- Wärmeschutz.

³²⁷ In der Literatur wird hierbei auch von Schaffung der Redundanzfreiheit gesprochen (vgl. CADEZ, I.: Risiko-wertanalyse als Entscheidungshilfe zur Wahl des optimalen Bauvertrags. Düsseldorf : VDI Verlag, 1998, S. 71).

³²⁸ Die Reduzierung aller qualitätsbezogenen und schadensbezogenen Merkmale auf 12 Abnutzungsmerkmale in dieser Arbeit zeigt die Methodik in Anlehnung an die Nutzwertanalyse auf und kann bspw. bei der Betrachtung anderer Bauelemente (z. B. der Bauelemente der TGA) zu einer anderen Auswahl von Abnutzungsmerkmalen führen.

Unter **Ablagerung (reversibel)** wird das Verbleiben von nichthaftendem, ursprünglich nicht vorgesehenem Material auf der Bauelementoberfläche verstanden, welches in exogener Form (Staub, Schmutz, ablösbarer biologischer Bewuchs) auftritt.³²⁹

Die **Ablagerung (irreversibel)** beschreibt das Verbleiben von haftendem, teilweise mit dem Baustoff verbindendem, ursprünglich nicht vorgesehenem Material auf der Bauelementoberfläche, welches einerseits in exogener Form (Graffiti, anhaftender biologischer Bewuchs) oder in endogener Form (Baustoffbestandteile des Bauelements, z. B. Ausblühung) auftritt.³³⁰ Ablagerung (irreversibel) beinhaltet zusätzlich irreversible optische Veränderungen wie Ausbleichung und Verfärbung.

Baustoffabtrag beschreibt die Materialreduzierung bzw. -veränderung, d. h. fortschreitende Zerstörung bzw. Zerfall eines Baustoffs meist von der bewitterten Oberflächenseite aus.³³¹

Biologischer Befall bezeichnet die Baustoffschädigung aufgrund biologischer Einflüsse wie Algen, Bakterien, Flechten, Insekten, Pflanzenbewuchs (kleine Pflanzen, z. B. Moose; große Pflanzen, z. B. Sträucher und Bäume), Schimmelpilze sowie Schwamm.

Der **Brandschutz** ist ein Teilbereich der Bauphysik und basiert auf baulichen Vorschriften und Verordnungen, welche Regelungen zur Verhinderung der Entstehung und Ausbreitung eines Schadenfeuers bei Gebäuden beinhalten.³³²

Der **Feuchteschutz** ist ein Teilbereich der Bauphysik und umfasst alle Maßnahmen zur Vermeidung angreifender Feuchte von außen und innen bei Bauelementen bzw. ihrer Baustoffe. Unterschieden wird zwischen Feuchte aus Außenklima (Nieder-

³²⁹ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 27

³³⁰ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 27

³³¹ In Anlehnung an FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 29 ff.

³³² Vgl. PISTOHL, W.: Handbuch der Gebäudetechnik – Planungsgrundlagen und Beispiele Band 1 Allgemeines/Sanitär/Elektro/Gas. 5. Aufl. Düsseldorf : Werner Verlag, 2004, S. A47

schlag)³³³ und Feuchte aus Innenklima (Wasserdampf). Der Feuchteschutz spielt eine wesentliche Rolle bei der Erhaltung der Bausubstanz und eines gesunden, hygienischen Raumklimas.³³⁴ In dieser Arbeit konzentriert sich der Feuchteschutz auf die Dichtigkeit von Bauelementen bzw. ihrer Baustoffe gegenüber Flüssigkeiten, wie der Dichtigkeit von Dachbahnen gegenüber Niederschlag. Durch die Schutzfunktion der Dichtigkeit von Bauelementen (Feuchteschutz) soll eine hohe Feuchtekonzentration zu schützender Bauelemente verhindert werden, um sekundäre Schäden, wie Fäulnis, Schimmelpilzbildung, Frostsprengung, Korrosion, Festigkeitsminderung sowie Abminderung der Wärmedämmeigenschaften, zu verhindern.³³⁵

Der **Schallschutz** ist ein Teilbereich der Bauphysik und umfasst alle Maßnahmen zur Verringerung der Schallübertragung von Luft-, Körper- sowie Trittschall und hat große Bedeutung für die Gesundheit sowie das Wohlbefinden des Menschen. Kennzeichnende Größen für die Anforderungen an den Schallschutz sind die Luft-, Körper- und Trittschalldämmung von Bauteilen.³³⁶

Der **Wärmeschutz** ist ein Teilbereich der Bauphysik und umfasst alle Maßnahmen zur Verringerung der Wärmeübertragung durch die Umfassungsflächen eines Gebäudes (Gebäudehülle) und durch die Trennflächen von Räumen unterschiedlicher Temperaturen. Der Wärmeschutz beinhaltet Maßnahmen zur Einsparung von Energie, Vermeidung von Schäden am Gebäude durch klimabedingte Feuchteeinwirkungen (u. a. aufgrund von Durchfeuchtung von Baustoffen) und der damit verbundenen Kondenswasser- und Schimmelbildung. Er sorgt für die Bereitstellung eines gesunden und hygienischen Raumklimas.³³⁷

³³³ Innerhalb dieser Arbeit liegt der Fokus bei der Betrachtung von Feuchte aus Außenklima (Niederschlag).

³³⁴ Vgl. ANSORGE, D.: Wärmeschutz-, Feuchteschutz-, Salzsäuren. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006 , S. 30; PISTOHL, W.: Handbuch der Gebäudetechnik – Planungsgrundlagen und Beispiele Band 1 Allgemeines/Sanitär/Elektro/Gas. 5. Aufl. Düsseldorf : Werner Verlag, 2004, S. A37

³³⁵ Vgl. WILLEMS, W. M.; SCHILD, K.; DINTER, S.: Handbuch Bauphysik Teil 1 – Wärme- und Feuchteschutz, Behaglichkeit, Lüftung. Wiesbaden : Vieweg, 2006, S. 5.38

³³⁶ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN 4109 – Schallschutz im Hochbau – Anforderungen und Nachweise. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 11-1989, S. 2; PISTOHL, W.: Handbuch der Gebäudetechnik – Planungsgrundlagen und Beispiele Band 1 Allgemeines/Sanitär/Elektro/Gas. 5. Aufl. Düsseldorf : Werner Verlag, 2004, S. A44

³³⁷ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN 4108-2 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 07-2003, S. 3; PISTOHL, W.: Handbuch der Gebäudetechnik – Planungsgrundlagen und Beispiele Band 1 Allgemeines/Sanitär/Elektro/Gas. 5. Aufl. Düsseldorf : Werner Verlag, 2004, S. A27

Die Abnutzungsmerkmale **Riss**, **Tragfähigkeitsverlust**, **Verformung** sowie **Volumenänderung** wurden bereits in Abschnitt IV2.3 beschrieben.

Die Zugehörigkeit der einzelnen qualitätsbezogenen Merkmale zu den 12 Abnutzungsmerkmalen zeigt Abb. 63. Darüber hinaus werden die Abnutzungsmerkmale den in Abschnitt IV2.1 aufgeführten bauspezifischen Merkmalsklassen zugewiesen.

| Merkmal (qualitätsbezogen) | Abnutzungsmerkmale | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------|-----------------|--|---------------------|---------------------------------|---------------|--------------|-------------|-------------------------|---------------------------|
| | Baustatische Merkmalsklasse | | | | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | | Bauphysikalische Merkmalsklasse | | | | Optische Merkmalsklasse | |
| | Riss | Tragfähigkeitsverlust | Verformung | Volumenänderung | Baustoffabtrag | Biologischer Befall | Brandschutz | Feuchteschutz | Schallschutz | Wärmeschutz | Ablagerung (reversibel) | Ablagerung (irreversibel) |
| Biegefestigkeit | | x | | | | | | | | | | |
| Dauerstandfestigkeit | | x | | | | | | | | | | |
| Dichte | | | | | | | | x | | | | |
| Dichtigkeit | | | | | | | x | | | | | |
| Druckfestigkeit | | x | | | | | | | | | | |
| Elastizität | | | x | | | | | | | | | |
| Feuerbeständigkeit | | | | | | | x | | | | | |
| Hafffestigkeit | | x | | | | | | | | | | |
| Plastizität | | | x | | | | | | | | | |
| Porosität | | | | | | | x | | | | | |
| Schallabsorptionsvermögen | | | | | | | | x | | | | |
| Schichtdicke | | | | | x | | | | | | | |
| Standicherheit | | x | | | | | | | | | | |
| Tragfähigkeit | | x | | | | | | | | | | |
| Transparenz | | | | | | | | | | x | | |
| Wärmedurchgang | | | | | | | | | x | | | |
| Wasserundurchlässigkeit | | | | | | | x | | | | | |

x = Zugehörigkeit

Abb. 63: Zuordnung qualitätsbezogener Merkmale zu den Abnutzungsmerkmalen

Abb. 64 und Abb. 65 zeigen die Zuordnung der einzelnen schadensbezogenen Merkmale zu den 12 Abnutzungsmerkmalen sowie zu den dazugehörigen bauspezifischen Merkmalsklassen.

| Merkmal (schadensbezogen) | Abnutzungsmerkmale | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------|-----------------|--|---------------------|---------------------------------|---------------|--------------|-------------|-------------------------|---------------------------|
| | Baustatische Merkmalsklasse | | | | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | | Bauphysikalische Merkmalsklasse | | | | Optische Merkmalsklasse | |
| | Riss | Tragfähigkeitsverlust | Verformung | Volumenänderung | Baustoffabtrag | Biologischer Befall | Brandschutz | Feuchteschutz | Schallschutz | Wärmeschutz | Ablagerung (reversibel) | Ablagerung (irreversibel) |
| Abblätterung | | | | | x | | | | | | | |
| Abbröckelung | | | | | x | | | | | | | |
| Abbruch | | | | | x | | | | | | | |
| Ablagerung | | | | | | | | | | x | | |
| Ablösung | | | | | x | | | | | | | |
| Abpellung | | | | | x | | | | | | | |
| Abplatzung | | | | | x | | | | | | | |
| Abrasion | | | | | x | | | | | | | |
| Absandung | | | | | x | | | | | | | |
| Absplitterung | | | | | x | | | | | | | |
| Algenbefall | | | | | | x | | | | | | |
| Ausbauchung | | | x | | | | | | | | | |
| Ausbleichung | | | | | | | | | | | | x |
| Ausblühung | | | | | | | | | | | | x |
| Ausknickung | | | x | | | | | | | | | |
| Auslaugung | | | | | | | | | | | | x |
| Aussinterung | | | | | | | | | | | | x |
| Bakterienbefall | | | | | | x | | | | | | |
| Blasenbildung | | | | | x | | | | | | | |
| Bruch | | | | | x | | | | | | | |
| Durchbiegung | | | x | | | | | | | | | |
| Durchfeuchtung | | | | | | | | | x | | | |
| Ermüdung | | x | | | | | | | | | | |
| Erosion | | | | | x | | | | | | | |
| Fäulnis | | | | | | x | | | | | | |
| Festigkeitsverlust | | | | | x | | | | | | | |
| Flechtenbefall | | | | | | x | | | | | | |
| Flecken | | | | | | | | | | | | x |
| Gefügelockerung | | | | | x | | | | | | | |
| Haftungsverlust | | | | | x | | | | | | | |
| Insektenbefall | | | | | | x | | | | | | |
| Kohäsionsverlust | | | | | x | | | | | | | |
| Korrosion | | | | | x | | | | | | | |
| Korrosion | | | | | x | | | | | | | |
| Kratzer | | | | | x | | | | | | | |
| Kruste | | | | | x | | | | | | | |
| Kryptoeffloreszenz | | | | | x | | | | | | | |
| Moosbefall | | | | | | x | | | | | | |
| Neigung | | | x | | | | | | | | | |
| Oberflächenabtrag | | | | | x | | | | | | | |
| Pflanzenbewuchs | | | | | | x | | | | | | |
| Pilzbefall | | | | | | x | | | | | | |
| Quellen | | | | x | | | | | | | | |
| Querschnittsminderung | | | | | x | | | | | | | |
| Riss | x | | | | | | | | | | | |
| Schalenbildung | | | | | x | | | | | | | |
| Schimmelpilzbefall | | | | | | x | | | | | | |
| Schnitte | | | | | x | | | | | | | |
| Schwammbefall | | | | | | x | | | | | | |
| Schwinden | | | | x | | | | | | | | |
| Spaltung | x | | | | | | | | | | | |

x = Zugehörigkeit

Abb. 64: Zuordnung schadensbezogener Merkmale zu den Abnutzungsmerkmalen (1 von 2)

| Merkmal (schadensbezogen) | Abnutzungsmerkmale | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------|-----------------|--|---------------------|---------------------------------|---------------|--------------|-------------|-------------------------|---------------------------|
| | Baustatische Merkmalsklasse | | | | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | | Bauphysikalische Merkmalsklasse | | | | Optische Merkmalsklasse | |
| | Riss | Tragfähigkeitsverlust | Verformung | Volumenänderung | Baustoffabtrag | Biologischer Befall | Brandschutz | Feuchteschutz | Schallschutz | Wärmeschutz | Ablagerung (reversibel) | Ablagerung (irreversibel) |
| Tragfähigkeitsverlust | | x | | | | | | | | | | |
| Treiben | | | | x | | | | | | | | |
| Umwandlung | | | | | x | | | | | | | |
| Undichtigkeit | | | | | | | x | | | | | |
| Verdrehung | | | x | | | | | | | | | |
| Verfärbung | | | | | | | | | | | | x |
| Verformung | | | x | | | | | | | | | |
| Verkrustung | | | | | | | | | | | | x |
| Verrottung | | | | | | x | | | | | | |
| Versalzung | | | | | x | | | | | | | |
| Versatz | | | x | | | | | | | | | |
| Verschmutzung | | | | | | | | | | | x | |
| Versottung | | | | | | | | | x | | | |
| Versprödung | | | | | | | x | | | | | |
| Volumenänderung | | | | x | | | | | | | | |
| Wölbung | | | x | | | | | | | | | |
| Zerbröckelung | | | | | x | | | | | | | |
| Zerfall | | | | | x | | | | | | | |

x = Zugehörigkeit

Abb. 65: Zuordnung schadensbezogener Merkmale zu den Abnutzungsmerkmalen (2 von 2)

3.2.3 Hierarchische Strukturierung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats

Nach Beseitigung der Merkmalskonflikte sowie der Zusammenfassung und Zuordnung der betroffenen Merkmale zu den 12 Abnutzungsmerkmalen erfolgt die **hierarchische Strukturierung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats** gemäß Abb. 66. Hierbei werden den vier Merkmalsklassen (baustatische Merkmalsklasse; chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse; bauphysikalische Merkmalsklasse; optische Merkmalsklasse gemäß Abschnitt IV2.1) diejenigen Abnutzungsmerkmale zugewiesen, die inhaltlich zu den Merkmalsklassen gehören. In Analogie zur Nutzwertanalyse ist die hierarchische Strukturierung des Systems zur

Ermittlung des Abnutzungsvorrats vergleichbar mit der Aufstellung eines Zielsystems.³³⁸

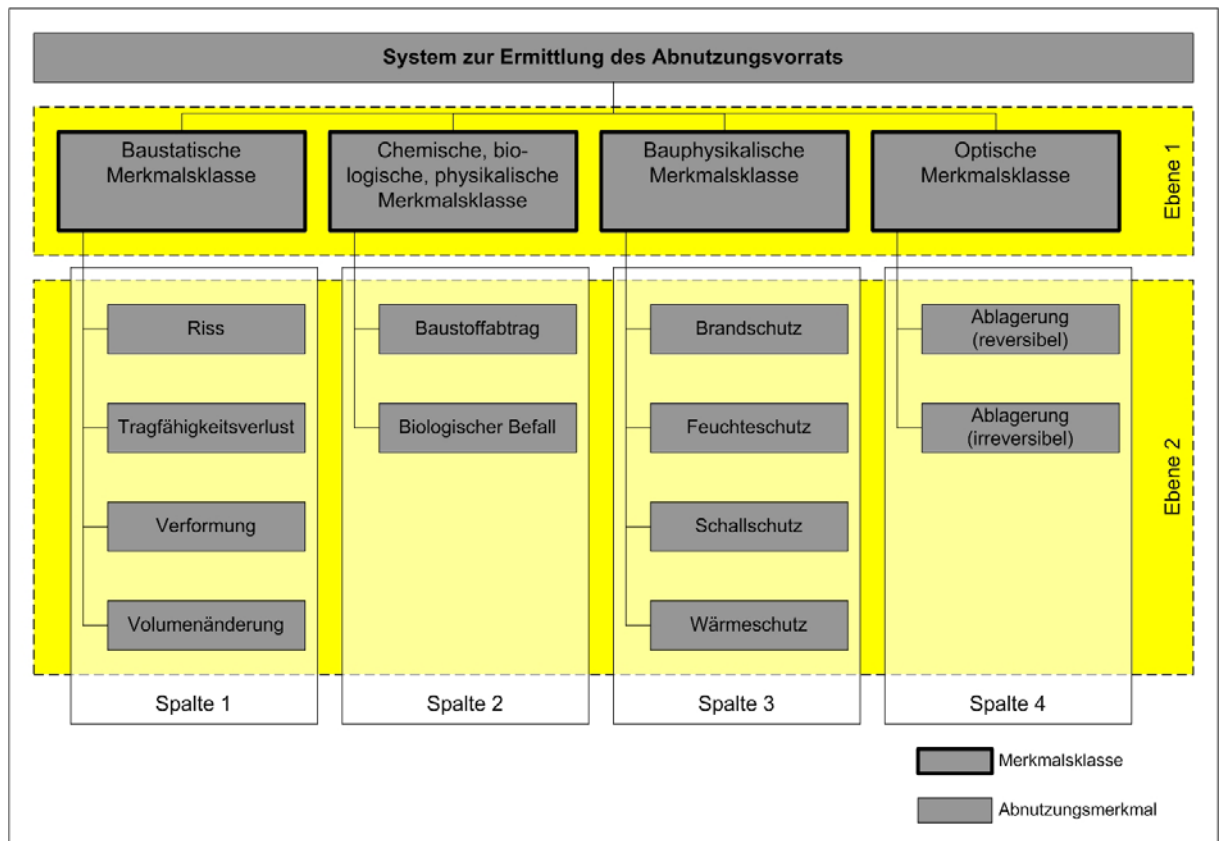


Abb. 66: Hierarchische Strukturierung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Gesamtübersicht

In Abhängigkeit vom jeweiligen Baustoff bzw. Bauelement können bestimmte Abnutzungsmerkmale für eine Ermittlung des Abnutzungsvorrats auf Grundlage der Nutzwertanalyse entfallen, da sie nicht von Relevanz sind. So ist bspw. das Abnutzungsmerkmal Wärmeschutz für den Baustoff Anstrich und Beschichtung i. d. R. irrelevant.

Auch die Gewichtung innerhalb des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats gemäß Abschnitt IV3.3 ist abhängig von den spezifischen Eigenschaften der Baustoffe und fällt daher unterschiedlich aus. Die Gewichtung der einzelnen innerhalb dieser Arbeit untersuchten Baustoffe befindet sich im Abschnitt IV3.3.3.

³³⁸ Zur Aufstellung eines Zielsystems s. ZANGEMEISTER, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. 4. Aufl. München : Wittmann, 1976, S. 89 ff.; CADEZ, I.: Risikowertanalyse als Entscheidungshilfe zur Wahl des optimalen Bauvertrags. Düsseldorf : VDI Verlag, 1998, S. 71 ff.; FIEDLER, R.: Controlling von Projekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 42 ff.

3.3 Gewichtung innerhalb des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats

3.3.1 Gewichtung der Merkmale

Nachdem die Aufstellung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats in Abschnitt IV3.2 durchgeführt wurde, erfolgt in einem weiteren Schritt die **Gewichtung innerhalb des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats**.

Grundsätzlich widerspiegelt diese Gewichtung die Tatsache, dass die verschiedenen Merkmalsklassen sowie die dazugehörigen Abnutzungsmerkmale unterschiedlich hohe Bedeutung auf den gesamten Abnutzungsvorrat haben. Ziel dieses Schrittes ist es also, den Einfluss der verschiedenen Abnutzungsmerkmale auf den Abnutzungsvorrat zahlenmäßig auszudrücken. Hierfür müssen, ausgehend von der obersten Ebene, alle Merkmale der jeweiligen Ebene gewichtet werden.

Bei der **Gewichtung der Merkmale** werden zunächst den in der obersten Ebene (s. Abb. 66, Ebene 1) enthaltenen Merkmalsklassen prozentuale Gewichtungsanteile nach Expertenbeurteilung³³⁹ zugeordnet. Die Beurteilung erfolgt hierbei mittels paarweisem Vergleich, welcher beispielhaft in Abb. 67 dargestellt ist. Bei einem paarweisen Vergleich werden die einzelnen zu untersuchenden Merkmale gegenüber anderen Merkmalen gewichtet. Gemäß der angezeigten Gewichtungsrichtung werden jedem einzelnen Merkmal die zu vergleichenden Merkmale gegenübergestellt.

Sind beide Merkmale gleich bedeutend, so erhalten sie die Gewichtungszahl „**2**“ (**gleichbedeutend**). Ist das Merkmal der Zeile bedeutender als das Merkmal der Spalte, so erhält es die Gewichtungszahl „**3**“ (**bedeutender**). Ist das Merkmal der Zeile dem Merkmal der Spalte unterzuordnen, so erhält das Matrixfeld die Gewichtungszahl „**1**“ (**weniger bedeutend**). Wird nur ein Merkmal innerhalb einer Spalte betrachtet, so wird in dessen Zeile die Gewichtungszahl „**4**“ (**alleiniges Merkmal**) eingetragen.³⁴⁰

³³⁹ Die Gewichtung der Merkmale sowie Merkmalsklassen kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren – die Methodik bleibt jedoch die gleiche.

³⁴⁰ Die Gewichtungszahl „4“ findet innerhalb des Abschnitts IV3.3.3 Anwendung.

Die Summe der zwei an der Diagonale gespiegelten Matrixfelder muss immer „4“ ergeben. Die Summe der einzelnen Gewichtungszahlen einer Zeile ergibt die Zeilensumme. Die Summe aller Zeilensummen ergibt die Gesamtsumme. Die Gewichtung der Merkmale ermittelt sich aus der Zeilensumme dividiert durch die Gesamtsumme. Die Gesamtsumme der Gewichtung aller Merkmale bzw. Merkmalsklassen muss „1“ (100 %) betragen.³⁴¹

| Zeile | Merkmal oder Merkmals- klasse | Zeile 1 | Zeile 2 | Zeile 3 | Zeile 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Baustatische Merkmalsklasse | - | 3 | 3 | 3 | 9 | 0,3750 |
| 2 | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | 1 | - | 3 | 3 | 7 | 0,2917 |
| 3 | Bauphysikalische Merkmalsklasse | 1 | 1 | - | 3 | 5 | 0,2083 |
| 4 | Optische Merkmalsklasse | 1 | 1 | 1 | - | 3 | 0,1250 |
| Gesamtsumme | | | | | | 24 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 67: Beispiel zur Gewichtung der Merkmalsklassen innerhalb der Ebene 1³⁴²

Bei der Gewichtung der Abnutzungsmerkmale innerhalb der unteren Ebenen (s. Abb. 66, Ebene 2, Spalte 1 bis 4) wird in gleicher Weise verfahren. Die Abnutzungsmerkmale innerhalb einer Merkmalsklasse werden nach Expertenbeurteilung mittels paarweisem Vergleich entsprechend dem Verfahren gemäß Abb. 67 gewichtet.³⁴³

³⁴¹ In Anlehnung an SCHÖNFELDER, E.: Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung von Schichtsystemen nach arbeitswissenschaftlichen Kriterien. Frankfurt am Main : Peter Lang Verlag, 1991, S. 148 ff.

³⁴² In Anlehnung an SCHÖNFELDER, E.: Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung von Schichtsystemen nach arbeitswissenschaftlichen Kriterien. Frankfurt am Main : Peter Lang Verlag, 1991, S. 151

³⁴³ In Anlehnung an SCHÖNFELDER, E.: Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung von Schichtsystemen nach arbeitswissenschaftlichen Kriterien. Frankfurt am Main : Peter Lang Verlag, 1991, S. 148

Aufgrund baustoffspezifischer Unterschiede differiert die Gewichtung innerhalb des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats. Dies liegt daran, dass die unterschiedlichen Baustoffe gemäß Abb. 2 einerseits unterschiedliche Funktionen erfüllen müssen, andererseits unterschiedliche Baustoffeigenschaften und somit unterschiedliche Merkmale vorweisen. Es ist darüber hinaus möglich, Merkmale mit 0 % zu gewichten, wenn das entsprechende Merkmal für die Betrachtung des Abnutzungsvorrats unwichtig ist. Ein Beispiel dafür ist der Wärmeschutz beim Baustoff Anstrich und Beschichtung, welcher vernachlässigbar ist. Die einzelnen baustoffspezifischen Bewertungen des Abnutzungsvorrats werden in Abschnitt IV3.3.3 detaillierter untersucht und aufgeführt.

Abb. 68 stellt beispielhaft eine Gewichtung innerhalb des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats mit den aus Abb. 67 ermittelten Werten der Ebene 1 dar und besteht aus sog. Knoten- und Stufengewichten.

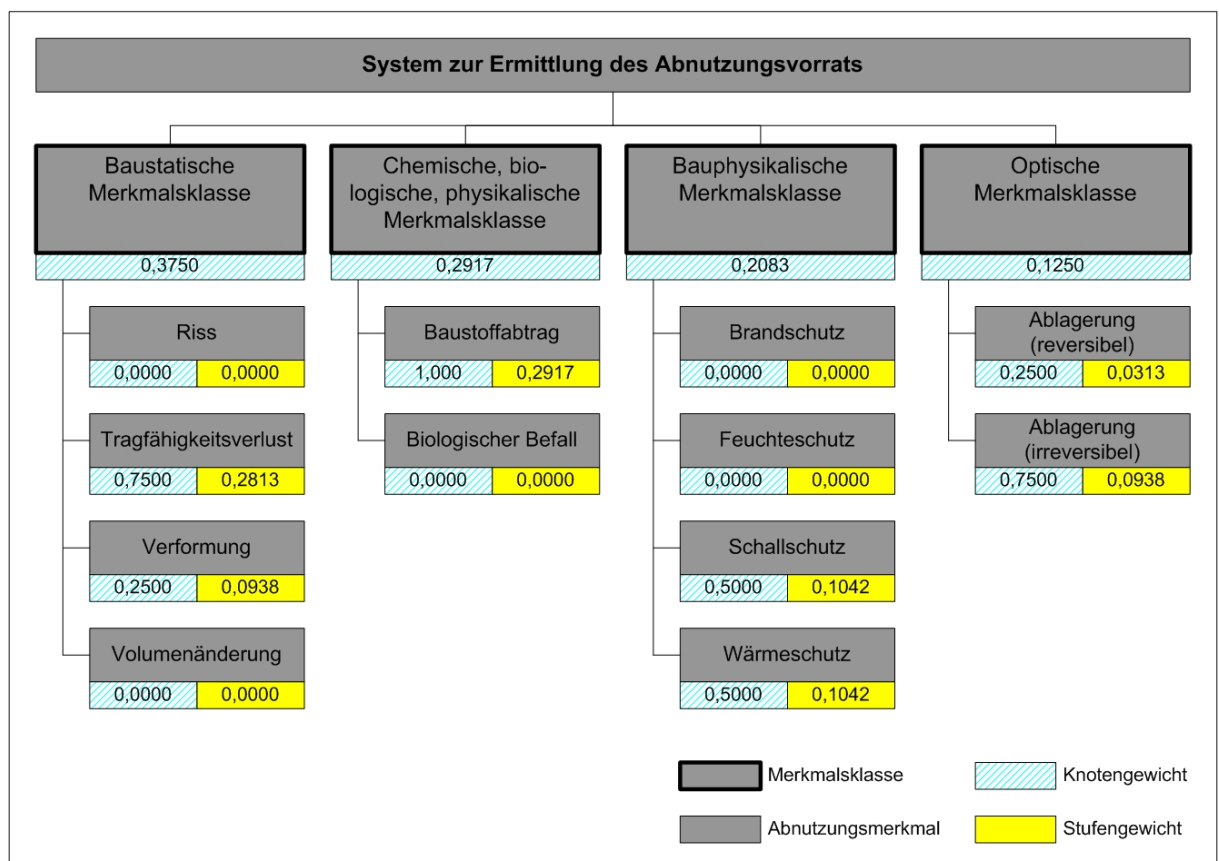


Abb. 68: Gewichtungsbeispiel innerhalb des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats

Knotengewichte sind Gewichtsanteile derjenigen Abnutzungsmerkmale, welche sich innerhalb einer Spalte in einer Ebene befinden. Die einzelnen Spalten (Spalten 1 bis 4 in der Ebene 2) sind in Abb. 66 dargestellt. Darüber hinaus werden Knotengewichte auch in der Ebene 1, d. h. für die vier Merkmalsklassen, ermittelt. Ihre Summe innerhalb der jeweiligen Spalte einer Ebene ergibt den Wert 1,00.

Die **Stufengewichte** entsprechen dem Gewichtsanteil jedes einzelnen Abnutzungsmerkmals bezogen auf das gesamte System zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats. Sie existieren nur innerhalb der Ebene 2 (vgl. Abb. 66). Stufengewichte ermitteln sich aus der Multiplikation des jeweiligen Knotengewichts des betrachteten Abnutzungsmerkmals mit dem Knotengewicht der dazu gehörigen Merkmalsklasse. Die Stufengewichte sind Ausdruck für die Bedeutung des jeweiligen Abnutzungsmerkmals auf den Abnutzungsvorrat. Sie sind für die Ermittlung der Abnutzung und somit der Bestimmung des interessierenden Abnutzungsvorrats maßgebend. Die Summe aller Stufengewichte ergibt den Wert 1,00.³⁴⁴

Eine grafische Übersicht über alle aus Abb. 68 hervorgehenden Stufengewichte ist in Abb. 69 dargestellt.

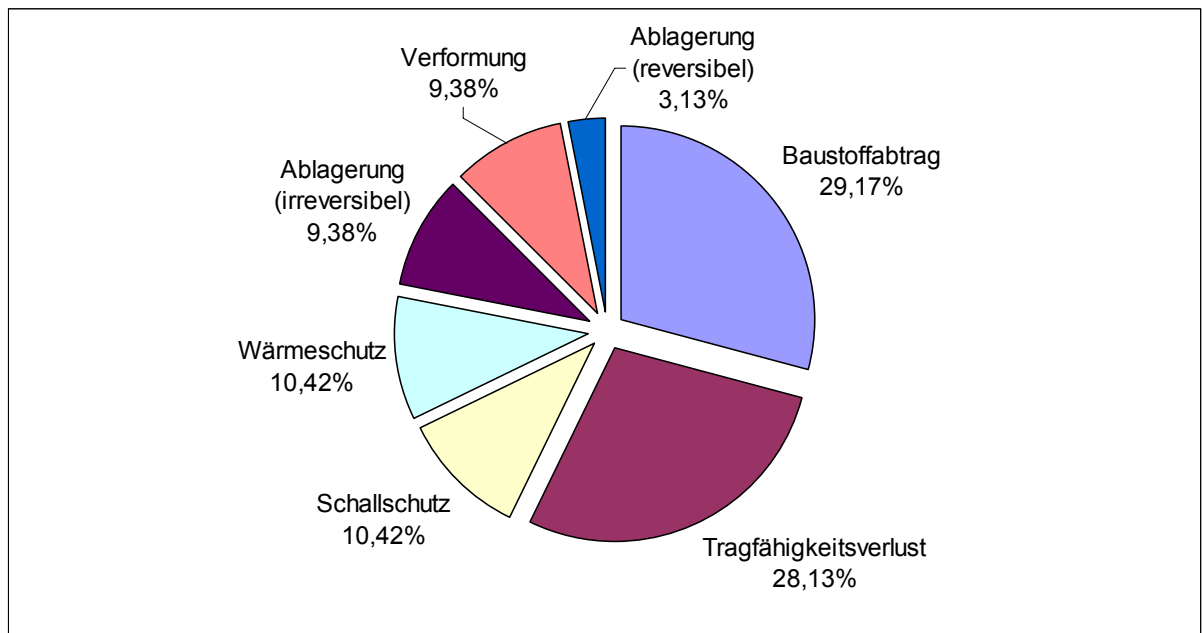


Abb. 69: Beispiel der Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale

³⁴⁴ Vgl. ZANGEMEISTER, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. 4. Aufl. München : Wittmann, 1976, S. 213

3.3.2 Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala

3.3.2.1 Einführung einer Einheitsskala zur Darstellung von Merkmalsausprägungen

Für die Charakterisierung des Abnutzungsvorrats von Baustoffen bzw. Bauelementen bedarf es der Aufstellung geeigneter messbarer oder zumindest bewertbarer Merkmalsausprägungen für jedes einzelne in Abb. 66 aufgeführte Abnutzungsmerkmal.

„**Messen** ist der experimentelle Vorgang, durch den ein spezieller Wert einer physikalischen Größe als Vielfaches einer Einheit oder eines Bezugswertes ermittelt wird.“³⁴⁵

Bewerten (auch Quantifizieren der Anforderungen) ist das Zusammenfassen und Umsetzen von quantitativen Daten mit unterschiedlichen Maßeinheiten und qualitativen Daten in einen Zahlenwert (Bewertungswert), der einer zuvor definierten Skala angehört.³⁴⁶

Das Bewerten besteht in einem Vergleichen und Beurteilen von Anforderungshöhen bzw. von Anforderungsunterschieden. Das Bewerten selbst heißt auch Einordnen, Rangieren, Einstufen.³⁴⁷

Der durch Bewertung oder Messung ermittelte Wert entspricht einer bestimmten Ausprägung des jeweils betrachteten Abnutzungsmerkmals. Die Verschiedenheit der 12 Abnutzungsmerkmale erfordert die Verwendung einer auf jedes Merkmal abgestimmten Mess- bzw. Bewertungsskala. Ziel ist es jedoch, in nur einem quantitativen Wert den Einfluss aller 12 Abnutzungsmerkmale zusammenzufassen. Die **Einführung einer Einheitsskala zur Darstellung von Merkmalsausprägungen** ist deshalb notwendig, um die in einem ersten Schritt auf unterschiedlichen Skalen ermittelten Merkmalsausprägungen einem Wert auf dieser Einheitsskala zuzuordnen.

³⁴⁵ WARNECKE, H.-J.: Handbuch Instandhaltung. Band 1 – Instandhaltungsmanagement. 2. Aufl. Köln : TÜV-Verlag, 1992, S. 20

³⁴⁶ Vgl. REFA (Hrsg.): REFA-Lexikon – Betriebsorganisation. 3. Aufl. Berlin : Beuth Verlag, 1977, S. 64

³⁴⁷ Vgl. REFA (Hrsg.): Lexikon der Betriebsorganisation – Methodenlehre der Betriebsorganisation. München : Hanserverlag, 1993, S. 47

Bei einer **Einheitsskala** handelt es sich um eine Verhältnisskala (vgl. Abb. 43) mit den Grenzen 0,00 und 1,00. Ein Beispiel für eine Zuordnung von Merkmalsausprägungen zu der Einheitsskala³⁴⁸ zeigt Abb. 70.

| Abnutzungsmerkmal Ablagerung | | | | |
|--|--|--|--------------|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA [%] | | | | Einheitsskalenwert |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100\%$ | | | 0 | 0,00 |
| | | |]0, 1] | 0,20 |
| | | |]1, 5,5] | 0,40 |
| | | |]5,5, 19,2] | 0,60 |
| | | |]19,2, 43,8] | 0,80 |
| | | |]43,8, 100] | 1,00 |
| W_1 = Schadensfläche W_2 = Gesamtfläche | | | | |

Abb. 70: Wertezuordnung zur Einheitsskala am Beispiel des Abnutzungsmerkmals Ablagerung³⁴⁹

³⁴⁸ Die Zuordnung von Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala wird im Folgenden auch kurz als „Wertzuzuordnung zur Einheitsskala“ bezeichnet.

³⁴⁹ Vgl. Abschnitt IV3.3.2.2

Diese **Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala** ermöglicht es, dass selbst qualitative Ausprägungen von Abnutzungsmerkmalen quantitativ als Wert auf der Einheitsskala dargestellt werden können. Dadurch wird jedes Merkmal mit seinen unterschiedlichen Ausprägungen auf der gleichen Skala, der Einheitsskala, messbar. Für diese Zuordnung werden im Folgenden zunächst geeignete Merkmalsausprägungen der Abnutzungsmerkmale aufgeführt, welche gemäß Abb. 43 unterschiedlich skalierbar, d. h. qualitativ oder quantitativ, sein können.

In einem weiteren Schritt werden die verschiedenen möglichen Merkmalsausprägungen entsprechenden Einheitsskalenwerten ESW in Analogie zum Beispiel gemäß Abb. 70 zugeordnet. Diese Zuordnung widerspiegelt je nach Abnutzungsmerkmal die Qualitätsgüte oder Schadenshöhe, da zwischen qualitäts- und schadensbezogenen Merkmalen (gemäß Abschnitt IV2) unterschieden wird. Ein Einheitsskalenwert von 0,00 entspricht bezogen auf das Abnutzungsmerkmal einer Schadenshöhe „kein Schaden“ bzw. der Qualitätsgüte „maximale Qualität“. Der Einheitsskalenwert 1,00 entspricht wiederum der Schadenshöhe „maximaler Schaden“ bzw. der Qualitätsgüte „minimale Qualität“. Die Einheitsskalenwerte zwischen 0,00 und 1,00 werden in Abhängigkeit vom Abnutzungsmerkmal individuell ermittelt. Dabei werden je nach Differenzierbarkeit der Merkmalsausprägung unterschiedliche Intervalle hinsichtlich der Einheitsskalenwerte des Abnutzungsmerkmals gewählt. Die in dieser Arbeit aufgeführte Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

Eine Übersicht über die verschiedenen Skalenarten sowie Skaleneigenschaften wurde bereits in Abschnitt IV1 in Abb. 43 gegeben. Die einzelnen Abnutzungsmerkmale aus Abb. 66 sowie die Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

3.3.2.2 Abnutzungsmerkmal Ablagerung (reversibel und irreversibel)

Die **Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Ablagerungen** sowohl reversibler als auch irreversibler Art erfolgt mit Hilfe der DIN EN ISO 20567-1³⁵⁰, in der u. a. Angaben zu Bewertung von Schadensflächen gemäß Abb. 72 gegeben werden. Die Schadensflächen werden hierbei als prozentuale Anteile bzgl. der Gesamtfläche aufgeführt. Diese Merkmalsausprägungen können den Einheitsskalenwerten gemäß Abb. 71 zugeordnet werden.

Die Zuordnung berücksichtigt dabei den Umstand, dass schon kleinste optische Verschmutzungen als störend empfunden werden (Bereich 0 % - 1 %), während bspw. der Unterschied einer starken gegenüber einer sehr starken Verschmutzung kaum noch ins Gewicht fällt (Bereich 43,8 % - 100 %). Diese Tatsache begründet die Zuweisung der unterschiedlich großen Intervalle der Merkmalsausprägung zur Einheitsskala, wobei die Intervalle von null beginnend immer größer werden.

| Abnutzungsmerkmal Ablagerung | | |
|-------------------------------------|--------------|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA [%] | | Einheitsskalenwert |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ | 0 | 0,00 |
| |]0, 1] | 0,20 |
| |]1, 5,5] | 0,40 |
| |]5,5, 19,2] | 0,60 |
| |]19,2, 43,8] | 0,80 |
| |]43,8, 100] | 1,00 |
| W_1 | = | Schadensfläche |
| W_2 | = | Gesamtfläche |

Abb. 71: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Ablagerung (reversibel und irreversibel)³⁵¹

³⁵⁰ DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 20567-1 – Beschichtungsstoffe – Prüfung der Steinschlagfestigkeit von Beschichtungen – Teil 1: Multischlagprüfung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 04-2007

³⁵¹ Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

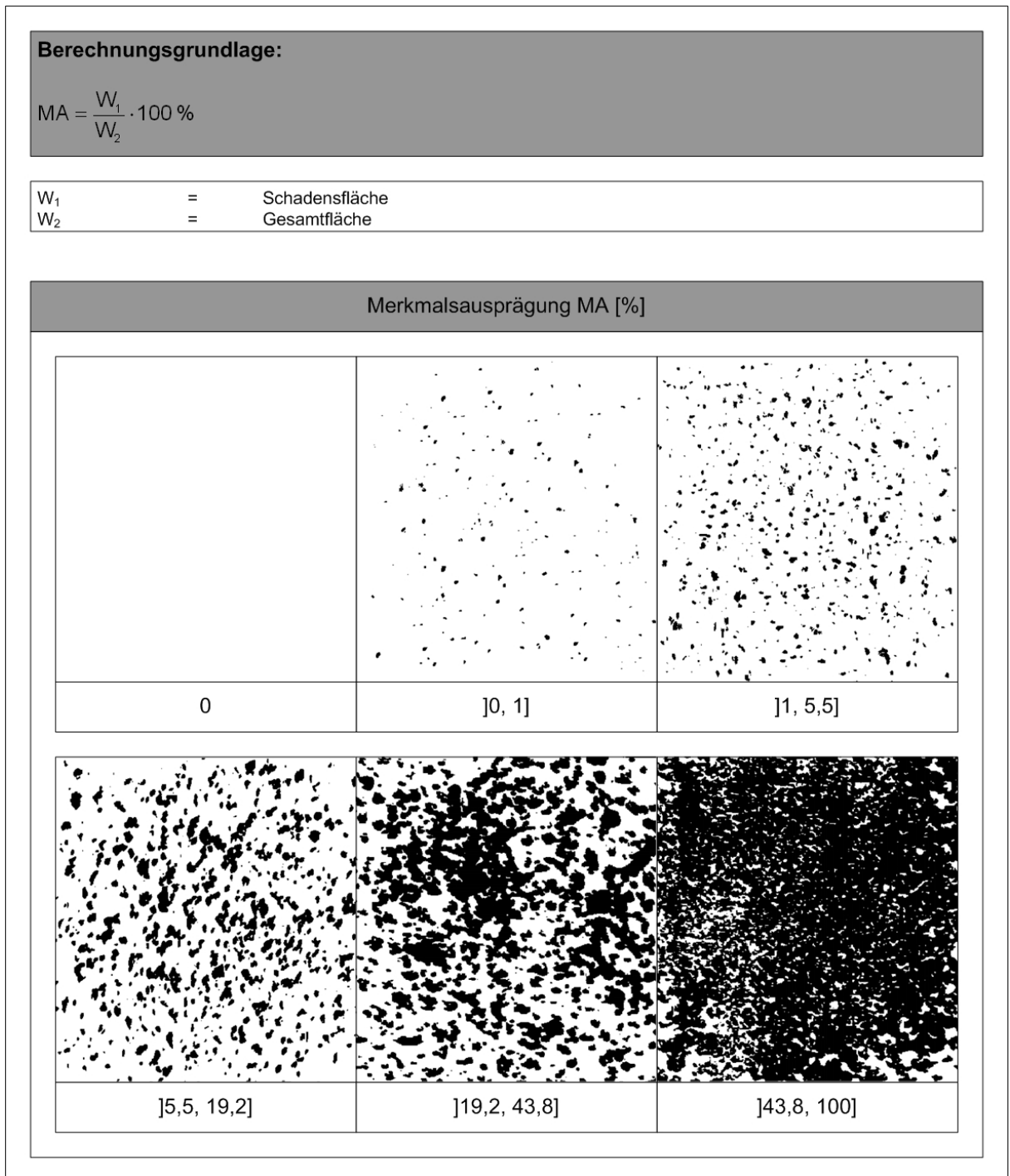


Abb. 72: Merkmalsausprägungen des Abnutzungsmerkmals Ablagerung (reversibel und irreversibel, nicht maßstabsgetreu)³⁵²

³⁵² Vgl. DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 20567-1 – Beschichtungsstoffe – Prüfung der Steinschlagfestigkeit von Beschichtungen – Teil 1: Multischlagprüfung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 04-2007, S. 11 ff.

3.3.2.3 Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag

Spezifische Schadensbilder des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag

Die Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag erfolgt mit Hilfe der folgenden DIN-Normen, in denen Angaben zur Bewertung von Merkmalsausprägungen in Form spezifischer Schadensbilder gegeben werden:

- DIN EN ISO 4628-5³⁵³ (Abblätterung)
- DIN EN ISO 4628-2³⁵⁴ (Blasenbildung)
- DIN EN ISO 4628-3³⁵⁵ (Korrosion)
- DIN EN ISO 4628-3³⁵⁶ (Sonstiger Baustoffabtrag).

Für die Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag wird zunächst das vorliegende spezifische Schadensbild ausgewählt (z. B. Abblätterung, Blasenbildung, Korrosion oder Sonstiger Baustoffabtrag) und mit Hilfe der in Abb. 73 aufgeführten Merkmalsaspekte sowie deren dazugehörigen Merkmalsausprägungen bewertet. Müssen mehrere spezifische Schadensbilder herangezogen werden (z. B. Abblätterung sowie Blasenbildung beim Baustoff Anstrich und Beschichtung), so summieren sich ihre Merkmalsausprägungen, wobei die Obergrenze den Wert von 1,00 nicht übersteigen darf.³⁵⁷

³⁵³ DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-5 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 5: Bewertung des Abblätterungsgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004

³⁵⁴ DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-2 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 2: Bewertung des Blasengrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004

³⁵⁵ DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-3 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 3: Bewertung des Rostgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004

³⁵⁶ DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-3 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 3: Bewertung des Rostgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004

³⁵⁷ Diese Methode kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

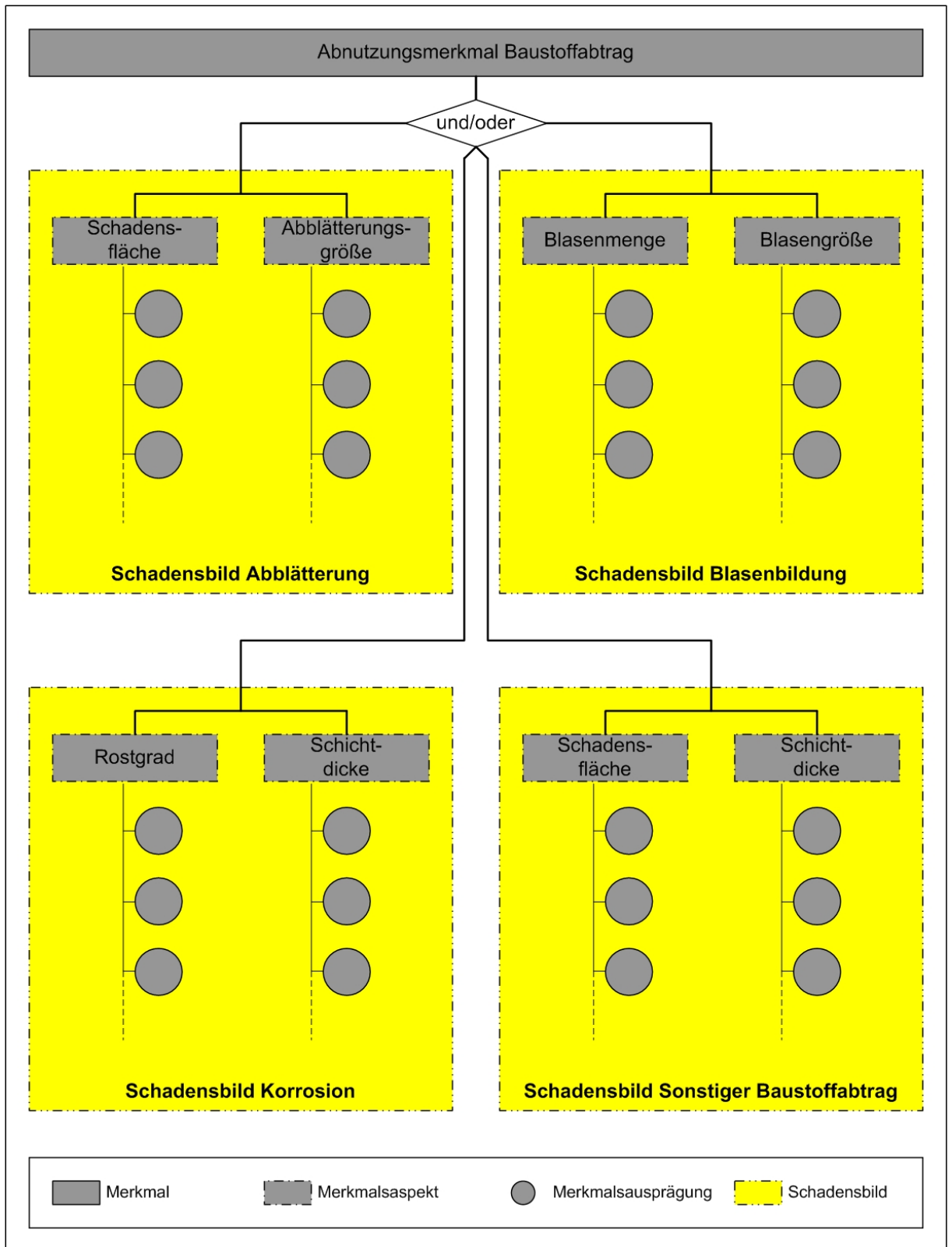


Abb. 73: Merkmalsaspekte des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag

Schadensbild Abblätterung

Die Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung) erfolgt mit Hilfe der DIN EN ISO 4628-5. Das Abnutzungsmerkmal wird hierbei mittels der Merkmalsaspekte Schadensfläche und Abblätterungsgröße beschrieben. Aus der Kombination der beiden Merkmalsaspekte lässt sich ein Wert auf der Basis eines gewichteten Mittelwerts für die Merkmalsausprägung MA_{komb} des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung) nach der Berechnungsgrundlage gemäß Abb. 74 ermitteln.

Berechnungsgrundlage:

$$MA_{\text{komb}} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$$

| | | |
|--------------------|---|---|
| MA_{komb} | = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
| ESW_1 | = | Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensfläche |
| ESW_2 | = | Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Abblätterungsgröße |
| G_1 | = | Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,5$) |
| G_2 | = | Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,5$) |

Abb. 74: Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung)

Der Einheitsskalenwert ESW_1 des Merkmalsaspekts **Schadensfläche** berücksichtigt die vorliegende Schadensfläche gemäß DIN EN ISO 4628-5 bezogen auf die Gesamtfläche (vgl. Abb. 75).

Der Einheitsskalenwert ESW_2 des Merkmalsaspekts **Abblätterungsgröße** drückt die Schadenseinzelgroe gemäß Abb. 76 aus.

In dieser Arbeit werden beide Merkmalsaspekte als gleichberechtigt angesehen. Somit erhalten sie in der Berechnungsgrundlage (s. Abb. 74) die Gewichtungsfaktoren $G_1 = G_2 = 0,5$.³⁵⁸ Die Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für die zwei Merkmalsaspekte ist Abb. 75 und Abb. 76 zu entnehmen. Die Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung) wird in Abb. 79 dargestellt.

| Merkmalsaspekt Schadensfläche des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung) | | |
|--|--------------------|------|
| Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100\%$ | 0 | 0,00 |
| |]0, 0,1] | 0,20 |
| |]0,1, 0,3] | 0,40 |
| |]0,3, 1] | 0,60 |
| |]1, 3] | 0,80 |
| |]3, 100] | 1,00 |

| | | |
|-------|---|----------------|
| W_1 | = | Schadensfläche |
| W_2 | = | Gesamtfläche |

Abb. 75: Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Schadensfläche des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung)³⁵⁹

³⁵⁸ Die Gewichtung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

³⁵⁹ In Anlehnung an DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-5 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 5: Bewertung des Abblätterungsgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004, S. 4; Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

| Merkmalsaspekt Abblätterungsgröße des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung) | | | | |
|--|--|--|----------|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA [mm] | | | | Einheitsskalenwert |
| Abblätterungsgröße | | | 0 | 0,00 |
| | | |]0, 1] | 0,20 |
| | | |]1, 3] | 0,40 |
| | | |]3, 10] | 0,60 |
| | | |]10, 30] | 0,80 |
| | | |]30, ∞[| 1,00 |

Abb. 76: Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Abblätterungsgröße des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung, nicht maßstabgetreu)³⁶⁰

Eine Übersicht über alle möglichen Kombinationen der beiden Merkmalsaspekte und den sich daraus ergebenden Werten der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ist in Abb. 77 dargestellt. Diesen Kombinationen werden abhängig von ihren Werten gemäß Abb. 78 entsprechende Merkmalsausprägungsbereiche zugeordnet, wodurch letztendlich die Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung) gemäß Abb. 79 erfolgen kann.

³⁶⁰ In Anlehnung an DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-5 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 5: Bewertung des Abblätterungsgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004, S. 6; Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

| Merkmalsaspekt Schadensfläche ESW ₁ | Merkmalsaspekt Abblätterungsgröße ESW ₂ | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA _{komb} |
|--|--|---|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,20 | 0,20 | 0,20 |
| 0,20 | 0,40 | 0,30 |
| 0,20 | 0,60 | 0,40 |
| 0,20 | 0,80 | 0,50 |
| 0,20 | 1,00 | 0,60 |
| 0,40 | 0,20 | 0,30 |
| 0,40 | 0,40 | 0,40 |
| 0,40 | 0,60 | 0,50 |
| 0,40 | 0,80 | 0,60 |
| 0,40 | 1,00 | 0,70 |
| 0,60 | 0,20 | 0,40 |
| 0,60 | 0,40 | 0,50 |
| 0,60 | 0,60 | 0,60 |
| 0,60 | 0,80 | 0,70 |
| 0,60 | 1,00 | 0,80 |
| 0,80 | 0,20 | 0,50 |
| 0,80 | 0,40 | 0,60 |
| 0,80 | 0,60 | 0,70 |
| 0,80 | 0,80 | 0,80 |
| 0,80 | 1,00 | 0,90 |
| 1,00 | 0,20 | 0,60 |
| 1,00 | 0,40 | 0,70 |
| 1,00 | 0,60 | 0,80 |
| 1,00 | 0,80 | 0,90 |
| 1,00 | 1,00 | 1,00 |

null

sehr klein

klein

mittel

hoch

sehr hoch

Abb. 77: Möglichkeiten der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung)³⁶¹

³⁶¹ Die Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) erfolgt nach der Berechnung gemäß Abb. 74.

| Merkmalsaspekt Schadensfläche ESW ₁ | Merkmalsaspekt Abblätterungsgröße ESW ₂ | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA _{komb} | Bereich der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
|--|--|---|--|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 0,20 | 0,20 | 0,20 |]0, 0,2] |
| 0,20 | 0,40 | 0,30 |]0,2, 0,4] |
| 0,40 | 0,20 | 0,30 | |
| 0,20 | 0,60 | 0,40 | |
| 0,40 | 0,40 | 0,40 | |
| 0,60 | 0,20 | 0,40 | |
| 0,20 | 0,80 | 0,50 | |
| 0,40 | 0,60 | 0,50 | |
| 0,60 | 0,40 | 0,50 | |
| 0,80 | 0,20 | 0,50 | |
| 0,20 | 1,00 | 0,60 | |
| 0,60 | 0,60 | 0,60 | |
| 1,00 | 0,20 | 0,60 | |
| 0,40 | 0,80 | 0,60 | |
| 0,80 | 0,40 | 0,60 |]0,6, 0,8] |
| 0,40 | 1,00 | 0,70 | |
| 0,60 | 0,80 | 0,70 | |
| 0,80 | 0,60 | 0,70 | |
| 1,00 | 0,40 | 0,70 | |
| 0,60 | 1,00 | 0,80 | |
| 0,80 | 0,80 | 0,80 | |
| 1,00 | 0,60 | 0,80 | |
| 0,80 | 1,00 | 0,90 |]0,8, 1] |
| 1,00 | 0,80 | 0,90 | |
| 1,00 | 1,00 | 1,00 | |

| | | |
|--|--|---|
| null | sehr klein | klein |
| mittel | hoch | sehr hoch |

Abb. 78: Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung)

| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung) | | |
|--|--------------------|------|
| Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | |
| $MA_{\text{komb}} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ | 0 | 0,00 |
| |]0, 0,2] | 0,20 |
| |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| |]0,8, 1] | 1,00 |

| | | |
|--------------------|---|---|
| MA_{komb} | = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
| ESW_1 | = | Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensfläche |
| ESW_2 | = | Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Abblätterungsgröße |
| G_1 | = | Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,5$) |
| G_2 | = | Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,5$) |

Abb. 79: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Abblätterung)³⁶²

Schadensbild Blasenbildung

Die Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung) erfolgt mit Hilfe der DIN EN ISO 4628-2³⁶³. Durch die Berücksichtigung von Blasenmengen und Blasengrößen werden **Blasengrade** definiert. Ein Blasengrad von 2(S3) hat bspw. die Blasenmenge 2 und die maximale Blasengröße von 3. Die verschiedenen Blasengrade sind in der DIN EN ISO 4628-2 als Abbildungen hinterlegt und in Abb. 80 dargestellt. Bei Flächen mit unterschiedlichen Blasengrößen ermittelt sich der Blasengrad aufgrund derjenigen Blasen, welche für die Fläche typisch sind.

³⁶² Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

³⁶³ DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-2 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 2: Bewertung des Blasengrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004

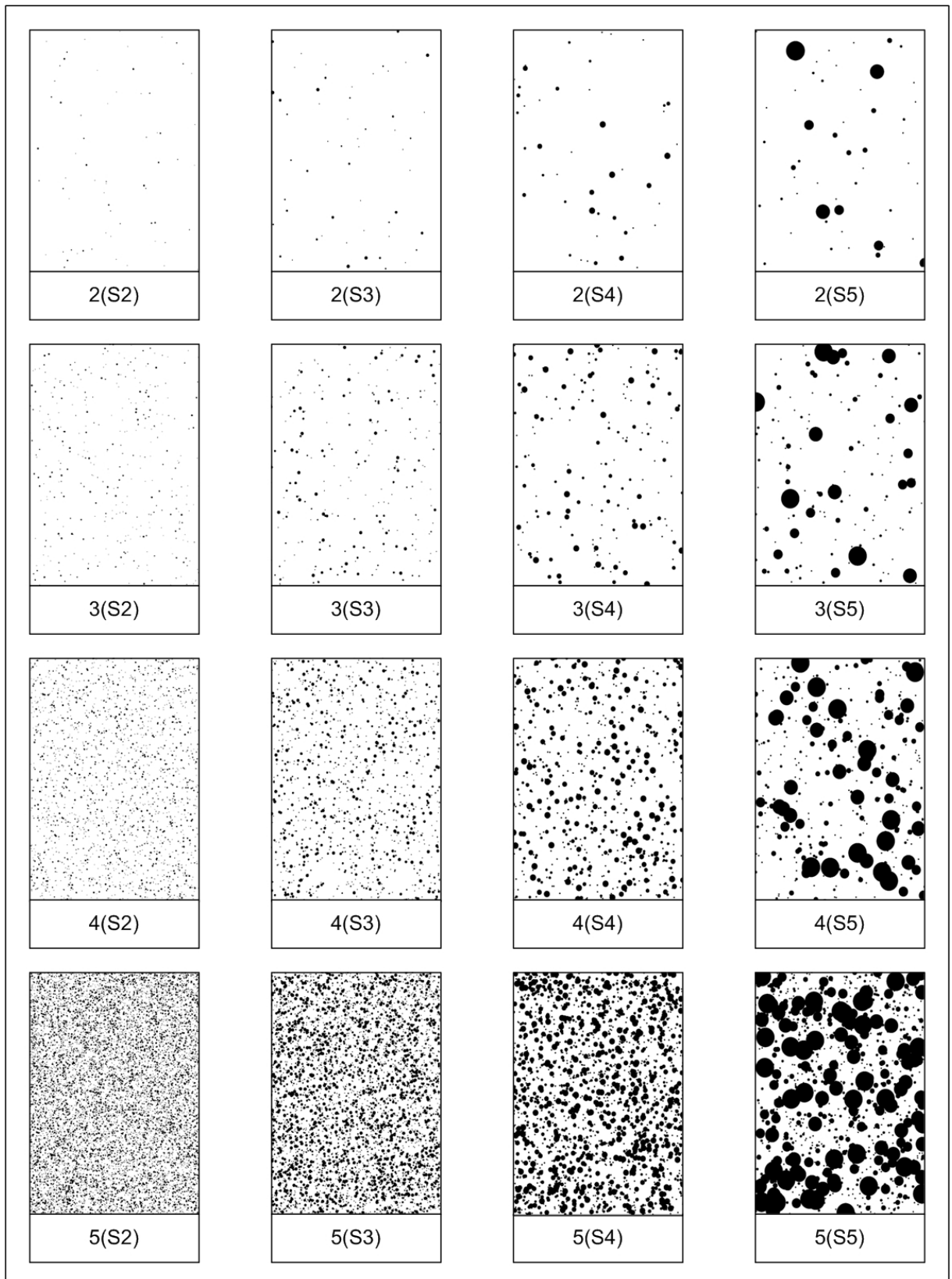


Abb. 80: Blasengrade nach DIN EN ISO 4628-2 (nicht maßstabsgetreu)³⁶⁴

³⁶⁴ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-2 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 2: Bewertung des Blasengrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004, S. 10 ff.

Die Merkmalsausprägung des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung) entspricht dem Blasengrad. Aus der Kombination der beiden Merkmalsaspekte Blasenmenge und Blasengröße lässt sich ein Wert auf der Basis eines gewichteten Mittelwerts für die Merkmalsausprägung MA_{komb} des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung) nach der Berechnungsgrundlage gemäß Abb. 81 ermitteln.

Berechnungsgrundlage:

$$MA_{\text{komb}} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$$

| | | |
|--------------------|---|--|
| MA_{komb} | = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
| ESW_1 | = | Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Blasenmenge |
| ESW_2 | = | Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Blasengröße |
| G_1 | = | Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,5$) |
| G_2 | = | Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,5$) |

Abb. 81: Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung)

Der Einheitsskalenwert ESW_1 des Merkmalsaspekts **Blasenmenge** berücksichtigt die vorliegende Anzahl der Blasen gemäß DIN EN ISO 4628-2³⁶⁵ bezogen auf die Gesamtfläche (vgl. Abb. 82). Die Blasenmenge wird durch den ersten Zahlenwert innerhalb des Blasengrads angegeben.

Der Einheitsskalenwert ESW_2 des Merkmalsaspekts **Blasengröße** drückt die Schadenseinzelgröße gemäß Abb. 83 aus. Die Blasengröße wird durch den in Klammer stehenden Zahlenwert innerhalb des Blasengrads angegeben.

In dieser Arbeit werden beide Merkmalsaspekte als gleichberechtigt angesehen. Somit erhalten sie in der Berechnungsgrundlage (s. Abb. 81) die Gewichtungsfaktoren $G_1 = G_2 = 0,5$.³⁶⁶ Die Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für die zwei Merkmalsaspekte ist Abb. 82 und Abb. 83 zu entnehmen.

³⁶⁵ DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-2 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 2: Bewertung des Blasengrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004

³⁶⁶ Die Gewichtung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

| Merkmalsaspekt Blasenmenge des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung) | | |
|--|--------------------|------|
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | |
| Blasenmenge gemäß DIN EN ISO 4628-2 | 0 | 0,00 |
| | 2 | 0,25 |
| | 3 | 0,50 |
| | 4 | 0,75 |
| | 5 | 1,00 |

Abb. 82: Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Blasenmenge des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung)³⁶⁷

| Merkmalsaspekt Blasengröße des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung) | | |
|--|--------------------|------|
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | |
| Blasengröße gemäß DIN EN ISO 4628-2 | 0 | 0,00 |
| | S2 | 0,25 |
| | S3 | 0,50 |
| | S4 | 0,75 |
| | S5 | 1,00 |

Abb. 83: Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Blasengröße des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung)³⁶⁸

Den Kombinationsmöglichkeiten der beiden Merkmalsaspekte und den sich daraus ergebenden Werten der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) werden abhängig von ihrem Wert gemäß Abb. 84 entsprechende Merkmalsausprägungsbereiche zugeordnet. Damit wird die Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung) gemäß Abb. 85 ermöglicht. Eine grafische Darstellung der Zuordnung der Blasengrade zu den Einheitsskalenwerten des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung) erfolgt in Abb. 86.

³⁶⁷ Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

³⁶⁸ Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

| Blasen-grad | Merkmalsaspekt Blasenmenge ESW ₁ | Merkmalsaspekt Blasengröße ESW ₂ | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA _{komb} | Bereich der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
|-------------|---|---|---|--|
| k. A. | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 2(S2) | 0,25 | 0,25 | 0,25 |]0,2, 0,4] |
| 2(S3) | 0,25 | 0,50 | 0,38 | |
| 3(S2) | 0,50 | 0,25 | 0,38 | |
| 2(S4) | 0,25 | 0,75 | 0,50 |]0,4, 0,6] |
| 3(S3) | 0,50 | 0,50 | 0,50 | |
| 4(S2) | 0,75 | 0,25 | 0,50 | |
| 2(S5) | 0,25 | 1,00 | 0,63 |]0,6, 0,8] |
| 3(S4) | 0,50 | 0,75 | 0,63 | |
| 4(S3) | 0,75 | 0,50 | 0,63 | |
| 5(S2) | 1,00 | 0,25 | 0,63 | |
| 3(S5) | 0,50 | 1,00 | 0,75 | |
| 4(S4) | 0,75 | 0,75 | 0,75 | |
| 5(S3) | 1,00 | 0,50 | 0,75 | |
| 4(S5) | 0,75 | 1,00 | 0,88 |]0,8, 1] |
| 5(S4) | 1,00 | 0,75 | 0,88 | |
| 5(S5) | 1,00 | 1,00 | 1,00 | |

| | | | | | |
|--|--------|--|------------|--|-----------|
| | null | | sehr klein | | klein |
| | mittel | | hoch | | sehr hoch |

Abb. 84: Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung)³⁶⁹

| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung) | | | |
|---|---|------------|--------------------|
| Blasengrad | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA _{komb} | | Einheitsskalenwert |
| K. A. | $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ | 0 | 0,00 |
| - | |]0, 0,2] | 0,20 |
| 2(S2), 2(S3), 3(S2) | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| 2(S4), 3(S3), 4(S2) | |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| 2(S5), 3(S4), 3(S5), 4(S3), 4(S4), 5(S2), 5(S3) | |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| 4(S5), 5(S4), 5(S5) | |]0,8, 1] | 1,00 |

| | | |
|--------------------|---|--|
| MA _{komb} | = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
| ESW ₁ | = | Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Blasenmenge |
| ESW ₂ | = | Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Blasengröße |
| G ₁ | = | Gewichtungsfaktor 1 (mit G ₁ = 0,5) |
| G ₂ | = | Gewichtungsfaktor 2 (mit G ₂ = 0,5) |

Abb. 85: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung)

³⁶⁹ Die Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) erfolgt nach der Berechnung gemäß Abb. 81.

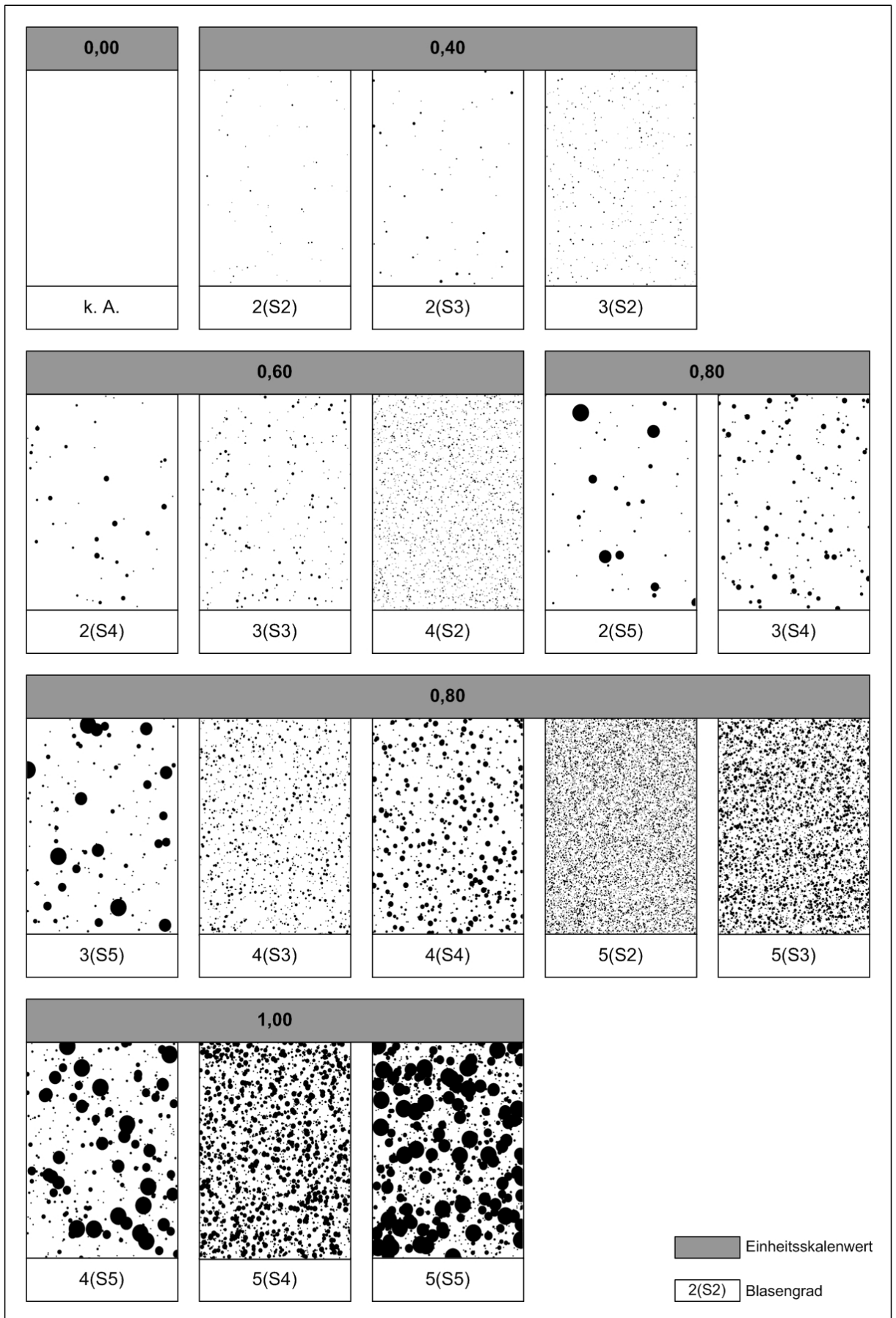


Abb. 86: Zuordnung der Blasengrade zu den Einheitsskalenwerten für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Blasenbildung)

Schadensbild Korrosion

Das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) wird mittels der Merkmalsaspekte Rostgrad gemäß DIN EN ISO 4628-3³⁷⁰ und Schichtdicke beschrieben.

Aus der Kombination der beiden Merkmalsaspekte Rostgrad und Schichtdicke lässt sich ein Wert auf der Basis eines gewichteten Mittelwerts für die Merkmalsausprägung MA_{komb} des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) nach der Berechnungsgrundlage gemäß Abb. 87 ermitteln.

Berechnungsgrundlage:

$$MA_{\text{komb}} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$$

| | | |
|--------------------|---|---|
| MA_{komb} | = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
| ESW_1 | = | Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Rostgrad |
| ESW_2 | = | Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schichtdicke |
| G_1 | = | Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) |
| G_2 | = | Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,75$) |

Abb. 87: Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion)

Der Einheitsskalenwert ESW_1 des Merkmalsaspekts **Rostgrad** berücksichtigt die vorliegende Schadensfläche (Rostfläche) gemäß DIN EN ISO 4628-3 (vgl. Abb. 88 und Abb. 90). Eine Durchrostung von ca. 1 % der Fläche entspricht bspw. dem Rostgrad R_i 3. Ab diesem Rostgrad sind i. d. R. Instandhaltungsmaßnahmen notwendig.³⁷¹

Der Einheitsskalenwert ESW_2 des Merkmalsaspekts **Schichtdicke** drückt den prozentualen Anteil der noch vorhandenen Bauelementdicke bezogen auf eine durch

³⁷⁰ DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-3 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 3: Bewertung des Rostgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004

³⁷¹ Vgl. OSWALD, R. (Hrsg.): Bauteilalterung – Bauteilschädigung – Typische Schädigungsprozesse und Schutzmaßnahmen. Wiesbaden : Vieweg, 2009, S. 51

den Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} beschriebene Referenz-Schichtdicke aus. Die Wertezuordnung zur Einheitsskala erfolgt gemäß Abb. 91.




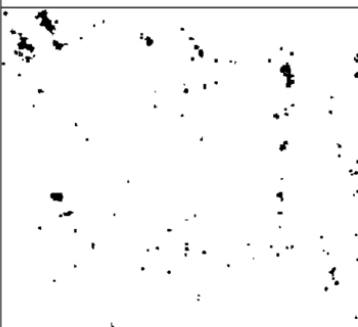
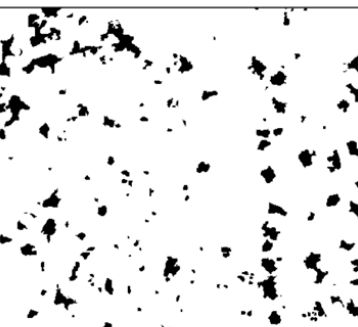
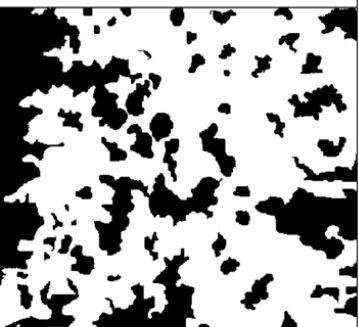
| Berechnungsgrundlage: | | |
|---|--|---|
| $MA = \text{Rostgrad} = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ | | |
| W_1 | = | Schadensfläche (Rostfläche) |
| W_2 | = | Gesamtfläche |
| Merkmalsausprägung MA [%] | | |
| Rostgrad Ri 0 | Rostgrad Ri 1 | Rostgrad Ri 2 |
|  |  |  |
| 0 |]0, 0,05] |]0,05, 0,5] |
| Rostgrad Ri 3 | Rostgrad Ri 4 | Rostgrad Ri 5 |
|  |  |  |
|]0,5, 1] |]1, 8] |]8, 100] |

Abb. 88: Merkmalsausprägungen des Merkmalsaspekts Rostgrad (nicht maßstabsgetreu)³⁷²

³⁷² Vgl. DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-3 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 3: Bewertung des Rostgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004, S. 11 ff.

In dieser Arbeit werden beide Merkmalsaspekte als nicht gleichberechtigt angesehen.³⁷³ Der Merkmalsaspekt Rostgrad wird mit 25 % gewichtet und erhält daher den Gewichtungsfaktor $G_1 = 0,25$. Der Merkmalsaspekt Schichtdicke wird mit 75 % gewichtet und erhält daher den Gewichtungsfaktor $G_2 = 0,75$. Die Gewichtungsfaktoren ergeben sich aus der Gewichtung mittels paarweisem Vergleich gemäß Abb. 89.³⁷⁴

In Abb. 89 wird berücksichtigt, dass ein irreversibler Materialabbau durch Schichtdickenverlust (Merkmalsaspekt Schichtdicke) kritischer zu bewerten ist als die Größe der betroffenen Schadensfläche (Merkmalsaspekt Rostgrad). Eine Stahlstütze mit einer Durchrostung im Spritzwasserbereich, d. h. der Reduzierung der Schichtdicke, führt zu einem potentiellen Tragfähigkeitsverlust gegenüber einer Stütze, die über eine große Schadensfläche (Merkmalsaspekt Rostgrad) einen lediglich geringen Schichtdickenverlust (Merkmalsaspekt Schichtdicke) aufweist.³⁷⁵

| Zeile | Merkmals- aspekt | Zeile 1 | Zeile 2 | Zeile 3 | Zeile 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Rostgrad | - | 1 | - | - | 1 | 0,2500 |
| 2 | Schichtdicke | 3 | - | - | - | 3 | 0,7500 |
| 3 | | - | - | - | - | | |
| 4 | | - | - | - | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 89: Gewichtung der Merkmalsaspekte des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion)

³⁷³ Die Gewichtung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

³⁷⁴ Eine Erläuterung zum paarweisen Vergleich befindet sich in Abschnitt IV3.3.1.

³⁷⁵ Siehe dazu die Betrachtung von lokal begrenzten Intensivschäden gemäß Abschnitt IV3.3.3.1

| Merkmalsaspekt Rostgrad des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | | |
|---|-------------|----------|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA [%] | | Rostgrad | Einheitsskalenwert |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ | 0 | Ri 0 | 0,00 |
| |]0, 0,05] | Ri 1 | 0,20 |
| |]0,05, 0,5] | Ri 2 | 0,40 |
| |]0,5, 1] | Ri 3 | 0,60 |
| |]1, 8] | Ri 4 | 0,80 |
| |]8, 100] | Ri 5 | 1,00 |

| | | |
|-------|---|-----------------------------|
| W_1 | = | Schadensfläche (Rostfläche) |
| W_2 | = | Gesamtfläche |

Abb. 90: Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Rostgrad des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion)³⁷⁶

| Merkmalsaspekt Schichtdicke des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | |
|---|-----------|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA [%] | | Einheitsskalenwert |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ | 100 | 0,00 |
| | [98, 100[| 0,20 |
| | [95, 98[| 0,40 |
| | [90, 95[| 0,60 |
| | [80, 90[| 0,80 |
| | [0, 80[| 1,00 |

| | | |
|-------|---|-----------------------|
| W_1 | = | Ist-Schichtdicke |
| W_2 | = | Referenz-Schichtdicke |

Abb. 91: Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Schichtdicke des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion)³⁷⁷

³⁷⁶ Schadensfläche gemäß DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-3 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 3: Bewertung des Rostgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004; Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

³⁷⁷ Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

Den Kombinationsmöglichkeiten der beiden Merkmalsaspekte und den sich daraus ergebenden Werten der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) werden abhängig von ihrem Wert gemäß Abb. 92 entsprechende Merkmalsausprägungsbereiche zugeordnet. Damit kann die Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) gemäß Abb. 93 erfolgen.

| Merkmalsaspekt Rostgrad ESW ₁ | Merkmalsaspekt Schichtdicke ESW ₂ | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA _{komb} | Bereich der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
|--|--|---|--|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 0,20 | 0,20 | 0,20 |]0, 0,2] |
| 0,40 | 0,20 | 0,25 |]0,2, 0,4] |
| 0,60 | 0,20 | 0,30 | |
| 0,20 | 0,40 | 0,35 | |
| 0,80 | 0,20 | 0,35 | |
| 0,40 | 0,40 | 0,40 | |
| 1,00 | 0,20 | 0,40 | |
| 0,60 | 0,40 | 0,45 |]0,4, 0,6] |
| 0,20 | 0,60 | 0,50 | |
| 0,80 | 0,40 | 0,50 | |
| 0,40 | 0,60 | 0,55 | |
| 1,00 | 0,40 | 0,55 | |
| 0,60 | 0,60 | 0,60 | |
| 0,80 | 0,60 | 0,65 |]0,6, 0,8] |
| 0,20 | 0,80 | 0,65 | |
| 1,00 | 0,60 | 0,70 | |
| 0,40 | 0,80 | 0,70 | |
| 0,60 | 0,80 | 0,75 | |
| 0,20 | 1,00 | 0,80 | |
| 0,80 | 0,80 | 0,80 |]0,8, 1] |
| 0,40 | 1,00 | 0,85 | |
| 1,00 | 0,80 | 0,85 | |
| 0,60 | 1,00 | 0,90 | |
| 0,80 | 1,00 | 0,95 | |
| 1,00 | 1,00 | 1,00 | |

| | | |
|--|--|---|
| null | sehr klein | klein |
| mittel | hoch | sehr hoch |

Abb. 92: Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion)³⁷⁸

³⁷⁸ Die Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) erfolgt nach der Berechnung gemäß Abb. 87.

| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | |
|---|--------------------|------|
| Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | |
| $MA_{\text{komb}} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ | 0 | 0,00 |
| |]0, 0,2] | 0,20 |
| |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| |]0,8, 1] | 1,00 |

| | | |
|--------------------|---|---|
| MA_{komb} | = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
| ESW_1 | = | Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Rostgrad |
| ESW_2 | = | Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schichtdicke |
| G_1 | = | Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) |
| G_2 | = | Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,75$) |

Abb. 93: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion)³⁷⁹

Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag

Das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) wird durch die Merkmalsaspekte Schichtdicke und Schadensflächen beschrieben. Angaben zu Bewertung von Schadensflächen werden mit Hilfe der DIN EN ISO 4628-3³⁸⁰ gemäß Abb. 88 gegeben.³⁸¹

³⁷⁹ Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

³⁸⁰ DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-3 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 3: Bewertung des Rostgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004

³⁸¹ Im Speziellen handelt es sich hierbei um Rostflächen. Für die Bewertung des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) werden jedoch die gleichen Flächenanteile angesetzt. Die Bewertung der Schadensflächen kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

Aus der Kombination der beiden Merkmalsaspekte Schadensfläche und Schichtdicke lässt sich ein Wert auf der Basis eines gewichteten Mittelwerts für die Merkmalsausprägung MA_{komb} des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) nach der Berechnungsgrundlage gemäß Abb. 94 ermitteln.

Berechnungsgrundlage:

$$MA_{\text{komb}} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$$

| | | |
|--------------------|---|---|
| MA_{komb} | = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
| ESW_1 | = | Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensfläche |
| ESW_2 | = | Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schichtdicke |
| G_1 | = | Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) |
| G_2 | = | Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,75$) |

Abb. 94: Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag)

Der Einheitsskalenwert ESW_1 des Merkmalsaspekts **Schadensfläche** berücksichtigt die vorliegende Schadensfläche gemäß DIN EN ISO 4628-3 (vgl. Abb. 96).

Der Einheitsskalenwert ESW_2 des Merkmalsaspekts **Schichtdicke** drückt den prozentualen Anteil der noch vorhandenen Bauelementdicke bezogen auf eine durch den Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} beschriebene Referenz-Schichtdicke aus. Die Wertezuordnung zur Einheitsskala erfolgt gemäß Abb. 97.

In dieser Arbeit werden beide Merkmalsaspekte als nicht gleichberechtigt angesehen.³⁸² Der Merkmalsaspekt Schadensfläche wird mit 25 % gewichtet und erhält daher den Gewichtungsfaktor $G_1 = 0,25$. Der Merkmalsaspekt Schichtdicke wird mit 75 % gewichtet und erhält daher den Gewichtungsfaktor $G_2 = 0,75$. Die Gewichtungsfaktoren ergeben sich aus der Gewichtung mittels paarweisem Vergleich gemäß Abb. 95.³⁸³

In Abb. 95 wird berücksichtigt, dass ein irreversibler Materialabbau durch Schichtdickenverlust kritischer zu bewerten ist als die Größe der betroffenen Schadensfläche. Eine Putzfläche mit einer einzigen kleinen Schadensfläche, welche die komplette Schichtdicke umfasst, führt bspw. zu größeren Folgeschäden aufgrund von Undichtigkeit als eine Putzfläche, die über eine große Schadensfläche einen geringen Schichtdickenverlust aufweist.

| Zeile | Merkmals- aspekt | Zeile 1 | Zeile 2 | Zeile 3 | Zeile 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Schadensfläche | - | 1 | - | - | 1 | 0,2500 |
| 2 | Schichtdicke | 3 | - | - | - | 3 | 0,7500 |
| 3 | | - | - | - | - | | |
| 4 | | - | - | - | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 95: Gewichtung der Merkmalsaspekte des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag)

³⁸² Die Gewichtung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

³⁸³ Eine Erläuterung zum paarweisen Vergleich befindet sich in Abschnitt IV3.3.1.

| Merkmalsaspekt Schadensfläche des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | |
|--|--------------------|------|
| Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ | 0 | 0,00 |
| |]0, 0,05] | 0,20 |
| |]0,05, 0,5] | 0,40 |
| |]0,5, 1] | 0,60 |
| |]1, 8] | 0,80 |
| |]8, 100] | 1,00 |

| | | |
|-------|---|----------------|
| W_1 | = | Schadensfläche |
| W_2 | = | Gesamtfläche |

Abb. 96: Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Schadensfläche des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag)³⁸⁴

| Merkmalsaspekt Schichtdicke des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | |
|--|--------------------|------|
| Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ | 100 | 0,00 |
| | [95, 100[| 0,20 |
| | [90, 95[| 0,40 |
| | [80, 90[| 0,60 |
| | [60, 80[| 0,80 |
| | [0, 60[| 1,00 |

| | | |
|-------|---|-----------------------|
| W_1 | = | Ist-Schichtdicke |
| W_2 | = | Referenz-Schichtdicke |

Abb. 97: Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Schichtdicke des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag)³⁸⁵

³⁸⁴ Schadensfläche gemäß DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-3 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 3: Bewertung des Rostgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004; Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

³⁸⁵ Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

Den Kombinationsmöglichkeiten der beiden Merkmalsaspekte und den sich daraus ergebenden Werten der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) werden abhängig von ihrem Wert gemäß Abb. 98 entsprechende Merkmalsausprägungsbereiche zugeordnet. Damit kann die Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) gemäß Abb. 99 erfolgen.

| Merkmalsaspekt Schadensfläche ESW ₁ | Merkmalsaspekt Schichtdicke ESW ₂ | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA _{komb} | Bereich der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
|--|--|---|--|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 0,20 | 0,20 | 0,20 |]0, 0,2] |
| 0,40 | 0,20 | 0,25 |]0,2, 0,4] |
| 0,60 | 0,20 | 0,30 | |
| 0,20 | 0,40 | 0,35 | |
| 0,80 | 0,20 | 0,35 | |
| 0,40 | 0,40 | 0,40 | |
| 1,00 | 0,20 | 0,40 | |
| 0,60 | 0,40 | 0,45 |]0,4, 0,6] |
| 0,20 | 0,60 | 0,50 | |
| 0,80 | 0,40 | 0,50 | |
| 0,40 | 0,60 | 0,55 | |
| 1,00 | 0,40 | 0,55 | |
| 0,60 | 0,60 | 0,60 | |
| 0,80 | 0,60 | 0,65 |]0,6, 0,8] |
| 0,20 | 0,80 | 0,65 | |
| 1,00 | 0,60 | 0,70 | |
| 0,40 | 0,80 | 0,70 | |
| 0,60 | 0,80 | 0,75 | |
| 0,20 | 1,00 | 0,80 | |
| 0,80 | 0,80 | 0,80 |]0,8, 1] |
| 0,40 | 1,00 | 0,85 | |
| 1,00 | 0,80 | 0,85 | |
| 0,60 | 1,00 | 0,90 | |
| 0,80 | 1,00 | 0,95 | |
| 1,00 | 1,00 | 1,00 | |

| | | |
|--|--|---|
| null | sehr klein | klein |
| mittel | hoch | sehr hoch |

Abb. 98: Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag)³⁸⁶

³⁸⁶ Die Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) erfolgt nach der Berechnung gemäß Abb. 94.

| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | |
|--|--------------------|------|
| Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | |
| $MA_{\text{komb}} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ | 0 | 0,00 |
| |]0, 0,2] | 0,20 |
| |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| |]0,8, 1] | 1,00 |

| | | |
|--------------------|---|---|
| MA_{komb} | = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
| ESW_1 | = | Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensfläche |
| ESW_2 | = | Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schichtdicke |
| G_1 | = | Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) |
| G_2 | = | Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,75$) |

Abb. 99: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag)³⁸⁷

³⁸⁷ Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

3.3.2.4 Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall

Die **Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall** erfolgt mittels Betrachtung der Merkmalsaspekte Schadensart sowie Schadensgröße³⁸⁸. Aus der Kombination der beiden Merkmalsaspekte lässt sich ein Wert auf der Basis eines gewichteten Mittelwerts für die Merkmalsausprägung MA_{komb} des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall nach der Berechnungsgrundlage gemäß Abb. 100 ermitteln.

Berechnungsgrundlage:

$$MA_{\text{komb}} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$$

| | | |
|--------------------|---|--|
| MA_{komb} | = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
| ESW_1 | = | Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensart |
| ESW_2 | = | Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schadensgröße |
| G_1 | = | Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,5$) |
| G_2 | = | Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,5$) |

Abb. 100: Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall

Der Einheitsskalenwert ESW_1 des Merkmalsaspekts **Schadensart** berücksichtigt die gängigen Arten des biologischen Befalls gemäß Abb. 101 und ordnet diese in Abhängigkeit zu der durch die Schadensart hervorgerufene Schwere der Schäden.

Der Einheitsskalenwert ESW_2 des Merkmalsaspekts **Schadensgröße** drückt die Größe des Schadens in Relation zur Gesamtfläche bzw. zum Gesamtvolumen aus und wird nach der Intervalleinteilung der DIN EN ISO 20567-1³⁸⁹ gemäß Abb. 102 bestimmt. Die Zuordnung der Einheitsskalenwerte erfolgt in Abb. 102.

³⁸⁸ Die Schadensgröße umfasst hierbei je nach Bauelement die Schadensfläche oder das Schadensvolumen. Bei einem Algenbefall einer Putzfassade wird i. d. R. die Schadensfläche als Schadensgröße angesetzt, während bei einem Schwammbefall eines Holzbalkens das Schadensvolumen als Schadensgröße i. d. R. ausschlaggebend ist.

³⁸⁹ DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 20567-1 – Beschichtungstoffe – Prüfung der Steinschlagfestigkeit von Beschichtungen – Teil 1: Multischlagprüfung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 04-2007

| Merkmalsaspekt Schadensart des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | | |
|---|--|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert |
| Schadensart | Kein biologischer Befall | 0,00 |
| | Pflanzenbewuchs (kleine Pflanzen) | 0,20 |
| | Insektenbefall | 0,40 |
| | Algenbefall; Bakterienbefall; Moosbefall; Pilzbefall | 0,60 |
| | Flechtenbefall; Schimmelpilzbefall | 0,80 |
| | Pflanzenbewuchs (große Pflanzen); Schwammbefall | 1,00 |

Abb. 101: Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Schadensart des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall³⁹⁰

Die in Abb. 101 aufgeführten möglichen Schadensarten werden nach der Schwere ihrer möglichen Folgeschäden geordnet; dies kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren. Während **Algen-, Bakterien-, Pilz- und Moosbefall** (Einheitsskalenwert 0,60) die betroffenen Flächen meist durch Stoffwechselprodukte schädigen (s. dazu Abschnitt IV2.3), dies aber i. d. R. nicht zu einem abrupten Bauelementversagen führt, können bspw. große Pflanzen durch Wurzelsprengung oder ein Schwammbefall zu gravierenden Bauschäden führen. **Pflanzenbewuchs (große Pflanzen)** und **Schwammbefall** erhalten den höchsten Einheitsskalenwert von 1,00. **Flechten- und Schimmelpilzbefall** (Einheitsskalenwert 0,80) sind gegenüber Algenbefall, Bakterienbefall, Pilzbefall und Moosbefall in ihrer Auswirkung bauelementschädigender zu gewichten, aber weniger bauelementschädigend gegenüber Pflanzenbewuchs (große Pflanzen) und Schwammbefall. Insektenbefall ist in seinem Anfangsstadium weniger problematisch und führt u. a. zu optischen Veränderungen, z. B. durch Lochfraß. Daher wird **Insektenbefall** mit dem Einheitsskalenwert 0,40 versehen. Noch geringere Schäden werden durch Pflanzenbewuchs (kleine Pflanzen) verursacht, da ihre Wurzeln nicht die Sprengwirkung haben, welche große Pflanzen mit sich bringen. Die Schadensart **Pflanzenbewuchs (kleine Pflanzen)** erhält den Einheitsskalenwert 0,20.³⁹¹

³⁹⁰ Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

³⁹¹ Die einzelnen Schadensarten sind in Abschnitt IV2.3 näher beschrieben.

In dieser Arbeit werden die beide Merkmalsaspekte Schadensart und Schadensgröße als gleichberechtigt angesehen. Somit erhalten sie in der Berechnungsgrundlage (s. Abb. 100) die Gewichtungsfaktoren $G_1 = G_2 = 0,5$.³⁹² Die Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für die zwei Merkmalsaspekte ist Abb. 101 und Abb. 102 zu entnehmen. Die Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall wird in Abb. 105 dargestellt.

Ist ein Bauelement durch mehrere Schadensarten befallen, so werden die jeweiligen nach Abb. 100 ermittelten Merkmalsausprägungen MA_{komb} summiert. Die Gesamtsumme kann hierbei den Wert von 1,00 nicht übersteigen, da die Einheitsskala größere Werte als 1,00 nicht zulässt.³⁹³

| Merkmalsaspekt Schadensgröße des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | | |
|---|--------------|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA [%] | | Einheitsskalenwert |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ | 0 | 0,00 |
| |]0, 1] | 0,20 |
| |]1, 5,5] | 0,40 |
| |]5,5, 19,2] | 0,60 |
| |]19,2, 43,8] | 0,80 |
| |]43,8, 100] | 1,00 |

| | | |
|-------|---|---|
| W_1 | = | Schadensgröße (Schadensfläche oder Schadensvolumen) |
| W_2 | = | Gesamtgröße (Schadensgesamtfläche oder Schadensgesamtvolumen) |

Abb. 102: Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Schadensgröße des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall³⁹⁴

³⁹² Die Gewichtung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

³⁹³ In dieser Arbeit wird die Obergrenze der Summe mehrerer Merkmalsausprägungen MA_{komb} mit dem Wert von 1,00 festgelegt. Dies kann jedoch nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren. Ein Beispiel dazu befindet sich in Abb. 103.

³⁹⁴ Angaben zu Schadensflächen/-volumen in Anlehnung an DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 20567-1 – Beschichtungsstoffe – Prüfung der Steinschlagfestigkeit von Beschichtungen – Teil 1: Multischlagprüfung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 04-2007, S. 11 ff.; Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

Ein **Beispiel zur Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) mehrerer Schadensarten** ist in Abb. 103 dargestellt. Hierbei handelt es sich um ein Flachdach, das sowohl durch Algen als auch Moos befallen ist. Der Einheitsskalenwert ESW_1 des Merkmalsaspekts Schadensart wird sowohl bei Algen- wie auch bei Moosbefall gemäß Abb. 101 mit 0,60 angesetzt. Der Einheitsskalenwert ESW_2 des Merkmalsaspekts Schadensgröße ermittelt sich gemäß Abb. 102 und wird beispielhaft innerhalb der Abb. 103 für die Schadensart Algenbefall mit 0,80 und für die Schadensart Moosbefall mit 0,60 angesetzt.

Die jeweilige Berechnung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) erfolgt entsprechend Abb. 100 und ergibt bei Algenbefall den Wert 0,70 und bei Moosbefall den Wert 0,60.

Die Summe der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) für den gesamten Biologischen Befall, d. h. die Summe der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) für Algen- und Moosbefall, ergibt 1,30. Da dieser Wert 1,00 nicht übersteigen darf, wird für eine weitere Ermittlung des Abnutzungsvorrats mit dem Einheitsskalenwert 1,00 für das Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall gerechnet.


| Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) mehrerer Schadensarten des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|---|--------------------|---|--|------------------|---|--|------------------|---|--|----------------|---|--|----------------|---|--|
| Bilddokumentation |  | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Berechnung | <p>Berechnungswerte (Beispielwerte):</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"> Schadensart 1: Algenbefall Schadensgröße = 40 % ESW₁ = 0,60 ESW₂ = 0,80 </td> <td style="width: 50%;"> Schadensart 2: Moosbefall Schadensgröße = 15 % ESW₁ = 0,60 ESW₂ = 0,60 </td> </tr> </table> <p>Berechnungsgrundlage:</p> $MA_{\text{komb}} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>MA_{komb}</td> <td>=</td> <td>Merkmalsausprägung (kombinierter Wert)</td> </tr> <tr> <td>ESW₁</td> <td>=</td> <td>Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensart</td> </tr> <tr> <td>ESW₂</td> <td>=</td> <td>Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schadensgröße</td> </tr> <tr> <td>G₁</td> <td>=</td> <td>Gewichtungsfaktor 1 (mit G₁ = 0,5)</td> </tr> <tr> <td>G₂</td> <td>=</td> <td>Gewichtungsfaktor 2 (mit G₂ = 0,5)</td> </tr> </table> <p>Berechnung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) für Algenbefall:</p> $MA_{\text{komb Algenbefall}} = 0,60 \cdot 0,50 + 0,80 \cdot 0,50$ $MA_{\text{komb Algenbefall}} = 0,70$ <p>Berechnung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) für Moosbefall:</p> $MA_{\text{komb Moosbefall}} = 0,60 \cdot 0,50 + 0,60 \cdot 0,50$ $MA_{\text{komb Moosbefall}} = 0,60$ <p>Berechnung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) für den gesamten Biologischen Befall:</p> $MA_{\text{komb}} = \begin{cases} (MA_{\text{komb Algenbefall}} + MA_{\text{komb Moosbefall}}) & \text{WENN } (MA_{\text{komb Algenbefall}} + MA_{\text{komb Moosbefall}}) \leq 1,00 \\ 1,00 & \text{WENN } (MA_{\text{komb Algenbefall}} + MA_{\text{komb Moosbefall}}) > 1,00 \end{cases}$ $MA_{\text{komb Algenbefall}} + MA_{\text{komb Moosbefall}} = 0,70 + 0,60 = 1,30 > 1,00$ $\Rightarrow MA_{\text{komb}} = 1,00$ | Schadensart 1: Algenbefall Schadensgröße = 40 % ESW ₁ = 0,60 ESW ₂ = 0,80 | Schadensart 2: Moosbefall Schadensgröße = 15 % ESW ₁ = 0,60 ESW ₂ = 0,60 | MA _{komb} | = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) | ESW ₁ | = | Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensart | ESW ₂ | = | Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schadensgröße | G ₁ | = | Gewichtungsfaktor 1 (mit G ₁ = 0,5) | G ₂ | = | Gewichtungsfaktor 2 (mit G ₂ = 0,5) |
| Schadensart 1: Algenbefall Schadensgröße = 40 % ESW ₁ = 0,60 ESW ₂ = 0,80 | Schadensart 2: Moosbefall Schadensgröße = 15 % ESW ₁ = 0,60 ESW ₂ = 0,60 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MA _{komb} | = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESW ₁ | = | Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensart | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESW ₂ | = | Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schadensgröße | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G ₁ | = | Gewichtungsfaktor 1 (mit G ₁ = 0,5) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G ₂ | = | Gewichtungsfaktor 2 (mit G ₂ = 0,5) | | | | | | | | | | | | | | | | |

Abb. 103: Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) mehrerer Schadensarten des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall am Beispiel Flachdach

Den Kombinationsmöglichkeiten der beiden Merkmalsaspekte und den sich daraus ergebenden Werten der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) werden abhängig von ihrem Wert gemäß Abb. 104 entsprechende Merkmalsausprägungsbereiche zugeordnet. Damit kann die Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall gemäß Abb. 105 erfolgen.

| Merkmalsaspekt Schadensart ESW ₁ | Merkmalsaspekt Schadensgröße ESW ₂ | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA _{komb} | Bereich der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
|---|---|---|--|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 0,20 | 0,20 | 0,20 |]0, 0,2] |
| 0,20 | 0,40 | 0,30 |]0,2, 0,4] |
| 0,40 | 0,20 | 0,30 | |
| 0,20 | 0,60 | 0,40 | |
| 0,40 | 0,40 | 0,40 | |
| 0,60 | 0,20 | 0,40 | |
| 0,20 | 0,80 | 0,50 |]0,4, 0,6] |
| 0,40 | 0,60 | 0,50 | |
| 0,60 | 0,40 | 0,50 | |
| 0,80 | 0,20 | 0,50 | |
| 0,20 | 1,00 | 0,60 | |
| 0,60 | 0,60 | 0,60 |]0,6, 0,8] |
| 1,00 | 0,20 | 0,60 | |
| 0,40 | 0,80 | 0,60 | |
| 0,80 | 0,40 | 0,60 | |
| 0,40 | 1,00 | 0,70 | |
| 0,60 | 0,80 | 0,70 |]0,8, 1] |
| 0,80 | 0,60 | 0,70 | |
| 1,00 | 0,40 | 0,70 | |
| 0,60 | 1,00 | 0,80 | |
| 0,80 | 0,80 | 0,80 | |
| 1,00 | 0,60 | 0,80 | |
| 0,80 | 1,00 | 0,90 | |
| 1,00 | 0,80 | 0,90 | |
| 1,00 | 1,00 | 1,00 | |

| | | | | | |
|--|--------|--|------------|--|-----------|
| | null | | sehr klein | | klein |
| | mittel | | hoch | | sehr hoch |

Abb. 104: Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall³⁹⁵

³⁹⁵ Die Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) erfolgt nach der Berechnung gemäß Abb. 100.

| Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | |
|---|--------------------|------|
| Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | |
| $MA_{\text{komb}} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ | 0 | 0,00 |
| |]0, 0,2] | 0,20 |
| |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| |]0,8, 1] | 1,00 |

| | | |
|--------------------|---|--|
| MA_{komb} | = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
| ESW_1 | = | Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensart |
| ESW_2 | = | Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schadensgröße |
| G_1 | = | Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,5$) |
| G_2 | = | Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,5$) |

Abb. 105: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall³⁹⁶

³⁹⁶ Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

3.3.2.5 Abnutzungsmerkmal Brandschutz

Die **Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Brandschutz** erfolgt mit Hilfe der gegenwärtigen Normen³⁹⁷, Vorschriften und Verordnungen zum Brandschutz wie der DIN 4102-1³⁹⁸, in denen u. a. Vorgaben zu den Feuerwiderstandsklassen der Bauelemente gegeben werden. Ist die Erfüllung des Brandschutzes gewährleistet, so erhält der Einheitsskalenwert der Merkmalsausprägung den Wert 0,00 (vgl. Abb. 106). Aufgrund der Sicherheitsrelevanz des Brandschutzes wird die Nichterfüllung des Brandschutzes gemäß Vorschriften als KO-Kriterium³⁹⁹ gewertet und dem schlechtesten Einheitsskalenwert der Merkmalsausprägung von 1,00 zugeordnet.

| Abnutzungsmerkmal Brandschutz | | |
|--|------|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert |
| Einhaltung des Brandschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | Ja | 0,00 |
| | Nein | 1,00 |

Abb. 106: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Brandschutz⁴⁰⁰

Abweichungen zur Erfüllung des Brandschutzes gemäß Normen, Vorschriften und Verordnungen können bspw. durch Baustoffabtrag eines Bauelements verursacht werden. Die Reduzierung einer Brandschutzbeschichtung durch Baustoffabtrag führt unweigerlich zu Verminderung der Feuerwiderstandsklasse und der damit einherge-

³⁹⁷ Europäische Prüfnormen für Bauteile s. BUNDESVERBAND KALKSANDSTEININDUSTRIE (Hrsg.): Kalksandstein, Planung, Konstruktion, Ausführung. 5. Aufl. Düsseldorf : Verlag Bau+Technik, 2009, Kapitel 13, S. 5

³⁹⁸ DIN (Hrsg.): DIN 4102-1 – Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 05-1998

³⁹⁹ Ein KO-Kriterium ist ein Kriterium bzw. eine Bedingung, die eine Entscheidung unabhängig von etwaigen anderen Kriterien festlegt, wenn sie erfüllt ist (von engl.: Knock out). Das KO-Kriterium ist somit eine notwendige Bedingung, d. h. eine Voraussetzung, ohne die ein Sachverhalt nicht eintritt. Die Erfüllung der Voraussetzung garantiert jedoch nicht den Eintritt des Sachverhalts; eventuell müssen noch weitere (notwendige) Bedingungen erfüllt sein. Die Nichteinhaltung des Brandschutzes ist eine Gefahr für Leben und Gesundheit von Menschen.

⁴⁰⁰ Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

henden Feuerwiderstandsdauer in Minuten.⁴⁰¹ Die Brandschutzanforderungen nach Landesbauordnung NRW sind auszugsweise in Abb. 107 dargestellt.⁴⁰²

| Bauteile | Freistehende Wohngebäude mit nicht mehr als einer Wohnung | Wohngebäude geringer Höhe mit nicht mehr als zwei Wohnungen | Gebäude geringer Höhe | andere Gebäude |
|--|---|---|-----------------------|----------------|
| Tragende und aussteifende Wände, Pfeiler und Stützen | Keine | F 30 | F 30 | F 90-AB |
| In Kellergeschossen | Keine | F 30-AB | F 90-AB | F 90-AB |
| In Geschossen im Dachraum, über denen Aufenthaltsräume möglich sind | Keine | F 30 | F 30 | F 90 |
| In Geschossen im Dachraum, über denen Aufenthaltsräume nicht möglich sind | Keine | Keine | Keine | Keine |
| Nichttragende Außenwände sowie nichttragende Teile von Außenwänden | Keine | Keine | Keine | A oder F 30 |
| Oberflächen von Außenwänden, Außenwandbekleidungen und Dämmstoffe in Außenwänden | Keine | Keine | Keine | B 1 |
| ... | ... | ... | ... | ... |

| | |
|----------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> A | Nichtbrennbare Baustoffe |
| <input type="checkbox"/> B 1 | Schwer entflammbar |
| <input type="checkbox"/> F 30 | Feuerwiderstandsklasse F 30 |
| <input type="checkbox"/> F 90 | Feuerwiderstandsklasse F 90 |
| <input type="checkbox"/> F 30-AB | Feuerwiderstandsklasse F 30 und in den wesentlichen Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen |
| <input type="checkbox"/> F 90-AB | Feuerwiderstandsklasse F 90 und in den wesentlichen Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen |

Abb. 107: Auszug der Brandschutzanforderungen nach BauO NRW⁴⁰³

⁴⁰¹ Zwischen den Abnutzungsmerkmalen Brandschutz und Baustoffabtrag kommt es zu Merkmalskonflikten. Der Brandschutz wird in Abhängigkeit zur Abminderung der Bauelementdicke durch Baustoffabtrag reduziert. Da die Nichteinhaltung des Brandschutzes innerhalb dieser Modellierung als ein KO-Kriterium gewertet wird, dient diese Doppelbewertung der Sicherheit.

⁴⁰² Für eine Übersicht der Brandschutzanforderungen an Gebäude normaler Art und Nutzung nach allen Landesbauordnungen für die Gebäudeklassen 1 bis 5 s. BUNDESVERBAND KALKSANDSTEININDUSTRIE (Hrsg.): Kalksandstein, Planung, Konstruktion, Ausführung. 5. Aufl. Düsseldorf : Verlag Bau+Technik, 2009, Kapitel 13, S. 9 ff.

⁴⁰³ Vgl. LAND NRW (Hrsg.): Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen (BauO NRW), Stand 13.03.2007. Düsseldorf : Land NRW, 2007, S. 73 f.; BUNDESVERBAND KALKSANDSTEININDUSTRIE (Hrsg.): Kalksandstein, Planung, Konstruktion, Ausführung. 5. Aufl. Düsseldorf : Verlag Bau+Technik, 2009, Kapitel 13, S. 3 ff.

3.3.2.6 Abnutzungsmerkmal Feuchteschutz

Die **Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Feuchteschutz** erfolgt mit Hilfe der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen zum Feuchteschutz wie der DIN 4108-3⁴⁰⁴ sowie der DIN 18195-1⁴⁰⁵, in denen u. a. Vorgaben zur Dichtigkeit der Bauelemente gegeben werden.⁴⁰⁶ Ist die Erfüllung des Feuchteschutzes gewährleistet, so erhält der Einheitsskalenwert der Merkmalsausprägung den Wert 0,00 (vgl. Abb. 108). Die Nichterfüllung des Feuchteschutzes, z. B. durch eine Undichtigkeit des Bauelements (bspw. durch Leckagen), wird als KO-Kriterium gewertet und dem schlechtesten Einheitsskalenwert der Merkmalsausprägung von 1,00 zugeordnet. Leckagen und Dichtigkeitsprobleme verursachen i. d. R. große Schäden und damit verbunden hohe Instandhaltungskosten.

| Abnutzungsmerkmal Feuchteschutz | | |
|--|------|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert |
| Einhaltung des Feuchteschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | Ja | 0,00 |
| | Nein | 1,00 |

Abb. 108: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Feuchteschutz⁴⁰⁷

⁴⁰⁴ DIN (Hrsg.): DIN 4108-3 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2001

⁴⁰⁵ DIN (Hrsg.): DIN 18195-1 – Bauwerksabdichtung – Teil 1: Grundsätze, Definitionen, Zuordnung der Abdichtungsarten. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 08-2000

⁴⁰⁶ Weitere Normen, Vorschriften und Verordnungen s. BUNDESVERBAND KALKSANDSTEININDUSTRIE (Hrsg.): Kalksandstein, Planung, Konstruktion, Ausführung. 5. Aufl. Düsseldorf : Verlag Bau+Technik, 2009, Kapitel 11, S. 16

⁴⁰⁷ Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

3.3.2.7 Abnutzungsmerkmal Riss

Die **Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Riss** erfolgt mit Hilfe der DIN EN ISO 4628-4⁴⁰⁸, in welcher der Rissgrad definiert wird. Der Rissgrad lässt sich durch die in Abb. 59 aufgeführten Merkmalsaspekte Rissmenge (beinhaltet neben der Menge auch die Risslänge), Rissbreite und Risstiefe charakterisieren. Neben dem Rissgrad wird zur Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Riss zusätzlich der Merkmalsaspekt Rissbild (vgl. Abb. 60) mit einbezogen.⁴⁰⁹

Aus der Kombination der vier Merkmalsaspekte (Rissmenge inkl. Risslänge, Rissbreite, Risstiefe, Rissbild) lässt sich ein Wert auf der Basis eines gewichteten Mittelwerts für die Merkmalsausprägung MA_{komb} des Abnutzungsmerkmals Riss nach der Berechnungsgrundlage gemäß Abb. 109 ermitteln, wobei die Risslänge gemäß DIN EN ISO 4628-4 im Merkmalsaspekt Rissmenge enthalten ist (vgl. Abb. 110).

Berechnungsgrundlage:

$$MA_{\text{komb}} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2 + ESW_3 \cdot G_3 + ESW_4 \cdot G_4$$

| | | |
|--------------------|---|---|
| MA_{komb} | = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
| ESW_1 | = | Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Rissmenge |
| ESW_2 | = | Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Rissbreite |
| ESW_3 | = | Einheitsskalenwert 3 des Merkmalsaspekts Risstiefe |
| ESW_4 | = | Einheitsskalenwert 4 des Merkmalsaspekts Rissbild |
| G_1 | = | Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) |
| G_2 | = | Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,25$) |
| G_3 | = | Gewichtungsfaktor 3 (mit $G_3 = 0,25$) |
| G_4 | = | Gewichtungsfaktor 4 (mit $G_4 = 0,25$) |

Abb. 109: Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) des Abnutzungsmerkmals Riss⁴¹⁰

⁴⁰⁸ DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-4 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 4: Bewertung des Rissgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004

⁴⁰⁹ In Anlehnung an SCHOLZ D.: Typische Baufehler – erkennen – vermeiden – beheben. Köln : Rudolf Müller, 2002, S. 91

⁴¹⁰ Der Einheitsskalenwert ESW_1 des Merkmalsaspekts Rissmenge beinhaltet den Merkmalsaspekt Risslänge.

Der Einheitsskalenwert ESW_1 des Merkmalsaspekts **Rissmenge** berücksichtigt die bezogen auf die Gesamtfläche vorliegende Anzahl der Risse, welche mit Hilfe der in der DIN EN ISO 4628-4 angegebenen Vergleichsbilder gemäß Abb. 110 bestimmt wird. Die Vergleichsbilder beziehen die Risslänge mit ein. Die Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Rissmenge ist Abb. 111 zu entnehmen.

Der Einheitsskalenwert ESW_2 des Merkmalsaspekts **Rissbreite** berücksichtigt die Breite der Risse, welche in Anlehnung an die Unterteilung nach DIN EN ISO 4628-4 differenziert werden (vgl. Abb. 112). Rissbreiten von 0,3 bis 0,4 mm können bereits bei Stahlbeton zu Korrosionsschäden der Bewehrung führen, weil Feuchtigkeit und Luftsauerstoff in ausreichenden Mengen eindringen kann.⁴¹¹ Bei stark korrosionsfördernden Einflüssen können schon ab einer Rissbreite von 0,1 mm Korrosionsschäden auftreten.⁴¹²

Der Einheitsskalenwert ESW_3 des Merkmalsaspekts **Risstiefe** berücksichtigt die in Abhängigkeit zur Bauelementdicke vorliegende Tiefe der Risse. Die Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Risstiefe wird in Anlehnung an die DIN EN ISO 4628-4 gemäß Abb. 113 vorgenommen.

Der Einheitsskalenwert ESW_4 des Merkmalsaspekts **Rissbild** berücksichtigt die aufgrund unterschiedlicher Ursachen hervorgerufenen Rissbilder. Eine Auswahl von Rissbildern ist in Abb. 114, Abb. 115 und Abb. 116 dargestellt. Die Zuordnung der Rissbilder zur Einheitsskala wird nach Expertenbeurteilung entsprechend der Schwere ihrer Ursachen und der damit verbundenen Ursachenbehebung gemäß Abb. 117 vorgenommen.⁴¹³

⁴¹¹ Vgl. PILNY, F.: Risse und Fugen in Bauwerken. Wien : Springer-Verlag, 1981, S. 122

⁴¹² Vgl. WESCHE, K.: Baustoffe für tragende Bauteile – Band 3: Stahl, Aluminium. Wiesbaden : Bauverlag, 1985, S. 237

⁴¹³ Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

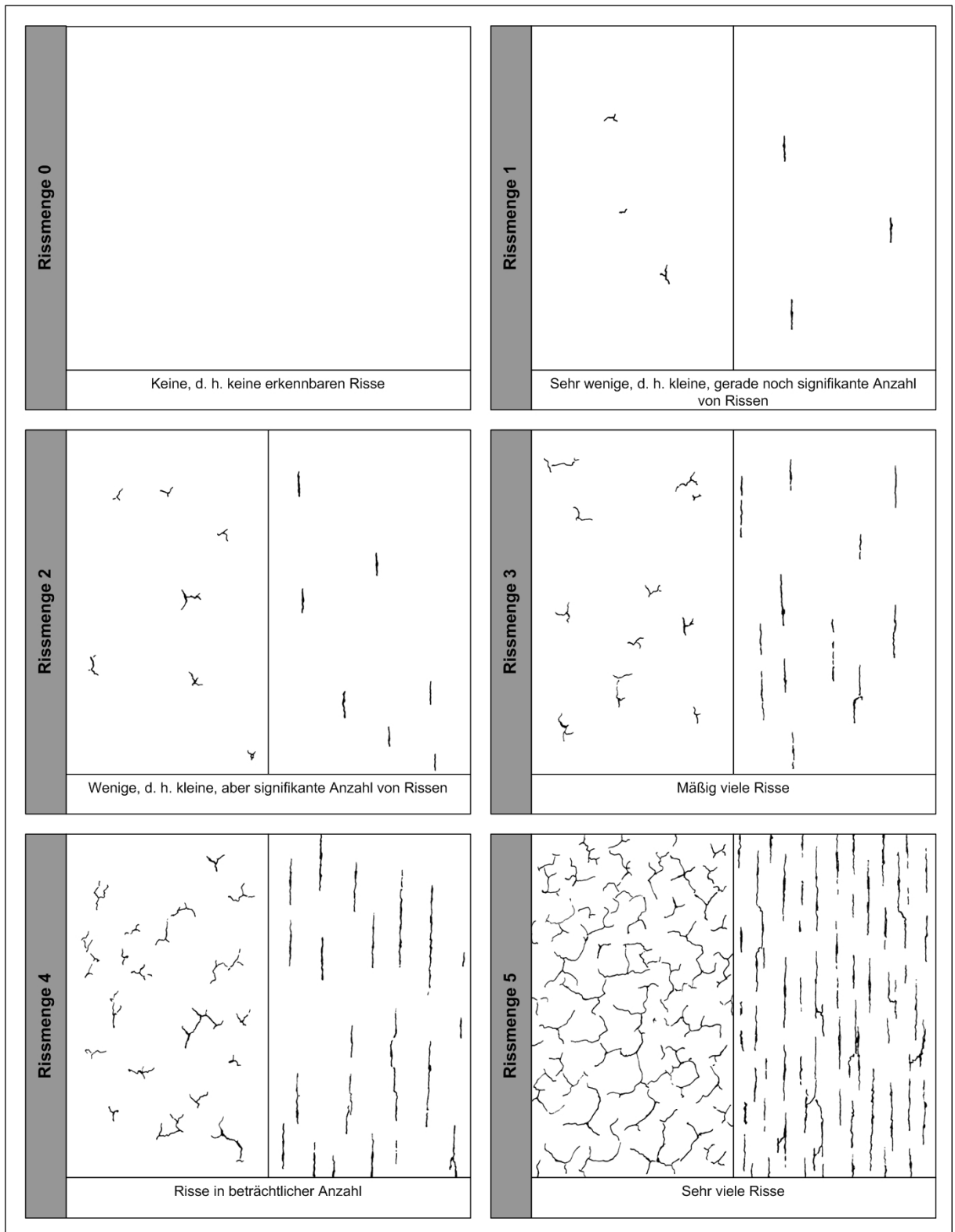


Abb. 110: Grafische Darstellung des Merkmalsaspekts Rissmenge des Abnutzungsmerkmals Riss (nicht maßstabsgetreu)⁴¹⁴

⁴¹⁴ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-4 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 4: Bewertung des Rissgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004, S. 7 f.

| Merkmalsaspekt Rissmenge des Abnutzungsmerkmals Riss | | |
|--|---|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert |
| Rissmenge gemäß DIN EN ISO 4628-4 | 0 | 0,00 |
| | 1 | 0,20 |
| | 2 | 0,40 |
| | 3 | 0,60 |
| | 4 | 0,80 |
| | 5 | 1,00 |

Abb. 111: Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Rissmenge des Abnutzungsmerkmals Riss⁴¹⁵

| Merkmalsaspekt Rissbreite des Abnutzungsmerkmals Riss | | | | |
|---|---|---|------------|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA [mm] | | | | Einheitsskalenwert |
| Kennwert gemäß DIN EN ISO 4628-4 | 0 | Keine sichtbaren Risse bei 10facher Vergrößerung | 0 | 0,00 |
| | 1 | Nur bei bis zu 10facher Vergrößerung sichtbare Risse |]0, 0,1] | 0,20 |
| | 2 | Gerade sichtbare Risse mit bloßem Auge (auf Normalsichtigkeit korrigiertes Sehvermögen) |]0,1, 0,2] | 0,40 |
| | 3 | Deutlich sichtbare Risse mit bloßem Auge (auf Normalsichtigkeit korrigiertes Sehvermögen) |]0,2, 0,4] | 0,60 |
| | 4 | Breite Risse, bis zu 1 mm breit |]0,4, 1] | 0,80 |
| | 5 | Sehr breite Risse, mehr als 1 mm breit |]1, ∞[| 1,00 |

Abb. 112: Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Rissbreite des Abnutzungsmerkmals Riss⁴¹⁶

⁴¹⁵ Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

⁴¹⁶ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-4 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 4: Bewertung des Rissgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004, S. 4; RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, S. 73; FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 33; Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

| Merkmalsaspekt Risstiefe des Abnutzungsmerkmals Riss | | | |
|---|-------------------------------------|--------------------|---|
| Risstiefe gemäß DIN EN ISO 4628-4 | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | |
| Kein Riss | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ | 0 | 0,00 |
| Oberflächenrisse, die nicht durch das gesamte Bauelement hindurchgehen | |]0, 30] | 0,20 |
| | |]30, 100[| 0,60 |
| Risse, die durch das gesamte Bauelement hindurchgehen | | 100 | 1,00 |
| Risse, die durch das gesamte Bauelement und angrenzende Bauelemente hindurchgehen | |]100, ∞[| Berücksichtigung erfolgt im angrenzenden Bauelement |
| W_1 = Risstiefe W_2 = Bauelementdicke | | | |

Abb. 113: Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Risstiefe des Abnutzungsmerkmals Riss⁴¹⁷

In dieser Arbeit werden die vier in der Berechnungsgrundlage gemäß Abb. 109 angesetzten Merkmalsaspekte als gleichberechtigt angesehen. Somit erhalten sie die Gewichtungsfaktoren $G_1 = G_2 = G_3 = G_4 = 0,25$.⁴¹⁸ Die Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für die vier Merkmalsaspekte ist Abb. 111, Abb. 112, Abb. 113 und Abb. 117 zu entnehmen. Die Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Riss wird in Abb. 125 dargestellt.

⁴¹⁷ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-4 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 4: Bewertung des Rissgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004, S. 5; Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

⁴¹⁸ Die Gewichtung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

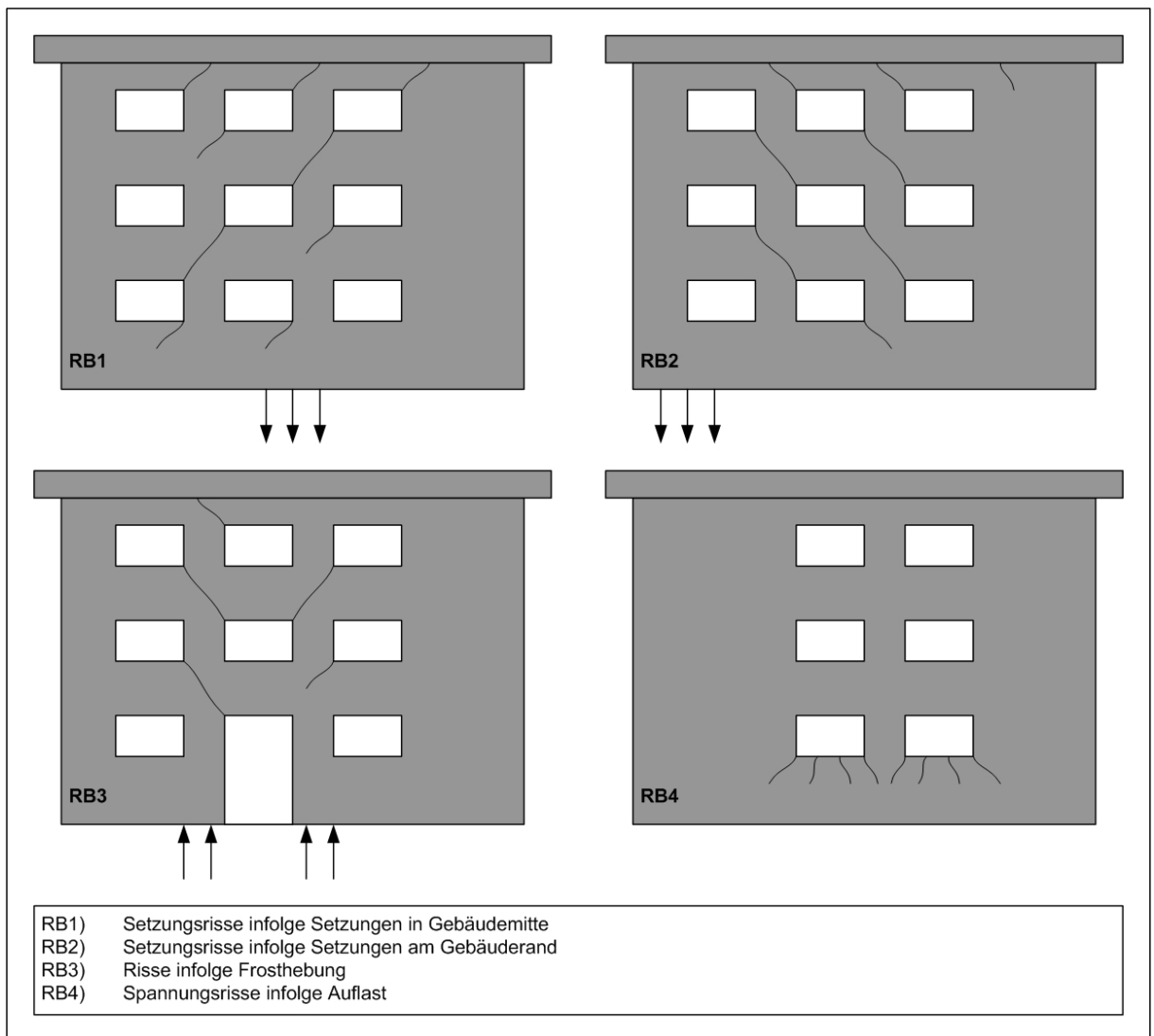


Abb. 114: Grafische Darstellung des Merkmalsaspekts Rissbild des Abnutzungsmerkmals Riss (1 von 3)⁴¹⁹

⁴¹⁹ Vgl. PILNY, F.: Risse und Fugen in Bauwerken. Wien : Springer-Verlag, 1981, S. 129; HANKAMMER, G.: Schäden an Gebäuden – Erkennen und Beurteilen. Köln : Rudolf Müller, 2004, S. 82

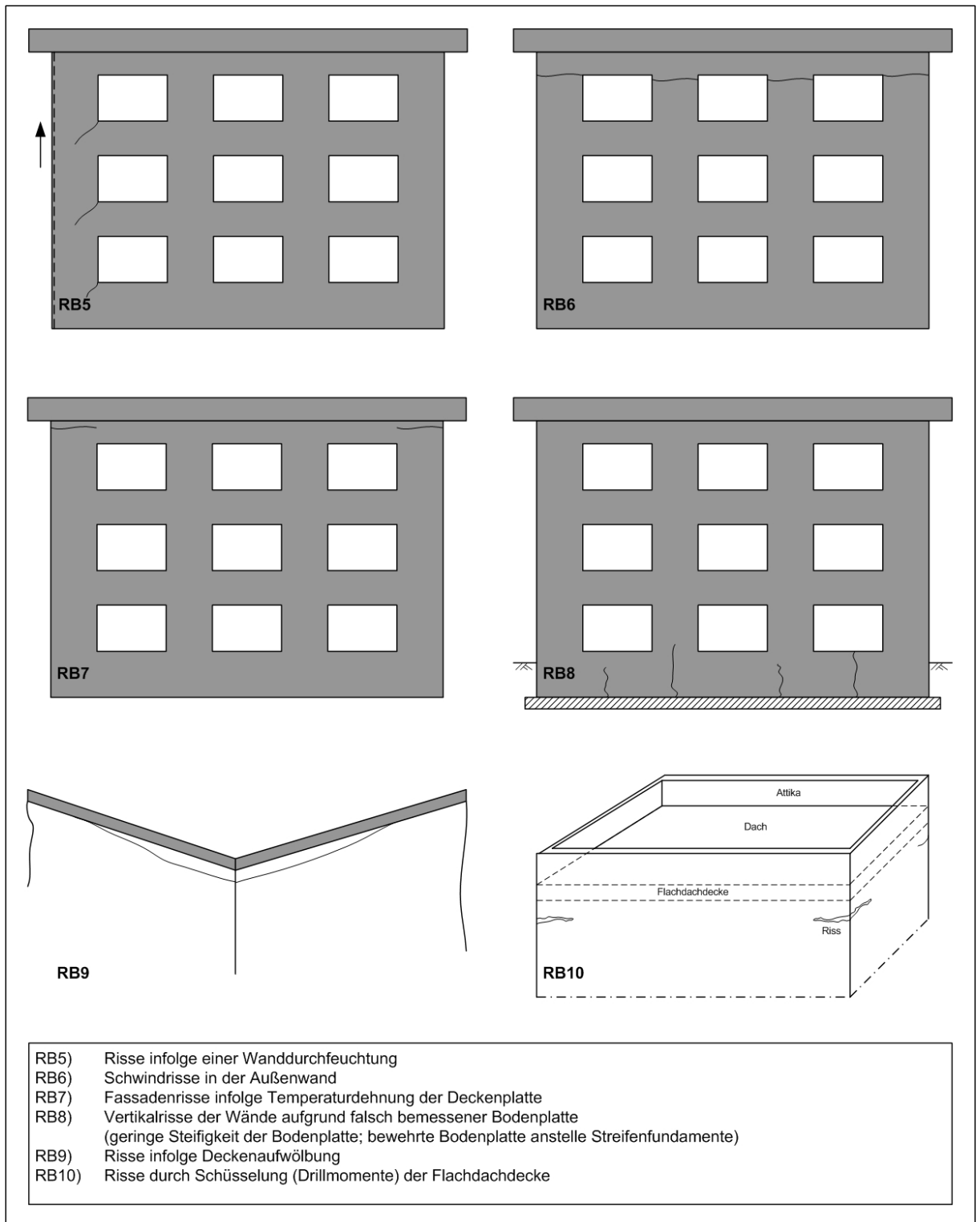


Abb. 115: Grafische Darstellung des Merkmalsaspekts Rissbild des Abnutzungsmerkmals Riss (2 von 3)⁴²⁰

⁴²⁰ Vgl. PILNY, F.: Risse und Fugen in Bauwerken. Wien : Springer-Verlag, 1981, S. 129; MOSCHIG, G. F.: Bau-
sanierung – Grundlagen, Planung, Durchführung. 2. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2004, S. 240; SCHOLZ D.: Typi-
sche Baufehler – erkennen – vermeiden – beheben. Köln : Rudolf Müller, 2002, S. 94

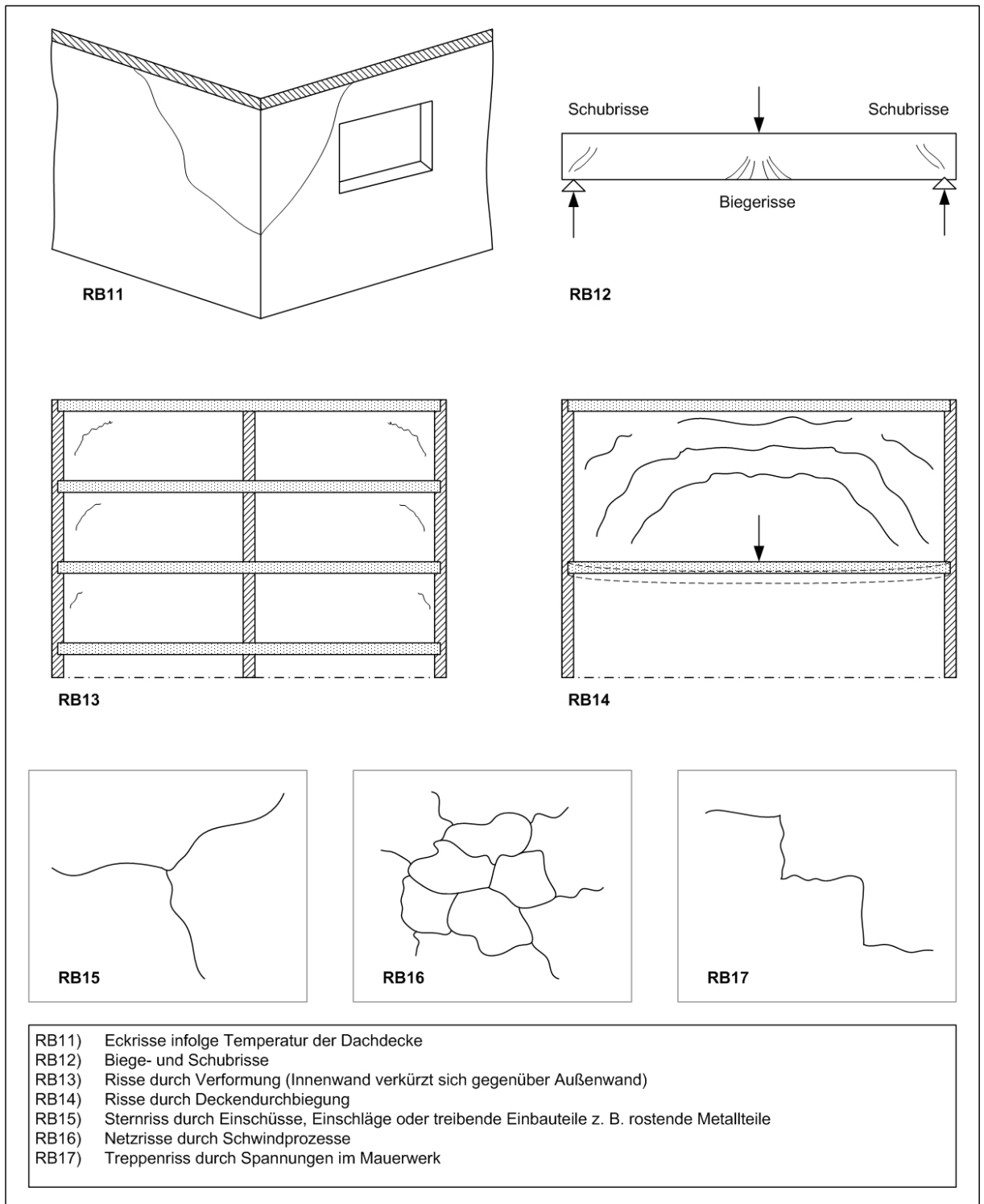


Abb. 116: Grafische Darstellung des Merkmalsaspekts Rissbild des Abnutzungsmerkmals Riss (3 von 3)⁴²¹

⁴²¹ Vgl. PILNY, F.: Risse und Fugen in Bauwerken. Wien : Springer-Verlag, 1981, S. 128; SCHOLZ D.: Typische Baufehler – erkennen – vermeiden – beheben. Köln : Rudolf Müller, 2002, S. 154, S. 156; ZIMMERMANN, G. (Hrsg.): Schäden an polymeren Beschichtungen. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2001, S. 67

| Merkmalsaspekt Rissbild des Abnutzungsmerkmals Riss | | | |
|---|--|--|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA | | | Einheitsskalenwert |
| Rissbild | Kein Riss | K. A. | 0,00 |
| | Rissursache kann mit mäßigem Aufwand behoben werden | RB5, RB15 | 0,20 |
| | Rissursache kann mit hohem Aufwand behoben werden | RB4, RB6, RB7, RB9, RB10, RB11, RB12, RB13, RB14, RB16, RB17 | 0,60 |
| | Rissursache kann nur mit sehr hohem Aufwand behoben werden | RB1, RB2, RB3, RB8 | 1,00 |

Abb. 117: Wertezuordnung zur Einheitsskala für den Merkmalsaspekt Rissbild des Abnutzungsmerkmals Riss⁴²²

Den Kombinationsmöglichkeiten der vier Merkmalsaspekte und den sich daraus ergebenden Werten der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) werden abhängig von ihrem Wert gemäß Abb. 118 bis Abb. 124 entsprechende Merkmalsausprägungsbereiche zugeordnet. Damit kann die Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Riss gemäß Abb. 125 erfolgen.

| Merkmalsaspekt Rissmenge ESW ₁ | Merkmalsaspekt Rissbreite ESW ₂ | Merkmalsaspekt Risstiefe ESW ₃ | Merkmalsaspekt Rissbild ESW ₄ | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA _{komb} | Bereich der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
|---|--|---|--|---|--|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 |]0, 0,2] |

| | | | | | |
|--|--------|--|------------|--|-----------|
| | null | | sehr klein | | klein |
| | mittel | | hoch | | sehr hoch |

Abb. 118: Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Riss (1 von 7)⁴²³

⁴²² Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

⁴²³ Die Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) erfolgt nach der Berechnung gemäß Abb. 109.

| Merkmals- aspekt Riss- menge ESW ₁ | Merkmals- aspekt Riss- breite ESW ₂ | Merkmals- aspekt Riss- tiefe ESW ₃ | Merkmals- aspekt Riss- bild ESW ₄ | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA _{komb} | Bereich der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
|---|--|---|--|---|--|
| 0,20 | 0,40 | 0,20 | 0,20 | 0,25 |]0,2, 0,4] |
| 0,40 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,25 | |
| 0,20 | 0,20 | 0,60 | 0,20 | 0,30 | |
| 0,20 | 0,60 | 0,20 | 0,20 | 0,30 | |
| 0,40 | 0,40 | 0,20 | 0,20 | 0,30 | |
| 0,60 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,30 | |
| 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,60 | 0,30 | |
| 0,20 | 0,40 | 0,20 | 0,60 | 0,35 | |
| 0,20 | 0,80 | 0,20 | 0,20 | 0,35 | |
| 0,40 | 0,20 | 0,20 | 0,60 | 0,35 | |
| 0,40 | 0,60 | 0,20 | 0,20 | 0,35 | |
| 0,60 | 0,40 | 0,20 | 0,20 | 0,35 | |
| 0,80 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,35 | |
| 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,20 | 0,35 | |
| 0,40 | 0,20 | 0,60 | 0,20 | 0,35 | |
| 0,20 | 0,20 | 1,00 | 0,20 | 0,40 | |
| 0,20 | 0,60 | 0,60 | 0,20 | 0,40 | |
| 0,20 | 1,00 | 0,20 | 0,20 | 0,40 | |
| 0,40 | 0,40 | 0,60 | 0,20 | 0,40 | |
| 0,60 | 0,20 | 0,60 | 0,20 | 0,40 | |
| 0,60 | 0,60 | 0,20 | 0,20 | 0,40 | |
| 1,00 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,40 | |
| 0,20 | 0,20 | 0,20 | 1,00 | 0,40 | |
| 0,20 | 0,20 | 0,60 | 0,60 | 0,40 | |
| 0,20 | 0,60 | 0,20 | 0,60 | 0,40 | |
| 0,40 | 0,40 | 0,20 | 0,60 | 0,40 | |
| 0,40 | 0,80 | 0,20 | 0,20 | 0,40 | |
| 0,60 | 0,20 | 0,20 | 0,60 | 0,40 | |
| 0,80 | 0,40 | 0,20 | 0,20 | 0,40 | |
| 0,20 | 0,80 | 0,20 | 0,60 | 0,45 | |
| 0,40 | 0,60 | 0,20 | 0,60 | 0,45 | |
| 0,40 | 1,00 | 0,20 | 0,20 | 0,45 | |
| 0,60 | 0,40 | 0,20 | 0,60 | 0,45 | |
| 0,60 | 0,80 | 0,20 | 0,20 | 0,45 | |
| 0,80 | 0,20 | 0,20 | 0,60 | 0,45 | |
| 0,80 | 0,60 | 0,20 | 0,20 | 0,45 | |
| 1,00 | 0,40 | 0,20 | 0,20 | 0,45 | |
| 0,20 | 0,40 | 0,20 | 1,00 | 0,45 | |
| 0,20 | 0,40 | 1,00 | 0,20 | 0,45 | |
| 0,20 | 0,80 | 0,60 | 0,20 | 0,45 | |
| 0,40 | 0,20 | 0,20 | 1,00 | 0,45 | |
| 0,40 | 0,20 | 1,00 | 0,20 | 0,45 | |

| | | |
|--|--|---|
| null | sehr klein | klein |
| mittel | hoch | sehr hoch |

Abb. 119: Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Riss (2 von 7)⁴²⁴

⁴²⁴ Die Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) erfolgt nach der Berechnung gemäß Abb. 109.

| Merkmals- aspekt Riss- menge ESW ₁ | Merkmals- aspekt Riss- breite ESW ₂ | Merkmals- aspekt Riss- tiefe ESW ₃ | Merkmals- aspekt Riss- bild ESW ₄ | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA _{komb} | Bereich der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
|---|--|---|--|---|--|
| 0,40 | 0,60 | 0,60 | 0,20 | 0,45 |]0,4, 0,6] |
| 0,60 | 0,40 | 0,60 | 0,20 | 0,45 | |
| 0,80 | 0,20 | 0,60 | 0,20 | 0,45 | |
| 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,60 | 0,45 | |
| 0,40 | 0,20 | 0,60 | 0,60 | 0,45 | |
| 0,20 | 1,00 | 0,60 | 0,20 | 0,50 | |
| 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,20 | 0,50 | |
| 1,00 | 0,20 | 0,60 | 0,20 | 0,50 | |
| 0,20 | 0,20 | 0,60 | 1,00 | 0,50 | |
| 0,20 | 0,20 | 1,00 | 0,60 | 0,50 | |
| 0,20 | 0,60 | 0,20 | 1,00 | 0,50 | |
| 0,20 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,50 | |
| 0,20 | 0,60 | 1,00 | 0,20 | 0,50 | |
| 0,20 | 1,00 | 0,20 | 0,60 | 0,50 | |
| 0,40 | 0,40 | 0,20 | 1,00 | 0,50 | |
| 0,40 | 0,40 | 0,60 | 0,60 | 0,50 | |
| 0,40 | 0,40 | 1,00 | 0,20 | 0,50 | |
| 0,40 | 0,80 | 0,20 | 0,60 | 0,50 | |
| 0,60 | 0,20 | 0,20 | 1,00 | 0,50 | |
| 0,60 | 0,20 | 0,60 | 0,60 | 0,50 | |
| 0,60 | 0,20 | 1,00 | 0,20 | 0,50 | |
| 0,60 | 0,60 | 0,20 | 0,60 | 0,50 | |
| 0,60 | 1,00 | 0,20 | 0,20 | 0,50 | |
| 0,80 | 0,40 | 0,20 | 0,60 | 0,50 | |
| 0,80 | 0,80 | 0,20 | 0,20 | 0,50 | |
| 1,00 | 0,20 | 0,20 | 0,60 | 0,50 | |
| 1,00 | 0,60 | 0,20 | 0,20 | 0,50 | |
| 0,40 | 0,80 | 0,60 | 0,20 | 0,50 | |
| 0,80 | 0,40 | 0,60 | 0,20 | 0,50 | |
| 0,40 | 1,00 | 0,20 | 0,60 | 0,55 | |
| 0,60 | 0,80 | 0,20 | 0,60 | 0,55 | |
| 0,80 | 0,60 | 0,20 | 0,60 | 0,55 | |
| 1,00 | 0,40 | 0,20 | 0,60 | 0,55 | |
| 0,20 | 0,40 | 0,60 | 1,00 | 0,55 | |
| 0,20 | 0,40 | 1,00 | 0,60 | 0,55 | |
| 0,20 | 0,80 | 0,20 | 1,00 | 0,55 | |
| 0,20 | 0,80 | 0,60 | 0,60 | 0,55 | |
| 0,20 | 0,80 | 1,00 | 0,20 | 0,55 | |
| 0,40 | 0,20 | 0,60 | 1,00 | 0,55 | |
| 0,40 | 0,20 | 1,00 | 0,60 | 0,55 | |
| 0,40 | 0,60 | 0,20 | 1,00 | 0,55 | |
| 0,40 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,55 | |

| | | | | | |
|--|--------|--|------------|--|-----------|
| | null | | sehr klein | | klein |
| | mittel | | hoch | | sehr hoch |

Abb. 120: Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Riss (3 von 7)⁴²⁵

⁴²⁵ Die Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) erfolgt nach der Berechnung gemäß Abb. 109.

| Merkmals- aspekt Riss- menge ESW ₁ | Merkmals- aspekt Riss- breite ESW ₂ | Merkmals- aspekt Riss- tiefe ESW ₃ | Merkmals- aspekt Riss- bild ESW ₄ | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA _{komb} | Bereich der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
|---|--|---|--|---|--|
| 0,40 | 0,60 | 1,00 | 0,20 | 0,55 |]0,4, 0,6] |
| 0,40 | 1,00 | 0,60 | 0,20 | 0,55 | |
| 0,60 | 0,40 | 0,20 | 1,00 | 0,55 | |
| 0,60 | 0,40 | 0,60 | 0,60 | 0,55 | |
| 0,60 | 0,40 | 1,00 | 0,20 | 0,55 | |
| 0,60 | 0,80 | 0,60 | 0,20 | 0,55 | |
| 0,80 | 0,20 | 0,20 | 1,00 | 0,55 | |
| 0,80 | 0,20 | 0,60 | 0,60 | 0,55 | |
| 0,80 | 0,20 | 1,00 | 0,20 | 0,55 | |
| 0,80 | 0,60 | 0,60 | 0,20 | 0,55 | |
| 0,80 | 1,00 | 0,20 | 0,20 | 0,55 | |
| 1,00 | 0,40 | 0,60 | 0,20 | 0,55 | |
| 1,00 | 0,80 | 0,20 | 0,20 | 0,55 | |
| 0,20 | 0,20 | 1,00 | 1,00 | 0,60 | |
| 0,20 | 0,60 | 0,60 | 1,00 | 0,60 | |
| 0,20 | 0,60 | 1,00 | 0,60 | 0,60 | |
| 0,20 | 1,00 | 0,20 | 1,00 | 0,60 | |
| 0,20 | 1,00 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | |
| 0,40 | 0,40 | 0,60 | 1,00 | 0,60 | |
| 0,40 | 0,40 | 1,00 | 0,60 | 0,60 | |
| 0,60 | 0,20 | 0,60 | 1,00 | 0,60 | |
| 0,60 | 0,20 | 1,00 | 0,60 | 0,60 | |
| 0,60 | 0,60 | 0,20 | 1,00 | 0,60 | |
| 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | |
| 0,60 | 1,00 | 0,20 | 0,60 | 0,60 | |
| 0,80 | 0,80 | 0,20 | 0,60 | 0,60 | |
| 1,00 | 0,20 | 0,20 | 1,00 | 0,60 | |
| 1,00 | 0,20 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | |
| 1,00 | 0,60 | 0,20 | 0,60 | 0,60 | |
| 0,20 | 1,00 | 1,00 | 0,20 | 0,60 | |
| 0,40 | 0,80 | 0,20 | 1,00 | 0,60 | |
| 0,40 | 0,80 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | |
| 0,40 | 0,80 | 1,00 | 0,20 | 0,60 | |
| 0,60 | 0,60 | 1,00 | 0,20 | 0,60 | |
| 0,60 | 1,00 | 0,60 | 0,20 | 0,60 | |
| 0,80 | 0,40 | 0,20 | 1,00 | 0,60 | |
| 0,80 | 0,40 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | |
| 0,80 | 0,40 | 1,00 | 0,20 | 0,60 | |
| 0,80 | 0,80 | 0,60 | 0,20 | 0,60 | |
| 1,00 | 0,20 | 1,00 | 0,20 | 0,60 | |
| 1,00 | 0,60 | 0,60 | 0,20 | 0,60 | |
| 1,00 | 1,00 | 0,20 | 0,20 | 0,60 | |

| | | | | | |
|--|--------|--|------------|--|-----------|
| | null | | sehr klein | | klein |
| | mittel | | hoch | | sehr hoch |

Abb. 121: Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Riss (4 von 7)⁴²⁶

⁴²⁶ Die Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) erfolgt nach der Berechnung gemäß Abb. 109.

| Merkmals- aspekt Riss- menge ESW ₁ | Merkmals- aspekt Riss- breite ESW ₂ | Merkmals- aspekt Riss- tiefe ESW ₃ | Merkmals- aspekt Riss- bild ESW ₄ | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA _{komb} | Bereich der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
|---|--|---|--|---|--|
| 0,40 | 1,00 | 0,20 | 1,00 | 0,65 |]0,6, 0,8] |
| 0,60 | 0,80 | 0,20 | 1,00 | 0,65 | |
| 0,80 | 0,60 | 0,20 | 1,00 | 0,65 | |
| 1,00 | 0,40 | 0,20 | 1,00 | 0,65 | |
| 0,20 | 0,40 | 1,00 | 1,00 | 0,65 | |
| 0,20 | 0,80 | 0,60 | 1,00 | 0,65 | |
| 0,20 | 0,80 | 1,00 | 0,60 | 0,65 | |
| 0,40 | 0,20 | 1,00 | 1,00 | 0,65 | |
| 0,40 | 0,60 | 0,60 | 1,00 | 0,65 | |
| 0,40 | 0,60 | 1,00 | 0,60 | 0,65 | |
| 0,40 | 1,00 | 0,60 | 0,60 | 0,65 | |
| 0,40 | 1,00 | 1,00 | 0,20 | 0,65 | |
| 0,60 | 0,40 | 0,60 | 1,00 | 0,65 | |
| 0,60 | 0,40 | 1,00 | 0,60 | 0,65 | |
| 0,60 | 0,80 | 0,60 | 0,60 | 0,65 | |
| 0,60 | 0,80 | 1,00 | 0,20 | 0,65 | |
| 0,80 | 0,20 | 0,60 | 1,00 | 0,65 | |
| 0,80 | 0,20 | 1,00 | 0,60 | 0,65 | |
| 0,80 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,65 | |
| 0,80 | 0,60 | 1,00 | 0,20 | 0,65 | |
| 0,80 | 1,00 | 0,20 | 0,60 | 0,65 | |
| 0,80 | 1,00 | 0,60 | 0,20 | 0,65 | |
| 1,00 | 0,40 | 0,60 | 0,60 | 0,65 | |
| 1,00 | 0,40 | 1,00 | 0,20 | 0,65 | |
| 1,00 | 0,80 | 0,20 | 0,60 | 0,65 | |
| 1,00 | 0,80 | 0,60 | 0,20 | 0,65 | |
| 0,20 | 0,60 | 1,00 | 1,00 | 0,70 | |
| 0,20 | 1,00 | 0,60 | 1,00 | 0,70 | |
| 0,40 | 0,40 | 1,00 | 1,00 | 0,70 | |
| 0,60 | 0,20 | 1,00 | 1,00 | 0,70 | |
| 0,60 | 0,60 | 0,60 | 1,00 | 0,70 | |
| 0,60 | 1,00 | 0,20 | 1,00 | 0,70 | |
| 0,80 | 0,80 | 0,20 | 1,00 | 0,70 | |
| 1,00 | 0,20 | 0,60 | 1,00 | 0,70 | |
| 1,00 | 0,60 | 0,20 | 1,00 | 0,70 | |
| 0,20 | 1,00 | 1,00 | 0,60 | 0,70 | |
| 0,40 | 0,80 | 0,60 | 1,00 | 0,70 | |
| 0,40 | 0,80 | 1,00 | 0,60 | 0,70 | |
| 0,60 | 0,60 | 1,00 | 0,60 | 0,70 | |
| 0,60 | 1,00 | 0,60 | 0,60 | 0,70 | |
| 0,60 | 1,00 | 1,00 | 0,20 | 0,70 | |
| 0,80 | 0,40 | 0,60 | 1,00 | 0,70 | |

null
 sehr klein
 klein

mittel
 hoch
 sehr hoch

Abb. 122: Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Riss (5 von 7)⁴²⁷

⁴²⁷ Die Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) erfolgt nach der Berechnung gemäß Abb. 109.

| Merkmals- aspekt Riss- menge ESW ₁ | Merkmals- aspekt Riss- breite ESW ₂ | Merkmals- aspekt Riss- tiefe ESW ₃ | Merkmals- aspekt Riss- bild ESW ₄ | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA _{komb} | Bereich der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
|---|--|---|--|---|--|
| 0,80 | 0,40 | 1,00 | 0,60 | 0,70 |]0,6, 0,8] |
| 0,80 | 0,80 | 0,60 | 0,60 | 0,70 | |
| 0,80 | 0,80 | 1,00 | 0,20 | 0,70 | |
| 1,00 | 0,20 | 1,00 | 0,60 | 0,70 | |
| 1,00 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,70 | |
| 1,00 | 0,60 | 1,00 | 0,20 | 0,70 | |
| 1,00 | 1,00 | 0,20 | 0,60 | 0,70 | |
| 1,00 | 1,00 | 0,60 | 0,20 | 0,70 | |
| 0,20 | 0,80 | 1,00 | 1,00 | 0,75 | |
| 0,40 | 0,60 | 1,00 | 1,00 | 0,75 | |
| 0,40 | 1,00 | 0,60 | 1,00 | 0,75 | |
| 0,40 | 1,00 | 1,00 | 0,60 | 0,75 | |
| 0,60 | 0,40 | 1,00 | 1,00 | 0,75 | |
| 0,60 | 0,80 | 0,60 | 1,00 | 0,75 | |
| 0,60 | 0,80 | 1,00 | 0,60 | 0,75 | |
| 0,80 | 0,20 | 1,00 | 1,00 | 0,75 | |
| 0,80 | 0,60 | 0,60 | 1,00 | 0,75 | |
| 0,80 | 0,60 | 1,00 | 0,60 | 0,75 | |
| 0,80 | 1,00 | 0,20 | 1,00 | 0,75 | |
| 0,80 | 1,00 | 0,60 | 0,60 | 0,75 | |
| 0,80 | 1,00 | 1,00 | 0,20 | 0,75 | |
| 1,00 | 0,40 | 0,60 | 1,00 | 0,75 | |
| 1,00 | 0,40 | 1,00 | 0,60 | 0,75 | |
| 1,00 | 0,80 | 0,20 | 1,00 | 0,75 | |
| 1,00 | 0,80 | 0,60 | 0,60 | 0,75 | |
| 1,00 | 0,80 | 1,00 | 0,20 | 0,75 | |
| 0,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,80 | |
| 0,40 | 0,80 | 1,00 | 1,00 | 0,80 | |
| 0,60 | 0,60 | 1,00 | 1,00 | 0,80 | |
| 0,60 | 1,00 | 0,60 | 1,00 | 0,80 | |
| 0,60 | 1,00 | 1,00 | 0,60 | 0,80 | |
| 0,80 | 0,40 | 1,00 | 1,00 | 0,80 | |
| 0,80 | 0,80 | 0,60 | 1,00 | 0,80 | |
| 0,80 | 0,80 | 1,00 | 0,60 | 0,80 | |
| 1,00 | 0,20 | 1,00 | 1,00 | 0,80 | |
| 1,00 | 0,60 | 0,60 | 1,00 | 0,80 | |
| 1,00 | 0,60 | 1,00 | 0,60 | 0,80 | |
| 1,00 | 1,00 | 0,20 | 1,00 | 0,80 | |
| 1,00 | 1,00 | 0,60 | 0,60 | 0,80 | |
| 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,20 | 0,80 | |

null
 sehr klein
 klein

 mittel
 hoch
 sehr hoch

Abb. 123: Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Riss (6 von 7)⁴²⁸

⁴²⁸ Die Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) erfolgt nach der Berechnung gemäß Abb. 109.

| Merkmals- aspekt Riss- menge ESW ₁ | Merkmals- aspekt Riss- breite ESW ₂ | Merkmals- aspekt Riss- tiefe ESW ₃ | Merkmals- aspekt Riss- bild ESW ₄ | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA _{komb} | Bereich der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
|---|--|---|--|---|--|
| 0,40 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,85 |]0,8, 1] |
| 0,60 | 0,80 | 1,00 | 1,00 | 0,85 | |
| 0,80 | 0,60 | 1,00 | 1,00 | 0,85 | |
| 0,80 | 1,00 | 0,60 | 1,00 | 0,85 | |
| 0,80 | 1,00 | 1,00 | 0,60 | 0,85 | |
| 1,00 | 0,40 | 1,00 | 1,00 | 0,85 | |
| 1,00 | 0,80 | 0,60 | 1,00 | 0,85 | |
| 1,00 | 0,80 | 1,00 | 0,60 | 0,85 | |
| 0,60 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,90 | |
| 0,80 | 0,80 | 1,00 | 1,00 | 0,90 | |
| 1,00 | 0,60 | 1,00 | 1,00 | 0,90 | |
| 1,00 | 1,00 | 0,60 | 1,00 | 0,90 | |
| 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,60 | 0,90 | |
| 0,80 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,95 | |
| 1,00 | 0,80 | 1,00 | 1,00 | 0,95 | |
| 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | |

null
 sehr klein
 klein
 mittel
 hoch
 sehr hoch

Abb. 124: Zuordnung der Merkmalsausprägungen (kombinierter Wert) zu Merkmalsausprägungsbereichen des Abnutzungsmerkmals Riss (7 von 7)⁴²⁹

⁴²⁹ Die Ermittlung der Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) erfolgt nach der Berechnung gemäß Abb. 109.

| Abnutzungsmerkmal Riss | | |
|--|--------------------|------|
| Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | |
| $MA_{\text{komb}} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2 + ESW_3 \cdot G_3 + ESW_4 \cdot G_4$ | 0 | 0,00 |
| |]0, 0,2] | 0,20 |
| |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| |]0,8, 1] | 1,00 |

| | | |
|--------------------|---|---|
| MA_{komb} | = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) |
| ESW_1 | = | Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Rissmenge |
| ESW_2 | = | Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Rissbreite |
| ESW_3 | = | Einheitsskalenwert 3 des Merkmalsaspekts Risstiefe |
| ESW_4 | = | Einheitsskalenwert 4 des Merkmalsaspekts Rissbild |
| G_1 | = | Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) |
| G_2 | = | Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,25$) |
| G_3 | = | Gewichtungsfaktor 3 (mit $G_3 = 0,25$) |
| G_4 | = | Gewichtungsfaktor 4 (mit $G_4 = 0,25$) |

Abb. 125: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Riss⁴³⁰

⁴³⁰ Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

3.3.2.8 Abnutzungsmerkmal Schallschutz

Die **Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Schallschutz** erfolgt mit Hilfe der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen zum Schallschutz wie der DIN 4109⁴³¹, in denen u. a. Vorgaben zu den erforderlichen Luft- und Trittschalldämmungen zum Schutz gegen Schallübertragung gegeben werden.⁴³² Ein Auszug aus der DIN 4109 zeigt Abb. 126.

| Bauteile | Anforderungen | | Bemerkungen |
|---|---------------------|-------------------------|--|
| | erf. R'_w [dB] | erf. $L'_{n,w}$ [dB] | |
| Decken unter allgemein nutzbaren Dachräumen, z. B. Trockenböden, Abstellräumen und ihren Zugängen | 53 | 53 | Bei Gebäuden mit nicht mehr als 2 Wohnungen betragen die Anforderungen erf. $R'_w = 52$ dB und erf. $L'_{n,w} = 63$ dB. |
| Wohnungstrenndecken (auch -treppen) und Decken zwischen fremden Arbeitsräumen bzw. vergleichbaren Nutzungseinheiten | 54 | 53 | Wohnungstrenndecken sind Bauteile, die Wohnungen voneinander oder von fremden Arbeitsräumen trennen. Bei den Gebäuden mit nicht mehr als 2 Wohnungen beträgt die Anforderung erf. $R'_w = 52$ dB. ... |
| ... | ... | ... | ... |

erf. R'_w ist das bewertete Schalldämm-Maß mit Schallübertragung über flankierende Bauteile
erf. $L'_{n,w}$ ist der bewertete Norm-Trittschallpegel

Abb. 126: Auszug aus der DIN 4109 für die erforderliche Luft- und Trittschalldämmung⁴³³

Ist die Erfüllung des Schallschutzes zu 100 % gewährleistet, d. h., es findet bspw. keine Abweichung (Verschlechterung) vom geforderten Schalldämm-Maß R'_w statt, wird der Einheitsskalenwert der Merkmalsausprägung von 0,00 angesetzt. Bei Nichteinhaltung des geforderten Schalldämm-Maßes R'_w werden die Merkmalsausprägungen gemäß Abb. 127 der Einheitsskala zugeordnet.

⁴³¹ DIN (Hrsg.): DIN 4109 – Schallschutz im Hochbau – Anforderungen und Nachweise. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 11-1989

⁴³² Weitere Normen, Vorschriften und Verordnungen s. BUNDESVERBAND KALKSANDSTEININDUSTRIE (Hrsg.): Kalksandstein, Planung, Konstruktion, Ausführung. 5. Aufl. Düsseldorf : Verlag Bau+Technik, 2009, Kapitel 14, S. 49

⁴³³ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN 4109 – Schallschutz im Hochbau – Anforderungen und Nachweise. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 11-1989, S. 3

| Abnutzungsmerkmal Schallschutz | | | | |
|---|------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA [%] | | | | Einheitsskalenwert |
| Einhaltung des Schallschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | Ja | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ | [100, ∞[| 0,00 |
| | Nein | | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ | [98, 100[|
| | | [94, 98[| | 0,40 |
| | | [86, 94[| | 0,60 |
| | | [70, 86[| | 0,80 |
| | | | [0, 70[| 1,00 |

| | | |
|-------|---|----------------------------|
| W_1 | = | Ist-Schalldämm-Maß |
| W_2 | = | gefordertes Schalldämm-Maß |

Abb. 127: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Schallschutz⁴³⁴

Schallschutz wird u. a. durch eine hohe flächenbezogene Masse (angegeben in kg/m^2) erreicht. Abb. 128 liefert eine Übersicht des bewerteten Schalldämm-Maßes $R'_{w,R}$ ⁴³⁵ für einschalige biegesteife Wände in Abhängigkeit zu dessen flächenbezogener Masse. Bei einer konstanten flächenbezogenen Masse⁴³⁶ verändert sich das Schalldämm-Maß $R'_{w,R}$ lediglich durch die Ab- bzw. Zunahme der Bauelementdicke (z. B. der Wandstärke). So hat bspw. eine 30 cm starke Wand aus Mauerwerk mit einer Rohdichte von $2,0 \text{ kg/dm}^3$ und einem beidseitigen Dünnlagenputz ein bewertetes Schalldämm-Maß $R'_{w,R}$ (ohne Berücksichtigung der Nebenwege) von 57 dB, während eine 20 cm starke Wand aus Mauerwerk mit einer Rohdichte von

⁴³⁴ Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

⁴³⁵ „R“ steht für Rechenwert. Vgl. BUNDESVERBAND KALKSANDSTEININDUSTRIE (Hrsg.): Kalksandstein, Planung, Konstruktion, Ausführung. 5. Aufl. Düsseldorf : Verlag Bau+Technik, 2009, Kapitel 14, S. 5

⁴³⁶ Die flächenbezogene Masse verändert sich im Laufe der Lebensdauer von Bauelementen i. d. R. nicht durch Abnutzung.

2,0 kg/dm³ und einem beidseitigen Dünnlagenputz ein bewertetes Schalldämm-Maß $R'_{w,R}$ (ohne Berücksichtigung der Nebenwege) von 52 dB hat.⁴³⁷

| Flächenbezogene Masse m' [kg/m ²] | Bewertetes Schalldämm-Maß $R'_{w,R}$ [dB] |
|--|--|
| ... | ... |
| 135 | 40 |
| 150 | 41 |
| 160 | 42 |
| 175 | 43 |
| 190 | 44 |
| 210 | 45 |
| 230 | 46 |
| 250 | 47 |
| 270 | 48 |
| 295 | 49 |
| 320 | 50 |
| 350 | 51 |
| 380 | 52 |
| 410 | 53 |
| 450 | 54 |
| 490 | 55 |
| 530 | 56 |
| 580 | 57 |
| ... | ... |

Abb. 128: Rechenwerte für das bewertete Schalldämm-Maß einschaliger biegesteifer Wände⁴³⁸

⁴³⁷ Vgl. BUNDESVERBAND KALKSANDSTEININDUSTRIE (Hrsg.): Kalksandstein, Planung, Konstruktion, Ausführung. 5. Aufl. Düsseldorf : Verlag Bau+Technik, 2009, Kapitel 14, S. 3

⁴³⁸ Vgl. DIN (Hrsg.): Beiblatt 1 zu DIN 4109 – Schallschutz im Hochbau – Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 11-1989, S. 3

3.3.2.9 Abnutzungsmerkmal Tragfähigkeitsverlust

Die **Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Tragfähigkeitsverlust** erfolgt mit Hilfe der Überprüfung zur Einhaltung der Tragfähigkeit gemäß Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen (vgl. u. a. DIN 1055⁴³⁹), Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen und a. a. R. d. T. Meist erfolgen ein Nachweis der Standsicherheit, Lage-sicherheit, Festigkeit bzw. Stabilität sowie ggf. eine Überprüfung gegenüber einer möglichen Materialermüdung.⁴⁴⁰

Neben den allgemein gültigen Normen finden speziell die folgenden Normen für die in dieser Arbeit aufgeführten Baustoffe Anwendung:

- DIN 1045⁴⁴¹ – Tragwerke aus Stahlbeton
- DIN 1052⁴⁴² – Tragwerke aus Holz
- DIN 1053-1⁴⁴³ – Tragwerke aus Mauerwerk (z. B. Baustoff Ziegel)
- DIN 1993-1-1⁴⁴⁴ – Tragwerke aus Stahl
- DIN 18800-1⁴⁴⁵ – Tragwerke aus Stahl.

⁴³⁹ DIN (Hrsg.): DIN 1055 – Einwirkungen auf Tragwerke. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

⁴⁴⁰ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN 1055-100 – Einwirkungen auf Tragwerke Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 03-2001, S. 19

⁴⁴¹ DIN (Hrsg.): DIN 1045 – Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 08-2008

⁴⁴² DIN (Hrsg.): DIN 1052 – Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 12-2008

⁴⁴³ DIN (Hrsg.): DIN 1053-1 – Mauerwerk – Teil 1: Berechnung und Ausführung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 11-1996

⁴⁴⁴ DIN (Hrsg.): DIN 1993-1-1 – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 07-2005

⁴⁴⁵ DIN (Hrsg.): DIN 18800-1 – Stahlbauten – Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 11-2008

Bei der Einhaltung der Tragfähigkeit gemäß Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen und a. a. R. d. T. wird der Einheitsskalenwert der Merkmalsausprägung mit 0,00 angesetzt.

Bei Nichteinhaltung der Tragfähigkeit wird der Einheitsskalenwert der Merkmalsausprägung gemäß Abb. 129 mit 1,00 angesetzt. Die Nichteinhaltung der Tragfähigkeit wird als KO-Kriterium gewertet, da sie eine Gefahr für Leben und Gesundheit von Menschen darstellt und die Sicherheit des Tragwerks gefährdet.⁴⁴⁶

| Abnutzungsmerkmal Tragfähigkeitsverlust | | |
|--|------|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert |
| Einhaltung der Tragfähigkeit gemäß Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen und anerkannten Regeln der Technik | Ja | 0,00 |
| | Nein | 1,00 |

Abb. 129: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Tragfähigkeitsverlust⁴⁴⁷

Je nach statischer Relevanz eines Bauelements innerhalb der Gesamtkonstruktion eines Gebäudes, kann die Nichteinhaltung der Tragfähigkeit nicht nur zum KO-Kriterium für das Abnutzungsmerkmal Tragfähigkeitsverlust werden, sondern darüber hinaus zum **KO-Kriterium für den gesamten Abnutzungsvorrat AV**. In einem solchen Fall ist die technische Lebensdauer L_{tech} des Bauelements erreicht und der Abnutzungsvorrat AV liegt unterhalb des Grenz-Abnutzungsvorrat AV_{Grenz} . Dieser Spezialfall muss bei einer praktischen Anwendung berücksichtigt werden, wird aber im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter verfolgt.

⁴⁴⁶ Siehe dazu die Struktur des Bemessungskonzeptes nach DIN 1055-100 (DIN (Hrsg.): DIN 1055-100 – Einwirkungen auf Tragwerke Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 03-2001)

⁴⁴⁷ Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

3.3.2.10 Abnutzungsmerkmal Verformung

Die **Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Verformung** erfolgt mit Hilfe der DIN EN ISO 4628-1⁴⁴⁸, in welcher u. a. Angaben zur Bewertung der Intensität von Veränderungen gegeben werden. Mit Hilfe dieser Angaben werden die Merkmalsausprägungen des Abnutzungsmerkmals gemäß Abb. 130 formuliert und der Einheitsskala zugeordnet.

| Abnutzungsmerkmal Verformung | | |
|--|---|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert |
| Veränderung gemäß DIN EN ISO 4628-1 | Nicht verändert, d. h. keine wahrnehmbare Veränderung | 0,00 |
| | Sehr gering, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung | 0,20 |
| | Gering, d. h. deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,40 |
| | Mittel, d. h. sehr deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,60 |
| | Stark, d. h. ausgeprägte Veränderung | 0,80 |
| | Sehr starke Veränderung | 1,00 |

Abb. 130: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Verformung⁴⁴⁹

Die Merkmalsausprägungen des Abnutzungsmerkmals Verformung gemäß Abb. 130 lassen sich teilweise in Abhängigkeit vom entsprechenden Baustoff und ggf. Bauelement weiter spezifizieren. So ist es durchaus denkbar, die durch eine Verformung hervorgerufenen Abweichung zum Referenz-Zustand zu ermitteln. In Abhängigkeit vorgegebener Wertebereiche (als Beispiel s. Abb. 131) kann die ermittelte Abweichung zum Referenz-Zustand entsprechenden Einheitsskalenwerten des Abnutzungsmerkmals zugeordnet werden.

⁴⁴⁸ DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-1 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 1: Allgemeine Einführung und Bewertungssystem. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004

⁴⁴⁹ In Anlehnung an die DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-1 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 1: Allgemeine Einführung und Bewertungssystem. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004, S. 6; Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

Die Aufstellung der Wertebereiche für die Berücksichtigung einer Abweichung zum Referenz-Zustand kann bspw. durch die in den gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen angegebenen Begrenzungen der Verformung erfolgen. Für die Begrenzungen der Verformung empfiehlt bspw. die DIN 1045-1⁴⁵⁰ die folgenden Durchbiegungen f in Abhängigkeit von der Stützweite l_{eff} :

- Allgemein $f \leq l_{\text{eff}}/250$
- In Hinblick auf Ausbauten (z. B. Trennwände) $f \leq l_{\text{eff}}/500$

| Abnutzungsmerkmal Verformung | | | |
|-------------------------------------|-----------|---|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA [%] | | Veränderung gemäß DIN EN ISO 4628-1 | Einheitsskalenwert |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ | 0 | Nicht verändert, d. h. keine wahrnehmbare Veränderung | 0,00 |
| |]0, 25] | Sehr gering, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung | 0,20 |
| |]25, 50] | Gering, d. h. deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,40 |
| |]50, 75] | Mittel, d. h. sehr deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,60 |
| |]75, 100] | Stark, d. h. ausgeprägte Veränderung | 0,80 |
| |]100, ∞[| Sehr starke Veränderung | 1,00 |

| | | |
|-------|---|--|
| W_1 | = | Ist-Zustand (tatsächliche Abweichung zum Referenz-Zustand) |
| W_2 | = | Maximal zulässige Abweichung zum Referenz-Zustand |

Abb. 131: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Verformung mit Wertebereich für die Berücksichtigung einer Abweichung zum Referenz-Zustand⁴⁵¹

⁴⁵⁰ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN 1045-1 – Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 08-2008, S. 135

⁴⁵¹ In Anlehnung an die DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-1 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 1: Allgemeine Einführung und Bewertungssystem. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004, S. 6; Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

Ist bspw. bei einer einseitig eingespannten Stütze (vgl. Abb. 132) die vorhandene Durchbiegungen f gleich 25 % der maximal zulässigen Abweichung zum Referenz-Zustand, so ergibt sich ein Einheitsskalenwert für das Abnutungsmerkmal Verformung entsprechend Abb. 131 von 0,2. Ist die vorhandene Durchbiegung f größer als die maximal zulässige Abweichung zum Referenz-Zustand, so ist der Einheitsskalenwert 1,0 anzusetzen.

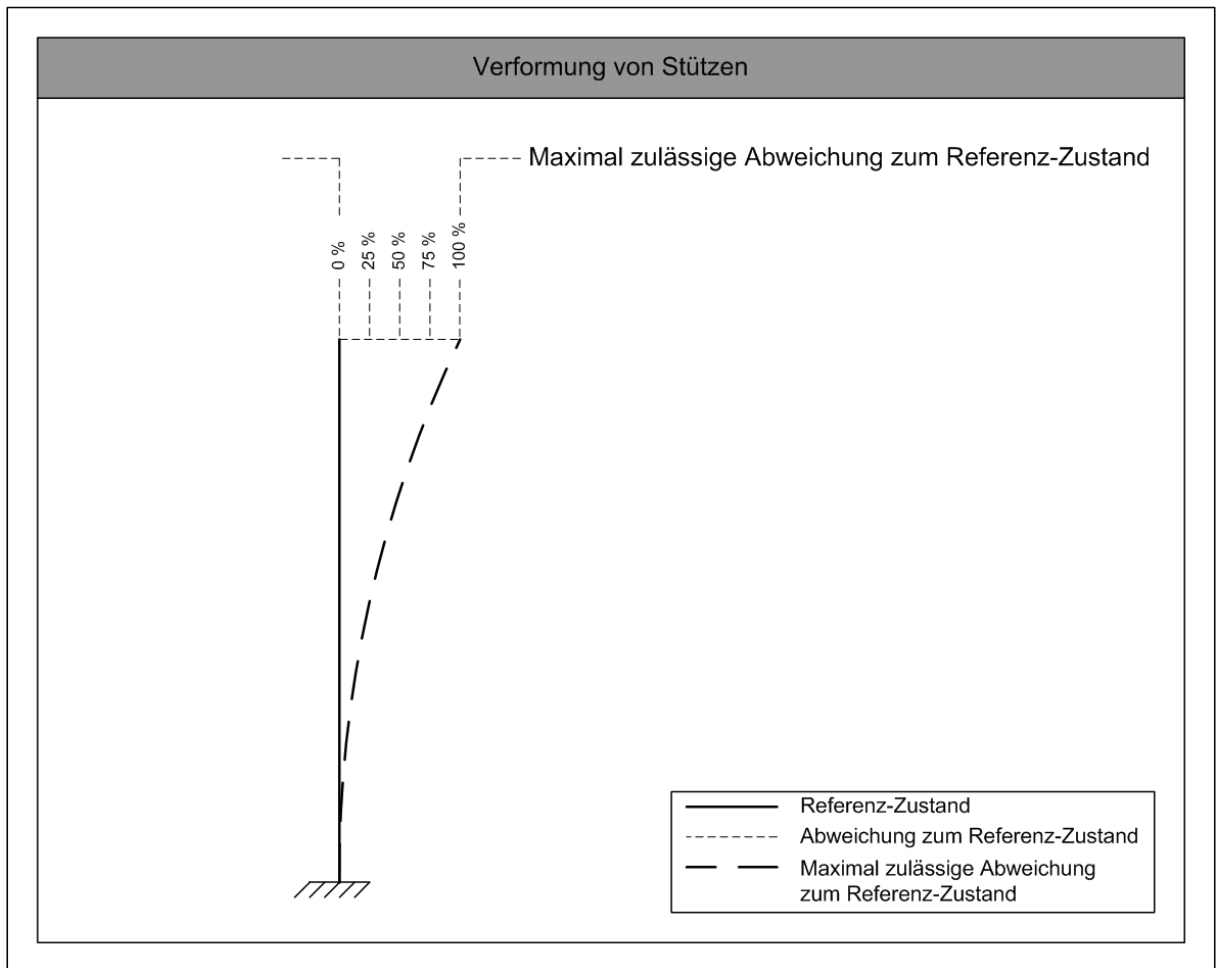


Abb. 132: Verformung von Stützen – Beispieldarstellung

Eine Darstellung der Verformung von Balken unter Angabe des Referenz-Zustands und der maximal zulässigen Abweichung zum Referenz-Zustand zeigt Abb. 133.

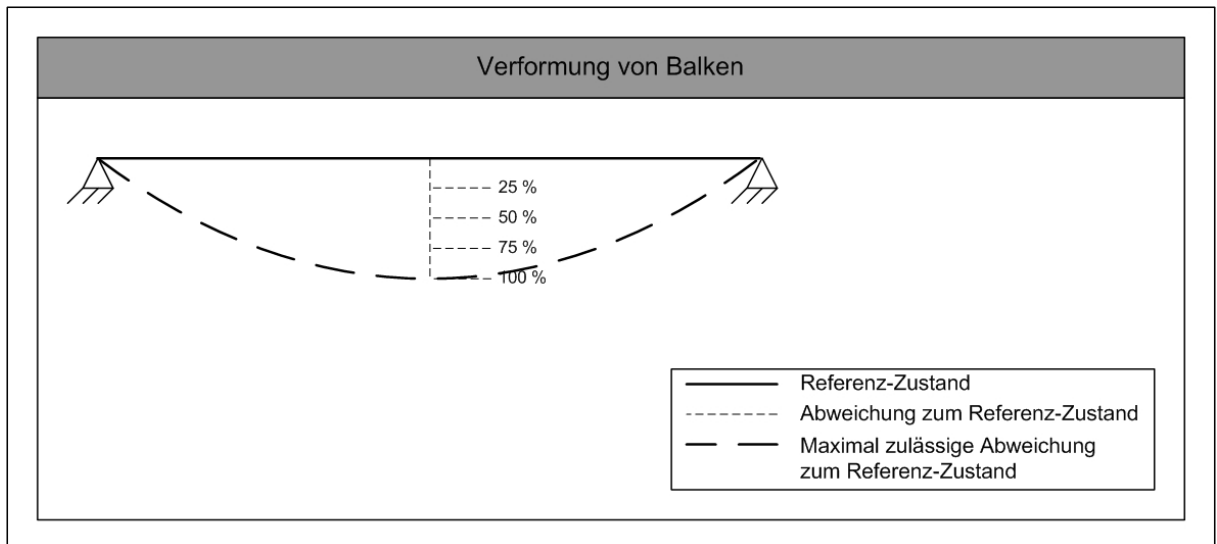


Abb. 133: Verformung von Balken – Beispieldarstellung

3.3.2.11 Abnutzungsmerkmal Volumenänderung

Die **Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Volumenänderung** erfolgt mit Hilfe der DIN EN ISO 4628-1⁴⁵², in welcher u. a. Angaben zur Bewertung der Intensität von Veränderungen gegeben werden. Mit Hilfe dieser Angaben werden die Merkmalsausprägungen des Abnutzungsmerkmals gemäß Abb. 134 formuliert und der Einheitsskala zugeordnet.

⁴⁵² DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-1 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 1: Allgemeine Einführung und Bewertungssystem. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004

| Abnutzungsmerkmal Volumenänderung | | |
|--|--|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert |
| Veränderung gemäß DIN EN ISO 4628-1 | Nicht verändert, d. h. keine wahrnehmbare Veränderung | 0,00 |
| | Sehr gering, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung | 0,20 |
| | Gering, d. h. deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,40 |
| | Mittel, d. h. sehr deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,60 |
| | Stark, d. h. ausgeprägte Veränderung | 0,80 |
| | Sehr starke Veränderung | 1,00 |

Abb. 134: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Volumenänderung⁴⁵³

Die Merkmalsausprägungen des Abnutzungsmerkmals Volumenänderung gemäß Abb. 134 lassen sich teilweise in Abhängigkeit vom entsprechenden Baustoff und ggf. Bauelement weiter spezifizieren. So ist es durchaus denkbar, die durch eine Volumenänderung (z. B. durch Schwinden und Quellen) hervorgerufenen Abweichung zum Referenz-Zustand zu ermitteln. In Abhängigkeit vorgegebener Wertebereiche (als Beispiel s. Abb. 135) kann die ermittelte Abweichung zum Referenz-Zustand entsprechenden Einheitsskalenwerte des Abnutzungsmerkmals zugeordnet werden.

⁴⁵³ In Anlehnung an die DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-1 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 1: Allgemeine Einführung und Bewertungssystem. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004, S. 6; Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

| Abnutzungsmerkmal Volumenänderung | | | |
|-------------------------------------|-----------|---|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA [%] | | Veränderung gemäß DIN EN ISO 4628-1 | Einheitsskalenwert |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ | 0 | Nicht verändert, d. h. keine wahrnehmbare Veränderung | 0,00 |
| |]0, 25] | Sehr gering, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung | 0,20 |
| |]25, 50] | Gering, d. h. deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,40 |
| |]50, 75] | Mittel, d. h. sehr deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,60 |
| |]75, 100] | Stark, d. h. ausgeprägte Veränderung | 0,80 |
| |]100, ∞[| Sehr starke Veränderung | 1,00 |

| | | |
|-------|---|--|
| W_1 | = | Ist-Zustand (tatsächliche Abweichung zum Referenz-Zustand) |
| W_2 | = | Maximal zulässige Abweichung zum Referenz-Zustand |

Abb. 135: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Volumenänderung mit Wertebereich für die Berücksichtigung einer Abweichung zum Referenz-Zustand⁴⁵⁴

Die Aufstellung entsprechender Wertebereiche für die Berücksichtigung einer Abweichung zum Referenz-Zustand kann bspw. durch die in den gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen angegebenen Begrenzungen der Volumenänderung erfolgen.

Alternativ können baustoffspezifische Kennwerte für die Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Volumenänderung herangezogen werden, wie sie beispielhaft in Abb. 136 für einige Holzarten angegeben sind. Die in dieser Abbildung dargestellten Quell- und Trocknungsschwindmaße können als Werte für die maximal zulässige Abweichung zum Referenz-Zustand angesetzt werden. Quell- und Trocknungsbewegungen (Schwinden) resultieren i. d. R. durch Feuchtezunahme und -abnahme.⁴⁵⁵ Abb. 137 zeigt den grafischen Verlauf der

⁴⁵⁴ In Anlehnung an die DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-1 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 1: Allgemeine Einführung und Bewertungssystem. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004, S. 6; Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

⁴⁵⁵ Für weitere Quell- und Trocknungsschwindmaße s. bspw. GRUNDAU, E. B.; KÖSTER, J.; SCHMITT, J.: Abdichtung von Bauwerken. Köln : Müller, 1990, S. 14

Schwind- und Quellmaße am Beispiel der Holzart Fichte. Die Bezugsrichtung der Schwind- und Quellmaße des Baustoffs Holz werden in Abb. 138 dargestellt.

| Holzart | | Maximales Quellmaß α_{\max} [%] | | | Trocknungsschwindmaß β_N [%] | |
|------------|--------|--|------|-----------|------------------------------------|------|
| | | tang. | rad. | längs | tang. | rad. |
| Nadelholz | Fichte | 8,5 | 3,7 | 0,2 - 0,4 | 4,0 | 2,0 |
| | Tanne | 8,5 | 3,7 | 0,2 - 0,4 | 4,0 | 2,0 |
| | Kiefer | 8,3 | 4,2 | 0,2 - 0,4 | 4,5 | 3,0 |
| | Lärche | 8,5 | 3,4 | 0,1 - 0,3 | 4,5 | 3,0 |
| Laubhölzer | Eiche | 10,9 | 4,6 | 0,3 - 0,6 | 5,8 | 2,4 |
| | Buche | 13,4 | 6,2 | 0,2 - 0,6 | 8,0 | 4,0 |
| | Teak | 4,8 | 2,7 | 0,2 - 0,3 | 2,5 | 1,5 |

Abb. 136: Beispiele von Schwind- und Quellmaßen in Abhängigkeit des Feuchtegehalts des Baustoffs Holz⁴⁵⁶

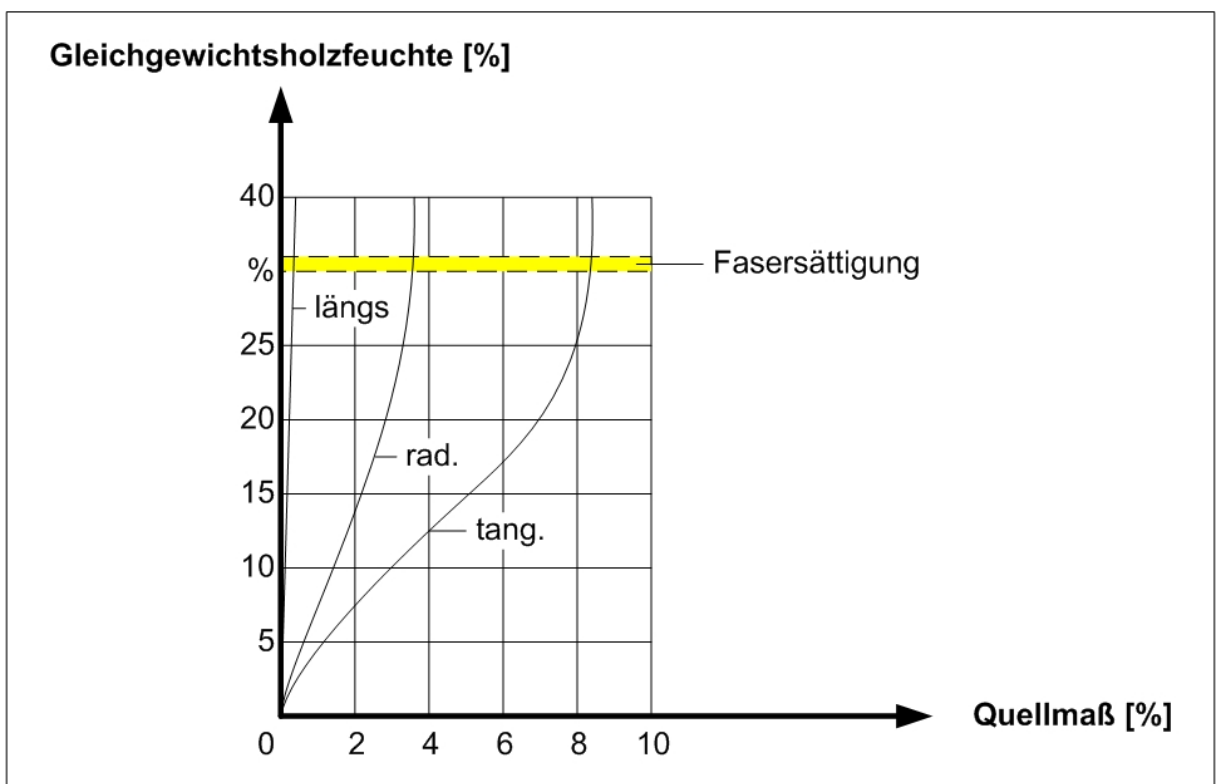


Abb. 137: Schwind- und Quellmaße in Abhängigkeit des Feuchtegehalts der Holzart Fichte⁴⁵⁷

⁴⁵⁶ Vgl. NEUHAUS, H.: Lehrbuch des Ingenieurholzbau. Stuttgart : Teubner Verlag, 1994, S. 24

⁴⁵⁷ Vgl. NEUHAUS, H.: Lehrbuch des Ingenieurholzbau. Stuttgart : Teubner Verlag, 1994, S. 22

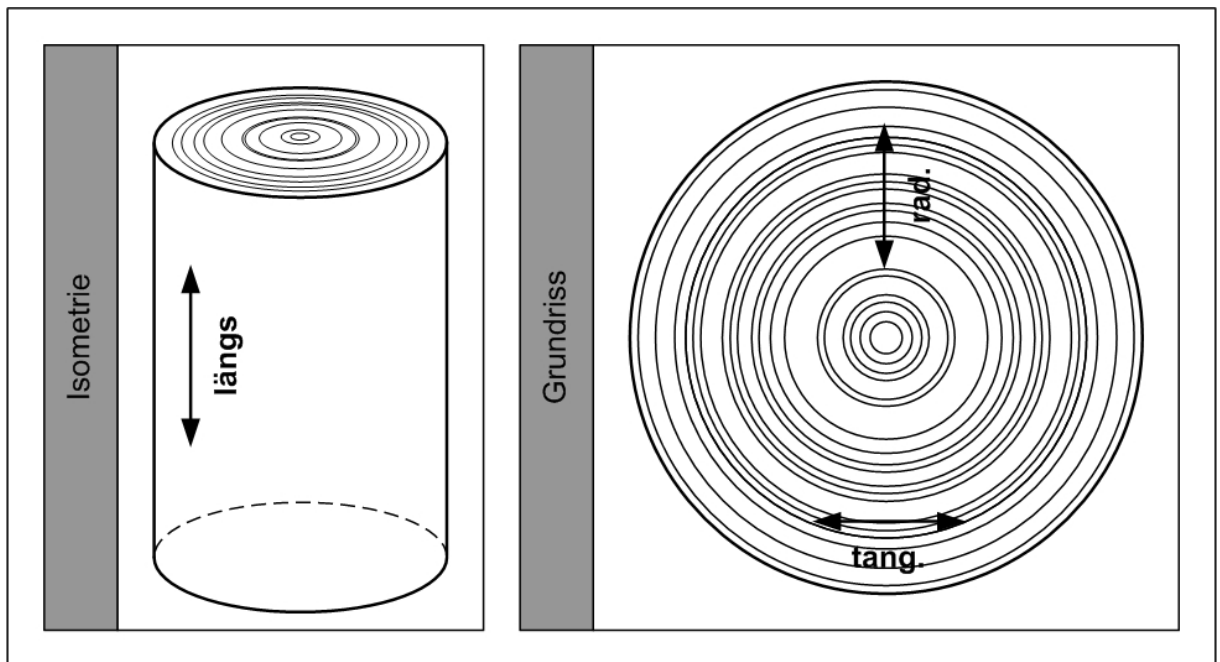


Abb. 138: Bezugsrichtung der Schwind- und Quellmaße des Baustoffs Holz⁴⁵⁸

In Abb. 140 wird ein **Beispiel für die Ermittlung eines Einheitsskalenwerts für das Abnutungsmerkmal Volumenänderung** (vgl. Abb. 135) am Baustoff Holz (Holzart Fichte) gegeben. Hierbei soll ein gequollenes Holzbrett (vgl. Ist-Zustand Z_2 gemäß Abb. 140) bzgl. seiner daraus resultierenden Volumenänderung durch Quellen bewertet werden. Dies geschieht anhand der Länge in tangentialer Richtung.

Es wird davon ausgegangen, dass das Holzbrett sach- und fachgerecht eingebaut wurden. Für den Referenz-Zustand für Bauschnittholz aus Nadelholz (vgl. Referenz-Zustand Z_1 gemäß Abb. 140) ist gemäß VOB/C, DIN 18334, Abschnitt 3.1.6, eine Gleichgewichtsholzfeuchte im Einbauzustand von 20 % vorgeschrieben.⁴⁵⁹ Dadurch ergibt sich gemäß Abb. 137 ein Quellmaß von 7 %.

⁴⁵⁸ Vgl. COLLING, F.: Lernen aus Schäden im Holzbau – Ursachen, Vermeidung, Beispiele. Karlsruhe : Bruder-
verlag, 2000, S. 42

⁴⁵⁹ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN 18334 – VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine
Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Zimmer- und Holzbauarbeiten. Berlin : DIN Deut-
sches Institut für Normung e.V., 04-2010, S. 13

Wird eine maximal zulässige Abweichung zum Referenz-Zustand (in radialer Richtung) durch die Gleichgewichtsholzfeuchte von bspw. 25 % vorgegeben, so beträgt das Quellmaß der maximal zulässigen Abweichung zum Referenz-Zustand gemäß Abb. 137 gleich 8 %.

Bei einer Einbaulänge im Referenz-Zustand L_1 von 100 mm wird die Länge L_3 im Bezug auf die maximal zulässige Abweichung zum Referenz-Zustand gemäß Abb. 139 ermittelt, die folglich 114 mm beträgt.

| | | | |
|------------------------------|---|--|------------------|
| Berechnungsgrundlage: | | | |
| L_3 | = | $L_1 \cdot \frac{W_3}{W_1}$ | |
| L_3 | = | $100 \text{ mm} \cdot \frac{8 \%}{7 \%}$ | |
| L_3 | = | 114 mm | |
| L_1 | = | Länge im Bezug auf den Referenz-Zustand | = 100 mm |
| L_3 | = | Länge im Bezug auf die maximal zulässige Abweichung zum Referenz-Zustand | |
| W_1 | = | Referenz-Zustand | (Quellmaß = 7 %) |
| W_3 | = | Maximal zulässige Abweichung zum Referenz-Zustand | (Quellmaß = 8 %) |

Abb. 139: Ermittlung der Länge L_3 im Bezug auf die maximal zulässige Abweichung zum Referenz-Zustand

Mit Hilfe der Länge im Referenz-Zustand L_1 sowie der Länge im Bezug auf die maximal zulässige Abweichung zum Referenz-Zustand L_3 lässt sich die Merkmalsausprägung gemäß Abb. 135 berechnen. Der Einheitsskalenwert für das Abnutzungsmerkmal Volumenänderung beträgt hierbei 0,40.

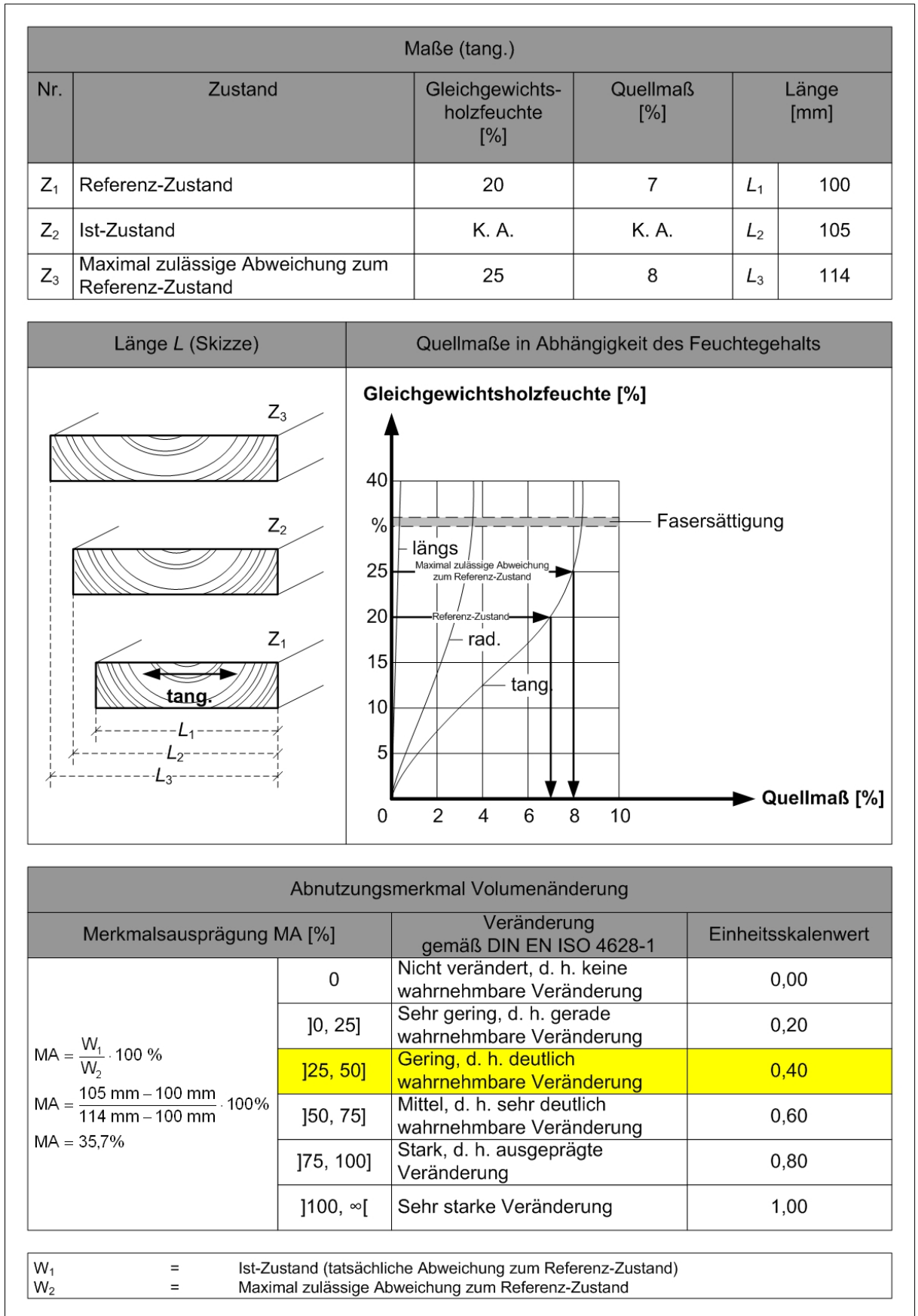


Abb. 140: Ermittlung eines Einheitsskalenwerts für das Abnutzungsmerkmal Volumenänderung am Baustoff Holz (Holzart Fichte)

3.3.2.12 Abnutzungsmerkmal Wärmeschutz

Die **Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Wärmeschutz** erfolgt mit Hilfe der gegenwärtigen Normen⁴⁶⁰, Vorschriften und Verordnungen zum Wärmeschutz wie der EnEV⁴⁶¹ in seiner neusten Ausgabe sowie der DIN 4108⁴⁶² und den darin verwiesenen Normen, in denen u. a. Vorgaben zu den erforderlichen Wärmedurchlasswiderständen, Maximalwerten der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) sowie Feuchtegehalten⁴⁶³ von Bauelementen bzw. ihrer Baustoffe gegeben werden. Vorgaben für maximal zulässige Wärmedurchgangskoeffizienten nach EnEV 2009 werden auszugsweise in Abb. 141 aufgezeigt. Abb. 142 listet typische Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauelementen auf.

| Bauelement | U-Wert (max.) nach EnEV 2009 bei Änderungen im Gebäudebestand (Gebäude mit normalen Innentemperaturen) [W/m ² K] |
|---|---|
| Außenwände | 0,24 - 0,35 |
| Fenster | 1,30 - 1,40 |
| Außentüren | 2,90 |
| Decken, Dächer | 0,20 - 0,24 |
| Decken und Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich | 0,30 - 0,50 |
| ... | ... |

Abb. 141: Beispiele von Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) nach EnEV 2009⁴⁶⁴

⁴⁶⁰ Für die wichtigsten Normen zum baulichen Wärme- und Feuchteschutz s. BUNDESVERBAND KALKSANDSTEININDUSTRIE (Hrsg.): Kalksandstein, Planung, Konstruktion, Ausführung. 5. Aufl. Düsseldorf : Verlag Bau+Technik, 2009, Kapitel 12, S. 40 f.

⁴⁶¹ Energieeinsparverordnung für Gebäude

⁴⁶² DIN (Hrsg.): DIN 4108 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden

⁴⁶³ Siehe dazu DIN (Hrsg.): DIN V 4108-4 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte – Vornorm. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2007

⁴⁶⁴ Vgl. BUNDESVERBAND KALKSANDSTEININDUSTRIE (Hrsg.): Kalksandstein – Energieeinsparverordnung 2009. Düsseldorf : Verlag Bau+Technik, 2009, S. 14

| Bauelement | Bauelementstärke [cm] | U-Wert [W/m ² K] |
|---|-----------------------|-----------------------------|
| Außenwand aus Beton ohne Wärmedämmung | 25,0 | 3,30 |
| Außenwand aus Mauerziegeln | 24,0 | ca. 1,50 |
| Außenwand aus Mauerziegeln | 36,5 | ca. 0,80 |
| Außenwand aus Mauerziegeln (17,5 cm) mit Wärmedämmverbundsystem (PUR) | 30,0 | ca. 0,32 |
| Außenwand aus hochporösem Hochlochziegel, unverputzt | 50,0 | 0,17 - 0,23 |
| Außenwand Holzrahmenbau, wohnungstypischer Aufbau | 25,0 | 0,15 - 0,20 |
| Außenwand aus Massivholz (ohne Wärmedämmung) | 20,5 | 0,50 |
| Innenwand aus Mauerziegeln | 11,5 | 3,00 |
| Innenwand aus Porenbeton | 28,0 | ca. 0,60 |
| Außentür aus Holz oder Kunststoff | - | ca. 3,50 |
| Fenster mit Einfachverglasung | 0,4 | 5,90 |
| Fenster mit Doppelverglasung | - | 3,00 |
| Fenster mit Isolierverglasung | 2,4 | 2,80 - 3,00 |
| Fenster mit Wärmeschutzverglasung | 2,4 | ca. 1,10 |
| Fenster nach Passivhausstandard | - | 0,50 - 0,80 |

Abb. 142: Beispiele typischer Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauelementen⁴⁶⁵

⁴⁶⁵ Vgl. BUNDESVERBAND KALKSANDSTEININDUSTRIE (Hrsg.): Kalksandstein – Energieeinsparverordnung 2009. Düsseldorf : Verlag Bau+Technik, 2009, S. 14; BUNDESVERBAND KALKSANDSTEININDUSTRIE (Hrsg.): Kalksandstein, Planung, Konstruktion, Ausführung. 5. Aufl. Düsseldorf : Verlag Bau+Technik, 2009, Kapitel 12, S. 5; LOHMEYER, G. C. O.; POST, M.; BERGMANN, H.: Praktische Bauphysik – Eine Einführung mit Berechnungsbeispielen. 6. Aufl. Wiesbaden : Vieweg + Teubner, 2008, S. 769 ff.

Beispiele für den Feuchtegehalt (speziell den Ausgleichsfeuchtegehalt) von Baustoffen werden in Abb. 143 gegeben.

| Baustoffe | Ausgleichsfeuchtegehalt (Massenanteil) [kg/kg] |
|---|--|
| Beton mit geschlossenem Gefüge mit porigen Zuschlägen | 0,130 |
| Leichtbeton mit haufwerkporigem Gefüge mit dichten Zuschlägen nach DIN 4226-1 | 0,030 |
| Leichtbeton mit haufwerkporigem Gefüge mit dichten Zuschlägen nach DIN 4226-2 | 0,045 |
| Gips, Anhydrit | 0,020 |
| Gussasphalt, Asphaltmastix | 0,000 |
| Holz, Sperrholz, Spanplatten, Holzfaserplatten, Schilfrohrplatten und -matten, organische Faserdämmstoffe | 0,150 |
| Pflanzliche Faserdämmstoffe aus Seegras, Holz-, Torf- und Kokosfasern sowie sonstigen Fasern | 0,150 |

Abb. 143: Beispiele für den Ausgleichsfeuchtegehalt von Baustoffen⁴⁶⁶

Ist die Einhaltung des Wärmeschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen zu 100 % gewährleistet, d. h., es findet bspw. keine Abweichung (Verschlechterung) vom geforderten U-Wert des entsprechenden Bauelements statt, wird der Einheitsskalenwert der Merkmalsausprägung von 0,00 angesetzt.

Bei Nichteinhaltung des Wärmeschutzes, d. h., der tatsächlich vorhandene U-Wert liegt über dem geforderten U-Wert, erfolgt die Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala gemäß Abb. 144.

⁴⁶⁶ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN V 4108-4 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte – Vornorm. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2007, S. 25

| Abnutzungsmerkmal Wärmeschutz | | | | |
|--|------|-------------------------------------|-----------|--------------------|
| Merkmalsausprägung MA [%] | | | | Einheitsskalenwert |
| Einhaltung des Wärmeschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | Ja | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ | [100, ∞[| 0,00 |
| | Nein | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ | [95, 100[| 0,20 |
| | | | [90, 95[| 0,40 |
| | | | [80, 90[| 0,60 |
| | | | [60, 80[| 0,80 |
| | | | [0, 60[| 1,00 |
| | | | | |
| W_1 | = | geforderter U-Wert | | |
| W_2 | = | Ist-U-Wert | | |

Abb. 144: Wertezuordnung zur Einheitsskala für das Abnutzungsmerkmal Wärmeschutz⁴⁶⁷

Für die Einhaltung des Wärmeschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen ist es i. d. R. erforderlich, dass die gemäß Abb. 143 aufgeführten Ausgleichsfeuchtegehalte von Baustoffen vorliegen bzw. unterschritten werden. Eine meist durch einen Bauschaden hervorgerufene Durchfeuchtung eines Bauelements und damit verbundene Erhöhung dessen Feuchtegehalts führen i. d. R. zu einer Abweichung (Verschlechterung) des U-Wertes.⁴⁶⁸

⁴⁶⁷ Die Wertezuordnung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

⁴⁶⁸ Vgl. COLLING, F.: Analyse und Bewertung von Schäden bei Holzkonstruktionen. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1999, S. 5-1

Leckagen vorgelagerter feuchteschützender Bauelemente können diese Bauschäden verursachen und zu einer qualitativen Abminderung der Wärmedämmeigenschaften des betroffenen Bauelements führen. Beispiel ist hierfür die durch Leckage einer Bitumendachbahn verursachte Durchfeuchtung der darunterliegenden Flachdachwärmedämmung.

Der Zusammenhang von Durchfeuchtung und Wärmedämmeigenschaften lässt sich gemäß Abb. 145 darstellen. Hierbei wird ersichtlich, dass mit Zunahme des Feuchtegehalts i. d. R. die Wärmedämmung abnimmt, weil die Wärmeleitfähigkeit und somit der U-Wert zunehmen.

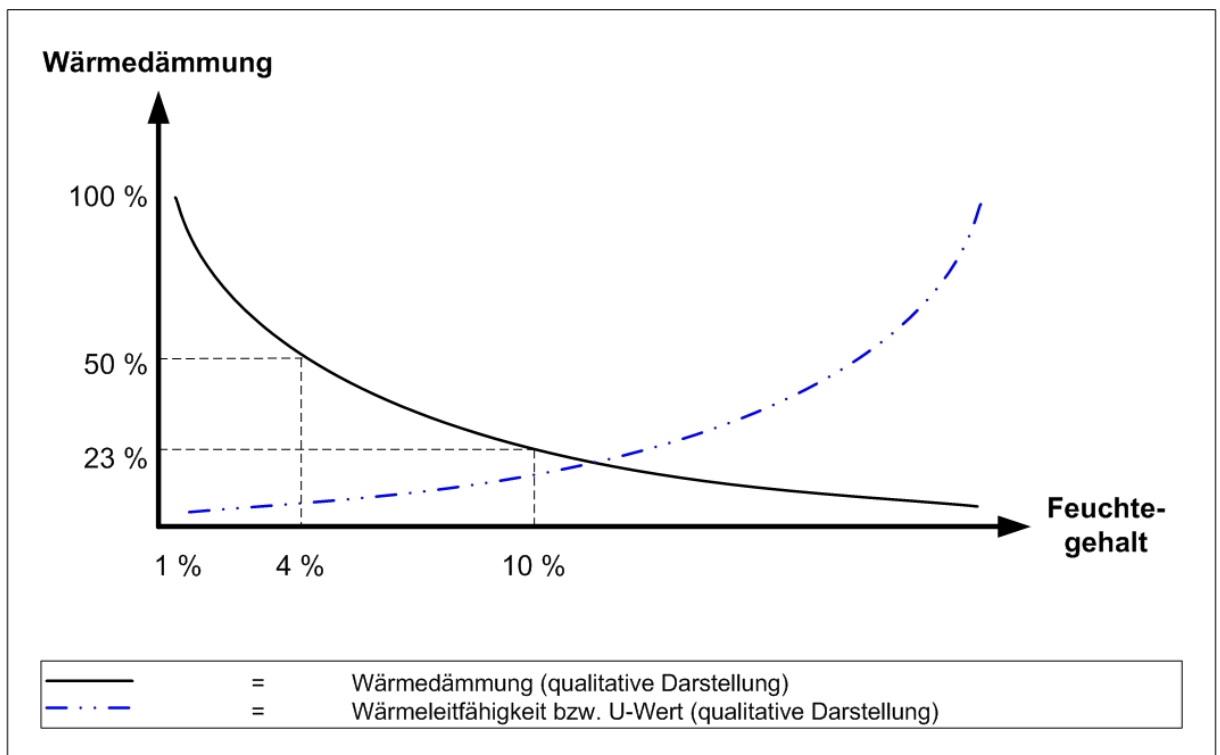


Abb. 145: Wärmedämmung in Abhängigkeit des Feuchtegehalts am Beispiel Mauerwerk⁴⁶⁹

⁴⁶⁹ Vgl. KALCHER H. K.: Feuchtigkeitsschäden im Haus – Ursachen erkennen – Schäden beseitigen. Taunusstein : Eberhard Blottner Verlag, 2004, S. 33

3.3.2.13 Zuordnungsübersicht der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala

In den Abschnitten IV3.3.2.2 bis IV3.3.2.12 sind die jeweiligen Merkmalsausprägungen der 12 übergeordneten Abnutzungsmerkmale angegeben sowie zur Einheitsskala zugeordnet. Eine Übersicht über die Zuordnung aller Merkmalsausprägungen der jeweiligen Abnutzungsmerkmale zur Einheitsskala wird in der Abb. 146 bis Abb. 149 gegeben. Die Wertezuordnung zur Einheitsskala für die einzelnen Merkmalsaspekte ist den entsprechenden Abschnitten zu entnehmen.

| Merkmals-klasse | Abnutzungs-merkmal | Merkmalsausprägung | Einheitsskalenwert | |
|------------------------------|-----------------------|--|---|------|
| Baustatische Merkmals-klasse | Riss | $MA_{\text{komb}} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2 + ESW_3 \cdot G_3 + ESW_4 \cdot G_4$ | 0 | 0,00 |
| | | |]0, 0,2] | 0,20 |
| | | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| | | |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| | | |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| | | |]0,8, 1] | 1,00 |
| | | | MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Rissmenge ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Rissbreite ESW_3 = Einheitsskalenwert 3 des Merkmalsaspekts Risstiefe ESW_4 = Einheitsskalenwert 4 des Merkmalsaspekts Rissbild G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,25$) G_3 = Gewichtungsfaktor 3 (mit $G_3 = 0,25$) G_4 = Gewichtungsfaktor 4 (mit $G_4 = 0,25$) | |
| | Tragfähigkeitsverlust | Einhaltung der Tragfähigkeit gemäß Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen und anerkannten Regeln der Technik | Ja | 0,00 |
| | | | Nein | 1,00 |
| | Verformung | Veränderung gemäß DIN EN ISO 4628-1 | Nicht verändert, d. h. keine wahrnehmbare Veränderung | 0,00 |
| | | | Sehr gering, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung | 0,20 |
| | | | Gering, d. h. deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,40 |
| | | | Mittel, d. h. sehr deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,60 |
| | | | Stark, d. h. ausgeprägte Veränderung | 0,80 |
| | | | Sehr starke Veränderung | 1,00 |
| | Volumenänderung | Veränderung gemäß DIN EN ISO 4628-1 | Nicht verändert, d. h. keine wahrnehmbare Veränderung | 0,00 |
| | | | Sehr gering, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung | 0,20 |
| | | | Gering, d. h. deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,40 |
| | | | Mittel, d. h. sehr deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,60 |
| | | | Stark, d. h. ausgeprägte Veränderung | 0,80 |
| | | | Sehr starke Veränderung | 1,00 |

Abb. 146: Zuordnungsübersicht der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala (1 von 4)

| Merkmal-klasse | Abnutzungsmerkmal | Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert | | |
|---|---|---|---|---|------------|------|
| Chemische, biologische, physikalische Merkmals-klasse | Schadensbild Abblätterung | $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ | 0 | 0,00 | | |
| | | |]0, 0,2] | 0,20 | | |
| | | |]0,2, 0,4] | 0,40 | | |
| | | |]0,4, 0,6] | 0,60 | | |
| | | |]0,6, 0,8] | 0,80 | | |
| | | |]0,8, 1] | 1,00 | | |
| | | MA_{komb} | = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) | | |
| | | ESW_1 | = | Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensfläche | | |
| | | ESW_2 | = | Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Abblätterungsgröße | | |
| | | G_1 | = | Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,5$) | | |
| | | G_2 | = | Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,5$) | | |
| | | Schadensbild Blasenbildung | K. A. | $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ | 0 | 0,00 |
| | - | | | |]0, 0,2] | 0,20 |
| | 2(S2), 2(S3), 3(S2) | | | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| | 2(S4), 3(S3), 4(S2) | | | |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| | 2(S5), 3(S4), 3(S5), 4(S3), 4(S4), 5(S2), 5(S3) | | | |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| | 4(S5), 5(S4), 5(S5) | | | |]0,8, 1] | 1,00 |
| | MA_{komb} | | = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) | | |
| | ESW_1 | | = | Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Blasenmenge | | |
| | ESW_2 | | = | Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Blasengröße | | |
| | G_1 | | = | Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,5$) | | |
| | G_2 | | = | Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,5$) | | |
| | Schadensbild Korrosion | | $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ | | 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,2] | | | 0,20 | |
|]0,2, 0,4] | | 0,40 | | | | |
|]0,4, 0,6] | | 0,60 | | | | |
|]0,6, 0,8] | | 0,80 | | | | |
|]0,8, 1] | | 1,00 | | | | |
| MA_{komb} | | = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) | | | |
| ESW_1 | | = | Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Rostgrad | | | |
| ESW_2 | | = | Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schichtdicke | | | |
| G_1 | | = | Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) | | | |
| G_2 | | = | Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,75$) | | | |
| Schadensbild Sonstiger Baustoff-abtrag | | $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ | | 0 | 0,00 | |
| |]0, 0,2] | | | 0,20 | | |
| |]0,2, 0,4] | | | 0,40 | | |
| |]0,4, 0,6] | | | 0,60 | | |
| |]0,6, 0,8] | | | 0,80 | | |
| |]0,8, 1] | | | 1,00 | | |
| | MA_{komb} | = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) | | | |
| | ESW_1 | = | Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensfläche | | | |
| | ESW_2 | = | Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schichtdicke | | | |
| | G_1 | = | Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) | | | |
| | G_2 | = | Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,75$) | | | |

Abb. 147: Zuordnungsübersicht der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala (2 von 4)

| Merkmal-klasse | Abnutzungsmerkmal | Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert | | | |
|--|---|--|----|--------------------|-------------------------------------|-----------|------|
| Chemische, biologische, physikalische Merkmals-klasse | Biologischer Befall | $MA_{\text{komb}} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ | | 0 | 0,00 | | |
| | | | |]0, 0,2] | 0,20 | | |
| | | | |]0,2, 0,4] | 0,40 | | |
| | | | |]0,4, 0,6] | 0,60 | | |
| | | | |]0,6, 0,8] | 0,80 | | |
| | | | |]0,8, 1] | 1,00 | | |
| | MA _{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW ₁ = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensart ESW ₂ = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schadensgröße G ₁ = Gewichtungsfaktor 1 (mit G ₁ = 0,5) G ₂ = Gewichtungsfaktor 2 (mit G ₂ = 0,5) | | | | | | |
| Bau-physikalische Merkmals-klasse | Brandschutz | Einhaltung des Brandschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | | Ja | 0,00 | | |
| | | | | Nein | 1,00 | | |
| | Feuchteschutz | Einhaltung des Feuchteschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | | Ja | 0,00 | | |
| | | | | Nein | 1,00 | | |
| | Schallschutz | Einhaltung des Schallschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | Ja | Nein | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ | [100, ∞[| 0,00 |
| | | | | | | [98, 100[| 0,20 |
| | | | | | | [94, 98[| 0,40 |
| | | | | | | [86, 94[| 0,60 |
| | | | | | | [70, 86[| 0,80 |
| | | | | | | [0, 70[| 1,00 |
| | W ₁ = Ist-Schalldämm-Maß W ₂ = gefordertes Schalldämm-Maß | | | | | | |
| | Wärmeschutz | Einhaltung des Wärmeschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | Ja | Nein | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ | [100, ∞[| 0,00 |
| | | | | | | [95, 100[| 0,20 |
| | | | | | | [90, 95[| 0,40 |
| | | | | | | [80, 90[| 0,60 |
| [60, 80[| | | | | | 0,80 | |
| [0, 60[| | | | | | 1,00 | |
| W ₁ = geforderter U-Wert W ₂ = Ist-U-Wert | | | | | | | |

Abb. 148: Zuordnungsübersicht der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala (3 von 4)

| Merkmal-klasse | Abnutzungsmerkmal | Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | |
|--|---------------------------|------------------------------------|--|------|
| Optische Merkmals-klasse | Ablagerung (reversibel) | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100\%$ | 0 | 0,00 |
| | | |]0, 1] | 0,20 |
| | | |]1, 5,5] | 0,40 |
| | | |]5,5, 19,2] | 0,60 |
| | | |]19,2, 43,8] | 0,80 |
| | | |]43,8, 100] | 1,00 |
| | | | W_1 = Schadensfläche W_2 = Gesamtfläche | |
| | Ablagerung (irreversibel) | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100\%$ | 0 | 0,00 |
| | | |]0, 1] | 0,20 |
| | | |]1, 5,5] | 0,40 |
| | | |]5,5, 19,2] | 0,60 |
| | | |]19,2, 43,8] | 0,80 |
| | | |]43,8, 100] | 1,00 |
| W_1 = Schadensfläche W_2 = Gesamtfläche | | | | |

Abb. 149: Zuordnungsübersicht der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala (4 von 4)

3.3.2.14 Berechnungsbeispiel für die Ermittlung des Abnutzungsvorrats

Nach Beschreibung der Einheitsskalen für die 12 innerhalb dieser Arbeit eingeführten Abnutzungsmerkmale wird in Abb. 150 ein Beispiel für die Ermittlung des Abnutzungsvorrats gegeben. Hierin wird gezeigt, wie der Wert der Abnutzung bzw. des Ist-Abnutzungsvorrats eines Bauelements mit Hilfe der relevanten Abnutzungsmerkmale sowie deren Merkmalsausprägungen ermittelt wird.

Im **1. Schritt** werden die Merkmalsklassen im Bezug auf das zu untersuchende Bauelement gemäß der Methodik aus Abschnitt IV3.3.1 nach Expertenmeinung gewichtet. In Abb. 150 sind beispielsweise nur die chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse sowie die optische Merkmalsklasse bedeutsam. Die relevanten Merkmalsklassen sowie die relevanten Abnutzungsmerkmale sind in Abb. 150 durch den Berechnungsweg optisch hervorgehoben.

Im **2. Schritt** werden die relevanten Abnutzungsmerkmale nach Expertenbeurteilung gemäß Abschnitt IV3.3.1 gewichtet. Hierbei wird zusätzlich das Stufengewicht ermittelt.

Im **3. Schritt** werden gemäß Abschnitt IV3.3.2 die Merkmalsausprägungen der relevanten Abnutzungsmerkmale im Bezug auf den Untersuchungszeitpunkt t_n bestimmt und der entsprechende Einheitsskalenwert des relevanten Abnutzungsmerkmals ermittelt.

Aus dem Produkt der im 2. Schritt ermittelten Stufengewichte sowie den jeweiligen Einheitsskalenwerten der Merkmalsausprägungen lässt sich im **4. Schritt** die Gesamtabnutzung A_{ges} berechnen. Der Abnutzungsvorrat AV_{t_n} entspricht der Differenz aus dem Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} mit dem Wert 1,00 und dem Wert der Gesamtabnutzung A_{ges} .

Diejenigen Abnutzungsmerkmale, welche für die Charakterisierung des Abnutzungsvorrats der einzelnen Baustoffe von Bedeutung sind, werden in Abschnitt IV3.3.3 aufgezeigt. Zusätzlich werden die entsprechenden Stufengewichte ermittelt.

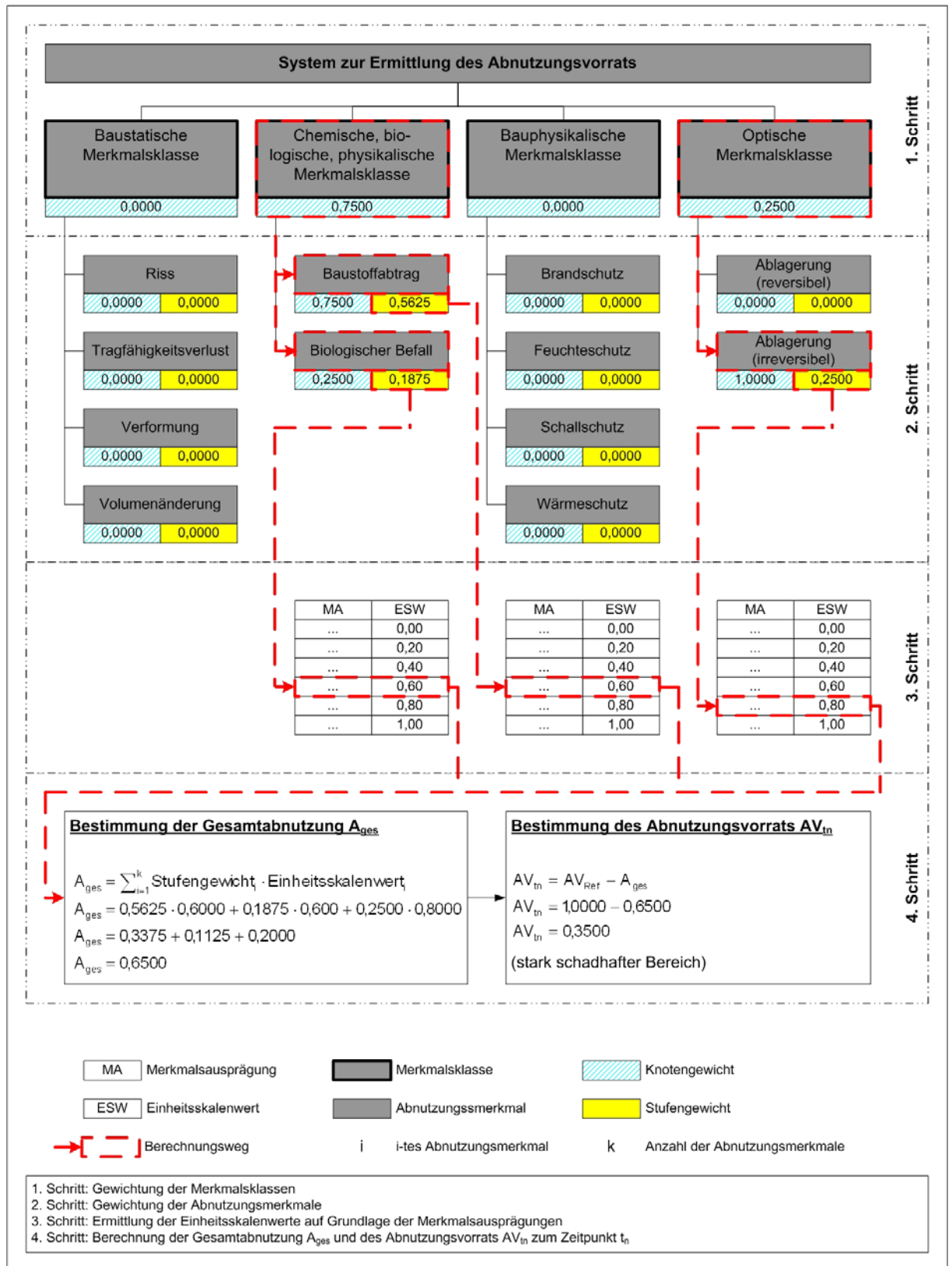


Abb. 150: Beispiel zur Berechnung der Abnutzung und des Abnutzungsvorrats

3.3.3 Baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats

3.3.3.1 Einführung der baustoffspezifischen Anpassung

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten mit Hilfe der Methode der Nutzwertanalyse ein System zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats aufgestellt wurde, soll im Folgenden dieses System an die unterschiedlichen in Abb. 2 aufgeführten Baustoffe angepasst werden. Die Anpassung resultiert aus der Tatsache, dass der Abnutzungsvorrat AV baustoffabhängig unterschiedliche Charakteristika aufweist.

Zunächst erfolgen im Rahmen der **baustoffspezifischen Anpassung** eine Beschreibung des jeweiligen Baustoffs und die Aufführung der typischen abnutzungsrelevanten qualitäts- sowie schadensbezogenen Merkmale gemäß den Angaben der einschlägigen Fachliteratur. Darüber hinaus werden die dazugehörigen Abnutzungsmerkmale und Merkmalsklassen mittels paarweisem Vergleich entsprechend Abschnitt IV3.3.1 (s. Abb. 67) gewichtet, um für das in Abschnitt IV3.2 (s. Abb. 66) vorgestellte System zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats die Knoten- und Stufengewichte zu bestimmen. Das Ergebnis bildet hierbei jeweils eine baustoffspezifische Gewichtung innerhalb des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats, wie es bspw. in Abb. 68 eingeführt wurde.

Die jeweiligen Stufengewichte⁴⁷⁰ entsprechen dem Gewichtsanteil jedes einzelnen der 12 (übergeordneten) Abnutzungsmerkmale (gemäß IV3.2.2) bezogen auf das gesamte System zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats. Die Stufengewichte sind Ausdruck für die Bedeutung des jeweiligen Abnutzungsmerkmals auf den Abnutzungsvorrat sowie auf die potentielle Abnutzung. Hat bspw. das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag das Stufengewicht von 56,25 %, wie im Beispiel von Abb. 150, so würde eine tatsächliche Abnutzung von 56,25 % vorliegen, wenn das Abnutzungsmerkmal gemäß der entsprechenden Wertezuordnung zur Einheitsskala (s. dazu Abb. 79)⁴⁷¹ einen Einheitsskalenwert von 1,00 aufweist.

⁴⁷⁰ Das Stufengewicht ergibt sich aus der Multiplikation des jeweiligen Knotengewichts des betrachteten Abnutzungsmerkmals mit dem Knotengewicht der dazugehörigen Merkmalsklasse.

⁴⁷¹ Hierbei könnte bspw. eine Schadensfläche von 50 % und eine Abblätterungsgröße von 40 mm vorliegen.

Die ermittelten Stufengewichte der 12 (übergeordneten) Abnutzungsmerkmale werden für jeden Baustoff grafisch in einem Kreisdiagramm dargestellt, wobei nur die relevanten Abnutzungsmerkmale mit einem Stufengewicht größer null angegeben werden. Ein Beispiel mit den Werten aus Abb. 150 zeigt Abb. 151. Diese Art der Darstellung ermöglicht einen schnellen Überblick über die jeweils relevanten Abnutzungsmerkmale und ihre Gewichtsanteile.

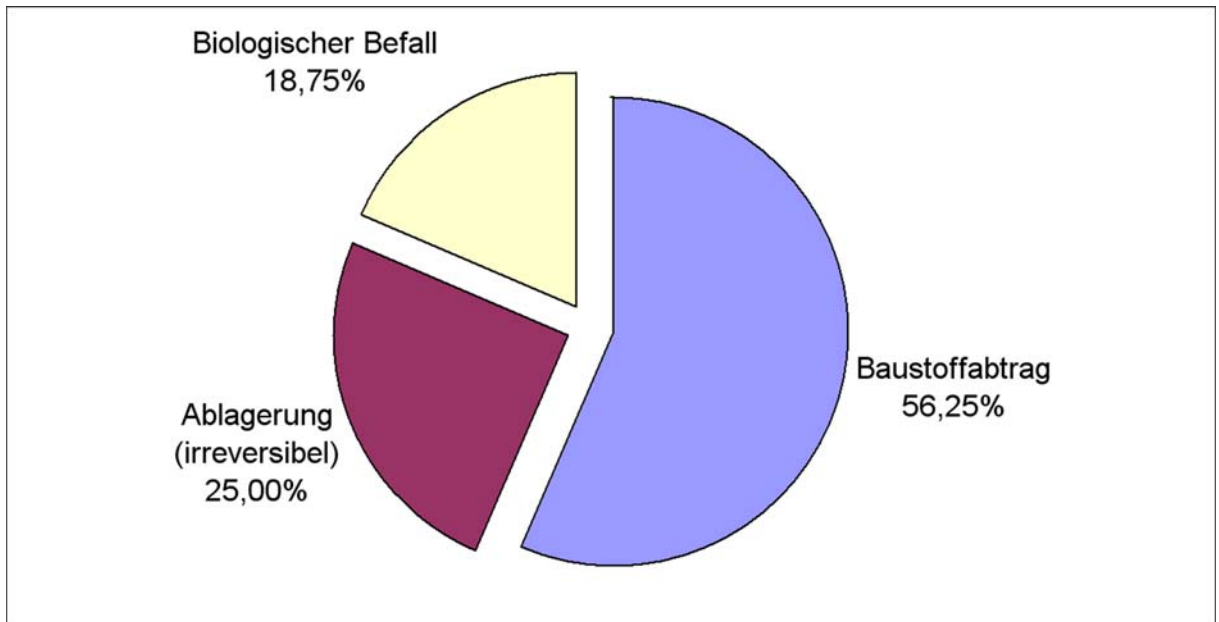


Abb. 151: Beispiel der Stufengewichte von Abnutzungsmerkmalen

Um die praktische Anwendbarkeit der baustoffspezifischen Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats aufzuzeigen, wird für jeweils ausgewählte Baustoffe ein konkretes **Beispiel zur Ermittlung eines Wertes für den Abnutzungsvorrat AV** in den folgenden Abschnitten aufgeführt. Für eine einheitliche Bestandsaufnahme wird der nachfolgende Formularsatz verwendet.

Das **Blatt 1** (Bl. 1) der Bestandsaufnahme (s. Abb. 152) enthält **allgemeine Angaben** hinsichtlich des zu bewertenden Bauelements sowie das Endergebnis der Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV. Zu den allgemeinen Angaben gehören Bezeichnung und Baustoffart, statische Relevanz (d. h., ist das Bauelement tragend), Art der Immobilie, in welcher sich das Bauelement befindet (z. B. Wohn- oder Büroimmobilie), Zeitpunkt t_n der Bestandsaufnahme (Datumsangabe), ggf. Angaben zum Erstellungsdatum (Datumsangabe) und Alter des Bauelements sowie ggf. weitere Angaben wenn nötig. Das zusammenfassende Endergebnis beinhaltet die Werte der Gesamtabnutzung A_{ges} und des Abnutzungsvorrats AV_{tn} sowie die Einordnung in den entsprechenden Bereich des Abnutzungsvorrats AV gemäß Abb. 39.

Für die Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} werden die relevanten Stufengewichte⁴⁷² und die ab dem Blatt 5 (Bl. 5 ff.) ermittelten Einheitsskalenwerte aufgeführt sowie die Abnutzung A durch die Multiplikation von Stufengewicht und Einheitsskalenwert berechnet. Die Ermittlung der Gesamtabnutzung A_{ges} und die Berechnung des daraus resultierenden Abnutzungsvorrats AV_{tn} erfolgen im unteren Teil von Blatt 1. Hierbei entspricht der Abnutzungsvorrat AV_{tn} der Differenz aus dem Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} (mit dem Wert 1,00) und dem Wert der Gesamtabnutzung A_{ges} . Das Blatt 1 schließt mit der Angabe ab, in welchem Bereich gemäß Abb. 39 sich das untersuchte Bauelement befindet (z. B. neuwertiger Bereich oder mittelschadhafter Bereich).

Blatt 2 (Bl. 2) der Bestandsaufnahme (s. Abb. 153) beinhaltet die **Bilddokumentation**. Hier werden Fotos, Zeichnungen oder sonstige Bildmaterialien des zu beurteilenden Bauelements dargestellt. Nach Möglichkeit sollten eine Gesamtansicht und eine Detailaufnahme des zu beurteilenden Bauelements eingefügt werden. Die Einzel Schäden bzw. Schadensbereiche werden jeweils gekennzeichnet.

⁴⁷² Die Ermittlung der jeweiligen Stufengewichte erfolgt in den folgenden Abschnitten.

Blatt 3 (Bl. 3) der Bestandsaufnahme (s. Abb. 154) hat die **Zustandsbeschreibung** des Bauelements zum Inhalt. Hierbei werden durch eine Inspektion erfasste Zustände hinsichtlich der 12 Abnutzungsmerkmale gemessen bzw. bewertet. Dabei werden nur die jeweils baustoffrelevanten Abnutzungsmerkmale berücksichtigt, d. h. Abnutzungsmerkmale mit einem Stufengewicht größer null.

Blatt 4 (Bl. 4) der Bestandsaufnahme (s. Abb. 155) zeigt die baustoffspezifischen **Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale**, welche zuvor an entsprechender Stelle des übergeordneten Abschnitts IV3.3.3 bestimmt wurden. Im oberen Teil von Blatt 4 werden die Knoten- und Stufengewichte bezogen auf den betrachteten Baustoff angegeben. Im unteren Teil erfolgt eine grafische Darstellung der relevanten Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale in Form eines Kreisdiagramms. Abnutzungsmerkmale, deren Stufengewichte gleich null sind, werden hierbei nicht aufgeführt.

Ab dem **Blatt 5** (Bl. 5 ff.) der Bestandsaufnahme (s. Abb. 156) erfolgt die **Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen** für diejenigen Abnutzungsmerkmale, deren Stufengewicht größer null ist. Es werden also die Abnutzungsmerkmale behandelt, welche gemäß Blatt 4 in der grafischen Darstellung im Kreisdiagramm aufgeführt sind. Für jedes relevante Abnutzungsmerkmal wird die entsprechende Wertezuordnung zur Einheitsskala dargestellt (s. dazu Abschnitte IV3.3.2.2 bis IV3.3.2.12) und der Weg zur Bestimmung des entsprechenden Einheitsskalenwerts aufgezeigt. Der ermittelte Einheitsskalenwert wird hierbei grafisch hervorgehoben und entspricht dem eingetragenen Wert gemäß Blatt 1.

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | | Bl. 1 | |
|---|--|--------------------------------|---|---|--|
| Allgemeine Angaben | Bauelement | | | | |
| | Baustoff | | | | |
| | Statische Relevanz | | | | |
| | Standort | | | | |
| | Art der Immobilie | | | | |
| | Zeitpunkt t_n der Bestandsaufnahme | | | | |
| | Erstellungsdatum des Bauelements | | | | |
| | Alter des Bauelements | | | | |
| | Weitere Angaben | | | | |
| Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | Abnutzungsmerkmal | Stufengewicht (gemäß Bl. 4) | Einheitsskalenwert (gemäß Bl. 5 ff.) | Abnutzung A (= Stufengewicht · Einheitsskalenwert) | |
| | Ablagerung (irreversibel) | | | | |
| | Ablagerung (reversibel) | | | | |
| | Baustoffabtrag | | | | |
| | Biologischer Befall | | | | |
| | Brandschutz | | | | |
| | Feuchteschutz | | | | |
| | Riss | | | | |
| | Schallschutz | | | | |
| | Tragfähigkeitsverlust | | | | |
| | Verformung | | | | |
| | Volumenänderung | | | | |
| | Wärmeschutz | | | | |
| | Gesamtabnutzung $A_{ges} = \sum A$ | | | | |
| | Abnutzungsvorrat $AV_{tn} = 1 - A_{ges}$ | | | | |
| Einordnung von AV_{tn} in den Bereich des Abnutzungsvorrats | | | | | |

Abb. 152: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bl. 1

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV _{tn} | | Bl. 2 |
|--|---|---|
| Bildokumentation | <p>S1</p> <p>Foto, Zeichnungen oder sonstiges Bildmaterial inkl. Angabe zu Einzelschäden bzw. Schadensbereichen</p> | <p>S1 = Gesamtansicht S2 = Detailaufnahme</p> |
| | <p>S2</p> <p>Foto, Zeichnungen oder sonstiges Bildmaterial inkl. Angabe zu Einzelschäden bzw. Schadensbereichen</p> | |

Abb. 153: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bl. 2

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 3 |
|---|---------------------------|--------------|
| Zustandsbeschreibung | Abnutzungsmerkmal | Beschreibung |
| | Ablagerung (irreversibel) | |
| | Ablagerung (reversibel) | |
| | Baustoffabtrag | |
| | Biologischer Befall | |
| | Brandschutz | |
| | Feuchteschutz | |
| | Riss | |
| | Schallschutz | |
| | Tragfähigkeitsverlust | |
| | Verformung | |
| | Volumenänderung | |
| | Wärmeschutz | |
| | Bemerkung | |

Angaben der innerhalb einer Inspektion erfassten Zustände und Messgrößen

Abb. 154: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bl. 3

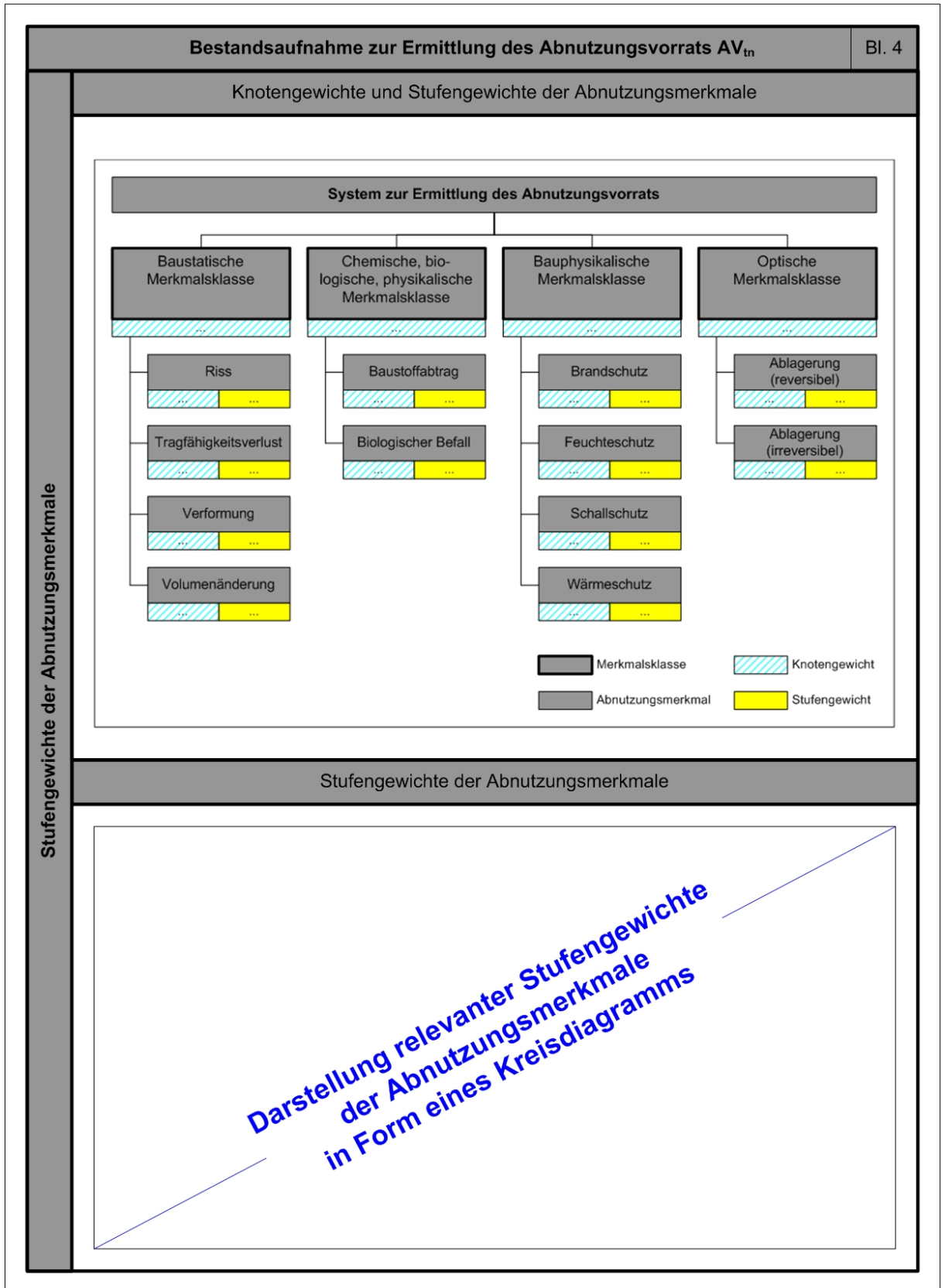


Abb. 155: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bl. 4

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | Bl. 5 |
|---|-----------------------|------|--------------------|
| Ermittlung der Einheitskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal ... | | |
| | Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert |
| | ... | ... | 0,00 |
| | | ... | ... |
| | | ... | ... |
| | | ... | ... |
| | | ... | ... |
| | | ... | 1,00 |
| | Abnutzungsmerkmal ... | | |
| | Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert |
| | ... | ... | 0,00 |
| | | ... | ... |
| | | ... | ... |
| | | ... | ... |
| | | ... | ... |
| | | ... | 1,00 |
| | Abnutzungsmerkmal ... | | |
| | Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert |
| | ... | ... | 0,00 |
| | | ... | ... |
| | | ... | ... |
| ... | | ... | |
| ... | | ... | |
| ... | | 1,00 | |

Abb. 156: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bl. 5

Im Falle von **lokal begrenzten Intensivschäden**, wie einer lokalen Durchrostung eines Metallelements, einer Fehlstelle im Putz oder einer lokalen Undichtigkeit einer Dichtungsbahn aus Bitumen, wird in dieser Arbeit der Bereich des Intensivschadens für die Ermittlung eines Wertes für den Abnutzungsvorrat AV besonders betrachtet. Dadurch wird berücksichtigt, dass das Ausmaß des lokal begrenzten Intensivschadens in Relation zur Gesamtfläche zwar meist klein ist, die Schwere des Schadens aber relativ groß sein kann. Die Undichtigkeit durch eine einzelne Leckage einer Dichtungsbahn aus Bitumen oder einer Fehlstelle im Putz führt i. d. R. zu schwerwiegenden Durchfeuchtungsschäden hinter der Leckage. Die Instandsetzung der lokal begrenzten Intensivschäden erfolgt i. d. R. durch Instandsetzung mittels Austauschen gemäß Abschnitt III2.4, entweder für den Bereich des Intensivschadens oder des gesamten Bauelements. Beispiele für lokal begrenzte Intensivschäden sind in Abb. 157 dargestellt.

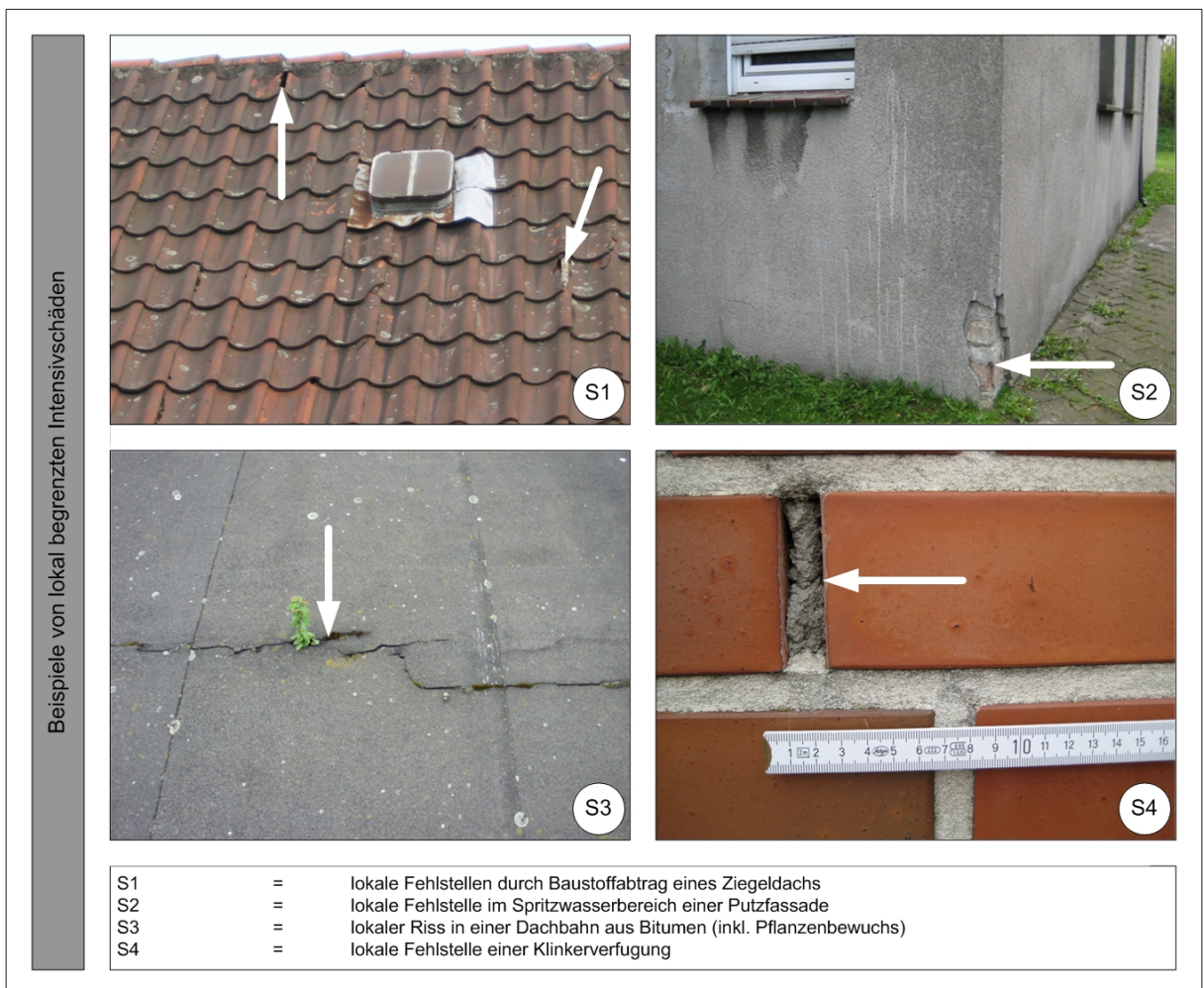


Abb. 157: Beispiele von lokal begrenzte Intensivschäden

3.3.3.2 Anstrich und Beschichtung

Ermittlung der Stufengewichte

Bei dem organisch synthetischen **Baustoff Anstrich und Beschichtung** handelt es sich um flüssige, pastöse oder pulverige Stoffgemische bestehend aus Bindemitteln einschließlich Weichmachern (z. B. Polymere, Silane, Siliconharze oder Bitumen), Pigmenten bzw. Farbstoffen, Lösungs- und Verdünnungsmitteln, Hilfsstoffen (z. B. Fungizide, Biozide oder katalytisch aktive Substanzen) sowie Füllstoffen (Stoffe zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit, Diffusionsdichtigkeit, Elastizität). Neben den Aspekten der Ästhetik, Gestaltung und Farbwirkung ist der dauerhafte Schutz vor äußeren Einflüssen wie Wind, Niederschlag sowie Temperaturwechsel Hauptfunktion des Baustoffs Anstrich und Beschichtung.⁴⁷³

Das Abnutzungsverhalten des Baustoffs Anstrich und Beschichtung hängt stark von seinen Qualitätsmerkmalen Schichtdicke und Wasserundurchlässigkeit ab. Auch die Ausführungsqualität hat großen Einfluss auf das Abnutzungsverhalten.⁴⁷⁴

Der Abnutzungsvorrat des Baustoffs Anstrich und Beschichtung lässt sich durch die in Abb. 158 aufgeführten qualitäts- und schadensbezogenen Merkmale sowie deren zugeordnete Abnutzungsmerkmale beschreiben.

⁴⁷³ Vgl. BENEDIX, R.: *Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten*. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 459; KNOBLAUCH, H.; SCHNEIDER, U.: *Bauchemie*. 6. Aufl. Neuwied : Werner Verlag, 2006, S. 198 ff.; KLOPFER, H.: *Anstrichschäden – Strukturen, Verhaltensweisen und Schadensformen von Anstrichen und Kunststoffbeschichtungen*. Wiesbaden : Bauverlag, 1976, S. 9, S. 23 ff. S. 47; KLOCKE, W.: *Mein Haus wird älter – was tun?*. Wiesbaden : Bauverlag, 1988, S. 51 f.; SCHMID, E. V.: *Außenanstriche im Hochbau – Lebensdauer unter Umwelteinflüssen*. Wiesbaden : Bauverlag, 1994, S. 161 f., S. 168 f.; ZIMMERMANN, G. (Hrsg.): *Schäden an polymeren Beschichtungen*. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2001, S. 40, S. 44, S. 52, S. 55 ff.; SCHÖNBURG, K.: *Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden*. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 188 f.

⁴⁷⁴ Vgl. SCHÖNBURG, K.: *Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden*. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 183

| Merkmal | | Abnutzungsmerkmale | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------|-----------------|--|---------------------|---------------------------------|---------------|--------------|-------------|-------------------------|---------------------------|---|
| | | Baustatische Merkmalsklasse | | | | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | | Bauphysikalische Merkmalsklasse | | | | Optische Merkmalsklasse | | |
| | | Riss | Tragfähigkeitsverlust | Verformung | Volumenänderung | Baustoffabtrag | Biologischer Befall | Brandschutz | Feuchteschutz | Schallschutz | Wärmeschutz | Ablagerung (reversibel) | Ablagerung (irreversibel) | |
| qualitäts-bezogen | Schichtdicke | | | | | x | | | | | | | | |
| | Wasserundurchlässigkeit | | | | | | | | x | | | | | |
| schadensbezogen | Abblätterung | | | | | x | | | | | | | | |
| | Ablagerung | | | | | | | | | | | x | | |
| | Ablösung | | | | | x | | | | | | | | |
| | Algenbefall | | | | | | x | | | | | | | |
| | Ausbleichung | | | | | | | | | | | | | x |
| | Ausblühung | | | | | | | | | | | | | x |
| | Bakterienbefall | | | | | | x | | | | | | | |
| | Blasenbildung | | | | | x | | | | | | | | |
| | Erosion | | | | | x | | | | | | | | |
| | Festigkeitsverlust | | | | | x | | | | | | | | |
| | Flechtenbefall | | | | | | x | | | | | | | |
| | Flecken | | | | | | | | | | | | | x |
| | Haftungsverlust | | | | | x | | | | | | | | |
| | Moosbefall | | | | | | x | | | | | | | |
| | Oberflächenabtrag | | | | | x | | | | | | | | |
| | Pilzbefall | | | | | | x | | | | | | | |
| | Querschnittsminderung | | | | | x | | | | | | | | |
| | Riss | x | | | | | | | | | | | | |
| | Undichtigkeit | | | | | | | | x | | | | | |
| | Verfärbung | | | | | | | | | | | | | x |
| Verschmutzung | | | | | | | | | | | x | | | |
| Versprödung | | | | | | | | x | | | | | | |

x = Zuordnung

Abb. 158: Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Anstrich und Beschichtung⁴⁷⁵

⁴⁷⁵ Vgl. ARENDT, C.; SEELE, J.: Feuchte und Salze in Gebäuden. 2. Aufl. Leinfelden-Echterdingen : Verlagsanstalt Alexander Koch, 2001, S. 18; ZECHO, M.: Korrosionsverhalten von Zink- und Zink-Aluminium-Überzügen auf Stahl. Stuttgart : Otto-Graf-Institut, 2000, S. 39 f.; SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 183; KLOPFER, H.: Anstrichschäden – Strukturen, Verhaltensweisen und Schadensformen von Anstrichen und Kunststoffbeschichtungen. Wiesbaden : Bauverlag, 1976, S. 23 ff.; ZIMMERMANN, G. (Hrsg.): Schäden an polymeren Beschichtungen. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2001, S. 41

Folgende Merkmale werden vorrangig zur Zustandsbewertung des Baustoffs Anstrich und Beschichtung verwendet:⁴⁷⁶

- Undichtigkeit und Versprödung⁴⁷⁷ (Abnutzungsmerkmal **Feuchteschutz**)
- **Baustoffabtrag** wie Abblätterung, Ablösung, Blasenbildung, Erosion, Festigkeitsverlust, Haftungsverlust, Oberflächenabtrag, Querschnittsänderung
- Riss
- **Ablagerungen (irreversibel)** wie Ausbleichung, Ausblühung, Flecken und Verfärbung
- **Biologischer Befall** wie Algenbefall, Bakterienbefall, Flechtenbefall, Moosbefall und Pilzbefall
- Ablagerungen (reversibel) wie Verschmutzung.

Für die baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für den Baustoff Anstrich und Beschichtung werden mittels paarweisem Vergleich⁴⁷⁸ die Knotengewichte für die Merkmalklassen entsprechend Abb. 159 ermittelt. Die Bestimmung der Knotengewichte der gemäß Abb. 158 relevanten Abnutzungsmerkmale erfolgt in Abb. 160 bis Abb. 163. Nichtrelevante Abnutzungsmerkmale erhalten keinen Eintrag in den entsprechenden Matrixfeldern und in der Zeilensumme.

Eine Übersicht über alle Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Anstrich und Beschichtung wird in Abb. 164 gegeben. Eine grafische Übersicht über die Stufengewichte zeigt Abb. 165.

⁴⁷⁶ Vgl. ARENDT, C.; SEELE, J.: Feuchte und Salze in Gebäuden. 2. Aufl. Leinfelden-Echterdingen : Verlagsanstalt Alexander Koch, 2001, S. 18; ZECHO, M.: Korrosionsverhalten von Zink- und Zink-Aluminium-Überzügen auf Stahl. Stuttgart : Otto-Graf-Institut, 2000, S. 39 f.

⁴⁷⁷ Vorrangig lässt sich der Baustoff Anstrich und Beschichtung über das Versprödungsverhalten erfassen und bewerten, woraus auf dessen Lebenserwartung geschlossen werden kann. Vgl. ZIMMERMANN, G. (Hrsg.): Schäden an polymeren Beschichtungen. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2001, S. 41

⁴⁷⁸ Bezüglich des paarweisen Vergleichs s. Abschnitt IV3.3.1

| Zelle | Merkmal oder Merkmals- klasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilen- summe | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|------------------|---------------|
| 1 | Baustatische Merkmalsklasse | - | 1 | 1 | 3 | 5 | 0,2083 |
| 2 | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | 3 | - | 3 | 3 | 9 | 0,3750 |
| 3 | Bauphysikalische Merkmalsklasse | 3 | 1 | - | 3 | 7 | 0,2917 |
| 4 | Optische Merkmalsklasse | 1 | 1 | 1 | - | 3 | 0,1250 |
| Gesamtsumme | | | | | | 24 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung 1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 159: Gewichtung der Merkmalsklassen – Anstrich und Beschichtung – Ebene 1

| Zelle | Merkmal oder Merkmals- klasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilen- summe | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|------------------|---------------|
| 1 | Riss | - | 4 | 4 | 4 | 12 | 1,0000 |
| 2 | Tragfähigkeitsverlust | | - | | | | |
| 3 | Verformung | | | - | | | |
| 4 | Volumenänderung | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 12 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung 1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 160: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Anstrich und Beschichtung – Ebene 2, Spalte 1

| Zeile | Merkmal oder Merkmals- klasse | Zeile 1 | Zeile 2 | Zeile 3 | Zeile 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Baustoffabtrag | - | 3 | | | 3 | 0,7500 |
| 2 | Biologischer Befall | 1 | - | | | 1 | 0,2500 |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 161: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Anstrich und Beschichtung – Ebene 2, Spalte 2

| Zeile | Merkmal oder Merkmals- klasse | Zeile 1 | Zeile 2 | Zeile 3 | Zeile 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Brandschutz | - | | | | | |
| 2 | Feuchteschutz | 4 | - | 4 | 4 | 12 | 1,0000 |
| 3 | Schallschutz | | | - | | | |
| 4 | Wärmeschutz | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 12 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 162: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Anstrich und Beschichtung – Ebene 2, Spalte 3

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Ablagerung (reversibel) | - | 1 | | | 1 | 0,2500 |
| 2 | Ablagerung (irreversibel) | 3 | - | | | 3 | 0,7500 |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
 2 = gleichbedeutend
 3 = bedeutender
 4 = alleiniges Merkmal

Abb. 163: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Anstrich und Beschichtung – Ebene 2, Spalte 4

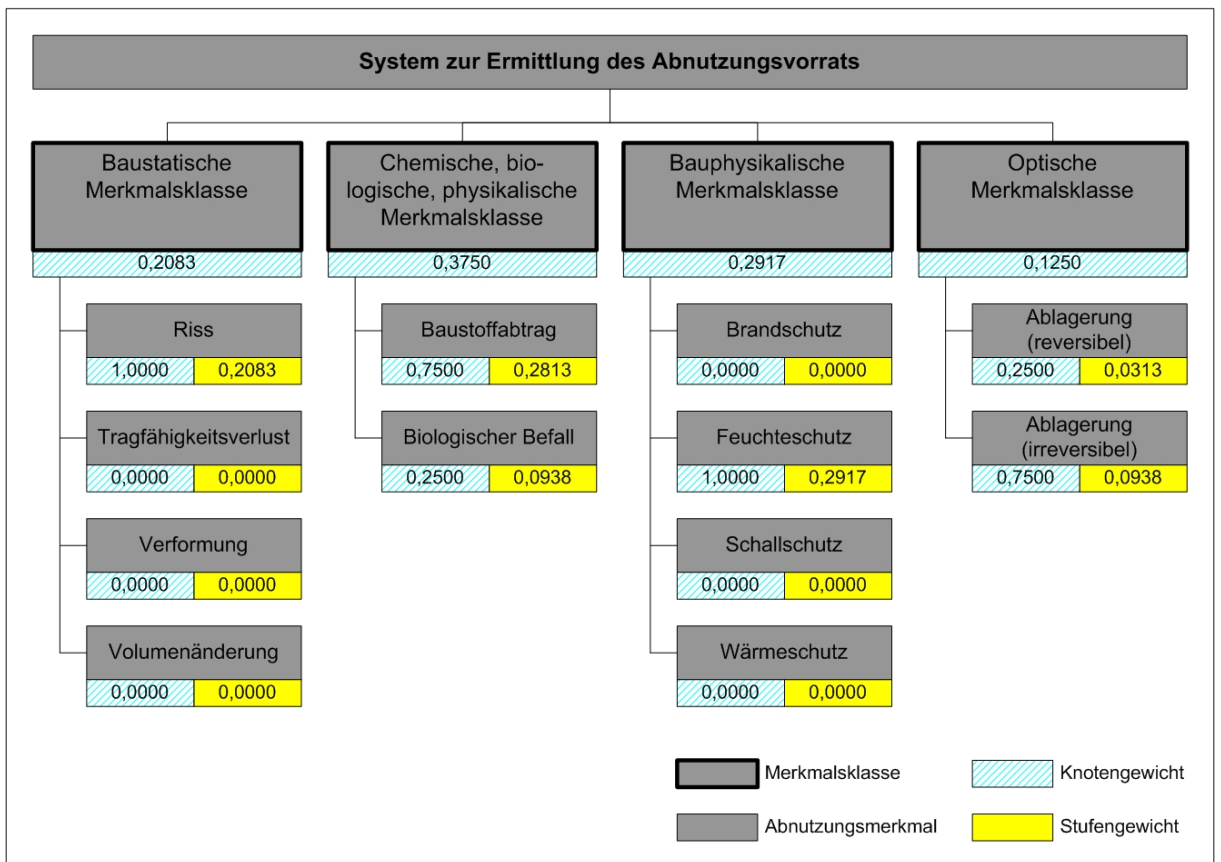


Abb. 164: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Anstrich und Beschichtung⁴⁷⁹

⁴⁷⁹ Die Gewichtung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

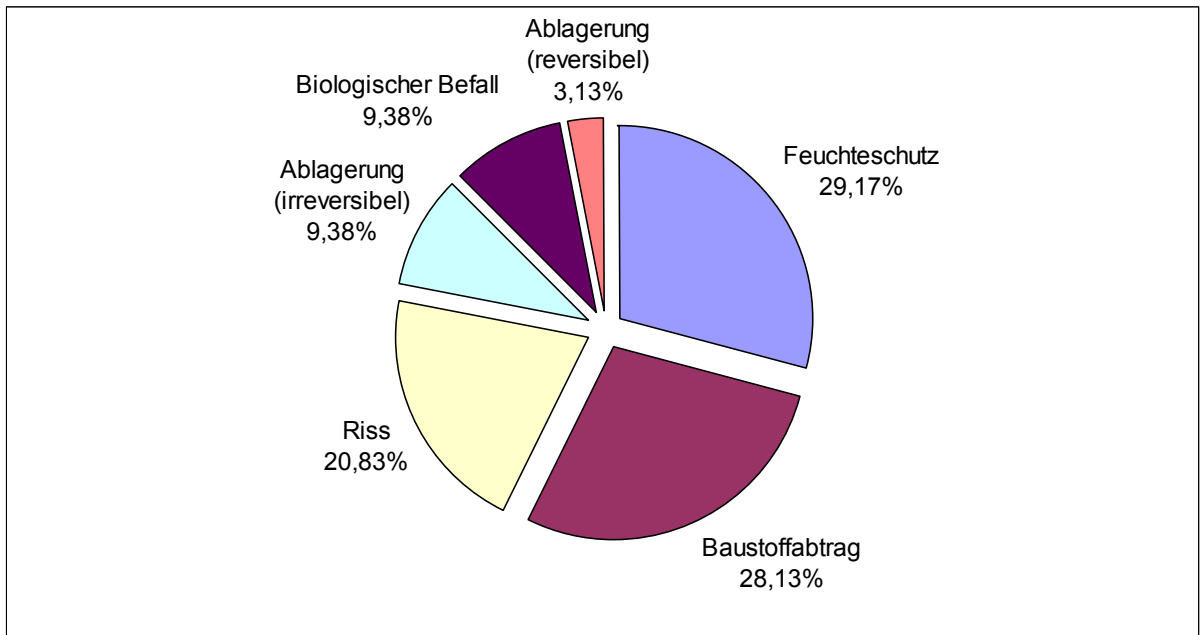


Abb. 165: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Anstrich und Beschichtung

Die Gewichtung der Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Anstrich und Beschichtung entsprechend Abb. 164 wird ansatzweise durch den Vorschlag der einschlägigen Fachliteratur zur Bewertung von Fassadenoberflächen – speziell Anstrich auf Beton gemäß Abb. 166 – untermauert. In dieser Beschreibung werden Schadensbilder aufgezeigt, die drei von fünf Zustandsstufen zugeordnet werden können. Der annehmbare sowie der schlechte Zustand sind nicht beschrieben. Die Schadensbilder umfassen hierbei hauptsächlich die Abnutzungsmerkmale Baustoffabtrag (Abblätterung), Riss sowie Ablagerung (Verschmutzung).

| Zustandsstufe | Bewertung des Zustands | Beschreibung des Zustands |
|---------------|------------------------|--|
| 1 | Guter Zustand | Keine erwähnenswerten Mängel ... |
| 2 | Annehmbarer Zustand | K. A. |
| 3 | Schadhafter Zustand | Lokale, kleine Haarrisse; das Aussehen ist zufriedenstellend ... |
| 4 | Schlechter Zustand | K. A. |
| 5 | Alarmierender Zustand | Rissbildung; Ablätterung der Farbe; Verschmutzungen; das Aussehen ist nicht zufriedenstellend ... |

Abb. 166: Vorschlag zur Bewertung von Anstrich und Beschichtung – speziell Anstrich auf Beton⁴⁸⁰

Beispiel zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats

In Abb. 167 bis Abb. 179 wird ein Beispiel für die Ermittlung eines Wertes für den Abnutzungsvorrat AV anhand einer konkreten Bestandsaufnahme gegeben.⁴⁸¹ Es handelt sich um eine gestrichene Außenwand einer Wohnimmobilie. Der Anstrich ist stark schadhaft und weist u. a. Baustoffabtrag (Schadensbild Ablätterung), Blasenbildung sowie Risse auf.

⁴⁸⁰ In Anlehnung an MERMINOD, P.; VICARI, J.: Handbuch MER – Methode zur Ermittlung der Kosten der Wohnungserneuerung. Bern : Bundesamt für Wohnungswesen, 1984, S. 41

⁴⁸¹ Zum Aufbau der Bestandsaufnahme s. Abschnitt IV3.3.3.1

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | | Bl. 1 | |
|---|--|---|--------------------------------------|--|--------|
| Allgemeine Angaben | Bauelement | Außenwand | | | |
| | Baustoff | Anstrich | | | |
| | Statische Relevanz | Statisch nicht relevant | | | |
| | Standort | Dortmund | | | |
| | Art der Immobilie | Wohnimmobilie | | | |
| | Zeitpunkt t_n der Bestandsaufnahme | 17.04.2010 | | | |
| | Erstellungsdatum des Bauelements | K. A. | | | |
| | Alter des Bauelements | K. A. | | | |
| | Weitere Angaben | Anstrich der Außenwand zum Großteil abgeblättert; Blasenbildung | | | |
| Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | Abnutzungsmerkmal | Stufengewicht (gemäß Bl. 4) | Einheitsskalenwert (gemäß Bl. 5 ff.) | Abnutzung A (= Stufengewicht · Einheitsskalenwert) | |
| | Ablagerung (irreversibel) | 0,0938 | 0,4000 | 0,0375 | |
| | Ablagerung (reversibel) | 0,0313 | 0,6000 | 0,0188 | |
| | Baustoffabtrag | 0,2813 | 1,0000 | 0,2813 | |
| | Biologischer Befall | 0,0938 | 0,6000 | 0,0563 | |
| | Brandschutz | | | | |
| | Feuchteschutz | 0,2917 | 1,0000 | 0,2917 | |
| | Riss | 0,2083 | 0,8000 | 0,1666 | |
| | Schallschutz | | | | |
| | Tragfähigkeitsverlust | | | | |
| | Verformung | | | | |
| | Volumenänderung | | | | |
| | Wärmeschutz | | | | |
| | Gesamtabnutzung $A_{ges} = \sum A$ | | | | 0,8522 |
| | Abnutzungsvorrat $AV_{tn} = 1 - A_{ges}$ | | | | 0,1478 |
| Zerstörter Bereich | | | | | |

Abb. 167: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 1

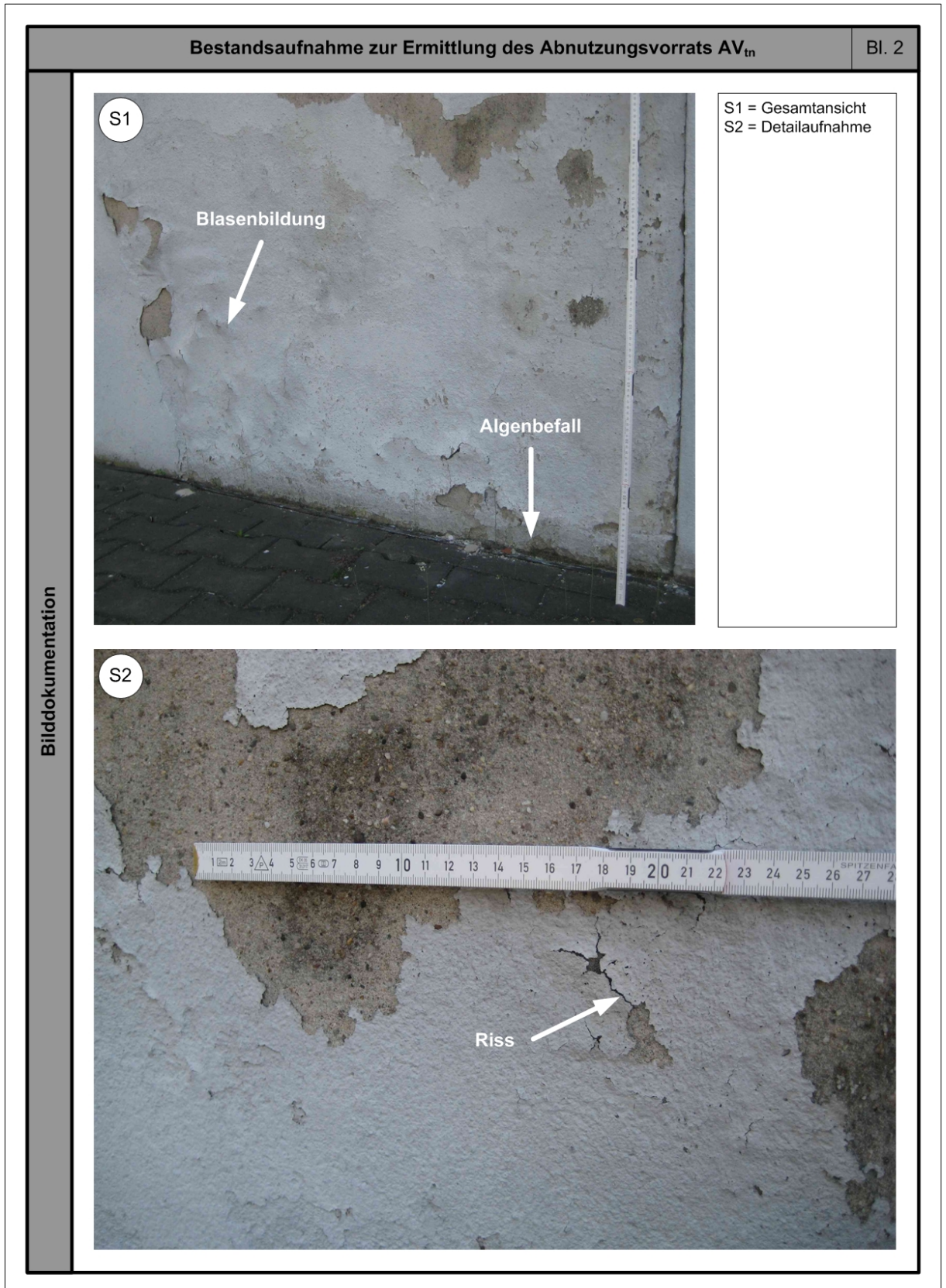
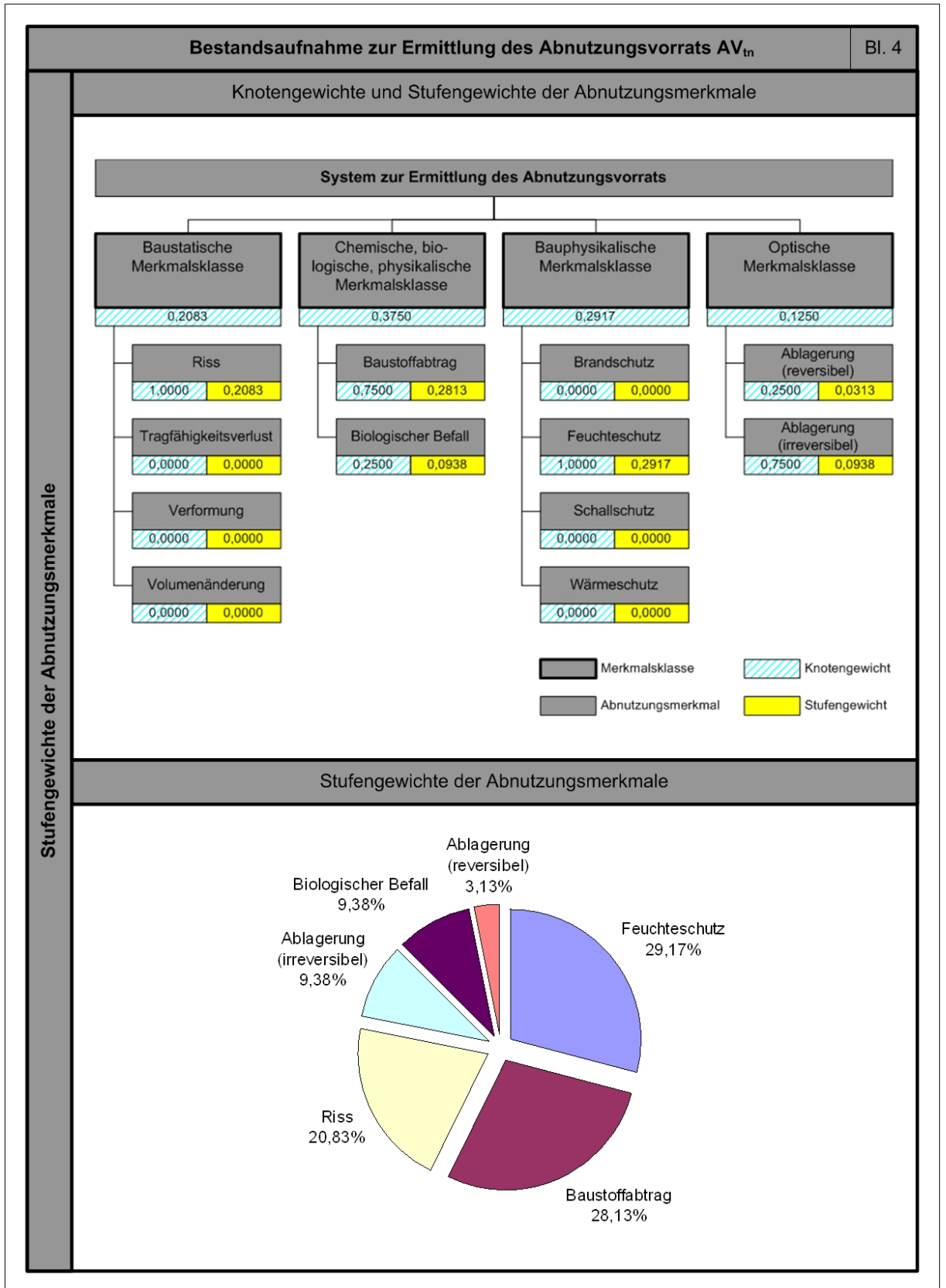


Abb. 168: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 2

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 3 |
|---|---------------------------|--|
| Zustandsbeschreibung | Abnutzungsmerkmal | Beschreibung |
| | Ablagerung (irreversibel) | Kleinere Flecken erkennbar (betroffene Fläche ca. 3 m ² ; Gesamtfläche 100 m ²) |
| | Ablagerung (reversibel) | Leichte Verschmutzung erkennbar (betroffene Fläche ca. 10 m ² ; Gesamtfläche 100 m ²) |
| | Baustoffabtrag | Großflächige Blasenbildung; Farbe großflächig abgeblättert; kompletter Haftungsverlust (Schadensfläche ca. 5 m ² ; Gesamtfläche 100 m ² ; abgeblätterte Einzelflächen größer 300 mm) |
| | Biologischer Befall | Im Spritzwasserbereich Algenbefall vorhanden (betroffene Fläche ca. 3 m ² ; Gesamtfläche 100 m ²) |
| | Brandschutz | |
| | Feuchteschutz | Der Feuchteschutz ist nicht mehr gewährleistet. |
| | Riss | Größere Risse (meist im Bereich der Blasen) vorhanden (Rissbreite ~ 2 mm; Risstiefe über die volle Bauelementdicke) |
| | Schallschutz | |
| | Tragfähigkeitsverlust | |
| | Verformung | |
| | Volumenänderung | |
| | Wärmeschutz | |
| | Bemerkung | Die Schutzwirkung gegen bspw. Niederschlag für die Außenwand ist durch den Anstrich nicht mehr gewährleistet! |

Abb. 169: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 3



Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale

Abb. 170: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 4

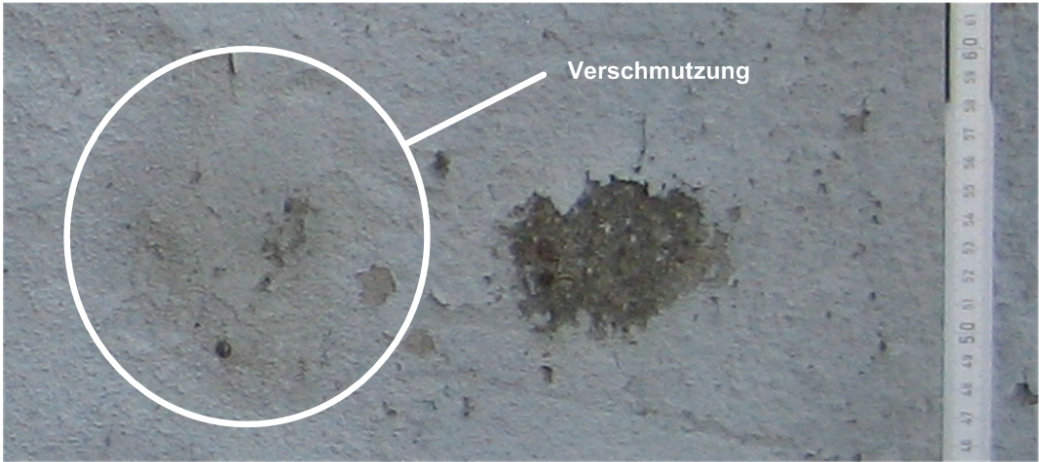
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 5 | |
|---|---|--------------------|-------------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Ablagerung (irreversibel) | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | |
| | | 0 | 0,00 |
| | |]0, 1] | 0,20 |
| | |]1, 5,5] | 0,40 |
| | |]5,5, 19,2] | 0,60 |
| | |]19,2, 43,8] | 0,80 |
| | |]43,8, 100] | 1,00 |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{3 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 3 \%$ | | |
| | W_1 = Schadensfläche ~ 3 m ² W_2 = Gesamtfläche = 100 m ² | | |
| Abnutzungsmerkmal Ablagerung (reversibel) | | | |
|  | | | |
| Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | | |
| | 0 | 0,00 | |
| |]0, 1] | 0,20 | |
| |]1, 5,5] | 0,40 | |
| |]5,5, 19,2] | 0,60 | |
| |]19,2, 43,8] | 0,80 | |
| |]43,8, 100] | 1,00 | |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{10 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 10 \%$ | | | |
| W_1 = Schadensfläche ~ 10 m ² W_2 = Gesamtfläche = 100 m ² | | | |

Abb. 171: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 5








| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | | | Bl. 6 | |
|---|--|--------------|---------------------|----------------------|--------------------|-------------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Ablätterung) | | | | | |
| | Merkmalsaspekt Schadensfläche des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Ablätterung) | | | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | | | | Einheitsskalenwert | |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100\%$ $MA = \frac{5 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100\%$ $MA = 5\%$ | | | | 0 | 0,00 |
| | | | | |]0, 0,1] | 0,20 |
| | | | | |]0,1, 0,3] | 0,40 |
| | | | | |]0,3, 1] | 0,60 |
| | | | | |]1, 3] | 0,80 |
| | | | | |]3, 100] | 1,00 |
| | W_1 | = | Schadensfläche | $\sim 5 \text{ m}^2$ | | |
| W_2 | = | Gesamtfläche | $= 100 \text{ m}^2$ | | | |
|  | | | | | | |
| Merkmalsaspekt Ablätterungsgröße des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Ablätterung) | | | | | | |
| Merkmalsausprägung MA [mm] | | | | Einheitsskalenwert | | |
| Ablät- terungs- größe |  | | | 0 | 0,00 | |
| |  | | |]0, 1] | 0,20 | |
| |  | | |]1, 3] | 0,40 | |
| |  | | |]3, 10] | 0,60 | |
| |  | | |]10, 30] | 0,80 | |
| |  | | |]30, ∞[| 1,00 | |

Abb. 172: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 6

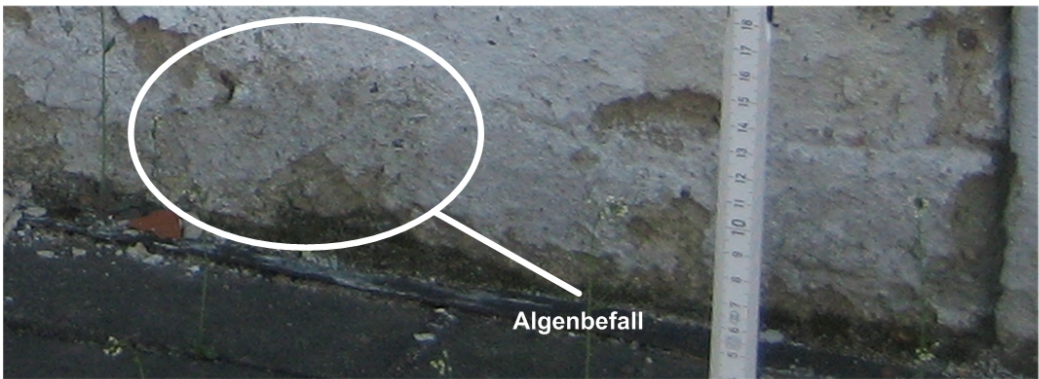
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 7 | |
|---|---|--------------------|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Ablätterung) | | |
| | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | |
| | $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{komb} = 1,00 \cdot 0,50 + 1,00 \cdot 0,50 = 1,00$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,2] | 0,20 |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| | |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| | |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| | |]0,8, 1] | 1,00 |
| | MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensfläche = 1,00 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Ablatterungsgroe = 1,00 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,5$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,5$) | | |
| | Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | |
|  | | | |
| Merkmalsaspekt Schadensart des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | | | |
| | Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | |
| Schadensart | Kein biologischer Befall | 0,00 | |
| | Pflanzenbewuchs (kleine Pflanzen) | 0,20 | |
| | Insektenbefall | 0,40 | |
| | Algenbefall; Bakterienbefall; Moosbefall; Pilzbefall | 0,60 | |
| | Flechtenbefall; Schimmelpilzbefall | 0,80 | |
| | Pflanzenbewuchs (große Pflanzen); Schwammbefall | 1,00 | |

Abb. 173: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 7⁴⁸²

⁴⁸² Die Schadensart Blasenbildung wird nicht weiter betrachtet, da der Einheitsskalenwert des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensart Ablätterung) schon den Wert von 1,00 angenommen hat (s. dazu S. 146).

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 8 | |
|---|--|--|-------------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | |
| | Merkmalsaspekt Schadensgröße des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{3 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 3 \%$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 1] | 0,20 |
| | |]1, 5,5] | 0,40 |
| | |]5,5, 19,2] | 0,60 |
| | |]19,2, 43,8] | 0,80 |
| | |]43,8, 100] | 1,00 |
| | | W_1 = Schadensgröße (Schadensfläche oder Schadensvolumen) ~ 3 m ² W_2 = Gesamtgröße (Schadensgesamtfläche oder Schadensgesamtvolumen) = 100 m ² | |
| | Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | |
| | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | |
| | $MA_{\text{komb}} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{\text{komb}} = 0,60 \cdot 0,50 + 0,40 \cdot 0,50 = 0,50$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,2] | 0,20 |
|]0,2, 0,4] | | 0,40 | |
|]0,4, 0,6] | | 0,60 | |
|]0,6, 0,8] | | 0,80 | |
|]0,8, 1] | | 1,00 | |
| MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensart = 0,60 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schadensgröße = 0,40 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,5$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,5$) | | | |
| Abnutzungsmerkmal Feuchteschutz | | | |
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | | |
| Einhaltung des Feuchteschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | Ja | 0,00 | |
| | Nein | 1,00 | |

Abb. 174: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 8

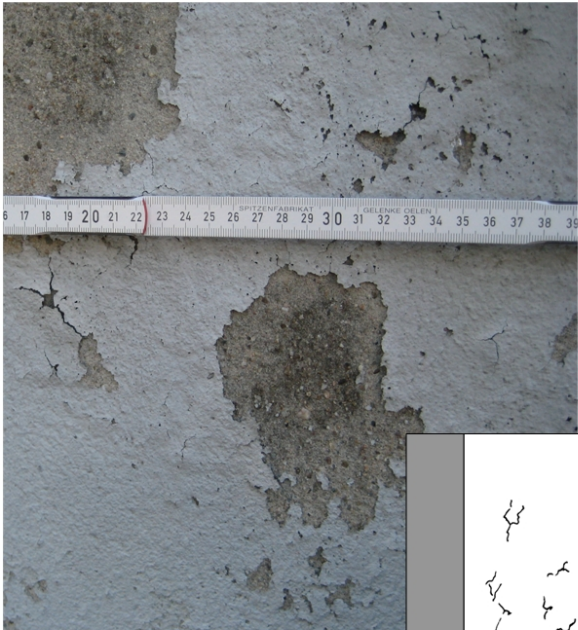
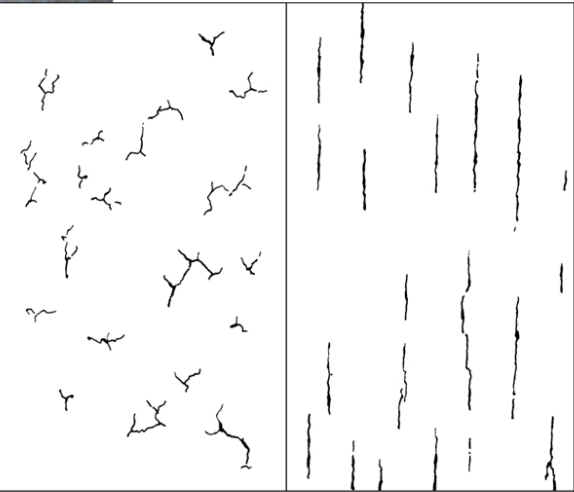
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 9 |
|---|---|---|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | |
| Ermittlung der Einheitskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | |
| | Rissmenge 4 |  |
| | Risse in beträchtlicher Anzahl | |
| | Merkmalsaspekt Rissmenge des Abnutzungsmerkmals Riss | |
| Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert |
| Rissmenge gemäß DIN EN ISO 4628-4 | 0 | 0,00 |
| | 1 | 0,20 |
| | 2 | 0,40 |
| | 3 | 0,60 |
| | 4 | 0,80 |
| | 5 | 1,00 |

Abb. 175: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 9

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | Bl. 10 | | |
|---|---|---|---|--------------------|------|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | | | | | |
| | Merkmalsaspekt Rissbreite des Abnutzungsmerkmals Riss | | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [mm] | | | Einheitsskalenwert | |
| | Kennwert gemäß DIN EN ISO 4628-4 | 0 | Keine sichtbaren Risse bei 10facher Vergrößerung | 0 | 0,00 |
| | | 1 | Nur bei bis zu 10facher Vergrößerung sichtbare Risse |]0, 0,1] | 0,20 |
| | | 2 | Gerade sichtbare Risse mit bloßem Auge (auf Normalsichtigkeit korrigiertes Sehvermögen) |]0,1, 0,2] | 0,40 |
| | | 3 | Deutlich sichtbare Risse mit bloßem Auge (auf Normalsichtigkeit korrigiertes Sehvermögen) |]0,2, 0,4] | 0,60 |
| | | 4 | Breite Risse, bis zu 1 mm breit |]0,4, 1] | 0,80 |
| | | 5 | Sehr breite Risse, mehr als 1 mm breit |]1, ∞[| 1,00 |

Abb. 176: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 10

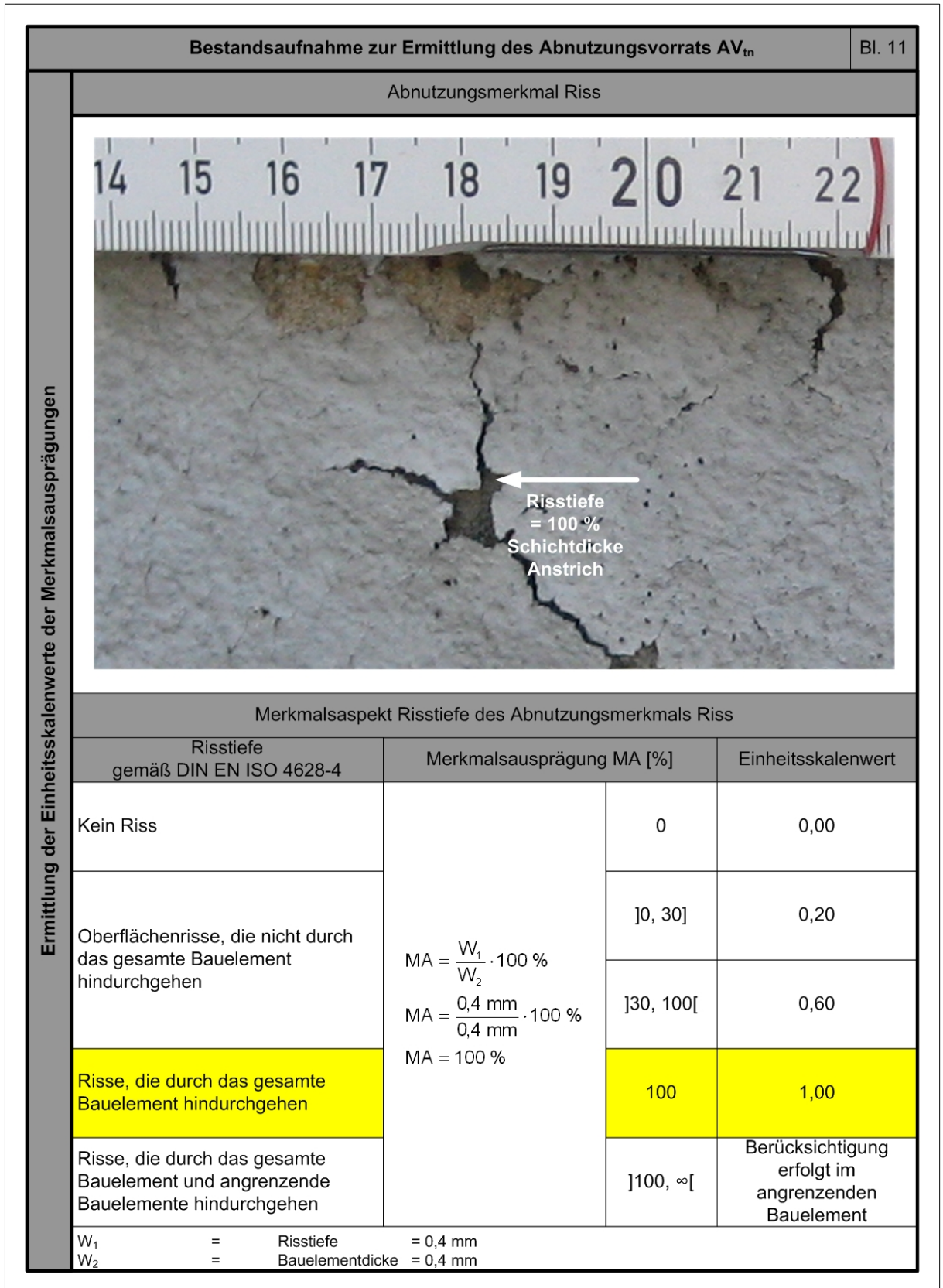


Abb. 177: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 11




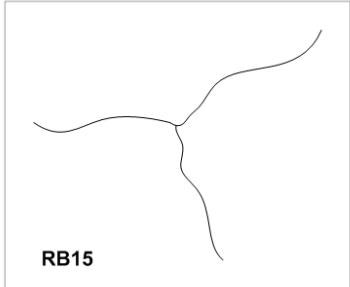
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 12 | |
|---|---|--|---|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | |  |
| |  | |  <p style="text-align: center;">RB15</p> |
| | Merkmalsaspekt Rissbild des Abnutzungsmerkmals Riss | | |
| | Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert |
| | Rissbild | Kein Riss | K. A. |
| | Rissursache kann mit mäßigem Aufwand behoben werden | RB5, RB15 | 0,20 |
| | Rissursache kann mit hohem Aufwand behoben werden | RB4, RB6, RB7, RB9, RB10, RB11, RB12, RB13, RB14, RB16, RB17 | 0,60 |
| | Rissursache kann nur mit sehr hohem Aufwand behoben werden | RB1, RB2, RB3, RB8 | 1,00 |

Abb. 178: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 12

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 13 |
|--|--|--------------------|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | |
| Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | | Einheitsskalenwert |
| | | 0 |
| | |]0, 0,2] |
| $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2 + ESW_3 \cdot G_3 + ESW_4 \cdot G_4$ $MA_{komb} = 0,80 \cdot 0,25 + 1,00 \cdot 0,25 + 1,00 \cdot 0,25 + 0,20 \cdot 0,25$ $MA_{komb} = 0,75$ | |]0,2, 0,4] |
| | |]0,4, 0,6] |
| | |]0,6, 0,8] |
| | |]0,8, 1] |
| | | 1,00 |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Rissmenge = 0,80 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Rissbreite = 1,00 ESW_3 = Einheitsskalenwert 3 des Merkmalsaspekts Risstiefe = 1,00 ESW_4 = Einheitsskalenwert 4 des Merkmalsaspekts Rissbild = 0,20 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,25$) G_3 = Gewichtungsfaktor 3 (mit $G_3 = 0,25$) G_4 = Gewichtungsfaktor 4 (mit $G_4 = 0,25$) | |

Abb. 179: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Anstrich und Beschichtung – Bl. 13

3.3.3.3 Bitumen

Ermittlung der Stufengewichte

Bei dem organisch synthetischen **Baustoff Bitumen** handelt es sich um ein Bindemittel, das als Rückstand bei der Destillation von Erdöl anfällt. Es ist ein zähflüssiges, klebriges und aufgrund seiner dicht gepackten Kohlenwasserstoffmoleküle wasserundurchlässiges, abdichtendes Produkt. Bitumen ist weitgehend gegen Säuren, Laugen sowie Salzlösungen beständig.⁴⁸³

Zu den Hauptfunktionen von Bitumen gehören die Dichtigkeit und Wasserundurchlässigkeit gegenüber äußeren Einflüssen wie Niederschlag. Das Abnutzungsverhalten des Baustoffs Bitumen hängt stark von seinen Qualitätsmerkmalen wie Elastizität und Schichtdicke ab. Auch die Ausführungsqualität hat großen Einfluss auf das Abnutzungsverhalten.⁴⁸⁴

Der Abnutzungsvorrat des Baustoffs Bitumen lässt sich durch die in Abb. 180 aufgeführten qualitäts- und schadensbezogenen Merkmale sowie deren zugeordnete Abnutzungsmerkmale beschreiben. Folgende Merkmale werden vorrangig zur Zustandsbewertung des Baustoffs Bitumen verwendet:⁴⁸⁵

- Undichtigkeit und Versprödung (Verminderung des **Feuchteschutzes**)
- Riss
- **Baustoffabtrag** wie Blasenbildung und Haftungsverlust
- **Biologischer Befall** wie Algen- und Bakterienbefall sowie Pflanzenbewuchs.

⁴⁸³ Vgl. BENEDIX, R.: Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 419 f.; KNÖFEL, D.: Stichwort Baustoffkorrosion. Wiesbaden : Bauverlag, 1982, S. 205 f.

⁴⁸⁴ Vgl. ERNST, W.: Dachabdichtung – Dachbegrünung – Fehler, Ursachen, Auswirkungen und Vermeidung Band 1. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2002, S. 47

⁴⁸⁵ Vgl. BENEDIX, R.: Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 425; EMPA-AKADEMIE (Hrsg.): Die Gebäudehülle – Konstruktive, bauphysikalische und umweltrelevante Aspekte. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2000, S. 93 f.; BMRBS (Hrsg.): Leitfaden Instandhaltung Flachdächer. Koblenz : H. Fuck, 1982, S. 18 f., S. 38 ff.

| Merkmal | | Abnutzungsmerkmale | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------|-----------------|--|---------------------|---------------------------------|---------------|--------------|-------------|-------------------------|---------------------------|
| | | Baustatische Merkmalsklasse | | | | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | | Bauphysikalische Merkmalsklasse | | | | Optische Merkmalsklasse | |
| | | Riss | Tragfähigkeitsverlust | Verformung | Volumenänderung | Baustoffabtrag | Biologischer Befall | Brandschutz | Feuchteschutz | Schallschutz | Wärmeschutz | Ablagerung (reversibel) | Ablagerung (irreversibel) |
| qualitäts- bezogen | Dichtigkeit | | | | | | | | x | | | | |
| | Schichtdicke | | | | | x | | | | | | | |
| | Wasserundurchlässigkeit | | | | | | | | x | | | | |
| schadens- bezogen | Algenbefall | | | | | | x | | | | | | |
| | Bakterienbefall | | | | | | x | | | | | | |
| | Blasenbildung | | | | | x | | | | | | | |
| | Haftungsverlust | | | | | x | | | | | | | |
| | Pflanzenbewuchs | | | | | | x | | | | | | |
| | Riss | x | | | | | | | | | | | |
| | Undichtigkeit | | | | | | | | x | | | | |
| | Versprödung | | | | | | | | x | | | | |

x = Zuordnung

Abb. 180: Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Bitumen⁴⁸⁶

Für die baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für den Baustoff Bitumen werden mittels paarweisem Vergleich⁴⁸⁷ die Knotengewichte für die Merkmalsklassen entsprechend Abb. 181 ermittelt. Die Bestimmung der Knotengewichte der gemäß Abb. 180 relevanten Abnutzungsmerkmale erfolgt in Abb. 182 bis Abb. 184. Nichtrelevante Abnutzungsmerkmale erhalten keinen Eintrag in den entsprechenden Matrixfeldern und in der Zeilensumme.

Eine Übersicht über alle Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Bitumen wird in Abb. 185 gegeben. Eine grafische Übersicht über die Stufengewichte zeigt Abb. 186.

⁴⁸⁶ Vgl. BENEDIX, R.: Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 425; EMPA-AKADEMIE (Hrsg.): Die Gebäudehülle – Konstruktive, bauphysikalische und umweltrelevante Aspekte. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2000, S. 93 f.; BMRBS (Hrsg.): Leitfaden Instandhaltung Flachdächer. Koblenz : H. Fuck, 1982, S. 18 f., S. 38 ff.; SIMONS, K.; HIRSCHBERGER, H.; STÖLTING, D.: Lebensdauer von Bauteilen und Baustoffen – Abschlussbericht. Bonn : Technische Universität Braunschweig, 1987, S. 89

⁴⁸⁷ Bezüglich des paarweisen Vergleichs s. Abschnitt IV3.3.1

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilen-summe | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|--------------|---------------|
| 1 | Baustatische Merkmalsklasse | - | 2 | 1 | | 3 | 0,2500 |
| 2 | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | 2 | - | 1 | | 3 | 0,2500 |
| 3 | Bauphysikalische Merkmalsklasse | 3 | 3 | - | | 6 | 0,5000 |
| 4 | Optische Merkmalsklasse | | | | - | 0 | 0,0000 |
| Gesamtsumme | | | | | | 12 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 181: Gewichtung der Merkmalsklassen – Bitumen – Ebene 1

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilen-summe | Gewichtung |
|--------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|--------------|---------------|
| 1 | Riss | - | 4 | 4 | 4 | 12 | 1,000 |
| 2 | Tragfähigkeitsverlust | | - | | | | |
| 3 | Verformung | | | - | | | |
| 4 | Volumenänderung | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 12 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 182: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Bitumen – Ebene 2, Spalte 1

| Zelle | Merkmal oder Merkmals- klasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Baustoffabtrag | - | 2 | | | 2 | 0,5000 |
| 2 | Biologischer Befall | 2 | - | | | 2 | 0,5000 |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 183: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Bitumen – Ebene 2, Spalte 2

| Zelle | Merkmal oder Merkmals- klasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Brandschutz | - | | | | | |
| 2 | Feuchteschutz | 4 | - | 4 | 4 | 12 | 1,0000 |
| 3 | Schallschutz | | | - | | | |
| 4 | Wärmeschutz | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 12 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 184: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Bitumen – Ebene 2, Spalte 3

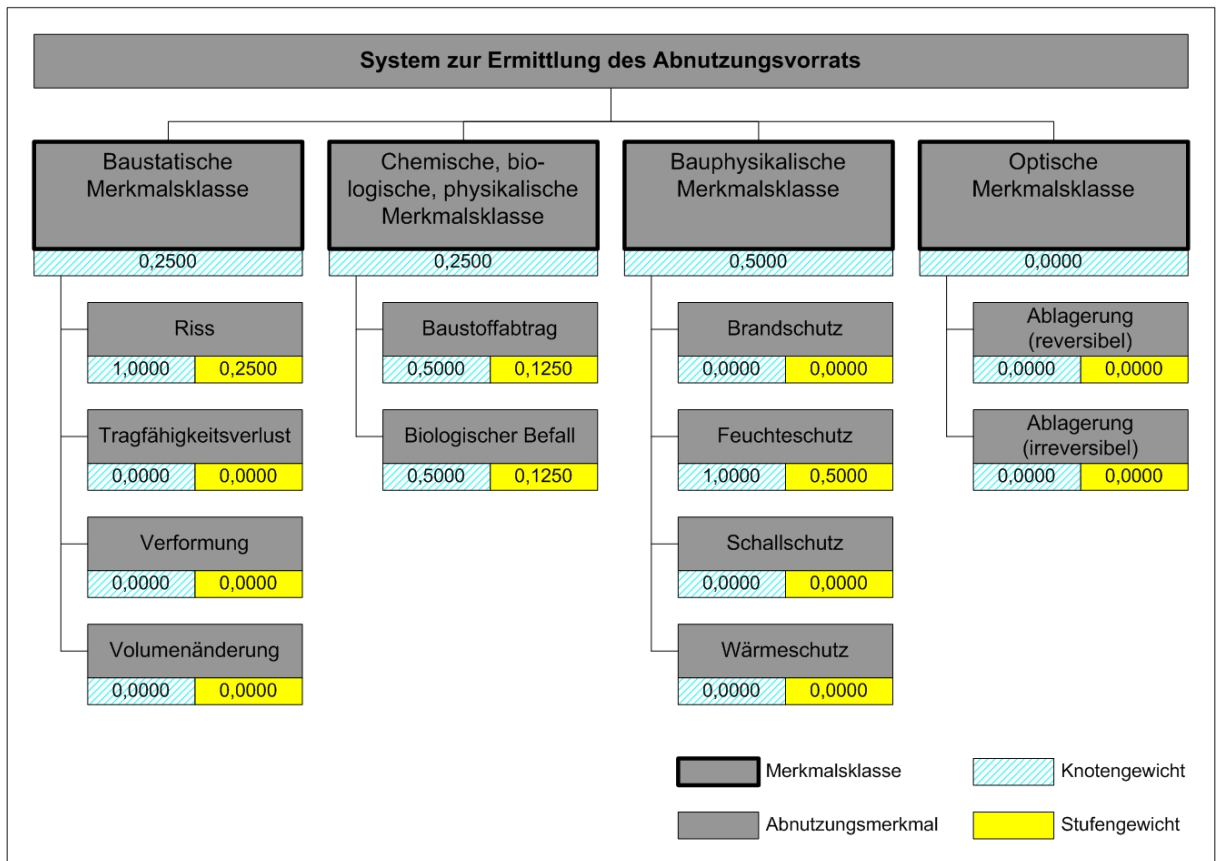


Abb. 185: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Bitumen⁴⁸⁸

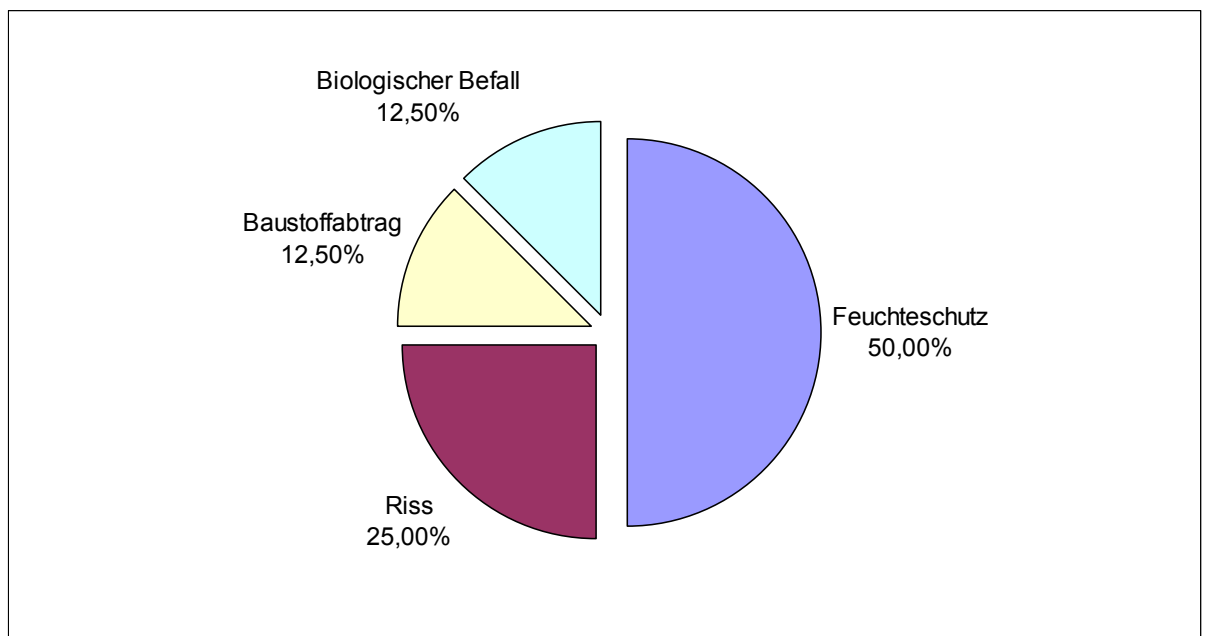


Abb. 186: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Bitumen

⁴⁸⁸ Die Gewichtung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

Die baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für den Baustoff Bitumen entsprechend Abb. 185 wird durch den Vorschlag der einschlägigen Fachliteratur zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Bitumen gemäß Abb. 187 untermauert. In dieser Beschreibung werden Schadensbilder aufgezeigt, die vier von fünf Zustandsstufen zugeordnet werden können. Der gute Zustand ist nicht beschrieben. Die Schadensbilder umfassen u. a. Undichtigkeit und Versprödung (Feuchteschutz), Baustoffabtrag durch Haftungsverlust, Blasenbildung (Aufwölbung) und Fehlstellen sowie biologischen Befall durch Pflanzenbewuchs.

| Zustandsstufe | Bewertung des Zustands | Beschreibung des Zustands |
|---------------|------------------------|---|
| 1 | Guter Zustand | K. A. |
| 2 | Annehmbarer Zustand | Leicht schadhaft: Belag intakt; Schutzschicht teilweise fehlend |
| 3 | Schadhafter Zustand | Mittel schadhaft: Belag über größere Flächen offenliegend; Aufwölbungen und Faltbildung; beginnender Pflanzenbewuchs; Wasserdichtigkeit gewährleistet |
| 4 | Schlechter Zustand | Stark schadhaft: Verbund mit Randblechen gelöst; Dachbahn spröde und gebrochen; eindringende Wurzeln; Wasserdichtigkeit nicht mehr vorhanden, Bauteil und damit Bauwerk nicht mehr gebrauchsfähig; unbewohnbar |
| 5 | Alarmierender Zustand | Zerstört: Bauwerk verlottert; unbrauchbar |

Abb. 187: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Bitumen⁴⁸⁹

⁴⁸⁹ Vgl. IP BAU (Hrsg.): Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten – Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten. Bern : Bundesamt für Konjunkturfüragen, 1994, S. 89

Zusätzlich unterstützt der in Abb. 188 dargestellte Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Flachdächern mit Bauelementen aus Bitumen (Bitumenpappdach) die Aussagen der Abb. 185. In dieser Beschreibung werden Schadensbilder aufgezeigt, die fünf Zustandsstufen zugeordnet werden können. Die Schadensbilder umfassen auch hier u. a. Undichtigkeit und Versprödung (Feuchteschutz), Risse (Anschlüsse abgerissen), Baustoffabtrag durch Blasenbildung (Aufwölbung) und Ablösungen sowie biologischen Befall durch Pflanzenbewuchs.

| Zustandsstufe | Bewertung des Zustands | Beschreibung des Zustands |
|---------------|------------------------|--|
| 1 | Guter Zustand | Sämtliche Lagen der Dachhaut fest auf der Unterlage haftend, keine Blasenbildung, Stöße geschlossen; Dachhaut elastisch, nicht ausgetrocknet bzw. versprödet; Bekiesung vorhanden; keine sichtbaren Beschädigungen; ungehinderter Wasserablauf; Anschlüsse fest und wasserdicht; Dachfläche wasserdicht und voll funktionsfähig |
| 2 | Annehmbarer Zustand | Sämtliche Lagen der Dachhaut fest auf der Unterlage haftend, keine Blasenbildung, Stöße geschlossen; beginnende Versprödung der Decklage; starke Verringerung der Bekiesung (ca. 50 Masse-%); keine sichtbaren Beschädigungen; keine Ablagerung von Fremdstoffen bzw. Pflanzenbewuchs; Anschlüsse fest und wasserdicht; Dachfläche wasserdicht |
| 3 | Schadhafter Zustand | Beginnende Blasenbildung und Öffnen der Stöße; fehlende Bekiesung und starke Versprödung der Decklage; einzelne Beschädigungen der Decklage; beginnende Ablagerung von Fremdstoffen bzw. beginnender Pflanzenbewuchs; Anschlüsse gelockert, aber noch dicht; Dachfläche noch wasserdicht |
| 4 | Schlechter Zustand | Starke Blasenbildung und Öffnen der Stöße; fehlende Bekiesung und starke Versprödung der gesamten Decklage; einzelne Beschädigungen der Decklage; starke Ablagerung von Fremdstoffen bzw. starker Pflanzenbewuchs; Anschlüsse in größerem Umfang gelockert, teilweise abgerissen und undicht; Dachfläche mit einzelnen undichten Stellen; Funktionsfähigkeit eingeschränkt |
| 5 | Alarmierender Zustand | Großflächiges Ablösen der Dachhaut von der Tragschicht und/oder offene Stöße; durchgehende Versprödung der Dachhaut; zahlreiche und durchgehende Beschädigungen der Dachhaut; starke Ablagerung von Fremdstoffen bzw. durch starken Pflanzenbewuchs; Anschlüsse abgerissen und undicht; Dachhaut vollständig oder großflächig undicht; nicht mehr funktionsfähig |

Abb. 188: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Flachdächern mit Bauelementen aus Bitumen (Bitumenpappdach)⁴⁹⁰

⁴⁹⁰ Vgl. SIMONS, K.; HIRSCHBERGER, H.; STÖLTING, D.: Lebensdauer von Bauteilen und Baustoffen – Abschlussbericht. Bonn : Technische Universität Braunschweig, 1987, S. 89

Beispiel zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats

In Abb. 189 bis Abb. 201 wird ein Beispiel für die Ermittlung eines Wertes für den Abnutzungsvorrat AV anhand einer konkreten Bestandsaufnahme gegeben. Hierbei handelt es sich um ein Garagenflachdach mit einer Dachbahn aus Bitumen. Diese ist stark schadhaft und weist u. a. Baustoffabtrag, Algenbefall (biologischer Befall) sowie Risse auf. Der Feuchteschutz ist aufgrund von Leckagen nicht mehr gewährleistet.

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | | Bl. 1 | |
|---|--|--|---|---|--------|
| Allgemeine Angaben | Bauelement | Flachdach | | | |
| | Baustoff | Bitumen | | | |
| | Statische Relevanz | Statisch nicht relevant | | | |
| | Standort | Dortmund | | | |
| | Art der Immobilie | Garagendach | | | |
| | Zeitpunkt t_n der Bestandsaufnahme | 09.05.2010 | | | |
| | Erstellungsdatum des Bauelements | K. A. | | | |
| | Alter des Bauelements | K. A. | | | |
| | Weitere Angaben | Bitumendach mit defekter Splittschuttschicht, Versprödung und Rissen; Feuchteschäden im Inneren der Garage (Dachbereich) deuten auf Undichtigkeiten hin. | | | |
| Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | Abnutzungsmerkmal | Stufengewicht (gemäß Bl. 4) | Einheitsskalenwert (gemäß Bl. 5 ff.) | Abnutzung A (= Stufengewicht · Einheitsskalenwert) | |
| | Ablagerung (irreversibel) | | | | |
| | Ablagerung (reversibel) | | | | |
| | Baustoffabtrag | 0,1250 | 1,0000 | 0,1250 | |
| | Biologischer Befall | 0,1250 | 0,6000 | 0,0750 | |
| | Brandschutz | | | | |
| | Feuchteschutz | 0,5000 | 1,0000 | 0,5000 | |
| | Riss | 0,2500 | 0,8000 | 0,2000 | |
| | Schallschutz | | | | |
| | Tragfähigkeitsverlust | | | | |
| | Verformung | | | | |
| | Volumenänderung | | | | |
| | Wärmeschutz | | | | |
| | Gesamtabnutzung $A_{ges} = \Sigma A$ | | | | 0,9000 |
| | Abnutzungsvorrat $AV_{tn} = 1 - A_{ges}$ | | | | 0,1000 |
| Zerstörter Bereich | | | | | |

Abb. 189: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 1



Abb. 190: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 2

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 3 |
|---|---------------------------|---|
| Zustandsbeschreibung | Abnutzungsmerkmal | Beschreibung |
| | Ablagerung (irreversibel) | |
| | Ablagerung (reversibel) | |
| | Baustoffabtrag | Starke Reduzierung der Schichtdicke (Ist-Schichtdicke ~ 2 mm; Bauelementdicke = 4 mm; Schadensfläche ~ 20 m ² ; Gesamtfläche = 100 m ²) Splittschuttschicht teilweise nicht mehr vorhanden; Haftungsverlust im Randbereich und an den Nähten |
| | Biologischer Befall | Algenbefall im Bereich der Risse (betroffene Fläche ca. 3 m ² ; Gesamtfläche 100 m ²) |
| | Brandschutz | |
| | Feuchteschutz | Feuchteschutz nicht mehr gewährleistet; Feuchteschäden im Inneren der Garage (Dachbereich) |
| | Riss | Viele größere Risse vorhanden (Rissbreite ~ 2 mm; Risstiefe teilweise über die volle Bauelementdicke) |
| | Schallschutz | |
| | Tragfähigkeitsverlust | |
| | Verformung | |
| | Volumenänderung | |
| | Wärmeschutz | |
| | Bemerkung | Die Schutzwirkung gegen Niederschlag des Flachdachs ist durch die Bitumendachbahnen nicht mehr gewährleistet! |

Abb. 191: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 3

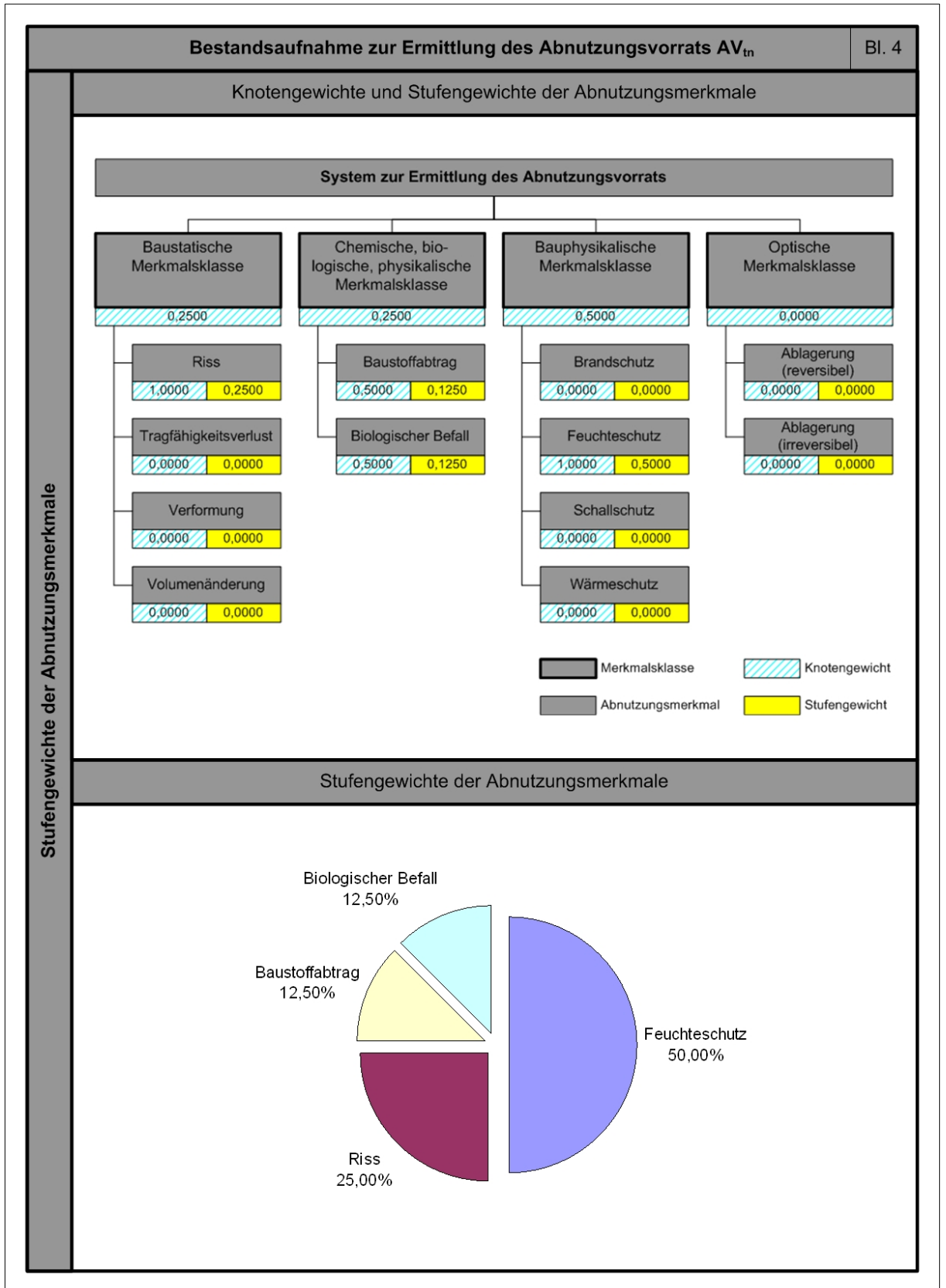


Abb. 192: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 4

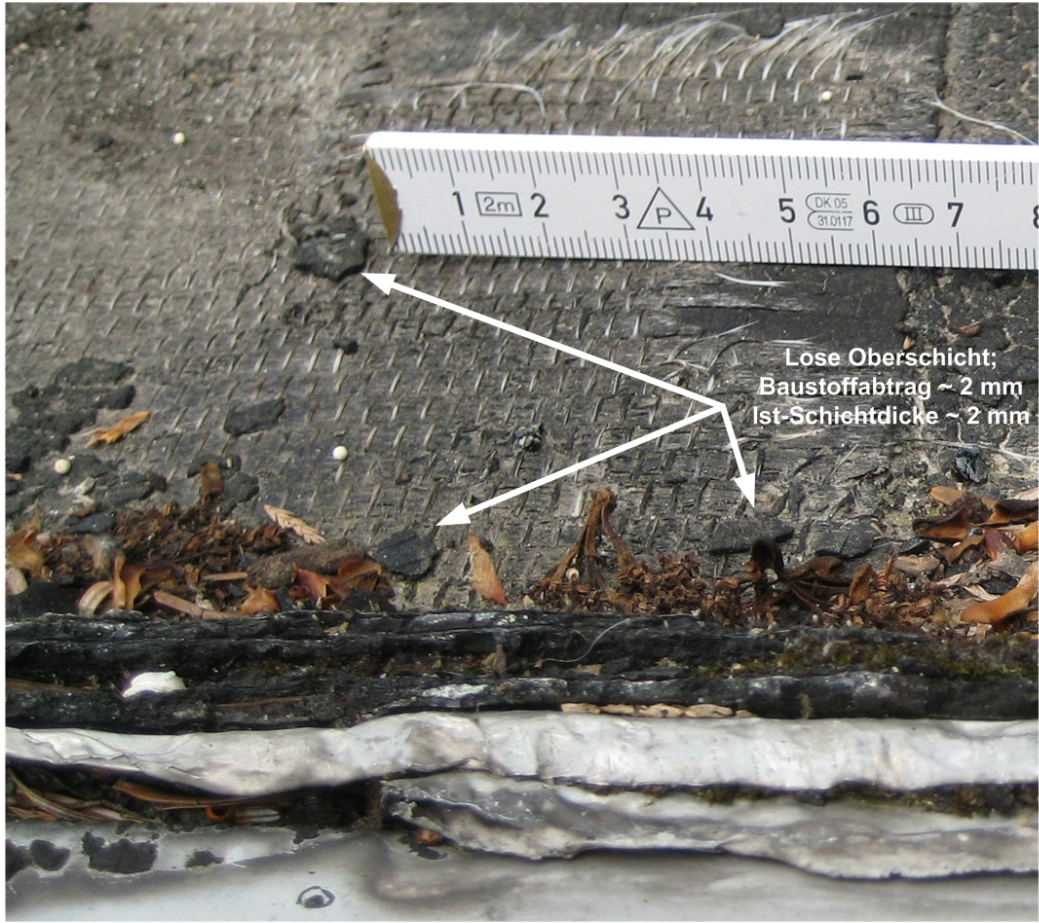
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 5 | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|---|------|-----------|------|-------------|------|----------|------|--------|------|----------|
| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | | | | | | | | | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | | | | | | | | | | | |
| | Merkmalsaspekt Schadensfläche des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | | | | | | | | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | | | | | | | | | | | |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{20 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 20 \%$ | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">0,00</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]0, 0,05]</td><td style="text-align: center;">0,20</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]0,05, 0,5]</td><td style="text-align: center;">0,40</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]0,5, 1]</td><td style="text-align: center;">0,60</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]1, 8]</td><td style="text-align: center;">0,80</td></tr> <tr style="background-color: yellow;"><td style="text-align: center;">]8, 100]</td><td style="text-align: center;">1,00</td></tr> </table> | 0 | 0,00 |]0, 0,05] | 0,20 |]0,05, 0,5] | 0,40 |]0,5, 1] | 0,60 |]1, 8] | 0,80 |]8, 100] |
| 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | |
|]0, 0,05] | 0,20 | | | | | | | | | | | | |
|]0,05, 0,5] | 0,40 | | | | | | | | | | | | |
|]0,5, 1] | 0,60 | | | | | | | | | | | | |
|]1, 8] | 0,80 | | | | | | | | | | | | |
|]8, 100] | 1,00 | | | | | | | | | | | | |
| W_1 | = Schadensfläche = 20 m ² | | | | | | | | | | | | |
| W_2 | = Gesamtfläche = 100 m ² | | | | | | | | | | | | |

Abb. 193: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 5

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 6 | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|---------------------------|--------------------|------|----------|-----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|----------|---------|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Merkmalsaspekt Schichtdicke des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Merkmalsausprägung MA [%]</th> <th>Einheitsskalenwert</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>[95, 100[</td> <td>0,20</td> </tr> <tr> <td>[90, 95[</td> <td>0,40</td> </tr> <tr> <td>[80, 90[</td> <td>0,60</td> </tr> <tr> <td>[60, 80[</td> <td>0,80</td> </tr> <tr> <td>[0, 60[</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table> | | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | 100 | 0,00 | [95, 100[| 0,20 | [90, 95[| 0,40 | [80, 90[| 0,60 | [60, 80[| 0,80 | [0, 60[| 1,00 |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | | | | | | | | | | | | | | |
| | 100 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | |
| | [95, 100[| 0,20 | | | | | | | | | | | | | | |
| | [90, 95[| 0,40 | | | | | | | | | | | | | | |
| | [80, 90[| 0,60 | | | | | | | | | | | | | | |
| | [60, 80[| 0,80 | | | | | | | | | | | | | | |
| [0, 60[| 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{2 \text{ mm}}{4 \text{ mm}} \cdot 100 \%$ $MA = 50 \%$ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| W_1 | = Ist-Schichtdicke ~ 2 mm | | | | | | | | | | | | | | | |
| W_2 | = Referenz-Schichtdicke ~ 4 mm | | | | | | | | | | | | | | | |
| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb}</th> <th>Einheitsskalenwert</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>]0, 0,2]</td> <td>0,20</td> </tr> <tr> <td>]0,2, 0,4]</td> <td>0,40</td> </tr> <tr> <td>]0,4, 0,6]</td> <td>0,60</td> </tr> <tr> <td>]0,6, 0,8]</td> <td>0,80</td> </tr> <tr> <td>]0,8, 1]</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table> | | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | 0 | 0,00 |]0, 0,2] | 0,20 |]0,2, 0,4] | 0,40 |]0,4, 0,6] | 0,60 |]0,6, 0,8] | 0,80 |]0,8, 1] | 1,00 | |
| Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | |
|]0, 0,2] | 0,20 | | | | | | | | | | | | | | | |
|]0,2, 0,4] | 0,40 | | | | | | | | | | | | | | | |
|]0,4, 0,6] | 0,60 | | | | | | | | | | | | | | | |
|]0,6, 0,8] | 0,80 | | | | | | | | | | | | | | | |
|]0,8, 1] | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{komb} = 1,00 \cdot 0,25 + 1,00 \cdot 0,75$ $MA_{komb} = 1,00$ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MA_{komb} | = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESW_1 | = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensfläche = 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESW_2 | = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schichtdicke = 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| G_1 | = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) | | | | | | | | | | | | | | | |
| G_2 | = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,75$) | | | | | | | | | | | | | | | |

Abb. 194: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 6

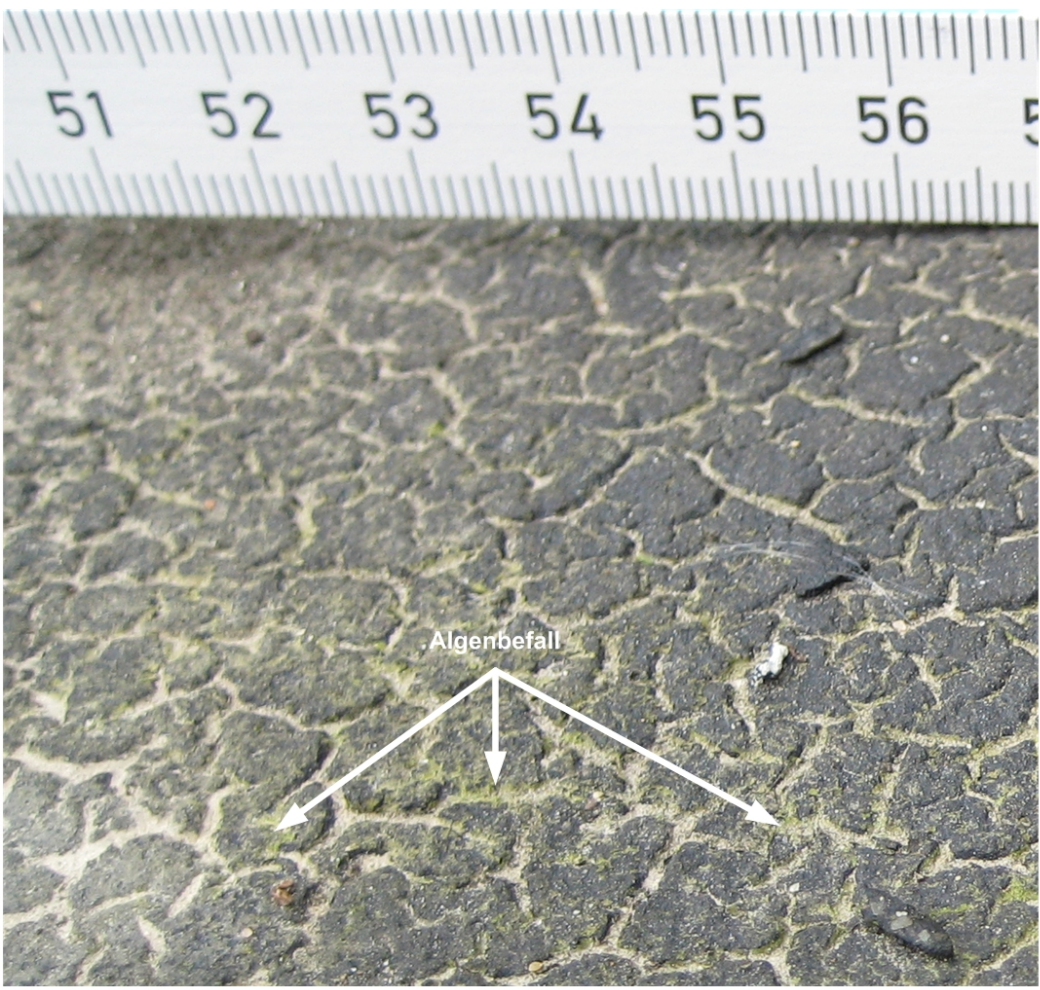
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 7 |
|---|---|--------------------|
| Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | |
| | Merkmalsaspekt Schadensart des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | |
| | Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert |
| | Schadensart | |
| | Kein biologischer Befall | 0,00 |
| | Pflanzenbewuchs (kleine Pflanzen) | 0,20 |
| | Insektenbefall | 0,40 |
| | Algenbefall; Bakterienbefall; Moosbefall; Pilzbefall | 0,60 |
| | Flechtenbefall; Schimmelpilzbefall | 0,80 |
| | Pflanzenbewuchs (große Pflanzen); Schwammbe­fall | 1,00 |

Abb. 195: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 7

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 8 | |
|--|--|--|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | |
| | Merkmalsaspekt Schadensgröße des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{3 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 3 \%$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 1] | 0,20 |
| | |]1, 5,5] | 0,40 |
| | |]5,5, 19,2] | 0,60 |
| | |]19,2, 43,8] | 0,80 |
| | |]43,8, 100] | 1,00 |
| | | W_1 = Schadensgröße (Schadensfläche oder Schadensvolumen) ~ 3 m ² W_2 = Gesamtgröße (Schadensgesamtfläche oder Schadensgesamtvolumen) = 100 m ² | |
| | Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | |
| | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | |
| | $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{komb} = 0,60 \cdot 0,50 + 0,40 \cdot 0,50$ $MA_{komb} = 0,50$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,2] | 0,20 |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
|]0,4, 0,6] | | 0,60 | |
|]0,6, 0,8] | | 0,80 | |
|]0,8, 1] | | 1,00 | |
| MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensart = 0,60 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schadensgröße = 0,40 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,5$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,5$) | | | |
| Abnutzungsmerkmal Feuchteschutz | | | |
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | | |
| Einhaltung des Feuchteschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | Ja | 0,00 | |
| | Nein | 1,00 | |

Abb. 196: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 8


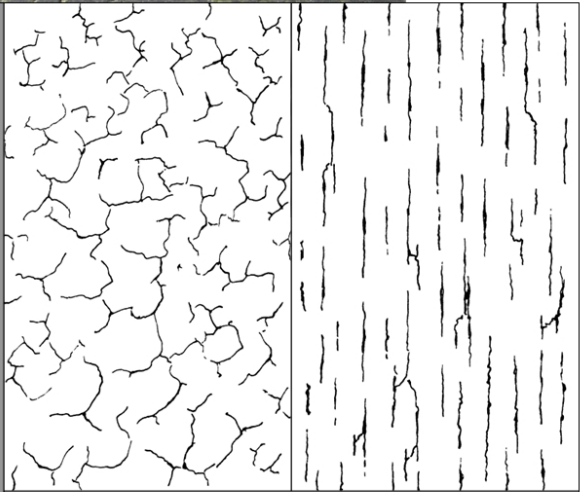
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 9 |
|---|--|--------------------|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | |
| | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); text-align: center; margin-right: 5px;">Rissmenge 5</div>  </div> | Sehr viele Risse |
| | Merkmalsaspekt Rissmenge des Abnutzungsmerkmals Riss | |
| | Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert |
| Rissmenge gemäß DIN EN ISO 4628-4 | 0 | 0,00 |
| | 1 | 0,20 |
| | 2 | 0,40 |
| | 3 | 0,60 |
| | 4 | 0,80 |
| | 5 | 1,00 |

Abb. 197: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 9

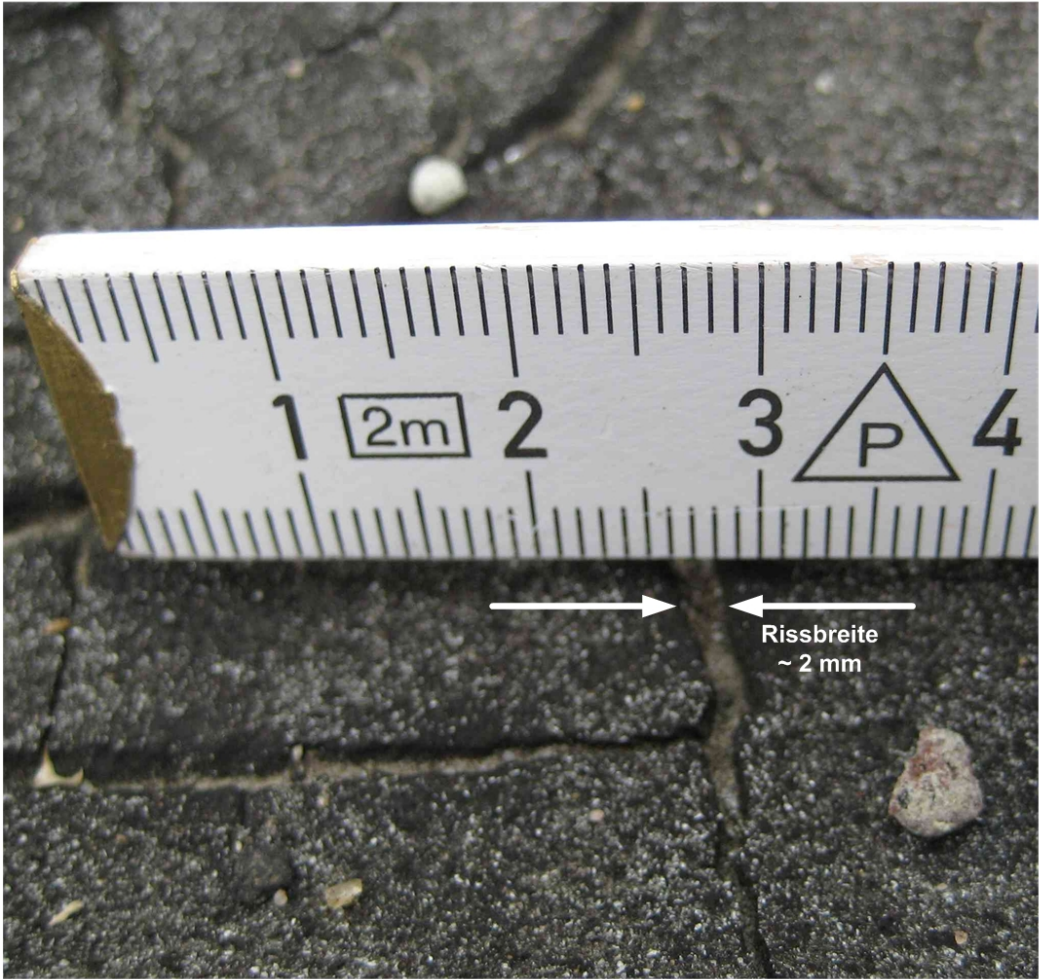
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | Bl. 10 | | |
|---|---|---|---|--------------------|------|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | | | | |
| Ermittlung der Einheitskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | | | |
| | Merkmalsaspekt Rissbreite des Abnutzungsmerkmals Riss | | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [mm] | | | Einheitsskalenwert | |
| | Kennwert gemäß DIN EN ISO 4628-4 | 0 | Keine sichtbaren Risse bei 10facher Vergrößerung | 0 | 0,00 |
| | | 1 | Nur bei bis zu 10facher Vergrößerung sichtbare Risse |]0, 0,1] | 0,20 |
| | | 2 | Gerade sichtbare Risse mit bloßem Auge (auf Normalsichtigkeit korrigiertes Sehvermögen) |]0,1, 0,2] | 0,40 |
| | | 3 | Deutlich sichtbare Risse mit bloßem Auge (auf Normalsichtigkeit korrigiertes Sehvermögen) |]0,2, 0,4] | 0,60 |
| | | 4 | Breite Risse, bis zu 1 mm breit |]0,4, 1] | 0,80 |
| | | 5 | Sehr breite Risse, mehr als 1 mm breit |]1, ∞[| 1,00 |

Abb. 198: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 10

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 11 | | |
|---|--|--|--------------------|------|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | | | | |
| | Merkmalsaspekt Risstiefe des Abnutzungsmerkmals Riss | | | |
| | Risstiefe gemäß DIN EN ISO 4628-4 | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | |
| | Kein Riss | 0 | 0,00 | |
| | Oberflächenrisse, die nicht durch das gesamte Bauelement hindurchgehen | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{4 \text{ mm}}{4 \text{ mm}} \cdot 100 \%$ |]0, 30] | 0,20 |
| | | $MA = 100 \%$ |]30, 100[| 0,60 |
| Risse, die durch das gesamte Bauelement hindurchgehen | 100 | 1,00 | | |
| Risse, die durch das gesamte Bauelement und angrenzende Bauelemente hindurchgehen |]100, ∞[| Berücksichtigung erfolgt im angrenzenden Bauelement | | |
| W_1 = Risstiefe = 4 mm W_2 = Bauelementdicke = 4 mm | | | | |

Abb. 199: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 11



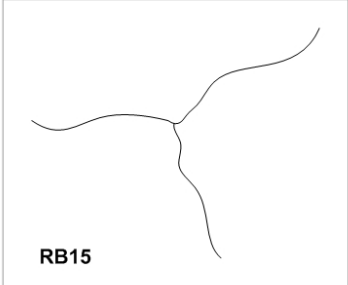
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 12 | |
|---|--|--|---|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | |  |
| |  | | <p>RB15</p> |
| | Merkmalsaspekt Rissbild des Abnutzungsmerkmals Riss | | |
| | Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert |
| | Rissbild | Kein Riss | K. A. |
| | Rissursache kann mit mäßigem Aufwand behoben werden | RB5, RB15 | 0,20 |
| | Rissursache kann mit hohem Aufwand behoben werden | RB4, RB6, RB7, RB9, RB10, RB11, RB12, RB13, RB14, RB16, RB17 | 0,60 |
| | Rissursache kann nur mit sehr hohem Aufwand behoben werden | RB1, RB2, RB3, RB8 | 1,00 |

Abb. 200: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 12

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 13 |
|--|--|--------------------|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | |
| Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | | Einheitsskalenwert |
| | | 0 |
| | |]0, 0,2] |
| | |]0,2, 0,4] |
| | |]0,4, 0,6] |
| | |]0,6, 0,8] |
| | |]0,8, 1] |
| $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2 + ESW_3 \cdot G_3 + ESW_4 \cdot G_4$ $MA_{komb} = 1,00 \cdot 0,25 + 1,00 \cdot 0,25 + 1,00 \cdot 0,25 + 0,20 \cdot 0,25$ $MA_{komb} = 0,80$ | | 0,00 |
| | | 0,20 |
| | | 0,40 |
| | | 0,60 |
| | | 0,80 |
| | | 1,00 |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Rissmenge = 1,00 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Rissbreite = 1,00 ESW_3 = Einheitsskalenwert 3 des Merkmalsaspekts Risstiefe = 1,00 ESW_4 = Einheitsskalenwert 4 des Merkmalsaspekts Rissbild = 0,20 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,25$) G_3 = Gewichtungsfaktor 3 (mit $G_3 = 0,25$) G_4 = Gewichtungsfaktor 4 (mit $G_4 = 0,25$) | |

Abb. 201: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Bitumen – Bl. 13

3.3.3.4 Holz

Ermittlung der Stufengewichte für statisch relevante Bauelemente

Bei dem organischen **Baustoff Holz** handelt es sich um ein aus der lebenden Pflanze gewonnenes hartes, festes Zellgewebe, welches innerhalb der Pflanze vom sog. Kambium (Bildungsgewebe) unter der Rinde erzeugt wird. Holz besteht aus den folgenden Hauptbestandteilen:⁴⁹¹

- Cellulose 40 % - 60 %
- Holzpolyosen 15 % - 30 %
- Lignin 15 % - 40 %
- Holzinhaltsstoffe.

Cellulose bildet als Hauptbestandteil die Gerüstsubstanz der pflanzlichen Zellwände. Cellulose kann Zugspannungen aufnehmen und ist daher funktionell vergleichbar mit dem Bewehrungsstahl im Stahlbeton.

Holzpolyosen (auch Hemizellulose genannt) dienen den Pflanzen teils als Gerüststoff, teils als Vorratsstoff und ist von Schädlingen leicht angreifbar.

Lignin ist innerhalb des Baustoffs Holz die Kittsubstanz (Bindemittel) und eine chemisch äußerst kompliziert aufgebaute Verbindung. Durch seine Einlagerung in das Cellulosegerüst werden die Zellwände versteift, was zur Verholzung führt. Funktionell vergleichbar ist Lignin mit dem Zementstein im Stahlbeton, durch dessen Hilfe Holz Druckspannungen aufnehmen kann.

Der Abnutzungsvorrat des Baustoffs Holz lässt sich durch die in Abb. 202 aufgeführten qualitäts- und schadensbezogenen Merkmale sowie deren zugeordnete Abnutzungsmerkmale beschreiben.

⁴⁹¹ Vgl. KNOBLAUCH, H.; SCHNEIDER, U.: *Bauchemie*. 6. Aufl. Neuwied : Werner Verlag, 2006, S. 177;

BENEDIX, R.: *Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten*. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 472 f.

| Merkmal | | Abnutzungsmerkmale | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|------------|-----------------|--|---------------------|---------------------------------|---------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | | Baustatische Merkmalsklasse | | | | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | | Bauphysikalische Merkmalsklasse | | | Optische Merkmalsklasse | | |
| | | Riss | Tragfähigkeitsverlust | Verformung | Volumenänderung | Baustoffabtrag | Biologischer Befall | Brandschutz | Feuchteschutz | Schallschutz | Wärmeschutz | Ablagerung (reversibel) | Ablagerung (irreversibel) |
| qualitäts- bezogen | Biegefestigkeit | | x | | | | | | | | | | |
| | Dauerstandfestigkeit | | x | | | | | | | | | | |
| | Druckfestigkeit | | x | | | | | | | | | | |
| | Elastizität | | | x | | | | | | | | | |
| | Standsicherheit | | x | | | | | | | | | | |
| | Tragfähigkeit | | x | | | | | | | | | | |
| schadens- bezogen | Absandung | | | | | x | | | | | | | |
| | Absplitterung | | | | | x | | | | | | | |
| | Algenbefall | | | | | | x | | | | | | |
| | Ausbleichung | | | | | | | | | | | | x |
| | Ausknickung | | | x | | | | | | | | | |
| | Bakterienbefall | | | | | | x | | | | | | |
| | Bruch | | | | | x | | | | | | | |
| | Durchbiegung | | | x | | | | | | | | | |
| | Ermüdung | | x | | | | | | | | | | |
| | Fäulnis | | | | | | x | | | | | | |
| | Festigkeitsverlust | | | | | x | | | | | | | |
| | Flechtenbefall | | | | | | x | | | | | | |
| | Flecken | | | | | | | | | | | | x |
| | Insektenbefall | | | | | | x | | | | | | |
| | Kohäsionsverlust | | | | | x | | | | | | | |
| | Moosbefall | | | | | | x | | | | | | |
| | Pflanzenbewuchs | | | | | | x | | | | | | |
| | Pilzbefall | | | | | | x | | | | | | |
| | Quellen | | | | x | | | | | | | | |
| | Riss | x | | | | | | | | | | | |
| | Schimmelpilzbefall | | | | | | x | | | | | | |
| | Schwammbehaftung | | | | | | x | | | | | | |
| | Schwinden | | | | x | | | | | | | | |
| | Spaltung | x | | | | | | | | | | | |
| | Tragfähigkeitsverlust | | x | | | | | | | | | | |
| | Verfärbung | | | | | | | | | | | | x |
| | Verformung | | | x | | | | | | | | | |
| | Verrottung | | | | | | x | | | | | | |
| | Versatz | | | x | | | | | | | | | |
| | Volumenänderung | | | | x | | | | | | | | |
| Wölbung | | | x | | | | | | | | | | |
| Zerfall | | | | | x | | | | | | | | |

x = Zuordnung

Abb. 202: Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Holz⁴⁹²

⁴⁹² Vgl. SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 75 ff., S. 84, S. 123; BENEDIX, R.: Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 474 f.; KNÖFEL, D.: Stichwort Baustoffkorrosion. Wiesbaden : Bauverlag, 1982, S. 10, S. 203 ff.; IP BAU (Hrsg.): Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, S. 30 f., S. 114, S. 139; STAHR, M. (Hrsg.): Praxiswissen Bausanierung – Erkennen und Beheben von Bauschäden. Wiesbaden : Vieweg, 1999, S. 102 f.; SCHMID, E. V.: Außenanstriche im Hochbau – Lebensdauer unter Umwelteinflüssen. Wiesbaden : Bauverlag, 1994, S. 92, S. 102; COLLING, F.: Analyse und Bewertung von Schäden bei Holzkonstruktionen. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1999, S. 10-1 ff.

Folgende Merkmale werden vorrangig zur Zustandsbewertung des Baustoffs Holz verwendet:⁴⁹³

- Biologischer Befall
- **Ablagerung (irreversibel)** z. B. Ausbleichung, Flecken, Verfärbungen
- Tragfähigkeitsverlust
- **Baustoffabtrag** z. B. durch Absandung, Absplitterung, Bruch, Zerfall
- **Volumenänderung** z. B. durch Quellen und Schwinden
- **Verformung** z. B. durch Ausknickung, Durchbiegung, Versatz, Wölbung
- Riss.

In der einschlägigen Fachliteratur werden häufig Schadensbilder am Baustoff Holz in Verbindung mit Feuchtigkeit beschrieben. Wasser hat jedoch keine direkte schädigende Wirkung auf das Holz und wird deshalb nicht innerhalb des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats betrachtet. Feuchtigkeit begünstigt lediglich die Abnutzung z. B. in Form von Pilzbefall (biologischer Befall) bzw. Volumenänderung durch Quellvorgänge.⁴⁹⁴

Für die baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für den organischen Baustoff Holz wird in statisch relevante und statisch nicht relevante Bauelemente unterschieden.

Für **statisch relevante Bauelemente** (z. B. tragende Stützen, Unterzüge) aus dem organischen Baustoff Holz werden mittels paarweisem Vergleich⁴⁹⁵ die Knotengewichte für die Merkmalsklassen entsprechend Abb. 203 ermittelt. Die Bestimmung der Knotengewichte der gemäß Abb. 202 relevanten Abnutzungsmerkmale erfolgt in Abb. 204 bis Abb. 206. Nichtrelevante Abnutzungsmerkmale erhalten keinen Eintrag in den entsprechenden Matrixfeldern und in der Zeilensumme.

⁴⁹³ Vgl. SCHMID, E. V.: Außenanstriche im Hochbau – Lebensdauer unter Umwelteinflüssen. Wiesbaden : Bauverlag, 1994, S. 92, S. 102; KNÖFEL, D.: Stichwort Baustoffkorrosion. Wiesbaden : Bauverlag, 1982, S. 203 f.

⁴⁹⁴ Vgl. IP BAU (Hrsg.): Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, S. 30 f.

⁴⁹⁵ Bezüglich des paarweisen Vergleichs s. Abschnitt IV3.3.1

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Baustatische Merkmalsklasse | - | 3 | | 3 | 6 | 0,5000 |
| 2 | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | 1 | - | | 3 | 4 | 0,3333 |
| 3 | Bauphysikalische Merkmalsklasse | | | - | | 0 | 0,0000 |
| 4 | Optische Merkmalsklasse | 1 | 1 | | - | 2 | 0,1667 |
| Gesamtsumme | | | | | | 12 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 203: Gewichtung der Merkmalsklassen – Holz, statisch relevante Bauelemente – Ebene 1

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Riss | - | 1 | 1 | 1 | 3 | 0,1250 |
| 2 | Tragfähigkeitsverlust | 3 | - | 3 | 3 | 9 | 0,3750 |
| 3 | Verformung | 3 | 1 | - | 1 | 5 | 0,2083 |
| 4 | Volumenänderung | 3 | 1 | 3 | - | 7 | 0,2917 |
| Gesamtsumme | | | | | | 24 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 204: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 1

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Baustoffabtrag | - | 1 | | | 1 | 0,2500 |
| 2 | Biologischer Befall | 3 | - | | | 3 | 0,7500 |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 205: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 2

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Ablagerung (reversibel) | - | | | | | |
| 2 | Ablagerung (irreversibel) | 4 | - | | | 4 | 1,0000 |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 206: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 4

Eine Übersicht über alle Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale von Holz für statisch relevante Bauelemente wird in Abb. 207 gegeben. Eine grafische Übersicht über die Stufengewichte zeigt Abb. 208.

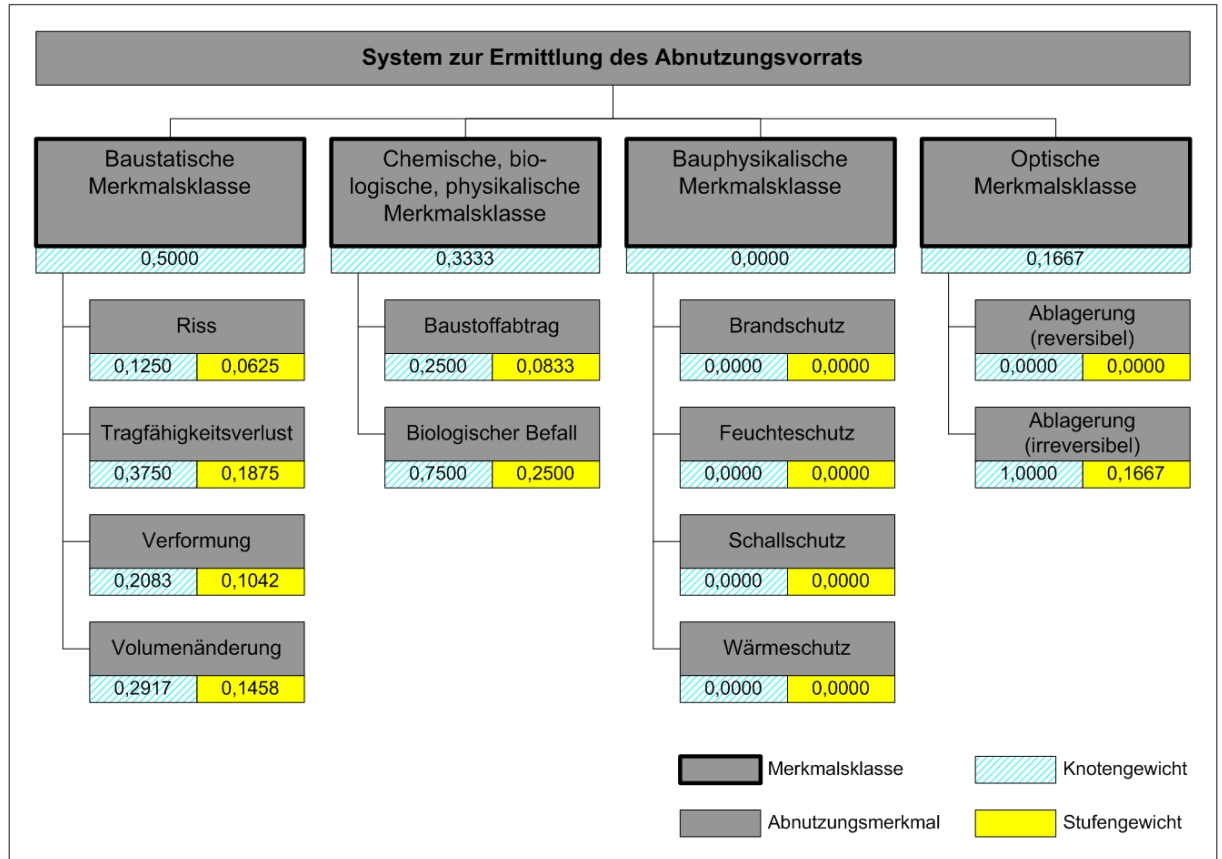


Abb. 207: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch relevante Bauelemente⁴⁹⁶

⁴⁹⁶ Die Gewichtung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

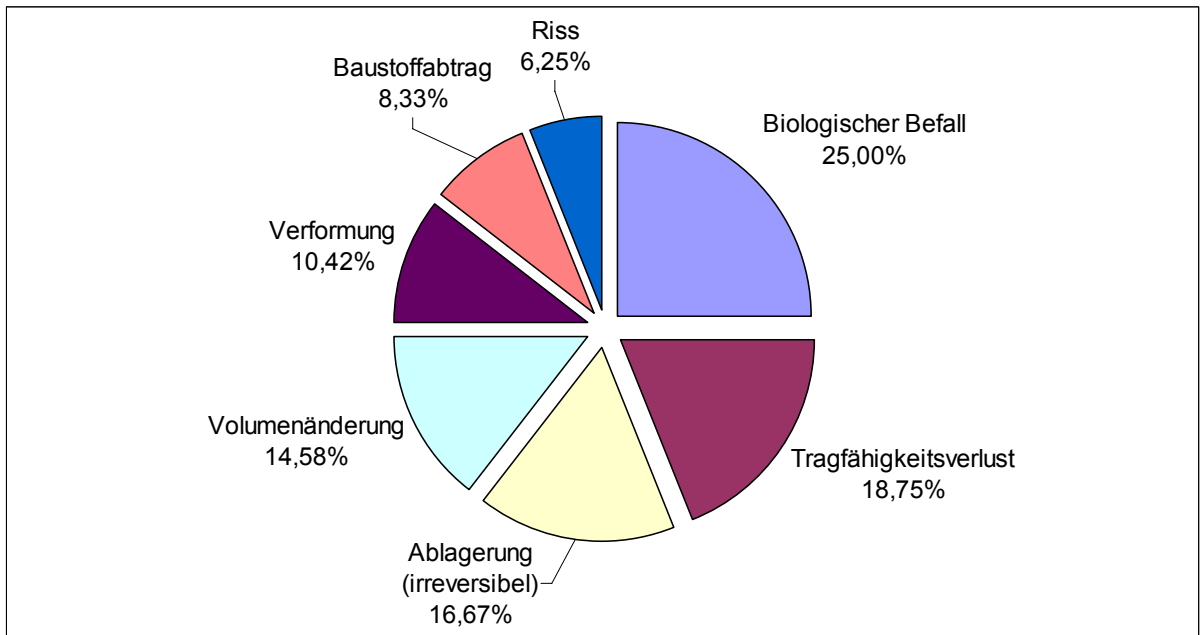


Abb. 208: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch relevante Bauelemente

Die baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für Holz für statisch relevante Bauelemente entsprechend Abb. 208 (wie auch für statisch nicht relevante Bauelemente gemäß Abb. 226) wird durch den Vorschlag der einschlägigen Fachliteratur zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Holz gemäß Abb. 209 untermauert. In dieser Beschreibung werden Schadensbilder aufgezeigt, die fünf Zustandsstufen zugeordnet werden können. Die Schadensbilder umfassen u. a. biologischen Befall durch Insekten, Pilzen und Schwamm, Ablagerung durch Verschmutzung und Verfärbung, Tragfähigkeitsverluste durch Bruch, Verformungen, Volumenänderungen z. B. durch Stauchung und Quetschungen sowie Baustoffabtrag (Querschnittsverminderung).

| Zustandsstufe | Bewertung des Zustands | Beschreibung des Zustands |
|---------------|------------------------|---|
| 1 | Guter Zustand | Keine erwähnenswerten Mängel (vereinzelt Insektenausflugslöcher, Spalten, Verfärbungen sind möglich) |
| 2 | Annehmbarer Zustand | Oberflächenschäden infolge Insekten und mechanischer Beanspruchung resp. Abnutzung; mangelhafte Belüftung; Verwitterung (graue Verfärbung); Verschmutzung |
| 3 | Schadhafter Zustand | Durchnässung, Pilzbefall, morsche Stellen; tiefreichender Insektenbefall; sichtbare Durchbiegung, Stauchung, Quetschungen |
| 4 | Schlechter Zustand | Querschnittsverminderung an voll beanspruchten Hölzern und Verbindungsmitteln; morsche Stellen im Bereich von Holzverbindungen und Auflagern; starke Verformungen |
| 5 | Alarmierender Zustand | Bruch einzelner Hölzer oder Verbindungsmittel; Befall durch den Kellerhausschwamm |

Abb. 209: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Holz, statisch relevante Bauelemente⁴⁹⁷

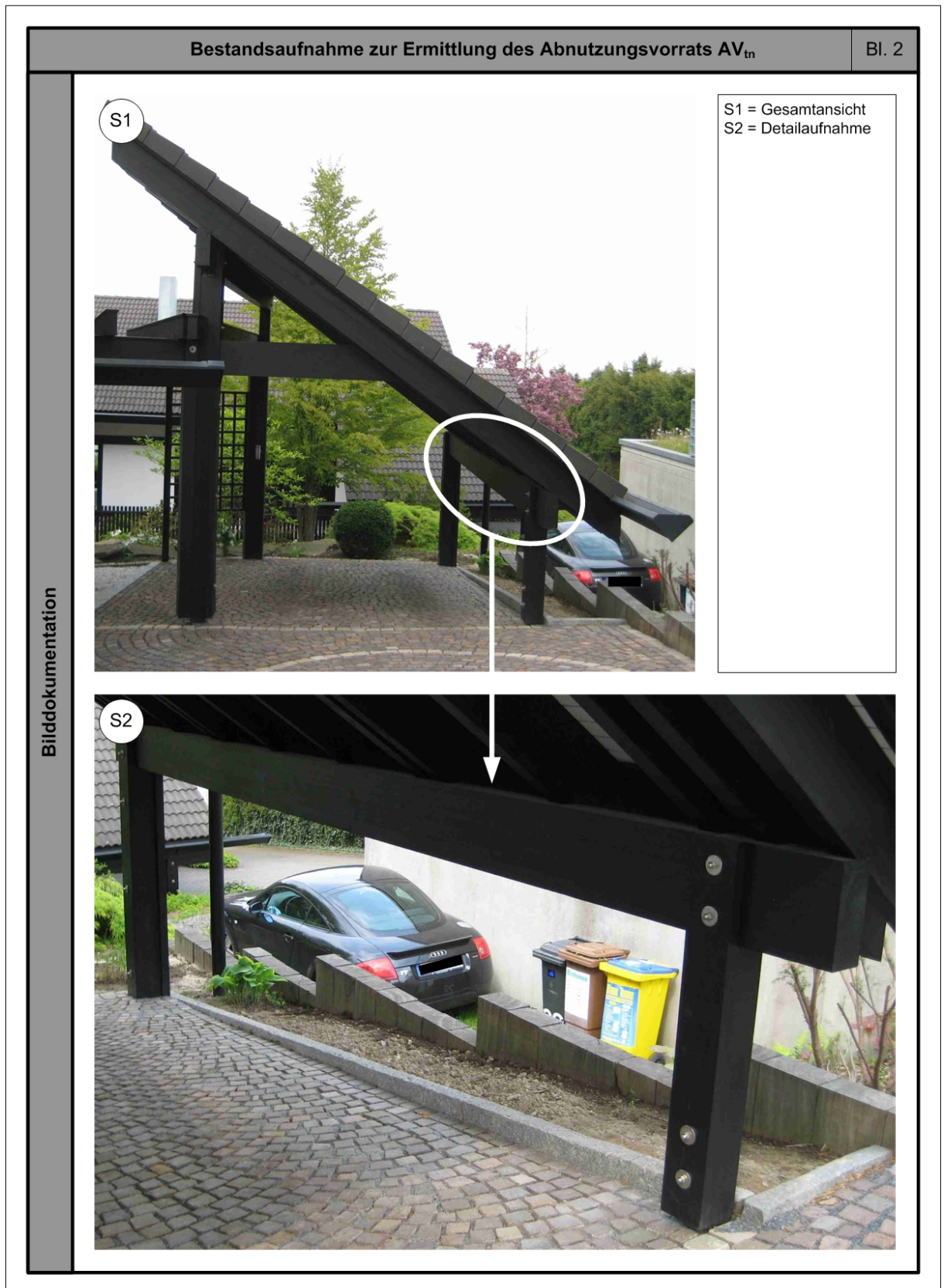
Beispiel zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für statisch relevante Bauelemente

In Abb. 210 bis Abb. 220 wird ein Beispiel für die Ermittlung eines Wertes für den Abnutzungsvorrat AV anhand einer konkreten Bestandsaufnahme gegeben. Hierbei handelt es sich um einen statisch relevanten Holzbalken (Brettschichtholz) eines Carports mit schwarzem Schutzanstrich. Der Holzbalken weist keinen Baustoffabtrag, keinen biologischen Befall, keine Verformung und keine Volumenänderung auf. Ablagerungen sind kaum erkennbar. Kleine Risse sind im Bereich der Verklebung des Brettschichtholzes teilweise vorhanden.

⁴⁹⁷ Vgl. IP BAU (Hrsg.): Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, S. 114

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | | Bl. 1 | |
|---|--|--|---|---|--------|
| Allgemeine Angaben | Bauelement | Balken | | | |
| | Baustoff | Holz (Brettschichtholz) | | | |
| | Statische Relevanz | Statisch relevant | | | |
| | Standort | Dortmund | | | |
| | Art der Immobilie | Carport | | | |
| | Zeitpunkt t_n der Bestandsaufnahme | 09.05.2010 | | | |
| | Erstellungsdatum des Bauelements | ca. 2009 | | | |
| | Alter des Bauelements | 1 Jahr | | | |
| | Weitere Angaben | Tragender Holzbalken (Brettschichtholz) mit Anstrich | | | |
| Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | Abnutzungsmerkmal | Stufengewicht (gemäß Bl. 4) | Einheitsskalenwert (gemäß Bl. 5 ff.) | Abnutzung A (= Stufengewicht · Einheitsskalenwert) | |
| | Ablagerung (irreversibel) | 0,1667 | 0,2000 | 0,0333 | |
| | Ablagerung (reversibel) | | | | |
| | Baustoffabtrag | 0,0833 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Biologischer Befall | 0,2500 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Brandschutz | | | | |
| | Feuchteschutz | | | | |
| | Riss | 0,0625 | 0,4000 | 0,0250 | |
| | Schallschutz | | | | |
| | Tragfähigkeitsverlust | 0,1875 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Verformung | 0,1042 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Volumenänderung | 0,1458 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Wärmeschutz | | | | |
| | Gesamtabnutzung $A_{ges} = \sum A$ | | | | 0,0583 |
| | Abnutzungsvorrat $AV_{tn} = 1 - A_{ges}$ | | | | 0,9417 |
| neuwertiger Bereich | | | | | |

Abb. 210: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 1



| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 3 |
|---|---------------------------|--|
| Zustandsbeschreibung | Abnutzungsmerkmal | Beschreibung |
| | Ablagerung (irreversibel) | Kaum Ablagerungen erkennbar (betroffene Fläche ca. 0,04 m ² ; Gesamtfläche 4 m ²) |
| | Ablagerung (reversibel) | |
| | Baustoffabtrag | Kein Baustoffabtrag erkennbar |
| | Biologischer Befall | Kein biologischer Befall erkennbar |
| | Brandschutz | |
| | Feuchteschutz | |
| | Riss | Kleine Risse im Bereich der Verklebung des Brettschichtholzes erkennbar (Rissbreite ~ 0,2 mm; Risstiefe = 20 mm; Bauelementdicke = 200 mm) |
| | Schallschutz | |
| | Tragfähigkeitsverlust | Tragfähigkeit vorhanden |
| | Verformung | Keine Verformung vorhanden |
| | Volumenänderung | Keine Volumenänderung vorhanden |
| | Wärmeschutz | |
| | Bemerkung | |

Abb. 212: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 3

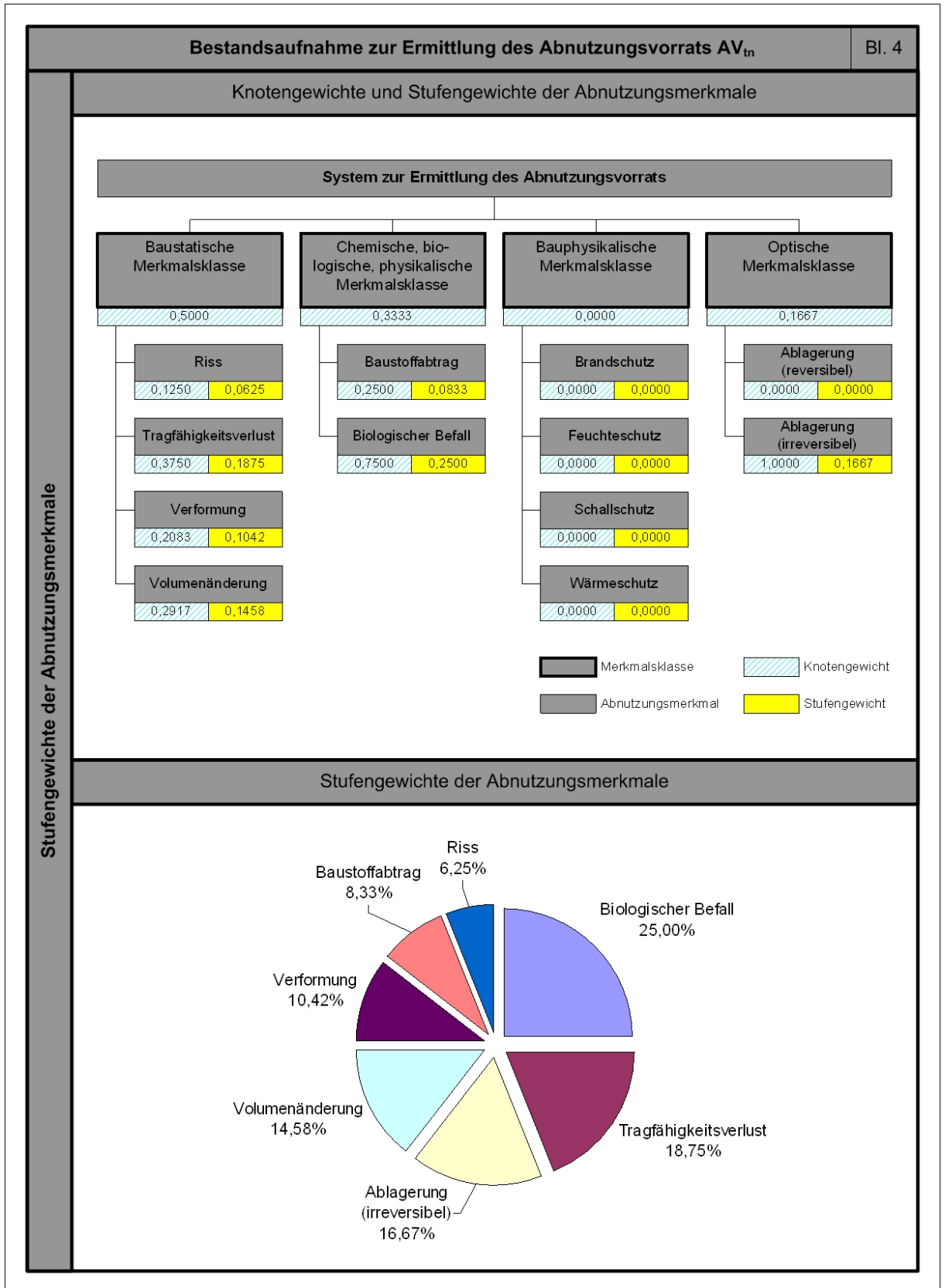


Abb. 213: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 4


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 5 | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|---|------|--------|------|----------|------|-------------|------|--------------|------|-------------|------|
| Abnutzungsmerkmal Ablagerung (irreversibel) | | | | | | | | | | | | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | | | | | | | | | | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | | | | | | | | | | | | |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{0,04 \text{ m}^2}{4 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 1 \%$ | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">0,00</td></tr> <tr style="background-color: yellow;"><td style="text-align: center;">]0, 1]</td><td style="text-align: center;">0,20</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]1, 5,5]</td><td style="text-align: center;">0,40</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]5,5, 19,2]</td><td style="text-align: center;">0,60</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]19,2, 43,8]</td><td style="text-align: center;">0,80</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]43,8, 100]</td><td style="text-align: center;">1,00</td></tr> </table> | 0 | 0,00 |]0, 1] | 0,20 |]1, 5,5] | 0,40 |]5,5, 19,2] | 0,60 |]19,2, 43,8] | 0,80 |]43,8, 100] | 1,00 |
| | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | |
|]0, 1] | 0,20 | | | | | | | | | | | | | |
|]1, 5,5] | 0,40 | | | | | | | | | | | | | |
|]5,5, 19,2] | 0,60 | | | | | | | | | | | | | |
|]19,2, 43,8] | 0,80 | | | | | | | | | | | | | |
|]43,8, 100] | 1,00 | | | | | | | | | | | | | |
| $W_1 =$ Schadensfläche $\sim 0,04 \text{ m}^2$ $W_2 =$ Gesamtfläche $= 4 \text{ m}^2$ | | | | | | | | | | | | | | |

Abb. 214: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 5

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 6 | |
|--|--|--------------------|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | |
| | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | |
| | (kein Baustoffabtrag vorhanden) | 0 | 0,00 |
| | $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{komb} = 0,00 \cdot 0,25 + 0,00 \cdot 0,75$ $MA_{komb} = 0,00$ |]0, 0,2] | 0,20 |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| | |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| | |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| | |]0,8, 1] | 1,00 |
| | MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensfläche = 0,00 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schichtdicke = 0,00 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,75$) | | |
| | Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | |
| Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | | |
| | 0 | 0,00 | |
| $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{komb} = 0,00 \cdot 0,50 + 0,00 \cdot 0,50$ $MA_{komb} = 0,00$ |]0, 0,2] | 0,20 | |
| |]0,2, 0,4] | 0,40 | |
| |]0,4, 0,6] | 0,60 | |
| |]0,6, 0,8] | 0,80 | |
| |]0,8, 1] | 1,00 | |
| MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensart = 0,00 (kein biologischer Befall) ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schadensgröße = 0,00 (kein biologischer Befall) G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,5$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,5$) | | | |

Abb. 215: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 6

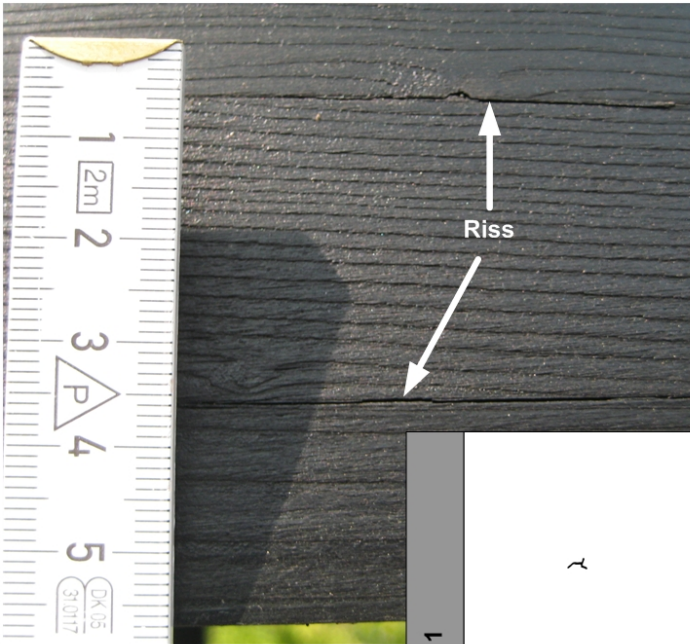


















| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 7 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|--|---|---|--|---|---|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | | | | | | | | | | |
| Ermittlung der Einheitskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | <table border="1" style="width: 100%; height: 150px;"> <tr> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); text-align: center;">Rissmenge 1</td> <td style="text-align: center;">  </td> <td style="text-align: center;">  </td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">  </td> <td style="text-align: center;">  </td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">  </td> <td style="text-align: center;">  </td> </tr> </table> | Rissmenge 1 |  |  | |  |  | |  |  |
| | Rissmenge 1 |  |  | | | | | | | | |
| | |  |  | | | | | | | | |
| |  |  | | | | | | | | | |
| | Sehr wenige, d. h. kleine, gerade noch signifikante Anzahl von Rissen | | | | | | | | | | |
| Merkmalsaspekt Rissmenge des Abnutzungsmerkmals Riss | | | | | | | | | | | |
| Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert | | | | | | | | | |
| Rissmenge gemäß DIN EN ISO 4628-4 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | |
| | 1 | 0,20 | | | | | | | | | |
| | 2 | 0,40 | | | | | | | | | |
| | 3 | 0,60 | | | | | | | | | |
| | 4 | 0,80 | | | | | | | | | |
| | 5 | 1,00 | | | | | | | | | |

Abb. 216: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 7

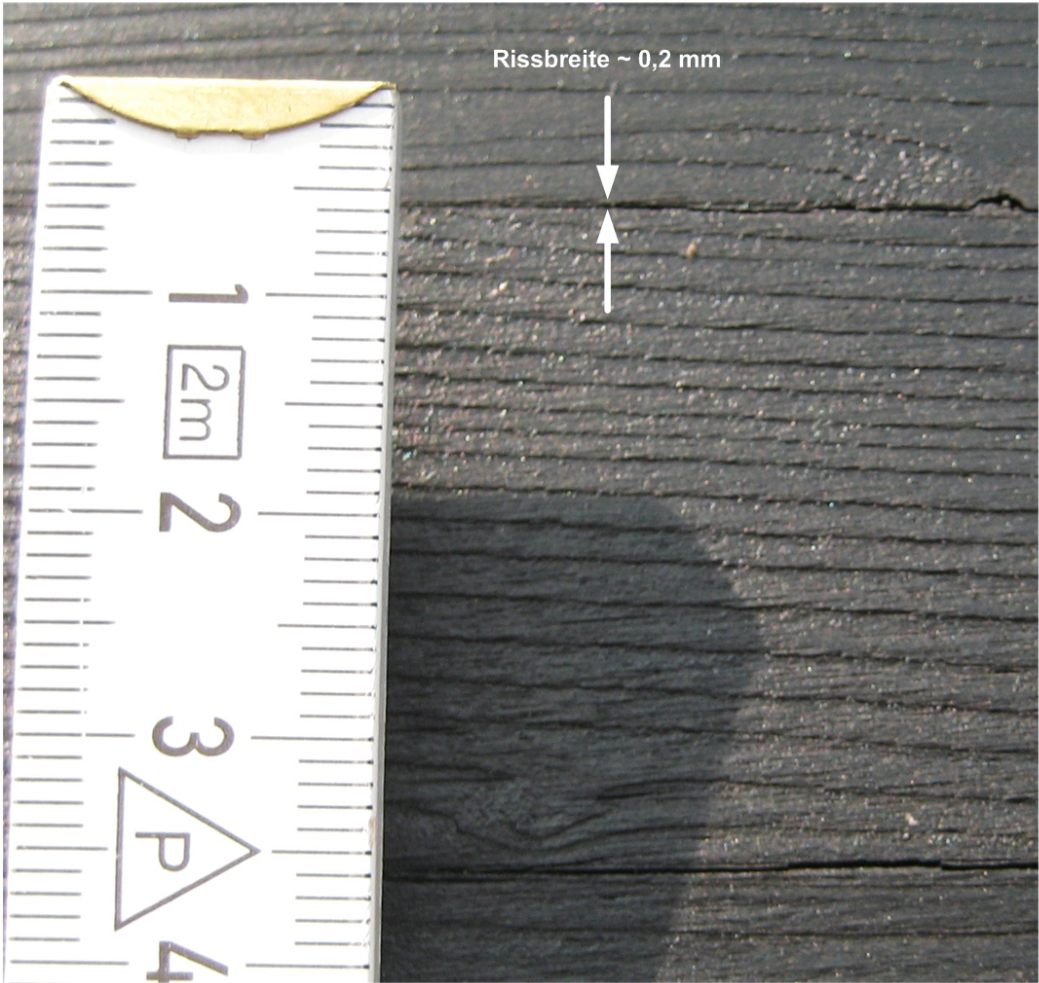
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | Bl. 8 | | |
|---|---|---|--|--------------------|------|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | | | |
| | Merkmalsaspekt Rissbreite des Abnutzungsmerkmals Riss | | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [mm] | | | Einheitsskalenwert | |
| | Kennwert gemäß DIN EN ISO 4628-4 | 0 | Keine sichtbaren Risse bei 10facher Vergrößerung | 0 | 0,00 |
| 1 | | Nur bei bis zu 10facher Vergrößerung sichtbare Risse |]0, 0,1] | 0,20 | |
| 2 | | Gerade sichtbare Risse mit bloßem Auge (auf Normalsichtigkeit korrigiertes Sehvermögen) |]0,1, 0,2] | 0,40 | |
| 3 | | Deutlich sichtbare Risse mit bloßem Auge (auf Normalsichtigkeit korrigiertes Sehvermögen) |]0,2, 0,4] | 0,60 | |
| 4 | | Breite Risse, bis zu 1 mm breit |]0,4, 1] | 0,80 | |
| 5 | | Sehr breite Risse, mehr als 1 mm breit |]1, ∞[| 1,00 | |

Abb. 217: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 8

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | Bl. 9 | |
|---|---|--|--------------------|---|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Riss | | | |
| | Merkmalsaspekt Risstiefe des Abnutzungsmerkmals Riss | | | |
| | Risstiefe gemäß DIN EN ISO 4628-4 | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | |
| | Kein Riss | 0 | 0,00 | |
| | Oberflächenrisse, die nicht durch das gesamte Bauelement hindurchgehen | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ |]0, 30] | 0,20 |
| | | $MA = \frac{20 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \cdot 100 \%$ |]30, 100[| 0,60 |
| | Risse, die durch das gesamte Bauelement hindurchgehen | MA = 10 % | 100 | 1,00 |
| | Risse, die durch das gesamte Bauelement und angrenzende Bauelemente hindurchgehen | |]100, ∞[| Berücksichtigung erfolgt im angrenzenden Bauelement |
| | W_1 | = Risstiefe ~ 20 mm | | |
| | W_2 | = Bauelementdicke = 200 mm | | |
| Merkmalsaspekt Rissbild des Abnutzungsmerkmals Riss | | | | |
| Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert | | |
| Rissbild | Kein Riss | K. A. | 0,00 | |
| | Rissursache kann mit mäßigem Aufwand behoben werden | RB5, RB15 | 0,20 | |
| | Rissursache kann mit hohem Aufwand behoben werden | RB4, RB6, RB7, RB9, RB10, RB11, RB12, RB13, RB14, RB16, RB17 | 0,60 | |
| | Rissursache kann nur mit sehr hohem Aufwand behoben werden | RB1, RB2, RB3, RB8 | 1,00 | |
| Zuordnung zu Netzfällen (Netzfälle durch Schwindprozesse) (RB 16) | | | | |

Abb. 218: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 9

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | Bl. 10 |
|--|--|--------------------|--------------------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Riss | | |
| | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | | Einheitsskalenwert |
| | $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2 + ESW_3 \cdot G_3 + ESW_4 \cdot G_4$ $MA_{komb} = 0,20 \cdot 0,25 + 0,40 \cdot 0,25 + 0,20 \cdot 0,25 + 0,60 \cdot 0,25$ $MA_{komb} = 0,35$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,2] | 0,20 |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| | |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| | |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| | |]0,8, 1] | 1,00 |
| | MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Rissmenge = 0,20 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Rissbreite = 0,40 ESW_3 = Einheitsskalenwert 3 des Merkmalsaspekts Risstiefe = 0,20 ESW_4 = Einheitsskalenwert 4 des Merkmalsaspekts Rissbild = 0,60 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,25$) G_3 = Gewichtungsfaktor 3 (mit $G_3 = 0,25$) G_4 = Gewichtungsfaktor 4 (mit $G_4 = 0,25$) | | |
| | Abnutzungsmerkmal Tragfähigkeitsverlust | | |
| Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert | |
| Einhaltung der Tragfähigkeit gemäß Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen und anerkannten Regeln der Technik | Ja | 0,00 | |
| | Nein | 1,00 | |

Abb. 219: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 10


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 11 | |
|---|--|---|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Verformung | | |
| |  | | |
| | Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | |
| | Veränderung gemäß DIN EN ISO 4628-1 | Nicht verändert, d. h. keine wahrnehmbare Veränderung | 0,00 |
| | | Sehr gering, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung | 0,20 |
| | | Gering, d. h. deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,40 |
| | | Mittel, d. h. sehr deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,60 |
| | | Stark, d. h. ausgeprägte Veränderung | 0,80 |
| | | Sehr starke Veränderung | 1,00 |
| | Abnutzungsmerkmal Volumenänderung | | |
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | | |
| Veränderung gemäß DIN EN ISO 4628-1 | Nicht verändert, d. h. keine wahrnehmbare Veränderung | 0,00 | |
| | Sehr gering, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung | 0,20 | |
| | Gering, d. h. deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,40 | |
| | Mittel, d. h. sehr deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,60 | |
| | Stark, d. h. ausgeprägte Veränderung | 0,80 | |
| | Sehr starke Veränderung | 1,00 | |

Abb. 220: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch relevante Bauelemente – Bl. 11

Ermittlung der Stufengewichte für statisch nicht relevante Bauelemente

Für **statisch nicht relevante Bauelemente** (z. B. Fassadenverkleidungen) aus dem organischen Baustoff Holz werden mittels paarweisem Vergleich⁴⁹⁸ die Knotengewichte für die Merkmalsklassen entsprechend Abb. 221 ermittelt. Die Bestimmung der Knotengewichte der gemäß Abb. 202 relevanten Abnutzungsmerkmale erfolgt in Abb. 222 bis Abb. 224. Nichtrelevante Abnutzungsmerkmale erhalten keinen Eintrag in den entsprechenden Matrixfeldern und in der Zeilensumme.

Im Gegensatz zu den statisch relevanten Bauelementen aus dem organischen Baustoff Holz wird für die statisch nicht relevanten Bauelemente die baustatische Merkmalsklasse (vgl. Abb. 221) nicht so hoch gewichtet.

| Zeile | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zeile 1 | Zeile 2 | Zeile 3 | Zeile 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Baustatische Merkmalsklasse | - | 1 | | 3 | 4 | 0,3333 |
| 2 | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | 3 | - | | 3 | 6 | 0,5000 |
| 3 | Bauphysikalische Merkmalsklasse | | | - | | 0 | 0,0000 |
| 4 | Optische Merkmalsklasse | 1 | 1 | | - | 2 | 0,1667 |
| Gesamtsumme | | | | | | 12 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 221: Gewichtung der Merkmalsklassen – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 1

⁴⁹⁸ Bezüglich des paarweisen Vergleichs s. Abschnitt IV3.3.1

| Zelle | Merkmal oder Merkmals- klasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Riss | - | 1 | 1 | 1 | 3 | 0,1250 |
| 2 | Tragfähigkeitsverlust | 3 | - | 3 | 3 | 9 | 0,3750 |
| 3 | Verformung | 3 | 1 | - | 1 | 5 | 0,2083 |
| 4 | Volumenänderung | 3 | 1 | 3 | - | 7 | 0,2917 |
| Gesamtsumme | | | | | | 24 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung ↑

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 222: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 1

| Zelle | Merkmal oder Merkmals- klasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Baustoffabtrag | - | 1 | | | 1 | 0,2500 |
| 2 | Biologischer Befall | 3 | - | | | 3 | 0,7500 |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung ↑

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 223: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 2

| Zelle | Merkmal oder Merkmals- klasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Ablagerung (reversibel) | - | | | | | |
| 2 | Ablagerung (irreversibel) | 4 | - | | | 4 | 1,0000 |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 224: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 4

Eine Übersicht über alle Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale von Holz für statisch nicht relevante Bauelemente wird in Abb. 225 gegeben. Eine grafische Übersicht über die Stufengewichte zeigt Abb. 226.

Die baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für Holz für statisch nicht relevante Bauelemente gemäß Abb. 225 wird durch den Vorschlag der einschlägigen Fachliteratur zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Holz gemäß Abb. 209 untermauert. Speziell für statisch nicht relevante Bauelemente wird der Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Holz für Fenster gemäß Abb. 227 aufgeführt. In dieser Beschreibung werden Schadensbilder aufgezeigt, die vier von fünf Zustandsstufen zugeordnet werden können. Der gute Zustand ist nicht beschrieben. Die Schadensbilder umfassen hierbei u. a. biologischen Befall (Holz verfault oder morsch), Baustoffabtrag durch Abblätterung, Volumenänderungen bzw. Verformungen (Flügel verzogen) sowie Risse.

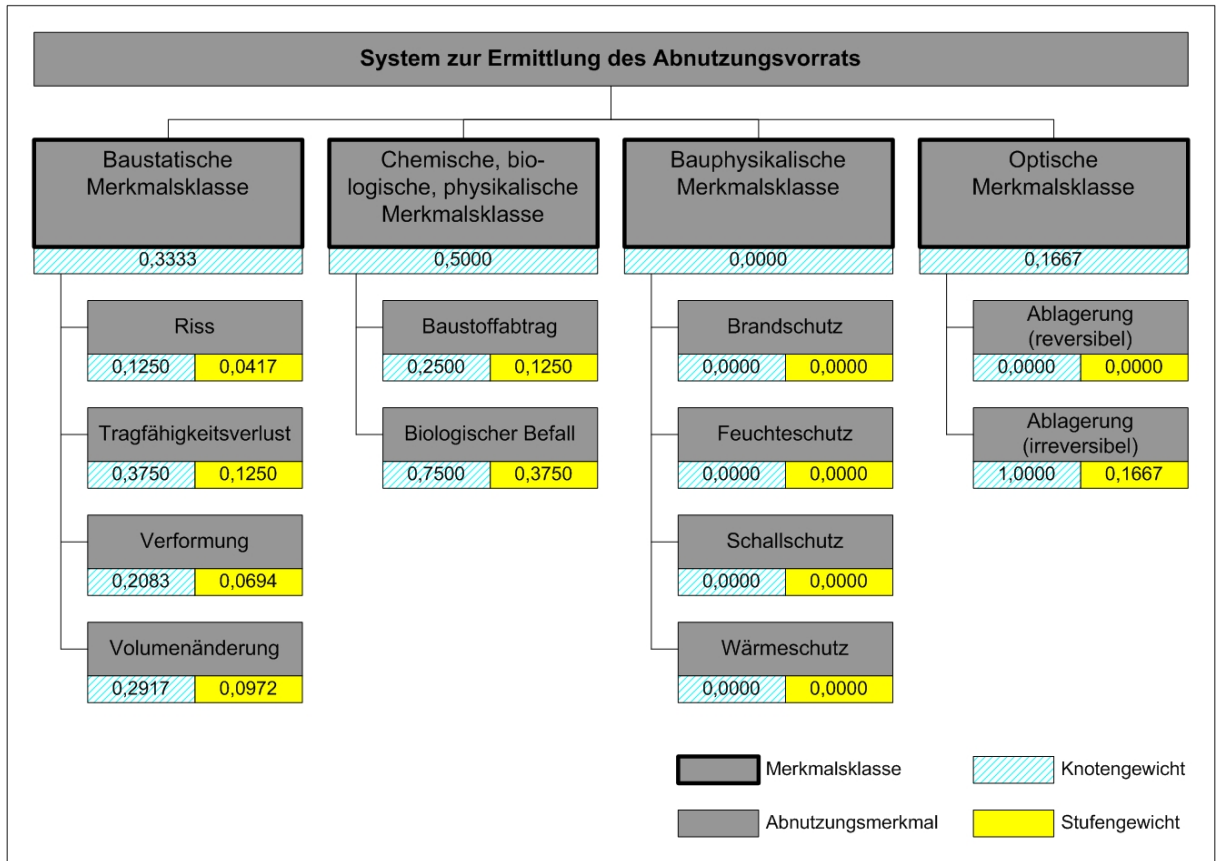


Abb. 225: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente⁴⁹⁹

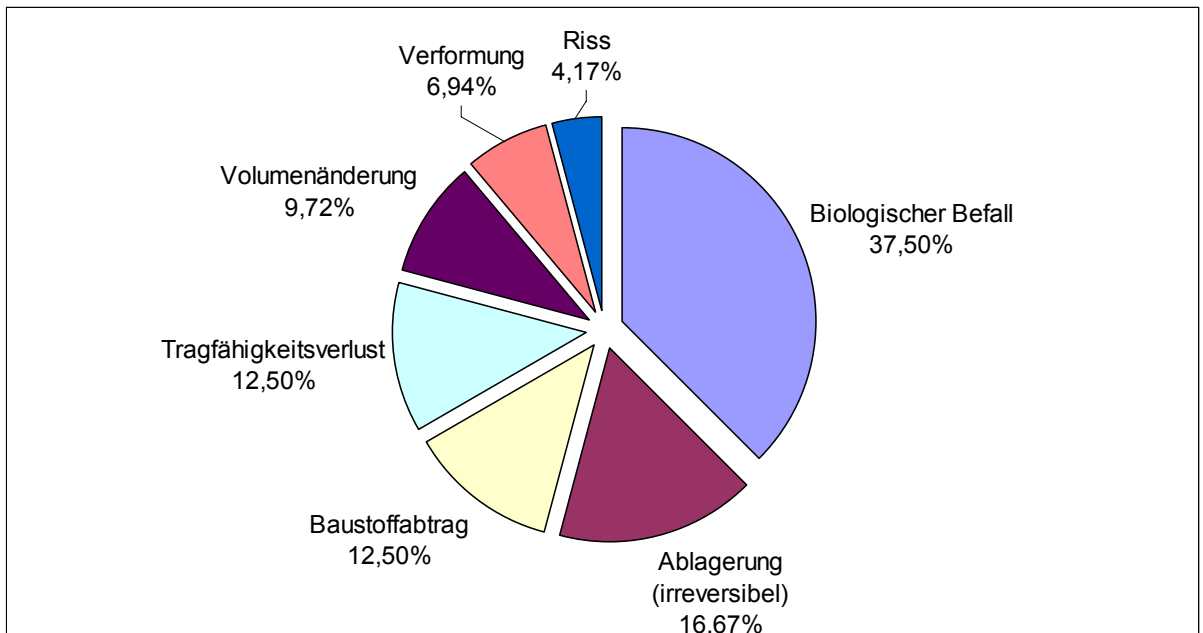


Abb. 226: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente

⁴⁹⁹ Die Gewichtung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

| Zustandsstufe | Bewertung des Zustands | Beschreibung des Zustands |
|---------------|------------------------|--|
| 1 | Guter Zustand | K. A. |
| 2 | Annehmbarer Zustand | Leicht schadhaft: leichte Verwitterungsspuren in den unteren Rahmenbereichen |
| 3 | Schadhafter Zustand | Mittel schadhaft: Oberflächen außen und innen abgewittert, resp. abgeblättert; ... Holz stellenweise gerissen; ... |
| 4 | Schlechter Zustand | Stark schadhaft: Flügel und Rahmen ungeschützt, verwittert, angefault; ... teils nicht mehr funktionstauglich; ... |
| 5 | Alarmierender Zustand | Irreparabel: Holz verfault oder morsch; Flügel verzogen; gesamthaft funktionsuntauglich; Wassereintritt |

Abb. 227: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Holz, statisch nicht relevante Bauelemente (Bsp. Fenster)⁵⁰⁰

Beispiel zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für statisch nicht relevante Bauelemente

In Abb. 228 bis Abb. 242 wird ein Beispiel für die Ermittlung eines Wertes für den Abnutzungsvorrat AV anhand einer konkreten Bestandsaufnahme gegeben. Hierbei handelt es sich um eine statisch nicht relevante Holzverkleidung an der Fassade einer Wohnimmobilie. Die Holzverkleidung ist mit einem braunen Schutzanstrich versehen und weist partiellen Baustoffabtrag in Form von Abbruch auf. Ablagerungen lassen sich kaum erkennen; dafür sind massiver biologischer Befall in Form von Pflanzenbewuchs und teilweiser Pilzbefall vorhanden. Größere Risse liegen im Randbereich vor. Die Tragfähigkeit ist noch vorhanden trotz stark ausgeprägter Verformung und Volumenänderung im unteren Drittel.

⁵⁰⁰ Vgl. IP BAU (Hrsg.): Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten – Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten. Bern : Bundesamt für Konjunkturfüragen, 1994, S. 92

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | | Bl. 1 | |
|---|--|---|--------------------------------------|--|--------|
| Allgemeine Angaben | Bauelement | Außenwand | | | |
| | Baustoff | Holzverkleidung | | | |
| | Statische Relevanz | Statisch nicht relevant | | | |
| | Standort | Dortmund | | | |
| | Art der Immobilie | Wohnimmobilie | | | |
| | Zeitpunkt t_n der Bestandsaufnahme | 02.04.2010 | | | |
| | Erstellungsdatum des Bauelements | K. A. | | | |
| | Alter des Bauelements | K. A. | | | |
| | Weitere Angaben | Holzverkleidung aufgrund von Pflanzenbewuchs und Pilzbefall stark schadhaft; Schutzanstrich vorhanden | | | |
| Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | Abnutzungsmerkmal | Stufengewicht (gemäß Bl. 4) | Einheitsskalenwert (gemäß Bl. 5 ff.) | Abnutzung A (= Stufengewicht · Einheitsskalenwert) | |
| | Ablagerung (irreversibel) | 0,1667 | 0,2000 | 0,0333 | |
| | Ablagerung (reversibel) | | | | |
| | Baustoffabtrag | 0,1250 | 1,0000 | 0,1250 | |
| | Biologischer Befall | 0,3750 | 1,0000 | 0,3750 | |
| | Brandschutz | | | | |
| | Feuchteschutz | | | | |
| | Riss | 0,0417 | 0,8000 | 0,0333 | |
| | Schallschutz | | | | |
| | Tragfähigkeitsverlust | 0,1250 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Verformung | 0,0694 | 0,8000 | 0,0556 | |
| | Volumenänderung | 0,0972 | 0,8000 | 0,0778 | |
| | Wärmeschutz | | | | |
| | Gesamtabnutzung $A_{ges} = \sum A$ | | | | 0,7000 |
| | Abnutzungsvorrat $AV_{tn} = 1 - A_{ges}$ | | | | 0,3000 |
| stark schadhafter Bereich | | | | | |

Abb. 228: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 1

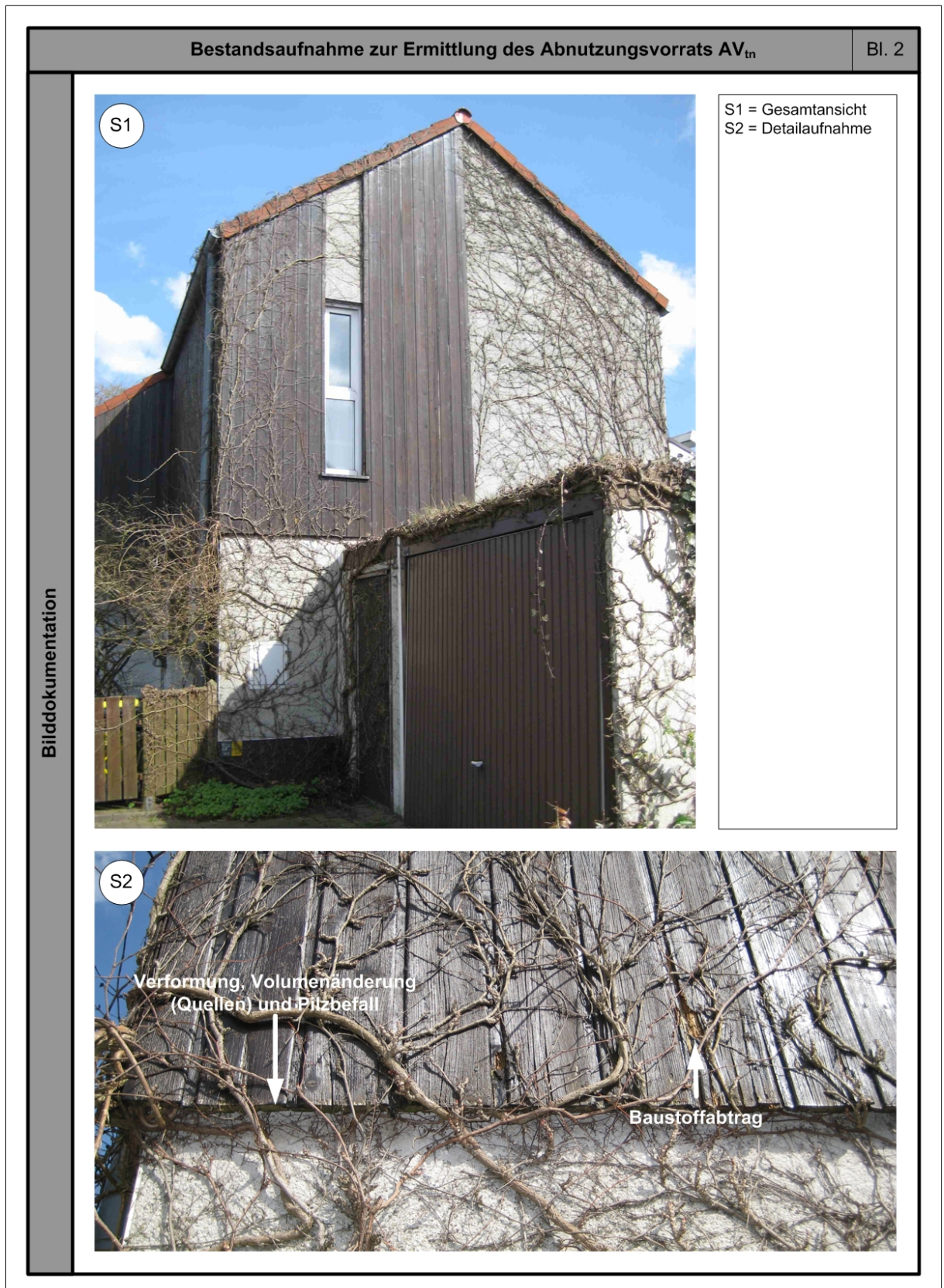


Abb. 229: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 2

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 3 |
|---|---------------------------|--|
| Zustandsbeschreibung | Abnutzungsmerkmal | Beschreibung |
| | Ablagerung (irreversibel) | Kaum Ablagerungen erkennbar (betroffene Fläche ~ 0,2 m ² ; Gesamtfläche = 20 m ²) |
| | Ablagerung (reversibel) | |
| | Baustoffabtrag | Partieller Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) in Form von Abbruch vorhanden (betroffene Fläche ~ 0,1 m ² ; Gesamtfläche = 20 m ² ; Ist-Schichtdicke ~ 10 mm; Bauelementdicke = 20 mm) |
| | Biologischer Befall | Pflanzenbewuchs (große Pflanzen) vorhanden; (betroffene Fläche ~ 10 m ² ; Gesamtfläche = 20 m ²); Pilzbefall liegt an den Randstellen vor. |
| | Brandschutz | |
| | Feuchteschutz | |
| | Riss | Größere Risse (vorwiegend im unteren Drittel) sichtbar (Rissbreite ~ 3 mm; Risstiefe über die volle Bauelementdicke) |
| | Schallschutz | |
| | Tragfähigkeitsverlust | Tragfähigkeit noch vorhanden |
| | Verformung | Stark ausgeprägte Verformung im unteren Drittel vorhanden |
| | Volumenänderung | Stark ausgeprägte Volumenänderung (Quellen) vorwiegend im unteren Drittel vorhanden |
| | Wärmeschutz | |
| | Bemerkung | Eine fehlende Abtropfkante führt zu einer schlechteren Abtrocknung im unteren Bereich der Holzverkleidung und damit zu Pilzbefall sowie diversen Folgeschäden. |

Abb. 230: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 3

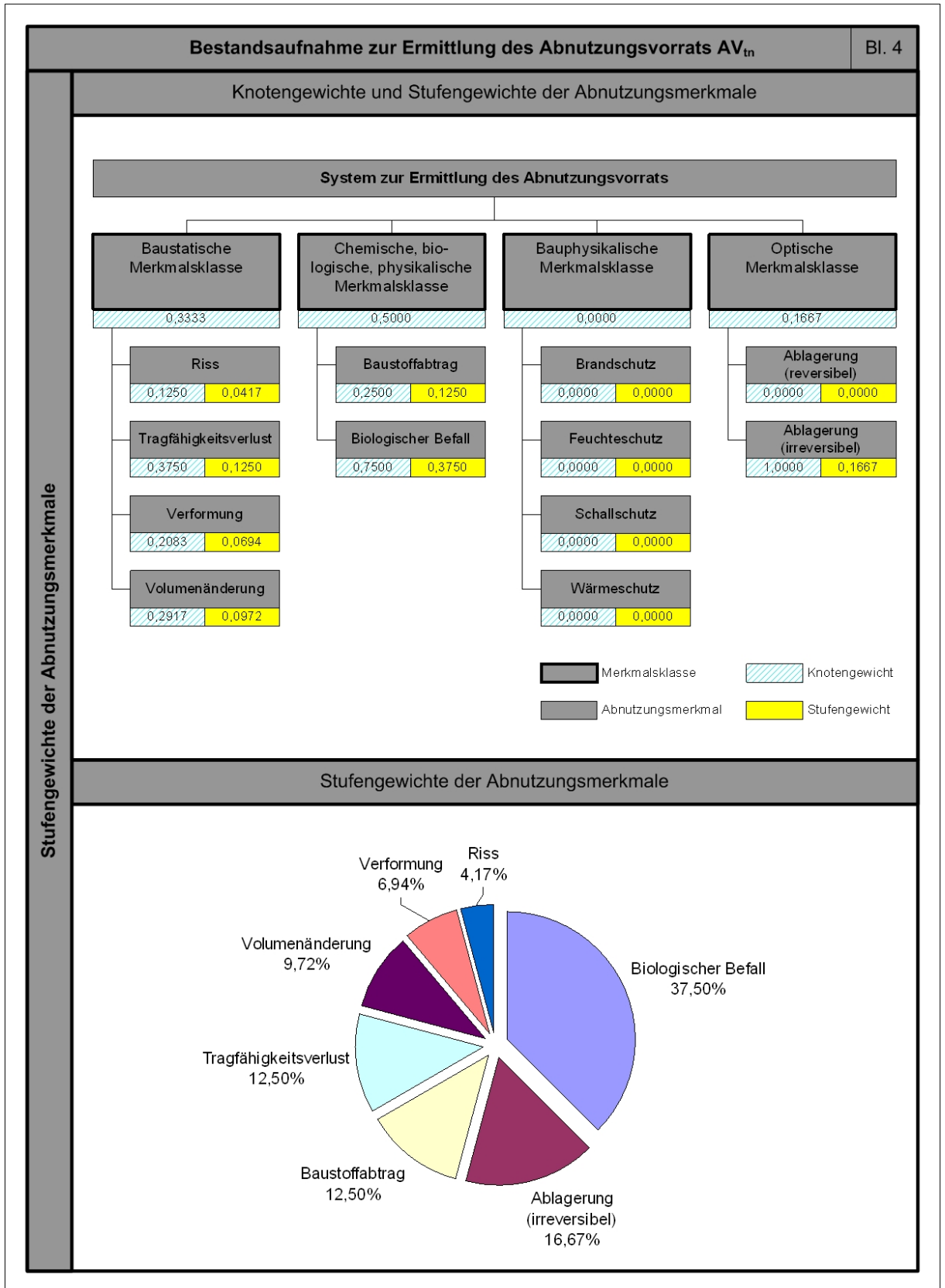


Abb. 231: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 4


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 5 | |
|---|--|--------------------|------|
| Abnutzungsmerkmal Ablagerung (irreversibel) | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | |
| | Abnutzungsmerkmal Ablagerung (irreversibel) | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{0,2 \text{ m}^2}{20 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 0,1 \%$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 1] | 0,20 |
| | |]1, 5,5] | 0,40 |
|]5,5, 19,2] | | 0,60 | |
|]19,2, 43,8] | | 0,80 | |
|]43,8, 100] | 1,00 | | |
| W_1 = Schadensfläche ~ 0,2 m ² W_2 = Gesamtfläche = 20 m ² | | | |

Abb. 232: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 5


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 6 | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|---|------|-----------|------|-------------|------|----------|------|--------|------|----------|------|
| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild sonstiger Baustoffabtrag) | | | | | | | | | | | | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | | | | | | | | | | | | |
| | Merkmalsaspekt Schadensfläche des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | | | | | | | | | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | | | | | | | | | | | | |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{0,1 \text{ m}^2}{20 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 0,5 \%$ | <table border="1"> <tr><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">0,00</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]0, 0,05]</td><td style="text-align: center;">0,20</td></tr> <tr style="background-color: yellow;"><td style="text-align: center;">]0,05, 0,5]</td><td style="text-align: center;">0,40</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]0,5, 1]</td><td style="text-align: center;">0,60</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]1, 8]</td><td style="text-align: center;">0,80</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]8, 100]</td><td style="text-align: center;">1,00</td></tr> </table> | 0 | 0,00 |]0, 0,05] | 0,20 |]0,05, 0,5] | 0,40 |]0,5, 1] | 0,60 |]1, 8] | 0,80 |]8, 100] | 1,00 |
| | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | |
|]0, 0,05] | 0,20 | | | | | | | | | | | | | |
|]0,05, 0,5] | 0,40 | | | | | | | | | | | | | |
|]0,5, 1] | 0,60 | | | | | | | | | | | | | |
|]1, 8] | 0,80 | | | | | | | | | | | | | |
|]8, 100] | 1,00 | | | | | | | | | | | | | |
| W_1 = Schadensfläche = 0,1 m ² W_2 = Gesamtfläche = 20 m ² | | | | | | | | | | | | | | |

Abb. 233: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 6


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 7 | | |
|--|--|-------------------------|--------------------|------|
| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | | |
|  | | | | |
| Merkmalsaspekt Schichtdicke des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Merkmalsausprägung MA [%] | | Einheitsskalenwert | |
| | | | 100 | 0,00 |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{10 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} \cdot 100 \%$ $MA = 50 \%$ | | [95, 100[| 0,20 |
| | | | [90, 95[| 0,40 |
| | | | [80, 90[| 0,60 |
| | | | [60, 80[| 0,80 |
| | | | [0, 60[| 1,00 |
| | W ₁ | = Ist-Schichtdicke | ~ 10 mm | |
| | W ₂ | = Referenz-Schichtdicke | ~ 20 mm | |
| | Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | |
| Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | | Einheitsskalenwert | | |
| | | 0 | 0,00 | |
| $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{komb} = 0,40 \cdot 0,25 + 1,00 \cdot 0,75$ $MA_{komb} = 0,85$ | |]0, 0,2] | 0,20 | |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 | |
| | |]0,4, 0,6] | 0,60 | |
| | |]0,6, 0,8] | 0,80 | |
| | |]0,8, 1] | 1,00 | |
| MA _{komb} | = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) | | | |
| ESW ₁ | = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensfläche | = 0,40 | | |
| ESW ₂ | = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schichtdicke | = 1,00 | | |
| G ₁ | = Gewichtungsfaktor 1 (mit G ₁ = 0,25) | | | |
| G ₂ | = Gewichtungsfaktor 2 (mit G ₂ = 0,75) | | | |

Abb. 234: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 7


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 8 | |
|---|---|--|-------------------|
| Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | | |
| Ermittlung der Einheitskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | |
| | Merkmalsaspekt Schadensart des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | | |
| | Merkmalsausprägung MA | | Einheitskalenwert |
| | Schadensart | Kein biologischer Befall | 0,00 |
| | | Pflanzenbewuchs (kleine Pflanzen) | 0,20 |
| | | Insektenbefall | 0,40 |
| | | Algenbefall; Bakterienbefall; Moosbefall; Pilzbefall | 0,60 |
| | Pflanzenbewuchs (große Pflanzen) ausschlaggebend | Flechtenbefall; Schimmelpilzbefall | 0,80 |
| | | Pflanzenbewuchs (große Pflanzen); Schwammbeffall | 1,00 |

Abb. 235: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 8


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 9 | |
|--|---|--------------------|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | |
| |  <p>Schadensfläche ca. 10 m²</p> | | |
| | Merkmalsaspekt Schadensgröße des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | | |
| | | Einheitsskalenwert | |
| | | 0 | 0,00 |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100\%$ $MA = \frac{10\text{ m}^2}{20\text{ m}^2} \cdot 100\%$ $MA = 50\%$ |]0, 1] | 0,20 |
| | |]1, 5,5] | 0,40 |
| | |]5,5, 19,2] | 0,60 |
| | |]19,2, 43,8] | 0,80 |
|]43,8, 100] | | 1,00 | |
| W_1 = Schadensgröße (Schadensfläche oder Schadensvolumen) ~ 10 m ² W_2 = Gesamtgröße (Schadensgesamtfläche oder Schadensgesamtvolumen) = 20 m ² | | | |
| Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | | |
| Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | | | |
| | Einheitsskalenwert | | |
| | 0 | 0,00 | |
| $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{komb} = 1,00 \cdot 0,50 + 1,00 \cdot 0,50$ $MA_{komb} = 1,00$ |]0, 0,2] | 0,20 | |
| |]0,2, 0,4] | 0,40 | |
| |]0,4, 0,6] | 0,60 | |
| |]0,6, 0,8] | 0,80 | |
| |]0,8, 1] | 1,00 | |
| MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensart = 1,00 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schadensgröße = 1,00 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,5$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,5$) | | | |

Abb. 236: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 9

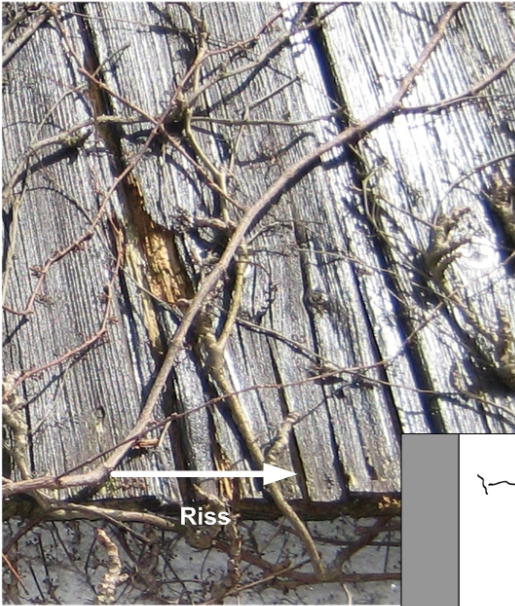
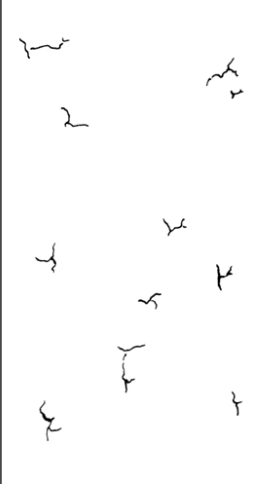
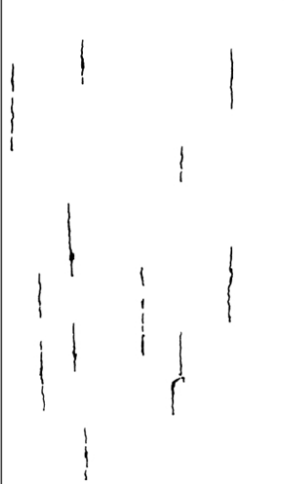
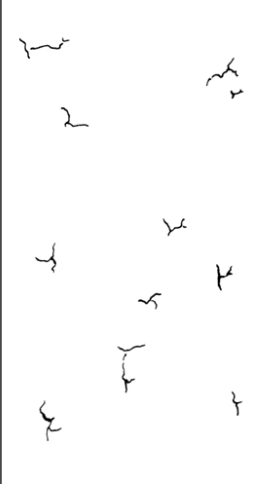
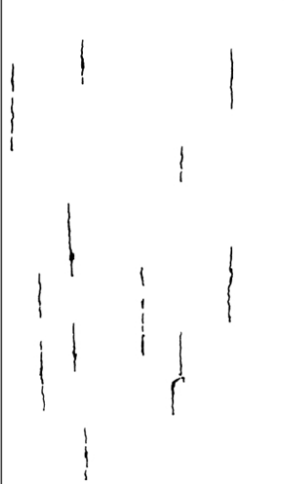
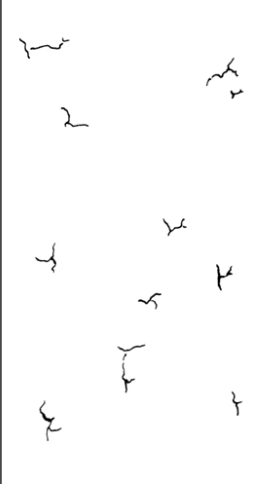
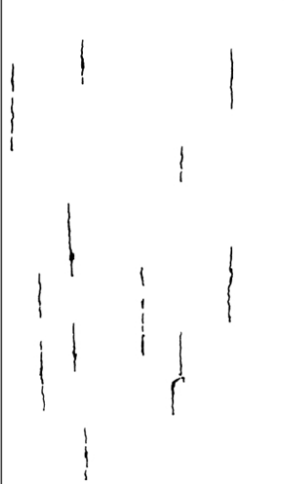
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 10 | | | | |
|---|---|--|--|-------------------|--|--|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | | | | | |
| Ermittlung der Einheitskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | | | | |
| | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); text-align: center; margin-right: 5px;">Rissmenge 3</div> <table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">  </td> <td style="width: 50%; text-align: center;">  </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Mäßig viele Risse</td> </tr> </table> </div> |  |  | Mäßig viele Risse | | |
| |  |  | | | | |
| Mäßig viele Risse | | | | | | |
| Merkmalsaspekt Rissmenge des Abnutzungsmerkmals Riss | | | | | | |
| | Merkmalsausprägung MA | Einheitskalenwert | | | | |
| | Rissmenge gemäß DIN EN ISO 4628-4 | 0 | | | | |
| | | 0,00 | | | | |
| | | 1 | | | | |
| | | 0,20 | | | | |
| | | 2 | | | | |
| | | 0,40 | | | | |
| | | 3 | | | | |
| | | 0,60 | | | | |
| | | 4 | | | | |
| | | 0,80 | | | | |
| | | 5 | | | | |
| | | 1,00 | | | | |

Abb. 237: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 10


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | Bl. 11 | | |
|---|---|---|---|--------------------|------|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | | | |
| | Merkmalsaspekt Rissbreite des Abnutzungsmerkmals Riss | | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [mm] | | | Einheitsskalenwert | |
| | Kennwert gemäß DIN EN ISO 4628-4 | 0 | Keine sichtbaren Risse bei 10facher Vergrößerung | 0 | 0,00 |
| | | 1 | Nur bei bis zu 10facher Vergrößerung sichtbare Risse |]0, 0,1] | 0,20 |
| | | 2 | Gerade sichtbare Risse mit bloßem Auge (auf Normalsichtigkeit korrigiertes Sehvermögen) |]0,1, 0,2] | 0,40 |
| | | 3 | Deutlich sichtbare Risse mit bloßem Auge (auf Normalsichtigkeit korrigiertes Sehvermögen) |]0,2, 0,4] | 0,60 |
| | | 4 | Breite Risse, bis zu 1 mm breit |]0,4, 1] | 0,80 |
| | | 5 | Sehr breite Risse, mehr als 1 mm breit |]1, ∞[| 1,00 |

Abb. 238: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 11


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | Bl. 12 | |
|---|---|---|--|------|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | | |
| | Merkmalsaspekt Risstiefe des Abnutzungsmerkmals Riss | | | |
| | Risstiefe gemäß DIN EN ISO 4628-4 | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | |
| | Kein Riss | 0 | 0,00 | |
| | Oberflächenrisse, die nicht durch das gesamte Bauelement hindurchgehen | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ |]0, 30] | 0,20 |
| | | $MA = \frac{15 \text{ mm}}{15 \text{ mm}} \cdot 100 \%$ |]30, 100[| 0,60 |
| Risse, die durch das gesamte Bauelement hindurchgehen | MA = 100 % | 100 | 1,00 | |
| Risse, die durch das gesamte Bauelement und angrenzende Bauelemente hindurchgehen | |]100, ∞[| Berücksichtigung erfolgt im angrenzenden Bauelement | |
| W_1 | = | Risstiefe = 15 mm | | |
| W_2 | = | Bauelementdicke = 15 mm | | |

Abb. 239: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 12


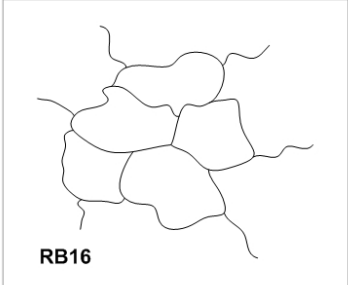
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | Bl. 13 |
|---|---|--|---|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Riss | | |
| |  | | |
| | Rissbild senkrecht zur Faserrichtung: Zuordnung zu Netzrisse (Netzrisse durch Schwindprozesse) | |  <p>RB16</p> |
| | Merkmalsaspekt Rissbild des Abnutzungsmerkmals Riss | | |
| | | Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert |
| Rissbild | Kein Riss | K. A. | 0,00 |
| | Rissursache kann mit mäßigem Aufwand behoben werden | RB5, RB15 | 0,20 |
| | Rissursache kann mit hohem Aufwand behoben werden | RB4, RB6, RB7, RB9, RB10, RB11, RB12, RB13, RB14, RB16, RB17 | 0,60 |
| | Rissursache kann nur mit sehr hohem Aufwand behoben werden | RB1, RB2, RB3, RB8 | 1,00 |

Abb. 240: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 13

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | Bl. 14 |
|--|--|--------------------|--------------------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Riss | | |
| | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | | Einheitsskalenwert |
| | $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2 + ESW_3 \cdot G_3 + ESW_4 \cdot G_4$ $MA_{komb} = 0,60 \cdot 0,25 + 1,00 \cdot 0,25 + 1,00 \cdot 0,25 + 0,20 \cdot 0,60$ $MA_{komb} = 0,80$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,2] | 0,20 |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| | |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| | |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| | |]0,8, 1] | 1,00 |
| | MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Rissmenge = 0,60 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Rissbreite = 1,00 ESW_3 = Einheitsskalenwert 3 des Merkmalsaspekts Risstiefe = 1,00 ESW_4 = Einheitsskalenwert 4 des Merkmalsaspekts Rissbild = 0,60 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,25$) G_3 = Gewichtungsfaktor 3 (mit $G_3 = 0,25$) G_4 = Gewichtungsfaktor 4 (mit $G_4 = 0,25$) | | |
| | Abnutzungsmerkmal Tragfähigkeitsverlust | | |
| Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert | |
| Einhaltung der Tragfähigkeit gemäß Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen und anerkannten Regeln der Technik | Ja | 0,00 | |
| | Nein | 1,00 | |

Abb. 241: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 14


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 15 | |
|---|--|---|-------------|
| Abnutzungsmerkmal Verformung | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | |
| | Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | |
| | Veränderung gemäß DIN EN ISO 4628-1 | Nicht verändert, d. h. keine wahrnehmbare Veränderung | 0,00 |
| | | Sehr gering, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung | 0,20 |
| | | Gering, d. h. deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,40 |
| | | Mittel, d. h. sehr deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,60 |
| | | Stark, d. h. ausgeprägte Veränderung | 0,80 |
| | | Sehr starke Veränderung | 1,00 |
| | Abnutzungsmerkmal Volumenänderung | | |
| | Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | |
| Veränderung gemäß DIN EN ISO 4628-1 | Nicht verändert, d. h. keine wahrnehmbare Veränderung | 0,00 | |
| | Sehr gering, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung | 0,20 | |
| | Gering, d. h. deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,40 | |
| | Mittel, d. h. sehr deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,60 | |
| | Stark, d. h. ausgeprägte Veränderung | 0,80 | |
| | Sehr starke Veränderung | 1,00 | |

Abb. 242: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Holz, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 15

3.3.3.5 Kunststoff

Ermittlung der Stufengewichte

Bei dem organisch synthetischen Baustoff Kunststoff handelt es sich um einen makromolekularen Werkstoff, der durch Synthese der aus Erdöldestillation resultierenden Ausgangsstoffe gewonnen wird. Je nach Bildungsreaktion (chemische Bindung der Moleküle) wird in unterschiedliche Kunststoffarten unterschieden. Beispiele hierzu sind Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyvinylchlorid (PVC) oder Polystyrol (PS). Kunststoffe haben eine geringe Massendichte, hohe Korrosionsbeständigkeit, niedrige Verarbeitungstemperatur, gute Verformbarkeit sowie eine geringe thermische und elektrische Leitfähigkeit. Nachteilige Eigenschaften von Kunststoffen sind eine geringe Wärmebeständigkeit, leichte Brennbarkeit, niedrigere Festigkeiten und höhere Wärmeausdehnung als Metalle.⁵⁰¹

Haupteigenschaften von Kunststoffen sind die Dichtigkeit und Wasserundurchlässigkeit (z. B. bei Flachdachkunststoffbahnen) gegenüber äußeren Einflüssen wie Niederschlag und Wind.

Der Abnutzungsvorrat des Baustoffs Kunststoff lässt sich durch die in Abb. 243 aufgeführten qualitäts- und schadensbezogenen Merkmale sowie deren zugeordnete Abnutzungsmerkmale beschreiben.

⁵⁰¹ Vgl. BENEDIX, R.: Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 427, S. 438 ff.; KNÖFEL, D.: Stichwort Baustoffkorrosion. Wiesbaden : Bauverlag, 1982, S. 207; KNOBLAUCH, H.; SCHNEIDER, U.: Bauchemie. 6. Aufl. Neuwied : Werner Verlag, 2006, S. 143; SCHÖNBURG, K.: Korrosionsschutz am Bau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006, S. 15

| Merkmal | | Abnutzungsmerkmale | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------|-----------------|--|---------------------|---------------------------------|---------------|--------------|-------------------------|-------------------------|
| | | Baustatische Merkmalsklasse | | | | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | | Bauphysikalische Merkmalsklasse | | | Optische Merkmalsklasse | |
| | | Riss | Tragfähigkeitsverlust | Verformung | Volumenänderung | Baustoffabtrag | Biologischer Befall | Brandschutz | Feuchteschutz | Schallschutz | Wärmeschutz | Ablagerung (reversibel) |
| qualitäts- bezogen | Dichtigkeit | | | | | | | | x | | | |
| | Wasserundurchlässigkeit | | | | | | | | x | | | |
| schadens- bezogen | Ablagerung | | | | | | | | | | x | |
| | Ausbleichung | | | | | | | | | | | x |
| | Bakterienbefall | | | | | | x | | | | | |
| | Bruch | | | | | x | | | | | | |
| | Festigkeitsverlust | | | | | x | | | | | | |
| | Haftungsverlust | | | | | x | | | | | | |
| | Korrosion | | | | | x | | | | | | |
| | Moosbefall | | | | | | x | | | | | |
| | Pilzbefall | | | | | | x | | | | | |
| | Pflanzenbewuchs | | | | | | x | | | | | |
| | Quellen | | | | x | | | | | | | |
| | Riss | x | | | | | | | | | | |
| | Schimmelpilzbefall | | | | | | x | | | | | |
| | Schwinden | | | | x | | | | | | | |
| | Undichtigkeit | | | | | | | | x | | | |
| | Verfärbung | | | | | | | | | | | x |
| | Verschmutzung | | | | | | | | | | x | |
| | Versprödung | | | | | | | | x | | | |
| Volumenänderung | | | | x | | | | | | | | |

x = Zuordnung

Abb. 243: Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Kunststoff⁵⁰²

⁵⁰² Vgl. BENEDIX, R.: Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 462 ff.; SCHÖNBURG, K.: Korrosionsschutz am Bau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006, S. 15 f., S. 81; KLOPFER, H.: Anstrichschäden – Strukturen, Verhaltensweisen und Schadensformen von Anstrichen und Kunststoffbeschichtungen. Wiesbaden : Bauverlag, 1976, S. 47; KNÖFEL, D.: Stichwort Baustoffkorrosion. Wiesbaden : Bauverlag, 1982, S. 207; SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 84; ZIMMERMANN, G. (Hrsg.): Schäden an polymeren Beschichtungen. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2001, S. 40; IP BAU (Hrsg.): Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten – Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1994, S. 89

Folgende Merkmale werden vorrangig zur Zustandsbewertung des Baustoffs Kunststoff verwendet:⁵⁰³

- Undichtigkeit und Versprödung (Verminderung des **Feuchteschutzes**)
- Riss
- **Baustoffabtrag** wie Bruch, Festigkeitsverlust, Haftungsverlust und Korrosion
- **Biologischer Befall** wie Bakterien-, Moos-, Pilz-, Schimmelpilzbefall und Pflanzenbewuchs
- **Ablagerung (irreversibel)** wie Ausbleichung und Verfärbung
- **Volumenänderung** wie Quellen und Schwinden
- Ablagerung (reversibel).

Für die baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für den Baustoff Kunststoff werden mittels paarweisem Vergleich⁵⁰⁴ die Knotengewichte für die Merkmalklassen entsprechend Abb. 244 ermittelt. Die Bestimmung der Knotengewichte der gemäß Abb. 243 relevanten Abnutzungsmerkmale erfolgt in Abb. 245 bis Abb. 248. Nichtrelevante Abnutzungsmerkmale erhalten keinen Eintrag in den entsprechenden Matrixfeldern und in der Zeilensumme.

Eine Übersicht über alle Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Kunststoff wird in Abb. 249 gegeben. Eine grafische Übersicht über die Stufengewichte zeigt Abb. 250.

⁵⁰³ Vgl. BENEDIX, R.: Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 462 ff.; SCHÖNBURG, K.: Korrosionsschutz am Bau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006, S. 15 f., S. 81; KLOPFER, H.: Anstrichschäden – Strukturen, Verhaltensweisen und Schadensformen von Anstrichen und Kunststoffbeschichtungen. Wiesbaden : Bauverlag, 1976, S. 47; KNÖFEL, D.: Stichwort Baustoffkorrosion. Wiesbaden : Bauverlag, 1982, S. 207; SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 84; ZIMMERMANN, G. (Hrsg.): Schäden an polymeren Beschichtungen. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2001, S. 40

⁵⁰⁴ Bezüglich des paarweisen Vergleichs s. Abschnitt IV3.3.1

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilen-summe | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|--------------|---------------|
| 1 | Baustatische Merkmalsklasse | - | 3 | 1 | 3 | 7 | 0,2917 |
| 2 | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | 1 | - | 1 | 3 | 5 | 0,2083 |
| 3 | Bauphysikalische Merkmalsklasse | 3 | 3 | - | 3 | 9 | 0,3750 |
| 4 | Optische Merkmalsklasse | 1 | 1 | 1 | - | 3 | 0,1250 |
| Gesamtsumme | | | | | | 24 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 244: Gewichtung der Merkmalsklassen – Kunststoff – Ebene 1

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilen-summe | Gewichtung |
|--------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|--------------|---------------|
| 1 | Riss | - | | | 3 | 3 | 0,7500 |
| 2 | Tragfähigkeitsverlust | | - | | | | |
| 3 | Verformung | | | - | | | |
| 4 | Volumenänderung | 1 | | | - | 1 | 0,2500 |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 245: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Kunststoff – Ebene 2, Spalte 1

| Zelle | Merkmal oder Merkmals- klasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Baustoffabtrag | - | 2 | | | 2 | 0,5000 |
| 2 | Biologischer Befall | 2 | - | | | 2 | 0,5000 |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung ↑
 1 = weniger bedeutend
 2 = gleichbedeutend
 3 = bedeutender
 4 = alleiniges Merkmal

Abb. 246: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Kunststoff – Ebene 2, Spalte 2

| Zelle | Merkmal oder Merkmals- klasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Brandschutz | - | | | | | |
| 2 | Feuchteschutz | 4 | - | 4 | 4 | 12 | 1,0000 |
| 3 | Schallschutz | | | - | | | |
| 4 | Wärmeschutz | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 12 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung ↑
 1 = weniger bedeutend
 2 = gleichbedeutend
 3 = bedeutender
 4 = alleiniges Merkmal

Abb. 247: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Kunststoff – Ebene 2, Spalte 3

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Ablagerung (reversibel) | - | 1 | | | 1 | 0,2500 |
| 2 | Ablagerung (irreversibel) | 3 | - | | | 3 | 0,7500 |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
 2 = gleichbedeutend
 3 = bedeutender
 4 = alleiniges Merkmal

Abb. 248: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Kunststoff – Ebene 2, Spalte 4

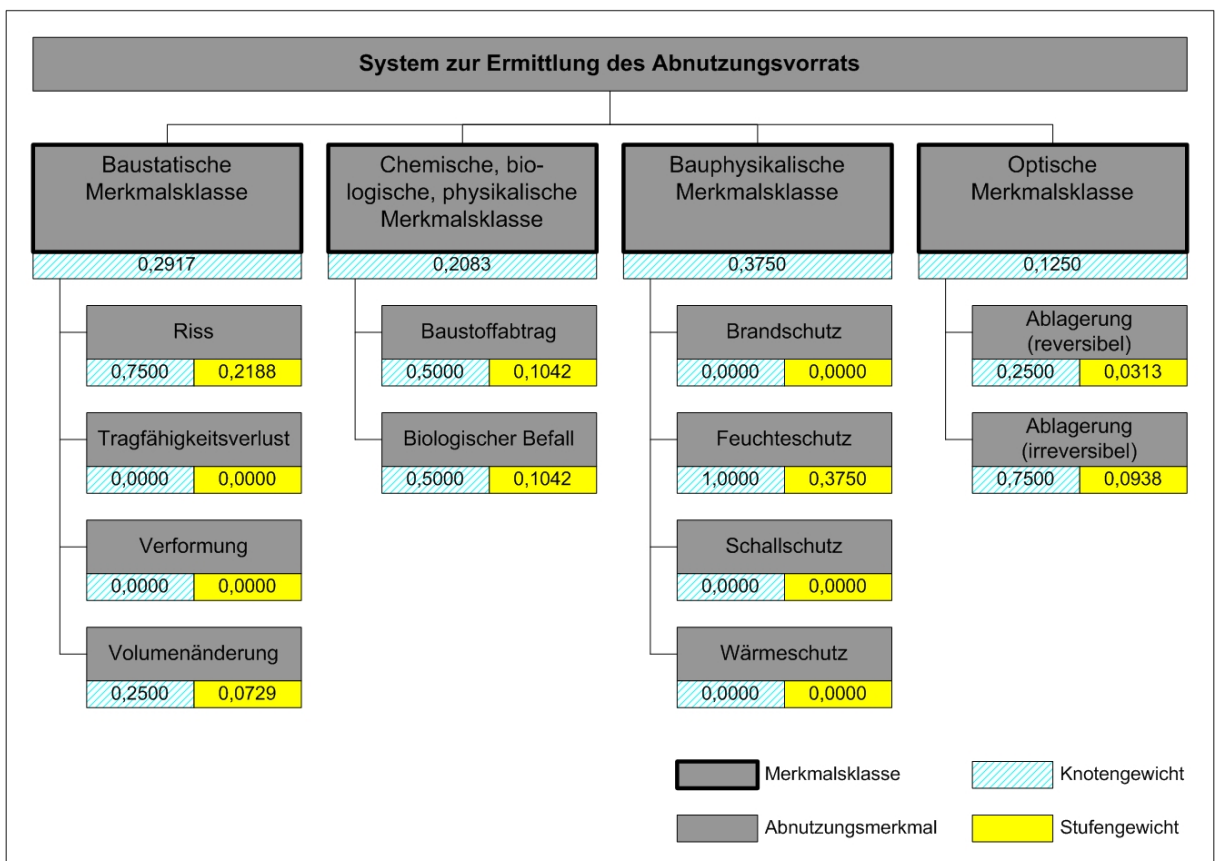


Abb. 249: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Kunststoff⁵⁰⁵

⁵⁰⁵ Die Gewichtung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

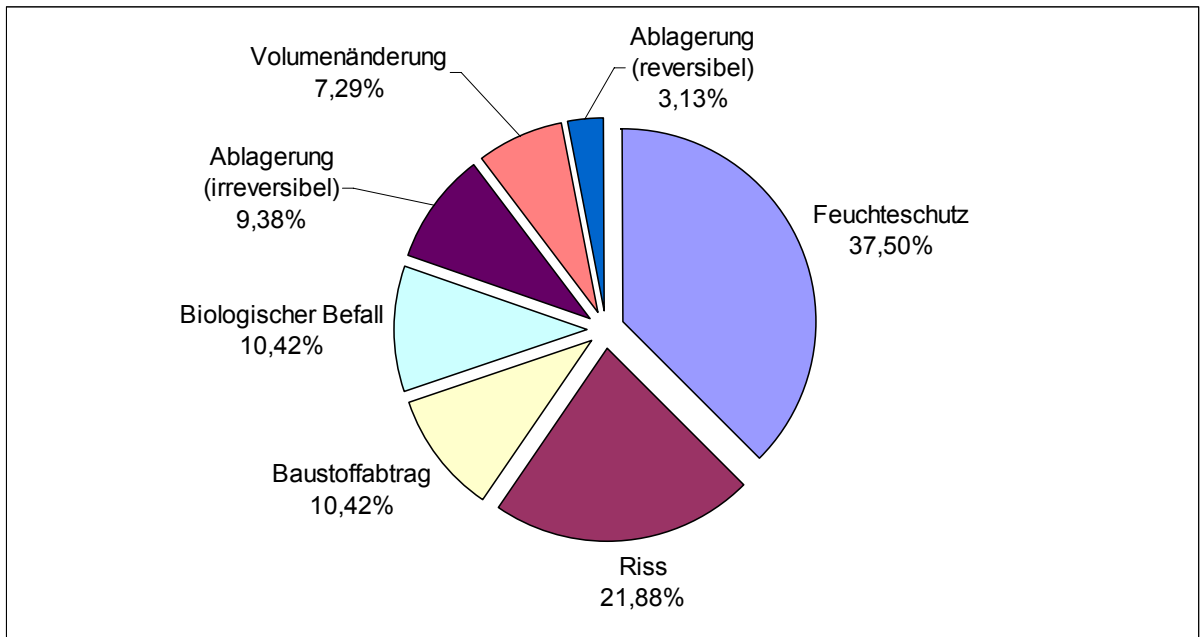


Abb. 250: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Kunststoff

Die baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für den Baustoff Kunststoff entsprechend Abb. 249 wird durch den Vorschlag der einschlägigen Fachliteratur zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Kunststoff gemäß Abb. 251 untermauert. In dieser Beschreibung werden Schadensbilder aufgezeigt, die vier von fünf Zustandsstufen zugeordnet werden können. Der gute Zustand ist nicht beschrieben. Die Schadensbilder umfassen u. a. Undichtigkeit und Versprödung (Verminderung des Feuchteschutzes), Baustoffabtrag durch Hafungsverlust und Fehlstellen sowie biologischen Befall.

| Zustandsstufe | Bewertung des Zustands | Beschreibung des Zustands |
|---------------|------------------------|--|
| 1 | Guter Zustand | K. A. |
| 2 | Annehmbarer Zustand | Leicht schadhaft: Belag intakt; Schutzschicht teilweise fehlend |
| 3 | Schadhafter Zustand | Mittel schadhaft: Belag über größere Flächen offenliegend; Aufwölbungen und Faltbildung; beginnender Pflanzenbewuchs; Wasserdichtigkeit gewährleistet |
| 4 | Schlechter Zustand | Stark schadhaft: Verbund mit Randblechen gelöst; Folien spröde und gebrochen; eindringende Wurzeln; Wasserdichtigkeit nicht mehr vorhanden; Bauteil und damit Bauwerk nicht mehr gebrauchsfähig; unbewohnbar |
| 5 | Alarmierender Zustand | Zerstört: Bauwerk verlottert; unbrauchbar |

Abb. 251: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Kunststoff⁵⁰⁶

Beispiel zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats

In Abb. 252 bis Abb. 260 wird ein Beispiel für die Ermittlung eines Wertes für den Abnutzungsvorrat AV anhand einer konkreten Bestandsaufnahme gegeben. Hierbei handelt es sich um ein Flachdach aus Kunststoffdachbahnen einer Büroimmobilie. Der Zustand der Kunststoffdachbahnen ist gut und die Funktion des Feuchtschutzes ist gewährleistet. Die Kunststoffdachbahnen weisen keine Risse sowie keinen Baustoffabtrag auf. An den Rändern liegt Algenbefall (biologischer Befall) vor. Ablagerungen (reversibel) durch Verschmutzung und Ablagerungen (irreversibel) durch Ausbleichung der Gesamtfläche sind vorhanden. Volumenänderungen aufgrund von Schwindprozessen werden in den Randbereichen sichtbar.

⁵⁰⁶ Vgl. IP BAU (Hrsg.): Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten – Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1994, S. 89

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | | Bl. 1 | |
|---|--|---|--------------------------------------|--|--------|
| Allgemeine Angaben | Bauelement | Flachdach | | | |
| | Baustoff | Kunststoff | | | |
| | Statische Relevanz | Statisch nicht relevant | | | |
| | Standort | Bochum | | | |
| | Art der Immobilie | Büroimmobilie | | | |
| | Zeitpunkt t_n der Bestandsaufnahme | 26.05.2010 | | | |
| | Erstellungsdatum des Bauelements | K. A. | | | |
| | Alter des Bauelements | K. A. | | | |
| | Weitere Angaben | Flachdach aus Kunststoffdachbahnen mit funktionierendem Feuchtschutz, keinen Rissen, keinem Baustoffabtrag, Algenbefall an den Rändern (biologischer Befall), teilweise Ablagerungen (reversibel) durch Verschmutzung und Ablagerungen (irreversibel) durch Ausbleichung der Gesamfläche. Volumenänderung ist in den Randbereichen vorhanden. | | | |
| Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | Abnutzungsmerkmal | Stufengewicht (gemäß Bl. 4) | Einheitsskalenwert (gemäß Bl. 5 ff.) | Abnutzung A (= Stufengewicht · Einheitsskalenwert) | |
| | Ablagerung (irreversibel) | 0,0938 | 1,0000 | 0,0938 | |
| | Ablagerung (reversibel) | 0,0313 | 0,2000 | 0,0063 | |
| | Baustoffabtrag | 0,1042 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Biologischer Befall | 0,1042 | 0,6000 | 0,0625 | |
| | Brandschutz | | | | |
| | Feuchteschutz | 0,3750 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Riss | 0,2188 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Schallschutz | | | | |
| | Tragfähigkeitsverlust | | | | |
| | Verformung | | | | |
| | Volumenänderung | 0,0729 | 0,8000 | 0,0583 | |
| | Wärmeschutz | | | | |
| | Gesamtabnutzung $A_{ges} = \sum A$ | | | | 0,2209 |
| | Abnutzungsvorrat $AV_{tn} = 1 - A_{ges}$ | | | | 0,7791 |
| Leicht schadhafter Bereich | | | | | |

Abb. 252: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Kunststoff – Bl. 1

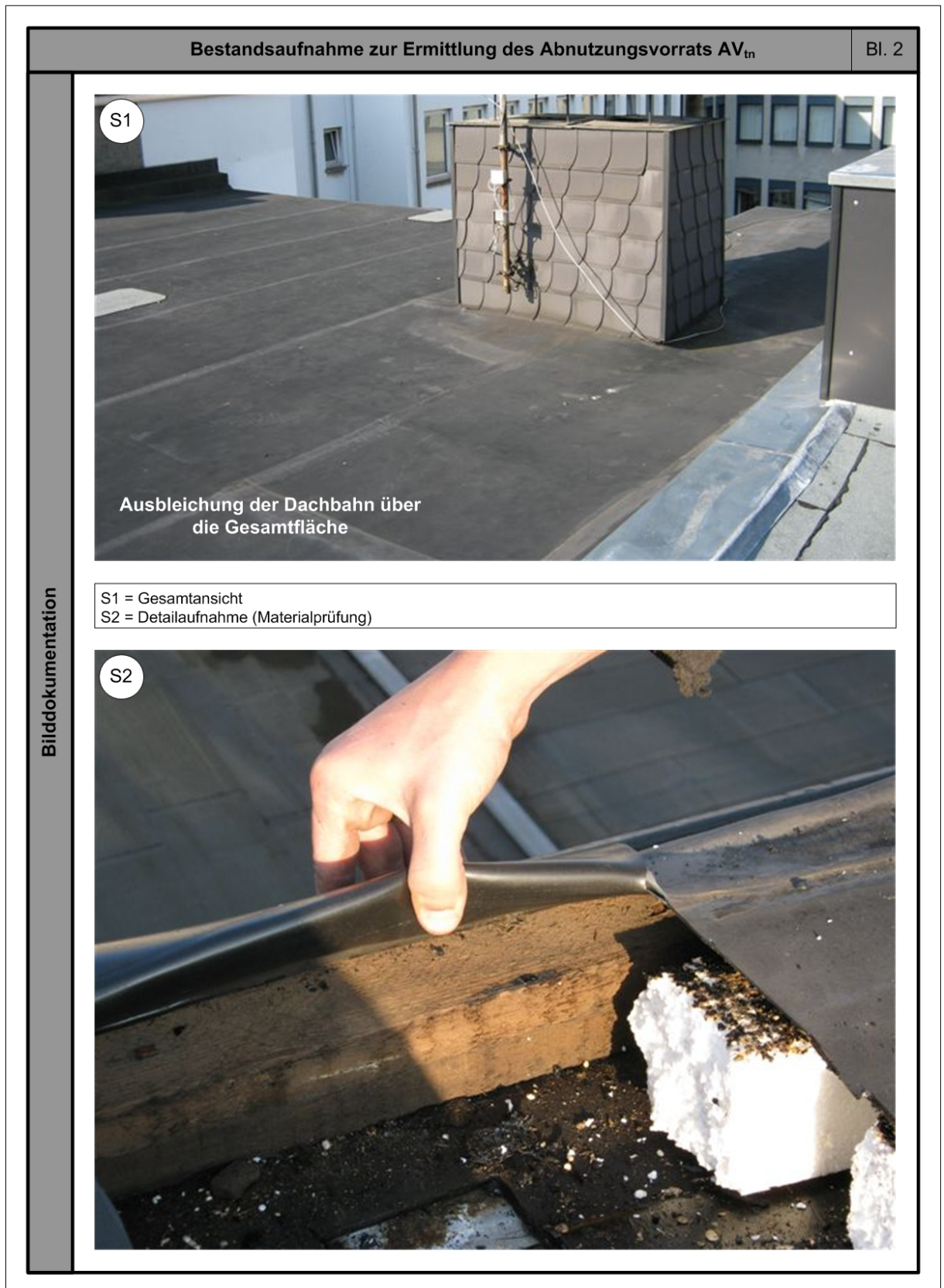


Abb. 253: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Kunststoff – Bl. 2

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 3 |
|---|---------------------------|---|
| Zustandsbeschreibung | Abnutzungsmerkmal | Beschreibung |
| | Ablagerung (irreversibel) | Ausbleichung der Dachbahnen über die Gesamtfläche |
| | Ablagerung (reversibel) | Teilweise Verschmutzung (betroffene Fläche ca. 0,1 m ² ; Gesamtfläche 100 m ²) |
| | Baustoffabtrag | Kein Baustoffabtrag vorhanden |
| | Biologischer Befall | Algenbefall im Randbereich (betroffene Fläche ca. 3 m ² ; Gesamtfläche 100 m ²) |
| | Brandschutz | |
| | Feuchteschutz | Der Feuchteschutz ist gewährleistet. |
| | Riss | Es sind keine Risse vorhanden. |
| | Schallschutz | |
| | Tragfähigkeitsverlust | |
| | Verformung | |
| | Volumenänderung | Stark ausgeprägte Volumenänderungen aufgrund von Schwindprozessen in den Randbereichen vorhanden |
| | Wärmeschutz | |
| | Bemerkung | Die Schutzwirkung gegen Niederschlag sowie andere Umwelteinflüsse ist durch das Flachdach gewährleistet. |

Abb. 254: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Kunststoff – Bl. 3

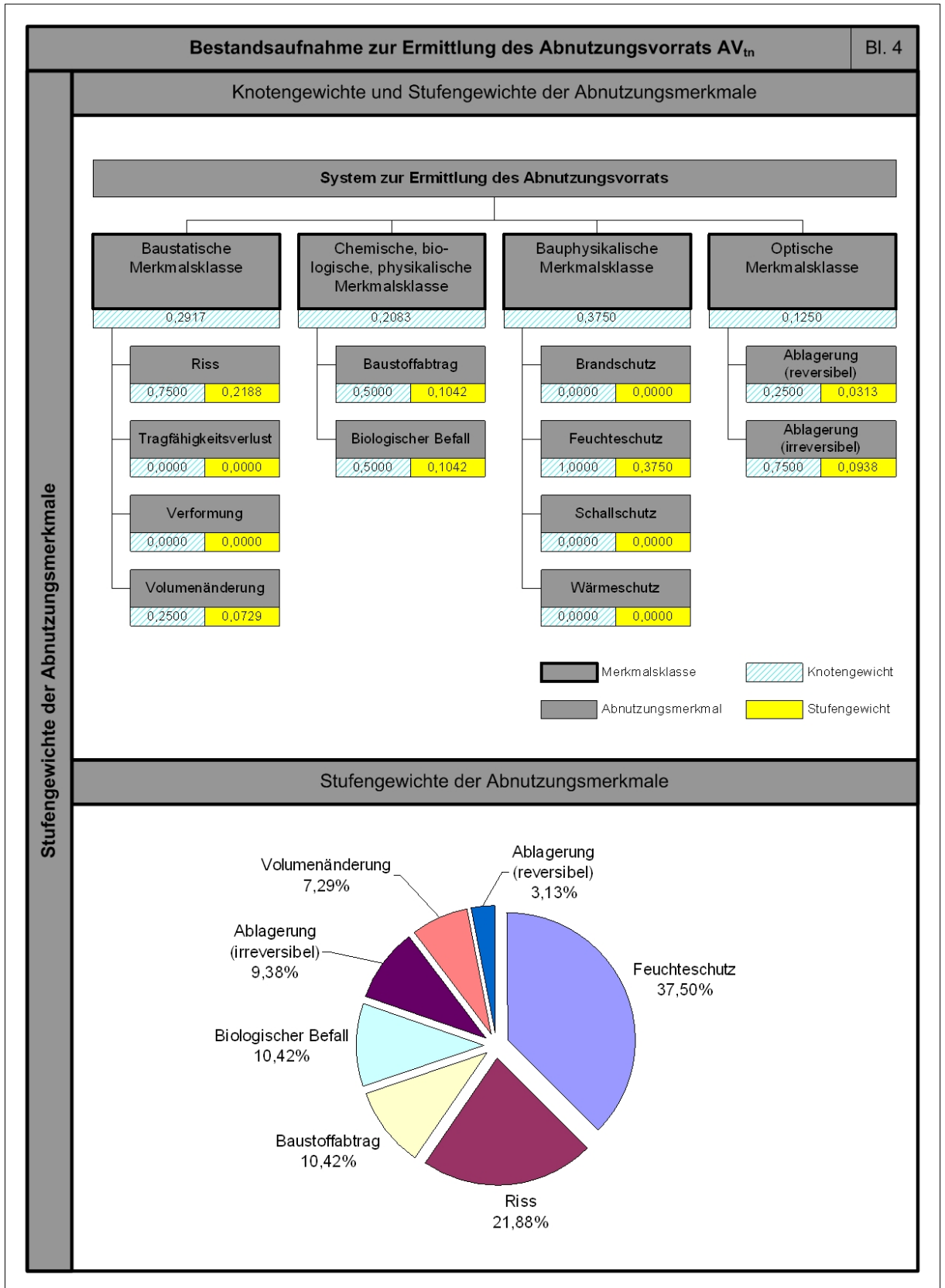


Abb. 255: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Kunststoff – Bl. 4



| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 5 | |
|---|---|--------------------|------|
| Abnutzungsmerkmal Ablagerung (irreversibel) | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | |
| |  | | |
| | <p>S3 = Ist-Zustand (ausgeblichen) S4 = Originalfarbgebung</p> | | |
| | Abnutzungsmerkmal Ablagerung (irreversibel) | | |
| Merkmalsausprägung MA [%] | | Einheitsskalenwert | |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{100 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 100 \%$ | | 0 | 0,00 |
| | |]0, 1] | 0,20 |
| | |]1, 5,5] | 0,40 |
| | |]5,5, 19,2] | 0,60 |
| | |]19,2, 43,8] | 0,80 |
| | |]43,8, 100] | 1,00 |
| W_1 = Schadensfläche W_2 = Gesamtfläche | $\sim 100 \text{ m}^2$ $= 100 \text{ m}^2$ | | |

Abb. 256: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Kunststoff – Bl. 5

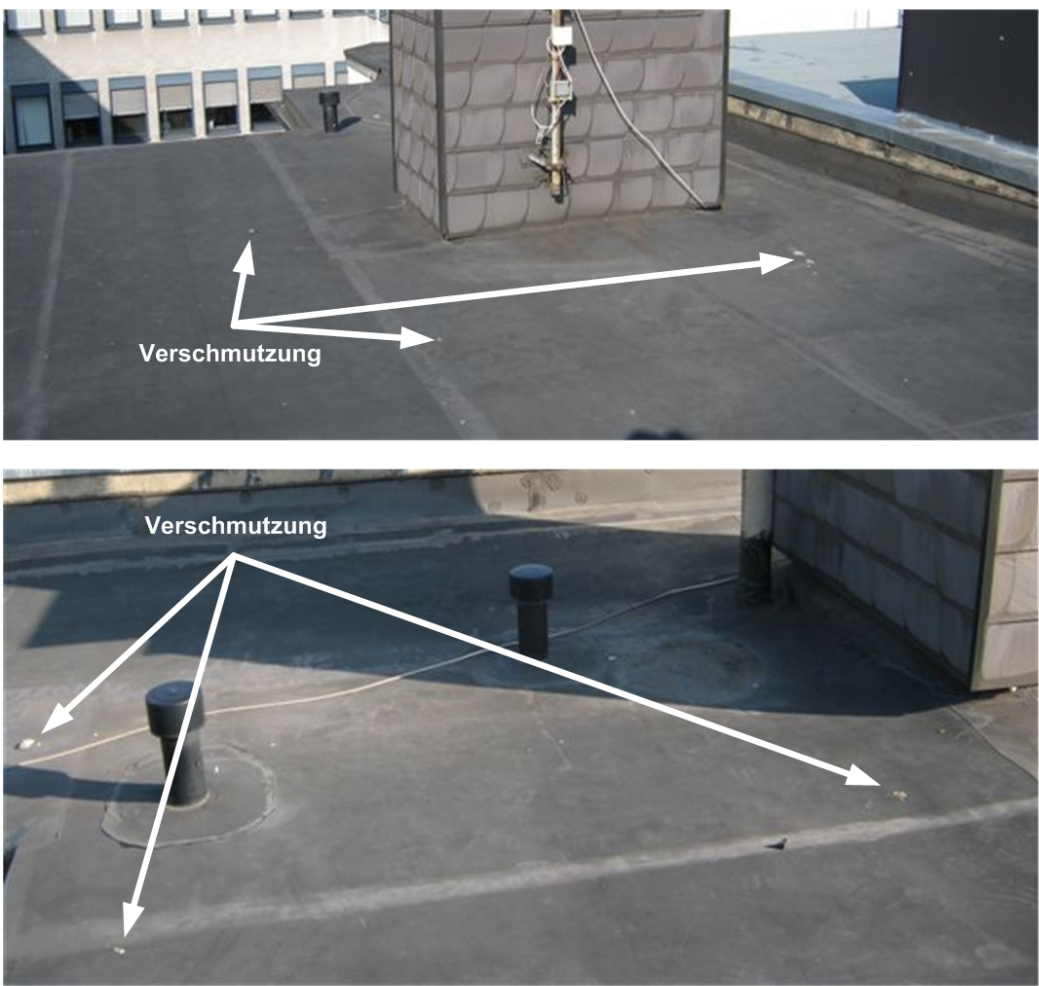
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 6 | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|---|------|--------|------|----------|------|-------------|------|--------------|------|-------------|
| Abnutzungsmerkmal Ablagerung (reversibel) | | | | | | | | | | | | | |
| Ermittlung der Einheitskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | | | | | | | | | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | | | | | | | | | | | |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{0,1 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 0,1 \%$ | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr style="background-color: yellow;"> <td style="text-align: center;">]0, 1]</td> <td style="text-align: center;">0,20</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">]1, 5,5]</td> <td style="text-align: center;">0,40</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">]5,5, 19,2]</td> <td style="text-align: center;">0,60</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">]19,2, 43,8]</td> <td style="text-align: center;">0,80</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">]43,8, 100]</td> <td style="text-align: center;">1,00</td> </tr> </table> | 0 | 0,00 |]0, 1] | 0,20 |]1, 5,5] | 0,40 |]5,5, 19,2] | 0,60 |]19,2, 43,8] | 0,80 |]43,8, 100] |
| 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | |
|]0, 1] | 0,20 | | | | | | | | | | | | |
|]1, 5,5] | 0,40 | | | | | | | | | | | | |
|]5,5, 19,2] | 0,60 | | | | | | | | | | | | |
|]19,2, 43,8] | 0,80 | | | | | | | | | | | | |
|]43,8, 100] | 1,00 | | | | | | | | | | | | |
| W_1 = Schadensfläche ~ 0,1 m ² W_2 = Gesamtfläche = 100 m ² | | | | | | | | | | | | | |

Abb. 257: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Kunststoff – Bl. 6


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 7 | |
|---|--|--------------------|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | |
| | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | |
| | (kein Baustoffabtrag vorhanden) | 0 | 0,00 |
| | $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{komb} = 0,00 \cdot 0,25 + 0,00 \cdot 0,75$ $MA_{komb} = 0,00$ |]0, 0,2] | 0,20 |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| | |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| | |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| | |]0,8, 1] | 1,00 |
| | MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensfläche = 0,00 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schichtdicke = 0,00 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,75$) | | |
| | Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | |
|  | | | |
| Merkmalsaspekt Schadensart des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | | | |
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | | |
| Schadensart | Kein biologischer Befall | 0,00 | |
| | Pflanzenbewuchs (kleine Pflanzen) | 0,20 | |
| | Insektenbefall | 0,40 | |
| | Algenbefall; Bakterienbefall; Moosbefall; Pilzbefall | 0,60 | |
| | Flechtenbefall; Schimmelpilzbefall | 0,80 | |
| | Pflanzenbewuchs (große Pflanzen); Schwammbefall | 1,00 | |

Abb. 258: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Kunststoff – Bl. 7

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV _{tn} | | Bl. 8 | |
|---|---|--|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | |
| | Merkmalsaspekt Schadensgröße des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{3 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 3 \%$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 1] | 0,20 |
| | |]1, 5,5] | 0,40 |
| | |]5,5, 19,2] | 0,60 |
| | |]19,2, 43,8] | 0,80 |
| | |]43,8, 100] | 1,00 |
| | | W ₁ = Schadensgröße (Schadensfläche oder Schadensvolumen) ~ 3 m ² W ₂ = Gesamtgröße (Schadensgesamtfläche oder Schadensgesamtvolumen) = 100 m ² | |
| | Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | |
| | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA _{komb} | Einheitsskalenwert | |
| | $MA_{\text{komb}} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{\text{komb}} = 0,60 \cdot 0,50 + 0,40 \cdot 0,50$ $MA_{\text{komb}} = 0,50$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,2] | 0,20 |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
|]0,4, 0,6] | | 0,60 | |
|]0,6, 0,8] | | 0,80 | |
|]0,8, 1] | | 1,00 | |
| MA _{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW ₁ = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensart = 0,60 ESW ₂ = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schadensgröße = 0,40 G ₁ = Gewichtungsfaktor 1 (mit G ₁ = 0,5) G ₂ = Gewichtungsfaktor 2 (mit G ₂ = 0,5) | | | |
| Abnutzungsmerkmal Feuchteschutz | | | |
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | | |
| Einhaltung des Feuchteschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | Ja | 0,00 | |
| | Nein | 1,00 | |

Abb. 259: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Kunststoff – Bl. 8


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 9 | |
|--|--|--------------------|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Riss | | |
| | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | |
| | $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2 + ESW_3 \cdot G_3 + ESW_4 \cdot G_4$ $MA_{komb} = 0,00 \cdot 0,25 + 0,00 \cdot 0,25 + 0,00 \cdot 0,25 + 0,00 \cdot 0,25$ $MA_{komb} = 0,00$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,2] | 0,20 |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| | |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| | |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| | |]0,8, 1] | 1,00 |
| | MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Rissmenge = 0,00 (keine Risse vorhanden) ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Rissbreite = 0,00 (keine Risse vorhanden) ESW_3 = Einheitsskalenwert 3 des Merkmalsaspekts Risstiefe = 0,00 (keine Risse vorhanden) ESW_4 = Einheitsskalenwert 4 des Merkmalsaspekts Rissbild = 0,00 (keine Risse vorhanden) G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,25$) G_3 = Gewichtungsfaktor 3 (mit $G_3 = 0,25$) G_4 = Gewichtungsfaktor 4 (mit $G_4 = 0,25$) | | |
| | Abnutzungsmerkmal Volumenänderung | | |
|  | | | |
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | | |
| Veränderung gemäß DIN EN ISO 4628-1 | Nicht verändert, d. h. keine wahrnehmbare Veränderung | 0,00 | |
| | Sehr gering, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung | 0,20 | |
| | Gering, d. h. deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,40 | |
| | Mittel, d. h. sehr deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,60 | |
| | Stark, d. h. ausgeprägte Veränderung | 0,80 | |
| | Sehr starke Veränderung | 1,00 | |

Abb. 260: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Kunststoff – Bl. 9

3.3.3.6 Putz

Ermittlung der Stufengewichte

Bei dem mineralischen **Baustoff Putz** handelt es sich um einen im Sinne der Norm⁵⁰⁷ auf Wänden und Decken ein- oder mehrlagig aufgetragenen Belag bestimmter Dicke aus Putzmörtel. Putzmörtel ist ein Gemisch aus Bindemitteln, Zuschlägen (Korn) und Anmachwasser. Je nach Funktion, Gestaltungszweck bzw. Farbwirkung werden dem Putzmörtel weitere Zuschlagstoffe und Zusatzmittel beigemischt. Neben den Aspekten der Ästhetik, Gestaltung, Gliederung, Farbwirkung, Schall- und Wärmeschutz ist der dauerhafte Schutz vor äußeren Einflüssen wie Wind, Niederschlag sowie Temperaturwechsel Hauptfunktion von Putz.⁵⁰⁸

Das Abnutzungsverhalten des Baustoffs Putz hängt stark von seinen Qualitätsmerkmalen wie Dichte, Dichtigkeit, Druckfestigkeit, Haftfestigkeit, Porosität, Schichtdicke, Wärmedurchgang und Wasserundurchlässigkeit ab. Auch die Ausführungsqualität hat großen Einfluss auf das Abnutzungsverhalten.⁵⁰⁹

Der Abnutzungsvorrat des Baustoffs Putz lässt sich durch die in Abb. 261 aufgeführten qualitäts- und schadensbezogenen Merkmale sowie deren zugeordnete Abnutzungsmerkmale beschreiben.

⁵⁰⁷ Siehe dazu DIN V 18550 – Putz und Putzsysteme – Ausführung

⁵⁰⁸ Vgl. REICHEL, A.; HOCHBERG, A.; KÖPKE, C.: Putze, Farben, Beschichtungen – Details, Produkte, Beispiele. München : Detail Praxis, 2004, S. 32; STAHR, M. (Hrsg.): Bausanierung – Erkennen und Beheben von Bauschäden. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2009, S. 531

⁵⁰⁹ Vgl. REICHEL, A.; HOCHBERG, A.; KÖPKE, C.: Putze, Farben, Beschichtungen – Details, Produkte, Beispiele. München : Detail Praxis, 2004, S. 32; STAHR, M. (Hrsg.): Praxiswissen Bausanierung – Erkennen und Beheben von Bauschäden. Wiesbaden : Vieweg, 1999, S. 453

| Merkmal | | Abnutzungsmerkmale | | | | | | | | | | |
|------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------|-----------------|--|---------------------|---------------------------------|---------------|--------------|-------------------------|-------------------------|
| | | Baustatische Merkmalsklasse | | | | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | | Bauphysikalische Merkmalsklasse | | | Optische Merkmalsklasse | |
| | | Riss | Tragfähigkeitsverlust | Verformung | Volumenänderung | Baustoffabtrag | Biologischer Befall | Brandschutz | Feuchteschutz | Schallschutz | Wärmeschutz | Ablagerung (reversibel) |
| qualitätsbezogen | Dichte | | | | | | | | | x | | |
| | Dichtigkeit | | | | | | | x | | | | |
| | Druckfestigkeit | | x | | | | | | | | | |
| | Haftfestigkeit | | x | | | | | | | | | |
| | Porosität | | | | | | | x | | | | |
| | Schichtdicke | | | | | x | | | | | | |
| | Wärmedurchgang | | | | | | | | | x | | |
| schadensbezogen | Wasserundurchlässigkeit | | | | | | | x | | | | |
| | Abblätterung | | | | | x | | | | | | |
| | Abbruch | | | | | x | | | | | | |
| | Ablagerung | | | | | | | | | | x | |
| | Abplatzung | | | | | x | | | | | | |
| | Absandung | | | | | x | | | | | | |
| | Algenbefall | | | | | | x | | | | | |
| | Ausblühung | | | | | | | | | | | x |
| | Durchfeuchtung | | | | | | | | | x | | |
| | Flecken | | | | | | | | | | | x |
| | Haftungsverlust | | | | | x | | | | | | |
| | Oberflächenabtrag | | | | | x | | | | | | |
| | Querschnittsminderung | | | | | x | | | | | | |
| | Riss | x | | | | | | | | | | |
| | Treiben | | | | x | | | | | | | |
| | Undichtigkeit | | | | | | | | x | | | |
| Verfärbung | | | | | | | | | | | x | |
| Verschmutzung | | | | | | | | | | x | | |

x = Zuordnung

Abb. 261: Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Putz⁵¹⁰

⁵¹⁰ Vgl. SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 147; ARENDT, C.; SEELE, J.: Feuchte und Salze in Gebäuden. 2. Aufl. Leinfelden-Echterdingen : Verlagsanstalt Alexander Koch, 2001, S. 18; NEDDERMANN, R.: Kostenermittlung in der Altbaurenewerung und technische Beurteilung von Altbauten. 2. Aufl. Düsseldorf : Werner Verlag, 2000, 147; FITZ, C.; KRUS, M.; SEDLBAUER, K.: Mikrobieller Bewuchs auf Fassaden – Veralgungen lassen sich erklären und vermeiden. In: Deutsche Bauzeitung (2007), Heft 9, S. 84; REICHEL, A.; HOCHBERG, A.; KÖPKE, C.: Putze, Farben, Beschichtungen – Details, Produkte, Beispiele. München : Detail Praxis, 2004, S. 32; STAHR, M. (Hrsg.): Praxiswissen Bausanierung – Erkennen und Beheben von Bauschäden. Wiesbaden : Vieweg, 1999, S. 453

Folgende Merkmale werden vorrangig zur Zustandsbewertung des Baustoffs Putz verwendet:⁵¹¹

- **Baustoffabtrag** wie Abblätterung, Abbruch, Abplatzung, Absandung, Haftungsverlust, Oberflächenabtrag, Querschnittsminderung
- Riss
- Undichtigkeiten (Verminderung des **Feuchteschutzes**)
- Durchfeuchtung (Verminderung des **Wärmeschutzes**)
- Abminderung der Haftfestigkeit (**Tragfähigkeitsverlust**)
- **Ablagerungen (irreversibel)** wie Ausblühung, Flecken und Verfärbung
- Biologischer Befall wie Algenbefall
- **Volumenänderung** z. B. durch Treiben
- Ablagerungen (reversibel) wie Verschmutzung.

Für Bauelemente aus dem Baustoff Putz werden mittels paarweisem Vergleich⁵¹² die Knotengewichte für die Merkmalklassen entsprechend Abb. 262 ermittelt. Die Bestimmung der Knotengewichte der gemäß Abb. 261 relevanten Abnutzungsmerkmale erfolgt in Abb. 263 bis Abb. 266. Nichtrelevante Abnutzungsmerkmale erhalten keinen Eintrag in den entsprechenden Matrixfeldern und in der Zeilensumme.

Eine Übersicht über alle Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale von Putz wird in Abb. 267 gegeben. Eine grafische Übersicht über die Stufengewichte zeigt Abb. 268.

⁵¹¹ Vgl. SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 147; ARENDT, C.; SEELE, J.: Feuchte und Salze in Gebäuden. 2. Aufl. Leinfelden-Echterdingen : Verlagsanstalt Alexander Koch, 2001, S. 18; NEDDERMANN, R.: Kostenermittlung in der Altbaurenewerung und technische Beurteilung von Altbauten. 2. Aufl. Düsseldorf : Werner Verlag, 2000, 147; FITZ, C.; KRUS, M.; SEDLBAUER, K.: Mikrobieller Bewuchs auf Fassaden – Veralgungen lassen sich erklären und vermeiden. In: Deutsche Bauzeitung (2007), Heft 9, S. 84

⁵¹² Bezüglich des paarweisen Vergleichs s. Abschnitt IV3.3.1

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilesumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|------------|---------------|
| 1 | Baustatische Merkmalsklasse | - | 1 | 3 | 3 | 7 | 0,2917 |
| 2 | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | 3 | - | 3 | 3 | 9 | 0,3750 |
| 3 | Bauphysikalische Merkmalsklasse | 1 | 1 | - | 3 | 5 | 0,2083 |
| 4 | Optische Merkmalsklasse | 1 | 1 | 1 | - | 3 | 0,1250 |
| Gesamtsumme | | | | | | 24 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 262: Gewichtung der Merkmalsklassen – Putz – Ebene 1

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilesumme | Gewichtung |
|--------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|------------|---------------|
| 1 | Riss | - | 3 | | 3 | 6 | 0,5000 |
| 2 | Tragfähigkeitsverlust | 1 | - | | 3 | 4 | 0,3333 |
| 3 | Verformung | | | - | | | |
| 4 | Volumenänderung | 1 | 1 | | - | 2 | 0,1667 |
| Gesamtsumme | | | | | | 12 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 263: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Putz – Ebene 2, Spalte 1

| Zelle | Merkmal oder Merkmals-klasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Baustoffabtrag | - | 3 | | | 3 | 0,7500 |
| 2 | Biologischer Befall | 1 | - | | | 1 | 0,2500 |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 264: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Putz – Ebene 2, Spalte 2

| Zelle | Merkmal oder Merkmals-klasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Brandschutz | - | | | | | |
| 2 | Feuchteschutz | | - | | 2 | 2 | 0,5000 |
| 3 | Schallschutz | | | - | | | |
| 4 | Wärmeschutz | | 2 | | - | 2 | 0,5000 |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 265: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Putz – Ebene 2, Spalte 3

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Ablagerung (reversibel) | - | 1 | | | 1 | 0,2500 |
| 2 | Ablagerung (irreversibel) | 3 | - | | | 3 | 0,7500 |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
 2 = gleichbedeutend
 3 = bedeutender
 4 = alleiniges Merkmal

Abb. 266: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Putz – Ebene 2, Spalte 4

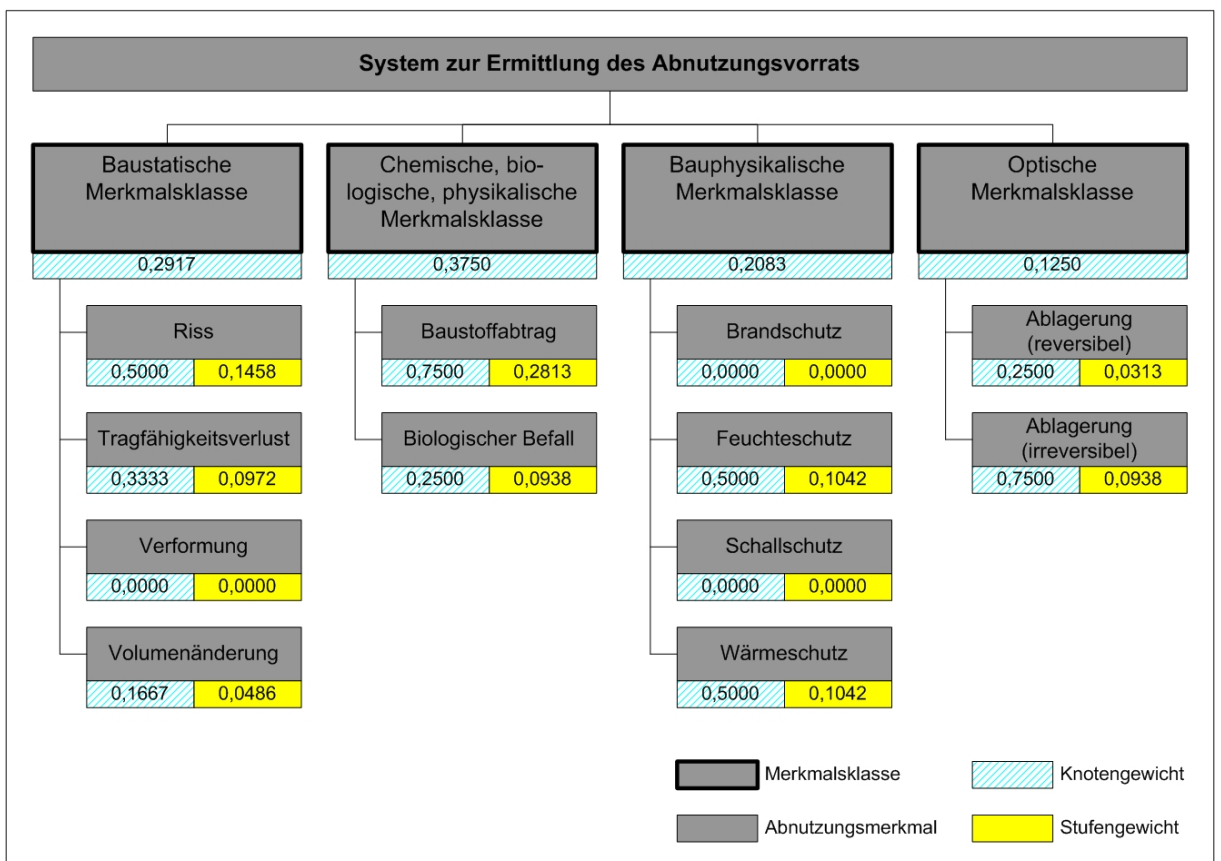


Abb. 267: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Putz⁵¹³

⁵¹³ Die Gewichtung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

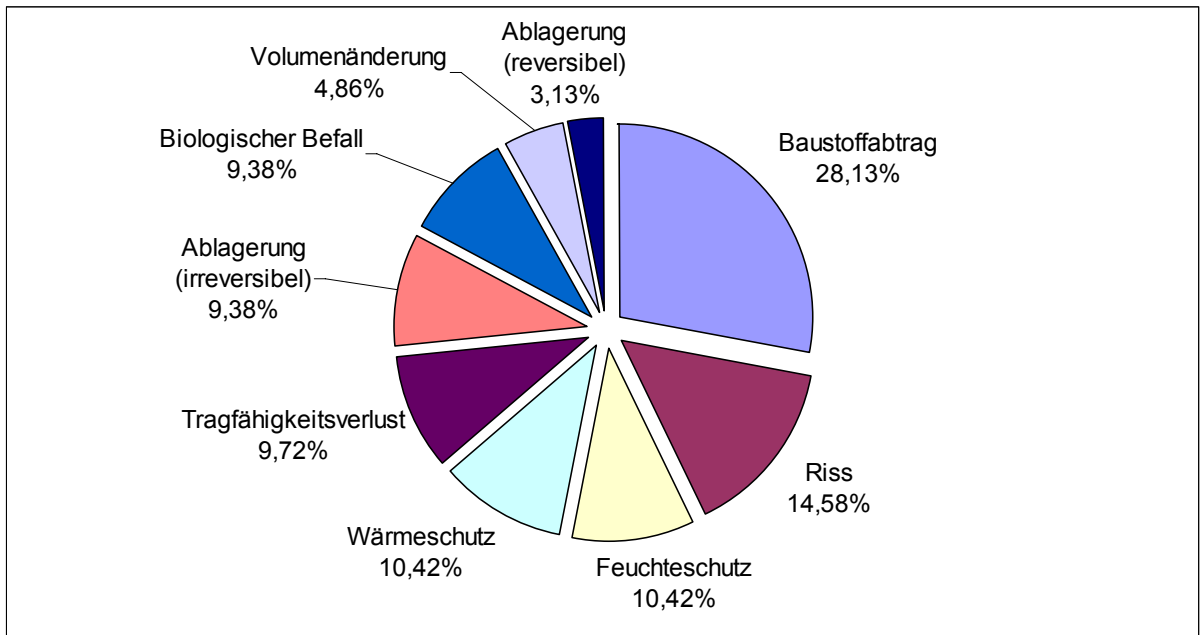


Abb. 268: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Putz

Die baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für Putz entsprechend Abb. 267 wird durch den Vorschlag der einschlägigen Fachliteratur zur Bewertung des Zustands von Fassadenoberflächen aus Putz gemäß Abb. 269 untermauert. In dieser Beschreibung werden Schadensbilder aufgezeigt, die vier von fünf Zustandsstufen zugeordnet werden können. Der gute Zustand ist nicht beschrieben. Die Schadensbilder umfassen hierbei hauptsächlich die Abnutzungsmerkmale Baustoffabtrag (z. B. Abplatzungen und Zerstörung), Riss sowie Tragfähigkeitsverlust (z. B. Verminderung der Standfestigkeit).

| Zustandsstufe | Bewertung des Zustands | Beschreibung des Zustands |
|---------------|------------------------|---|
| 1 | Guter Zustand | K. A. |
| 2 | Annehmbarer Zustand | Leicht schadhaft: vollflächige Haftung auf dem Untergrund; feine Rißlinien von geringer Länge; Oberfläche verwittert; Farben der Körnung werden sichtbar |
| 3 | Schadhafter Zustand | Mittel schadhaft: hohle Teilflächen; Abplatzungen beim Anschluß an andere Bauteile; Deckschicht abgewittert; Eckpartien vom Untergrund abgelöst |
| 4 | Schlechter Zustand | Stark schadhaft: vom Untergrund losgelöst, aber noch standfest; großflächige Deckschichtablösungen; der Verputz erfüllt seine Aufgabe, solange keinerlei Eingriffe erfolgen. |
| 5 | Alarmierender Zustand | Zerstört: irreparabel; Verputz ist teilweise abgefallen |

Abb. 269: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Fassadenoberflächen aus Putz⁵¹⁴

Beispiel zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats

In Abb. 270 bis Abb. 283 wird ein Beispiel für die Ermittlung eines Wertes für den Abnutzungsvorrat AV anhand einer konkreten Bestandsaufnahme gegeben. Hierbei handelt es sich um eine Putzfassade einer Wohnimmobilie. Ein vor ca. 6 Jahren aufgebrauchter schützender Anstrich ist mittlerweile abgetragen und soll demnächst erneuert werden. An einigen Stellen liegen Verschmutzungen sowie Algenbefall vor. Ein Baustoffabtrag über die gesamte Fläche ist vorhanden (Absandung der Zuschlagsstoffe). Der Feuchte- und Wärmeschutz ist gewährleistet. Die Tragfähigkeit ist vorhanden. Teilweise sind Risse erkennbar. Eine Volumenänderung liegt nicht vor.

⁵¹⁴ Vgl. IP BAU (Hrsg.): Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten – Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten. Bern : Bundesamt für Konjunkturfüragen, 1994, S. 84

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | | Bl. 1 | |
|---|--|--|--------------------------------------|--|---------------|
| Allgemeine Angaben | Bauelement | Außenwand | | | |
| | Baustoff | Putz | | | |
| | Statische Relevanz | Statisch nicht relevant | | | |
| | Standort | Dortmund | | | |
| | Art der Immobilie | Wohnimmobilie | | | |
| | Zeitpunkt t_n der Bestandsaufnahme | 02.05.2010 | | | |
| | Erstellungsdatum des Bauelements | Ca. 1998 | | | |
| | Alter des Bauelements | Ca. 12 Jahre | | | |
| | Weitere Angaben | Außenwand kurz vor Erneuerung des Außenanstrichs | | | |
| Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | Abnutzungsmerkmal | Stufengewicht (gemäß Bl. 4) | Einheitsskalenwert (gemäß Bl. 5 ff.) | Abnutzung A (= Stufengewicht · Einheitsskalenwert) | |
| | Ablagerung (irreversibel) | 0,0938 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Ablagerung (reversibel) | 0,0313 | 0,6000 | 0,0188 | |
| | Baustoffabtrag | 0,2813 | 0,6000 | 0,1688 | |
| | Biologischer Befall | 0,0938 | 0,6000 | 0,0563 | |
| | Brandschutz | | | | |
| | Feuchteschutz | 0,1042 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Riss | 0,1458 | 0,4000 | 0,0583 | |
| | Schallschutz | | | | |
| | Tragfähigkeitsverlust | 0,0972 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Verformung | | | | |
| | Volumenänderung | 0,0486 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Wärmeschutz | 0,1042 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Gesamtabnutzung $A_{ges} = \sum A$ | | | | 0,3022 |
| | Abnutzungsvorrat $AV_{tn} = 1 - A_{ges}$ | | | | 0,6978 |
| Leicht schadhafter Bereich | | | | | |

Abb. 270: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 1

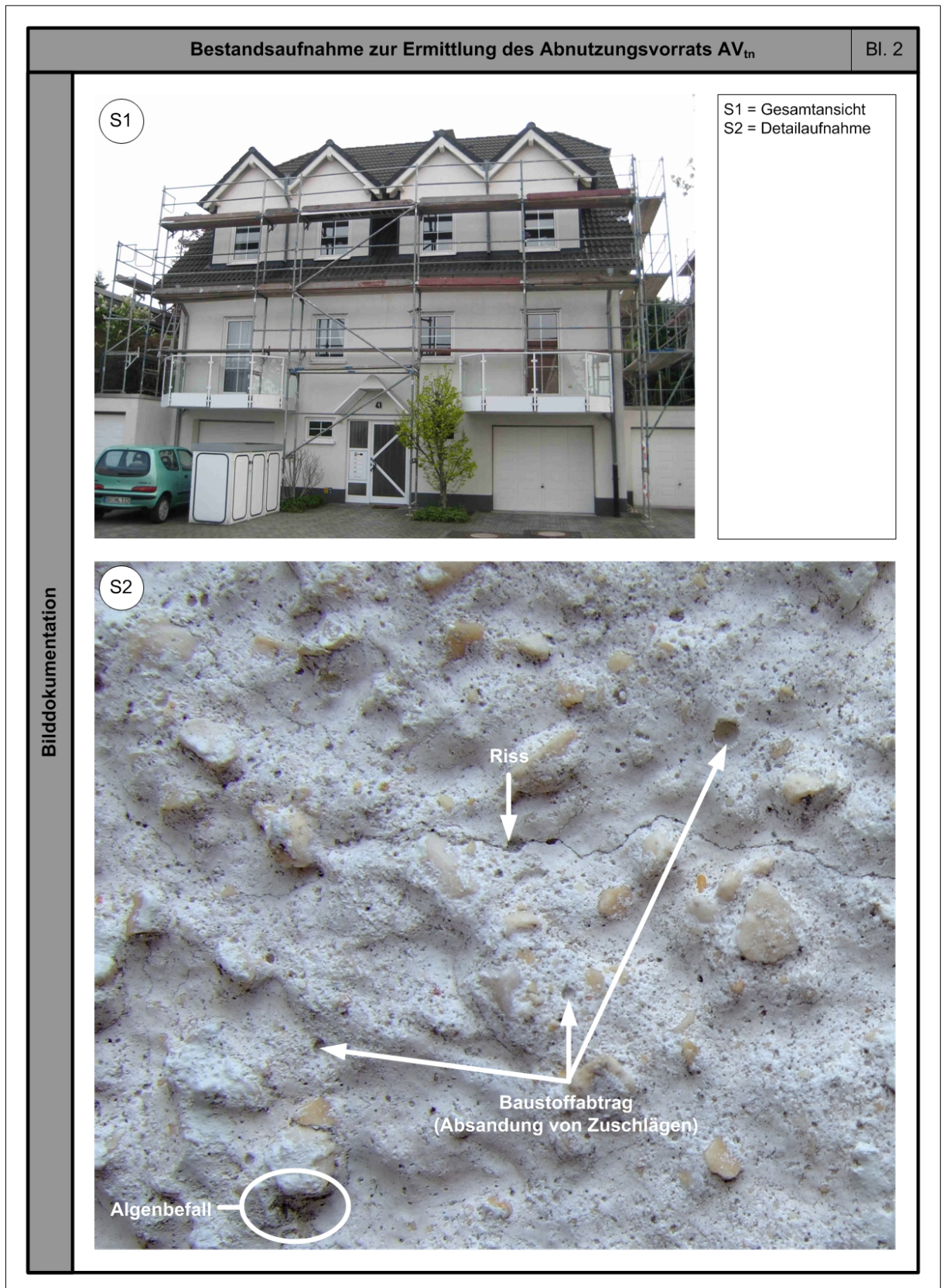


Abb. 271: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 2

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 3 |
|---|---------------------------|--|
| Zustandsbeschreibung | Abnutzungsmerkmal | Beschreibung |
| | Ablagerung (irreversibel) | Keine irreversible Ablagerung vorhanden |
| | Ablagerung (reversibel) | Leichte Verschmutzung erkennbar (betroffene Fläche ca. 10 m ² ; Gesamtfläche 100 m ²) |
| | Baustoffabtrag | Baustoffabtrag (Absandung von Zuschlägen) über die Gesamtfläche (Ist-Schichtdicke ~ 18 mm; Bauelementdicke = 20 mm) |
| | Biologischer Befall | Algenbefall (betroffene Fläche ca. 3 m ² ; Gesamtfläche 100 m ²) |
| | Brandschutz | |
| | Feuchteschutz | Der Feuchteschutz ist gewährleistet. |
| | Riss | Teilweise sind Risse vorhanden (Oberflächenrisse, die nicht durch das gesamte Bauelement hindurchgehen; Rissbreite ~ 0,2 mm; Risttiefe = 2 mm; Bauelementdicke = 20 mm). |
| | Schallschutz | |
| | Tragfähigkeitsverlust | Tragfähigkeit ist vorhanden. |
| | Verformung | |
| | Volumenänderung | Es ist keine Volumenänderung vorhanden. |
| | Wärmeschutz | Der Wärmeschutz ist gewährleistet. |
| | Bemerkung | |

Abb. 272: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 3

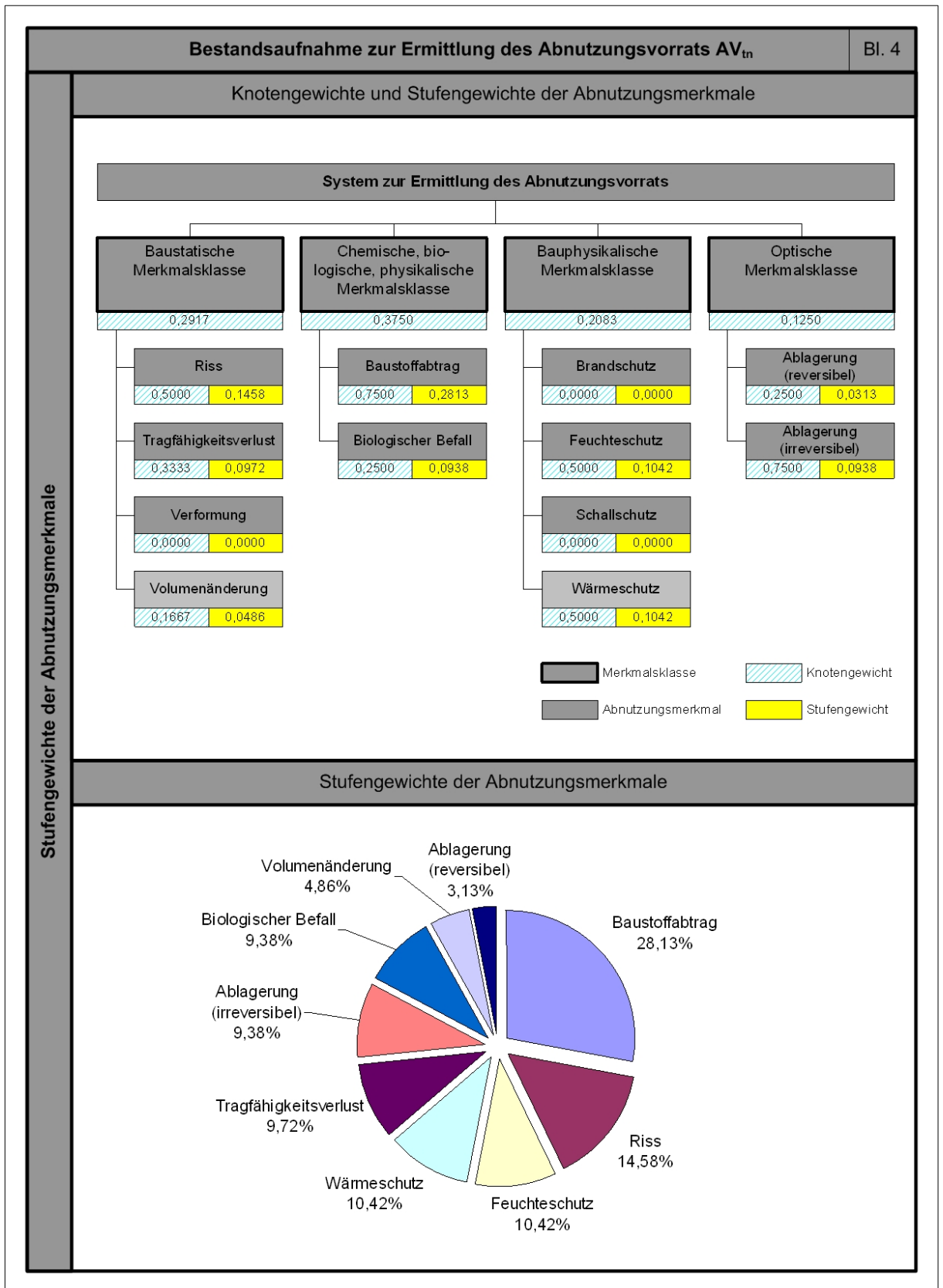


Abb. 273: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 4

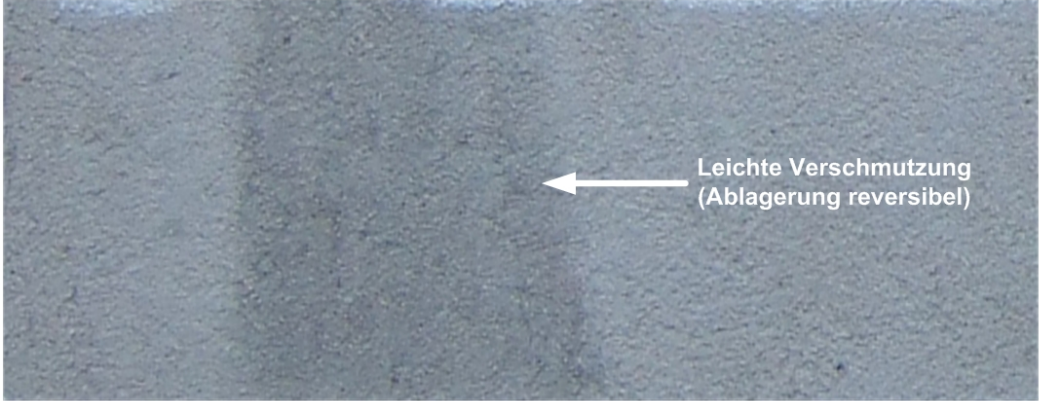
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 5 | |
|---|---|--------------------|------|
| Ermittlung der Einheitskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Ablagerung (irreversibel) | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{0 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 0 \%$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 1] | 0,20 |
| | |]1, 5,5] | 0,40 |
| | |]5,5, 19,2] | 0,60 |
| | |]19,2, 43,8] | 0,80 |
| | |]43,8, 100] | 1,00 |
| | $W_1 =$ Schadensfläche = 0 m ² $W_2 =$ Gesamtfläche = 100 m ² | | |
| | Abnutzungsmerkmal Ablagerung (reversibel) | | |
|  | | | |
| Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | | |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{10 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 10 \%$ | 0 | 0,00 | |
| |]0, 1] | 0,20 | |
| |]1, 5,5] | 0,40 | |
| |]5,5, 19,2] | 0,60 | |
| |]19,2, 43,8] | 0,80 | |
| |]43,8, 100] | 1,00 | |
| $W_1 =$ Schadensfläche ~ 10 m ² $W_2 =$ Gesamtfläche = 100 m ² | | | |

Abb. 274: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 5

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 6 | |
|---|---|-----------------|-------------|
| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | | | |
| | Merkmalsaspekt Schadensfläche des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | | |
| | | 0 | 0,00 |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{100 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 100 \%$ |]0, 0,05] | 0,20 |
| | |]0,05, 0,5] | 0,40 |
| | |]0,5, 1] | 0,60 |
| | |]1, 8] | 0,80 |
| | |]8, 100] | 1,00 |
| | $W_1 = \text{Schadensfläche} = 100 \text{ m}^2$ $W_2 = \text{Gesamtfläche} = 100 \text{ m}^2$ | | |
| Merkmalsaspekt Schichtdicke des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | |
| Merkmalsausprägung MA [%] | | | |
| | 100 | 0,00 | |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{18 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} \cdot 100 \%$ $MA = 90 \%$ | [95, 100[| 0,20 | |
| | [90, 95[| 0,40 | |
| | [80, 90[| 0,60 | |
| | [60, 80[| 0,80 | |
| | [0, 60[| 1,00 | |
| $W_1 = \text{Ist-Schichtdicke} \sim 18 \text{ mm}$ $W_2 = \text{Referenz-Schichtdicke} \sim 20 \text{ mm}$ | | | |

Abb. 275: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 6

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 7 | |
|---|--|--------------------|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | |
| | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | |
| | $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{komb} = 1,00 \cdot 0,25 + 0,40 \cdot 0,75$ $MA_{komb} = 0,55$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,2] | 0,20 |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| | |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| | |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| | |]0,8, 1] | 1,00 |
| | MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensfläche = 1,00 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schichtdicke = 0,40 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,75$) | | |
| | Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | |
| | | | |
| Merkmalsaspekt Schadensart des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | | | |
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | | |
| Schadensart | Kein biologischer Befall | 0,00 | |
| | Pflanzenbewuchs (kleine Pflanzen) | 0,20 | |
| | Insektenbefall | 0,40 | |
| | Algenbefall; Bakterienbefall; Moosbefall; Pilzbefall | 0,60 | |
| | Flechtenbefall; Schimmelpilzbefall | 0,80 | |
| | Pflanzenbewuchs (große Pflanzen); Schwammbeffall | 1,00 | |

Abb. 276: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 7

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 8 | |
|---|--|---|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | |
| | Merkmalsaspekt Schadensgröße des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{3 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 3 \%$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 1] | 0,20 |
| | |]1, 5,5] | 0,40 |
| | |]5,5, 19,2] | 0,60 |
| | |]19,2, 43,8] | 0,80 |
| | |]43,8, 100] | 1,00 |
| | | $W_1 =$ Schadensgröße (Schadensfläche oder Schadensvolumen) $\sim 3 \text{ m}^2$ $W_2 =$ Gesamtgröße (Schadensgesamtfläche oder Schadensgesamtvolumen) $= 100 \text{ m}^2$ | |
| | Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | |
| | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | |
| | $MA_{\text{komb}} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{\text{komb}} = 0,60 \cdot 0,50 + 0,40 \cdot 0,50 = 0,50$ $MA_{\text{komb}} = 0,50$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,2] | 0,20 |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
|]0,4, 0,6] | | 0,60 | |
|]0,6, 0,8] | | 0,80 | |
|]0,8, 1] | | 1,00 | |
| $MA_{\text{komb}} =$ Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) $ESW_1 =$ Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensart $= 0,60$ $ESW_2 =$ Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schadensgröße $= 0,40$ $G_1 =$ Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,5$) $G_2 =$ Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,5$) | | | |
| Abnutzungsmerkmal Feuchteschutz | | | |
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | | |
| Einhaltung des Feuchteschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | Ja | 0,00 | |
| | Nein | 1,00 | |

Abb. 277: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 8



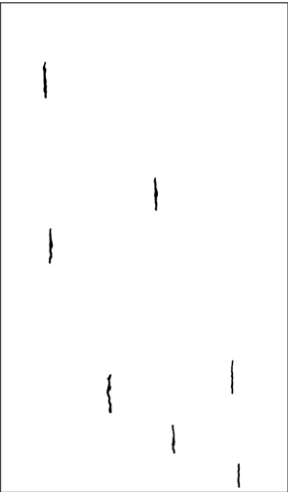

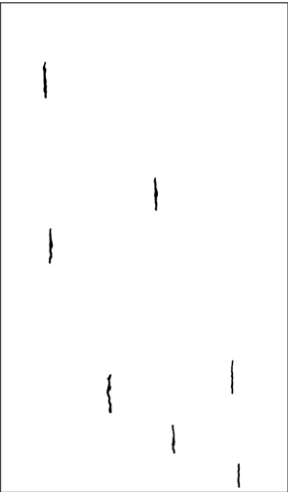

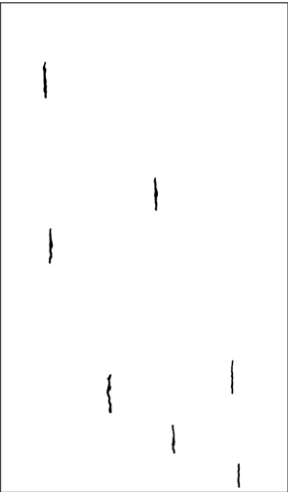
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 9 | | | | |
|---|---|---|---|--|---|--|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | | | | | |
| Ermittlung der Einheitskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); text-align: center; margin-right: 5px;">Rissmenge 2</div> <table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">  </td> <td style="width: 50%; text-align: center;">  </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Wenige, d. h. kleine, aber signifikante Anzahl von Rissen</td> </tr> </table> </div> |  |  | Wenige, d. h. kleine, aber signifikante Anzahl von Rissen | |
| |  |  | | | | |
| | Wenige, d. h. kleine, aber signifikante Anzahl von Rissen | | | | | |
| Merkmalsaspekt Rissmenge des Abnutzungsmerkmals Riss | | | | | | |
| Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert | | | | |
| Rissmenge gemäß DIN EN ISO 4628-4 | 0 | 0,00 | | | | |
| | 1 | 0,20 | | | | |
| | 2 | 0,40 | | | | |
| | 3 | 0,60 | | | | |
| | 4 | 0,80 | | | | |
| | 5 | 1,00 | | | | |

Abb. 278: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 9

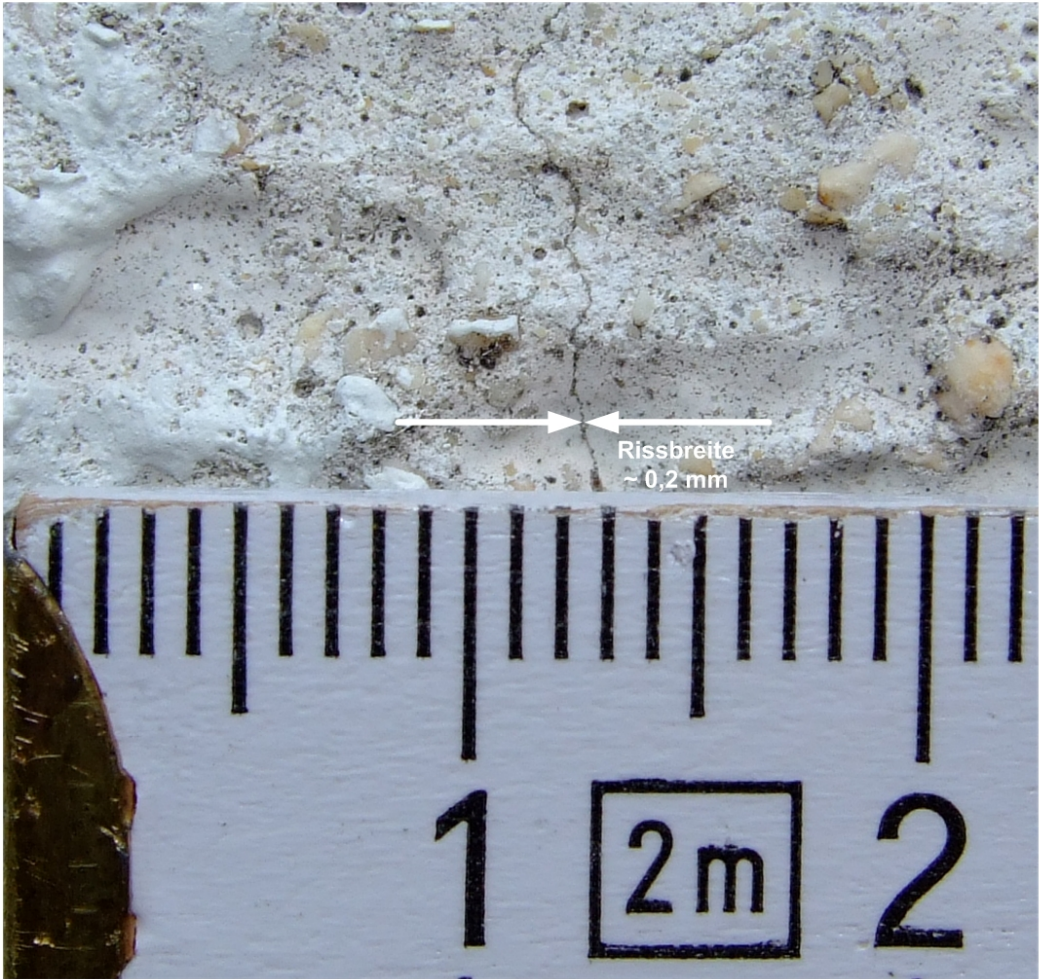
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | Bl. 10 | | |
|---|---|---|---|--------------------|------|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | | | |
| | Merkmalsaspekt Rissbreite des Abnutzungsmerkmals Riss | | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [mm] | | | Einheitsskalenwert | |
| | Kennwert gemäß DIN EN ISO 4628-4 | 0 | Keine sichtbaren Risse bei 10facher Vergrößerung | 0 | 0,00 |
| | | 1 | Nur bei bis zu 10facher Vergrößerung sichtbare Risse |]0, 0,1] | 0,20 |
| | | 2 | Gerade sichtbare Risse mit bloßem Auge (auf Normalsichtigkeit korrigiertes Sehvermögen) |]0,1, 0,2] | 0,40 |
| | | 3 | Deutlich sichtbare Risse mit bloßem Auge (auf Normalsichtigkeit korrigiertes Sehvermögen) |]0,2, 0,4] | 0,60 |
| | | 4 | Breite Risse, bis zu 1 mm breit |]0,4, 1] | 0,80 |
| | | 5 | Sehr breite Risse, mehr als 1 mm breit |]1, ∞[| 1,00 |

Abb. 279: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 10

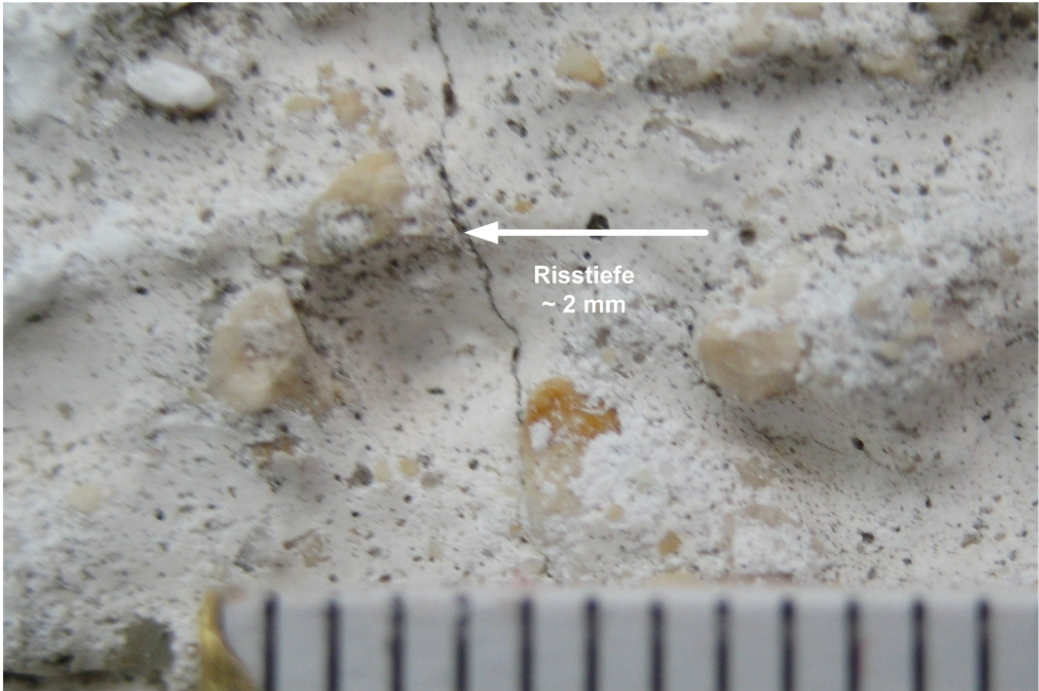
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | Bl. 11 |
|---|---|---|--------------------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Riss | | |
| |  | | |
| | Merkmalsaspekt Risstiefe des Abnutzungsmerkmals Riss | | |
| | Risstiefe gemäß DIN EN ISO 4628-4 | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert |
| | Kein Riss | 0 | 0,00 |
| Oberflächenrisse, die nicht durch das gesamte Bauelement hindurchgehen | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{2 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} \cdot 100 \%$ $MA = 10 \%$ |]0, 30] | 0,20 |
| | Risse, die durch das gesamte Bauelement hindurchgehen | 100 | 1,00 |
| Risse, die durch das gesamte Bauelement und angrenzende Bauelemente hindurchgehen |]100, ∞[| Berücksichtigung erfolgt im angrenzenden Bauelement | |
| W_1 = Risstiefe ~ 2 mm W_2 = Bauelementdicke = 20 mm | | | |

Abb. 280: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 11

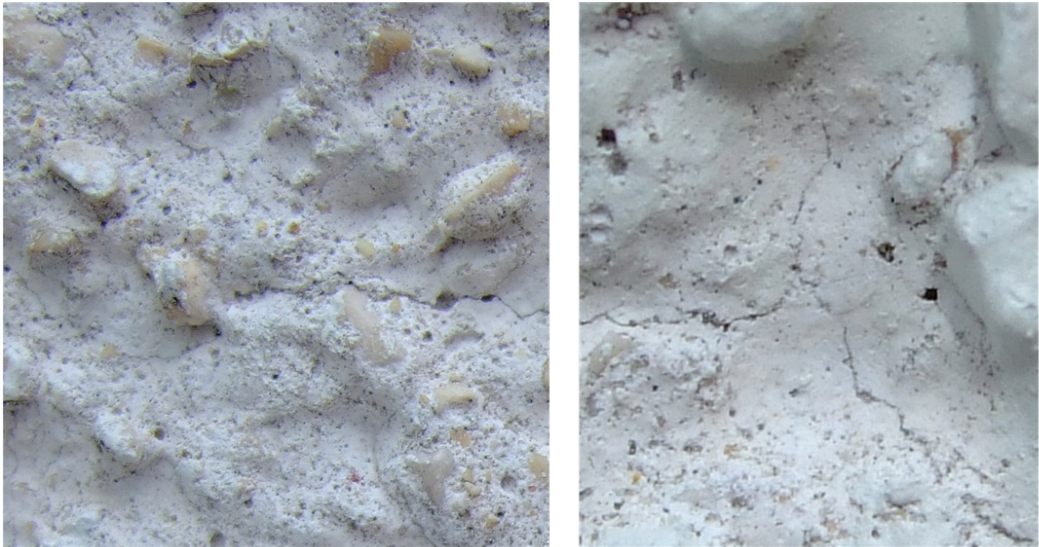
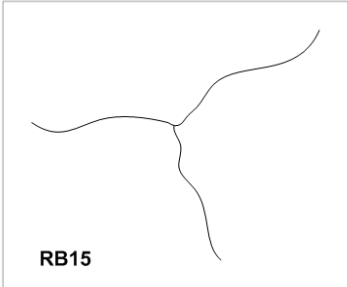
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | Bl. 12 |
|---|--|--|--|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Riss | | |
| |  | | |
| | | |  |
| | Merkmalsaspekt Rissbild des Abnutzungsmerkmals Riss | | |
| | | Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert |
| Rissbild | Kein Riss | K. A. | 0,00 |
| | Rissursache kann mit mäßigem Aufwand behoben werden | RB5, RB15 | 0,20 |
| | Rissursache kann mit hohem Aufwand behoben werden | RB4, RB6, RB7, RB9, RB10, RB11, RB12, RB13, RB14, RB16, RB17 | 0,60 |
| | Rissursache kann nur mit sehr hohem Aufwand behoben werden | RB1, RB2, RB3, RB8 | 1,00 |

Abb. 281: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 12

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 13 | |
|--|--|--------------------|------|
| Ermittlung der Einheitskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Riss | | |
| | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | |
| | $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2 + ESW_3 \cdot G_3 + ESW_4 \cdot G_4$ $MA_{komb} = 0,40 \cdot 0,25 + 0,40 \cdot 0,25 + 0,20 \cdot 0,25 + 0,20 \cdot 0,25$ $MA_{komb} = 0,30$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,2] | 0,20 |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| | |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| | |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| | |]0,8, 1] | 1,00 |
| | MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Rissmenge = 0,40 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Rissbreite = 0,40 ESW_3 = Einheitsskalenwert 3 des Merkmalsaspekts Risstiefe = 0,20 ESW_4 = Einheitsskalenwert 4 des Merkmalsaspekts Rissbild = 0,20 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,25$) G_3 = Gewichtungsfaktor 3 (mit $G_3 = 0,25$) G_4 = Gewichtungsfaktor 4 (mit $G_4 = 0,25$) | | |
| | Abnutzungsmerkmal Tragfähigkeitsverlust | | |
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | | |
| Einhaltung der Tragfähigkeit gemäß Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen und anerkannten Regeln der Technik | Ja | 0,00 | |
| | Nein | 1,00 | |

Abb. 282: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 13

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV _{tn} | | | | Bl. 14 |
|--|-------------------------------------|---|-----------|--------------------|
| Ermittlung der Einheitskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Volumenänderung | | | |
| | Merkmalsausprägung MA | | | Einheitsskalenwert |
| | Veränderung gemäß DIN EN ISO 4628-1 | Nicht verändert, d. h. keine wahrnehmbare Veränderung | | 0,00 |
| | | Sehr gering, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung | | 0,20 |
| | | Gering, d. h. deutlich wahrnehmbare Veränderung | | 0,40 |
| | | Mittel, d. h. sehr deutlich wahrnehmbare Veränderung | | 0,60 |
| | | Stark, d. h. ausgeprägte Veränderung | | 0,80 |
| | | Sehr starke Veränderung | | 1,00 |
| | Abnutzungsmerkmal Wärmeschutz | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | | | Einheitsskalenwert |
| Einhaltung des Wärmeschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | Ja | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100\%$ | [100, ∞[| 0,00 |
| | Nein | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100\%$ | [95, 100[| 0,20 |
| | | | [90, 95[| 0,40 |
| | | | [80, 90[| 0,60 |
| | | | [60, 80[| 0,80 |
| | | | [0, 60[| 1,00 |
| W ₁ | = | geforderter U-Wert | | |
| W ₂ | = | Ist-U-Wert | = | geforderter U-Wert |

Abb. 283: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Putz – Bl. 14

3.3.3.7 Sandstein

Ermittlung der Stufengewichte

Bei dem **Baustoff Sandstein** handelt es sich um einen Naturstein. Natursteine entstehen durch geologische Prozesse und bestehen aus Mineralgemischen, welche durch Verwachsung oder Bindemittel zusammengehalten werden. Die Zusammensetzung von Natursteinen wird nicht künstlich verändert. Eine Bearbeitung der Oberflächen vor der Verwendung ist jedoch üblich.⁵¹⁵

Das Abnutzungsverhalten von Natursteinen hängt stark von ihren Qualitätsmerkmalen wie Dichte, Druckfestigkeit und Porosität ab. Sandstein gehört zu den poröseren Natursteinen, der schadensanfälliger ist als bspw. der harte Naturstein Granit.⁵¹⁶

Der Abnutzungsvorrat des Baustoffs Sandstein lässt sich durch die in Abb. 284 aufgeführten qualitäts- und schadensbezogenen Merkmale sowie deren zugeordnete Abnutzungsmerkmale beschreiben.

Folgende Merkmale werden vorrangig zur Zustandsbewertung des Baustoffs Sandstein verwendet.⁵¹⁷

- **Baustoffabtrag** z. B. durch Absandung, Abplatzung, Zerfall
- **Ablagerungen (irreversibel)** z. B. durch Ausblühung, Auslaugung und Verkrustung.

In der einschlägigen Fachliteratur werden häufig Schadensbilder am Baustoff Sandstein in Verbindung mit Feuchtigkeit beschrieben.⁵¹⁸ Wasser hat jedoch keine direkte schädigende Wirkung auf Sandstein und wird deshalb nicht innerhalb des Systems

⁵¹⁵ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 9

⁵¹⁶ Vgl. KLOCKE, W.: Mein Haus wird älter – was tun?. Wiesbaden : Bauverlag, 1988, S. 53

⁵¹⁷ Vgl. SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 58, S. 84; KLOCKE, W.: Mein Haus wird älter – was tun?. Wiesbaden : Bauverlag, 1988, S. 53; STAHR, M. (Hrsg.): Praxiswissen Bausanierung – Erkennen und Beheben von Bauschäden. Wiesbaden : Vieweg, 1999, S. 57 ff.; ARENDT, C.; SEELE, J.: Feuchte und Salze in Gebäuden. 2. Aufl. Leinfelden-Echterdingen : Verlagsanstalt Alexander Koch, 2001, S. 18

⁵¹⁸ Vgl. bspw. ARENDT, C.; SEELE, J.: Feuchte und Salze in Gebäuden. 2. Aufl. Leinfelden-Echterdingen : Verlagsanstalt Alexander Koch, 2001, S. 18

zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats unter dem Abnutzungsmerkmal Wärmeschutz berücksichtigt.⁵¹⁹ Feuchtigkeit begünstigt lediglich die Abnutzung z. B. in Form von Algen-, Bakterien-, Flechten-, Moos-, Pilz- bzw. Schimmelpilzbefall (**biologischer Befall**). Auch Abplatzungen (Baustoffabtrag) werden u. a. durch Frostsprengung (Feuchtigkeit und negative Temperaturen) verursacht.

| Merkmal | Abnutzungsmerkmale | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------|------------|-----------------|--|---------------------|---------------------------------|---------------|--------------|-------------|-------------------------|---------------------------|
| | Baustatische Merkmalsklasse | | | | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | | Bauphysikalische Merkmalsklasse | | | | Optische Merkmalsklasse | |
| | Riss | Tragfähigkeitsverlust | Verformung | Volumenänderung | Baustoffabtrag | Biologischer Befall | Brandschutz | Feuchteschutz | Schallschutz | Wärmeschutz | Ablagerung (reversibel) | Ablagerung (irreversibel) |
| schadensbezogen | Absandung | | | | x | | | | | | | |
| | Abplatzung | | | | x | | | | | | | |
| | Algenbefall | | | | | x | | | | | | |
| | Ausblühung | | | | | | | | | | | x |
| | Auslaugung | | | | | | | | | | | x |
| | Bakterienbefall | | | | | | x | | | | | |
| | Flechtenbefall | | | | | | x | | | | | |
| | Gefügelockerung | | | | | x | | | | | | |
| | Haftungsverlust | | | | | x | | | | | | |
| | Moosbefall | | | | | | x | | | | | |
| | Oberflächenabtrag | | | | | x | | | | | | |
| | Pilzbefall | | | | | | x | | | | | |
| | Schimmelpilzbefall | | | | | | x | | | | | |
| | Verkrustung | | | | | | | | | | | x |
| | Zerfall | | | | | x | | | | | | |

x = Zuordnung

Abb. 284: Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Sandstein⁵²⁰

In der einschlägigen Fachliteratur wird teilweise auch das Schadensbild Riss mit dem Baustoff Sandstein in Verbindung gebracht.⁵²¹ Da aufgrund der Gefügeeigenschaften des Baustoffs Sandstein⁵²² Risse i. d. R. zu Baustoffabtrag z. B. durch Abplatzung

⁵¹⁹ Je nach Bauelement, Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik kann dieses (übergeordnete) Abnutzungsmerkmal mit in das System zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats einbezogen werden.

⁵²⁰ Vgl. SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 58, S. 84; KLOCKE, W.: Mein Haus wird älter – was tun?. Wiesbaden : Bauverlag, 1988, S. 53; STAHR, M. (Hrsg.): Praxiswissen Bausanierung – Erkennen und Beheben von Bauschäden. Wiesbaden : Vieweg, 1999, S. 57 ff.; ARENDT, C.; SEELE, J.: Feuchte und Salze in Gebäuden. 2. Aufl. Leinfelden-Echterdingen : Verlagsanstalt Alexander Koch, 2001, S. 18

⁵²¹ Vgl. IP BAU (Hrsg.): Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten – Grundlegenden Daten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten. Bern : Bundesamt für Konjunkturfüragen, 1994, S. 85

⁵²² Hier spielen Dichte, Bindemittel sowie Porosität eine entscheidende Rolle.

führen, wird das Abnutzungsmerkmal Riss nicht extra innerhalb des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats aufgeführt.⁵²³

Für **statisch nicht relevante Bauelemente**⁵²⁴ (z. B. Fassadenbekleidungen) aus dem Baustoff Sandstein werden mittels paarweisem Vergleich⁵²⁵ die Knotengewichte für die Merkmalsklassen entsprechend Abb. 285 ermittelt. Die Bestimmung der Knotengewichte der entsprechend Abb. 284 relevanten Abnutzungsmerkmale erfolgt in Abb. 286 bis Abb. 287. Nichtrelevante Abnutzungsmerkmale erhalten keinen Eintrag in den entsprechenden Matrixfeldern und in der Zeilensumme.

| Zeile | Merkmal oder Merkmals- klasse | Zeile 1 | Zeile 2 | Zeile 3 | Zeile 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Baustatische Merkmalsklasse | - | | | | | |
| 2 | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | | - | | 3 | 3 | 0,7500 |
| 3 | Bauphysikalische Merkmalsklasse | | | - | | | |
| 4 | Optische Merkmalsklasse | | 1 | | - | 1 | 0,2500 |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 285: Gewichtung der Merkmalsklassen – Sandstein, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 1

⁵²³ Je nach Bauelement, Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik kann dieses (übergeordnete) Abnutzungsmerkmal mit in das System zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats einbezogen werden.

⁵²⁴ Statisch relevante Bauelemente werden innerhalb dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

⁵²⁵ Bezüglich des paarweisen Vergleichs s. Abschnitt IV3.3.1

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Baustoffabtrag | - | 3 | | | 3 | 0,7500 |
| 2 | Biologischer Befall | 1 | - | | | 1 | 0,2500 |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 286: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Sandstein, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 2

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Ablagerung (reversibel) | - | | | | | |
| 2 | Ablagerung (irreversibel) | 4 | - | | | 4 | 1,0000 |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 287: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Sandstein, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 4

Eine Übersicht über alle Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale von Sandstein für statisch nicht relevante Bauelemente wird in Abb. 288 gegeben. Eine grafische Übersicht über die Stufengewichte zeigt Abb. 289.

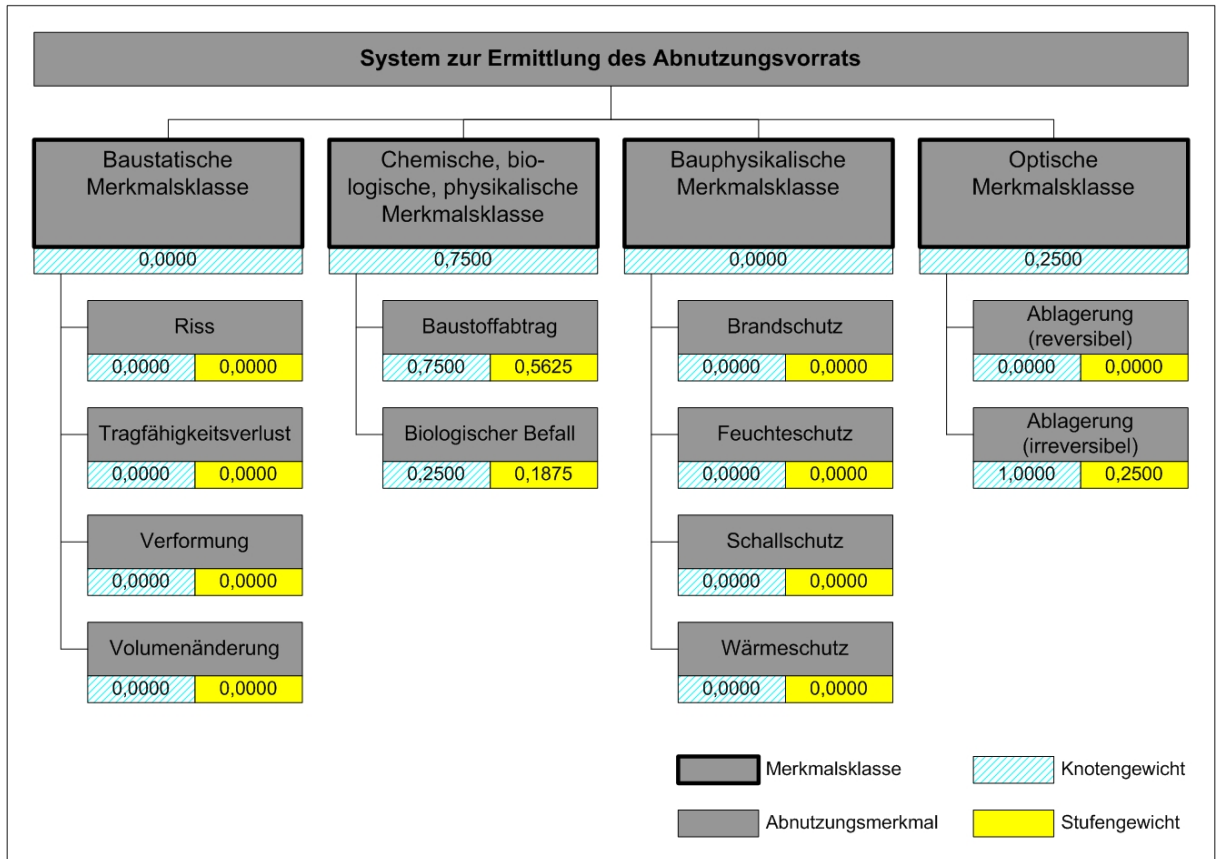


Abb. 288: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Sandstein, statisch nicht relevante Bauelemente⁵²⁶

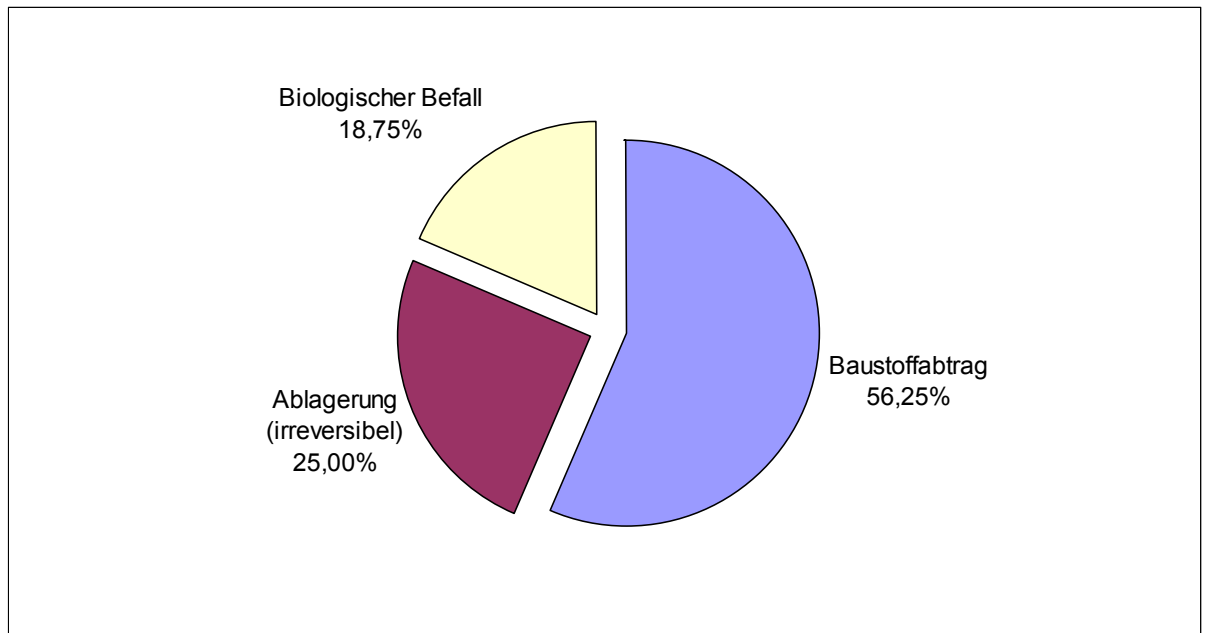


Abb. 289: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Sandstein, statisch nicht relevante Bauelemente

⁵²⁶ Die Gewichtung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

Die baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für Sandstein für statisch nicht relevante Bauelemente entsprechend Abb. 288 wird durch den Vorschlag der einschlägigen Fachliteratur zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Sandstein gemäß Abb. 290 untermauert. In dieser Beschreibung werden Schadensbilder aufgezeigt, die vier von fünf Zustandsstufen zugeordnet werden können. Der gute Zustand ist nicht beschrieben. Das schwerpunktmäßige Schadensbild stellt der Baustoffabtrag z. B. durch Ablösungen dar.

| Zustandsstufe | Bewertung des Zustands | Beschreibung des Zustands |
|---------------|------------------------|---|
| 1 | Guter Zustand | K. A. |
| 2 | Annehmbarer Zustand | Leicht schadhaft: Kanten verwittert; kleine Risse ... |
| 3 | Schadhafter Zustand | Mittel schadhaft: Kanten eingebrochen, Teilflächen abgelöst; Profilierungen verwittert; beginnender Materialabtrag ... |
| 4 | Schlechter Zustand | Stark schadhaft: durchgehende Risse; Teile abgefallen, Teile verschoben; fortgeschrittener Materialabtrag ... |
| 5 | Alarmierender Zustand | Zerstört: Werkstücke herausgefallen, lose Teile; Flächen vollständig ausgewaschen |

Abb. 290: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Sandstein⁵²⁷

⁵²⁷ Vgl. IP BAU (Hrsg.): Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten – Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten. Bern : Bundesamt für Konjunkturforgen, 1994, S. 85

Beispiel zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats

In Abb. 291 bis Abb. 299 wird ein Beispiel für die Ermittlung eines Wertes für den Abnutzungsvorrat AV anhand einer konkreten Bestandsaufnahme gegeben. Hierbei handelt es sich um eine Kirchenfassade aus Sandstein (Ruhrsandstein), die einer aus Ziegel gemauerten Außenwand vorgelagert ist. Neben Algen- und Moosbefall (biologischer Befall) weist der Sandstein Baustoffabtrag in Form von Gefügelocke- rung unterhalb der horizontalen Absperrung in der ersten Steinschicht auf. Dieser Bereich stellt einen lokal begrenzten Intensivschaden⁵²⁸ für die Beurteilung des Ab- nutzungsmerkmals Baustoffabtrag dar. Auf einer Fläche von ca. 40 % bezogen auf die Gesamtfläche sind zusätzlich Verkrustungen (Ablagerung (irreversibel)) vorhan- den.

⁵²⁸ Zu lokal begrenztem Intensivschaden s. S. 231

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | | Bl. 1 | |
|---|--|---|--------------------------------------|--|--------|
| Allgemeine Angaben | Bauelement | Außenfassade | | | |
| | Baustoff | Sandstein (Ruhrsandstein) | | | |
| | Statische Relevanz | Statisch nicht relevant | | | |
| | Standort | Dortmund | | | |
| | Art der Immobilie | Kirche | | | |
| | Zeitpunkt t_n der Bestandsaufnahme | 17.04.2010 | | | |
| | Erstellungsdatum des Bauelements | Ca. 1905 | | | |
| | Alter des Bauelements | Ca. 105 Jahre | | | |
| | Weitere Angaben | Außenfassade mit Algen- und Moosbefall (biologischer Befall), Baustoffabtrag in Form von Gefügelockerung unterhalb der horizontalen Absperrung in der ersten Steinschicht (lokal begrenzter Intensivschaden) sowie teilweiser Verkrustung (Ablagerung (irreversibel)) | | | |
| Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | Abnutzungsmerkmal | Stufengewicht (gemäß Bl. 4) | Einheitsskalenwert (gemäß Bl. 5 ff.) | Abnutzung A (= Stufengewicht · Einheitsskalenwert) | |
| | Ablagerung (irreversibel) | 0,2500 | 0,4000 | 0,1000 | |
| | Ablagerung (reversibel) | | | | |
| | Baustoffabtrag | 0,5625 | 0,6000 | 0,3375 | |
| | Biologischer Befall | 0,1875 | 0,6000 | 0,1125 | |
| | Brandschutz | | | | |
| | Feuchteschutz | | | | |
| | Riss | | | | |
| | Schallschutz | | | | |
| | Tragfähigkeitsverlust | | | | |
| | Verformung | | | | |
| | Volumenänderung | | | | |
| | Wärmeschutz | | | | |
| | Gesamtabnutzung $A_{ges} = \sum A$ | | | | 0,5500 |
| | Abnutzungsvorrat $AV_{tn} = 1 - A_{ges}$ | | | | 0,4500 |
| Mittel schadhafter Bereich | | | | | |

Abb. 291: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Sandstein – Bl. 1

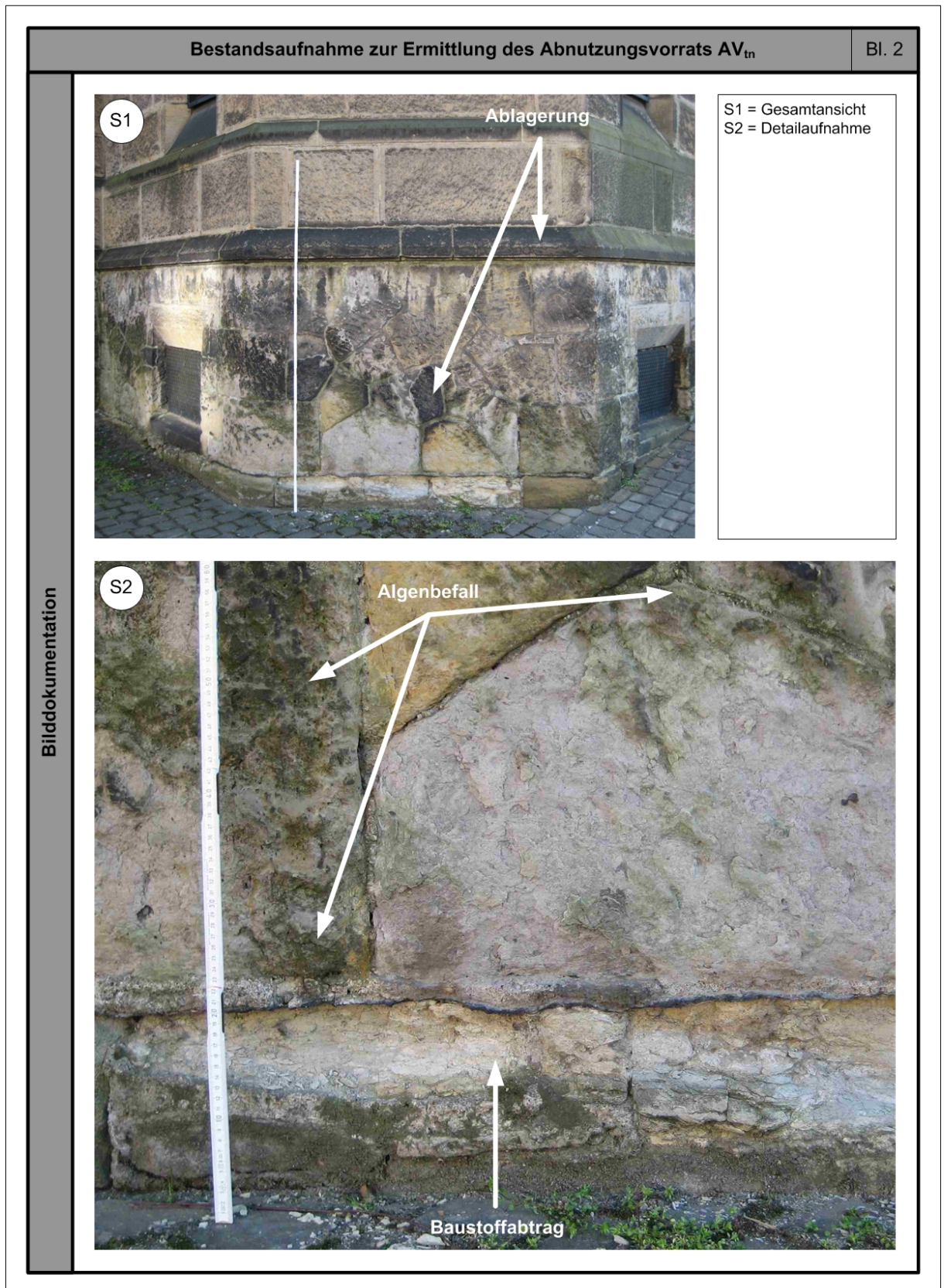


Abb. 292: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Sandstein – Bl. 2

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 3 |
|---|---------------------------|---|
| Zustandsbeschreibung | Abnutzungsmerkmal | Beschreibung |
| | Ablagerung (irreversibel) | Teilweise ist Verkrustung vorhanden (Schadensfläche ~ 50 m ² ; Gesamtfläche = 1000 m ²). |
| | Ablagerung (reversibel) | |
| | Baustoffabtrag | Gefügelockerung unterhalb der horizontalen Absperrung in der ersten Steinschicht (lokal begrenzter Intensivschaden: Schadensfläche ~ 50 m ² ; Gesamtfläche = 100 m ² ; Ist-Schichtdicke ~ 450 mm; Bauelementdicke = 500 mm) |
| | Biologischer Befall | Algen- und Moosbefall (Schadensgröße (Schadensfläche) ~ 30 m ² ; Gesamtfläche = 1000 m ²) |
| | Brandschutz | |
| | Feuchteschutz | |
| | Riss | |
| | Schallschutz | |
| | Tragfähigkeitsverlust | |
| | Verformung | |
| | Volumenänderung | |
| | Wärmeschutz | |
| | Bemerkung | |

Abb. 293: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Sandstein – Bl. 3

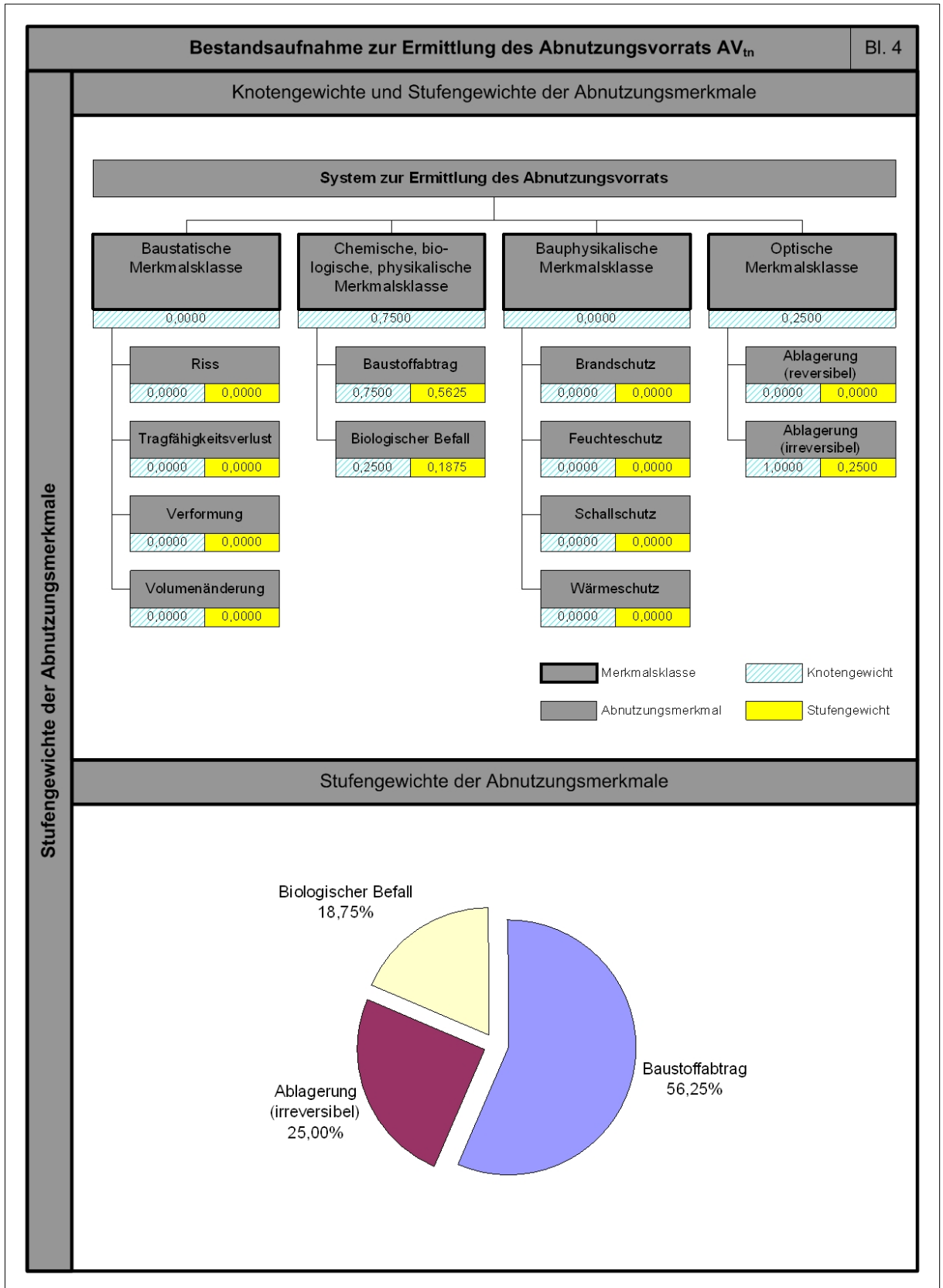


Abb. 294: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Sandstein – Bl. 4

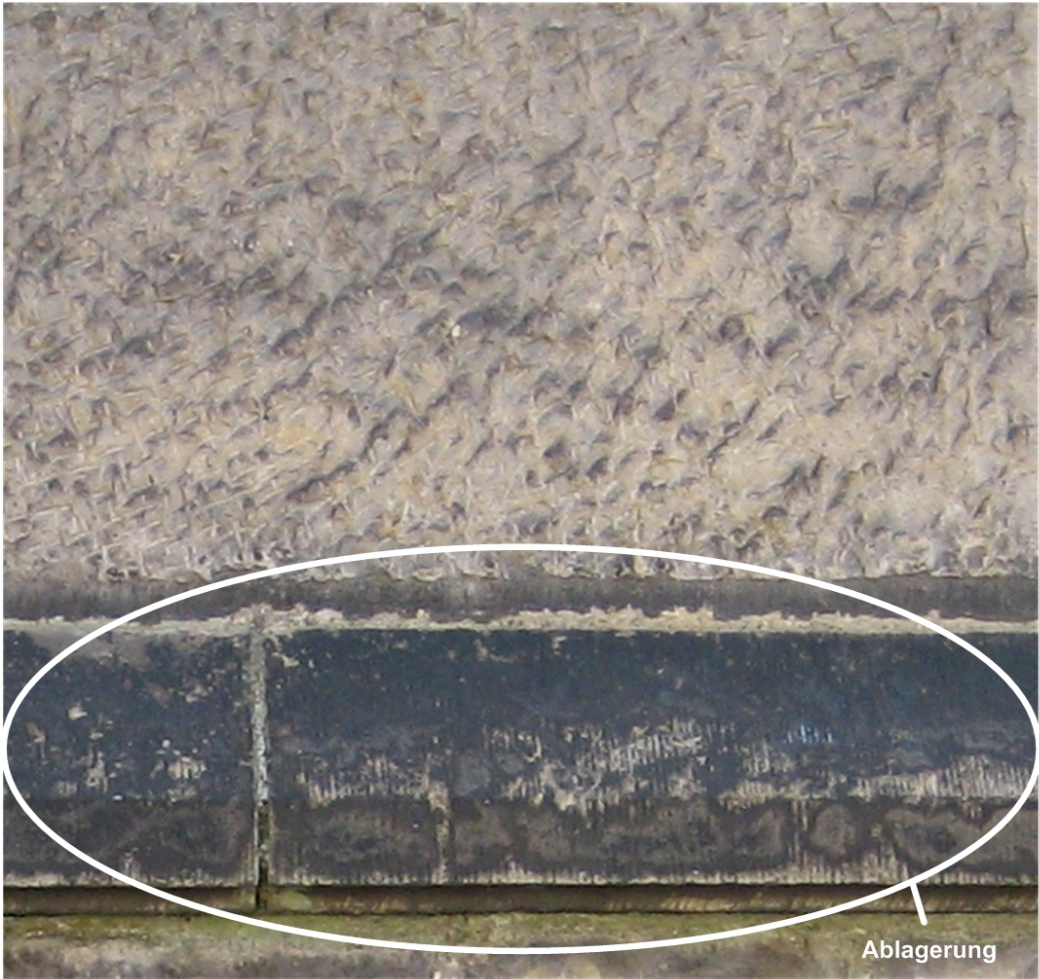
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 5 | |
|---|---|--------------------|------|
| Abnutzungsmerkmal Ablagerung (irreversibel) | | | |
| Ermittlung der Einheitskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | |
| | | 0 | 0,00 |
| | |]0, 1] | 0,20 |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{50 \text{ m}^2}{1000 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 5 \%$ |]1, 5,5] | 0,40 |
| | |]5,5, 19,2] | 0,60 |
| | |]19,2, 43,8] | 0,80 |
| |]43,8, 100] | 1,00 | |
| W_1 = Schadensfläche W_2 = Gesamtfläche | $\sim 50 \text{ m}^2$ $= 1000 \text{ m}^2$ | | |

Abb. 295: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Sandstein – Bl. 5

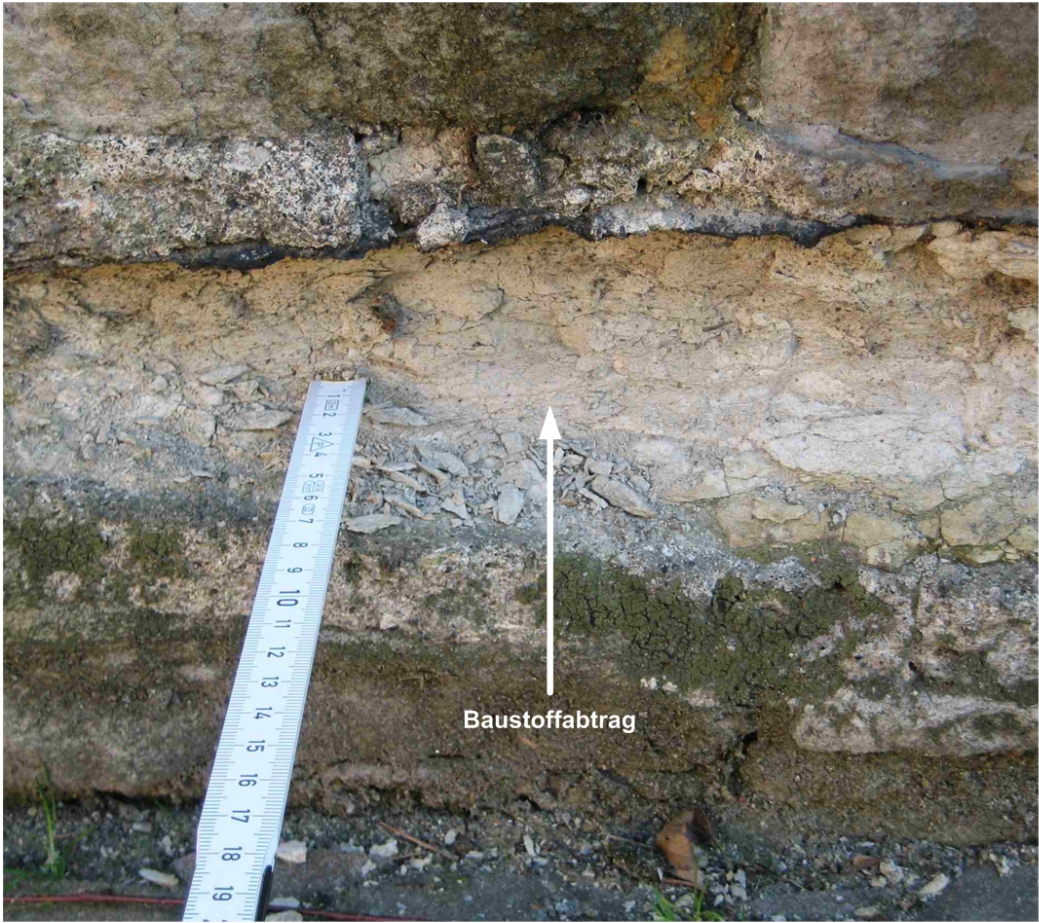
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 6 | | | | | | | | | | | |
|---|---|--------------------|------|-----------|------|-------------|------|----------|------|--------|------|----------|------|
| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | | | | | | | | | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | | | | | | | | | | | |
| | Merkmalsaspekt Schadensfläche des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | | | | | | | | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | | | | | | | | | | | | |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{50 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 50 \%$ | Einheitsskalenwert | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">0,00</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]0, 0,05]</td><td style="text-align: center;">0,20</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]0,05, 0,5]</td><td style="text-align: center;">0,40</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]0,5, 1]</td><td style="text-align: center;">0,60</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]1, 8]</td><td style="text-align: center;">0,80</td></tr> <tr style="background-color: yellow;"><td style="text-align: center;">]8, 100]</td><td style="text-align: center;">1,00</td></tr> </table> | 0 | 0,00 |]0, 0,05] | 0,20 |]0,05, 0,5] | 0,40 |]0,5, 1] | 0,60 |]1, 8] | 0,80 |]8, 100] | 1,00 |
| 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | |
|]0, 0,05] | 0,20 | | | | | | | | | | | | |
|]0,05, 0,5] | 0,40 | | | | | | | | | | | | |
|]0,5, 1] | 0,60 | | | | | | | | | | | | |
|]1, 8] | 0,80 | | | | | | | | | | | | |
|]8, 100] | 1,00 | | | | | | | | | | | | |
| W_1 = Schadensfläche = 50 m ² W_2 = Gesamtfläche = 100 m ² | | | | | | | | | | | | | |

Abb. 296: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Sandstein – Bl. 6

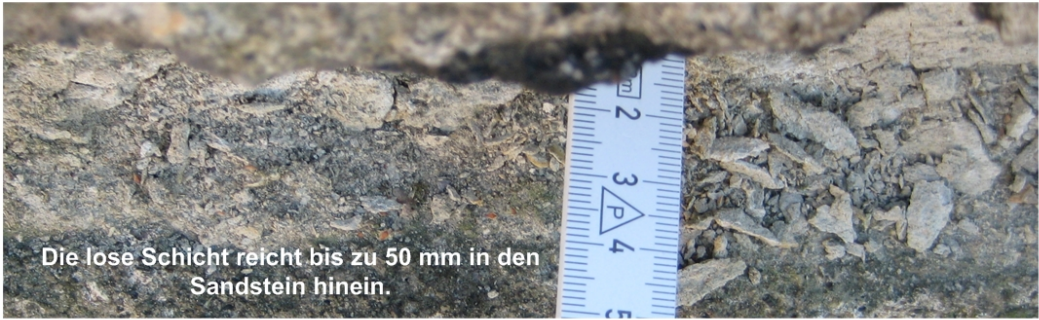
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 7 | |
|--|--|---|------|
| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | |
|  <p>Die lose Schicht reicht bis zu 50 mm in den Sandstein hinein.</p> | | | |
| Merkmalsaspekt Schichtdicke des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | |
| Merkmalsausprägung MA [%] | | Einheitsskalenwert | |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{450 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} \cdot 100 \%$ $MA = 90 \%$ | | 100 | 0,00 |
| | | [95, 100[| 0,20 |
| | | [90, 95[| 0,40 |
| | | [80, 90[| 0,60 |
| | | [60, 80[| 0,80 |
| | | [0, 60[| 1,00 |
| | | W_1 = Ist-Schichtdicke ~ 450 mm W_2 = Referenz-Schichtdicke ~ 500 mm | |
| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | |
| Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | | Einheitsskalenwert | |
| $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{komb} = 1,00 \cdot 0,25 + 0,40 \cdot 0,75$ $MA_{komb} = 0,55$ | | 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,2] | 0,20 |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| | |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| | |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| | |]0,8, 1] | 1,00 |
| MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensfläche = 1,00 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schichtdicke = 0,40 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,75$) | | | |

Abb. 297: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Sandstein – Bl. 7


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 8 |
|---|---|-------------------|
| Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | |
| Ermittlung der Einheitskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | |
| | Merkmalsaspekt Schadensart des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | |
| | Merkmalsausprägung MA | |
| | Schadensart | Einheitskalenwert |
| | Kein biologischer Befall | 0,00 |
| | Pflanzenbewuchs (kleine Pflanzen) | 0,20 |
| | Insektenbefall | 0,40 |
| | Algenbefall; Bakterienbefall; Moosbefall; Pilzbefall | 0,60 |
| | Flechtenbefall; Schimmelpilzbefall | 0,80 |
| | Pflanzenbewuchs (große Pflanzen); Schwammbeffall | 1,00 |

Abb. 298: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Sandstein – Bl. 8


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 9 | | |
|--|---|--|--------------------|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | | |
| |  <p style="text-align: center;">Schadensgröße (Schadensfläche) ~ 30 m²</p> | | | |
| | Merkmalsaspekt Schadensgröße des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | | Einheitsskalenwert | |
| | | | 0 | 0,00 |
| | | |]0, 1] | 0,20 |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{30 \text{ m}^2}{1000 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 3 \%$ | |]1, 5,5] | 0,40 |
| | | |]5,5, 19,2] | 0,60 |
| | | |]19,2, 43,8] | 0,80 |
| | | |]43,8, 100] | 1,00 |
| W_1 = Schadensgröße (Schadensfläche oder Schadensvolumen) ~ 30 m ² W_2 = Gesamtgröße (Schadensgesamtfläche oder Schadensgesamtvolumen) = 1000 m ² | | | | |
| Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | | | |
| Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | | Einheitsskalenwert | | |
| | | 0 | 0,00 | |
| | |]0, 0,2] | 0,20 | |
| $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{komb} = 0,60 \cdot 0,50 + 0,40 \cdot 0,50 = 0,50$ $MA_{komb} = 0,50$ | |]0,2, 0,4] | 0,40 | |
| | |]0,4, 0,6] | 0,60 | |
| | |]0,6, 0,8] | 0,80 | |
| | |]0,8, 1] | 1,00 | |
| | | MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensart = 0,60 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schadensgröße = 0,40 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,5$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,5$) | | |

Abb. 299: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Sandstein – Bl. 9

3.3.3.8 Stahl (unlegiert)

Ermittlung der Stufengewichte für statisch relevante Bauelemente

Bei dem metallischen **Baustoff Stahl (unlegiert)** handelt es sich um ein weiterverarbeitetes Produkt aus den im Hochofen aus Eisenerz erschmolzenen, veredelten Roheisen. Eisen ist ein unedles Metall und hat eine geringe chemische Beständigkeit gegenüber saurem Angriff.⁵²⁹ Stahl ist ein warmverformbarer Eisenwerkstoff mit einem Kohlenstoffgehalt von weniger als 2,1 %. Zur Herstellung von Stahl aus Roheisen muss der Kohlenstoffgehalt des Eisens deutlich gesenkt werden.⁵³⁰

Der Abnutzungsvorrat des Baustoffs Stahl (unlegiert) lässt sich durch die in Abb. 300 aufgeführten qualitäts- und schadensbezogenen Merkmale sowie deren zugeordnete Abnutzungsmerkmale beschreiben, wobei vorwiegend **Baustoffabtrag** zu Veränderungen und Zerstörungen beiträgt. Neben Abbruch, Erosion, Kavitation oder Querschnittsminderung ist Korrosion (vgl. Abschnitt IV2.3, S. 106) die vorrangige Form des Baustoffabtrags.

Baustoffabtrag ist oftmals Ursache für den Funktionsverlust eines aus unlegiertem Stahl bestehenden Bauelements. Die aufgrund von Korrosion hervorgerufene Querschnittsminderung kann zum **Tragfähigkeitsverlust** führen.⁵³¹ Tragfähigkeitsverlust bzw. eine Überbeanspruchung des metallischen Bauelements können auch zu **Verformungen** führen.

Für die baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für den metallischen Baustoff Stahl (unlegiert) wird in statisch relevante und statisch nicht relevante Bauelemente unterschieden.

⁵²⁹ Vgl. KNOBLAUCH, H.; SCHNEIDER, U.: Bauchemie. 6. Aufl. Neuwied : Werner Verlag, 2006, S. 265

⁵³⁰ Vgl. KNOBLAUCH, H.; SCHNEIDER, U.: Bauchemie. 6. Aufl. Neuwied : Werner Verlag, 2006, S. 266; BENEDIX, R.: Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 233 ff.

⁵³¹ Vgl. BENEDIX, R.: Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 238

Für **statisch relevante Bauelemente** (z. B. tragende Stützen, Unterzüge) aus dem metallischen Baustoff Stahl (unlegiert) werden mittels paarweisem Vergleich⁵³² die Knotengewichte für die Merkmalsklassen entsprechend Abb. 301 ermittelt. Die Bestimmung der Knotengewichte der gemäß Abb. 300 relevanten Abnutzungsmerkmale erfolgt in Abb. 302 und Abb. 303. Nichtrelevante Abnutzungsmerkmale erhalten keinen Eintrag in den entsprechenden Matrixfeldern und in der Zeilensumme.

| Merkmal | | Abnutzungsmerkmale | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|------------|-----------------|--|---------------------|---------------------------------|---------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | | Baustatische Merkmalsklasse | | | | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | | Bauphysikalische Merkmalsklasse | | | Optische Merkmalsklasse | | |
| | | Riss | Tragfähigkeitsverlust | Verformung | Volumenänderung | Baustoffabtrag | Biologischer Befall | Brandschutz | Feuchteschutz | Schallschutz | Wärmeschutz | Ablagerung (reversibel) | Ablagerung (irreversibel) |
| qualitätsbezogen | Biegefestigkeit | | x | | | | | | | | | | |
| | Dauerstandfestigkeit | | x | | | | | | | | | | |
| | Druckfestigkeit | | x | | | | | | | | | | |
| | Elastizität | | | x | | | | | | | | | |
| | Plastizität | | | x | | | | | | | | | |
| | Standicherheit | | x | | | | | | | | | | |
| schadensbezogen | Tragfähigkeit | | x | | | | | | | | | | |
| | Abbruch | | | | | x | | | | | | | |
| | Ausbauchung | | | x | | | | | | | | | |
| | Ausknickung | | | x | | | | | | | | | |
| | Durchbiegung | | | x | | | | | | | | | |
| | Ermüdung | | x | | | | | | | | | | |
| | Erosion | | | | | x | | | | | | | |
| | Kavitation | | | | | x | | | | | | | |
| | Korrosion | | | | | x | | | | | | | |
| | Querschnittsminderung | | | | | x | | | | | | | |
| | Tragfähigkeitsverlust | | x | | | | | | | | | | |
| | Verdrehung | | | x | | | | | | | | | |
| | Verformung | | | x | | | | | | | | | |
| | Wölbung | | | x | | | | | | | | | |

x = Zuordnung

Abb. 300: Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Stahl (unlegiert)⁵³³

⁵³² Bezüglich des paarweisen Vergleichs s. Abschnitt IV3.3.1

⁵³³ Vgl. IP BAU (Hrsg.): Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, S. 109 f.; SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 84; BENEDIX, R.: Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008, S. 238

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Baustatische Merkmalsklasse | - | 2 | | | 2 | 0,5000 |
| 2 | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | 2 | - | | | 2 | 0,5000 |
| 3 | Bauphysikalische Merkmalsklasse | | | - | | | |
| 4 | Optische Merkmalsklasse | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 301: Gewichtung der Merkmalsklassen – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Ebene 1

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Riss | - | | | | | |
| 2 | Tragfähigkeitsverlust | | - | 3 | | 3 | 0,7500 |
| 3 | Verformung | | 1 | - | | 1 | 0,2500 |
| 4 | Volumenänderung | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 302: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 1

Eine Übersicht über alle Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale von Stahl (unlegiert) für statisch relevante Bauelemente wird in Abb. 304 gegeben. Eine grafische Übersicht über die Stufengewichte zeigt Abb. 305.

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Baustoffabtrag | - | 4 | | | 4 | 1,0000 |
| 2 | Biologischer Befall | | - | | | | |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
 2 = gleichbedeutend
 3 = bedeutender
 4 = alleiniges Merkmal

Abb. 303: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 2

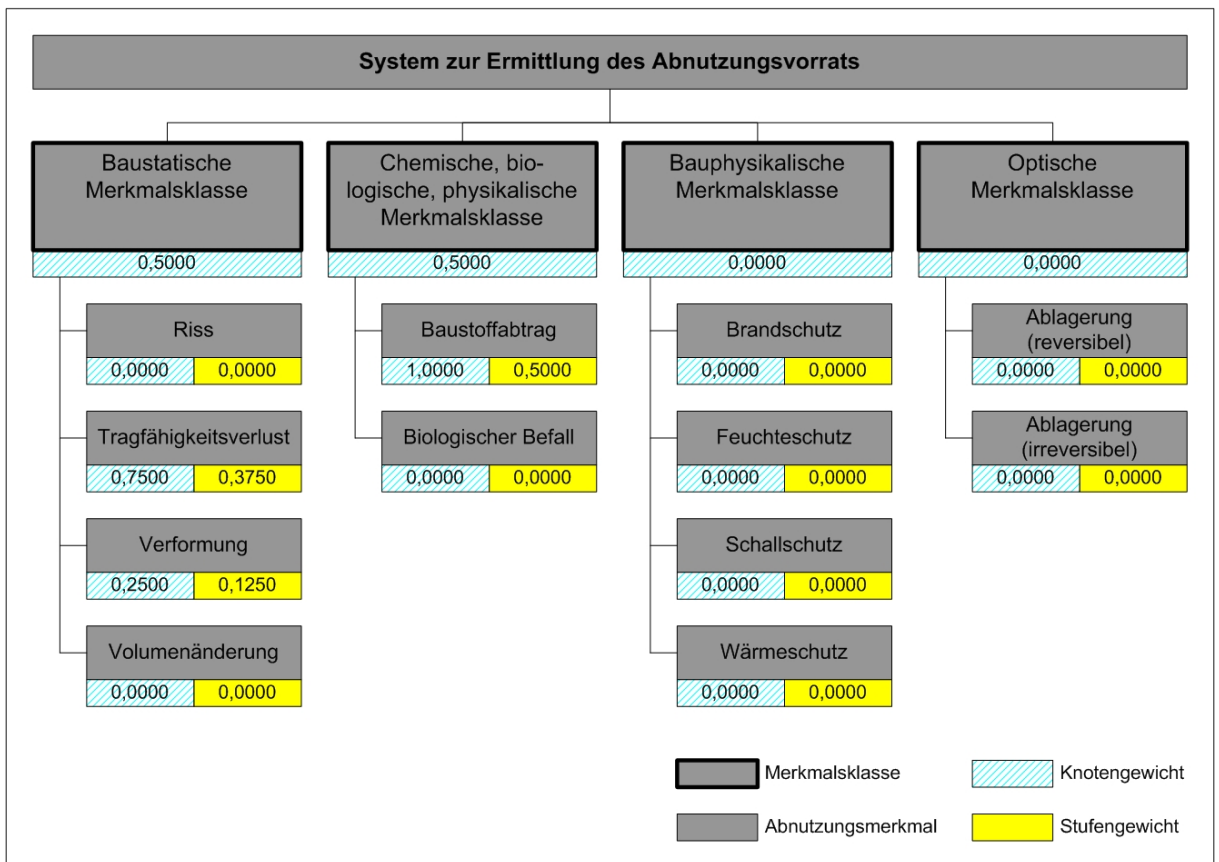


Abb. 304: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente⁵³⁴

⁵³⁴ Die Gewichtung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

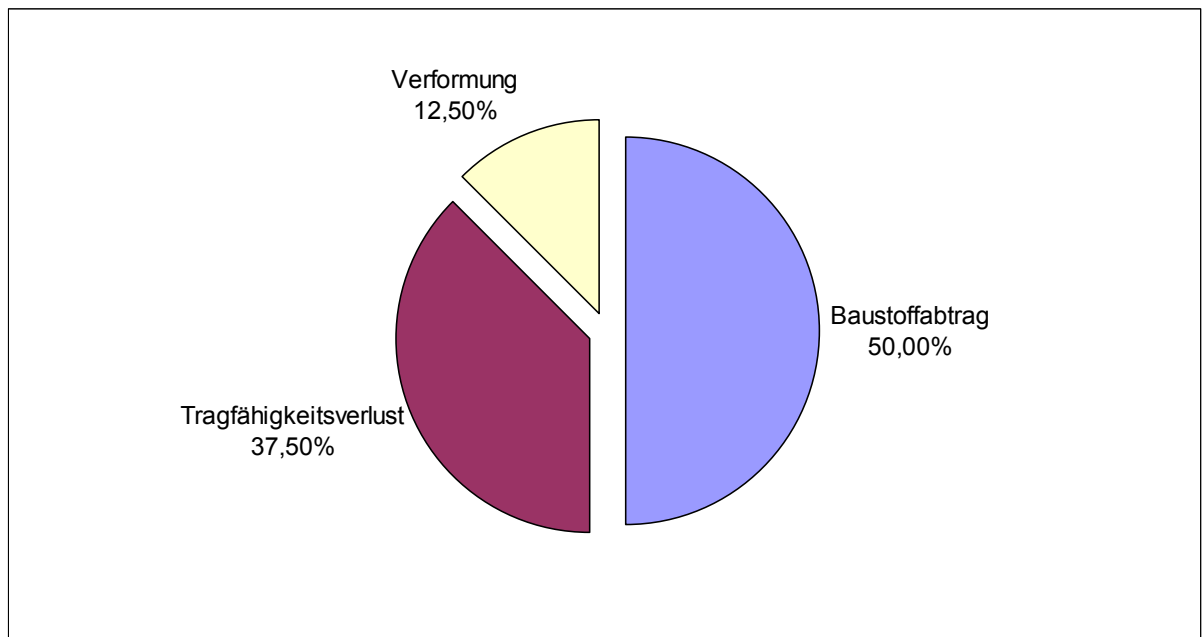


Abb. 305: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente

Die baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für Stahl (unlegiert) für statisch relevante Bauelemente entsprechend Abb. 304 (wie auch für statisch nicht relevante Bauelemente gemäß Abb. 316) wird durch den Vorschlag der einschlägigen Fachliteratur zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Stahl (unlegiert) gemäß Abb. 306 untermauert. In dieser Beschreibung werden Schadensbilder aufgezeigt, die fünf Zustandsstufen zugeordnet werden können. Die Schadensbilder umfassen Querschnittsschwächung durch Baustoffabtrag und Korrosion, Veränderungen der Tragfähigkeit aufgrund des Baustoffabtrags sowie Ermüdung beanspruchter Bauelemente wie auch Verformungen u. a. durch Ausknickung und Ausbeulung.

| Zustandsstufe | Bewertung des Zustands | Beschreibung des Zustands |
|---------------|------------------------|--|
| 1 | Guter Zustand | Es sind keine Mängel oder Schäden zu beobachten. ... |
| 2 | Annehmbarer Zustand | Oberflächlich sind kleinere Schäden auf der Schutzschicht festzustellen, eine Schwächung der Querschnitte ist jedoch noch nicht aufgetreten. Insgesamt sind weniger als 10 % der Tragkonstruktion betroffen. Vereinzelt ist beginnender Lochfraß bei vorwiegend statisch beanspruchten Bauteilen zu beobachten. ... |
| 3 | Schadhafter Zustand | Leichte Korrosionen können über größere Flächen verteilt vorkommen. Es können bis etwa 20 % der Gesamtoberfläche betroffen sein. Es ist aber noch kein merklicher Metallabtrag festzustellen; der Querschnittsverlust beträgt aber weniger als 5 %. Zwischen Platten kann Kontaktkorrosion stattfinden. ... |
| 4 | Schlechter Zustand | Fortgeschrittener Querschnittsverlust infolge Korrosionsabtrag ist feststellbar. Etwa die Hälfte der Haupttragelemente sind davon betroffen. Bei Druckgliedern sind größere seitliche Auslenkungen feststellbar (Knick- und Beulgefahr!). ... |
| 5 | Alarmierender Zustand | Die Querschnittsverluste infolge Korrosionsabtrag sind nicht mehr vernachlässigbar, sie machen mehr als 10 % aus. Bei auf Ermüdung beanspruchten Bauteilen ist den örtlichen Kerbwirkungen infolge Lochfraß besonders Rechnung zu tragen. Es sind deutlich erkennbare, nicht planmäßige, bleibende Verformungen zu erkennen, insbesondere bei Druckgliedern, welche auf Ausknicken oder Ausbeulen hindeuten... |

Abb. 306: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente⁵³⁵

Beispiel zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für statisch relevante Bauelemente

In Abb. 307 bis Abb. 312 wird ein Beispiel für die Ermittlung eines Wertes für den Abnutzungsvorrat AV anhand einer konkreten Bestandsaufnahme gegeben. Hierbei handelt es sich um eine tragende verzinkte Stütze aus Stahl (unlegiert) einer Werkshalle. An einigen horizontalen Aussteifungen der Stütze ist minimaler Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) vorhanden. Die Tragfähigkeit der Stütze ist gewährleistet. Verformungen sind nicht vorhanden.

⁵³⁵ Vgl. IP BAU (Hrsg.): Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, S. 109 f.

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | | Bl. 1 | |
|---|--|--|--------------------------------------|--|--------|
| Allgemeine Angaben | Bauelement | Stütze | | | |
| | Baustoff | Stahl (unlegiert) | | | |
| | Statische Relevanz | statisch relevant | | | |
| | Standort | Dortmund | | | |
| | Art der Immobilie | Werkshalle | | | |
| | Zeitpunkt t_n der Bestandsaufnahme | 01.05.2010 | | | |
| | Erstellungsdatum des Bauelements | K. A. | | | |
| | Alter des Bauelements | K. A. | | | |
| | Weitere Angaben | Stahlstütze mit Zinkbeschichtung mit minimalem Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) in der horizontalen Aussteifung, keinem Tragfähigkeitsverlust sowie keiner Verformung | | | |
| Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | Abnutzungsmerkmal | Stufengewicht (gemäß Bl. 4) | Einheitsskalenwert (gemäß Bl. 5 ff.) | Abnutzung A (= Stufengewicht · Einheitsskalenwert) | |
| | Ablagerung (irreversibel) | | | | |
| | Ablagerung (reversibel) | | | | |
| | Baustoffabtrag | 0,5000 | 0,2000 | 0,1000 | |
| | Biologischer Befall | | | | |
| | Brandschutz | | | | |
| | Feuchteschutz | | | | |
| | Riss | | | | |
| | Schallschutz | | | | |
| | Tragfähigkeitsverlust | 0,3750 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Verformung | 0,1250 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Volumenänderung | | | | |
| | Wärmeschutz | | | | |
| | Gesamtabnutzung $A_{ges} = \sum A$ | | | | 0,1000 |
| | Abnutzungsvorrat $AV_{tn} = 1 - A_{ges}$ | | | | 0,9000 |
| Neuwertiger Bereich | | | | | |

Abb. 307: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 1

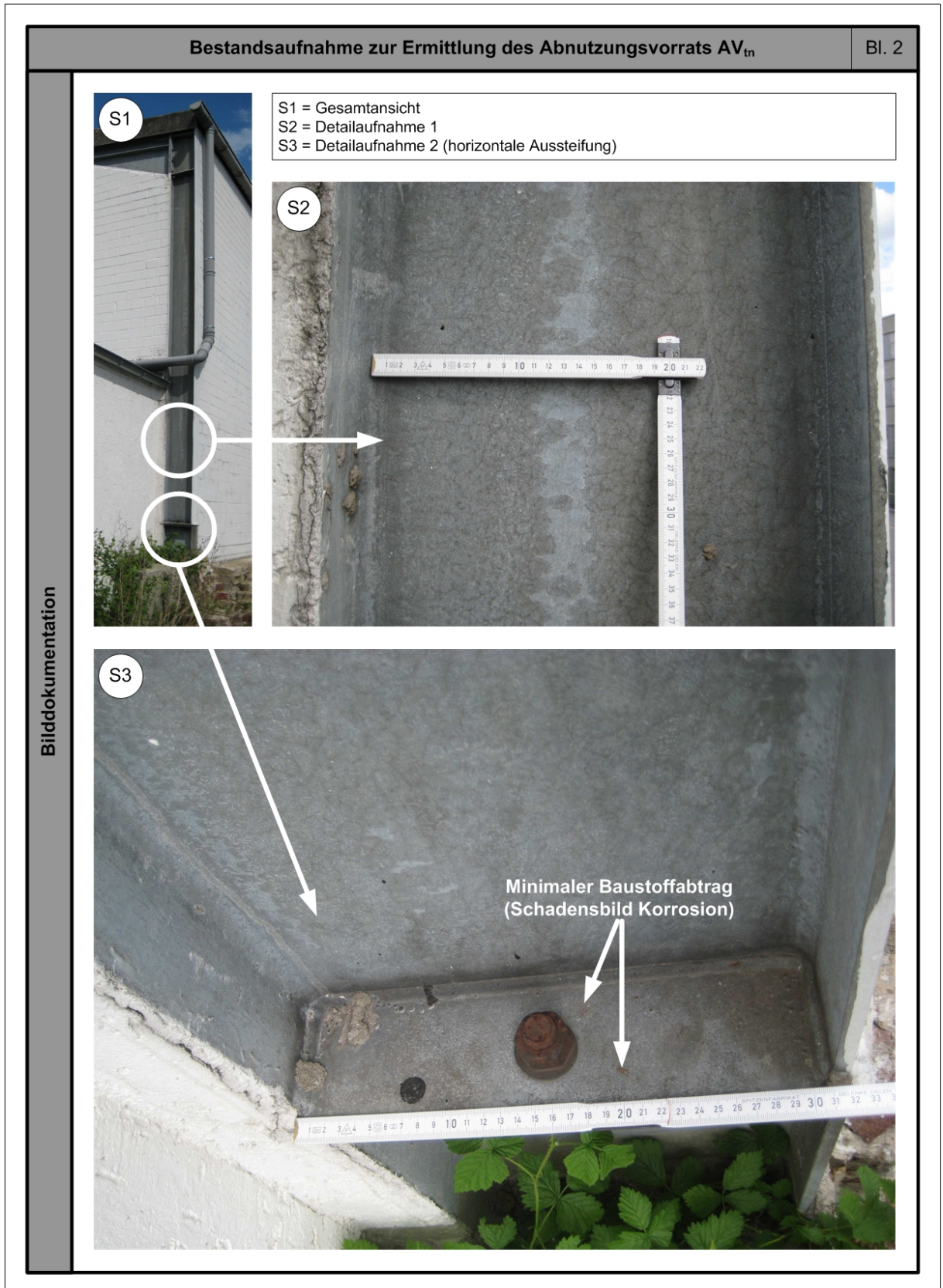


Abb. 308: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 2

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 3 |
|---|---------------------------|--|
| Zustandsbeschreibung | Abnutzungsmerkmal | Beschreibung |
| | Ablagerung (irreversibel) | |
| | Ablagerung (reversibel) | |
| | Baustoffabtrag | Rostgrad Ri 1 (Zinkbeschichtung vorhanden, minimaler Baustoffabtrag in der horizontalen Aussteifung erkennbar, Schadensbild Korrosion; Schadensfläche ~ 0,001 m ² ; Gesamtfläche = 2,5 m ²) |
| | Biologischer Befall | |
| | Brandschutz | |
| | Feuchteschutz | |
| | Riss | |
| | Schallschutz | |
| | Tragfähigkeitsverlust | Die Einhaltung der Tragfähigkeit ist gewährleistet. |
| | Verformung | Es ist keine wahrnehmbare Veränderung (Verformung) vorhanden. |
| | Volumenänderung | |
| | Wärmeschutz | |
| | Bemerkung | Es ist eine Schutzschicht durch Zinkbeschichtung vorhanden. |

Abb. 309: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 3

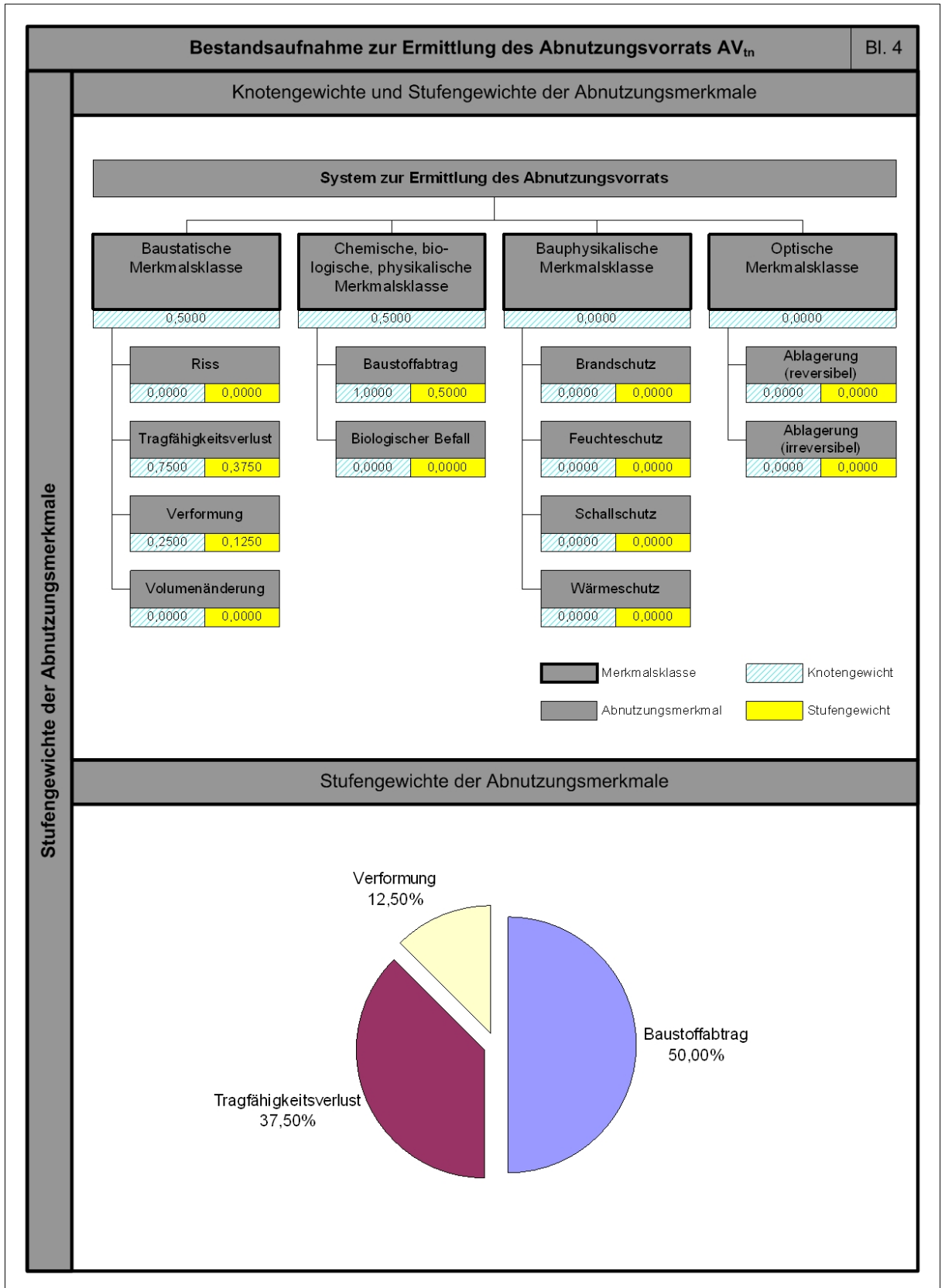


Abb. 310: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 4


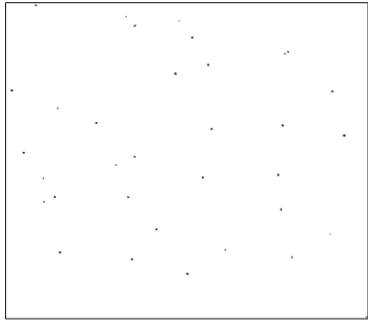
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | Bl. 5 | | |
|---|--|--|--|--------------------|------|
| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Rostgrad |   | Die korrodierte Schraubverbindung wird für die Bewertung nicht berücksichtigt. | | |
| | Merkmalsaspekt Rostgrad des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | | Rostgrad | Einheitsskalenwert | |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{0,001 \text{ m}^2}{2,5 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 0,04 \%$ | | 0 | Ri 0 | 0,00 |
| | | |]0, 0,05] | Ri 1 | 0,20 |
| | | |]0,05, 0,5] | Ri 2 | 0,40 |
| | | |]0,5, 1] | Ri 3 | 0,60 |
| | | |]1, 8] | Ri 4 | 0,80 |
| | | |]8, 100] | Ri 5 | 1,00 |
| | W_1 = Schadensfläche (Rostfläche) ~ 0,001 m ² W_2 = Gesamtfläche = 2,5 m ² | | | | |
| Merkmalsaspekt Schichtdicke des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | | | | |
| Merkmalsausprägung MA [%] | | Einheitsskalenwert | | | |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{15 \text{ mm}}{15 \text{ mm}} \cdot 100 \%$ $MA = 100 \%$ | | 100 | 0,00 | | |
| | | [98, 100[| 0,20 | | |
| | | [95, 98[| 0,40 | | |
| | | [90, 95[| 0,60 | | |
| | | [80, 90[| 0,80 | | |
| | | [0, 80[| 1,00 | | |
| W_1 = Ist-Schichtdicke = 15 mm W_2 = Referenz-Schichtdicke = 15 mm | | | | | |

Abb. 311: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 5

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 6 | |
|--|--|--------------------|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | |
| | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | |
| | $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{komb} = 0,20 \cdot 0,25 + 0,00 \cdot 0,75$ $MA_{komb} = 0,05$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,2] | 0,20 |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| | |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| | |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| | |]0,8, 1] | 1,00 |
| | MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Rostgrad = 0,20 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schichtdicke = 0,00 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,75$) | | |
| | Abnutzungsmerkmal Tragfähigkeitsverlust | | |
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | | |
| Einhaltung der Tragfähigkeit gemäß Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen und anerkannten Regeln der Technik | Ja | 0,00 | |
| | Nein | 1,00 | |
| Abnutzungsmerkmal Verformung | | | |
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | | |
| Veränderung gemäß DIN EN ISO 4628-1 | Nicht verändert, d. h. keine wahrnehmbare Veränderung | 0,00 | |
| | Sehr gering, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung | 0,20 | |
| | Gering, d. h. deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,40 | |
| | Mittel, d. h. sehr deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,60 | |
| | Stark, d. h. ausgeprägte Veränderung | 0,80 | |
| | Sehr starke Veränderung | 1,00 | |

Abb. 312: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 6

Ermittlung der Stufengewichte für statisch nicht relevante Bauelemente

Für **statisch nicht relevante Bauelemente** (z. B. Abdeckbleche, Fassadenbekleidungen, Regenrinnen) aus dem metallischen Baustoff Stahl (unlegiert) werden mittels paarweisem Vergleich⁵³⁶ die Knotengewichte für die Merkmalsklassen entsprechend Abb. 313 ermittelt. Die Bestimmung der Knotengewichte der gemäß Abb. 300 relevanten Abnutzungsmerkmale erfolgt in Abb. 314 und Abb. 315. Nichtrelevante Abnutzungsmerkmale erhalten keinen Eintrag in den entsprechenden Matrixfeldern und in der Zeilensumme.

Im Gegensatz zu den statisch relevanten Bauelementen aus dem metallischen Baustoff Stahl (unlegiert) wird für die statisch nicht relevanten Bauelemente die baustatische Merkmalsklasse (vgl. Abb. 313) und hier insbesondere das Abnutzungsmerkmal Tragfähigkeitsverlust (vgl. Abb. 314) nicht so hoch gewichtet.

| Zeile | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zeile 1 | Zeile 2 | Zeile 3 | Zeile 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Baustatische Merkmalsklasse | - | 1 | | | 1 | 0,2500 |
| 2 | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | 3 | - | | | 3 | 0,7500 |
| 3 | Bauphysikalische Merkmalsklasse | | | - | | | |
| 4 | Optische Merkmalsklasse | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 313: Gewichtung der Merkmalsklassen – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 1

⁵³⁶ Bezüglich des paarweisen Vergleichs s. Abschnitt IV3.3.1

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilesumme | Gewichtung |
|--------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|------------|---------------|
| 1 | Riss | - | | | | | |
| 2 | Tragfähigkeitsverlust | | - | 2 | | 2 | 0,5000 |
| 3 | Verformung | | 2 | - | | 2 | 0,5000 |
| 4 | Volumenänderung | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 314: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 1

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilesumme | Gewichtung |
|--------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|------------|---------------|
| 1 | Baustoffabtrag | - | 4 | | | 4 | 1,0000 |
| 2 | Biologischer Befall | | - | | | | |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 315: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 2

Eine Übersicht über alle Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale von Stahl (unlegiert) für statisch nicht relevante Bauelemente wird in Abb. 316 gegeben. Eine grafische Übersicht über die Stufengewichte zeigt Abb. 317.

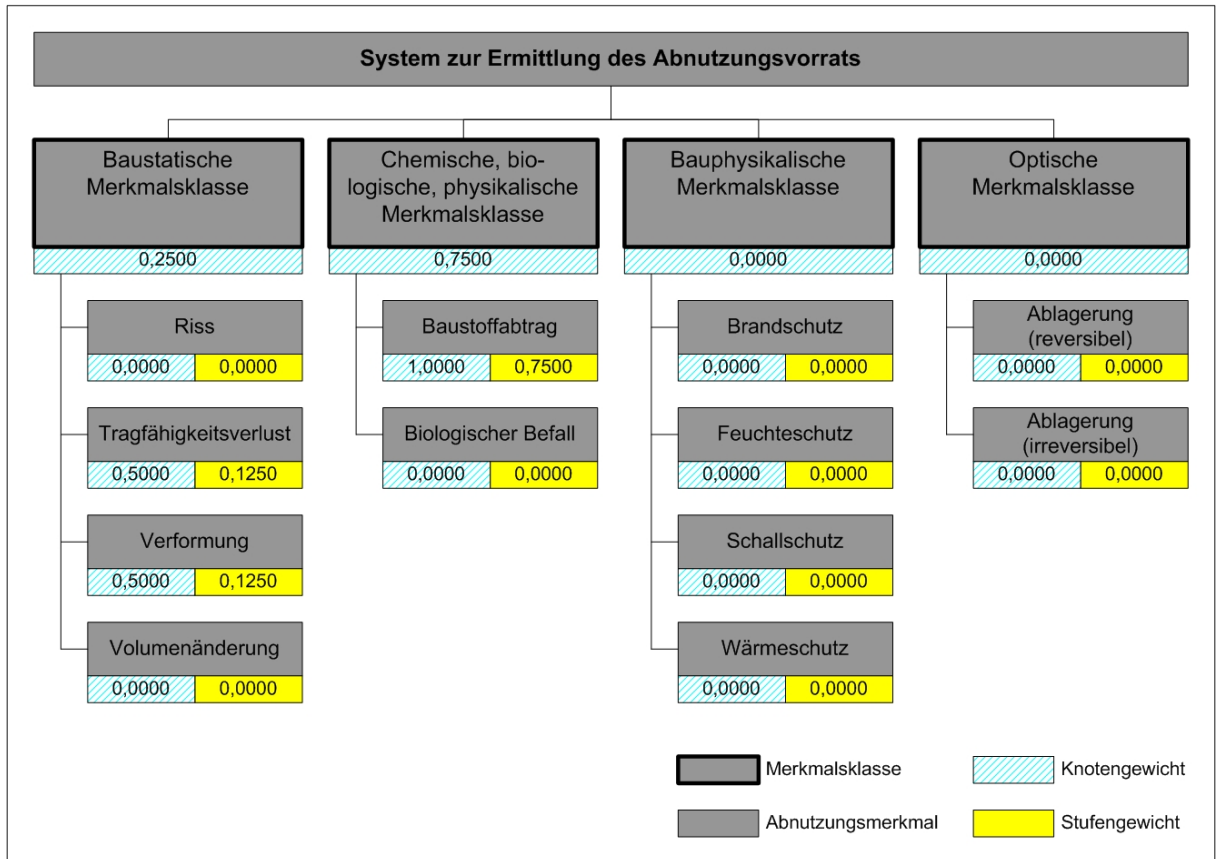


Abb. 316: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente⁵³⁷

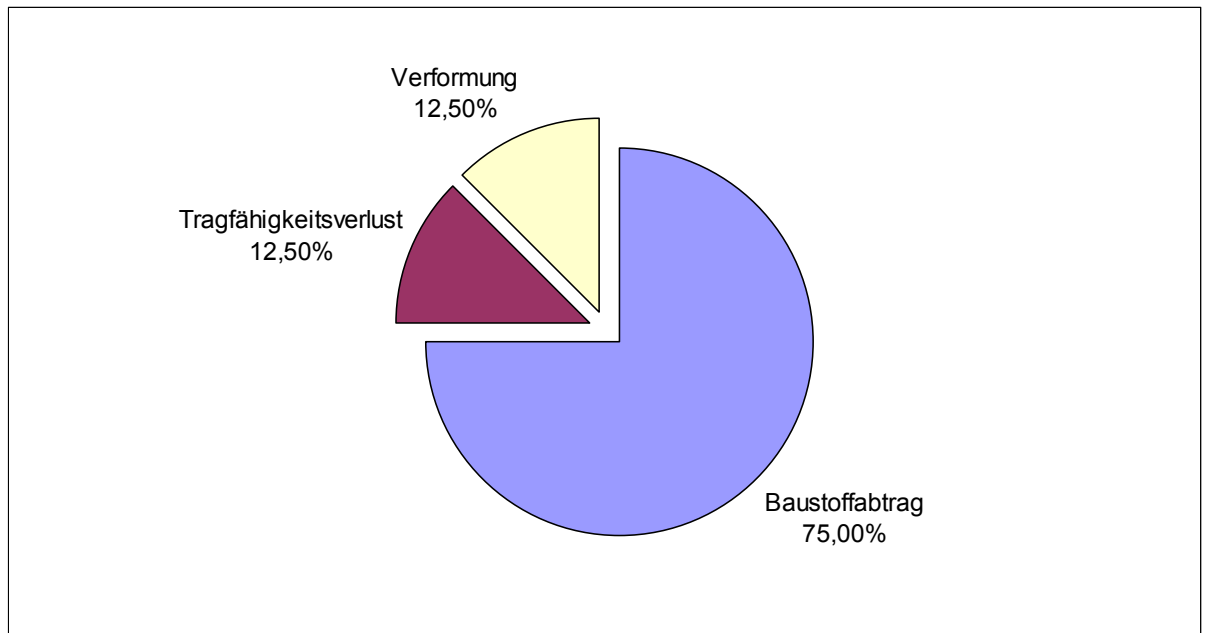


Abb. 317: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente

⁵³⁷ Die Gewichtung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

Die baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für Stahl (unlegiert) für statisch nicht relevante Bauelemente gemäß Abb. 316 wird einerseits durch den Vorschlag der einschlägigen Fachliteratur zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Stahl (unlegiert) gemäß Abb. 306 sowie durch den Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Stahl am Beispiel Spenglerarbeiten gemäß Abb. 318 untermauert. Speziell in der Beschreibung gemäß Abb. 318 werden Schadensbilder aufgezeigt, die vier von fünf Zustandsstufen zugeordnet werden können. Der gute Zustand ist nicht beschrieben. Die Schadensbilder umfassen hierbei Baustoffabtrag durch Korrosion, Veränderungen der Tragfähigkeit durch Ablösungen und defekte Befestigungen sowie auch Verformungen.

| Zustandsstufe | Bewertung des Zustands | Beschreibung des Zustands |
|---------------|------------------------|--|
| 1 | Guter Zustand | K. A. |
| 2 | Annehmbarer Zustand | Leicht schadhaft: Rinnen leicht verformt, stehendes Wasser; Farbabblätterungen; Spuren von Korrosion |
| 3 | Schadhafter Zustand | Mittel schadhaft: Farbe abgewittert; deutliche Korrosionsspuren; offene Stöße; Befestigung gelöst |
| 4 | Schlechter Zustand | Stark schadhaft: durchgerostete Teilstücke, undichte Ablaufrohre; Befestigung defekt; Rinnen stark verformt |
| 5 | Alarmierender Zustand | Irreparabel: Rinnen und Ablaufrohre mit Leckstellen |

Abb. 318: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente (Bsp. Spenglerarbeiten)⁵³⁸

⁵³⁸ Vgl. IP BAU (Hrsg.): Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, S. 109 f.

Beispiel zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für statisch nicht relevante Bauelemente

In Abb. 319 bis Abb. 325 wird ein Beispiel für die Ermittlung eines Wertes für den Abnutzungsvorrat AV anhand einer konkreten Bestandsaufnahme gegeben. Hierbei handelt es sich um eine Tür aus Stahl (unlegiert) mit schadhaftem Schutzanstrich, die einen lokal begrenzten Intensivschaden⁵³⁹ an der rechten unteren Ecke (teilweise kompletter Baustoffabtrag) sowie größere Korrosionsschäden aufweist.

Der Intensivschaden umfasst eine größere Rostfläche (Rostgrad 5 gemäß Abb. 88), bei dem teilweise die gesamte Schichtdicke des Stahls durchkorrodiert ist. In den Bereichen der Durchrostung ist die Tragfähigkeit des Stahls nicht mehr gewährleistet. Außerdem weisen die Randbereiche der Durchrostung Verformungen im Stahl auf. Für die Ermittlung eines Wertes für den Abnutzungsvorrat AV wird gemäß S. 231 dieser Bereich des lokal begrenzten Intensivschadens herangezogen.⁵⁴⁰

⁵³⁹ Zu lokal begrenztem Intensivschaden s. S. 231

⁵⁴⁰ Für die Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV lässt sich alternativ die Methodik der Teilinstandsetzungen gemäß Abb. 18 bis Abb. 20 anwenden.

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | | Bl. 1 | |
|---|--|---|---|---|--------|
| Allgemeine Angaben | Bauelement | Außentür | | | |
| | Baustoff | Stahl (unlegiert) | | | |
| | Statische Relevanz | Statisch nicht relevant | | | |
| | Standort | Dortmund | | | |
| | Art der Immobilie | Werkshalle | | | |
| | Zeitpunkt t_n der Bestandsaufnahme | 17.04.2010 | | | |
| | Erstellungsdatum des Bauelements | K. A. | | | |
| | Alter des Bauelements | K. A. | | | |
| | Weitere Angaben | Außentür aus Stahl (unlegiert) mit schadhaftem Schutzanstrich, teilweise Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) sowie Verformung | | | |
| Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | Abnutzungsmerkmal | Stufengewicht (gemäß Bl. 4) | Einheitsskalenwert (gemäß Bl. 5 ff.) | Abnutzung A (= Stufengewicht · Einheitsskalenwert) | |
| | Ablagerung (irreversibel) | | | | |
| | Ablagerung (reversibel) | | | | |
| | Baustoffabtrag | 0,7500 | 1,0000 | 0,7500 | |
| | Biologischer Befall | | | | |
| | Brandschutz | | | | |
| | Feuchteschutz | | | | |
| | Riss | | | | |
| | Schallschutz | | | | |
| | Tragfähigkeitsverlust | 0,1250 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Verformung | 0,1250 | 0,6000 | 0,0750 | |
| | Volumenänderung | | | | |
| | Wärmeschutz | | | | |
| | Gesamtabnutzung $A_{ges} = \sum A$ | | | | 0,8250 |
| | Abnutzungsvorrat $AV_{tn} = 1 - A_{ges}$ | | | | 0,1750 |
| Zerstörter Bereich | | | | | |

Abb. 319: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 1



Abb. 320: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 2

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 3 |
|---|---------------------------|---|
| Zustandsbeschreibung | Abnutzungsmerkmal | Beschreibung |
| | Ablagerung (irreversibel) | |
| | Ablagerung (reversibel) | |
| | Baustoffabtrag | Starker Baustoffabtrag in der rechten unteren Ecke erkennbar (Korrosion; Ist-Schichtdicke teilweise 0 mm; Schadensfläche ~ 0,05 m ² ; Gesamtfläche (Intensivschaden) = 0,09 m ²) |
| | Biologischer Befall | |
| | Brandschutz | |
| | Feuchteschutz | |
| | Riss | |
| | Schallschutz | |
| | Tragfähigkeitsverlust | Die Einhaltung der Tragfähigkeit der Außentür ist gewährleistet. |
| | Verformung | Mittel, d. h. sehr deutlich wahrnehmbare Veränderungen sind erkennbar (Verformung im unteren Randbereich) |
| | Volumenänderung | |
| | Wärmeschutz | |
| | Bemerkung | Der lokal begrenzte Intensivschaden in der rechten unteren Ecke ist für das Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag ausschlaggebend. |

Abb. 321: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 3

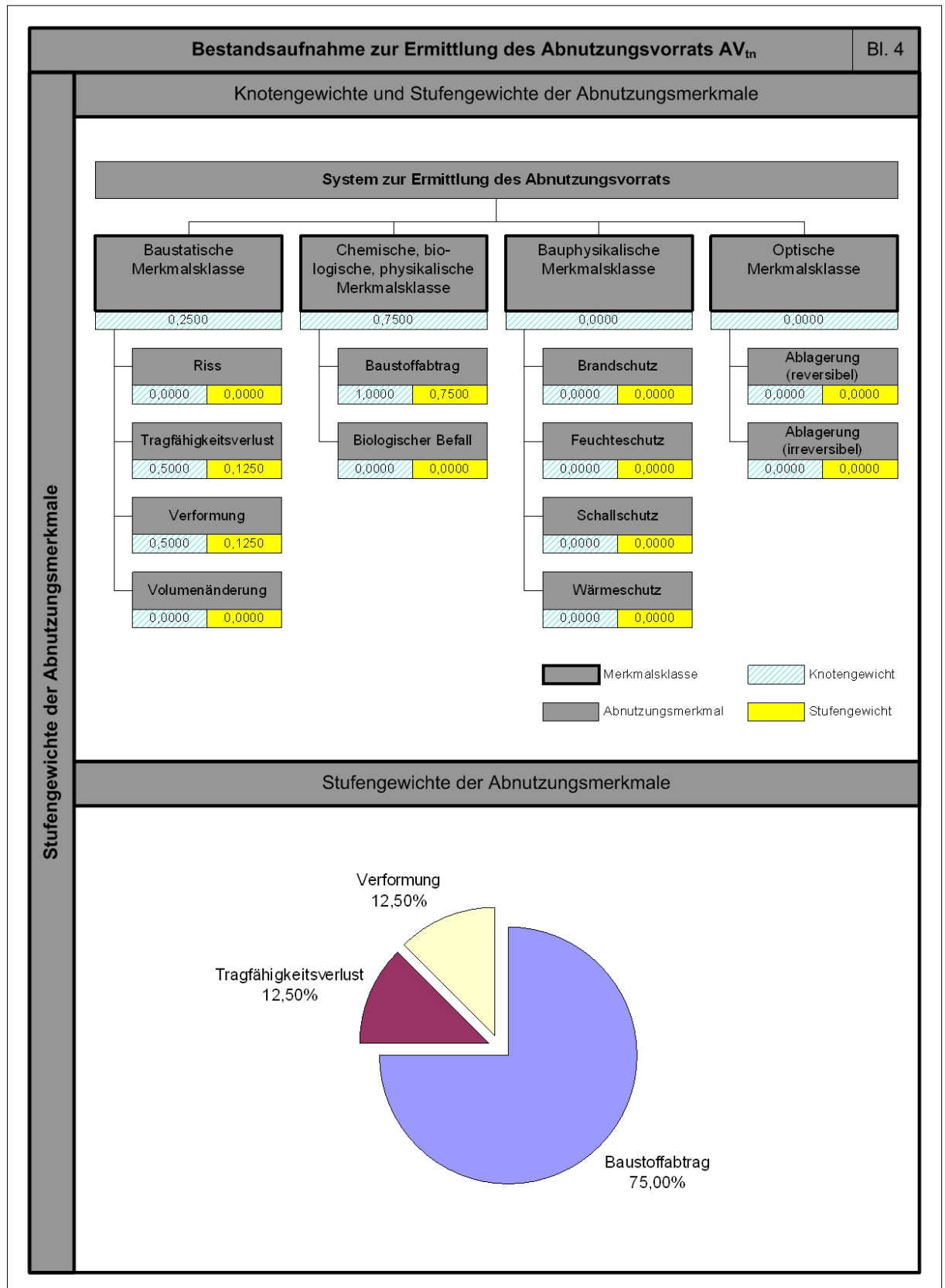


Abb. 322: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 4

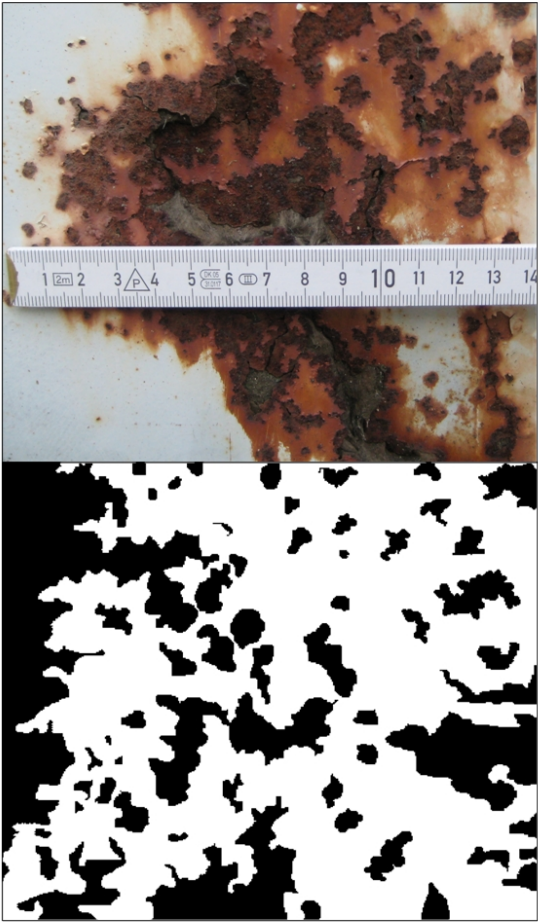
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 5 | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|----------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Rostgrad |  | | | | | | | | | | | | | | |
| | Merkmalsaspekt Rostgrad des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Rostgrad</th> <th>Einheitsskalenwert</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ri 0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Ri 1</td> <td>0,20</td> </tr> <tr> <td>Ri 2</td> <td>0,40</td> </tr> <tr> <td>Ri 3</td> <td>0,60</td> </tr> <tr> <td>Ri 4</td> <td>0,80</td> </tr> <tr> <td>Ri 5</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table> | Rostgrad | Einheitsskalenwert | Ri 0 | 0,00 | Ri 1 | 0,20 | Ri 2 | 0,40 | Ri 3 | 0,60 | Ri 4 | 0,80 | Ri 5 | 1,00 |
| | Rostgrad | Einheitsskalenwert | | | | | | | | | | | | | | |
| Ri 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ri 1 | 0,20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ri 2 | 0,40 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ri 3 | 0,60 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ri 4 | 0,80 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ri 5 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{0,05 \text{ m}^2}{0,09 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 55,55 \%$ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $W_1 =$ Schadensfläche (Rostfläche) $\sim 0,05 \text{ m}^2$ $W_2 =$ Gesamtfläche (Intensivschaden) $= 0,09 \text{ m}^2$ | | | | | | | | | | | | | | | | |

Abb. 323: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 5

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 6 | |
|--|--|--------------------|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | |
| | Merkmalsaspekt Schichtdicke des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{0 \text{ mm}}{2 \text{ mm}} \cdot 100 \%$ $MA = 0 \%$ | 100 | 0,00 |
| | | [98, 100[| 0,20 |
| | | [95, 98[| 0,40 |
| | | [90, 95[| 0,60 |
| | | [80, 90[| 0,80 |
| | | [0, 80[| 1,00 |
| | W_1 = Ist-Schichtdicke = teilweise 0 mm (komplette Durchrostung) W_2 = Referenz-Schichtdicke = 2 mm | | |
| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | | |
| Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | | |
| $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{komb} = 1,00 \cdot 0,25 + 1,00 \cdot 0,75$ $MA_{komb} = 1,00$ | 0 | 0,00 | |
| |]0, 0,2] | 0,20 | |
| |]0,2, 0,4] | 0,40 | |
| |]0,4, 0,6] | 0,60 | |
| |]0,6, 0,8] | 0,80 | |
| |]0,8, 1] | 1,00 | |
| MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Rostgrad = 1,00 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schichtdicke = 1,00 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,75$) | | | |
| Abnutzungsmerkmal Tragfähigkeitsverlust | | | |
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | | |
| Einhaltung der Tragfähigkeit gemäß Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen und anerkannten Regeln der Technik | Ja | 0,00 | |
| | Nein | 1,00 | |

Abb. 324: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 6


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 7 | |
|---|---|---|------|
| Abnutzungsmerkmal Verformung | | | |
| Ermittlung der Einheitskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  <p>Mittel, d. h. sehr deutlich wahrnehmbare Veränderung erkennbar (Verformung im unteren Randbereich)</p> | | |
| | Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | |
| | Veränderung gemäß DIN EN ISO 4628-1 | Nicht verändert, d. h. keine wahrnehmbare Veränderung | 0,00 |
| | | Sehr gering, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung | 0,20 |
| | | Gering, d. h. deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,40 |
| | | Mittel, d. h. sehr deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,60 |
| | | Stark, d. h. ausgeprägte Veränderung | 0,80 |
| | | Sehr starke Veränderung | 1,00 |

Abb. 325: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 7

3.3.3.9 Ziegel

Ermittlung der Stufengewichte für statisch relevante Bauelemente

Bei dem **Baustoff Ziegel** (im Speziellen Tonziegel) handelt es sich um ein aus Ton bzw. Lehm hergestelltes und anschließend entweder gebranntes⁵⁴¹ oder einfach in der Sonne getrocknetes mineralisches Material.⁵⁴² Neben Tonziegel werden auch Kalziumsilikat- und Betonziegel vorwiegend für die Erstellung von Wänden (aber auch für die Dacheindeckung) verwendet. Diese Ziegelarten werden jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter betrachtet. Neben den Aspekten der Tragfähigkeit, des Brand-, Schall- und Wärmeschutzes ist der dauerhafte Schutz vor äußeren Einflüssen wie Wind, Niederschlag sowie Temperaturwechsel Hauptfunktion von Ziegeln.

Das Abnutzungsverhalten von Ziegeln hängt stark von ihren Qualitätsmerkmalen wie Dauerstandfestigkeit, Dichte, Dichtigkeit, Druckfestigkeit, Feuerbeständigkeit, Porosität, Schallabsorptionsvermögen, Schichtdicke, Standsicherheit, Tragfähigkeit und Wasserundurchlässigkeit ab. Auch der Herstellungsprozess, d. h. die Baustoffqualität (vgl. Abschnitt V1.2), hat großen Einfluss auf das Abnutzungsverhalten.⁵⁴³

Der Abnutzungsvorrat des Baustoffs Ziegel lässt sich durch die in Abb. 326 aufgeführten qualitäts- und schadensbezogenen Merkmale sowie deren zugeordnete Abnutzungsmerkmale beschreiben.

⁵⁴¹ In dieser Arbeit werden nur gebrannte Ziegel betrachtet, da diese einen höheren Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} aufweisen als getrocknete.

⁵⁴² Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 5

⁵⁴³ Vgl. ARENDT, C.; SEELE, J.: Feuchte und Salze in Gebäuden. 2. Aufl. Leinfelden-Echterdingen : Verlagsanstalt Alexander Koch, 2001, S. 18; IP BAU (Hrsg.): Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, S. 29; KLAAS, H.; SCHULZ, E.: Schäden an Außenwänden aus Ziegel- und Kalksandstein-Verblendmauerwerk. 2. Aufl. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2002, S. 43, S. 113, S. 121, S. 131

| Merkmal | Abnutzungsmerkmale | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------------------|-----------------------|------------|-----------------|--|---------------------|---------------------------------|---------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | Baustatische Merkmalsklasse | | | | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | | Bauphysikalische Merkmalsklasse | | | Optische Merkmalsklasse | | |
| | Riss | Tragfähigkeitsverlust | Verformung | Volumenänderung | Baustoffabtrag | Biologischer Befall | Brandschutz | Feuchteschutz | Schallschutz | Wärmeschutz | Ablagerung (reversibel) | Ablagerung (irreversibel) |
| qualitätsbezogen | Dauerstandfestigkeit | x | | | | | | | | | | |
| | Dichte | | | | | | | x | | | | |
| | Dichtigkeit | | | | | | | x | | | | |
| | Druckfestigkeit | x | | | | | | | | | | |
| | Feuerbeständigkeit | | | | | | x | | | | | |
| | Porosität | | | | | | | x | | | | |
| | Schallabsorptionsvermögen | | | | | | | | x | | | |
| | Schichtdicke | | | | | x | | | | | | |
| | Standsicherheit | x | | | | | | | | | | |
| | Tragfähigkeit | x | | | | | | | | | | |
| schadensbezogen | Wasserundurchlässigkeit | | | | | | | x | | | | |
| | Abblätterung | | | | | x | | | | | | |
| | Abbruch | | | | | x | | | | | | |
| | Ablösung | | | | | x | | | | | | |
| | Abplatzung | | | | | x | | | | | | |
| | Absandung | | | | | x | | | | | | |
| | Algenbefall | | | | | | x | | | | | |
| | Ausblühung | | | | | | | | | | | x |
| | Moosbefall | | | | | | x | | | | | |
| | Riss | x | | | | | | | | | | |
| Schalenbildung | | | | | x | | | | | | | |
| Verkrustung | | | | | | | | | | | x | |

x = Zuordnung

Abb. 326: Abnutzungsmerkmale des Baustoffs Ziegel⁵⁴⁴

⁵⁴⁴ Vgl. ARENDT, C.; SEELE, J.: Feuchte und Salze in Gebäuden. 2. Aufl. Leinfelden-Echterdingen : Verlagsanstalt Alexander Koch, 2001, S. 18; IP BAU (Hrsg.): Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, S. 29; KLAAS, H.; SCHULZ, E.: Schäden an Außenwänden aus Ziegel- und Kalksandstein-Verblendmauerwerk. 2. Aufl. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2002, S. 43, S. 113, S. 121, S. 131

Folgende Merkmale werden vorrangig zur Zustandsbewertung des Baustoffs Ziegel verwendet:⁵⁴⁵

- Tragfähigkeitsverlust
- **Baustoffabtrag** wie Abblätterung, Abbruch, Ablösung, Abplatzung, Absandung und Schalenbildung
- **Ablagerungen (irreversibel)** wie Ausblühung und Verkrustung
- Riss
- Probleme mit Dichtigkeit (Verminderung des **Feuchteschutzes**)
- **Biologischer Befall** wie Algen- bzw. Moosbefall⁵⁴⁶.

Insbesondere durch Baustoffabtrag kann der **Brandschutz** wie auch der **Schallschutz** beeinträchtigt werden.

In der einschlägigen Fachliteratur werden häufig Schadensbilder am Baustoff Ziegel in Verbindung mit Feuchtigkeit und der damit verbundenen Beeinträchtigung des **Wärmeschutzes** beschrieben.⁵⁴⁷ Wasser hat jedoch keine direkte schädigende Wirkung auf Ziegel und wird deshalb nicht innerhalb des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats unter dem Abnutzungsmerkmal Wärmeschutz berücksichtigt.⁵⁴⁸ Feuchtigkeit begünstigt lediglich die Abnutzung z. B. in Form von Algen- und Moosbefall (**biologischer Befall**) sowie Ausblühung (**Ablagerungen (irreversibel)**). Auch Abplatzungen (Baustoffabtrag) werden u. a. durch Frostsprengung (Feuchtigkeit und negative Temperaturen) verursacht.

⁵⁴⁵ Vgl. ARENDT, C.; SEELE, J.: Feuchte und Salze in Gebäuden. 2. Aufl. Leinfelden-Echterdingen : Verlagsanstalt Alexander Koch, 2001, S. 18; IP BAU (Hrsg.): Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, S. 29; KLAAS, H.; SCHULZ, E.: Schäden an Außenwänden aus Ziegel- und Kalksandstein-Verblendmauerwerk. 2. Aufl. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2002, S. 43, S. 113, S. 121, S. 131

⁵⁴⁶ Vgl. KLAAS, H.; SCHULZ, E.: Schäden an Außenwänden aus Ziegel- und Kalksandstein-Verblendmauerwerk. 2. Aufl. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2002, S. 176 f.

⁵⁴⁷ Vgl. bspw. IP BAU (Hrsg.): Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, S. 111 ff.

⁵⁴⁸ Je nach Bauelement, Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik kann das Abnutzungsmerkmal Wärmeschutz mit in das System zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats einbezogen werden (z. B. bei der Berücksichtigung von Versottungsschäden bei Schornsteinen).

Für die baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für den Baustoff Ziegel wird in statisch relevante und statisch nicht relevante Bauelemente unterschieden.

Für **statisch relevante Bauelemente** (z. B. tragende Wände und Stützen) aus dem Baustoff Ziegel werden mittels paarweisem Vergleich⁵⁴⁹ die Knotengewichte für die Merkmalsklassen entsprechend Abb. 327 ermittelt. Die Bestimmung der Knotengewichte der gemäß Abb. 326 relevanten Abnutzungsmerkmale erfolgt in Abb. 328 bis Abb. 331. Nichtrelevante Abnutzungsmerkmale erhalten keinen Eintrag in den entsprechenden Matrixfeldern und in der Zeilensumme.

Eine Übersicht über alle Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale von Ziegel für statisch relevante Bauelemente wird in Abb. 332 gegeben. Eine grafische Übersicht über die Stufengewichte zeigt Abb. 333.

| Zeile | Merkmal oder Merkmals- klasse | Zeile 1 | Zeile 2 | Zeile 3 | Zeile 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Baustatische Merkmalsklasse | - | 3 | 3 | 3 | 9 | 0,3750 |
| 2 | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | 1 | - | 3 | 3 | 7 | 0,2917 |
| 3 | Bauphysikalische Merkmalsklasse | 1 | 1 | - | 3 | 5 | 0,2083 |
| 4 | Optische Merkmalsklasse | 1 | 1 | 1 | - | 3 | 0,1250 |
| Gesamtsumme | | | | | | 24 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 327: Gewichtung der Merkmalsklassen – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Ebene 1

⁵⁴⁹ Bezüglich des paarweisen Vergleichs s. Abschnitt IV3.3.1

| Zelle | Merkmal oder Merkmals-klasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilesumme | Gewichtung |
|--------------------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|------------|---------------|
| 1 | Riss | - | 1 | | | 1 | 0,2500 |
| 2 | Tragfähigkeitsverlust | 3 | - | | | 3 | 0,7500 |
| 3 | Verformung | | | - | | | |
| 4 | Volumenänderung | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 328: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 1

| Zelle | Merkmal oder Merkmals-klasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilesumme | Gewichtung |
|--------------------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|------------|---------------|
| 1 | Baustoffabtrag | - | 3 | | | 3 | 0,7500 |
| 2 | Biologischer Befall | 1 | - | | | 1 | 0,2500 |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 329: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 2

| Zelle | Merkmal oder Merkmals-klasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Brandschutz | - | 1 | 3 | | 4 | 0,3333 |
| 2 | Feuchteschutz | 3 | - | 3 | | 6 | 0,5000 |
| 3 | Schallschutz | 1 | 1 | - | | 2 | 0,1667 |
| 4 | Wärmeschutz | | | | - | 0 | 0,0000 |
| Gesamtsumme | | | | | | 12 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 330: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 3

| Zelle | Merkmal oder Merkmals-klasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Ablagerung (reversibel) | - | | | | | |
| 2 | Ablagerung (irreversibel) | 4 | - | | | 4 | 1,0000 |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 331: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 4

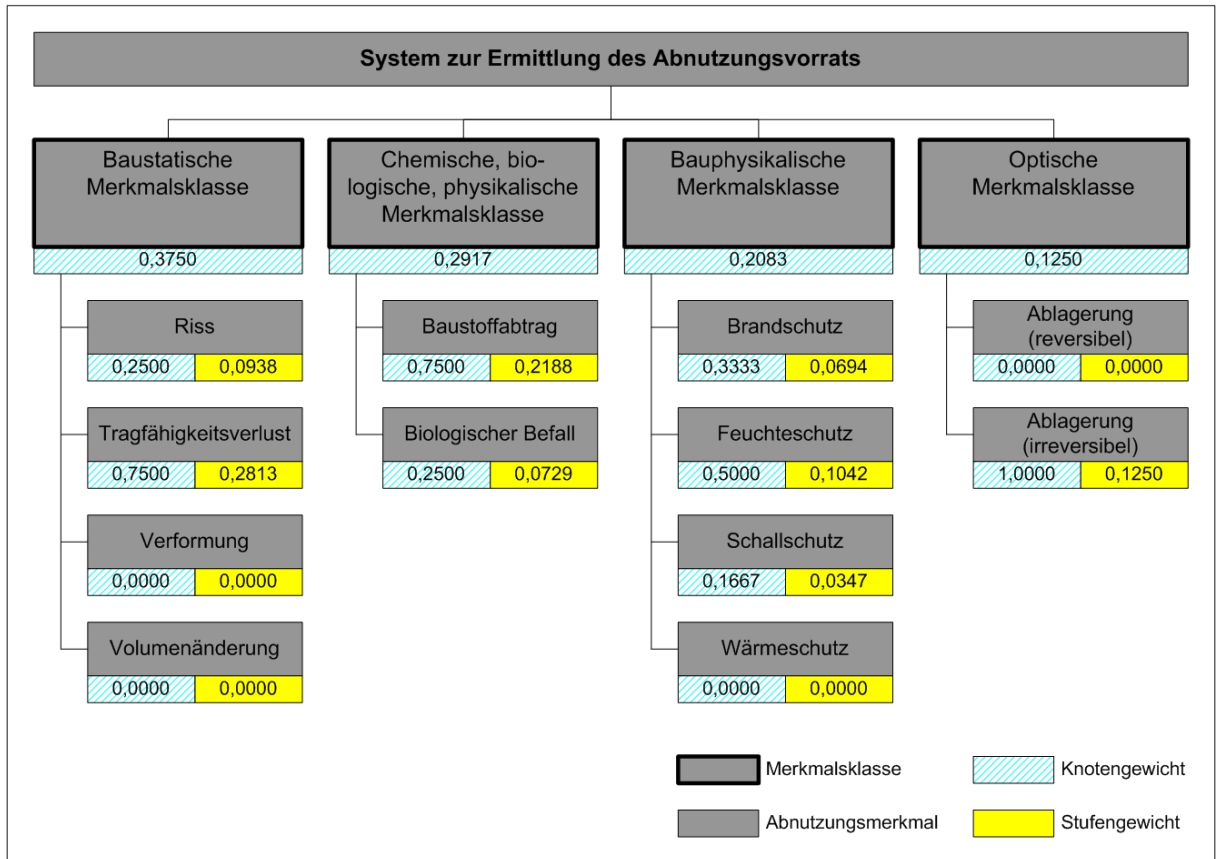


Abb. 332: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch relevante Bauelemente⁵⁵⁰

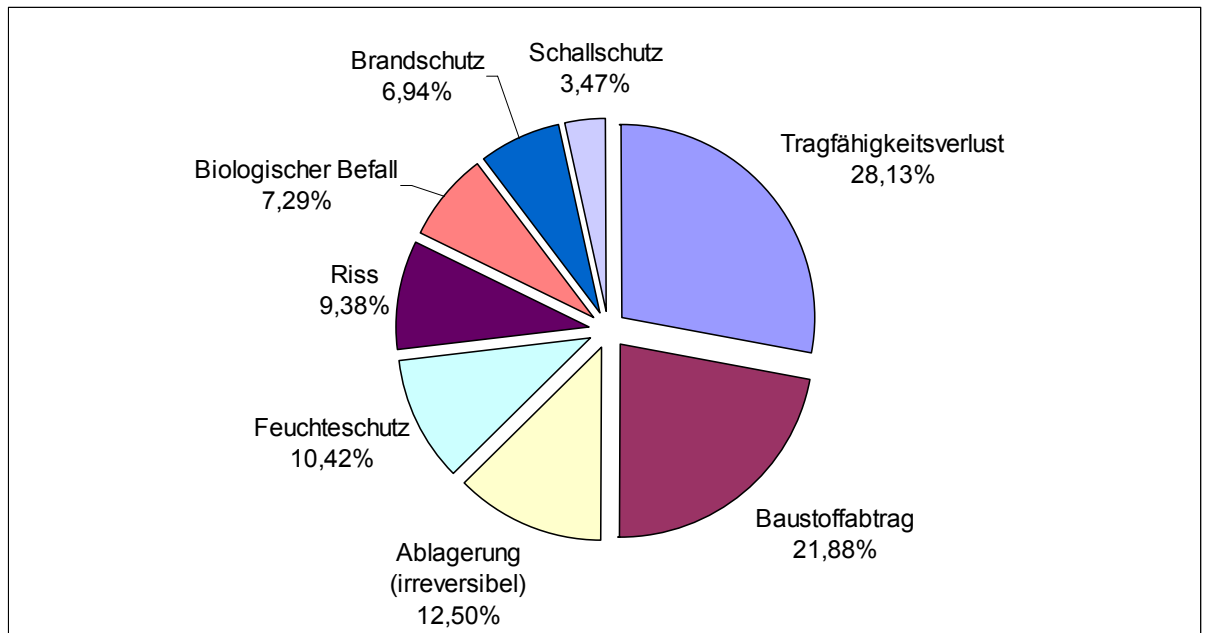


Abb. 333: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch relevante Bauelemente

⁵⁵⁰ Die Gewichtung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

Die baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für Ziegel für statisch relevante Bauelemente entsprechend Abb. 332 wird durch den Vorschlag der einschlägigen Fachliteratur zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Ziegel (statisch relevante Bauelemente) gemäß Abb. 334 untermauert. In dieser Beschreibung werden Schadensbilder aufgezeigt, die fünf Zustandsstufen zugeordnet werden können. Die Schadensbilder umfassen u. a. Tragfähigkeitsverlust (z. B. durch Überbeanspruchung), Baustoffabtrag (z. B. durch Abplatzung, Abschuppung und Abschieferung bzw. Abblätterung), Ablagerung durch Ausblühungen, Beeinträchtigungen des Feuchteschutzes (z. B. Durchfeuchtung aufgrund von Spaltungen und Fehlstellen), Risse, biologischen Befall durch Algen, Moose sowie Pflanzen. Auf die Beeinträchtigungen des Brand- und Schallschutzes wird nicht explizit eingegangen, diese werden aber indirekt bspw. durch Fehlstellen im Verband bestätigt.

| Zustandsstufe | Bewertung des Zustands | Beschreibung des Zustands |
|---------------|------------------------|---|
| 1 | Guter Zustand | Es sind keine bzw. nur kleinere Abplatzungen, Abschieferungen oder Ausblühungen sowie oberflächliche Zersetzungserscheinungen der Steine feststellbar. Auch in den Fugen sind vereinzelt Risse oder örtlich sehr begrenzte Ausbrüche festzustellen. Der Fugenmörtel ist aber noch hart. Flecken, die verschiedene Feuchtigkeitsgrade andeuten, sind unbedeutend. |
| 2 | Annehmbarer Zustand | Einige kleinere Schäden, wie beispielsweise leichte Abplatzungen und Verwitterungen, die im Rahmen von Routineunterhaltsarbeiten behoben werden können, sind feststellbar. Insgesamt sind aber weniger als 10 % der Konstruktion angegriffen oder beschädigt. Flecken können auf unterschiedliche Feuchtigkeitsgehalte in den Steinen hinweisen; da ihre Ausbreitung örtlich begrenzt ist, sind sie noch nicht als gravierend einzustufen, können aber infolge der Frostgefahr auf mögliche zukünftige Schadensbildungen hinweisen. Es treten Risse mit Ausblühungen oder abgeplatzten Teilen auf. |
| 3 | Schadhafter Zustand | Stärkere Rissbildung, Abwitterungen, Abplatzungen, Spaltungen und chemische Veränderungen, die bis in tiefere Zonen der Steine reichen, können festgestellt werden. Infolge starker Abschuppungserscheinungen können 20 % bis 40 % der Oberfläche zerstört oder angegriffen sein. Naßstellen sind weit verbreitet. Es treten einige durchgehende Risse mit bedeutenden Ausblühungen auf. |
| 4 | Schlechter Zustand | Fortgeschrittene Abwitterungen oder Abplatzungen sind feststellbar. Über 25 % der Oberfläche sind abgeplatzt oder angegriffen. Ausblühungen können aber auch flächenhaft über ganze Bauteile auftreten, ebenso feuchte Stellen. Gelockerte Steine und verbreitete Fugenmörtelausbrüche sind zu beobachten. In den durchfeuchteten Zonen setzen sich Algen und Moos an. Es treten umfangreiche durchgehende Risse mit Ausblühungen über die ganze Oberfläche auf. |
| 5 | Alarmierender Zustand | Örtlich haben sich Steine aus dem Verband gelöst, damit können lokale Verformungen auftreten. Verwitterungen, Abplatzungen, Ausblühungen und Naßstellen treten über mehr als 50 % der Oberfläche auf. Große, durch Fugen und/oder Steine verlaufende Risse zeigen, daß sich einzelne Bauteile wie Flügelmauern oder Wangen vom Widerlager oder vom Gewölbe lösen. Über mehr als 15 % der Oberfläche sind einzelne Steine oder Steinpartien aus dem Verband gelöst. Überdies weisen starke Risse auf Überbeanspruchungen im Bauwerk hin. Es haben sich Pflanzen mit ihren Wurzeln in den Fugen festgesetzt und beginnen das Gefüge aufzusprengen. Es treten deutlich erkennbare, nicht planmäßige, bleibende Verformungen auf. |

Abb. 334: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Ziegel, statisch relevante Bauelemente⁵⁵¹

⁵⁵¹ Vgl. IP BAU (Hrsg.): Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, S. 111 ff.

Beispiel zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für statisch relevante Bauelemente

In Abb. 335 bis Abb. 348 wird ein Beispiel für die Ermittlung eines Wertes für den Abnutzungsvorrat AV anhand einer konkreten Bestandsaufnahme gegeben. Hierbei handelt es sich um eine tragende Außenwand einer Wohnimmobilie. Das Gebäude diente ursprünglich nicht als Wohnhaus, sondern war Teil eines Gehöfts. Ein vorhandenes Tor wurde mittlerweile zugemauert. Die dafür verwendeten Ziegel sind nicht Gegenstand dieser Bestandsaufnahme. Es werden ausschließlich die Ziegel des Mauerwerks aus dem Jahre 1883 untersucht, deren Steine dunkler sind (vgl. Abb. 336). Den Grund für die Farbe der Steine stellen Verkrustungen (Ablagerung (irreversibel)) dar. Zusätzlich weist der Ziegel Baustoffabtrag in Form von Abbruch auf. Wegen einer Fehlstelle im Mauerwerk sind der Brand-, Feuchte- sowie Schallschutz der Außenwand nicht mehr gewährleistet. Auch die vorhandenen durchgehenden größeren Risse sorgen für Undichtigkeiten. Biologischer Befall ist nicht vorhanden. Die Tragfähigkeit des Mauerwerks ist gewährleistet.

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | | Bl. 1 | |
|---|--|--|--------------------------------------|--|--------|
| Allgemeine Angaben | Bauelement | Außenwand | | | |
| | Baustoff | Ziegel | | | |
| | Statische Relevanz | Statisch relevant | | | |
| | Standort | Dortmund | | | |
| | Art der Immobilie | Wohnimmobilie (ehemaliges Gehöft) | | | |
| | Zeitpunkt t_n der Bestandsaufnahme | 01.05.2010 | | | |
| | Erstellungsdatum des Bauelements | 1883 | | | |
| | Alter des Bauelements | 127 Jahre | | | |
| | Weitere Angaben | Die Immobilie diente ursprünglich nicht als Wohnhaus. Ein vorhandenes Tor wurde mittlerweile zugemauert. Die dafür verwendeten Ziegel sind nicht Gegenstand dieser Bestandsaufnahme. Es werden ausschließlich die Ziegel des Mauerwerks aus dem Jahre 1883 untersucht. Dies sind die dunkleren Steine gemäß Bl. 2. | | | |
| Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | Abnutzungsmerkmal | Stufengewicht (gemäß Bl. 4) | Einheitsskalenwert (gemäß Bl. 5 ff.) | Abnutzung A (= Stufengewicht · Einheitsskalenwert) | |
| | Ablagerung (irreversibel) | 0,1250 | 1,0000 | 0,1250 | |
| | Ablagerung (reversibel) | | | | |
| | Baustoffabtrag | 0,2188 | 0,6000 | 0,1313 | |
| | Biologischer Befall | 0,0729 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Brandschutz | 0,0694 | 1,0000 | 0,0694 | |
| | Feuchteschutz | 0,1042 | 1,0000 | 0,1042 | |
| | Riss | 0,0938 | 0,8000 | 0,0750 | |
| | Schallschutz | 0,0347 | 0,4000 | 0,0139 | |
| | Tragfähigkeitsverlust | 0,2813 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Verformung | | | | |
| | Volumenänderung | | | | |
| | Wärmeschutz | | | | |
| | Gesamtabnutzung $A_{ges} = \sum A$ | | | | 0,5188 |
| | Abnutzungsvorrat $AV_{tn} = 1 - A_{ges}$ | | | | 0,4812 |
| Mittel schadhafter Bereich | | | | | |

Abb. 335: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 1

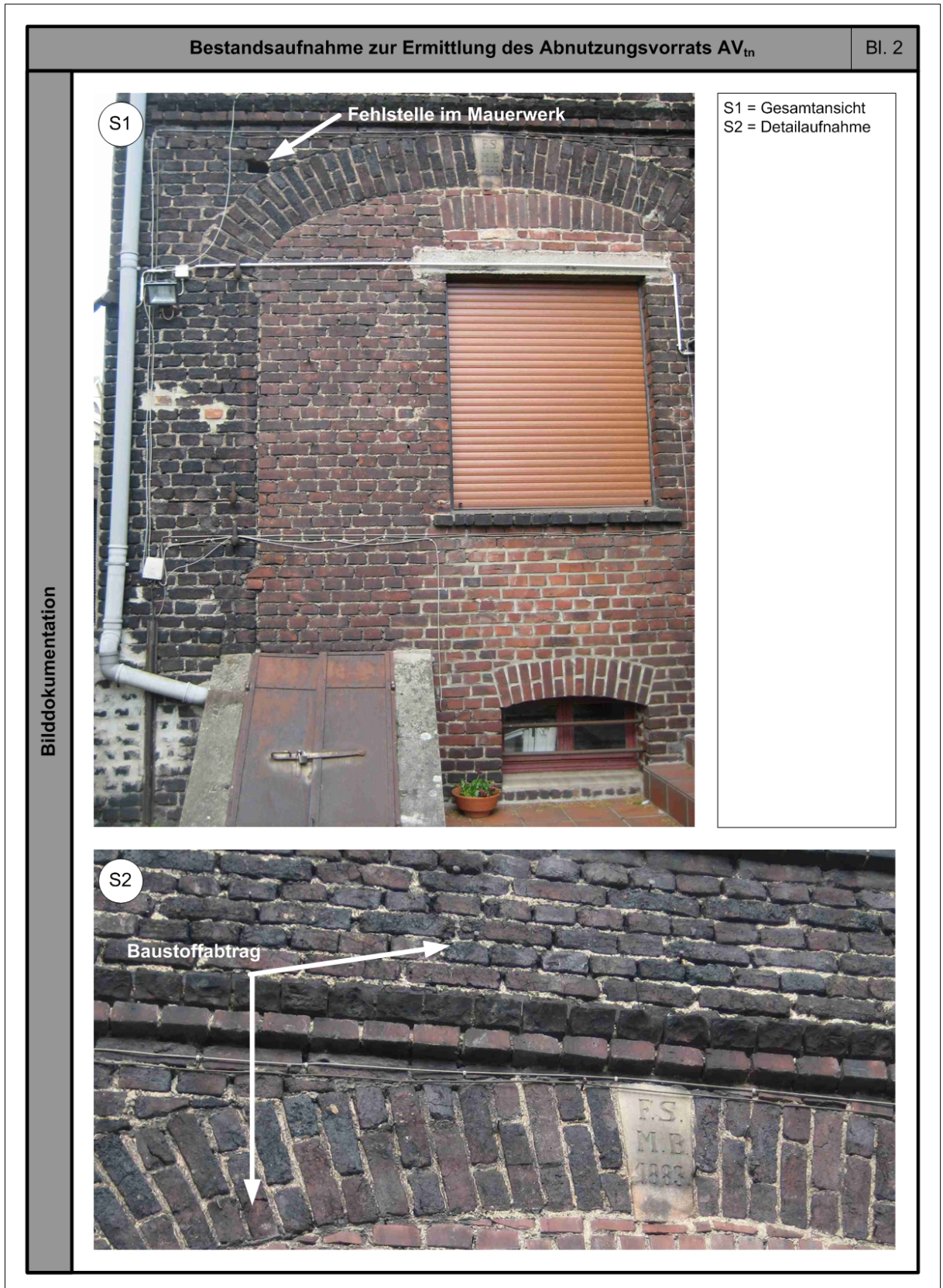


Abb. 336: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 2

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 3 |
|---|---------------------------|--|
| Zustandsbeschreibung | Abnutzungsmerkmal | Beschreibung |
| | Ablagerung (irreversibel) | Verkrustung der Gesamtfläche (betroffene Fläche ~ 100 m ² ; Gesamtfläche = 100 m ²) |
| | Ablagerung (reversibel) | |
| | Baustoffabtrag | Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) in Form von Abbruch vorhanden (Schadensfläche ~ 0,5 m ² ; Gesamtfläche 100 m ² ; Ist-Schichtdicke ~ 140 mm Gesamtschichtdicke = 175 mm) |
| | Biologischer Befall | Kein biologischer Befall |
| | Brandschutz | Brandschutz aufgrund einer Fehlstelle im Mauerwerk nicht mehr gewährleistet |
| | Feuchteschutz | Feuchteschutz ist aufgrund durchgehender Risse in einigen Ziegeln und der damit verbundenen Undichtigkeit sowie einer Fehlstelle im Mauerwerk nicht mehr gewährleistet |
| | Riss | Größere durch das gesamte Bauelement hindurchgehende Risse vorhanden (Rissbreite ~ 2 mm; Risstiefe über die volle Bauelementdicke) |
| | Schallschutz | Schallschutz aufgrund einer Fehlstelle im Mauerwerk nicht mehr gewährleistet (Ist-Schalldämm-Maß = 50 dB; gefordertes Schalldämm-Maß = 53 dB) |
| | Tragfähigkeitsverlust | Tragfähigkeit vorhanden |
| | Verformung | |
| | Volumenänderung | |
| | Wärmeschutz | |
| | Bemerkung | Gegenstand dieser Bestandsaufnahme sind ausschließlich die Ziegel des Mauerwerks aus dem Jahre 1883 (dunkle Steine gemäß Bl. 2). |

Abb. 337: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 3

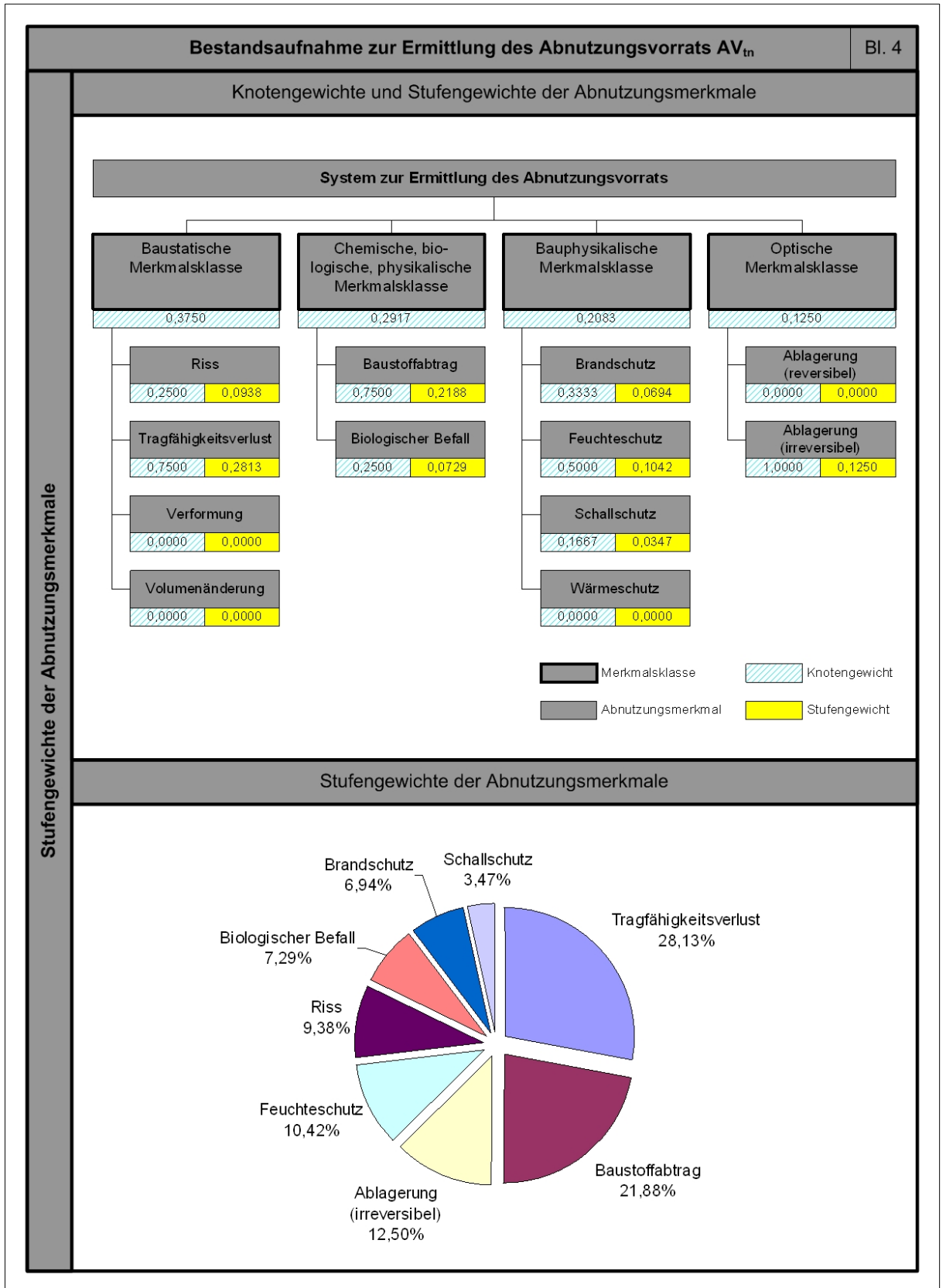


Abb. 338: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 4


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 5 | |
|---|--|-------------------|------|
| Abnutzungsmerkmal Ablagerung (irreversibel) | | | |
| Ermittlung der Einheitskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitskalenwert | |
| | | 0 | 0,00 |
| | |]0, 1] | 0,20 |
| | |]1, 5,5] | 0,40 |
| | |]5,5, 19,2] | 0,60 |
| | |]19,2, 43,8] | 0,80 |
| |]43,8, 100] | 1,00 | |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{100 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 100 \%$ | W_1 = Schadensfläche ~ 100 m ² W_2 = Gesamtfläche = 100 m ² | | |

Abb. 339: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 5

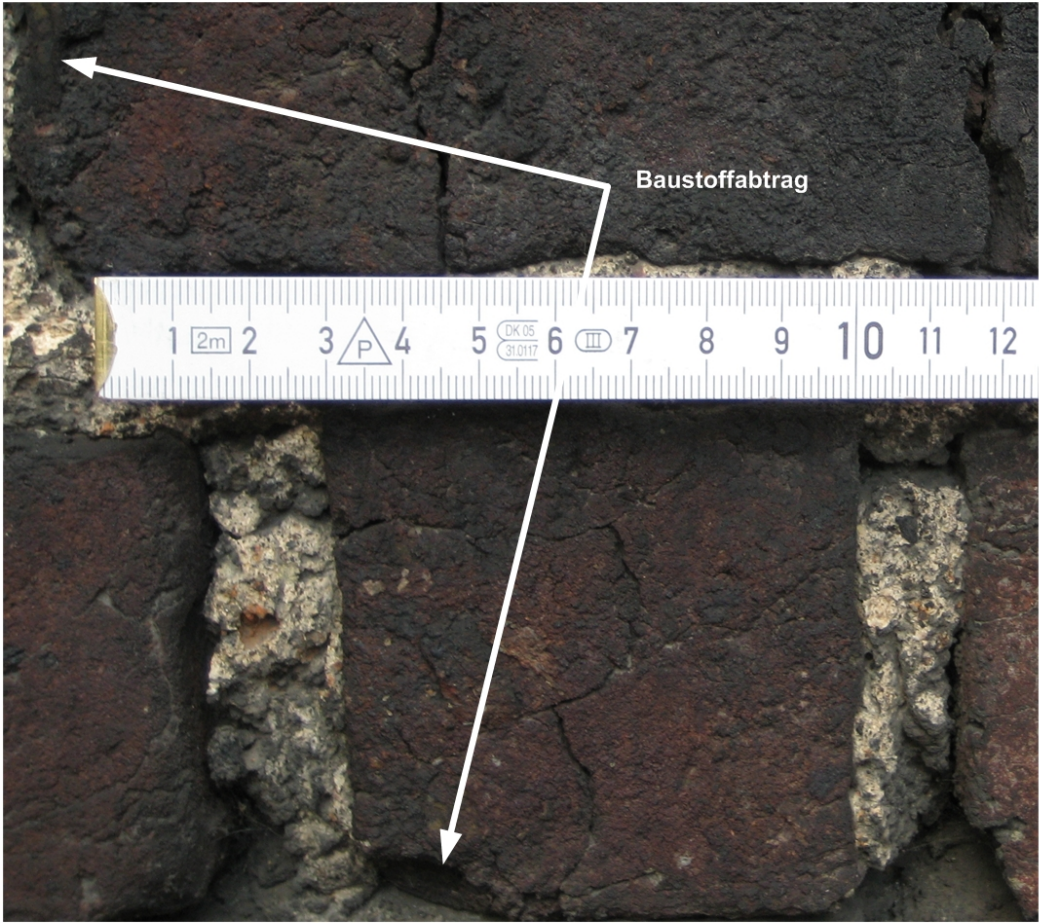
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 6 | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|---|------|-----------|------|-------------|------|----------|------|--------|------|----------|
| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | | | | | | | | | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | | | | | | | | | | | |
| | Merkmalsaspekt Schadensfläche des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | | | | | | | | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | | | | | | | | | | | |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{0,5 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 0,5 \%$ | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">0,00</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]0, 0,05]</td><td style="text-align: center;">0,20</td></tr> <tr style="background-color: yellow;"><td style="text-align: center;">]0,05, 0,5]</td><td style="text-align: center;">0,40</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]0,5, 1]</td><td style="text-align: center;">0,60</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]1, 8]</td><td style="text-align: center;">0,80</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">]8, 100]</td><td style="text-align: center;">1,00</td></tr> </table> | 0 | 0,00 |]0, 0,05] | 0,20 |]0,05, 0,5] | 0,40 |]0,5, 1] | 0,60 |]1, 8] | 0,80 |]8, 100] |
| 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | |
|]0, 0,05] | 0,20 | | | | | | | | | | | | |
|]0,05, 0,5] | 0,40 | | | | | | | | | | | | |
|]0,5, 1] | 0,60 | | | | | | | | | | | | |
|]1, 8] | 0,80 | | | | | | | | | | | | |
|]8, 100] | 1,00 | | | | | | | | | | | | |
| W_1 = Schadensfläche = 0,5 m ² W_2 = Gesamtfläche = 100 m ² | | | | | | | | | | | | | |

Abb. 340: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 6

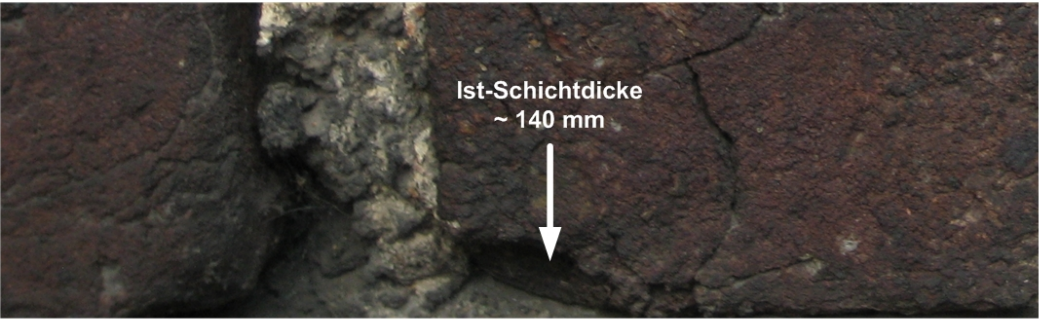
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 7 |
|--|------------|--------------------|
| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | |
|  | | |
| Merkmalsaspekt Schichtdicke des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | |
| Merkmalsausprägung MA [%] | | Einheitsskalenwert |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{140 \text{ mm}}{175 \text{ mm}} \cdot 100 \%$ $MA = 80 \%$ | 100 | 0,00 |
| | [95, 100[| 0,20 |
| | [90, 95[| 0,40 |
| | [80, 90[| 0,60 |
| | [60, 80[| 0,80 |
| | [0, 60[| 1,00 |
| W_1 = Ist-Schichtdicke ~ 140 mm W_2 = Referenz-Schichtdicke ~ 175 mm | | |
| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | |
| Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | | Einheitsskalenwert |
| $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{komb} = 0,40 \cdot 0,25 + 0,60 \cdot 0,75$ $MA_{komb} = 0,55$ | 0 | 0,00 |
| |]0, 0,2] | 0,20 |
| |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| |]0,8, 1] | 1,00 |
| MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensfläche = 0,40 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schichtdicke = 0,60 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,75$) | | |

Abb. 341: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 7


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 8 | |
|--|--|--------------------|------|
| Ermittlung der Einheitskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | |
| | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | |
| | $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{komb} = 0,00 \cdot 0,50 + 0,00 \cdot 0,50$ $MA_{komb} = 0,00$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,2] | 0,20 |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| | |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| | |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| | |]0,8, 1] | 1,00 |
| | MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensart = 0,00 (kein biologischer Befall) ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schadensgröße = 0,00 (kein biologischer Befall) G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,5$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,5$) | | |
| | Abnutzungsmerkmal Brandschutz | | |
|  | | | |
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | | |
| Einhaltung des Brandschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | Ja | 0,00 | |
| | Nein | 1,00 | |
| Abnutzungsmerkmal Feuchteschutz | | | |
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | | |
| Einhaltung des Feuchteschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | Ja | 0,00 | |
| | Nein | 1,00 | |

Abb. 342: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 8

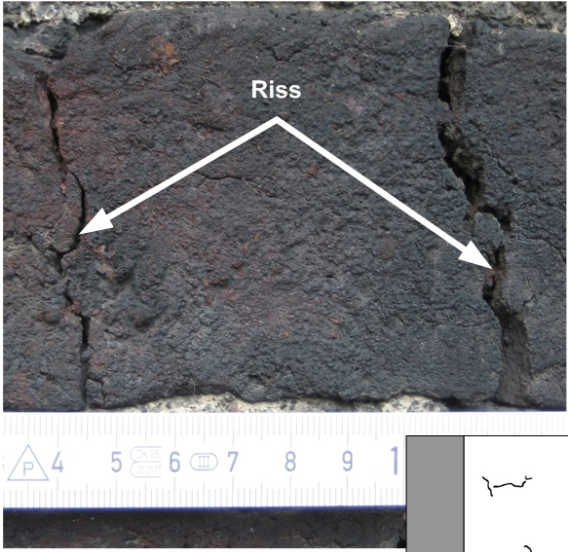
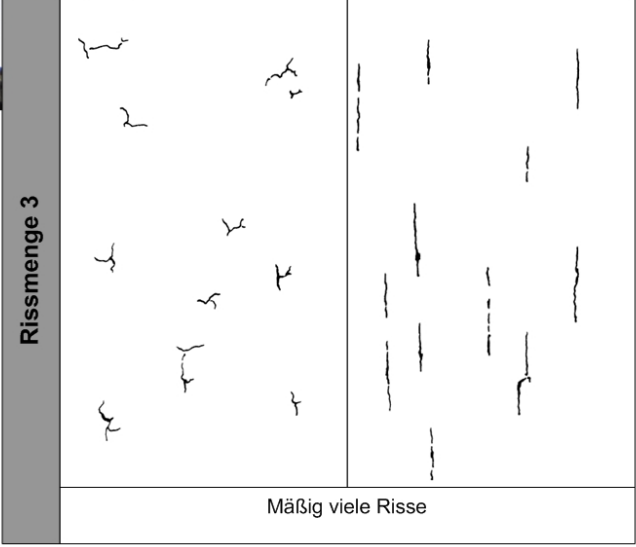
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 9 |
|---|---|--------------------|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | |
| |  | Mäßig viele Risse |
| | Merkmalsaspekt Rissmenge des Abnutzungsmerkmals Riss | |
| | Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert |
| | 0 | 0,00 |
| | 1 | 0,20 |
| | 2 | 0,40 |
| Rissmenge gemäß DIN EN ISO 4628-4 | 3 | 0,60 |
| | 4 | 0,80 |
| | 5 | 1,00 |

Abb. 343: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 9


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | Bl. 10 | | |
|---|---|---|---|--------------------|------|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | | | |
| | Merkmalsaspekt Rissbreite des Abnutzungsmerkmals Riss | | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [mm] | | | Einheitsskalenwert | |
| | Kennwert gemäß DIN EN ISO 4628-4 | 0 | Keine sichtbaren Risse bei 10facher Vergrößerung | 0 | 0,00 |
| | | 1 | Nur bei bis zu 10facher Vergrößerung sichtbare Risse |]0, 0,1] | 0,20 |
| | | 2 | Gerade sichtbare Risse mit bloßem Auge (auf Normalsichtigkeit korrigiertes Sehvermögen) |]0,1, 0,2] | 0,40 |
| | | 3 | Deutlich sichtbare Risse mit bloßem Auge (auf Normalsichtigkeit korrigiertes Sehvermögen) |]0,2, 0,4] | 0,60 |
| | | 4 | Breite Risse, bis zu 1 mm breit |]0,4, 1] | 0,80 |
| | | 5 | Sehr breite Risse, mehr als 1 mm breit |]1, ∞[| 1,00 |

Abb. 344: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 10

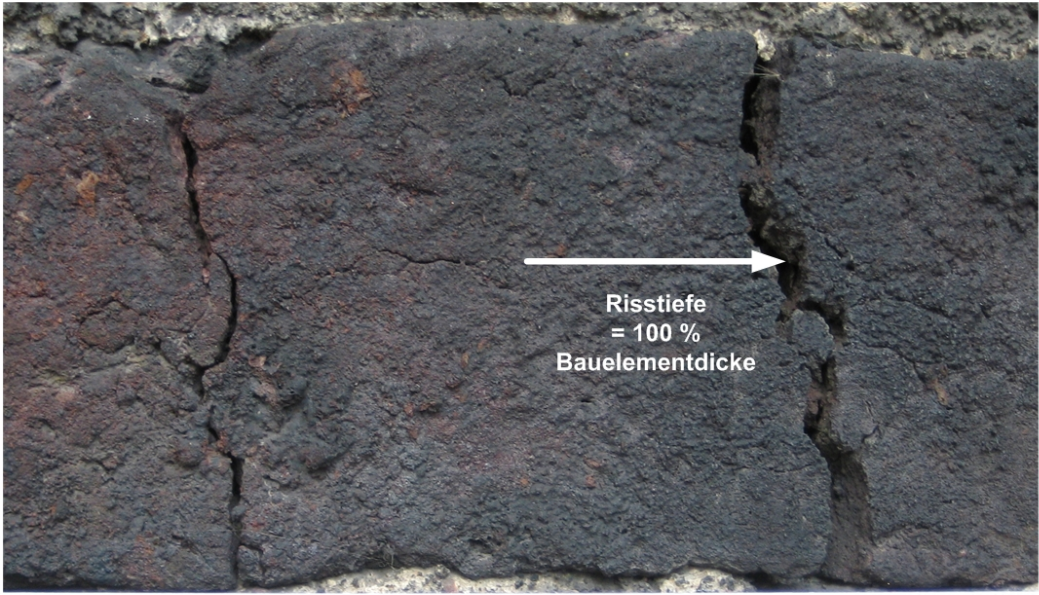
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 11 | |
|---|--|---|--------------------|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | |
| | Merkmalsaspekt Risstiefe des Abnutzungsmerkmals Riss | | |
| | Risstiefe gemäß DIN EN ISO 4628-4 | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert |
| | Kein Riss | 0 | 0,00 |
| | Oberflächenrisse, die nicht durch das gesamte Bauelement hindurchgehen | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{175 \text{ mm}}{175 \text{ mm}} \cdot 100 \%$ $MA = 100 \%$ |]0, 30] |
| | Risse, die durch das gesamte Bauelement hindurchgehen | 100 | 1,00 |
| Risse, die durch das gesamte Bauelement und angrenzende Bauelemente hindurchgehen |]100, ∞[| Berücksichtigung erfolgt im angrenzenden Bauelement | |
| W_1 = Risstiefe = 175 mm W_2 = Bauelementdicke = 175 mm | | | |

Abb. 345: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 11

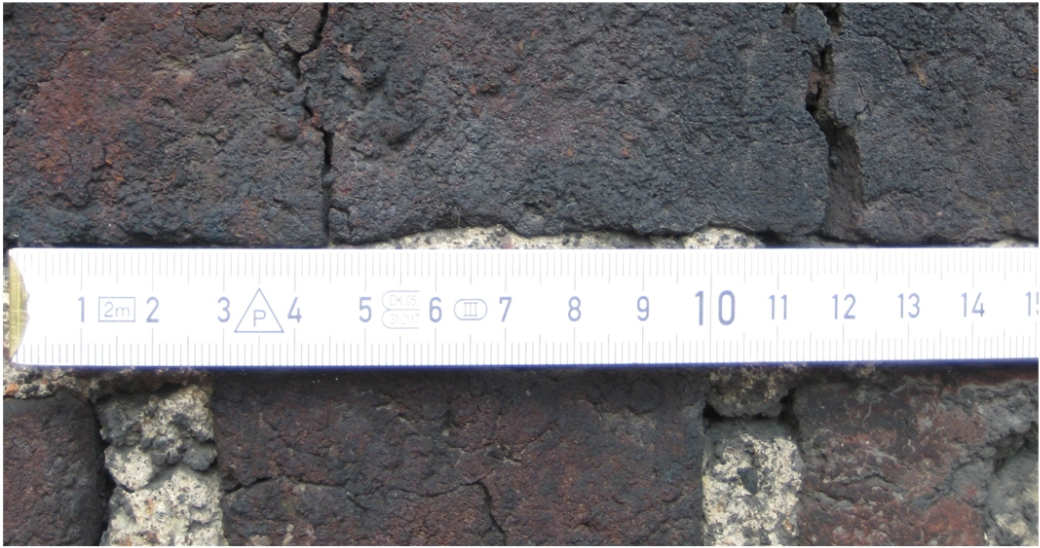
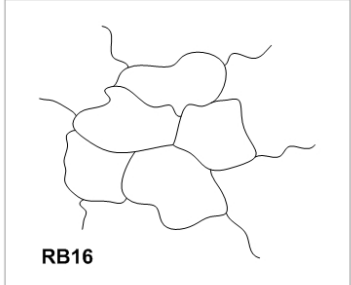
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 12 | |
|---|--|---|--------------------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Riss | | |
| |  | | |
| | <p>Rissbild: Zuordnung zu Netzzissen (Risse durch Quell- und Schwindprozesse)</p> |  <p>RB16</p> | |
| | Merkmalsaspekt Rissbild des Abnutzungsmerkmals Riss | | |
| | Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert |
| Rissbild | Kein Riss | K. A. | 0,00 |
| | Rissursache kann mit mäßigem Aufwand behoben werden | RB5, RB15 | 0,20 |
| | Rissursache kann mit hohem Aufwand behoben werden | RB4, RB6, RB7, RB9, RB10, RB11, RB12, RB13, RB14, RB16, RB17 | 0,60 |
| | Rissursache kann nur mit sehr hohem Aufwand behoben werden | RB1, RB2, RB3, RB8 | 1,00 |

Abb. 346: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 12

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 13 |
|--|--|--------------------|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | |
| Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | | Einheitsskalenwert |
| | | 0 |
| | |]0, 0,2] |
| | |]0,2, 0,4] |
| | |]0,4, 0,6] |
| | |]0,6, 0,8] |
| | |]0,8, 1] |
| $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2 + ESW_3 \cdot G_3 + ESW_4 \cdot G_4$ $MA_{komb} = 0,60 \cdot 0,25 + 1,00 \cdot 0,25 + 1,00 \cdot 0,25 + 0,60 \cdot 0,25$ $MA_{komb} = 0,80$ | | 0,00 |
| | | 0,20 |
| | | 0,40 |
| | | 0,60 |
| | | 0,80 |
| | | 1,00 |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Rissmenge = 0,60 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Rissbreite = 1,00 ESW_3 = Einheitsskalenwert 3 des Merkmalsaspekts Risstiefe = 1,00 ESW_4 = Einheitsskalenwert 4 des Merkmalsaspekts Rissbild = 0,60 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,25$) G_3 = Gewichtungsfaktor 3 (mit $G_3 = 0,25$) G_4 = Gewichtungsfaktor 4 (mit $G_4 = 0,25$) | |

Abb. 347: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 13

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | | Bl. 14 | |
|--|---|------|---|--------------------|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Schallschutz | | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | | | Einheitsskalenwert | |
| | Einhaltung des Schallschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | Ja | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ | [100, ∞[| 0,00 |
| | | Nein | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{50 \text{ dB}}{53 \text{ dB}} \cdot 100 \%$ $MA = 94,34 \%$ | [98, 100[| 0,20 |
| | [94, 98[| | | 0,40 | |
| | [86, 94[| | | 0,60 | |
| | [70, 86[| | | 0,80 | |
| | [0, 70[| | | 1,00 | |
| | W_1 = Ist-Schalldämm-Maß = 50 dB W_2 = gefordertes Schalldämm-Maß = 53 dB | | | | |
| | Abnutzungsmerkmal Tragfähigkeitsverlust | | | | |
| Merkmalsausprägung MA | | | Einheitsskalenwert | | |
| Einhaltung der Tragfähigkeit gemäß Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen und anerkannten Regeln der Technik | Ja | | | 0,00 | |
| | Nein | | | 1,00 | |

Abb. 348: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch relevante Bauelemente – Bl. 14

Ermittlung der Stufengewichte für statisch nicht relevante Bauelemente

Für **statisch nicht relevante Bauelemente** (z. B. Dacheindeckung) aus dem Baustoff Ziegel werden mittels paarweisem Vergleich⁵⁵² die Knotengewichte für die Merkmalsklassen entsprechend Abb. 349 ermittelt. Die Bestimmung der Knotengewichte der gemäß Abb. 326 relevanten Abnutzungsmerkmale erfolgt in Abb. 350 bis Abb. 353. Nichtrelevante Abnutzungsmerkmale erhalten keinen Eintrag in den entsprechenden Matrixfeldern und in der Zeilensumme.

Im Gegensatz zu den statisch relevanten Bauelementen aus dem Baustoff Ziegel wird für die statisch nicht relevanten Bauelemente die baustatische Merkmalsklasse (vgl. Abb. 349), und hier insbesondere das Abnutzungsmerkmal Tragfähigkeitsverlust (vgl. Abb. 350), nicht so hoch gewichtet.

| Zeile | Merkmal oder Merkmals- klasse | Zeile 1 | Zeile 2 | Zeile 3 | Zeile 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Baustatische Merkmalsklasse | - | 1 | 3 | 3 | 7 | 0,2917 |
| 2 | Chemische, biologische, physikalische Merkmalsklasse | 3 | - | 3 | 3 | 9 | 0,3750 |
| 3 | Bauphysikalische Merkmalsklasse | 1 | 1 | - | 3 | 5 | 0,2083 |
| 4 | Optische Merkmalsklasse | 1 | 1 | 1 | - | 3 | 0,1250 |
| Gesamtsumme | | | | | | 24 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 349: Gewichtung der Merkmalsklassen – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 1

⁵⁵² Bezüglich des paarweisen Vergleichs s. Abschnitt IV3.3.1

| Zelle | Merkmal oder Merkmals- klasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Riss | - | 3 | | | 1 | 0,7500 |
| 2 | Tragfähigkeitsverlust | 1 | - | | | 3 | 0,2500 |
| 3 | Verformung | | | - | | | |
| 4 | Volumenänderung | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 350: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 1

| Zelle | Merkmal oder Merkmals- klasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Baustoffabtrag | - | 3 | | | 3 | 0,7500 |
| 2 | Biologischer Befall | 1 | - | | | 1 | 0,2500 |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 351: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 2

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Brandschutz | - | 1 | 2 | | 4 | 0,2500 |
| 2 | Feuchteschutz | 3 | - | 3 | | 6 | 0,5000 |
| 3 | Schallschutz | 2 | 1 | - | | 2 | 0,2500 |
| 4 | Wärmeschutz | | | | - | 0 | 0,0000 |
| Gesamtsumme | | | | | | 12 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 352: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 3

| Zelle | Merkmal oder Merkmalsklasse | Zelle 1 | Zelle 2 | Zelle 3 | Zelle 4 | Zeilensumme | Gewichtung |
|--------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Ablagerung (reversibel) | - | | | | | |
| 2 | Ablagerung (irreversibel) | 4 | - | | | 4 | 1,0000 |
| 3 | | | | - | | | |
| 4 | | | | | - | | |
| Gesamtsumme | | | | | | 4 | 1,0000 |

Gewichtungsrichtung

1 = weniger bedeutend
2 = gleichbedeutend
3 = bedeutender
4 = alleiniges Merkmal

Abb. 353: Gewichtung der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Ebene 2, Spalte 4

Eine Übersicht über alle Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale von Ziegel für statisch nicht relevante Bauelemente wird in Abb. 354 gegeben. Eine grafische Übersicht über die Stufengewichte zeigt Abb. 355.

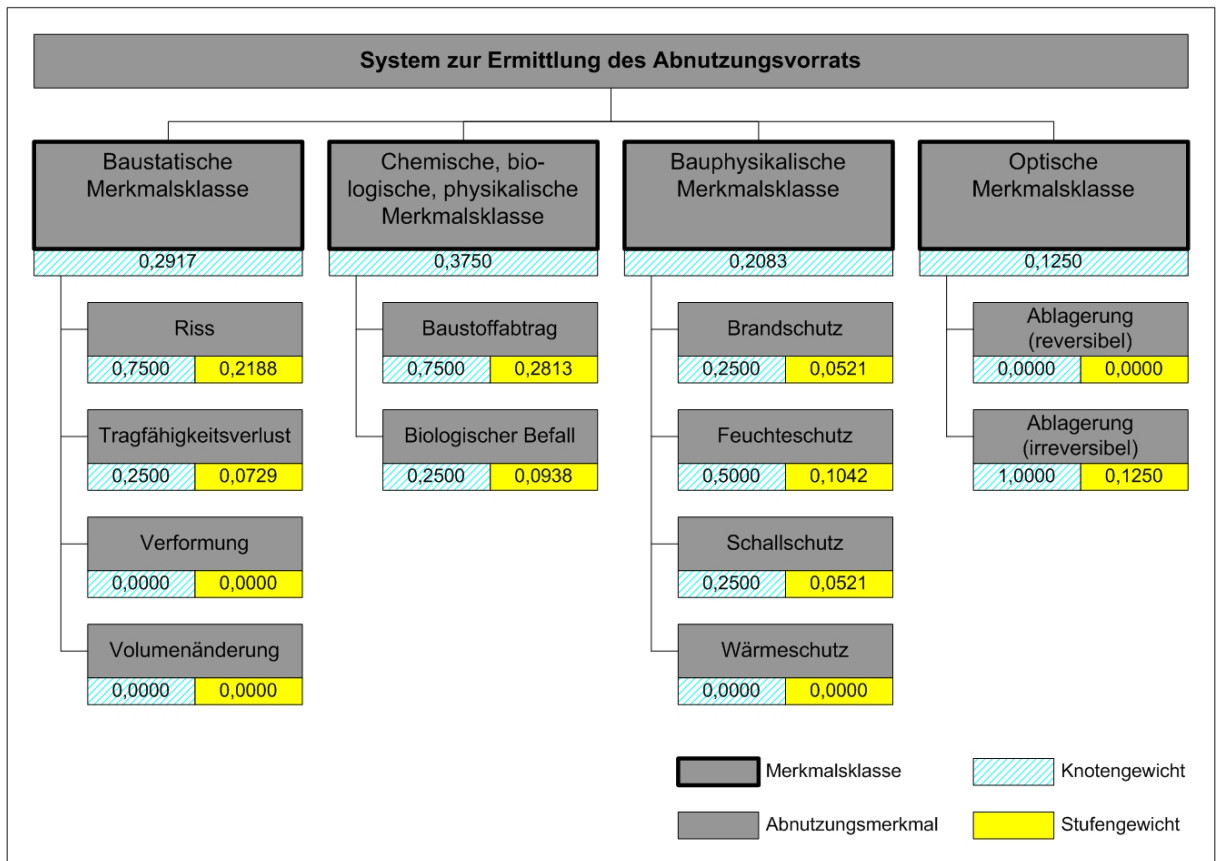


Abb. 354: Knoten- und Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente⁵⁵³

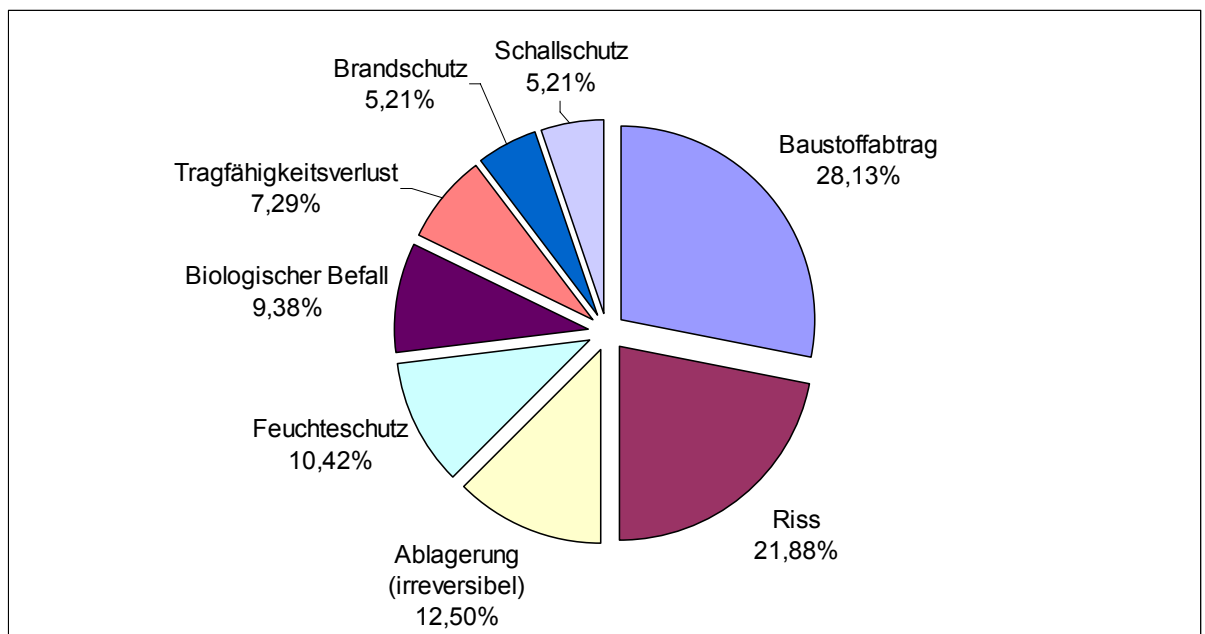


Abb. 355: Stufengewichte der Abnutzungsmerkmale – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente

⁵⁵³ Die Gewichtung kann nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren.

Die baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für Ziegel für statisch nicht relevante Bauelemente entsprechend Abb. 354 wird durch den Vorschlag der einschlägigen Fachliteratur zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Ziegel (statisch nicht relevante Bauelemente am Beispiel Dacheindeckung) gemäß Abb. 356 untermauert. In dieser Beschreibung werden Schadensbilder aufgezeigt, die vier von fünf Zustandsstufen zugeordnet werden können. Der gute Zustand ist nicht beschrieben. Die Schadensbilder umfassen u. a. Baustoffabtrag durch Abplatzung, Risse (gebrochene Ziegel), Ablagerungen (Verschmutzung), Undichtigkeit (Feuchteschutz) sowie Tragfähigkeitsverlust (gebrochene Ziegel).

| Zustandsstufe | Bewertung des Zustands | Beschreibung des Zustands |
|---------------|------------------------|---|
| 1 | Guter Zustand | K. A. |
| 2 | Annehmbarer Zustand | Leicht schadhaft: Ziegel in gutem Zustand; einzelne Ziegel verschoben; Firstziegel gelöst; gering verschmutzt; Wasserdichtigkeit gewährleistet |
| 3 | Schadhafter Zustand | Mittel schadhaft: beginnende Abplatzungen an der Oberfläche der Ziegel; einzelne fehlende und gebrochene Ziegel; Firstziegel fehlen; starke Verschmutzung; Lattung beschädigt; Wasserdichtigkeit partiell nicht mehr vorhanden; Unterdach übernimmt Dichtung |
| 4 | Schlechter Zustand | Stark schadhaft: Ziegel über weite Flächen abgewittert; große Anzahl gebrochen; Lattung und Holzabschlüsse angefault; Wasserdichtigkeit nicht mehr vorhanden; Unterdach überbeansprucht; Bauteil und damit Bauwerk nicht mehr gebrauchsfähig; unbewohnbar |
| 5 | Alarmierender Zustand | Zerstört: Bauwerk verlottert, unbrauchbar, eingesunken bis eingestürzt |

Abb. 356: Vorschlag zur Bewertung des Zustands von Bauelementen aus Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente (Bsp. Dacheindeckung)⁵⁵⁴

⁵⁵⁴ Vgl. IP BAU (Hrsg.): Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten – Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten. Bern : Bundesamt für Konjunkturfüragen, 1994, S. 88

Beispiel zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats für statisch nicht relevante Bauelemente

In Abb. 357 bis Abb. 366 wird ein Beispiel für die Ermittlung eines Wertes für den Abnutzungsvorrat AV anhand einer konkreten Bestandsaufnahme gegeben. Hierbei handelt es sich um eine Dachdeckung aus Ziegeln einer Wohnimmobilie.

Die Dachziegel weisen, bis auf die Randsteine, Verkrustungen (Ablagerung (irreversibel) auf. Einige Ziegel sind zusätzlich durch Abbruch und Abplatzungen (Baustoffabtrag) gekennzeichnet. Moosbefall (biologischer Befall) ist teilweise vorhanden. Aufgrund von Leckagen ist der Brand-, Feuchte- sowie Schallschutz nicht mehr gewährleistet. Die Dachdeckung weist keine Risse auf. Die Tragfähigkeit ist gewährleistet.

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | | Bl. 1 | |
|---|--|---|--------------------------------------|--|--------|
| Allgemeine Angaben | Bauelement | Dach | | | |
| | Baustoff | Ziegel | | | |
| | Statische Relevanz | Statisch nicht relevant | | | |
| | Standort | Dortmund | | | |
| | Art der Immobilie | Wohnimmobilie | | | |
| | Zeitpunkt t_n der Bestandsaufnahme | 15.04.2010 | | | |
| | Erstellungsdatum des Bauelements | K. A. | | | |
| | Alter des Bauelements | K. A. | | | |
| | Weitere Angaben | Wohnimmobilie schein unbewohnt zu sein. | | | |
| Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | Abnutzungsmerkmal | Stufengewicht (gemäß Bl. 4) | Einheitsskalenwert (gemäß Bl. 5 ff.) | Abnutzung A (= Stufengewicht · Einheitsskalenwert) | |
| | Ablagerung (irreversibel) | 0,1250 | 1,0000 | 0,1250 | |
| | Ablagerung (reversibel) | | | | |
| | Baustoffabtrag | 0,2813 | 1,0000 | 0,2813 | |
| | Biologischer Befall | 0,0938 | 0,6000 | 0,0563 | |
| | Brandschutz | 0,0521 | 1,0000 | 0,0521 | |
| | Feuchteschutz | 0,1042 | 1,0000 | 0,1042 | |
| | Riss | 0,2188 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Schallschutz | 0,0521 | 0,4000 | 0,0208 | |
| | Tragfähigkeitsverlust | 0,0729 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Verformung | | | | |
| | Volumenänderung | | | | |
| | Wärmeschutz | | | | |
| | Gesamtabnutzung $A_{ges} = \sum A$ | | | | 0,6397 |
| | Abnutzungsvorrat $AV_{tn} = 1 - A_{ges}$ | | | | 0,3603 |
| Stark schadhafter Bereich | | | | | |

Abb. 357: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 1



Abb. 358: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 2

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 3 |
|---|---------------------------|---|
| Zustandsbeschreibung | Abnutzungsmerkmal | Beschreibung |
| | Ablagerung (irreversibel) | Verkrustung der Gesamfläche bis auf die Randsteine liegt vor (betroffene Fläche ~ 90 m ² ; Gesamfläche = 100 m ²). |
| | Ablagerung (reversibel) | |
| | Baustoffabtrag | Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) ist in Form von Abbruch und Abplatzungen vorhanden (Schadensfläche ~ 0,5 m ² ; Gesamfläche = 100 m ² ; Ist-Schichtdicke teilweise 0 mm (Komplettabbruch); Gesamtschichtdicke = 25 mm). |
| | Biologischer Befall | Biologischer Befall in Form von Moosbefall ist vorhanden (betroffene Fläche ca. 3 m ² ; Gesamfläche 100 m ²). |
| | Brandschutz | Der Brandschutz ist aufgrund von Leckagen nicht mehr gewährleistet (Brandüberschlag durch Funkenflug möglich). |
| | Feuchteschutz | Der Feuchteschutz ist aufgrund von Leckagen nicht mehr gewährleistet. |
| | Riss | Es sind keine Risse vorhanden. |
| | Schallschutz | Der Schallschutz ist aufgrund von Leckagen nicht mehr gewährleistet (Ist-Schalldämm-Maß = 50 dB; gefordertes Schalldämm-Maß = 53 dB). |
| | Tragfähigkeitsverlust | Tragfähigkeit ist vorhanden. |
| | Verformung | |
| | Volumenänderung | |
| | Wärmeschutz | |
| | Bemerkung | |

Abb. 359: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 3

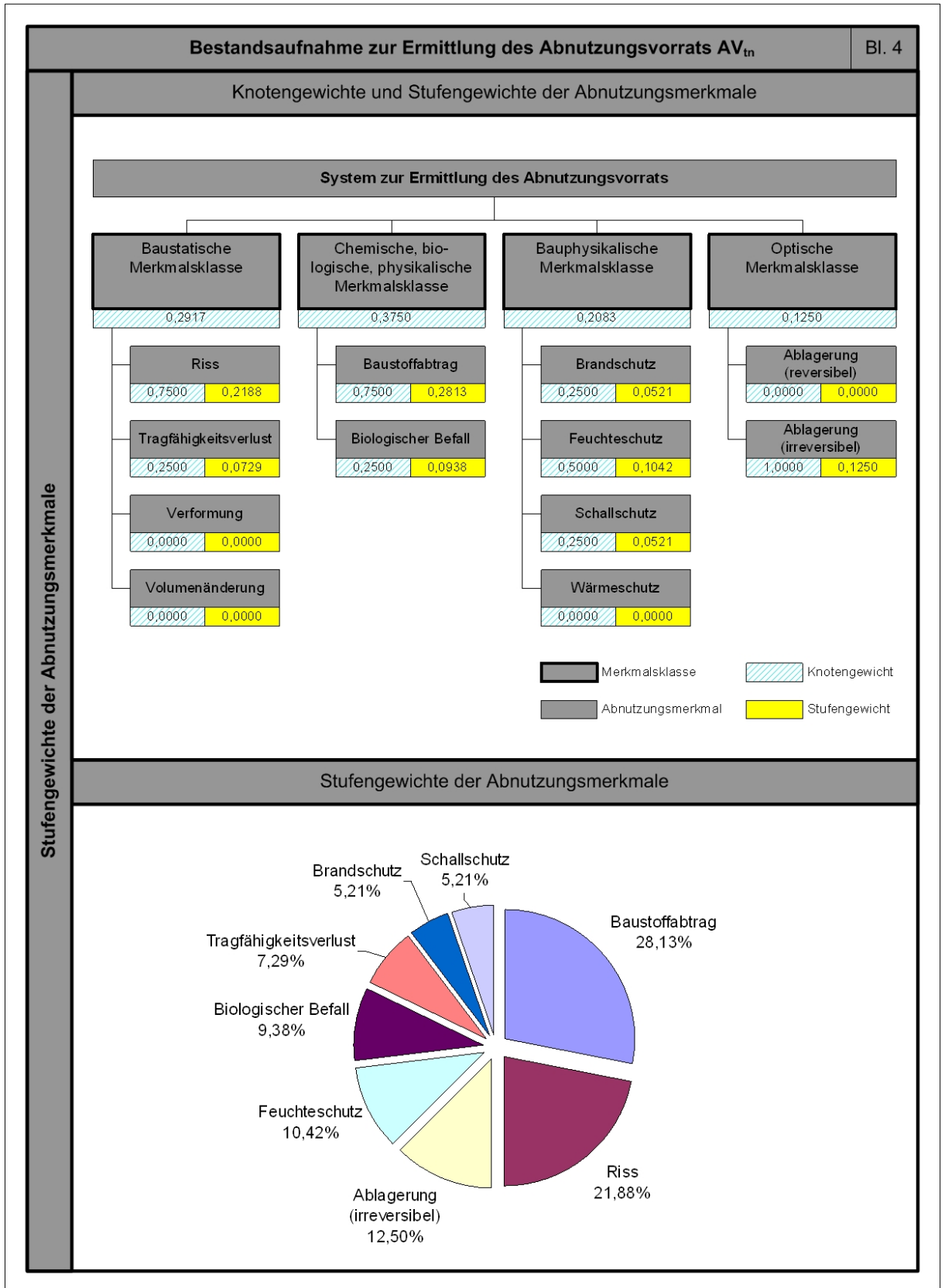


Abb. 360: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 4

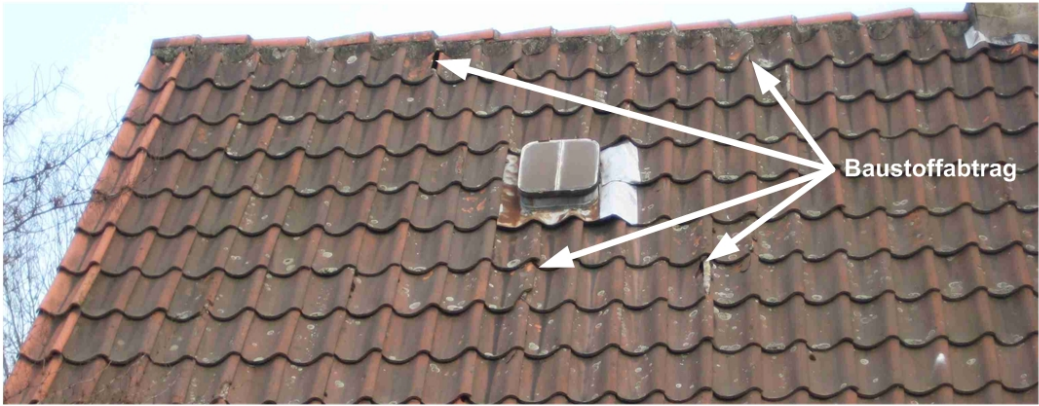
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 5 | |
|---|---|--------------------|------|
| Ermittlung der Einheitskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Ablagerung (irreversibel) | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{90 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 90 \%$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 1] | 0,20 |
| | |]1, 5,5] | 0,40 |
| | |]5,5, 19,2] | 0,60 |
| | |]19,2, 43,8] | 0,80 |
| | |]43,8, 100] | 1,00 |
| | W_1 = Schadensfläche ~ 90 m ² W_2 = Gesamtfläche = 100 m ² | | |
| | Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | |
|  | | | |
| Merkmalsaspekt Schadensfläche des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | | |
| Merkmalsausprägung MA [%] | Einheitsskalenwert | | |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{0,5 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 0,5 \%$ | 0 | 0,00 | |
| |]0, 0,05] | 0,20 | |
| |]0,05, 0,5] | 0,40 | |
| |]0,5, 1] | 0,60 | |
| |]1, 8] | 0,80 | |
| |]8, 100] | 1,00 | |
| W_1 = Schadensfläche = 0,5 m ² W_2 = Gesamtfläche = 100 m ² | | | |

Abb. 361: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 5

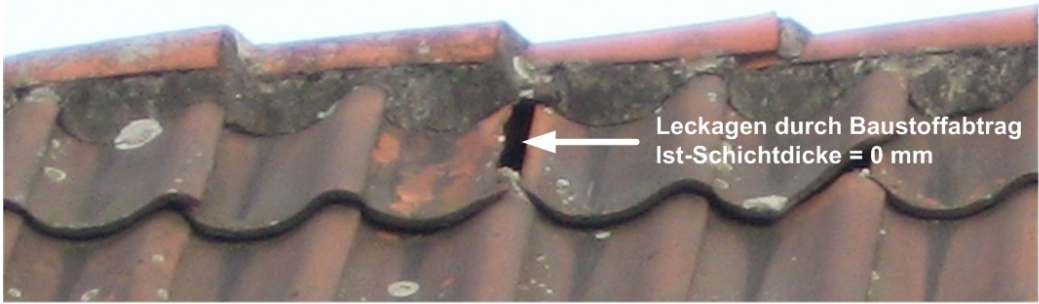
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 6 |
|--|-----------------------|--|
| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | |
|  | | |
| Merkmalsaspekt Schichtdicke des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | |
| Merkmalsausprägung MA [%] | | Einheitsskalenwert |
| | | 100 |
| | | [95, 100[|
| | | [90, 95[|
| | | [80, 90[|
| | | [60, 80[|
| | | [0, 60[|
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{0 \text{ mm}}{25 \text{ mm}} \cdot 100 \%$ $MA = 0 \%$ | | 0,00 |
| W_1 W_2 | = = | Ist-Schichtdicke ~ 0 mm Referenz-Schichtdicke ~ 25 mm |
| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Sonstiger Baustoffabtrag) | | |
| Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | | Einheitsskalenwert |
| | | 0 |
| | |]0, 0,2] |
| | |]0,2, 0,4] |
| | |]0,4, 0,6] |
| | |]0,6, 0,8] |
| | |]0,8, 1] |
| $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{komb} = 0,40 \cdot 0,25 + 1,00 \cdot 0,75$ $MA_{komb} = 0,85$ | | 0,00 |
| MA_{komb} ESW_1 ESW_2 G_1 G_2 | = = = = = | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensfläche = 0,40 Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schichtdicke = 1,00 Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,75$) |

Abb. 362: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 6

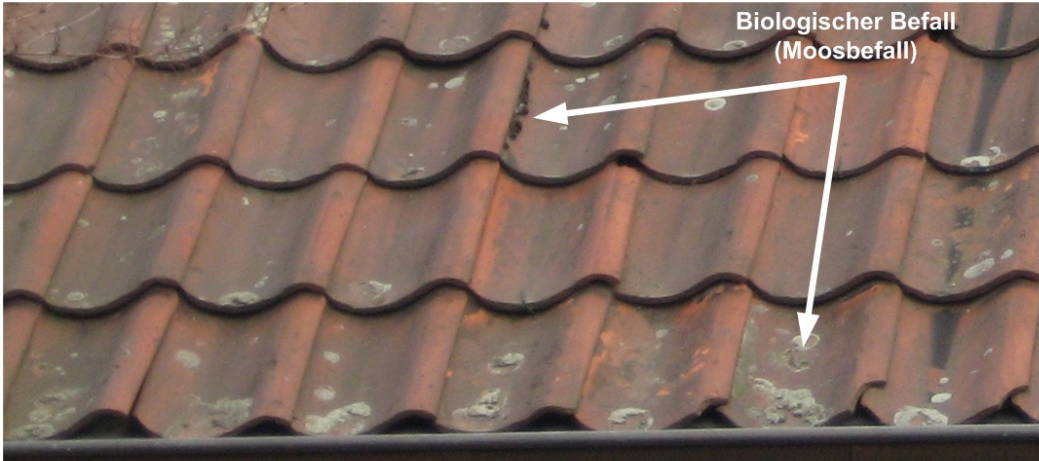
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 7 | |
|--|--|--|--------------------|
| Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  | | |
| | Merkmalsaspekt Schadensart des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | | |
| | Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert |
| | Schadensart | Kein biologischer Befall | 0,00 |
| | | Pflanzenbewuchs (kleine Pflanzen) | 0,20 |
| | | Insektenbefall | 0,40 |
| | | Algenbefall; Bakterienbefall; Moosbefall; Pilzbefall | 0,60 |
| | | Flechtenbefall; Schimmelpilzbefall | 0,80 |
| | | Pflanzenbewuchs (große Pflanzen); Schwammbefall | 1,00 |
| | Merkmalsaspekt Schadensgröße des Abnutzungsmerkmals Biologischer Befall | | |
| Merkmalsausprägung MA [%] | | Einheitsskalenwert | |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{3 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 3 \%$ | 0 | 0,00 | |
| |]0, 1] | 0,20 | |
| |]1, 5,5] | 0,40 | |
| |]5,5, 19,2] | 0,60 | |
| |]19,2, 43,8] | 0,80 | |
| |]43,8, 100] | 1,00 | |
| W_1 = Schadensgröße (Schadensfläche oder Schadensvolumen) W_2 = Gesamtgröße (Schadensgesamtfläche oder Schadensgesamtvolumen) | | ~ 3 m ² = 100 m ² | |

Abb. 363: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 7

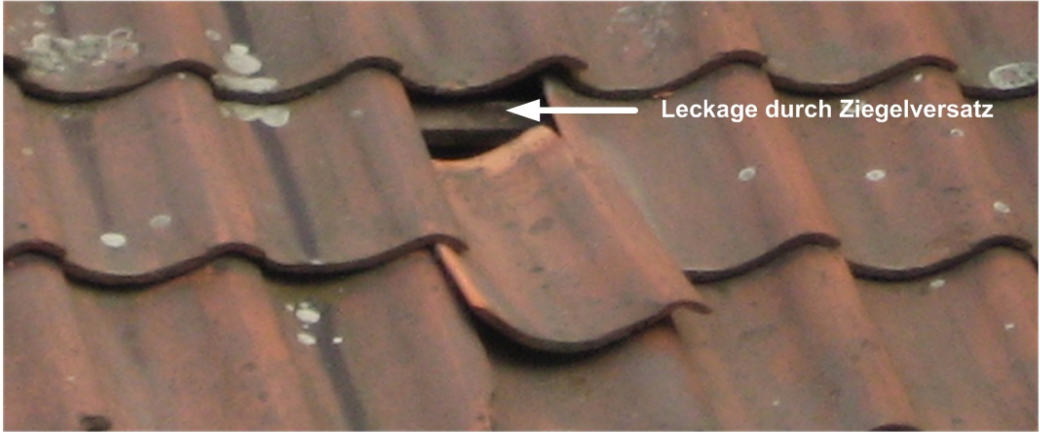
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV _{tn} | | Bl. 8 | |
|--|---|--|--------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Biologischer Befall | | |
| | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA _{komb} | Einheitsskalenwert | |
| | $MA_{\text{komb}} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{\text{komb}} = 0,60 \cdot 0,50 + 0,40 \cdot 0,50$ $MA_{\text{komb}} = 0,50$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,2] | 0,20 |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| | |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| | |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| | |]0,8, 1] | 1,00 |
| | MA _{komb} | = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) | |
| | ESW ₁ | = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Schadensart | = 0,60 |
| ESW ₂ | = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schadensgröße | = 0,40 | |
| G ₁ | = Gewichtungsfaktor 1 (mit G ₁ = 0,5) | | |
| G ₂ | = Gewichtungsfaktor 2 (mit G ₂ = 0,5) | | |
| Abnutzungsmerkmal Brandschutz | | | |
|  | | | |
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | | |
| Einhaltung des Brandschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | Ja | 0,00 | |
| | Nein | 1,00 | |
| Abnutzungsmerkmal Feuchteschutz | | | |
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | | |
| Einhaltung des Feuchteschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | Ja | 0,00 | |
| | Nein | 1,00 | |

Abb. 364: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 8


| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 9 | |
|--|--|--------------------|------|
| Abnutzungsmerkmal Riss | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen |  <p>Keine erkennbaren Risse</p> | | |
| | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | |
| | | 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,2] | 0,20 |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| | |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| | |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| |]0,8, 1] | 1,00 | |
| $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2 + ESW_3 \cdot G_3 + ESW_4 \cdot G_4$ $MA_{komb} = 0,00 \cdot 0,25 + 0,00 \cdot 0,25 + 0,00 \cdot 0,25 + 0,00 \cdot 0,25$ $MA_{komb} = 0,00$ | | | |
| MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Rissmenge = 0,00 (keine Risse vorhanden) ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Rissbreite = 0,00 (keine Risse vorhanden) ESW_3 = Einheitsskalenwert 3 des Merkmalsaspekts Risstiefe = 0,00 (keine Risse vorhanden) ESW_4 = Einheitsskalenwert 4 des Merkmalsaspekts Rissbild = 0,00 (keine Risse vorhanden) G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,25$) G_3 = Gewichtungsfaktor 3 (mit $G_3 = 0,25$) G_4 = Gewichtungsfaktor 4 (mit $G_4 = 0,25$) | | | |

Abb. 365: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 9

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | | Bl. 10 | |
|--|---|------|---|--------------------|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Schallschutz | | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | | | Einheitsskalenwert | |
| | Einhaltung des Schallschutzes gemäß der gegenwärtigen Normen, Vorschriften und Verordnungen | Ja | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ | [100, ∞[| 0,00 |
| | | Nein | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{50 \text{ dB}}{53 \text{ dB}} \cdot 100 \%$ $MA = 94,34 \%$ | [98, 100[| 0,20 |
| | | | | [94, 98[| 0,40 |
| | | | | [86, 94[| 0,60 |
| | | | | [70, 86[| 0,80 |
| | | | | [0, 70[| 1,00 |
| | W_1 | = | Ist-Schalldämm-Maß | = 50 dB | |
| | W_2 | = | gefordertes Schalldämm-Maß | = 53 dB | |
| Abnutzungsmerkmal Tragfähigkeitsverlust | | | | | |
| Merkmalsausprägung MA | | | Einheitsskalenwert | | |
| Einhaltung der Tragfähigkeit gemäß Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen und anerkannten Regeln der Technik | Ja | | 0,00 | | |
| | Nein | | 1,00 | | |

Abb. 366: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats – Ziegel, statisch nicht relevante Bauelemente – Bl. 10

V Instandhaltungsstrategische Relevanz des Abnutzungsvorrats

1 Einflussfaktoren auf den Abnutzungsvorrat

1.1 Übersicht über die Einflussfaktoren

Mit Hilfe des Verfahrens ERAB gemäß Kapitel IV lässt sich baustoffabhängig die Abnutzung A und somit der verbleibende Abnutzungsvorrat AV ermitteln. Der Abbau des Abnutzungsvorrats AV , wie er beispielhaft in Abb. 10 dargestellt ist, variiert dabei je nach Ausprägung der folgenden Einflüsse:⁵⁵⁵

- Einflussfaktor Baustoffqualität
- Einflussfaktor Ausführungsqualität
- Natürliche Einflussfaktoren
- Menschliche Einflussfaktoren
- Beziehungen zwischen den Bauelementen
- Einflussfaktor Instandhaltung.

Während der Einflussfaktor Baustoffqualität und der Einflussfaktor Ausführungsqualität die Höhe des Referenz-Abnutzungsvorrats AV_{Ref} vorgeben, führen natürliche und menschliche Einflussfaktoren zu einer Abnutzung A . Der Einflussfaktor Instandhaltung bewirkt in Form einer Instandsetzung oder Verbesserung eine Erhöhung E des Abnutzungsvorrats AV .

⁵⁵⁵ In Anlehnung an KRUG, K.-E.: Wirtschaftliche Instandhaltung von Wohngebäuden durch methodische Inspektion und Instandsetzungsplanung. Braunschweig, Technische Universität, Fachbereich für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Dissertation, 1985, S. 35; IRB (Hrsg.): Bau-Nutzungskosten 2006 – Bau-Nutzungskosten-Kennwerte für Wohngebäude. Stuttgart : IRB Verlag, 2006, S. 312; IP BAU (Hrsg.): Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, S. 12; IRB (Hrsg.): Lebensdauer der Baustoffe und Bauteile zur Harmonisierung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer im Wohnungsbau. Hannover : IRB Verlag, 2005, S. 12, S. 30; IP BAU (Hrsg.): Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten – Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1994, S. 56; WETZEL, C.: Optimierung des zukünftigen Instandhaltungsbedarfs. In: Bundesbaublatt (2003), Heft 2, S. 30; GÄNßMANTEL, J.; GEBURTIG, G.; SCHAU, A.: Sanierung und Facility Management – Nachhaltiges Bauinstandhalten und Bauinstandsetzen. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2005, S. 140; CHRISTEN, K.; MEYER-MEIÉRLING, P.: Optimierung von Instandsetzungszyklen und deren Finanzierung bei Wohnbauten. Zürich : vdf Hochschulverlag, 1999, S. 22

Beziehungen zwischen den Bauelementen können die Abnutzung verstärken oder verringern. So führt bspw. die unsachgemäße Verbindung zweier Bauelemente aus den jeweiligen Baustoffen Kupfer und Zink zu Kontaktkorrosion (s. dazu Abb. 55) und somit zu einer verstärkten Abnutzung des Bauelements aus Zink. Ein Anstrich auf einem Holzelement kann wiederum eine schützende Funktion für das Holzelement darstellen und die Abnutzung des Holzes verlangsamen (vgl. Abb. 372).

Die einzelnen Einflussfaktoren auf den Abnutzungsvorrat sind in Abb. 367 dargestellt und werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

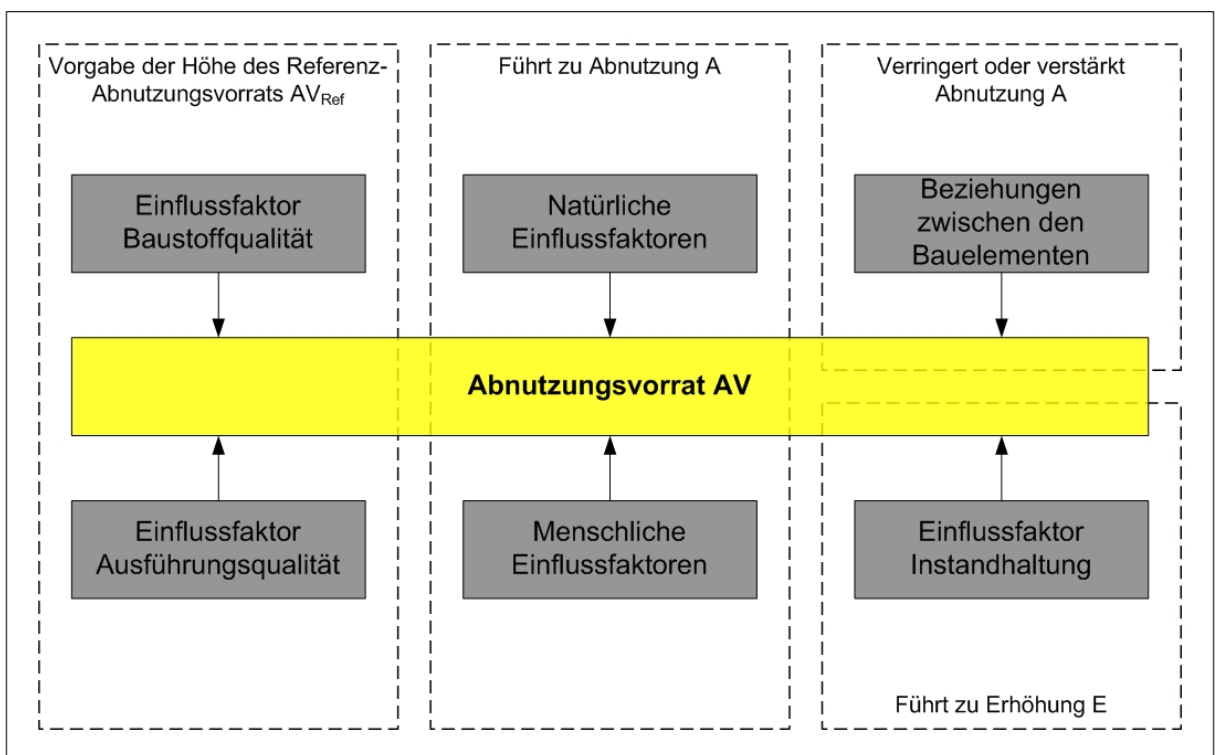


Abb. 367: Einflussfaktoren auf den Abnutzungsvorrat

1.2 Einflussfaktor Baustoffqualität

Die Höhe des Referenz-Abnutzungsvorrats AV_{Ref} eines Bauelements (s. Abb. 10) ist gemäß Abb. 367 von den Einflussfaktoren Baustoffqualität sowie Ausführungsqualität abhängig.⁵⁵⁶ Es ist bekannt, dass sich ein Bauelement mit einer guten Qualität langsamer abnutzt als ein Bauelement minderer Qualität.⁵⁵⁷

Der **Einflussfaktor Baustoffqualität** beschreibt diejenigen Eigenschaften, welche durch den Herstellungsprozess des Baustoffs erreicht werden, d. h., es sind die Materialwahl, Materialkombination, Materialgüte, Materialverträglichkeit, Materialverarbeitung sowie ggf. die Konstruktionsart relevant.⁵⁵⁸

Die Einhaltung der Baustoffqualität ist abhängig vom qualitätsgerechten Herstellungsprozess sowie den Eigenschaften der Ausgangsmaterialien, d. h. der einzelnen Baustoffkomponenten.

Aufgrund der Vielzahl von Baustoffen innerhalb eines Gebäudes ist es kaum möglich, im Rahmen von Bau- bzw. Leistungsbeschreibungen alle Bauelemente und deren Baustoffe vollständig bzgl. ihrer Qualität zu beschreiben. Um qualitätsbezogene Fehler bei der Herstellung zu vermeiden, gelten grundsätzlich die Planungs- und Projektierungsgrundlagen, die gegenwärtigen DIN-Normen und Richtlinien, die gesetzlichen Vorgaben und Verordnungen, die Verarbeitungsvorschriften sowie a. a. R. d. T.⁵⁵⁹

⁵⁵⁶ In Anlehnung an CHRISTEN, K.; MEYER-MEIERLING, P.: Optimierung von Instandsetzungszyklen und deren Finanzierung bei Wohnbauten. Zürich : vdf Hochschulverlag, 1999, S. 22; WEEBER, H.; BOSCH, S.: Bauqualität – Verfahrensqualität und Produktqualität bei Projekten des Wohnungsbaus. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2003, S. 6 f.

⁵⁵⁷ Vgl. VEIT, P.: Qualität im Gleis – Luxus oder Notwendigkeit?. In: EI – Eisenbahningenieur (2006), Heft 57, S. 32; THIENEL, K.-C.: Bauschäden – Frühlingstrimester 2006. München : Universität der Bundeswehr München, 2006, S. 19

⁵⁵⁸ In Anlehnung an CHRISTEN, K.; MEYER-MEIERLING, P.: Optimierung von Instandsetzungszyklen und deren Finanzierung bei Wohnbauten. Zürich : vdf Hochschulverlag, 1999, S. 22; ISO (Hrsg.): ISO 15686-1 – Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles. Geneva : International Organization for Standardization, 09-2000, S. 25

⁵⁵⁹ Siehe dazu WÜRFELE, F.; BIELEFELD, B.; GRALLA, M.: Bauobjektüberwachung – Kosten – Qualitäten – Termine – Organisation – Leistungsinhalt – Rechtsgrundlagen – Haftung – Vergütung. Wiesbaden : Vieweg, 2007, S. 65 ff.

Eine gute Grundlage stellt die VOB⁵⁶⁰ (Teil C) dar. Die darin enthaltenen DIN-Normen verweisen im jeweiligen zweiten Abschnitt auf die relevanten baustoffspezifischen DIN-Normen (vgl. Abb. 368) und beinhalten teilweise weitere Hinweise und Vorschriften.

VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Putz- und Stuckarbeiten

...

2 Stoffe, Bauteile
Ergänzend zur ATV DIN 18299, Abschnitt 2, gilt:
Für die gebräuchlichsten genormten Stoffe und Bauteile sind die DIN-Normen nachstehend aufgeführt.

2.1 Putze

| | |
|--------------|---|
| DIN V 18550 | Putz- und Putzsysteme – Ausführung |
| DIN 18558 | Kunstharzputze – Begriffe, Anforderungen, Ausführung |
| DIN EN 998-1 | Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 1: Putzmörtel |

2.2 Werkmörtel

| | |
|--------------|---|
| DIN EN 998-1 | Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 1: Putzmörtel |
| DIN EN 998-2 | Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 2: Mauer- mörtel |

2.3 Putzträger, Putzbewehrungen, Befestigungselemente

| | |
|-----------|-------------------------------|
| DIN 488-4 | Betonstahl – Betonstahlmatten |
|-----------|-------------------------------|

Drahtgeflechte, Rippenstreckmetall und dergleichen müssen verzinkt oder korrosionsresistent, Baustahlmatten und dergleichen frei von losem Rost sein. Textile Gewebe müssen bei der Verwendung von Kalk-, Kalkzement- oder Zementmörtel alkalibeständig sein. Nägel, Klammern und andere Befestigungselemente müssen bei Verwendung in Feuchträumen und für Arbeiten mit Gips korrosionsresistent sein.

2.4 Dämmstoffe

| | |
|------------------|----------------------------------|
| DIN EN 822 bis | |
| DIN EN 826 | Wärmedämmstoffe für das Bauwesen |
| DIN EN 13162 bis | |
| DIN EN 13171 | Wärmedämmstoffe für Gebäude |

...

Abb. 368: Auszug aus der DIN 18350 – Abschnitt 2 Stoffe, Bauteile⁵⁶¹

⁵⁶⁰ Vgl. DIN (Hrsg.): VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen. Berlin : Beuth Verlag

⁵⁶¹ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN 18350 – VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Putz- und Stuckarbeiten. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 04-2010, S. 8

In dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass aufgrund einer fach- und sachgerechten Erstellung der Bauelemente nach den Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen, Verarbeitungsvorschriften, a. a. R. d. T. sowie der fach- und sachgerechten Abnahme aller Leistungen mit keinen Schäden aufgrund von Baumängeln zu rechnen ist. Neubauschäden⁵⁶², die in ca. 80 % aller Schadensfälle während der ersten 5 Jahre der Standzeit auftreten, werden daher nicht betrachtet. Dem Referenz-Abnutzungsvorrats AV_{Ref} wird deshalb der Wert 1,00 zugewiesen, wenn auch die Vorgaben für die Ausführungsqualität gemäß Abschnitt V1.3 gewährleistet sind.

Für die fach- und sachgerechte Beschreibung der Baustoffqualität wird auf die weiterführende Literatur verwiesen.⁵⁶³

⁵⁶² Vgl. BMRBS (Hrsg.): Dritter Bericht über Schäden an Gebäuden. Bonn : k. A., 1995, S. 30

⁵⁶³ Siehe dazu MAAß, I.: Beschreibung der Ausführungs- und Produktqualität in Bezug auf den Abnutzungsvorrat von Baustoffen der Gebäudehülle. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2009; DIN (Hrsg.): VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen. Berlin : Beuth Verlag

1.3 Einflussfaktor Ausführungsqualität

Neben dem Einflussfaktor Baustoffqualität bestimmt auch der Einflussfaktor Ausführungsqualität die Höhe des Referenz-Abnutzungsvorrats AV_{Ref} .

Der **Einflussfaktor Ausführungsqualität** beschreibt diejenigen Eigenschaften, welche durch den Ausführungsprozess auf der Baustelle vor Ort erreicht werden. Ausführungsqualität stellt diesbezüglich den Grad der Übereinstimmung zwischen Konzeptqualität und tatsächlich realisierter Qualität eines gefertigten Erzeugnisses (im speziellen Fall eines Bauelements auf der Baustelle vor Ort) dar.⁵⁶⁴

Bzgl. der Bauelemente von Immobilien beschreibt der Einflussfaktor Ausführungsqualität diejenigen Merkmalsausprägungen, welche vor Ort auf der Baustelle nach den Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen, Verarbeitungsvorschriften sowie a. a. R. d. T. erfüllt werden müssen. Eine gute Grundlage stellt die VOB⁵⁶⁵ (Teil C) dar. Die darin enthaltenen DIN-Normen geben im jeweiligen dritten Abschnitt Vorgaben und Hinweise bzgl. der Ausführung (vgl. Abb. 369).

In dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass aufgrund einer fachgerechten Erstellung der Bauelemente nach den Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen, Verarbeitungsvorschriften, a. a. R. d. T. sowie der fach- und sachgerechten Abnahme aller Leistungen mit keinen Schäden aufgrund von Baumängeln zu rechnen ist. Für die fach- und sachgerechte Beschreibung der Ausführungsqualität wird auf die weiterführende Literatur verwiesen.⁵⁶⁶

⁵⁶⁴ In Anlehnung an GABLER (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon – Taschenbuch-Kassette mit 10 Bd. – Band 1 – A. 14. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997, S. 313; ISO (Hrsg.): ISO 15686-1 – Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles. Geneva : International Organization for Standardization, 09-2000, S. 26

⁵⁶⁵ Vgl. DIN (Hrsg.): VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen. Berlin : Beuth Verlag

⁵⁶⁶ Siehe dazu MAAß, I.: Beschreibung der Ausführungs- und Produktqualität in Bezug auf den Abnutzungsvorrat von Baustoffen der Gebäudehülle. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2009

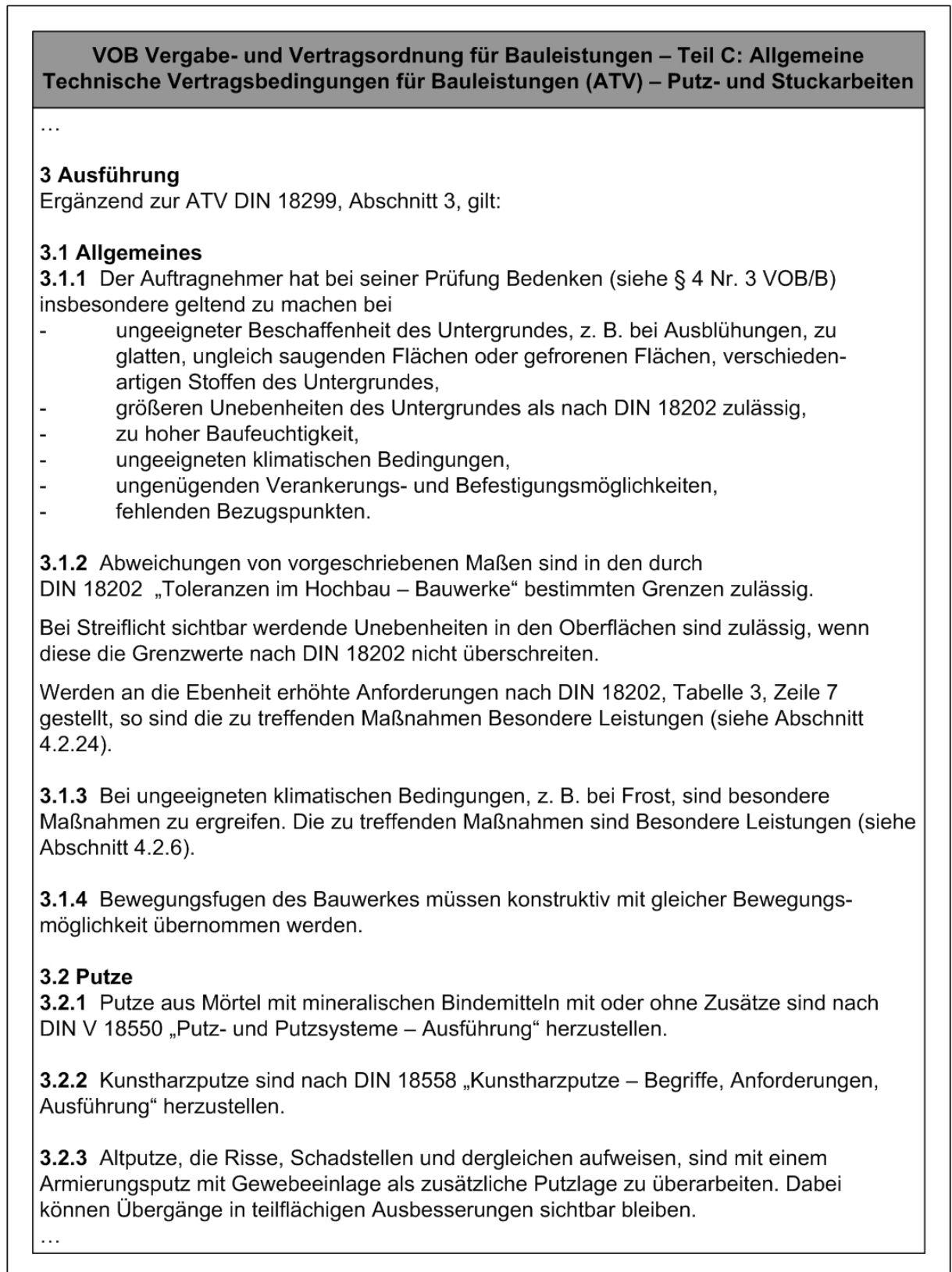


Abb. 369: Auszug aus der DIN 18350 – Abschnitt 3 Ausführung⁵⁶⁷

⁵⁶⁷ Vgl. DIN (Hrsg.): DIN 18350 – VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Putz- und Stuckarbeiten. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 04-2010, S. 9 f.

1.4 Natürliche Einflussfaktoren

Neben den qualitativen Einflussfaktoren wie der Baustoff- und Ausführungsqualität haben **natürliche Einflussfaktoren** – auch Umwelteinflüsse genannt – Auswirkungen auf den Abnutzungsvorrat der Baustoffe.⁵⁶⁸ Eine einheitliche systematische Gliederung der natürlichen Einflussfaktoren wird in der Fachliteratur nicht verwendet. Diese Arbeit unterscheidet folgende Gruppen natürlicher Einflussfaktoren.⁵⁶⁹

- unvorhersehbare Einflüsse
- baugrundspezifische Einflüsse
- atmosphärische und klimatische Einflüsse.

Aufgrund der Tatsache, dass **unvorhersehbare Einflüsse**, wie Erdbeben, als auch die **baugrundspezifischen Einflüsse**, wie Baugrundsetzungen, kaum vorhersehbar sind⁵⁷⁰ und deren Auswirkungen meist zu einer weitreichenden Zerstörung der Bauelemente und Baustoffe führen, werden diese Gruppen der natürlichen Einflussfaktoren innerhalb von Instandhaltungsstrategien selten betrachtet. Mittels geeigneter Risikomodelle⁵⁷¹ können die durch unvorhersehbare Einflüsse sowie baugrundspezifische Einflüsse anfallenden Instandhaltungskosten berechnet und ggf. in einem übergeordneten Gesamtmodell mit berücksichtigt werden.

⁵⁶⁸ Vgl. KRUG, K.-E.: Wirtschaftliche Instandhaltung von Wohngebäuden durch methodische Inspektion und Instandsetzungsplanung. Braunschweig, Technische Universität, Fachbereich für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Dissertation, 1985, S. 35

⁵⁶⁹ In Anlehnung an PASSLICK, R.: Auswirkungen von standortspezifischen Umwelteinflüssen auf den Abnutzungsvorrat der Gebäudehülle von Wohnimmobilien. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2008, S. 32 f.

⁵⁷⁰ Vgl. BMRBS (Hrsg.): Zweiter Bericht über Schäden an Gebäuden. Bonn : k. A., 1988, S. 8

⁵⁷¹ Siehe dazu SALZMANN, S.: Nutzungskostenprognosen im Lebenszyklus von Gebäuden – Untersuchung ausgewählter Parameter unter Risikoaspekten. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2006; KRAUSKOPF, J.: Entwicklung einer Methodik zur Kalkulation von Pauschalen für ungeplante Instandsetzung. Dortmund, Technische Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2008; MEINEN, H.; SCHÖNFELDER, U.: Gebäudemanagement-Dienstleistungen – Kalkulation bei Service-Level-Verträgen mit Output-Spezifikationen. In: Facility Management (2006), Heft 3, S. 42-45

Die Abb. 370 gibt eine Übersicht über die relevanten natürlichen Einflussfaktoren.

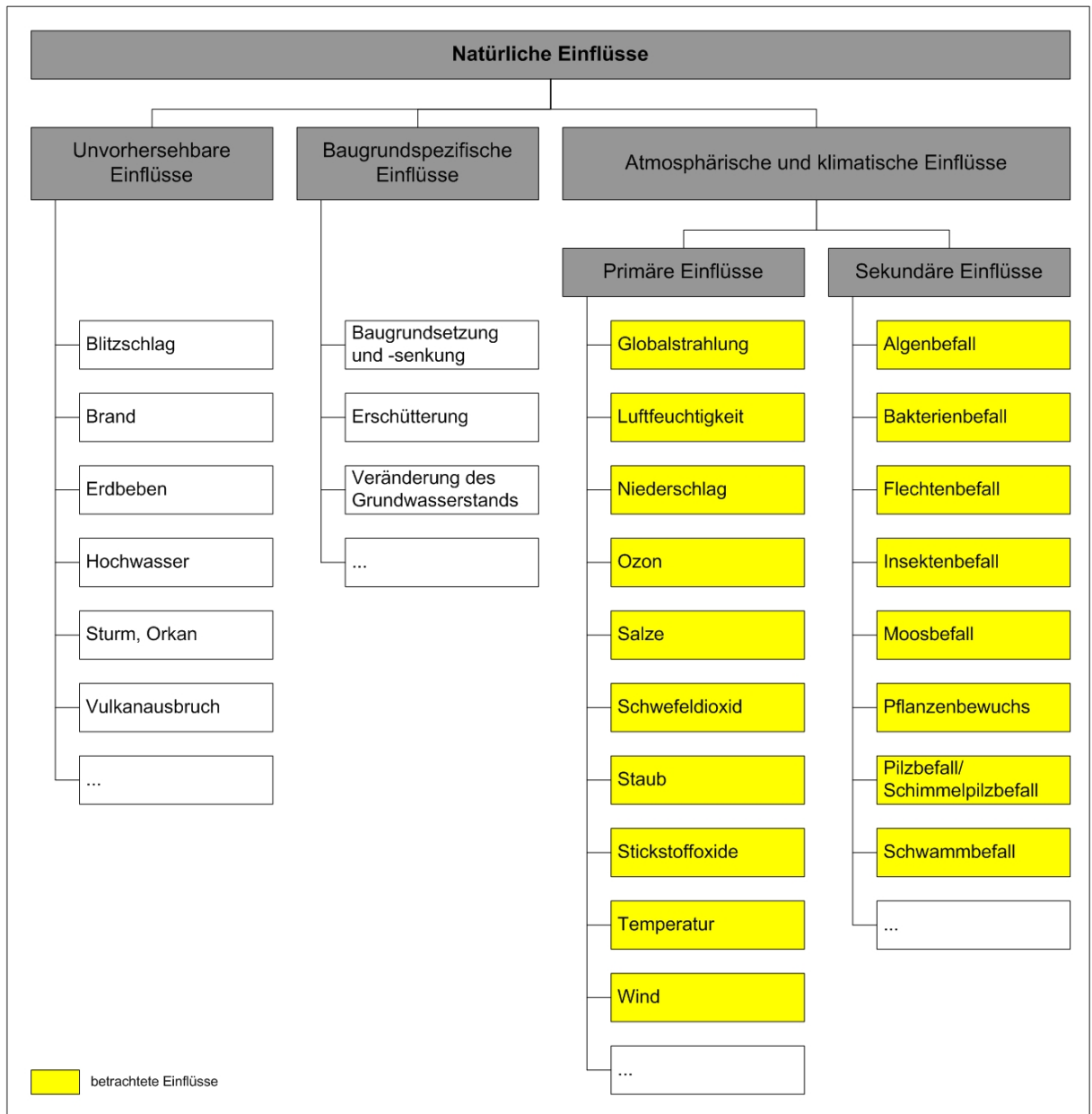


Abb. 370: Übersicht über die natürlichen Einflussfaktoren⁵⁷²

⁵⁷² In Anlehnung an PASSLICK, R.: Auswirkungen von standortspezifischen Umwelteinflüssen auf den Abnutzungsvorrat der Gebäudehülle von Wohnimmobilien. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2008, S. 33; SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 86; SCHÖNBURG, K.: Korrosionsschutz am Bau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006, S. 175 f.; IP BAU (Hrsg.): Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, S. 12; SIMONS, K.; HIRSCHBERGER, H.; STÖLTING, D.: Lebensdauer von Bauteilen und Baustoffen – Abschlussbericht. Bonn : Technische Universität Braunschweig, 1987, S. 71; KLOCKE, W.: Mein Haus wird älter – was tun?. Wiesbaden : Bauverlag, 1988, S. 29 ff.; KNÖFEL, D.: Bautenschutz mineralischer Baustoffe. Wiesbaden : Bauverlag, 1979, S. 23

Atmosphärische und klimatische Einflüsse werden gemäß Abb. 370 in primäre und sekundäre Einflüsse unterteilt. Während primäre Einflüsse direkt auf die Abnutzung A der Bauelemente bzw. ihrer Baustoffe wirken, entfalten sekundäre Einflüsse erst durch das Vorhandensein primärer atmosphärischer und klimatischer Einflüsse ihre Wirkung.⁵⁷³

Unter **Globalstrahlung** wird die auf eine Fläche einfallende Sonnenstrahlung verstanden, welche sich aus der Summe von direkter Sonnenstrahlung und diffuser Himmelsstrahlung zusammensetzt.⁵⁷⁴

Unter **Luftfeuchtigkeit** wird die Menge des in der atmosphärischen Luft enthaltenen Wasserdampfs verstanden. Die relative Luftfeuchtigkeit (Angabe in Prozent) ist das Verhältnis von absoluter zu der für die herrschende Temperatur bei Sättigung möglichen maximalen Luftfeuchtigkeit in Prozent.⁵⁷⁵

Unter **Niederschlag** wird das in der Atmosphäre aus der Gasphase in die flüssige oder feste Phase umgewandelte und ausgeschiedene Wasser verstanden. Unterschieden werden fallender oder gefallener Niederschlag (Regen, Schnee, Graupel, Hagel u. a.), abgesetzter Niederschlag (Tau, Reif, Nebelfrostablagerungen, Glatteis) und abgelagerter Niederschlag (Decken aus Schnee, Hagel usw.).⁵⁷⁶

⁵⁷³ In Anlehnung an PASSLICK, R.: Auswirkungen von standortspezifischen Umwelteinflüssen auf den Abnutzungsvorrat der Gebäudehülle von Wohnimmobilien. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2008, S. 33; BMRBS (Hrsg.): Zweiter Bericht über Schäden an Gebäuden. Bonn : k. A., 1988, S. 8

⁵⁷⁴ Vgl. SCHMID, E. V.: Außenanstriche im Hochbau – Lebensdauer unter Umwelteinflüssen. Wiesbaden : Bauverlag, 1994, S. 14; PASSLICK, R.: Auswirkungen von standortspezifischen Umwelteinflüssen auf den Abnutzungsvorrat der Gebäudehülle von Wohnimmobilien. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2008, S. 43

⁵⁷⁵ Vgl. BROCKHAUS (Hrsg.): Der Brockhaus in drei Bänden – Band 2 Go-Pah. 4. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2006, S. 567; FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 21; BROCKHAUS (Hrsg.): Der Brockhaus in 15 Bänden – Band 8 Koo-Lz. Leipzig : Brockhaus, 1998, S. 448

⁵⁷⁶ Vgl. BROCKHAUS (Hrsg.): Der Brockhaus in 15 Bänden – Band 10 Nas-Pfa. Leipzig : Brockhaus, 1998, S. 112

Unter **Ozon** wird die Form des Sauerstoffs aus dreiatomigen Molekülen (O_3) verstanden. Ozon bildet sich aus Sauerstoff (Luft) durch ultraviolette Strahlen und elektrische Entladungen, riecht kräftig und reizt die Atmungsorgane.⁵⁷⁷

Als **Salze** werden alle aus Ionen aufgebauten chemischen Verbindungen verstanden, die nicht Säuren, Basen oder Oxide sind. Salze entstehen bei der Neutralisation von Säuren und Laugen.⁵⁷⁸

Schwefeldioxid (SO_2) gehört zu den Luftschadstoffen und ist ein stechend riechendes Gas, welches bei der Verbrennung von schwefelhaltigen Brennstoffen wie Heizöl, Braunkohle, Steinkohle usw. entsteht.⁵⁷⁹

Unter **Staub** werden die in der Luft schwebenden, festen Teilchen von beliebiger Form, Struktur und Dichte (Korngröße ca. 0,01 - 50 μm) verstanden.⁵⁸⁰

Stickstoffoxide entstehen bei höheren Temperaturen, z. B. bei Verbrennungsprozessen (Autoabgase, Müllverbrennung). Sie sind umweltschädliche Gemische und werden chemisch auch als NO_x bezeichnet.⁵⁸¹

⁵⁷⁷ Vgl. BROCKHAUS (Hrsg.): Der Brockhaus in drei Bänden – Band 2 Go-Pah. 4. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2006, S. 862

⁵⁷⁸ Vgl. BROCKHAUS (Hrsg.): Der Brockhaus in drei Bänden – Band 3 Pai-Z. 4. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2006, S. 271; PASSLICK, R.: Auswirkungen von standortspezifischen Umwelteinflüssen auf den Abnutzungsvorrat der Gebäudehülle von Wohnimmobilien. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2008, S. 57

⁵⁷⁹ Vgl. SCHMID, E. V.: Außenanstriche im Hochbau – Lebensdauer unter Umwelteinflüssen. Wiesbaden : Bauverlag, 1994, S. 22

⁵⁸⁰ Vgl. PASSLICK, R.: Auswirkungen von standortspezifischen Umwelteinflüssen auf den Abnutzungsvorrat der Gebäudehülle von Wohnimmobilien. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2008, S. 54

⁵⁸¹ Vgl. BROCKHAUS (Hrsg.): Der Brockhaus in drei Bänden – Band 3 Pai-Z. 4. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2006, S. 475

Unter **Temperatur** wird die thermodynamische Zustandsgröße verstanden, welche ein Maß für den Wärmezustand eines Körpers ist. Temperaturveränderungen können die Ursache für Verformungen, Salzkristallisation und Frostschädigungsprozesse sein.⁵⁸²

Unter **Wind** werden Luftbewegungen unterschiedlicher Stärke und Richtung verstanden.⁵⁸³

Die **sekundären Einflüsse** wurden bereits erläutert im Zusammenhang mit der Ermittlung des Abnutzungsvorrats durch die Beschreibung der Schadensmerkmale in Abschnitt IV2.3.

Je nach Standort (Makro- und Mikroklima z. B. Industriegebiet, Waldnähe, Straßennähe), Ausrichtung (horizontal, vertikal, Himmelsrichtung usw.), Konstruktion (Form, Gliederung, Aufbau, Größe, Lage usw.) sowie Baustoffart der Bauelemente einer Immobilie wirken die einzelnen natürlichen Einflussfaktoren unterschiedlich intensiv.

Bezüglich der Höhe der Abnutzung A eines vorhandenen Abnutzungsvorrats durch natürliche Einflussfaktoren wird auf die weiterführende Literatur verwiesen.⁵⁸⁴

⁵⁸² Vgl. BROCKHAUS (Hrsg.): Der Brockhaus in drei Bänden – Band 3 Pai-Z. 4. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2006, S. 552; FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 21

⁵⁸³ Vgl. FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998, S. 21

⁵⁸⁴ Siehe dazu PASSLICK, R.: Auswirkungen von standortspezifischen Umwelteinflüssen auf den Abnutzungsvorrat der Gebäudehülle von Wohnimmobilien. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2008

1.5 Menschliche Einflussfaktoren

Ähnlich wie bei den natürlichen Einflussfaktoren haben **menschliche Einflussfaktoren** – auch Nutzereinflüsse genannt – Auswirkungen auf den Abnutzungsvorrat der Baustoffe. Die Benutzung (z. B. durch Belastung, Bewegung und Berührung), Verkehr, Vandalismus oder höhere Gewalt (u. a. Krieg) führen zu einer Abnutzung A des Abnutzungsvorrats AV der Bauelemente.⁵⁸⁵

Betroffen von menschlichen Einflussfaktoren sind i. d. R. alle manuell bedienbaren Bauelemente (z. B. Türen und Fenster) sowie durch Menschen genutzte Oberflächen (z. B. Wandanstriche, Fußbodenbeläge). Die durch menschliche Einflussfaktoren beeinträchtigten Bauelemente befinden sich vorwiegend im Gebäudeinneren. Bauelemente der Gebäudehülle (s. Abb. 1) erfahren seltener eine Abnutzung durch menschliche Einflussfaktoren.

Vandalismus bzw. höhere Gewalt sind unvorhersehbare Abnutzungserscheinungen. Daraus resultierende Instandhaltungskosten sollten daher innerhalb einer Instandhaltungsstrategie mittels geeigneter Risikomodelle⁵⁸⁶ (z. B. der Gebäudeversicherung) berechnet und ggf. in einem übergeordneten Gesamtmodell mit berücksichtigt werden.

Bezüglich der Höhe der Abnutzung A eines vorhandenen Abnutzungsvorrats durch menschliche Einflussfaktoren wird auf die weiterführende Literatur verwiesen.⁵⁸⁷

⁵⁸⁵ In Anlehnung an BBR (Hrsg.): Dialog Bauqualität – Endbericht. Bonn : Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung BBR, 2002, S. 64; WETZEL, C.: Optimierung des zukünftigen Instandhaltungsbedarfs. In: Bundesbaublatt (2003), Heft 2, S. 30; GÄNSMANTEL, J.; GEBURTIG, G.; SCHAU, A.: Sanierung und Facility Management – Nachhaltiges Bauinstandhalten und Bauinstandsetzen. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2005, S. 140

⁵⁸⁶ Siehe dazu SALZMANN, S.: Nutzungskostenprognosen im Lebenszyklus von Gebäuden – Untersuchung ausgewählter Parameter unter Risikoaspekten. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2006; KRAUSKOPF, J.: Entwicklung einer Methodik zur Kalkulation von Pauschalen für ungeplante Instandsetzung. Dortmund, Technische Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2008; MEINEN, H.; SCHÖNFELDER, U.: Gebäudemanagement-Dienstleistungen – Kalkulation bei Service-Level-Verträgen mit Output-Spezifikationen. In: Facility Management (2006), Heft 3, S. 42-45

⁵⁸⁷ Siehe dazu BECKMANN, K.: Auswirkungen menschlicher Einflüsse auf den Abnutzungsvorrat von Bauelementen im Innenbereich von Gebäuden. Dortmund, Technische Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2010

1.6 Beziehungen zwischen den Bauelementen

Der Grad der Abnutzung und die Lebensdauer der einzelnen Bauelemente (vgl. Abschnitt III1) hängen auch von der Beeinflussung der Abnutzung durch **Beziehungen zwischen den Bauelementen** ab. Diese Beziehungen können die Abnutzung verringern oder verstärken. Eine Verringerung der Abnutzung wird durch die folgenden Schutzmechanismen erreicht:

- konstruktiver Schutz
- physikalischer Schutz
- chemischer Schutz
- interner Schutz.

Als **konstruktiver Schutz** werden alle baulichen Maßnahmen verstanden, die sich durch ihre Kontinuität und Dauerhaftigkeit, d. h. zeitliche Unveränderbarkeit, auszeichnen. Durch einen konstruktiven Schutz wird die Intensität schadensverursachender natürlicher und menschlicher Einflussfaktoren, d. h. die Stärke, mit der sie auf ein Bauelement einwirken, dauerhaft herabgesetzt. Diese konstruktiv geschützten Bauelemente erfahren eine geringere Abnutzung als solche Bauelemente, welche keinen konstruktiven Schutz aufweisen. Beispiele für den konstruktiven Schutz sind u. a. Bauteilaustragungen wie Vordächer (s. Abb. 371), Ab- und Überdeckungen wie Vormauerschalen vor Wärmedämmung, Zinkblechabdeckungen an Dachaufkantung, Glasuren auf keramischen Baustoffen oder Fassadenbekleidungen.⁵⁸⁸

⁵⁸⁸ Vgl. ROPERTZ, N.: Schutzwirkung von Bauelementen innerhalb der Gebäudehülle. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2008, S. 21 ff.

Bauteilaukrakungen wie Vordächer werden besonders in niederschlagsgefährdeten Regionen angewendet. Um den konstruktiven Schutz eines Fassadenelements vor der direkten Benetzung durch Niederschlag zu gewährleisten, muss bei der Annahme einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s (Windstärke 1) und einer Fallgeschwindigkeit der Regentropfen von 5 m/s ein Überstand der Bauteilaukrakungen mittels Vordach von 0,2 m pro 1,0 m Höhe erstellt werden.⁵⁸⁹

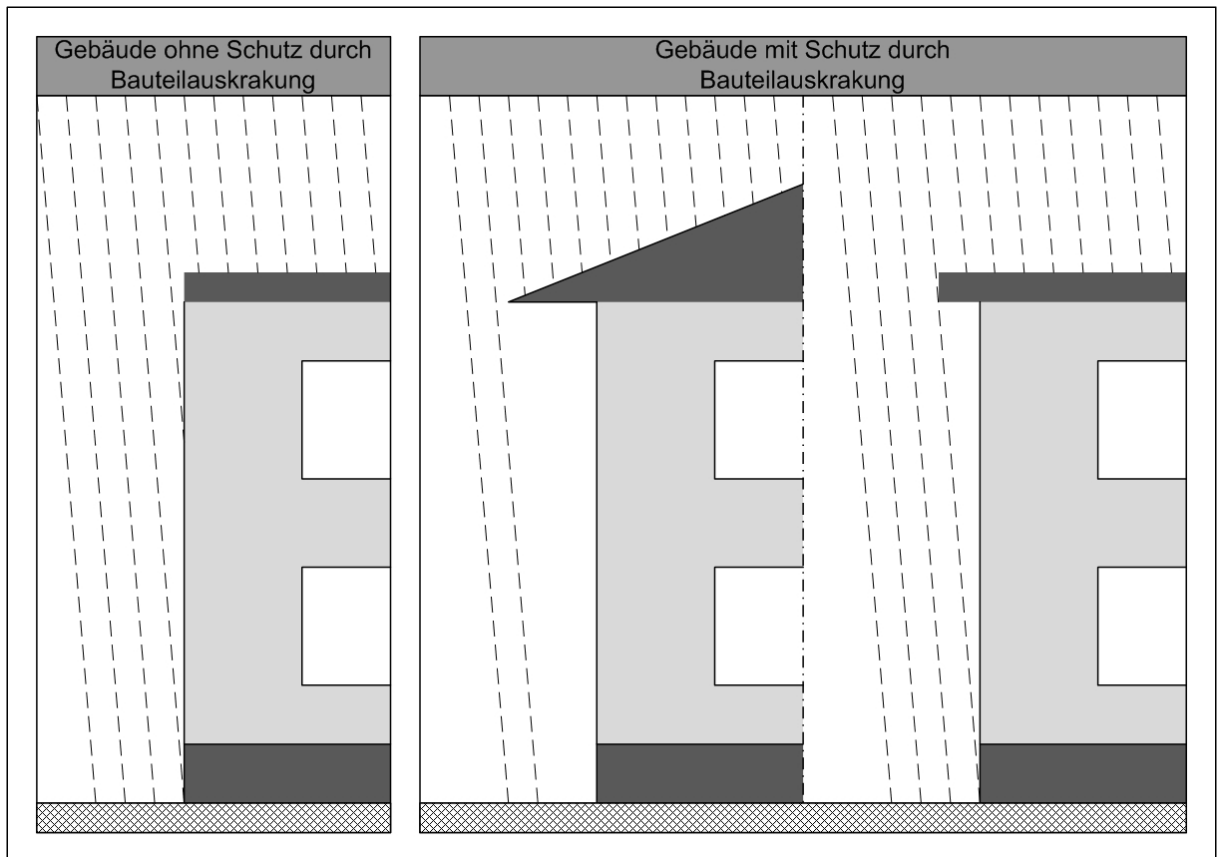


Abb. 371: Vordach als Beispiel für konstruktiven Schutz⁵⁹⁰

⁵⁸⁹ Vgl. EMPA-AKADEMIE (Hrsg.): Die Gebäudehülle – Konstruktive, bauphysikalische und umweltrelevante Aspekte. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2000, S. 3, S. 135

⁵⁹⁰ In Anlehnung an EMPA-AKADEMIE (Hrsg.): Die Gebäudehülle – Konstruktive, bauphysikalische und umweltrelevante Aspekte. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2000, S. 135

Die Abb. 372 zeigt die Beeinflussung des Abnutzungsverlaufs von Bauelementen bzw. ihrer Baustoffe mit und ohne konstruktiven Schutz, wobei von einem linearen Verlauf (vgl. Abb. 11) ausgegangen wird. Während die ABK eines Bauelements ohne konstruktiven Schutz aufgrund einer höheren Abnutzung (hier $A_{T_n, oS}$) schneller den Grenz-Abnutzungsvorrat AV_{Grenz} erreicht, kann durch einen konstruktiven Schutz die Lebensdauer des gleichen Bauelements am gleichen Standort und gleicher Lage verlängert werden. Die Abnutzung mit Schutz $A_{T_n, mS}$ ist kleiner als die Abnutzung ohne Schutz $A_{T_n, oS}$.

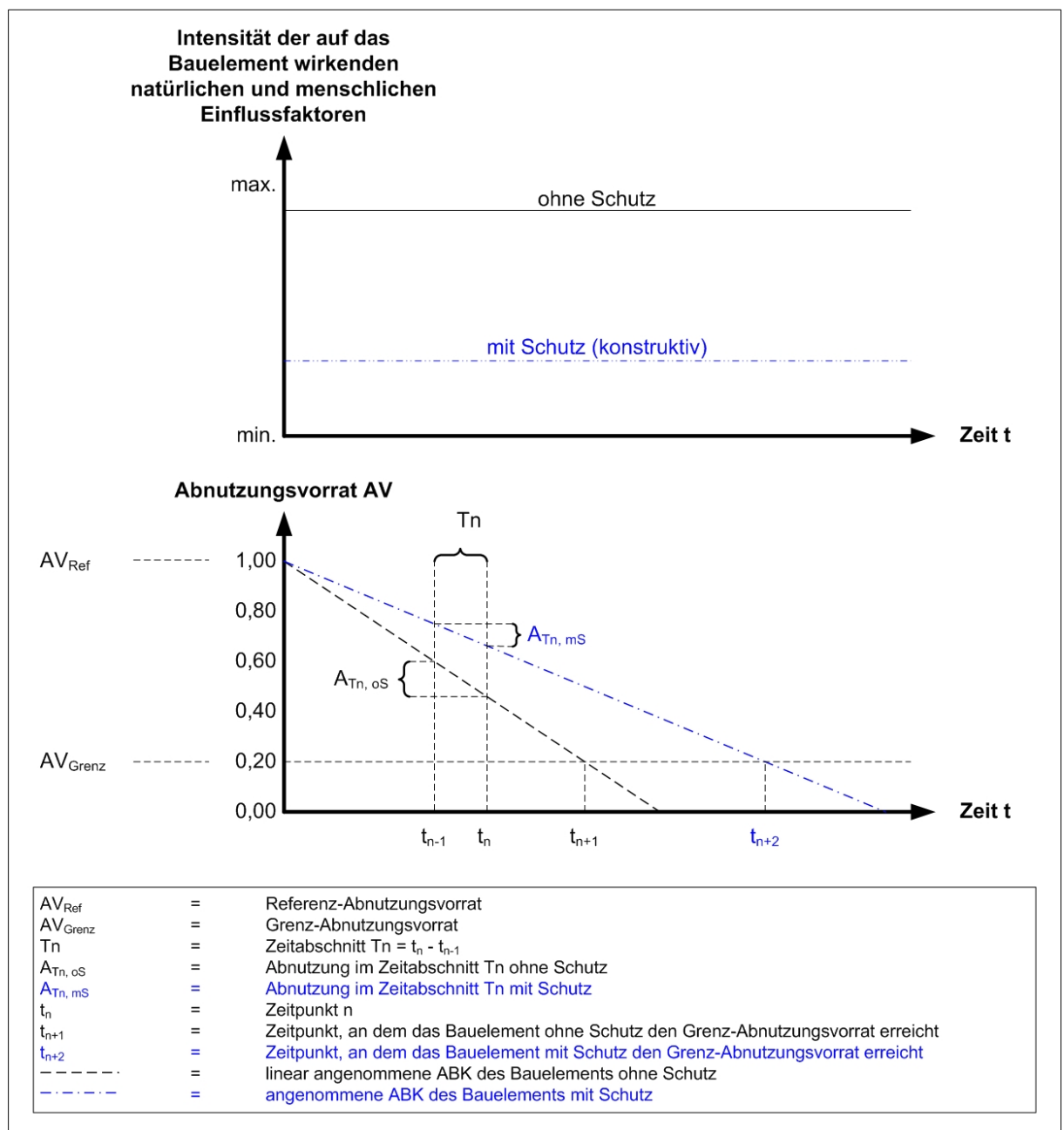


Abb. 372: Abbauverlauf mit und ohne konstruktiven Schutz

Ohne konstruktiven Schutz treffen die schadensverursachenden natürlichen und menschlichen Einflussfaktoren ungehindert auf das Bauelement. Die Intensität der auf die Bauelemente wirkenden Einflussfaktoren ist hierbei gemäß Abschnitt V1.4 vom Standort, von der Ausrichtung sowie der Konstruktion der Bauelemente abhängig. Durch einen konstruktiven Schutz werden die schadensverursachenden natürlichen und menschlichen Einflussfaktoren reduziert.

Physikalischer Schutz wird durch die temporäre Reduzierung schadensverursachender natürlicher und menschlicher Einflussfaktoren mittels unmittelbar vorgelagerter Bauelemente erreicht. Ein physikalischer Schutz ist nicht dauerhaft. Er verliert i. d. R. mit fortschreitendem Alter seine Wirkung. Beispiele für den physikalischen Schutz sind u. a. sämtliche Anstriche, Beschichtungen (z. B. Putzschichten), Imprägnierungen, Hydrophobierungen, Pigmente (Reflexions- und Absorptionswirkung in Anstrichen)⁵⁹¹, Lichtschutzmittel (z. B. UV-Absorber in Anstrichen), Besplittungen und Bekiesungen.⁵⁹²

In Abb. 373 wird beispielhaft die Wirkungsweise von Pigmenten dargestellt. So schützen diese i. d. R. vor schadensverursachender Globalstrahlung, im Speziellen vor UV-Licht aufgrund von Absorption, Remission⁵⁹³ und/oder Reflektion. Aufgrund der Tatsache, dass auch Pigmente nicht von Dauer sind (auch diese werden im Laufe der Zeit zerstört oder werden durch Niederschlag aus dem Bindemittel ausgewaschen), verliert ein derartiges Anstrichsystem auch seine Schutzwirkung.

⁵⁹¹ Vgl. SCHMID, E. V.: Außenanstriche im Hochbau – Lebensdauer unter Umwelteinflüssen. Wiesbaden : Bauverlag, 1994, S. 155; SCHÖNBURG, K.: Korrosionsschutz am Bau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006, S. 260

⁵⁹² Vgl. ROPERTZ, N.: Schutzwirkung von Bauelementen innerhalb der Gebäudehülle. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2008, S. 23 ff.; IRB (Hrsg.): Lebensdauer der Baustoffe und Bauteile zur Harmonisierung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer im Wohnungsbau. Hannover : IRB Verlag, 2005, S. 79; EMPA-AKADEMIE (Hrsg.): Die Gebäudehülle – Konstruktive, bauphysikalische und umweltrelevante Aspekte. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2000, S. 93; COLLING, F.: Lernen aus Schäden im Holzbau – Ursachen, Vermeidung, Beispiele. Karlsruhe : Bruderverlag, 2000, S. 222; LBB (Hrsg.): Bauteile sicher beurteilen: Wärme, Feuchte, Schall – Erkennen der Einflüsse, einfaches Abschätzen und Bewerten in Planung und Ausführung. Aachen : Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung (LBB), 1993, S. 35

⁵⁹³ Remission bezeichnet die ungerichtete, diffuse Reflexion von Licht (vgl. BROCKHAUS (Hrsg.): Der Brockhaus in drei Bänden – Band 3 Pai-Z. 4. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2006, S. 177).

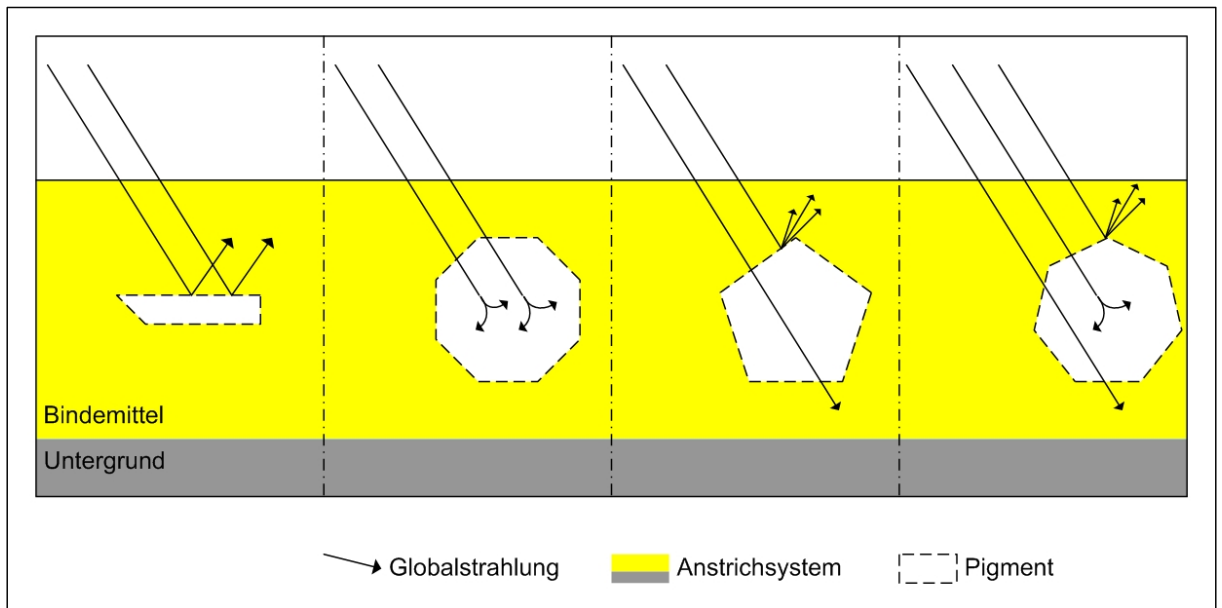


Abb. 373: Wirkungsweise von Pigmenten⁵⁹⁴

Der Einfluss der Globalstrahlung auf das zu schützende Bauelement nimmt im Laufe der Zeit zu. Dieser Sachverhalt wird beispielhaft in Abb. 374 dargestellt. Hierbei wird deutlich, dass mit nachlassender Schutzwirkung, d. h. mit Zunahme der Intensität der auf das Bauelement wirkenden Einflussfaktoren, die Abnutzung ansteigt. Die Lebensdauer des Bauelements mit Schutz ist jedoch höher als die des Bauelements ohne Schutz.

Als **chemischer Schutz** werden zusätzlich aufgebrachte oder innerhalb eines Bauelements bzw. eines Baustoffs schon enthaltene chemische Mittel verstanden, welche zum Schutz eines Bauelements beitragen. Chemischer Schutz reduziert die Wirkung schadensverursachender natürlicher und menschlicher Einflussfaktoren. Ein chemischer Schutz ist nicht dauerhaft. Er verliert mit fortschreitendem Alter seine Wirkung.

Beispiele für einen zusätzlich aufgebrachten chemischen Schutz sind u. a. Biozide, Fungizide, Algizide sowie Insektenschutzmittel, welche Algen-, Pflanzen-, Bakterien-, Pilz- bzw. Insektenbefall verhindern sollen. Die Alkalität von Stahlbeton kann als innerhalb eines Baustoffs enthaltener chemischer Schutz angesehen werden, da er

⁵⁹⁴ Vgl. SCHÖNBURG, K.: Korrosionsschutz am Bau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006, S. 260

das Korrodieren der im Stahlbeton befindlichen Bewehrung bei fachgerechter Herstellung verhindert.⁵⁹⁵

Die Wirkungsweise des chemischen Schutzes ist gleich der des physikalischen Schutzes und wird in Abb. 374 beispielhaft dargestellt.

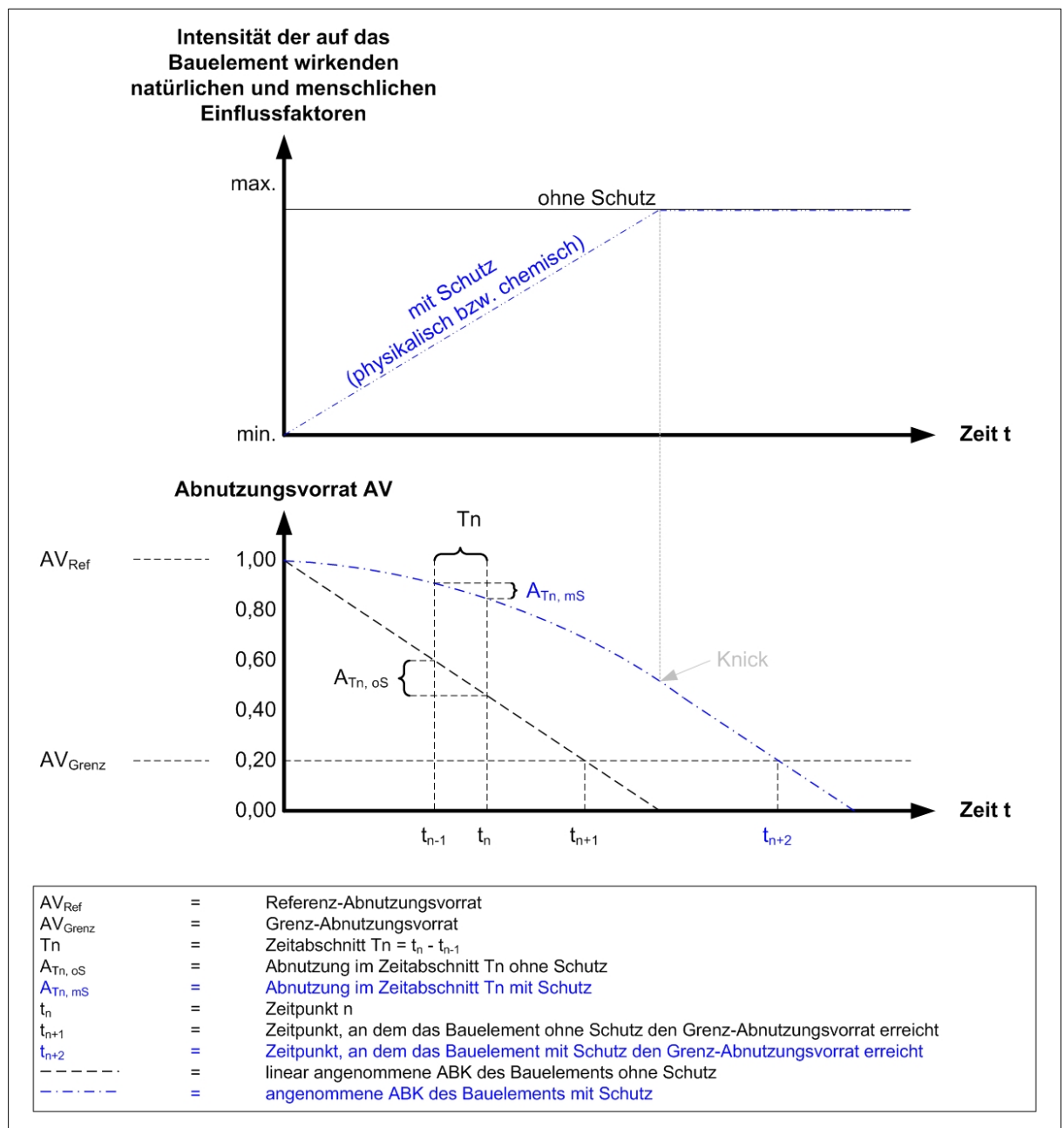


Abb. 374: Abbauverlauf mit und ohne physikalischen bzw. chemischen Schutz

⁵⁹⁵ Vgl. ROPERTZ, N.: Schutzwirkung von Bauelementen innerhalb der Gebäudehülle. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2008, S. 23; SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 69

In Abb. 374 wird vereinfacht von einer linearen ABK (vgl. Abb. 11) des Bauelements ohne Schutz ausgegangen. Durch die im Laufe der Zeit nachlassende Schutzwirkung, d. h., die Intensität der auf das Bauelement wirkenden Einflussfaktoren nimmt zu, ist der Verlauf der ABK des Bauelements mit Schutz anfangs progressiv fallend. Ab dem Zeitpunkt, an dem keine Schutzwirkung mehr vorhanden ist, verhält sich der Verlauf der ABK des Bauelements mit Schutz gleich dem Verlauf der ABK des Bauelements ohne Schutz, d. h., sie sind linear.

Es gibt Bauelemente bzw. Baustoffe, die einen **internen Schutz** aufbauen und somit die Wirkung schadensverursachender natürlicher Einflussfaktoren reduzieren. Dieser interne Schutz ist eine Art des chemischen Schutzes, er wirkt jedoch erst zeitlich versetzt.

Ein Beispiel für einen derartigen Baustoff ist Kupfer, da dieses Metall eine schützende Schicht aus grünem Kupfercarbonat in CO₂-haltiger Atmosphäre aufbaut.⁵⁹⁶

Mit der Zunahme der Schutzfunktion (z. B. Zunahme der Kupfercarbonatschicht), d. h. mit der Abnahme der Intensität der auf das Bauelement wirkenden natürlichen und menschlichen Einflussfaktoren, verringert sich die Abnutzung. Dieser Sachverhalt wird beispielhaft in Abb. 375 dargestellt. Es wird vereinfacht von einem linearen Verlauf der Abnutzung des Bauelements ohne Schutz ausgegangen. Durch die Zunahme der Schutzwirkung, d. h., die Intensität der auf das Bauelement wirkenden Einflussfaktoren nimmt ab, verlangsamt sich die Abnutzung. Eine degressiv fallende ABK stellt sich ein bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Schutzwirkung ihr Maximum erreicht hat. Ab diesem Knick ist der Verlauf der Abnutzung ähnlich der ABK eines Bauelements mit konstruktivem Schutz gemäß Abb. 372, d. h., er ist linear.

⁵⁹⁶ Vgl. SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 94

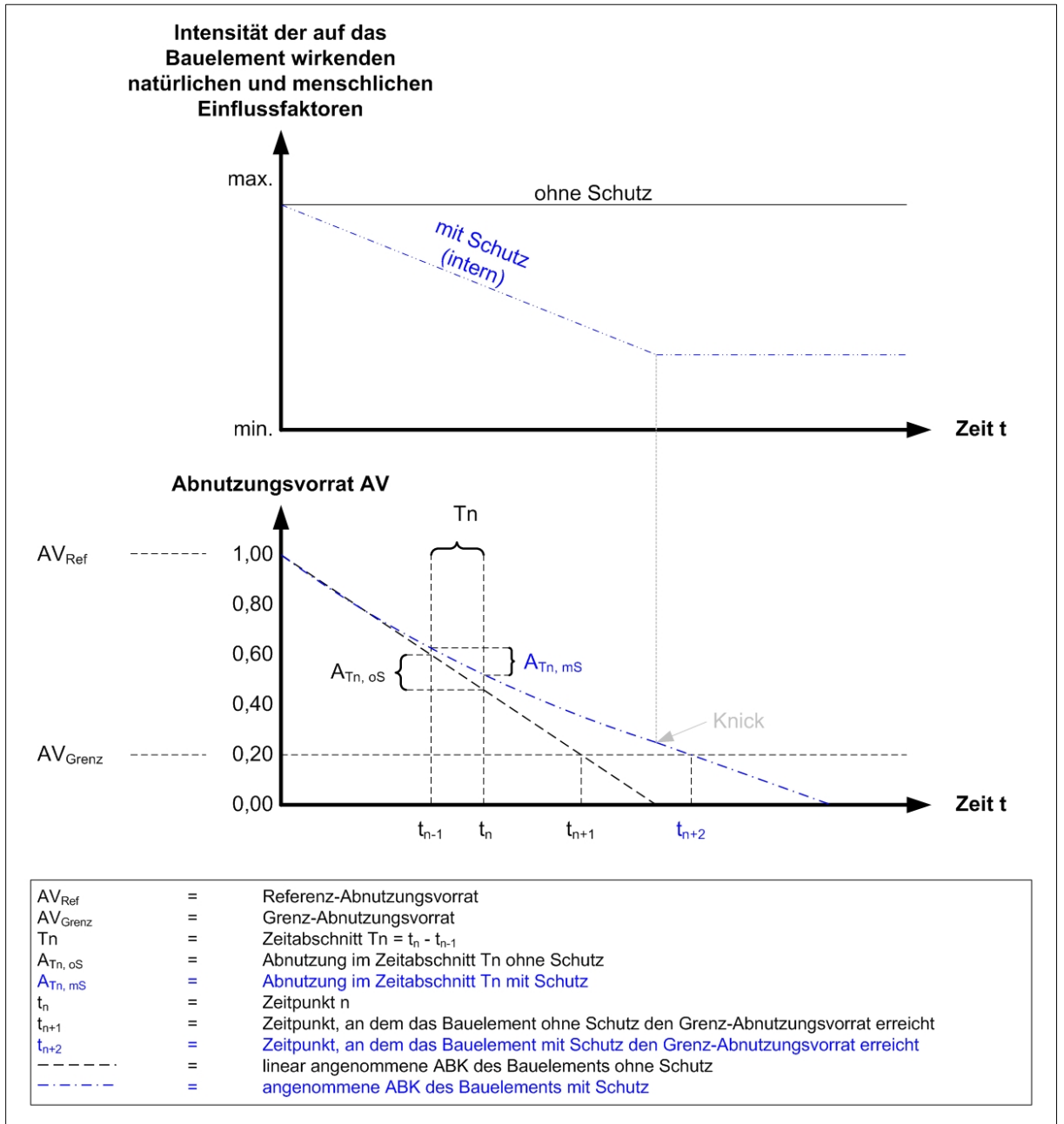


Abb. 375: Abbauverlauf mit und ohne internen Schutz

Die Beziehungen zwischen den Bauelementen verringern i. d. R. die Abnutzung zu schützender Bauelemente. Es kann jedoch bei einer unsachgemäßen Konzeptionierung **eine Verstärkung der Abnutzung** erfolgen, wenn die Ausführung einer Konstruktion aus mehreren Bauelementen nicht den entsprechenden Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen, Verarbeitungsvorschriften sowie a. a. R. d. T. entspricht.

Ein Beispiel hierfür stellt die Verbindung zweier Bauelemente aus den jeweiligen Baustoffen Kupfer und Zink dar, was zu Kontaktkorrosion gemäß Abb. 55 und somit zu einer verstärkten Abnutzung des Bauelements aus Zink führt.

Bezüglich der Beeinflussung der Abnutzung durch Beziehungen zwischen den Bauelementen wird auf die weiterführende Literatur verwiesen.⁵⁹⁷

1.7 Einflussfaktor Instandhaltung

Im Gegensatz zu den natürlichen und menschlichen Einflussfaktoren führt der **Einflussfaktor Instandhaltung** gemäß Abschnitt III2 im Allgemeinen zu einer Erhöhung des Abnutzungsvorrats AV. Dies gilt besonders für die Instandhaltungsmaßnahme Instandsetzung. Die Definitionen bzgl. der einzelnen nach DIN 31051 aufgeführten Begriffe der Instandhaltung sowie die Auswirkungen dieser Instandhaltungsmaßnahmen auf den Abnutzungsvorrat AV sind in Abschnitt III2 detailliert aufgeführt.

Aufgrund der Vielzahl von Bauelementen und ihrer Baustoffe ist es von Bedeutung zu wissen, wie eine Zustandsverbesserung erreicht werden kann. Es ist zu klären, durch welche Instandhaltungsmaßnahmen die jeweiligen Ausprägungen des Abnutzungsvorrats AV (ausgedrückt durch die Werte zwischen 0 und 1) erhöht werden können.

⁵⁹⁷ Siehe dazu ROPERTZ, N.: Schutzwirkung von Bauelementen innerhalb der Gebäudehülle. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2008; BRÜGGESTRATH, K.: Einfluss von Instandhaltungsrückstau auf die Lebenserwartung der Bauelemente und Bauwerksstrukturen von Wohnimmobilien. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2007; SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003, S. 15

Grundsätzlich sind zur Erhöhung des Abnutzungsvorrats die potentiellen Instandsetzungsmaßnahmen gemäß Abb. 376 vorstellbar. Hierbei wird davon ausgegangen, dass zunächst eine **Erhöhung des Abnutzungsvorrats durch Instandsetzungsmaßnahmen** von jedem der in Abb. 39 eingeführten Bereiche möglich ist. Zusätzlich wird angenommen, dass ausgehend von den 5 Bereichen gemäß Abb. 39 Erhöhungen durch Instandsetzungsmaßnahmen in alle höherwertigeren Bereiche möglich sind.

Erhöhungen in den neuwertigen Bereich können hierbei entweder bis zum Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} reichen (s. Abb. 376 Instandsetzungsmaßnahmen IM1, IM3, IM6, IM10, IM15) oder sie führen zu einer geringeren Erhöhung. Das Erreichen des Referenz-Abnutzungsvorrats AV_{Ref} ist nur durch Instandsetzung mittels Austauschen (vgl. Abb. 17) möglich. Alle übrigen Erhöhungen werden lediglich durch Instandsetzung mittels Ausbessern gemäß Abb. 16 erreicht.

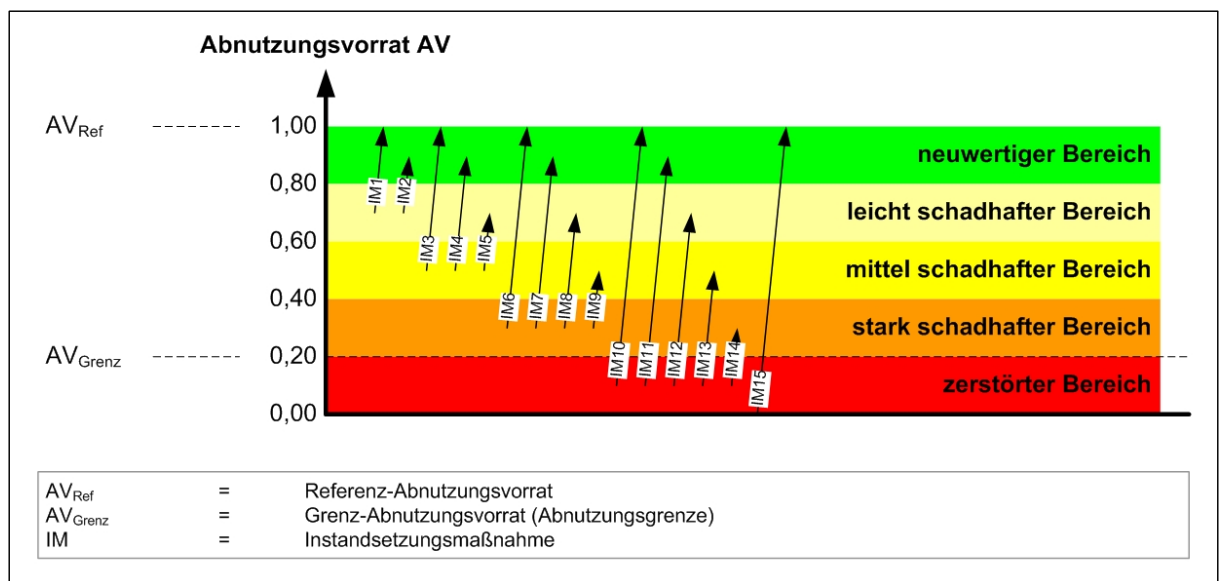


Abb. 376: Potentielle Instandsetzungsmaßnahmen zur Erhöhung des Abnutzungsvorrats

In der Praxis werden bauelement- und baustoffabhängig nicht alle hier vorgestellten potentiellen Maßnahmen gemäß Abb. 376 umsetzbar sein. Beispielsweise lässt sich schwer vorstellen, wie der Abnutzungsvorrat AV eines Bauelements im zerstörten Bereich durch eine Instandsetzung mittels Ausbessern⁵⁹⁸ (s. Abb. 376, Instandsetzungsmaßnahme IM11) in den neuwertigen Bereich erhöht werden kann. Ohne die vollständige Demontage des Bauelements, d. h. ohne Instandsetzung mittels Austauschen⁵⁹⁹ wie bspw. im Rahmen der Instandsetzungsmaßnahme IM10 gemäß Abb. 376 angesetzt, scheint dies nicht möglich.

Darüber hinaus gilt es zu überprüfen, ob alle Instandsetzungsmaßnahmen wirtschaftlich sinnvoll sind. So ist die Instandsetzung eines Bauelements aus dem leicht schadhafte Bereich mittels Austauschen (s. Abb. 376, Instandsetzungsmaßnahme IM1) wirtschaftlich unsinnig. Die vorhandenen Schäden sind minimal, eine hohe Qualität ist noch vorhanden. Es ist unzweckmäßig, das Bauelement komplett zu demonstrieren, um es anschließend neu herzustellen.⁶⁰⁰

Der Vollständigkeit halber werden innerhalb der Abb. 376 dennoch alle Möglichkeiten zur Erhöhung des Abnutzungsvorrats durch Instandsetzungsmaßnahmen aufgeführt. Bezüglich der Überprüfung der Machbarkeit wie auch der Wirtschaftlichkeit wird auf die weiterführende Literatur verwiesen.⁶⁰¹

⁵⁹⁸ Siehe dazu Abb. 16

⁵⁹⁹ Siehe dazu Abb. 17

⁶⁰⁰ Instandsetzung mittels Austauschen ist in Abschnitt III.2.4 näher beschrieben.

⁶⁰¹ Siehe dazu OLBRICH, J.: Instandhaltung der Gebäudehülle von Bestandsimmobilien und die zu erzielenden Synergieeffekte. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2008

2 Abnutzungsvorrat als zentrale Größe für Instandhaltungsstrategien

2.1 Ermittlung des gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrats

Bezug nehmend auf Abschnitt III3 stellt der Abnutzungsvorrat eine zentrale Größe bei der Umsetzung einer jeden Instandhaltungsstrategie dar. Während bei den korrektiven Instandhaltungsstrategien (vgl. Abb. 22, Abb. 24 sowie Abb. 26) das jeweilige Bauelement bis auf den zerstörten Bereich, d. h. bis auf den Grenzabnutzungsvorrat AV_{Grenz} , heruntergewirtschaftet wird, lassen sich mittels **Ermittlung des gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrats** innerhalb präventiver Instandhaltungsstrategien wirtschaftliche Überlegungen hinsichtlich der Instandhaltungsmaßnahmen anstellen.

Speziell bei der zustandsorientierten Instandhaltungsstrategie (vgl. Abb. 30), der voraussagenden Instandhaltungsstrategie (vgl. Abb. 32) sowie der prospektiven Instandhaltungsstrategie (vgl. Abb. 35) dienen Inspektionen der Ermittlung des Abnutzungsvorrats relevanter Bauelemente und stellen somit die Grundlage zukünftiger Planungen dar. Die Ermittlung des Abnutzungsvorrats erfolgt hierbei mittels des in Kapitel IV vorgestellten Verfahrens ERAB.

2.2 Ermittlung des zukunftsbezogenen Abnutzungsvorrats

Voraussetzung für die Anwendung einer präventiven Instandhaltungsstrategie ist es, den Verlauf des Abnutzungsvorrats zu kennen. Gegenwärtig existieren keine Modelle für eine solche Vorhersage. Im Zuge der **Ermittlung des zukunftsbezogenen Abnutzungsvorrats** bedarf es deshalb der Berücksichtigung der in Abb. 377 aufgeführten sowie der in den Abschnitten V1.2 bis V1.7 dargestellten Einflussfaktoren.

Ist die Auswirkung natürlicher sowie menschlicher Einflussfaktoren auf den Abnutzungsvorrat bekannt und ist die Beeinflussung der Abnutzung durch Beziehungen

zwischen den Bauelementen berechenbar, so kann die Abnutzung A_{T_n} innerhalb eines zu untersuchenden Zeitabschnitts T_n ermittelt werden.⁶⁰²

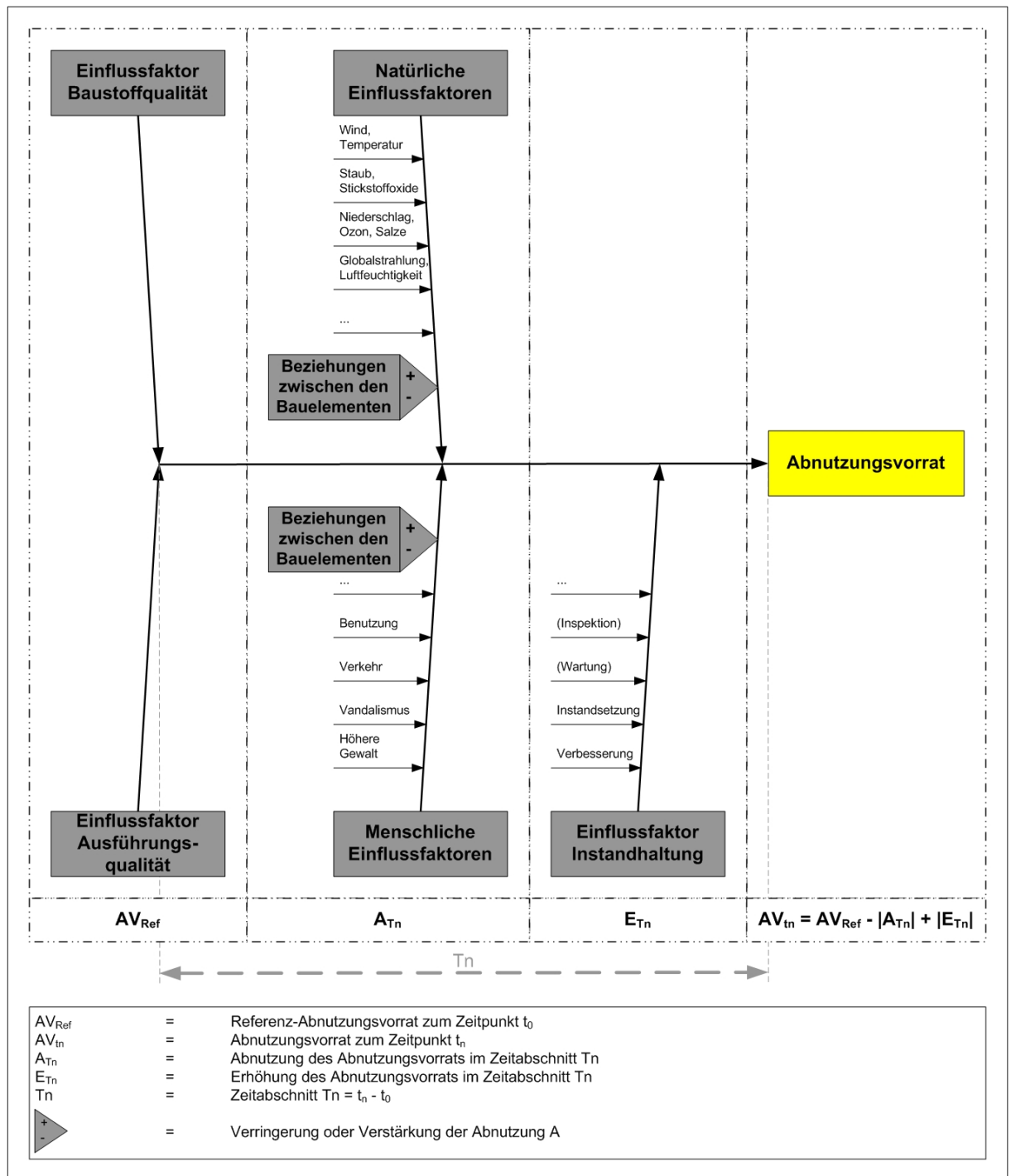


Abb. 377: Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{t_n} unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren

⁶⁰² Es wird davon ausgegangen, dass ein Gebäude den Standort nicht wechselt und damit die Abnutzung aufgrund natürlicher Einflussfaktoren konstant bleibt. Es sollte jedoch beachtet werden, dass in anderen Nationen teilweise Gebäude mittels Tieflader umgesetzt werden, wie dies bspw. in den USA geschieht.

Mit Hilfe der Abnutzung A_{T_n} und dem Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} , der sich aus den Einflussfaktoren Baustoffqualität und Ausführungsqualität ergibt, lässt sich der zukunftsbezogene Abnutzungsvorrat bestimmen.

Es wird zunächst davon ausgegangen, dass alle relevanten Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen, Verarbeitungsvorschriften sowie a. a. R. d. T. erfüllt sind sowie eine fach- und sachgerechten Abnahme aller Leistungen erfolgte. Sind dementsprechend die Baustoff- sowie Ausführungsqualität gemäß Abschnitt V1.2 und Abschnitt V1.3 eingehalten, so erhält der Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} den Wert 1,00. Ist dies nicht der Fall, wird von einem Abnutzungsvorrat kleiner 1,00 ausgegangen. Sollte bereits ein gegenwartsbezogener Abnutzungsvorrat gemäß des in Kapitel IV vorgestellten Verfahrens ERAB ermittelt worden sein, so wird mit diesem Wert gerechnet.⁶⁰³

Der zukunftsbezogene Abnutzungsvorrat, in Abb. 377 beispielhaft mit AV_{t_n} angegeben, ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} und der Abnutzung A_{T_n} bzw. der Differenz zwischen dem ermittelten gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrat und der Abnutzung A_{T_n} .

Sind innerhalb des zu untersuchenden Zeitabschnitts T_n Instandhaltungsmaßnahmen geplant, die zu einer Erhöhung des Abnutzungsvorrats AV führen werden, so wird die sich daraus ergebene Erhöhung E_{T_n} zum Referenz-Abnutzungsvorrat AV_{Ref} bzw. dem ermittelten gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrat addiert.

Der zukunftsbezogene Abnutzungsvorrat AV_{t_n} lässt sich somit darstellen durch die Berechnungsgrundlage $AV_{t_n} = AV_{Ref} - |A_{T_n}| + |E_{T_n}|$ ⁶⁰⁴.

⁶⁰³ Siehe hierzu auch Abschnitt V2.1

⁶⁰⁴ In dieser Arbeit wird die negative Änderung des Abnutzungsvorrats als „Abnutzung“ bezeichnet und die positive Änderung des Abnutzungsvorrats als „Erhöhung“. Um die Berechnungsgrundlage mathematisch vorzeichenunabhängig darstellen zu können, werden Betragsstriche eingesetzt.

2.3 **Kosten-Nutzen-Analyse im Rahmen der prospektiven Instandhaltungsstrategie**

2.3.1 **Werte des Abnutzungsvorrats als Grundlage der Kosten-Nutzen-Analyse**

Für die Bewirtschaftung von Gebäuden über eine vorgesehene Nutzungsdauer L_{Nutz} bedarf es im Rahmen einer prospektiven Instandhaltungsstrategie (vgl. dazu Abschnitt III.3.4) eines Variantenvergleichs potentieller Instandhaltungsmaßnahmen in Form einer Kosten-Nutzen-Analyse. Um einen sinnvollen Variantenvergleich durchführen zu können, werden die folgenden **Werte des Abnutzungsvorrats als Grundlage der Kosten-Nutzen-Analyse** benötigt:

- 1) Ermittlung des gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrats
- 2) Ermittlung des zukunftsbezogenen Abnutzungsvorrats
- 3) Bestimmung möglicher Erhöhungen des Abnutzungsvorrats durch Instandsetzungsmaßnahmen.

Die Ermittlung des **gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrats** zwecks Ermittlung des Ist-Zustands erfolgt hierbei gemäß Abschnitt V2.1 bzw. Kapitel IV nach dem Verfahren ERAB.

Die Ermittlung des **zukunftsbezogenen Abnutzungsvorrats**, d. h. die Bestimmung der zu erwartenden Abbaukurve, erfolgt gemäß den in Abschnitt V2.2 dargelegten Ausführungen.

Als Basis für die Bestimmung möglicher **Erhöhungen des Abnutzungsvorrats durch Instandsetzungsmaßnahmen** dient die Abb. 376. So muss im Rahmen der prospektiven Instandhaltungsstrategie für zu untersuchende Bauelemente geprüft werden, welche der in Abb. 376 aufgeführten Instandsetzungsmaßnahmen generell realisierbar sind. Hierbei entfallen u. a. diejenigen Maßnahmen, welche einen vorgegebenen Mindest-Abnutzungsvorrat AV_{Mind} bzw. Rest-Abnutzungsvorrat AV_{Rest} gemäß Abb. 35 nicht einhalten. Die verbleibenden möglichen Instandsetzungsmaßnahmen können nun im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse verglichen und bewertet werden. Die Bewertung des Nutzens erfolgt hierbei gemäß Abschnitt V2.3.2 und die Bewertung der Kosten entsprechend Abschnitt V2.3.3.

2.3.2 Betrachtung des Nutzens innerhalb der Kosten-Nutzen-Analyse

Die verbleibenden möglichen Instandsetzungsmaßnahmen, die im Rahmen einer prospektiven Instandhaltungsstrategie realisierbar sind (s. dazu die Bestimmung möglicher Erhöhungen des Abnutzungsvorrats durch Instandsetzungsmaßnahmen gemäß Abschnitt V2.3.1), müssen im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse verglichen und bewertet werden.

Die **Kosten-Nutzen-Analyse** ist ein auf der Wohlfahrtsökonomik beruhendes Verfahren zur vergleichenden Bewertung von Objekten oder Handlungsalternativen, insbesondere öffentlicher Infrastruktur-Investitionsvorhaben. Hierbei werden die zukünftigen, auf den gegenwärtigen Zeitpunkt abdiskontierten⁶⁰⁵ Kosten und der Nutzen des einzelnen Projektes bestimmt und mit den entsprechenden Größen alternativer Investitionsobjekte verglichen. Gewählt wird die Alternative mit der größten Differenz zwischen Nutzen und Kosten.⁶⁰⁶

Der innerhalb der Kosten-Nutzen-Analyse zu bewertende **Nutzen** widerspiegelt sich in der durch eine Instandsetzungsmaßnahme erreichbare Erhöhung des Abnutzungsvorrats. Im Gegensatz zur Definition der Kosten-Nutzen-Analyse ist die Abdiskontierung dieses Nutzens nicht sinnvoll. Der Nutzen wird innerhalb der Wohlfahrtsökonomik in Geldwert gemessen. In dieser Arbeit ist jedoch der Nutzen durch eine reale Größe, d. h. dem Wert des Abnutzungsvorrats AV, ausgedrückt.⁶⁰⁷

⁶⁰⁵ Die Diskontierung ist ein Begriff der Zinseszinsrechnung und beschäftigt sich mit der Ermittlung des Anfangskapitals für ein gegebenes Endkapital bzw. der Bestimmung des Bar- oder Gegenwartwertes (mittels Barwert- bzw. Kapitalwertmethode) zukünftiger Zahlung durch Multiplikation der Zahlungen mit dem zugehörigen Abzinsungsfaktor (vgl. GABLER (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon – Taschenbuch-Kassette mit 10 Bd. – Band 3 – D-FD. 14. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997, S. 947; GABLER (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon – Taschenbuch-Kassette mit 10 Bd. – Band 1 – A. 14. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997, S. 54).

⁶⁰⁶ Vgl. GABLER (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon – Taschenbuch-Kassette mit 10 Bd. – Band 5 – I-K. 14. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997, S. 2269

⁶⁰⁷ Ein spezielles Verfahren zur Betrachtung des Nutzens innerhalb der Kosten-Nutzen-Analyse stellt die Kosten-Wirksamkeits-Analyse dar, bei welcher der Nutzen anhand technischer, psychologischer oder sozialer Kriterien bewertet wird (vgl. GABLER (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon – Taschenbuch-Kassette mit 10 Bd. – Band 5 – I-K. 14. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997, S. 2285).

In Abb. 378 bis Abb. 389 wird ein **Beispiel für die Ermittlung des Nutzens**, d. h. der möglichen Erhöhung des Abnutzungsvorrats aufgrund einer Instandsetzungsmaßnahme, gegeben. Hierbei handelt es sich um einen Träger einer Brücke aus dem Baustoff Stahl (unlegiert). Der gegenwartsbezogene Abnutzungsvorrat wurde in Abb. 378 bis Abb. 383 ermittelt und weist einen Abnutzungsvorrat AV_{tn} von 0,5750 (mittel schadhafter Bereich) aufgrund von Korrosion und leichter Verformung auf.

Durch eine mögliche zukünftige Instandsetzungsmaßnahme, welche beispielhaft in Abb. 384 bis Abb. 389 dargestellt ist, könnte der zukunftsbezogene Abnutzungsvorrat AV_{tn} des Bauelements Tragkonstruktion aus Stahl (unlegiert) auf einen Wert von 0,6750 (leicht schadhafter Bereich) erhöht werden. Im Rahmen dieser potentiellen Maßnahme sind folgende Tätigkeiten geplant:

- Entrostung schadhafter Bereiche, d. h. Reduzierung der Rostfläche auf 0 m²
- Auftrag einer neuen Korrosionsschutzbeschichtung⁶⁰⁸.

Durch diese Instandsetzungsmaßnahme würde der Abnutzungsvorrat AV_{tn} für das Bauelement Stahlträger der Brückenkonstruktion wie folgt beeinflusst:

- Die Reduzierung der Rostfläche auf 0 m² bewirkt eine Senkung des Einheitsskalenwerts für den Merkmalsaspekt Rostgrad auf 0,00 (s. Abb. 388).
- Die aufgrund des Korrosionsschadens reduzierte Schichtdicke wird durch die potentielle Instandsetzungsmaßnahme nicht wieder auf die Referenzschichtdicke erhöht. Somit bleibt der Einheitsskalenwert des Merkmalsaspekts Schichtdicke bei 0,60 (s. Abb. 388).
- Der Einheitsskalenwert des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) reduziert sich von 0,80 (gemäß Abb. 378) auf 0,60 (gemäß Abb. 389).
- Der Abnutzungsvorrat AV_{tn} erhöht sich von 0,5750 (gemäß Abb. 378) auf 0,6750 (gemäß Abb. 389).

⁶⁰⁸ Die Korrosionsschutzbeschichtung ist für die Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV des Bauelements Tragkonstruktion aus dem Baustoff Stahl (unlegiert) nicht relevant, sondern würde bei der Bewertung des Bauelements Beschichtung mit einfließen.

Im Rahmen der prospektiven Instandhaltungsstrategie müsste für das hier aufgeführte Beispiel geprüft werden, ob es neben der in Abb. 384 bis Abb. 389 aufgeführten Instandsetzungsmaßnahme weitere Möglichkeiten zur Erhöhung des Abnutzungsvorrats gibt. Diese Maßnahmen müssten innerhalb einer Kosten-Nutzen-Analyse auf die dafür anfallenden Kosten untersucht werden. Die Grundlagen für die Überprüfung der Kosten innerhalb der Kosten-Nutzen-Analyse werden in Abschnitt V2.3.3 dargestellt.

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | | Bl. 1 | |
|---|--|--|--------------------------------------|--|--------|
| Allgemeine Angaben | Bauelement | Stahlträger einer Brückenkonstruktion | | | |
| | Baustoff | Stahl (unlegiert) | | | |
| | Statische Relevanz | Statisch relevant | | | |
| | Standort | Dortmund | | | |
| | Art der Immobilie | Eisenbahnbrücke | | | |
| | Zeitpunkt t_n der Bestandsaufnahme | 01.05.2010 | | | |
| | Erstellungsdatum des Bauelements | K. A. (Erneuerung Beschichtung ggf. 02/1968) | | | |
| | Alter des Bauelements | K. A. | | | |
| | Weitere Angaben | Stahlkonstruktion mit Zinkbeschichtung und Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion); kein Tragfähigkeitsverlust; sehr geringe, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung bzgl. der Verformung | | | |
| Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | Abnutzungsmerkmal | Stufengewicht (gemäß Bl. 4) | Einheitsskalenwert (gemäß Bl. 5 ff.) | Abnutzung A (= Stufengewicht · Einheitsskalenwert) | |
| | Ablagerung irreversibel | | | | |
| | Ablagerung reversibel | | | | |
| | Baustoffabtrag | 0,5000 | 0,8000 | 0,4000 | |
| | Biologischer Befall | | | | |
| | Brandschutz | | | | |
| | Feuchteschutz | | | | |
| | Riss | | | | |
| | Schallschutz | | | | |
| | Tragfähigkeitsverlust | 0,3750 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Verformung | 0,1250 | 0,2000 | 0,0250 | |
| | Volumenänderung | | | | |
| | Wärmeschutz | | | | |
| | Gesamtabnutzung $A_{ges} = \sum A$ | | | | 0,4250 |
| | Abnutzungsvorrat $AV_{tn} = 1 - A_{ges}$ | | | | 0,5750 |
| Mittel schadhafter Bereich | | | | | |

Abb. 378: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 1



Abb. 379: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 2

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 3 |
|---|---------------------------|--|
| Zustandsbeschreibung | Abnutzungsmerkmal | Beschreibung |
| | Ablagerung (irreversibel) | |
| | Ablagerung (reversibel) | |
| | Baustoffabtrag | Rostgrad Ri 5, d. h. starker Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) erkennbar (Schadensfläche ~ 1,0 m ² ; Gesamtfläche = 10,0 m ²); teilweise verstärkter Schichtdickenabtrag erkennbar (Ist-Schichtdicke ~ 9 mm; Referenz-Schichtdicke = 10 mm) |
| | Biologischer Befall | |
| | Brandschutz | |
| | Feuchteschutz | |
| | Riss | |
| | Schallschutz | |
| | Tragfähigkeitsverlust | Die Einhaltung der Tragfähigkeit ist gewährleistet. |
| | Verformung | Sehr geringe, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung vorhanden |
| | Volumenänderung | |
| | Wärmeschutz | |
| | Bemerkung | Es ist nur teilweise eine Schutzschicht durch Zinkbeschichtung vorhanden. |

Abb. 380: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 3

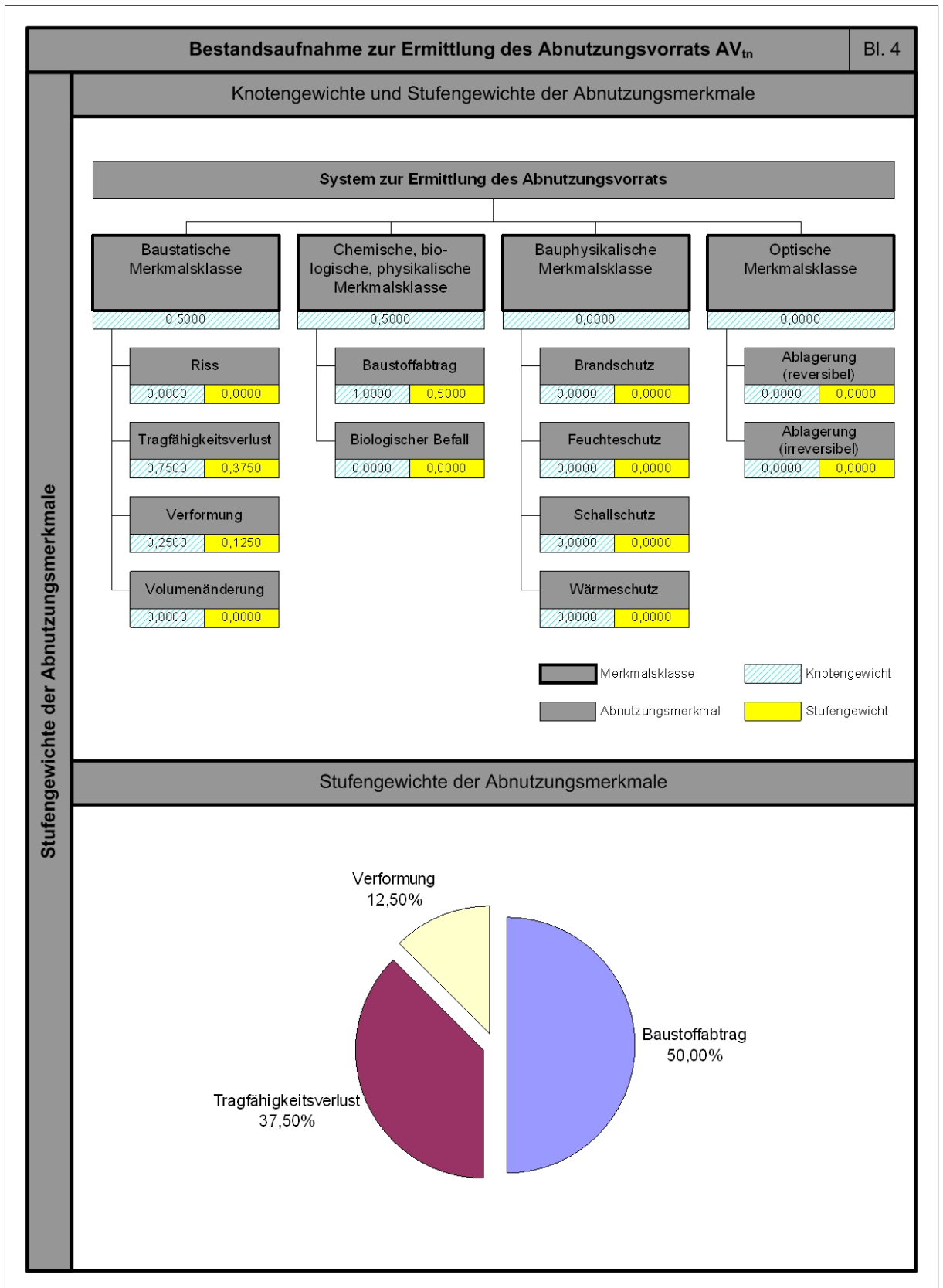


Abb. 381: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 4


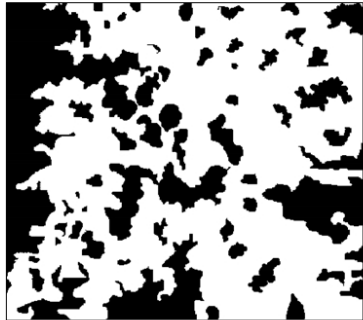
| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 5 | | |
|---|---|--|--------------------|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | | |
| | Rostgrad |   | | |
| | Sehr starke Korrosion (Rostgrads Ri 5) | | | |
| | Merkmalsaspekt Rostgrad des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | Rostgrad | Einheitsskalenwert | |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{1 \text{ m}^2}{10 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 10 \%$ | 0 | Ri 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,05] | Ri 1 | 0,20 |
| | |]0,05, 0,5] | Ri 2 | 0,40 |
| | |]0,5, 1] | Ri 3 | 0,60 |
| | |]1, 8] | Ri 4 | 0,80 |
|]8, 100] | | Ri 5 | 1,00 | |
| $W_1 =$ Schadensfläche (Rostfläche) $\sim 1 \text{ m}^2$ $W_2 =$ Gesamtfläche $= 10 \text{ m}^2$ | | | | |
| Merkmalsaspekt Schichtdicke des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | | | |
| Merkmalsausprägung MA [%] | | Einheitsskalenwert | | |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{9 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} \cdot 100 \%$ $MA = 90 \%$ | 100 | 0,00 | | |
| | [98, 100[| 0,20 | | |
| | [95, 98[| 0,40 | | |
| | [90, 95[| 0,60 | | |
| | [80, 90[| 0,80 | | |
| | [0, 80[| 1,00 | | |
| $W_1 =$ Ist-Schichtdicke $= 9 \text{ mm}$ $W_2 =$ Referenz-Schichtdicke $= 10 \text{ mm}$ | | | | |

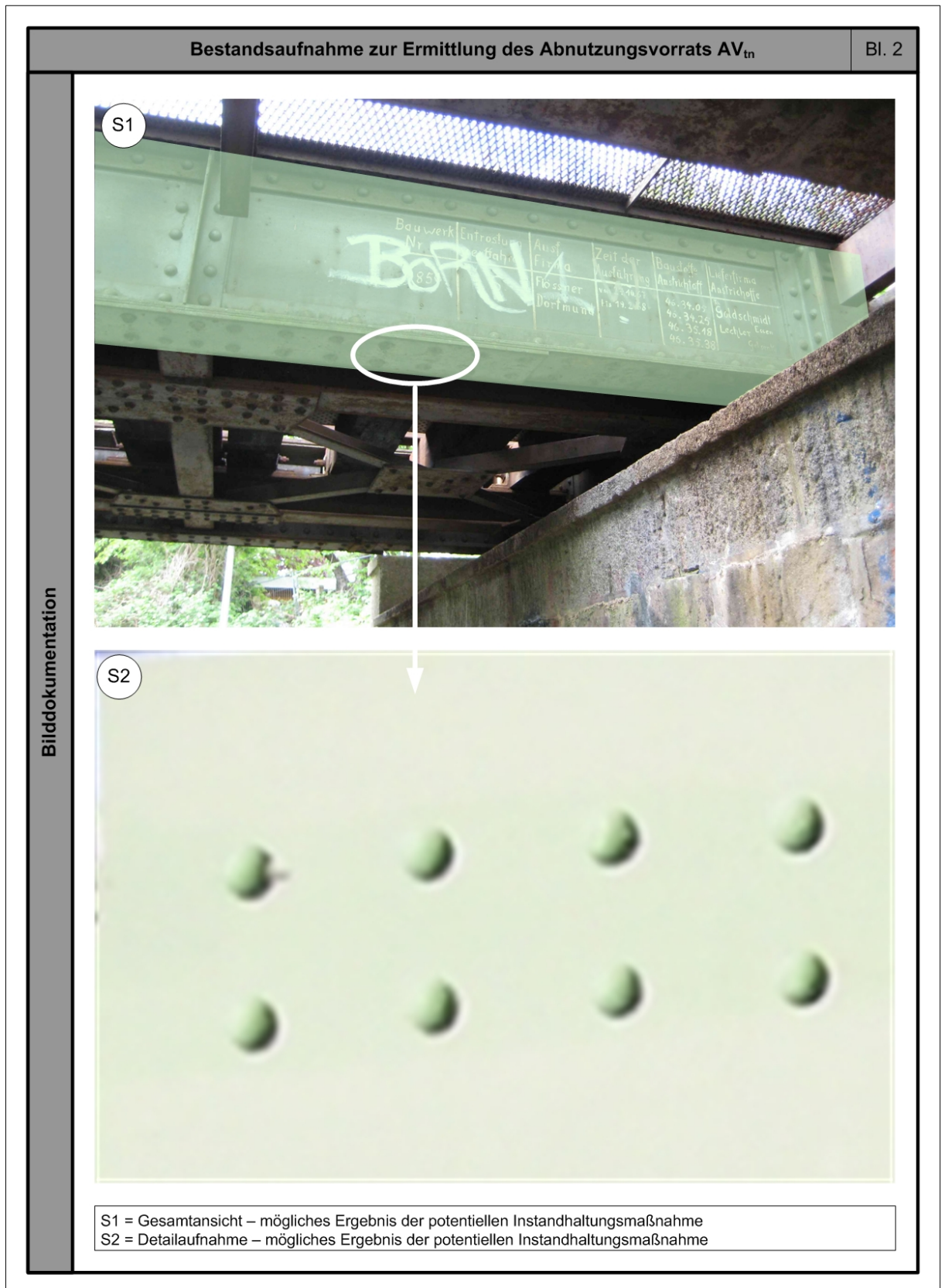
Abb. 382: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 5

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 6 | |
|--|--|--|------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | |
| | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | Einheitsskalenwert | |
| | $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{komb} = 1,00 \cdot 0,25 + 0,60 \cdot 0,75$ $MA_{komb} = 0,70$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,2] | 0,20 |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| | |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| | |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| | |]0,8, 1] | 1,00 |
| | | MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Rostgrad = 1,00 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schichtdicke = 0,60 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,75$) | |
| | Abnutzungsmerkmal Tragfähigkeitsverlust | | |
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | | |
| Einhaltung der Tragfähigkeit gemäß Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen und anerkannten Regeln der Technik | Ja | 0,00 | |
| | Nein | 1,00 | |
| Abnutzungsmerkmal Verformung | | | |
| Merkmalsausprägung MA | Einheitsskalenwert | | |
| Veränderung gemäß DIN EN ISO 4628-1 | Nicht verändert, d. h. keine wahrnehmbare Veränderung | 0,00 | |
| | Sehr gering, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung | 0,20 | |
| | Gering, d. h. deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,40 | |
| | Mittel, d. h. sehr deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,60 | |
| | Stark, d. h. ausgeprägte Veränderung | 0,80 | |
| | Sehr starke Veränderung | 1,00 | |

Abb. 383: Bestandsaufnahme zur Ermittlung des gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrats – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 6

| Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} infolge einer Instandhaltungsmaßnahme | | | Bl. 1 | | |
|--|--|---|---|---|---------------|
| Allgemeine Angaben | Bauelement | Stahlträger einer Brückenkonstruktion | | | |
| | Baustoff | Stahl (unlegiert) | | | |
| | Statische Relevanz | Statisch relevant | | | |
| | Standort | Dortmund | | | |
| | Art der Immobilie | Eisenbahnbrücke | | | |
| | Zeitpunkt t_n der Bestandsaufnahme | 01.05.2010 | | | |
| | Erstellungsdatum des Bauelements | K. A. (Erneuerung Beschichtung ggf. 02/1968) | | | |
| | Alter des Bauelements | K. A. | | | |
| | Weitere Angaben | <p>Potentielle Instandsetzungsmaßnahme: Entrostung des Stahlträgers und Auftrag einer neuen Korrosionsschutzbeschichtung (Zinkbeschichtung)</p> <p>Weitere Zustandsbeschreibung: kein Tragfähigkeitsverlust; sehr geringe, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung bzgl. der Verformung</p> | | | |
| Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | Abnutzungsmerkmal | Stufengewicht (gemäß Bl. 4) | Einheitsskalenwert (gemäß Bl. 5 ff.) | Abnutzung A (= Stufengewicht · Einheitsskalenwert) | |
| | Ablagerung irreversibel | | | | |
| | Ablagerung reversibel | | | | |
| | Baustoffabtrag | 0,5000 | 0,6000 | 0,3000 | |
| | Biologischer Befall | | | | |
| | Brandschutz | | | | |
| | Feuchteschutz | | | | |
| | Riss | | | | |
| | Schallschutz | | | | |
| | Tragfähigkeitsverlust | 0,3750 | 0,0000 | 0,0000 | |
| | Verformung | 0,1250 | 0,2000 | 0,0250 | |
| | Volumenänderung | | | | |
| | Wärmeschutz | | | | |
| | Gesamtabnutzung $A_{ges} = \sum A$ | | | | 0,3250 |
| | Abnutzungsvorrat $AV_{tn} = 1 - A_{ges}$ | | | | 0,6750 |
| Leicht schadhafter Bereich | | | | | |

Abb. 384: Ermittlung des Abnutzungsvorrats aufgrund einer potentiellen Instandsetzungsmaßnahme – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 1



| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | Bl. 3 |
|---|---------------------------|--|
| Zustandsbeschreibung | Abnutzungsmerkmal | Beschreibung |
| | Ablagerung (irreversibel) | |
| | Ablagerung (reversibel) | |
| | Baustoffabtrag | Rostgrad Ri 0 (Zinkbeschichtung neuwertig); kein Baustoffabtrag erkennbar (Schadensfläche = 0,0 m ² ; Gesamtfläche = 10,0 m ²); teilweise verstärkter Schichtdickenabtrag durch vorherigen Korrosionsschaden erkennbar (Ist-Schichtdicke ~ 9 mm; Referenz-Schichtdicke = 10 mm) |
| | Biologischer Befall | |
| | Brandschutz | |
| | Feuchteschutz | |
| | Riss | |
| | Schallschutz | |
| | Tragfähigkeitsverlust | Die Einhaltung der Tragfähigkeit ist gewährleistet. |
| | Verformung | Sehr geringe, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung vorhanden |
| | Volumenänderung | |
| | Wärmeschutz | |
| | Bemerkung | Eine Schutzschicht ist durch die neue Zinkbeschichtung vorhanden. |

Abb. 386: Ermittlung des Abnutzungsvorrats aufgrund einer potentiellen Instandsetzungsmaßnahme – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 3

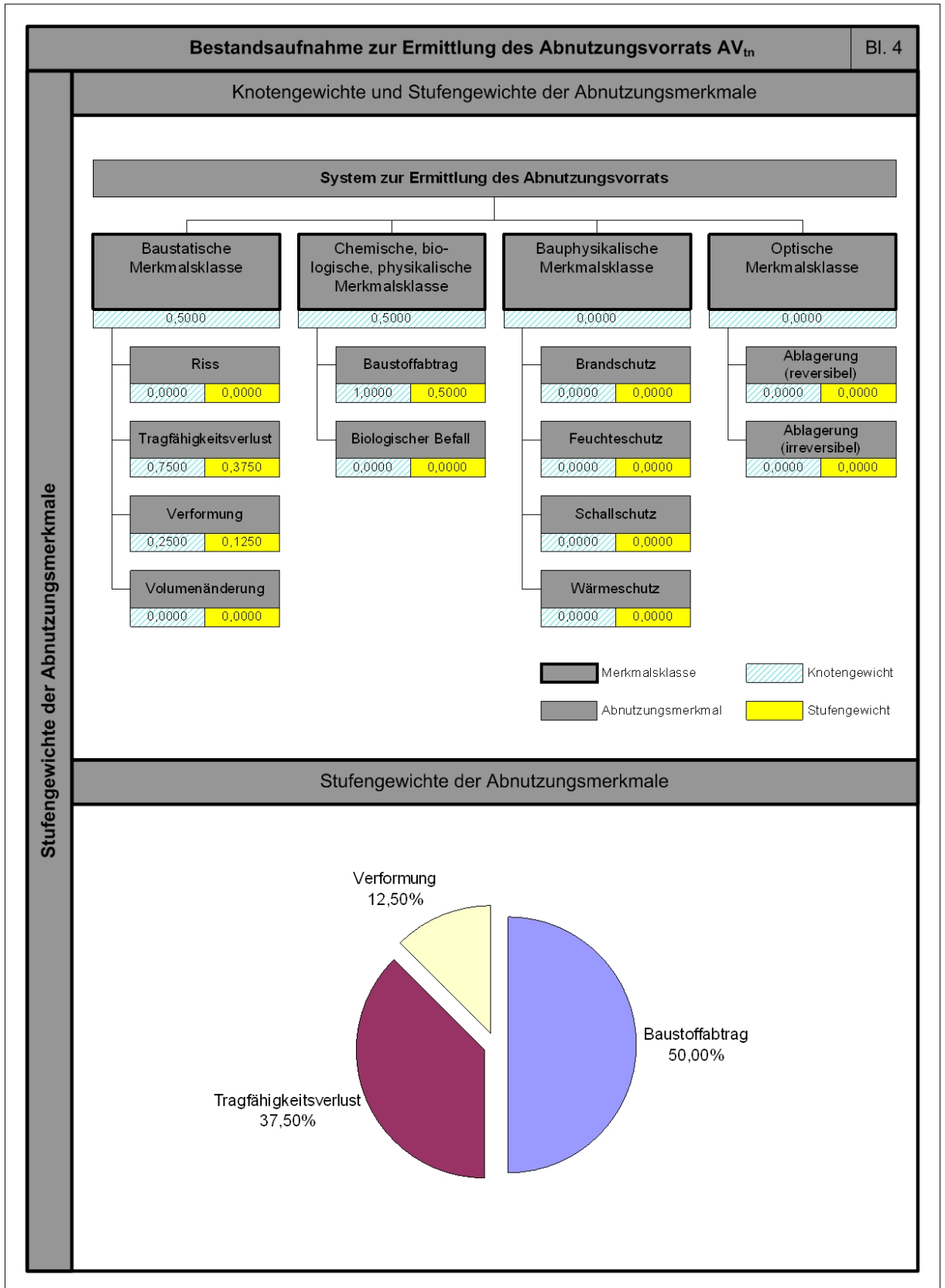


Abb. 387: Ermittlung des Abnutzungsvorrats aufgrund einer potentiellen Instandsetzungsmaßnahme – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 4

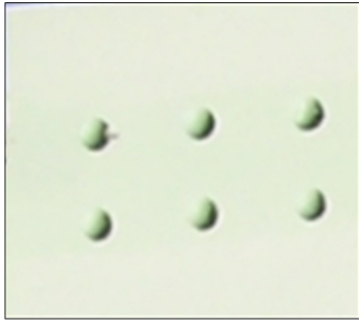

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | Bl. 5 | |
|---|--|--|---|--------------------|
| Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | | | |
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Rostgrad |  |  | |
| | Keine Korrosion (Rostgrad Ri 0) | | | |
| | Merkmalsaspekt Rostgrad des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | | |
| | Merkmalsausprägung MA [%] | | Rostgrad | Einheitsskalenwert |
| | $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{0 \text{ m}^2}{10 \text{ m}^2} \cdot 100 \%$ $MA = 0 \%$ | 0 | Ri 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,05] | Ri 1 | 0,20 |
| | |]0,05, 0,5] | Ri 2 | 0,40 |
| | |]0,5, 1] | Ri 3 | 0,60 |
| | |]1, 8] | Ri 4 | 0,80 |
| | |]8, 100] | Ri 5 | 1,00 |
| $W_1 =$ Schadensfläche (Rostfläche) = 0 m ² $W_2 =$ Gesamtfläche = 10 m ² | | | | |
| Merkmalsaspekt Schichtdicke des Abnutzungsmerkmals Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | | | |
| Merkmalsausprägung MA [%] | | | Einheitsskalenwert | |
| $MA = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100 \%$ $MA = \frac{9 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} \cdot 100 \%$ $MA = 90 \%$ | 100 | | 0,00 | |
| | [98, 100[| | 0,20 | |
| | [95, 98[| | 0,40 | |
| | [90, 95[| | 0,60 | |
| | [80, 90[| | 0,80 | |
| | [0, 80[| | 1,00 | |
| $W_1 =$ Ist-Schichtdicke = 9 mm $W_2 =$ Referenz-Schichtdicke = 10 mm | | | | |

Abb. 388: Ermittlung des Abnutzungsvorrats aufgrund einer potentiellen Instandsetzungsmaßnahme – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 5

| Bestandsaufnahme zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV_{tn} | | | Bl. 6 |
|--|--|--------------------|--------------------|
| Ermittlung der Einheitsskalenwerte der Merkmalsausprägungen | Abnutzungsmerkmal Baustoffabtrag (Schadensbild Korrosion) | | |
| | Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) MA_{komb} | | Einheitsskalenwert |
| | $MA_{komb} = ESW_1 \cdot G_1 + ESW_2 \cdot G_2$ $MA_{komb} = 0,00 \cdot 0,25 + 0,60 \cdot 0,75$ $MA_{komb} = 0,45$ | 0 | 0,00 |
| | |]0, 0,2] | 0,20 |
| | |]0,2, 0,4] | 0,40 |
| | |]0,4, 0,6] | 0,60 |
| | |]0,6, 0,8] | 0,80 |
| | |]0,8, 1] | 1,00 |
| | MA_{komb} = Merkmalsausprägung (kombinierter Wert) ESW_1 = Einheitsskalenwert 1 des Merkmalsaspekts Rostgrad = 0,00 ESW_2 = Einheitsskalenwert 2 des Merkmalsaspekts Schichtdicke = 0,60 G_1 = Gewichtungsfaktor 1 (mit $G_1 = 0,25$) G_2 = Gewichtungsfaktor 2 (mit $G_2 = 0,75$) | | |
| | Abnutzungsmerkmal Tragfähigkeitsverlust | | |
| Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert | |
| Einhaltung der Tragfähigkeit gemäß Planungs- und Projektierungsgrundlagen, gegenwärtigen DIN-Normen, Richtlinien, gesetzlichen Vorgaben, Verordnungen und anerkannten Regeln der Technik | Ja | 0,00 | |
| | Nein | 1,00 | |
| Abnutzungsmerkmal Verformung | | | |
| Merkmalsausprägung MA | | Einheitsskalenwert | |
| Veränderung gemäß DIN EN ISO 4628-1 | Nicht verändert, d. h. keine wahrnehmbare Veränderung | 0,00 | |
| | Sehr gering, d. h. gerade wahrnehmbare Veränderung | 0,20 | |
| | Gering, d. h. deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,40 | |
| | Mittel, d. h. sehr deutlich wahrnehmbare Veränderung | 0,60 | |
| | Stark, d. h. ausgeprägte Veränderung | 0,80 | |
| | Sehr starke Veränderung | 1,00 | |

Abb. 389: Ermittlung des Abnutzungsvorrats aufgrund einer potentiellen Instandsetzungsmaßnahme – Stahl (unlegiert), statisch relevante Bauelemente – Bl. 6

2.3.3 Betrachtung der Kosten innerhalb der Kosten-Nutzen-Analyse

Bei einer Kosten-Nutzen-Analyse müssen die für die verschiedenen möglichen Instandhaltungsmaßnahmen anfallenden Kosten miteinander verglichen werden.

Kosten sind der bewertete Verzehr von wirtschaftlichen Gütern materieller und immaterieller Art zur Erstellung und zum Absatz von Sach- und/oder Dienstleistungen sowie zur Schaffung und Aufrechterhaltung der dafür notwendigen Teilkapazitäten.⁶⁰⁹

Instandhaltungskosten sind alle Kosten, die während der Nutzungsdauer für Instandhaltungsmaßnahmen wie Inspektion, Wartung, Instandsetzung und Verbesserung anfallen und zur Vermeidung von Abnutzung bzw. zur Erhöhung des Abnutzungsvorrats eingesetzt werden. Diese Kosten dienen der Erhaltung des bestimmungsmäßigen Gebrauchs der Immobilie, beinhalten jedoch keine Kosten, die im Zuge von Modernisierungsmaßnahmen anfallen.⁶¹⁰

Je nach Art der Immobilie belaufen sich in Deutschland die Instandhaltungskosten pro Jahr auf 1 % bis 6 % der Erstellungskosten (d. h. Herstellungskosten in Bezug auf einen Neubau).⁶¹¹ Überschlüssig betragen die Instandhaltungskosten bei Wohnimmobilien innerhalb einer Nutzungszeit von 100 Jahren ca. 300 % bezogen auf die Erstellungskosten ohne Berücksichtigung der Teuerung.⁶¹²

⁶⁰⁹ Vgl. GABLER (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon – Taschenbuch-Kassette mit 10 Bd. – Band 5 – I-K. 14. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997, S. 2258; BMRBS (Hrsg.): Senkung der Baufolgekosten durch systematische und zustandsabhängige Erhaltung von Gebäuden und langzeitkostenoptimale Baustoffwahl. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1995, S. 59

⁶¹⁰ Vgl. IFB (Hrsg.): Bauunterhaltungskosten beanspruchter Bauteile in Abhängigkeit von Baustoffen und Baukonstruktionen. Hannover : IRB Verlag, 2001, S. 7

⁶¹¹ Vgl. WERNKE, N.: Instandhaltung und Modernisierung von Büro- und Verwaltungsgebäuden in Abhängigkeit zum fortgeschrittenen Lebensalter. Braunschweig, Technische Universität, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Diplomarbeit, 2004, S. 26; SIMONS, K.; HIRSCHBERGER, H.; STÖLTING, D.: Lebensdauer von Bauteilen und Baustoffen – Abschlussbericht. Bonn : Technische Universität Braunschweig, 1987, S. 1; SPILKER, R.; OSWALD, R.: Konzepte für die praxisorientierte Instandhaltungsplanung im Wohnungsbau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2000, S. 53 f.

⁶¹² Vgl. IP BAU (Hrsg.): Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten – Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten. Bern : Bundesamt für Konjunkturfagen, 1994, S. 18

Richtwerte für Instandhaltungskosten spezifischer Instandhaltungsmaßnahmen finden sich in der einschlägigen Fachliteratur⁶¹³ und werden auszugsweise in Abb. 390 dargestellt.

| Außenwände (KG 330) Bestand, Außenwandkonstruktion zweischalig, aus Kalksandstein, Kalksandstein 12/1,8; d = 17,5 cm, mit hinterlüfteter Außenschale aus Vormauerkalksandstein 20/1,8 und Dämmung Mineralwolle d = 80 mm, innen Kalkzementputz mit Silikatbeschichtung | Instandhaltungszyklus [Jahre] | ME | Instandhaltungskosten | | |
|---|----------------------------------|----------------|-----------------------|---------------|------------|
| | | | von [€] | mittel [€] | bis [€] |
| AW Silikatbeschichtung auf Putz, 2 K erneuern | 17 | m ² | 3,86 | 5,34 | 7,36 |
| AW Verblendmauerwerk, Verfugung erneuern | 50 | m ² | 18,00 | 31,00 | 56,00 |
| AW Kalkzementputz innen, 1-lagig, erneuern | 59 | m ² | 13,88 | 17,01 | 22,05 |
| IW Putz, 1-lagig, rückbauen | 59 | m ² | 10,50 | 15,70 | 30,60 |
| AW KS 12/1,8, MG IIa, d = 17,5 cm, IS, erneuern | - | m ² | 55,15 | 67,26 | 80,06 |
| AW Verblendmauerwerk, KS Vb 20/1,8 erneuern | - | m ² | 92,79 | 109,32 | 138,16 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Abb. 390: Instandhaltungskosten für Konstruktionen (Baualterklasse 1977 - 1994, Auszug)⁶¹⁴

⁶¹³ Vgl. BKI (Hrsg.): BKI Baukosten 4: Statistische Kostenkennwerte für den Altbau. Stuttgart : Rudolf Müller, 2010; KÖNIG, H.; MANDL, W.: Baukosten-Atlas 2009 – Bauen im Bestand – Wohnungsbau. 3. Aufl. Kissing : Weka Media GmbH & Co. KG, 2008; BÖHNING, J.: Altbaumodernisierung im Detail – Konstruktionsempfehlungen. 4. Aufl. Köln : Rudolf Müller, 2002; NEDDERMANN, R.: Kostenermittlung in der Altbauerneuerung und technische Beurteilung von Altbauten. 2. Aufl. Düsseldorf : Werner Verlag, 2000; NEDDERMANN, R.: Kostenermittlung im Altbau. 3. Aufl. Darmstadt : Werner Verlag, 2005; SCHMITZ, H.; KRINGS, E.; DAHLHAUS, U.: Baukosten 2008 – Instandsetzung, Sanierung, Modernisierung, Umnutzung. 19. Aufl. Essen : Verlag für Wirtschaft und Verwaltung Hubert Wingen, 2008; IRB (Hrsg.): Bau-Nutzungskosten 2006 – Bau-Nutzungskosten-Kennwerte für Wohngebäude. Stuttgart : IRB Verlag, 2006; MÖLLER, D.-A.: Planungs- und Bauökonomie – Band 1: Grundlagen der wirtschaftlichen Bauplanung. 5. Aufl. München : R. Oldenbourg Verlag, 2007, S. 183; SCHUB, A.; STARK, K.: Life cycle cost von Bauobjekten – Methoden zur Planung von Erst- und Folgekosten. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1985, S. 94

⁶¹⁴ Vgl. KÖNIG, H.; MANDL, W.: Baukosten-Atlas 2009 – Bauen im Bestand – Wohnungsbau. 3. Aufl. Kissing : Weka Media GmbH & Co. KG, 2008, S. 200

Gibt es innerhalb einer prospektiven Instandhaltungsstrategie verschiedene Instandhaltungsvarianten (vgl. Abb. 35), d. h., es fallen innerhalb einer zu untersuchenden Nutzungsdauer L_{Nutz} Instandhaltungskosten zu unterschiedlichen Zeitpunkten an, so bedarf es eines Variantenvergleichs mittels geeigneter dynamischer Investitionsrechnungen. Diese Investitionsrechnungen müssen die Abdiskontierung der über die Perioden anfallenden Kosten auf den Entscheidungszeitpunkt beinhalten.

Eine Berechnungsgrundlage zur Ermittlung des Barwerts der Kosten ist in Abb. 391 dargestellt. Ein Beispiel zur Betrachtung unterschiedlicher Instandhaltungsvarianten und ihrer Kosten wird in Abschnitt V2.3.4 gegeben.

Berechnungsgrundlage:

$$K_0 = \frac{K_n}{(1+i)^n}$$

| | | |
|-------|---|--|
| K_0 | = | Barwert [€] (Zeitwert der Kosten zum Zeitpunkt null) |
| K_n | = | Endwert [€] (Zeitwert der Kosten im n-ten Jahr) |
| i | = | Kalkulationszinssatz [%] |
| n | = | Jahre |

Abb. 391: Berechnungsgrundlage zur Ermittlung des Barwerts von Kosten⁶¹⁵

⁶¹⁵ Vgl. OLFERT, K. (Hrsg.): Investition. 8. Aufl. Ludwigshafen : Friedrich Kiehl Verlag, 2001, S. 203

2.3.4 Beispiel einer Kosten-Nutzen-Analyse von Instandhaltungsvarianten

In Abb. 392 werden Beispielabbaukurven zweier potentieller Instandhaltungsvarianten dargestellt. Diese Varianten sollen im Rahmen einer **Kosten-Nutzen-Analyse innerhalb der prospektiven Instandhaltungsstrategie** untersucht werden. Die relevanten Werte des Abnutzungsvorrats, welche gemäß Abschnitt V2.3.1 als Grundlage der Kosten-Nutzen-Analyse benötigt werden, sind bereits in Abb. 392 berücksichtigt und lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Das Ergebnis der Ermittlung des **gegenwartsbezogenen Abnutzungsvorrats** entspricht dem Wert von AV_{tn} .
- Das Ergebnis der Ermittlung des **zukunftsbezogenen Abnutzungsvorrats** ist in Form der angenommenen ABK ohne Instandhaltung als gepunktete Linie in das Diagramm eingetragen.
- Die Bestimmung möglicher **Erhöhungen des Abnutzungsvorrats durch Instandsetzungsmaßnahmen** wird durch die zwei Instandhaltungsvarianten mit den Instandsetzungsmaßnahmen IM2 und IM3 dargestellt. Der vorgegebene Mindest-Abnutzungsvorrat AV_{Mind} wie auch der vorgegebene Rest-Abnutzungsvorrat AV_{Rest} werden bei beiden Varianten eingehalten.⁶¹⁶

Der in der Kosten-Nutzen-Analyse zu bewertende **Nutzen** entspricht in diesem Beispiel dem jeweiligen Verlauf des Abnutzungsvorrats der Instandhaltungsvarianten, d. h. der jeweils dargestellten angenommenen ABK mit Instandhaltung der Variante 1 und 2 gemäß Abb. 392. Am Ende der vorgegebenen Nutzungsdauer L_{Nutz} zeigt die Variante 1 mit der Instandsetzungsmaßnahme IM3 einen höheren Abnutzungsvorrat auf als die Variante 2 mit den beiden Instandsetzungsmaßnahmen IM2.

⁶¹⁶ Die Angaben des Mindest-Abnutzungsvorrats AV_{Mind} sowie des Rest-Abnutzungsvorrats AV_{Rest} widerspiegeln bspw. die vertraglichen Vorgaben in einem PPP-Projekt.

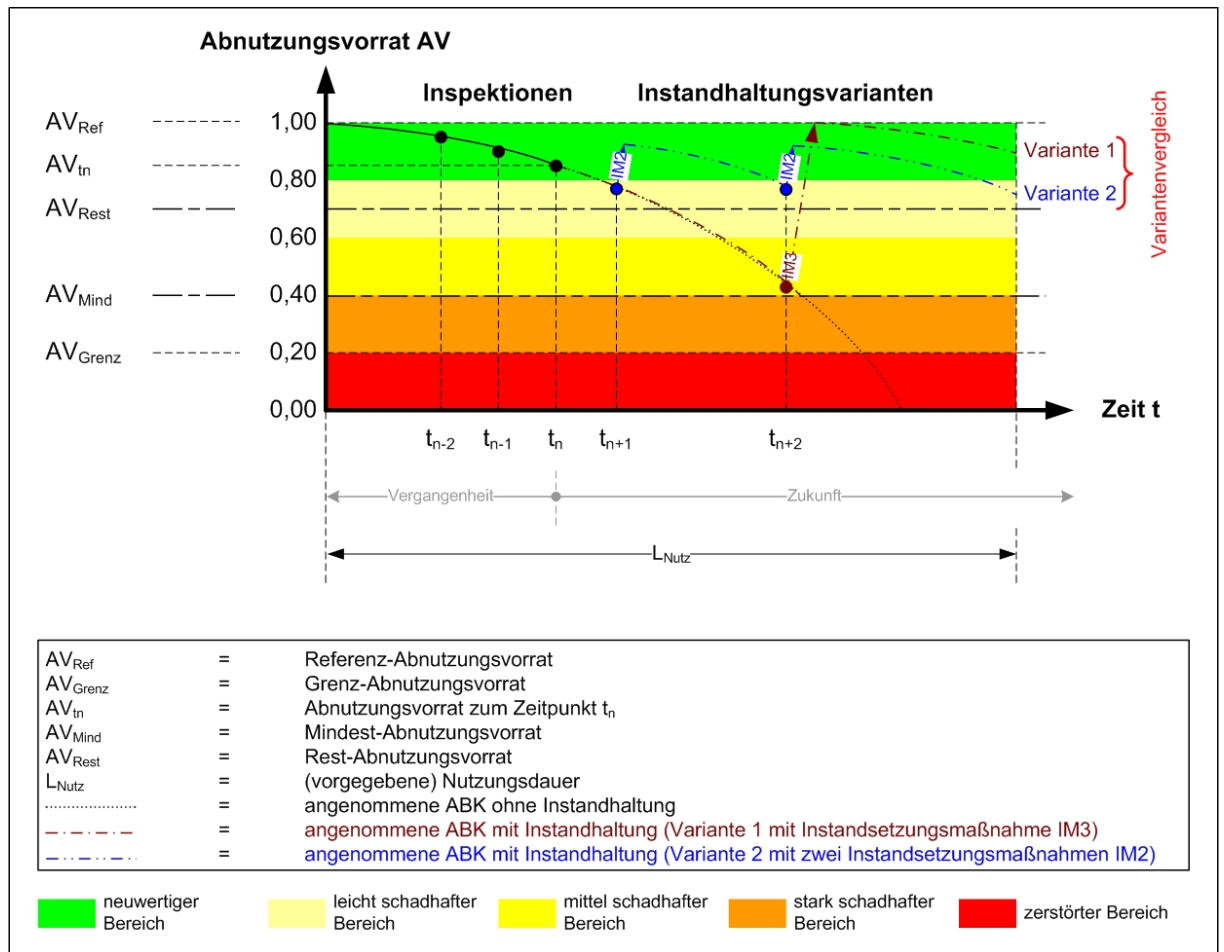


Abb. 392: Beispielabbaukurven im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse von Instandhaltungsvarianten⁶¹⁷

Die innerhalb der Kosten-Nutzen-Analyse zu bewertenden **Kosten** entsprechen den durch die beiden Instandsetzungsmaßnahmen IM2 und IM3 prognostizierten Instandhaltungskosten. Diese sind zu ermitteln (vgl. V2.3.3) und miteinander zu vergleichen.

⁶¹⁷ Die Instandsetzungsmaßnahmen IM2 und IM3 entsprechen den Maßnahmen gemäß Abb. 376.

Für die Ermittlung der Instandhaltungskosten erfolgt zunächst für beide Instandhaltungsmaßnahmen eine **Berechnung der relevanten Kosten bezogen auf den gegenwärtigen Zeitpunkt** $t_n = 0$. Für die Instandhaltungsmaßnahmen in Abb. 392 werden hierzu zunächst folgende Kosten (Zeitwert)⁶¹⁸ beispielhaft veranschlagt:

- Instandhaltungskosten für IM2 = 5.000,- Euro im Jahr 5 und Jahr 20
- Instandhaltungskosten für IM3 = 11.000,- Euro im Jahr 20.

Um die zweifach und zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Kosten für die Instandsetzungsmaßnahme IM2 mit den einmalig anfallenden Kosten für die Instandsetzungsmaßnahme IM3 vergleichen zu können, bedarf es der **Ermittlung der Barwerte**⁶¹⁹ gemäß Berechnungsgrundlage aus Abb. 391. Die Berechnung der Barwerte für die Kosten der beiden Instandsetzungsmaßnahmen IM2 und IM3 sind in Abb. 393 dargestellt. Hierbei wird beispielhaft ein Kalkulationszinssatz von 2 % angenommen.⁶²⁰ Für die Instandsetzungsmaßnahme IM3 (Variante 1) beträgt der Barwert 7.402,68 Euro, während die Summe der Barwerte für die beiden Instandsetzungsmaßnahmen IM2 (Variante 2) zusammen 7.893,51 Euro ergibt.

Bei dem **Kostenvergleich der Barwerte** zeigt sich, dass die Variante 1 mit der Instandsetzungsmaßnahme IM3 günstiger ist als die Variante 2 mit den beiden Instandsetzungsmaßnahmen IM2. Darüber hinaus ist der durch die Variante 1 erzielte Abnutzungsvorrat AV nach der (vorgegebenen) Nutzungsdauer L_{Nutz} höher als der durch die Variante 2 erzielte Abnutzungsvorrat AV, was für eine weitere Nutzung, z. B. nach Beendigung eines PPP-Vertrags, von Vorteil ist.

⁶¹⁸ Der Zeitwert von Kosten (bzw. von Einzahlungen oder Auszahlungen) ist der Wert, den diese zum Zeitpunkt ihres Anfallens haben. Der Zeitwert berücksichtigt – bei zeitlich unterschiedlichem Anfall von Kosten (bzw. von Einzahlungen oder Auszahlungen) – den Zeitfaktor nicht (vgl. OLFERT, K. (Hrsg.): Investition. 8. Aufl. Ludwigshafen : Friedrich Kiehl Verlag, 2001, S. 202).

⁶¹⁹ Diese Form der dynamischen Investitionsrechnung bedient sich finanzmathematischer Methoden, wodurch die Bedeutung der zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Instandhaltungskosten (hier speziell Instandsetzungskosten) berücksichtigt wird (vgl. OLFERT, K. (Hrsg.): Investition. 8. Aufl. Ludwigshafen : Friedrich Kiehl Verlag, 2001, S. 201 ff.). Je nach Betrachtungsweise können auch andere finanzmathematische Methoden angewendet werden.

⁶²⁰ Für den Wirtschaftlichkeitsvergleich ist der Zinssatz von immenser Bedeutung und sollte unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten an das jeweilige Projekt angepasst werden (vgl. hierzu BLECKEN, U.; MEINEN, H.; HOLTHAUS, U.: Vergabeentscheidung und Wirtschaftlichkeitsberechnung von PPP/PFI-Projekten in der Bauwirtschaft. In: Bautechnik (2004), Heft 8, S. 648 ff.).

| Jahr n | Diskontierungs- faktor $D = 1/(1 + i)^n$ | Instandhaltungskosten für Instandsetzungsmaßnahme IM3 (Variante 1) | | Instandhaltungskosten für Instandsetzungsmaßnahme IM2 (Variante 2) | |
|------------------------|--|--|----------------------------|--|----------------------------|
| | | Zeitwert Z | Barwert $B = D \cdot Z$ | Zeitwert Z | Barwert $B = D \cdot Z$ |
| 1 | 0,98 | | | | |
| 2 | 0,96 | | | | |
| 3 | 0,94 | | | | |
| 4 | 0,92 | | | | |
| 5 | 0,91 | | | 5.000,00 € | 4.528,65 € |
| 6 | 0,89 | | | | |
| 7 | 0,87 | | | | |
| 8 | 0,85 | | | | |
| 9 | 0,84 | | | | |
| 10 | 0,82 | | | | |
| 11 | 0,80 | | | | |
| 12 | 0,79 | | | | |
| 13 | 0,77 | | | | |
| 14 | 0,76 | | | | |
| 15 | 0,74 | | | | |
| 16 | 0,73 | | | | |
| 17 | 0,71 | | | | |
| 18 | 0,70 | | | | |
| 19 | 0,69 | | | | |
| 20 | 0,67 | 11.000,00 € | 7.402,68 € | 5.000,00 € | 3.364,86 € |
| Summe (Barwert) | | | 7.402,68 € | | 7.893,51 € |

i = Kalkulationszinssatz mit 2 %

Abb. 393: Barwertermittlung der Instandhaltungskosten⁶²¹

Abb. 394 zeigt das **Ergebnis der Kosten-Nutzen-Analyse von Instandhaltungsvarianten im Rahmen einer prospektiven Instandhaltungsstrategie**. Der Nutzen, d. h. der Verlauf des Abnutzungsvorrats AV, wird durch die angenommenen Abbaukurven mit Instandhaltung im oberen Teil dargestellt. Die Kosten der beiden Instandhaltungsmaßnahmen werden durch die Angabe der relevanten Barwerte sowie Zeitwerte in jeweils zwei Kosten-Zeit-Diagrammen abgebildet.

Im Rahmen dieser Kosten-Nutzen-Analyse innerhalb der prospektiven Instandhaltungsstrategie wird festgestellt, dass die Variante 1 mit der Instandsetzungsmaßnahme IM3 bezogen auf den Nutzen einen höheren Abnutzungsvorrat aufweist und bezogen auf die Kosten günstiger ist als Variante 2. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten sollte die Variante 1 zum Einsatz kommen.

⁶²¹ In Anlehnung an BLECKEN, U.; MEINEN, H.; HOLTHAUS, U.: Vergabeentscheidung und Wirtschaftlichkeitsberechnung von PPP/PFI-Projekten in der Bauwirtschaft. In: Bautechnik (2004), Heft 8, S. 650

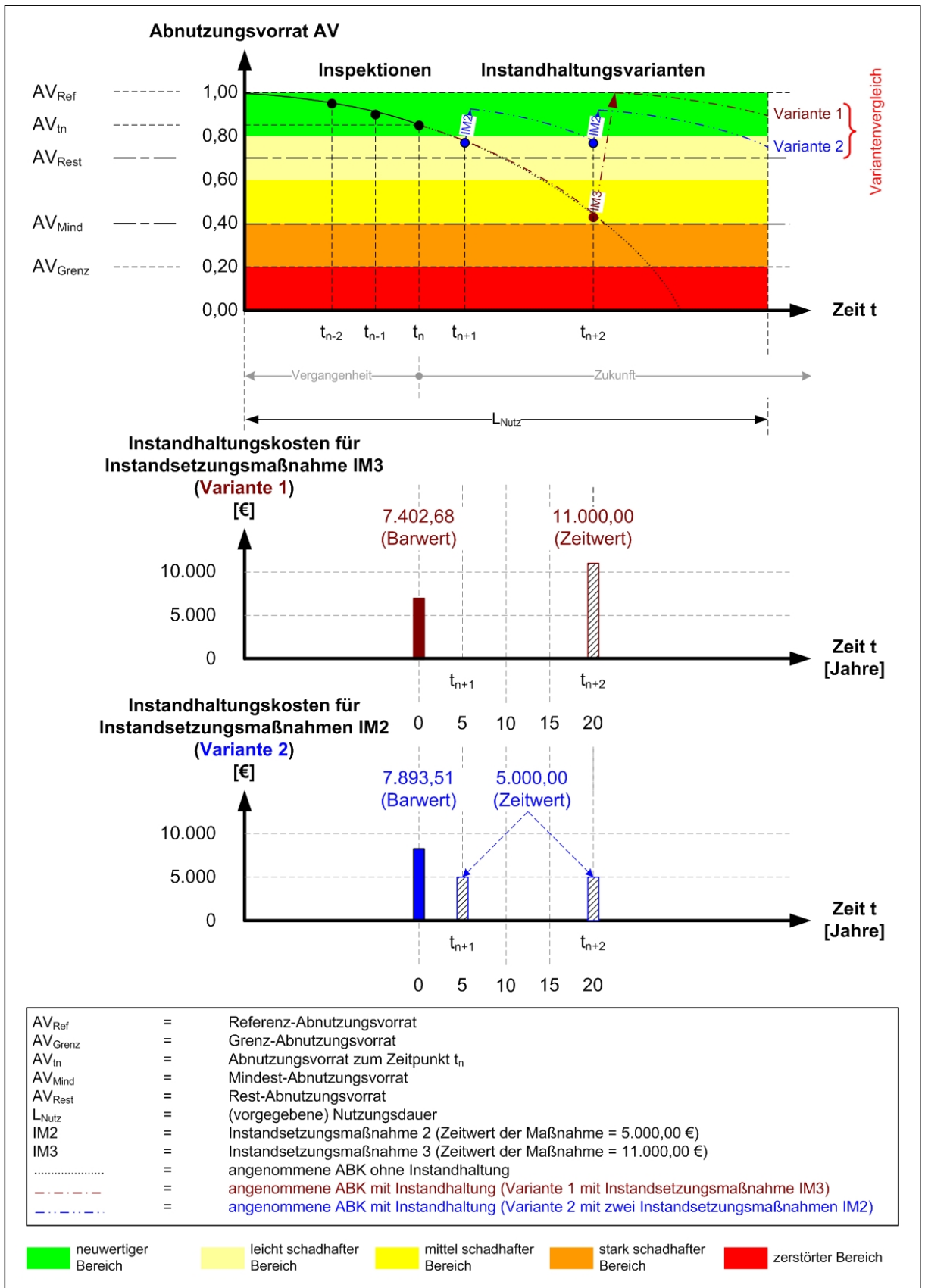


Abb. 394: Beispielergebnis der Kosten-Nutzen-Analyse von Instandhaltungsvarianten im Rahmen einer prospektiven Instandhaltungsstrategie⁶²²

⁶²² IM2 und IM3 gemäß Abb. 376; die Barwerte gemäß Abb. 393

VI Zusammenfassung und Ausblick

1 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird ein Verfahren vorgestellt, mit dessen Hilfe der Zustand von Bauelementen durch die Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV von Baustoffen bestimmt werden kann. Dies stellt u. a. eine wichtige Grundlage für die Umsetzung von Instandhaltungsstrategien dar.

Nach Beschreibung relevanter Bauelemente der Gebäudehülle sowie ihrer Baustoffe in Kapitel II werden **Grundlagen für Instandhaltungsstrategien** aufgezeigt. In Analogie zur DIN 31051 sind hierzu die gängigen, in der einschlägigen Fachliteratur verwendeten Begriffe wie Abnutzung, Abnutzungsvorrat sowie Lebensdauer definiert. Ihre gegenseitigen Abhängigkeiten werden erörtert und grafisch dargestellt.

Darüber hinaus wird der Einfluss der unterschiedlichen Instandhaltungsmaßnahmen wie Inspektion, Wartung, Instandsetzung und Verbesserung auf den Abnutzungsvorrat AV aufgezeigt. Eine einheitliche grafische Aufbereitung verdeutlicht die Auswirkungen der Instandhaltungsmaßnahmen auf den Abnutzungsvorrat AV.

Neben der Beschreibung der gängigen Instandhaltungsstrategien mit ihren Vor- und Nachteilen werden die Ansätze einer neuen Instandhaltungsstrategie – der **prospektiven Instandhaltungsstrategie** – vorgestellt. Die Darlegung von Kriterien zur Auswahl einer geeigneten Instandhaltungsstrategie in Abhängigkeit von bauelementenspezifischen Parametern rundet das Kapitel III ab.

Für das in dieser Arbeit aufgestellte **Verfahren zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats von Baustoffen** (ERAB) wird, aufbauend auf die in der einschlägigen Fachliteratur dargestellten gängigen Methoden, eine neue, modellorientierte Bereichseinteilung und Bereichsbeschreibung des Abnutzungsvorrats eingeführt. Diese unterteilt den Abnutzungsvorrat AV auf einer Skala zwischen 0 und 1 in fünf gleich große Bereiche und beschreibt diese mittels qualitäts- und schadensbezogener Merkmale aus der einschlägigen Fachliteratur.

Mit Hilfe der qualitäts- und schadensbezogenen Merkmale wird in Anlehnung an die **Methode der Nutzwertanalyse** in dieser Arbeit ein **System zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV** aufgestellt. Im Rahmen der Beseitigung von Merkmalskonflikten werden alle relevanten qualitäts- und schadensbezogenen Merkmale einem von insgesamt 12 übergeordneten Abnutzungsmerkmalen zugeordnet. Diese 12 übergeordneten Abnutzungsmerkmale gehören wiederum einer von 4 Merkmalsklassen an.

Jeder Baustoff wird durch eine geeignete Auswahl der 12 übergeordneten Abnutzungsmerkmale beschrieben. Da die Abnutzungsmerkmale eine unterschiedliche Relevanz im Bezug auf den Abnutzungsvorrat AV haben, erfolgt eine **Gewichtung innerhalb des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats**. In dieser Arbeit wird hierfür die Methodik des paarweisen Vergleichs angewendet. Es sind nur diejenigen Abnutzungsmerkmale zu berücksichtigen, deren qualitäts- und schadensbezogene Merkmale in der anerkannten Fachliteratur im Zusammenhang mit dem jeweiligen Baustoff aufgeführt werden. Die Gewichtung kann hierbei nach Expertenbeurteilung bzw. Stand der Technik variieren; das prinzipielle Vorgehen bleibt jedoch unverändert.

Für jedes der 12 Abnutzungsmerkmale werden im Rahmen der Gewichtung geeignete messbare oder zumindest bewertbare Merkmalsausprägungen bestimmt. Die Unterschiedlichkeit der 12 Abnutzungsmerkmale erfordert die Verwendung einer auf jedes Merkmal individuell abgestimmten Mess- bzw. Bewertungsskala. Um diese Verschiedenheit der einzelnen Merkmalsausprägungen der Abnutzungsmerkmale in einem einzigen quantitativen Wert zusammenfassen zu können, wird eine Verhältnisskala mit den Grenzen 0,00 und 1,00 – die sog. Einheitsskala – eingeführt. Die **Zuordnung der Merkmalsausprägungen zur Einheitsskala** erfolgt durch Transformation der ermittelten Werte der merkmalspezifischen Skalen auf die Einheitsskala. Durch diese Wertezuordnung ist es möglich, dass selbst qualitative Ausprägungen von Abnutzungsmerkmalen quantitativ als Wert auf der Einheitsskala dargestellt werden können. Eine Anpassung an einen veränderten Stand der Technik bzw. Erkenntnisstand oder abweichende Prioritäten der Anwender kann jederzeit unproblematisch durchgeführt werden.

Um die Praxistauglichkeit des Verfahrens ERAB aufzuzeigen, wird im Kapitel IV für acht verschiedene Baustoffe eine **baustoffspezifische Anpassung des Systems zur Ermittlung des Abnutzungsvorrats** vorgenommen und durch Beispiele ergänzt. Dafür kommen einheitliche, in dieser Arbeit entwickelte Formblätter zur Anwendung, die im Rahmen einer Bestandsaufnahme zur Zustandsbewertung von Gebäude eingesetzt werden können.

Um die **instandhaltungsstrategische Relevanz des Abnutzungsvorrats** zu verdeutlichen, wird im Kapitel V näher auf die **prospektive Instandhaltungsstrategie** eingegangen. Zunächst werden die relevanten Einflussfaktoren auf den Abnutzungsvorrat AV sowie die Ansätze zur Berechnung der daraus resultierenden Abnutzung A bzw. Erhöhung E aufgezeigt. Basis hierfür ist der gegenwartsbezogene Abnutzungsvorrat, der mit Hilfe des Verfahrens ERAB ermittelt wird. Sowohl der gegenwartsbezogene Abnutzungsvorrat als auch die Bestimmung der zukünftigen Abnutzung A bzw. Erhöhung E stellen wichtige Grundlagen für den Einsatz der prospektiven Instandhaltungsstrategie dar. Die Vorgehensweise zur Ermittlung der wirtschaftlichsten Variante möglicher Instandhaltungsmaßnahmen im Rahmen der prospektiven Instandhaltungsstrategie wird unter Zuhilfenahme der Kosten-Nutzen-Analyse ebenfalls aufgezeigt und durch ein Beispiel verdeutlicht.

2 **Ausblick**

Mit Hilfe des Verfahrens ERAB können Zustände von Bauelementen objektiv erfasst und quantifiziert werden, was eine sinnvolle **Basis für den Anwendung von Instandhaltungsstrategien** darstellt. Um zukünftig besonders die präventiven Instandhaltungsstrategien und die darauf aufbauende prospektive Instandhaltungsstrategie effektiver einsetzen zu können, bedarf es intensiver Forschung bzgl. der Auswirkungen von Einflussfaktoren auf den Abnutzungsvorrat AV. Erst wenn die Abnutzung durch menschliche und natürliche Einflussfaktoren berechnet werden kann und die Abbaukurven der verschiedenen Baustoffe bestimmbar sind, lassen sich optimale zukünftige Zeitpunkte für Instandhaltungsmaßnahmen festlegen. Ein erster Ansatz zur Bestimmung der Abbaukurven stellt das in dieser Arbeit beschriebene Verfahren ERAB dar. So können durch regelmäßige Bestandsaufnahmen Werte des Abnut-

zungsvorrats AV bestimmt und in Abhängigkeit vom jeweiligen Ermittlungszeitpunkt in einem Diagramm dargestellt werden. Durch Verbinden der einzelnen Aufnahme- punkte lässt sich die Abbaukurve annähernd darstellen. Damit wäre eine wichtige Entscheidungsgrundlage für zukünftige Instandhaltungsmaßnahmen gegeben.

Zusätzliche Forschung bedarf es hinsichtlich einer **Verifizierung der baustoffspezi- fischen Gewichtung der Abnutzungsmerkmale**. Die in dieser Arbeit aufgestellten Stufengewichte der einzelnen Baustoffe basieren auf Angaben zu Bauschäden und Baustoffqualitäten gemäß der einschlägigen Fachliteratur. Zur Zeit liegen jedoch kei- ne nachprüfbaren Daten vor, die den Abnutzungsvorrat AV quantitativ beschreiben.

Die mathematische Verwertbarkeit des in dieser Arbeit aufgezeigten Verfahrens ERAB stellt eine fundierte Basis sowohl für den Einsatz von Instandhaltungsstrategi- en als auch für die **Gestaltung und Umsetzung von Verträgen** dar. Angaben in- nerhalb eines Service Level Agreements (SLA)⁶²³ für den Service Instandhaltung oder qualitative Angaben zur geforderten Qualität bei der Übergabe eines PPP- Projektes können zukünftig mittels Vorgaben eines mathematisch ermittelbaren Ab- nutzungsvorrats AV nach der hier vorgestellten Methode definiert und objektiv ge- prüft werden. Vertragsverletzungen werden somit aufgedeckt und durch objektiv nachvollziehbare Berechnungen belegt. Meinungsverschiedenheiten in Bezug auf subjektiv interpretierbare Vorgaben bzgl. eines Gebäudezustands können durch die Angabe eines Mindest-Abnutzungsvorrats sowie eines Rest-Abnutzungsvorrats ver- mieden werden.

Neben den oben aufgezeigten Möglichkeiten gibt es weitere Einsatzgebiete für das Verfahren ERAB. So ist es sinnvoll, **Baustoffkataloge** durch Benennung baustoffre- levanter Abnutzungsmerkmale sowie ihrer Relevanz zu vervollständigen. Dies würde die Auswahl geeigneter Baustoffe bei der Planung von Gebäuden erleichtern.

⁶²³ Ein SLA bezeichnet dabei die messbare Beschreibung einer zu erbringenden Dienstleistung (Service) ein- schließlich der zu erreichenden Qualität bzw. Quantität sowie der anzuwendenden Messgrößen. Die Dienstlei- stungsqualität wird dabei anhand möglichst objektiv ermittelter Kennzahlen beschrieben (vgl. BURR, W.; STEPHAN, M.: Dienstleistungsmanagement – Innovative Wertschöpfungskonzepte für Dienstleistungsunterneh- men. Stuttgart : Verlag W. Kohlhammer, 2006, S. 178; ALFEN, H. W.; FISCHER, K.: Lebenszyklusorientierte PPP-Modelle – Service Level Agreements als Instrument der Effizienzsteigerung. In: Facility Management (2004), Heft 10, S. 42).

Durch die Möglichkeit, die gegenwärtigen Zustände der einzelnen Bauelemente eines Gebäudes quantitativ durch die Bestimmung des Abnutzungsvorrats zu beschreiben, kann durch Zusammenführung der Ergebnisse aller Bauelemente auf den Zustand des gesamten Gebäudes geschlossen werden. Die **Bewertung von Immobilienportfolios** oder die konkrete Bestimmung der Abnutzung im Rahmen der **Wertermittlung von Immobilien** mittels Sachwertverfahren lassen sich somit in einer neuen, modifizierten Form durchführen.

Letztendlich stellt das in dieser Arbeit vorgestellte Verfahren ERAB eine Grundlage für viele unterschiedliche Einsatzgebiete dar. Durch den strukturierten Gesamtaufbau ist die hier aufgezeigte Methodik programmierbar. Eine **softwaretechnische Umsetzung des Verfahrens** würde den jetzt schon praxisorientierten Einsatz weiter vereinfachen. Vor Ort durchzuführende Bestandsaufnahmen können auf die Eingabe des Baustoffs und die Angaben der Merkmalsausprägungen der relevanten baustoffspezifischen Abnutzungsmerkmale reduziert werden. Der Abnutzungsvorrat wäre durch die zeitnahe Berechnung sofort ersichtlich und könnte für weitere Auswertungen genutzt werden.

Zukünftig wird die effiziente Erhaltung und Bewirtschaftung von Gebäuden einen wesentlichen Teil unserer gesellschaftlichen Verpflichtungen darstellen. Die Bestimmung der Gebäudequalität durch Ermittlung des Abnutzungsvorrats AV von Baustoffen mittels der in dieser Arbeit aufgezeigten Methode leistet hierzu einen innovativen Beitrag.

VII Literaturverzeichnis

ADAMS, H. W.; SLAGHUIS, H.: Was der Instandhalter vom Recht wissen muß – Mit 25 Beispielen aus der Rechtspraxis. 3. Aufl. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1997

ALFEN, H. W.; FISCHER, K.: Lebenszyklusorientierte PPP-Modelle – Service Level Agreements als Instrument der Effizienzsteigerung. In: Facility Management (2004), Heft 10, S. 42-44

ANSORGE, D.: Wärmeschutz-, Feuchteschutz-, Salzschäden. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006

ARENDT, C.; SEELE, J.: Feuchte und Salze in Gebäuden. 2. Aufl. Leinfelden-Echterdingen : Verlagsanstalt Alexander Koch, 2001

BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; PLINKE, W.: Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung. 9. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2000

BAHR, C.; LENNERTS, K.: Lebens- und Nutzungsdauer von Bauteilen – Endbericht. k. A. : k. A., 2010

BARANEK, M.; JAKOB, V.: Zustandsorientierte Instandhaltung von Güterwagen – Datenfunkbasierte Betriebs- und Zustandsüberwachung. In: EI – Eisenbahningenieur (2006), 5, S. 35-39

BBR (Hrsg.): Dialog Bauqualität – Endbericht. Bonn : Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung BBR, 2002

BECKMANN, G.; MARX, D.: Instandhaltung von Anlagen – Methoden, Organisation, Planung. 2. Aufl. Leipzig : VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1981

BECKMANN, G.; MARX, D.: Instandhaltung von Anlagen – Methoden, Organisation, Planung. 4. Aufl. Leipzig : Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1994

BECKMANN, K.: Auswirkungen menschlicher Einflüsse auf den Abnutzungsvorrat von Bauelementen im Innenbereich von Gebäuden. Dortmund, Technische Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2010

BENEDIX, R.: Bauchemie – Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008

BERTELSMANN STIFTUNG (Hrsg.): Prozessleitfaden Public Private Partnership – Eine Publikation aus der Reihe PPP für die Praxis. Frankfurt am Main : Clifford Chance Pünder, k. A.

BEUTH, A.; BEUTH, M.: Lexikon Bauwesen. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2001

- BEZOLD, T.: Zur Messung der Dienstleistungsqualität – Eine theoretische und empirische Studie zur Methodenentwicklung unter besonderer Berücksichtigung des ergebnisorientierten Ansatzes. Frankfurt am Main : Peter Lang Verlag, 1996
- BIEDERMANN, H. (Hrsg.): Anlagen-Controlling – Gestaltungssystem zur technisch-wirtschaftlichen Anlagenoptimierung. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1992
- BKI (Hrsg.): BKI Baukosten 2008 Teil 2 – Statistische Kostenkennwerte für Bauelemente. Stuttgart : Rudolf Müller, 2008
- BKI (Hrsg.): BKI Baukosten 4: Statistische Kostenkennwerte für den Altbau. Stuttgart : Rudolf Müller, 2010
- BLAICH, J.: Bauschäden – Analyse und Vermeidung. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1999
- BLECKEN, U.; MEINEN, H.; HOLTHAUS, U.: Vergabeentscheidung und Wirtschaftlichkeitsberechnung von PPP/PFI-Projekten in der Bauwirtschaft. In: Bautechnik (2004), Heft 8, S. 648-657
- BMRBS (Hrsg.): Bau- und Wohnforschung – Alterungsverhalten von Wärmedämm-Verbundsystemen mit Kunstharzputzen. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1983
- BMRBS (Hrsg.): Bauteile und Bauunterhaltungskosten – Bewertung von Bauteilalternativen im Hinblick auf eine günstige Relation zwischen Investitions- und Bauunterhaltungskosten. Hannover : Fraunhofer IRB Verlag, 1982
- BMRBS (Hrsg.): Dritter Bericht über Schäden an Gebäuden. Bonn : k. A., 1995
- BMRBS (Hrsg.): Leitfaden Instandhaltung Flachdächer. Koblenz : H. Fuck, 1982
- BMRBS (Hrsg.): Senkung der Baufolgekosten durch systematische und zustandsabhängige Erhaltung von Gebäuden und langzeitkostenoptimale Baustoffwahl. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1995
- BMRBS (Hrsg.): Zweiter Bericht über Schäden an Gebäuden. Bonn : k. A., 1988
- BMVBS (Hrsg.): Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Public Private Partnership Modellen im kommunalen Hoch- und Tiefbau – Leitfaden III: Outputorientierte Ausschreibungsunterlagen für Schulen. Berlin : Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, 2007
- BMVBS: PPP im öffentlichen Hochbau – Band I: Leitfaden. Berlin : Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2003
- BÖHNING, J.: Altbaumodernisierung im Detail – Konstruktionsempfehlungen. 4. Aufl. Köln : Rudolf Müller, 2002
- BRAUN, H.-P.; OESTERLE, E.; HALLER, P.: Facility Management. 4. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2004

BREUER, W.: Investition 1 – Entscheidungen bei Sicherheit. 3. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 2007

BROCKHAUS (Hrsg.): Der Brockhaus in 15 Bänden – Band 10 Nas-Pfa. Leipzig : Brockhaus, 1998

BROCKHAUS (Hrsg.): Der Brockhaus in 15 Bänden – Band 8 Koo-Lz. Leipzig : Brockhaus, 1998

BROCKHAUS (Hrsg.): Der Brockhaus in drei Bänden – Band 2 Go-Pah. 4. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2006

BROCKHAUS (Hrsg.): Der Brockhaus in drei Bänden – Band 3 Pai-Z. 4. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2006

BROCKHAUS (Hrsg.): Die Enzyklopädie in 30 Bänden – Band 1 A-ANAT. 21. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2005

BROCKHAUS (Hrsg.): Die Enzyklopädie in 30 Bänden – Band 15 KIND-KRUS. 21. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2006

BROCKHAUS (Hrsg.): Die Enzyklopädie in 30 Bänden – Band 2 ANAU-AUSV. 21. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2005

BROCKHAUS (Hrsg.): Die Enzyklopädie in 30 Bänden – Band 24 SANTI-SELD. 21. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2005

BROCKHAUS (Hrsg.): Die Enzyklopädie in 30 Bänden – Band 26 SPOT-TALA. 21. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2006

BROCKHAUS (Hrsg.): Die Enzyklopädie in 30 Bänden – Band 6 COMF-DIET. 21. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2005

BROCKHAUS (Hrsg.): Die Enzyklopädie in 30 Bänden – Band 9 FASZ-FRIER. 21. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2005

BROCKHAUS, F. A. (Hrsg.): Brockhaus Enzyklopädie – Band 13 HURS-JEM. 21. Aufl. Leipzig : Brockhaus, 2006

BRÜGGESTRATH, K.: Einfluss von Instandhaltungsrückstau auf die Lebenserwartung der Bauelemente und Bauwerksstrukturen von Wohnimmobilien. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2007

BRÜSSEL, W.: Baubetrieb von A bis Z. 4. Aufl. Düsseldorf : Werner Verlag, 2002

BÜCHLI, R.; RASCHLE, P.: Algen und Pilze an Fassaden – Ursachen und Vermeidung. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2004

BUERGEL-GOODWIN, E.: Vergleichende Studie zu Erneuerung, Unterhalt und Betrieb von Bestandsgebäuden auf Bauteilebene. Karlsruhe, Technische Universität, Fakultät für Architektur, Diplomarbeit, 2004

BUNDESVERBAND KALKSANDSTEININDUSTRIE (Hrsg.): Kalksandstein – Energieeinsparverordnung 2009. Düsseldorf : Verlag Bau+Technik, 2009

BUNDESVERBAND KALKSANDSTEININDUSTRIE (Hrsg.): Kalksandstein, Planung, Konstruktion, Ausführung. 5. Aufl. Düsseldorf : Verlag Bau+Technik, 2009

BURR, W.; STEPHAN, M.: Dienstleistungsmanagement – Innovative Wertschöpfungskonzepte für Dienstleistungsunternehmen. Stuttgart : Verlag W. Kohlhammer, 2006

CADEZ, I.: Risikowertanalyse als Entscheidungshilfe zur Wahl des optimalen Bauvertrags. Düsseldorf : VDI Verlag, 1998

CHRISTEN, K.; MEYER-MEIERLING, P.: Optimierung von Instandsetzungszyklen und deren Finanzierung bei Wohnbauten. Zürich : vdf Hochschulverlag, 1999

COLLING, F.: Analyse und Bewertung von Schäden bei Holzkonstruktionen. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1999

COLLING, F.: Lernen aus Schäden im Holzbau – Ursachen, Vermeidung, Beispiele. Karlsruhe : Bruderverlag, 2000

COUBALL, B.: Eine Methode zur Erfassung und Bewertung des Bauzustandes von Gebäuden der Industrie. In: Bauplanung – Bautechnik (1979), Heft 3, S. 119-121

CZICHOS, H. (Hrsg.): Die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften. 30. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 1996

DIN (Hrsg.): Beiblatt 1 zu DIN 4109 – Schallschutz im Hochbau – Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 11-1989

DIN (Hrsg.): DIN 1045-1 – Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 08-2008

DIN (Hrsg.): DIN 1052 – Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 12-2008

DIN (Hrsg.): DIN 1053-1 – Mauerwerk – Teil 1: Berechnung und Ausführung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 11-1996

DIN (Hrsg.): DIN 1055-1 – Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1: Wichten und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2002

DIN (Hrsg.): DIN 1055-100 – Einwirkungen auf Tragwerke Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 03-2001

DIN (Hrsg.): DIN 1055-3 – Einwirkung auf Tragwerke – Teil 3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 03-2006

DIN (Hrsg.): DIN 18195-1 – Bauwerksabdichtung – Teil 1: Grundsätze, Definitionen, Zuordnung der Abdichtungsarten. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 08-2000

DIN (Hrsg.): DIN 18334 – VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Zimmer- und Holzbauarbeiten. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 04-2010

DIN (Hrsg.): DIN 18350 – VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Putz- und Stuckarbeiten. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 04-2010

DIN (Hrsg.): DIN 18800-1 – Stahlbauten – Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 11-2008

DIN (Hrsg.): DIN 18960 – Nutzungskosten im Hochbau. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 02-2008

DIN (Hrsg.): DIN 1993-1-1 – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 07-2005

DIN (Hrsg.): DIN 276-1 – Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 11-2006

DIN (Hrsg.): DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2003

DIN (Hrsg.): DIN 32736 – Gebäudemanagement – Begriffe und Leistungen. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 08-2000

DIN (Hrsg.): DIN 4102-1 – Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 05-1998

DIN (Hrsg.): DIN 4108-2 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 07-2003

DIN (Hrsg.): DIN 4108-3 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2001

DIN (Hrsg.): DIN 4109 – Schallschutz im Hochbau – Anforderungen und Nachweise. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 11-1989

DIN (Hrsg.): DIN 50035 – Begriffe auf dem Gebiet der Alterung von Materialien – Teil 1: Grundbegriffe. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 03-1989

DIN (Hrsg.): DIN 55350-11 – Begriffe zum Qualitätsmanagement – Teil 11: Ergänzung zu DIN EN ISO 9000:2005. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 05-2008

DIN (Hrsg.): DIN 55350-12 – Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik – Merkmalsbezogene Begriffe. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 03-1989

DIN (Hrsg.): DIN 55928-1 – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge – Teil 1: Allgemeines, Begriffe, Korrosionsbelastungen. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 03-1991

DIN (Hrsg.): DIN EN 12354-6 – Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 6: Schallabsorption in Räumen. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 04-2004

DIN (Hrsg.): DIN EN 13306 – Begriffe der Instandhaltung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 09-2001

DIN (Hrsg.): DIN EN 971-1 – Fachausdrücke und Definitionen für Beschichtungsstoffe – Teil 1: Allgemeine Begriffe. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 09-1996

DIN (Hrsg.): DIN EN 971-2 – Fachausdrücke und Definitionen für Beschichtungsstoffe – Teil 2: Spezielle Fachausdrücke für Merkmale und Eigenschaften. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 07-1996

DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 12944-2 – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme – Teil 2: Einteilung der Umgebungsbedingungen. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 07-1998

DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 20567-1 – Beschichtungsstoffe – Prüfung der Steinschlagfestigkeit von Beschichtungen – Teil 1: Multischlagprüfung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 04-2007

DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 2409 – Beschichtungsstoffe – Gitterschnittprüfung. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 08-2007

DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-1 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 1: Allgemeine Einführung und Bewertungssystem. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004

DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-2 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 2: Bewertung des Blasengrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004

DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-3 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 3: Bewertung des Rostgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004

DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-4 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 4: Bewertung des Rissgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004

DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 4628-5 – Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 5: Bewertung des Abblätterungsgrades. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 01-2004

DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 8402 – Qualitätsmanagement – Anmerkungen zu Begriffen. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 08-1995

DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 8402 – Qualitätsmanagement – Begriffe. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 08-1995

DIN (Hrsg.): DIN EN ISO 9000 – Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 12-2005

DIN (Hrsg.): DIN V 18550 – Putz und Putzsysteme – Ausführung – Vornorm. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 05-2005

DIN (Hrsg.): DIN V 4108-4 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte – Vornorm. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 06-2007

DUDEN (Hrsg.): Das große Wörterbuch der deutschen Sprache in acht Bänden. 2. Aufl. Mannheim : Dudenverlag, 1993

ELLIS, A.; KAUFERSTEIN, M.: Dienstleistungsmanagement – Erfolgreicher Einsatz von prozessorientiertem Service Level Management. Berlin : Springer-Verlag, 2004

EMPA-AKADEMIE (Hrsg.): Die Gebäudehülle – Konstruktive, bauphysikalische und umweltrelevante Aspekte. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2000

ERNST, W.: Dachabdichtung – Dachbegrünung – Fehler, Ursachen, Auswirkungen und Vermeidung Band 1. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2002

FAHRMEIR, L.; KÜNSTLER, R.; PIGEOT, I.: Statistik – Der Weg zur Datenanalyse. 6. Aufl. Berlin : Springer-Verlag, 2007

FIEDLER, R.: Controlling von Projekten. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2008

FINANZMINISTERIUM DES LANDES NRW (Hrsg.): Public Private Partnership im Hochbau – Bestandsbeurteilung. Düsseldorf : Public Private Partnership-Initiative NRW, 2004

- FITZ, C.; KRUS, M.; SEDLBAUER, K.: Mikrobieller Bewuchs auf Fassaden – Verallgemeinerungen lassen sich erklären und vermeiden. In: Deutsche Bauzeitung (2007), Heft 9, S. 84-88
- FRANKE, L.; SCHUMANN, I.: Schadensatlas – Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998
- FÜHRER, H.; GRIEF, M.: Gebäudemanagement für Architekten und Ingenieure. Darmstadt : DLB Verlag, 1997
- GABLER (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon – Taschenbuch-Kassette mit 10 Bd. – Band 1 – A. 14. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997
- GABLER (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon – Taschenbuch-Kassette mit 10 Bd. – Band 3 – D-FD. 14. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997
- GABLER (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon – Taschenbuch-Kassette mit 10 Bd. – Band 5 – I-K. 14. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997
- GABLER (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon – Taschenbuch-Kassette mit 10 Bd. – Band 7 – O-R. 14. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997
- GABLER (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon – Taschenbuch-Kassette mit 10 Bd. – Band 9 – T-VE. 14. Aufl. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997
- GÄNßMANTEL, J.; GEBURTIG, G.; SCHAU, A.: Sanierung und Facility Management – Nachhaltiges Bauinstandhalten und Bauinstandsetzen. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2005
- GEFMA 100. Bonn : GEFMA e.V. Deutscher Verband für Facility Management, 07-2004
- GEFMA (Hrsg.): GEFMA 200 – Kostenrechnung im Facility Management. Bonn : GEFMA e.V. Deutscher Verband für Facility Management, 12-1996
- GRABENER, H. J.: Immobilien Fachwissen von A - Z. 3. Aufl. Schwedeneck : Grabener Verlag, 1999
- GRUNAU, E. B.: Lebenserwartung von Baustoffen – Funktionsdauer von Baustoffen und Bauteilen; Wirtschaftlichkeit durch langlebige Baustoffe. Braunschweig : Vieweg, 1980
- GRUNDAU, E. B.; KÖSTER, J.; SCHMITT, J.: Abdichtung von Bauwerken. Köln : Müller, 1990
- HANKAMMER, G.: Abnahme von Bauleistungen Hochbau – Erkennen und Beurteilen von Planungs- und Ausführungsmängeln. 3. Aufl. Köln : Rudolf Müller, 2007
- HANKAMMER, G.: Schäden an Gebäuden – Erkennen und Beurteilen. Köln : Rudolf Müller, 2004

HARTUNG, J.; ELPELT, B.; KLÖSENER, K.-H.: Statistik – Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. 4. Aufl. München : Oldenbourg Verlag, 1985

HAUPTVERBAND DER ALLGEMEIN BEEIDETEN UND GERICHTLICH ZERTIFIZIERTEN SACHVERSTÄNDIGEN ÖSTERREICHS (Hrsg.): Nutzungsdauerkatalog baulicher Anlagen und Anlagenteile. 3. Aufl. Graz : SV-Landesverband Steiermark und Kärnten, 2006

HOAI (Hrsg.): HOAI Textausgabe – Honorarordnung für Architekten und Ingenieure. 2. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2001

HORNBOGEN, E.: Werkstoffe – Aufbau und Eigenschaften von Keramik, Metallen, Kunststoffen und Verbundwerkstoffen. Berlin : Springer-Verlag, 1979

IMB (Hrsg.): Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten. Berlin : Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V., 2006

IFB (Hrsg.): Bauunterhaltungskosten beanspruchter Bauteile in Abhängigkeit von Baustoffen und Baukonstruktionen. Hannover : IRB Verlag, 2001

IP BAU (Hrsg.): Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten – Grundlegenden Daten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1994

IP BAU (Hrsg.): Grobdiagnose – Zustandserfassung und Kostenschätzung von Gebäuden – Methode. 2. Aufl. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1995

IP BAU (Hrsg.): Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992

IRB (Hrsg.): Bau-Nutzungskosten 2006 – Bau-Nutzungskosten-Kennwerte für Wohngebäude. Stuttgart : IRB Verlag, 2006

IRB (Hrsg.): Lebensdauer der Baustoffe und Bauteile zur Harmonisierung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer im Wohnungsbau. Hannover : IRB Verlag, 2005

IRB (Hrsg.): Wirtschaftliche Konzepte für die Bauwerksdiagnose und Dokumentation in der Instandhaltung, Instandsetzung und Modernisierung. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2001

ISO (Hrsg.): ISO 15686-1 – Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles. Geneva : International Organization for Standardization, 09-2000

JÖBSTL, O.: Einsatz von Qualitätsinstrumenten und -methoden – Ein Anwendungsmodell für Dienstleistungen am Beispiel der Instandhaltung. Wiesbaden : Deutscher Universitäts-Verlag, 1999

KALAITZIS, D. (Hrsg.): Instandhaltungscontrolling – Führungs- und Steuerungssystem erfolgreicher Instandhaltung. 3. Aufl. Köln : TÜV-Verlag, 2004

- KALCHER H. K.: Feuchtigkeitsschäden im Haus – Ursachen erkennen – Schäden beseitigen. Taunusstein : Eberhard Blottner Verlag, 2004
- KALUSCHE, W.; OELSNER, U.: Instandhaltung von Gebäuden und ihre Finanzierung. In: Forum der Forschung (2003), Heft 16, S. 81-87
- KASTNER, R.: Altbau beurteilen, bewerten. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2000
- KLAAS, H.; SCHULZ, E.: Schäden an Außenwänden aus Ziegel- und Kalksandstein-Verblendmauerwerk. 2. Aufl. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2002
- KLEMISCH, J.: Bauunterhaltung dauerhaft und wirtschaftlich. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006
- KLINGENBERGER, J.: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Darmstadt, Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2007
- KLINGENBERGER, J.: Modell zur Bildung von Strategien der Instandhaltung für Gebäude. In: Bauingenieur (2008), Heft 83, S. 99-107
- KLOCKE, W.: Leitfaden zur Bauinstandhaltung – Inspektion und Wartung ihres Hauses – Ratschläge zur Pflege und Werterhaltung. Wermelskirchen : Bernhard, 1991
- KLOCKE, W.: Mein Haus wird älter – was tun?. Wiesbaden : Bauverlag, 1988
- KLOPFER, H.: Anstrichschäden – Strukturen, Verhaltensweisen und Schadensformen von Anstrichen und Kunststoffbeschichtungen. Wiesbaden : Bauverlag, 1976
- KNOBLAUCH, H.; SCHNEIDER, U.: Bauchemie. 6. Aufl. Neuwied : Werner Verlag, 2006
- KNÖFEL, D.: Bautenschutz mineralischer Baustoffe. Wiesbaden : Bauverlag, 1979
- KNÖFEL, D.: Stichwort Baustoffkorrosion. Wiesbaden : Bauverlag, 1982
- KÖNIG, H.; MANDL, W.: Baukosten-Atlas 2007 – Bauen im Bestand – Wohnungsbau. Kissing : Weka Media GmbH & Co. KG, 2006
- KÖNIG, H.; MANDL, W.: Baukosten-Atlas 2009 – Bauen im Bestand – Wohnungsbau. 3. Aufl. Kissing : Weka Media GmbH & Co. KG, 2008
- KRAUSKOPF, J.: Entwicklung einer Methodik zur Kalkulation von Pauschalen für ungeplante Instandsetzung. Dortmund, Technische Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2008
- KRIMMLING, J.: Facility Management – Strukturen und methodische Instrumente. Stuttgart : IRB Verlag, 2005

- KRUG, K.-E.: Wirtschaftliche Instandhaltung von Wohngebäuden durch methodische Inspektion und Instandsetzungsplanung. Braunschweig, Technische Universität, Fachbereich für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Dissertation, 1985
- KUHNE, V.: Ein Instandhaltungsmodell für Hochbauten. In: Schweizer Ingenieur und Architekt (1991), Heft 03, S. 246-249
- LAND NRW (Hrsg.): Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen (BauO NRW), Stand 13.03.2007. Düsseldorf : Land NRW, 2007
- LBB (Hrsg.): Bauteile sicher beurteilen: Wärme, Feuchte, Schall – Erkennen der Einflüsse, einfaches Abschätzen und Bewerten in Planung und Ausführung. Aachen : Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung (LBB), 1993
- LBB (Hrsg.): Flachdächer beurteilen und instandsetzen – Schadensbilder, Ursachen-ermittlung, Instandsetzungsmöglichkeiten. Aachen : Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung (LBB), 1992
- LBB (Hrsg.): Geplante Instandhaltung – Ein Verfahren zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden. Aachen : LBB, 1995
- LBB (Hrsg.); MUSEWALD, J.: Stahlbeton prüfen und dauerhaft erhalten. Aachen : Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung (LBB), 1990
- LEIMBÖCK, E.: Bauwirtschaft. Stuttgart : Teubner Verlag, 2000
- LESCHNIK, W. (Hrsg.); VENZMER, H. (Hrsg.): Bauwerksdiagnostik und Qualitätsbewertung. Freiburg : Aedificatio Verlag, 1997
- LOHMEYER, G. C. O.; POST, M.; BERGMANN, H.: Praktische Bauphysik – Eine Einführung mit Berechnungsbeispielen. 6. Aufl. Wiesbaden : Vieweg + Teubner, 2008
- MAAß, I.: Beschreibung der Ausführungs- und Produktqualität in Bezug auf den Abnutzungsvorrat von Baustoffen der Gebäudehülle. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2009
- MANDL, W.; KÖNIG, H.: Baukosten-Atlas. Kissing : Weka Media GmbH & Co. KG, 2005
- MEINEN, H.; SCHÖNFELDER, U.: Gebäudemanagement-Dienstleistungen – Kalkulation bei Service-Level-Verträgen mit Output-Spezifikationen. In: Facility Management (2006), Heft 3, S. 42-45
- MEISEL, U.: Naturstein – Erhaltung und Restaurierung von Außenbauteilen. Berlin : Bauverlag, 1988
- MERMINOD, P.; VICARI, J.: Handbuch MER – Methode zur Ermittlung der Kosten der Wohnungserneuerung. Bern : Bundesamt für Wohnungswesen, 1984

- MEYER (Hrsg.): Meyers großes Universallexikon in 15 Bänden – Band 4: Do-Fd. Mannheim : Meyers Lexikonverlag, 1981
- MÖLLER, D.-A.: Planungs- und Bauökonomie – Band 1: Grundlagen der wirtschaftlichen Bauplanung. 5. Aufl. München : R. Oldenbourg Verlag, 2007
- MOSCHIG, G. F.: Bausanierung – Grundlagen, Planung, Durchführung. 2. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2004
- NEDDERMANN, R.: Kostenermittlung im Altbau. 3. Aufl. Darmstadt : Werner Verlag, 2005
- NEDDERMANN, R.: Kostenermittlung in der Altbauerneuerung und technische Beurteilung von Altbauten. 2. Aufl. Düsseldorf : Werner Verlag, 2000
- NEUHAUS, H.: Lehrbuch des Ingenieurholzbaus. Stuttgart : Teubner Verlag, 1994
- NÜRNBERGER, U.: Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen Band 1. Wiesbaden : Bauverlag, 1995
- OLBRICH, J.: Instandhaltung der Gebäudehülle von Bestandsimmobilien und die zu erzielenden Synergieeffekte. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2008
- OLFERT, K. (Hrsg.): Investition. 8. Aufl. Ludwigshafen : Friedrich Kiehl Verlag, 2001
- OSWALD, R. (Hrsg.): Bauteilalterung – Bauteilschädigung – Typische Schädigungsprozesse und Schutzmaßnahmen. Wiesbaden : Vieweg, 2009
- OTTO, J.: Wissensintensives Facility Management – Grundlagen und Anwendungen. Renningen : Expert Verlag, 2006
- PASSLICK, R.: Auswirkungen von standortspezifischen Umwelteinflüssen auf den Abnutzungsvorrat der Gebäudehülle von Wohnimmobilien. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2008
- PFEIFFER, M.; BEHTE, A.; FANSLAU-GÖRLITZ, D.: Nutzungsdauertabellen für Wohngebäude – Lebensdauer von Bau- und Anlageteilen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2010
- PILNY, F.: Risse und Fugen in Bauwerken. Wien : Springer-Verlag, 1981
- PISTOHL, W.: Handbuch der Gebäudetechnik – Planungsgrundlagen und Beispiele Band 1 Allgemeines/Sanitär/Elektro/Gas. 5. Aufl. Düsseldorf : Werner Verlag, 2004
- PREISSLER, P. R.; PREISSLER, G.: Lexikon Controlling. 2. Aufl. Landsberg am Lech : mi-Fachverlag, 2007
- PUCHE, M.: Mängel an Gebäude- und Bauteiloberflächen. Köln : Rudolf Müller, 2007
- RAGONESI, M.: Bautechnik der Gebäudehülle. Stuttgart : Teubner Verlag, 1993

RASCH, A. A.: Erfolgspotential Instandhaltung – Theoretische Untersuchung und Entwurf eines ganzheitlichen Instandhaltungsmanagements. Berlin : Erich Schmidt Verlag, 2000

REFA (Hrsg.): Lexikon der Betriebsorganisation – Methodenlehre der Betriebsorganisation. München : Hanserverlag, 1993

REFA (Hrsg.): REFA-Lexikon – Betriebsorganisation. 3. Aufl. Berlin : Beuth Verlag, 1977

REICHEL, A.; HOCHBERG, A.; KÖPKE, C.: Putze, Farben, Beschichtungen – Details, Produkte, Beispiele. München : Detail Praxis, 2004

RENTMEISTER, A.: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 2003

RIECHE, G.: Dauerhaftigkeit von Außenwandkonstruktionen. In: VDI-Berichte (1978), Heft 305, S. 71-81

ROPERTZ, N.: Schutzwirkung von Bauelementen innerhalb der Gebäudehülle. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2008

ROSS, F. W.; BRACHMANN, R.; HOLZNER, P.: Ermittlung des Bauwertes von Gebäuden und des Verkehrswertes von Grundstücken. 28. Aufl. Hannover : Theodor Oppermann Verlag, 1997

RÖTZEL, A.: Instandhaltung – eine betriebliche Herausforderung. 3. Aufl. Berlin : VDE Verlag, 2005

RÜTH, D.: Kostenrechnung 1. 2. Aufl. München : Oldenbourg Verlag, 2006

SALZMANN, S.: Nutzungskostenprognosen im Lebenszyklus von Gebäuden – Untersuchung ausgewählter Parameter unter Risikoaspekten. Dortmund, Universität, Fachbereich Baubetrieb, Diplomarbeit, 2006

SCHMID, E. V.: Außenanstriche im Hochbau – Lebensdauer unter Umwelteinflüssen. Wiesbaden : Bauverlag, 1994

SCHMITZ, H.; KRINGS, E.; DAHLHAUS, U.: Baukosten 2008 – Instandsetzung, Sanierung, Modernisierung, Umnutzung. 19. Aufl. Essen : Verlag für Wirtschaft und Verwaltung Hubert Wingen, 2008

SCHOLZ D.: Typische Baufehler – erkennen – vermeiden – beheben. Köln : Rudolf Müller, 2002

SCHÖNBURG, K.: Korrosionsschutz am Bau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006

SCHÖNBURG, K.: Schäden an Sichtflächen – Bewerten, beseitigen, vermeiden. 2. Aufl. Berlin : Verlag Bauwesen, 2003

- SCHÖNFELDER, E.: Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung von Schichtsystemen nach arbeitswissenschaftlichen Kriterien. Frankfurt am Main : Peter Lang Verlag, 1991
- SCHÖNFELDER, T.; SCHÖNFELDER, E.; SCHÖNFELDER, U.: Studienbuch Unternehmensorganisation. Meschede : Fachhochschule Südwestfalen, Wissenschaftliche Genossenschaft Südwestfalen eG, 2009
- SCHRÖDER, J.: Zustandsbewertung grosser Gebäudebestände. In: Schweizer Ingenieur und Architekt (1989), Heft 17, S. 449-459
- SCHUB, A.; STARK, K.: Life cycle cost von Bauobjekten – Methoden zur Planung von Erst- und Folgekosten. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1985
- SCHULTE-ZURHAUSEN, M.: Organisation. 4. Aufl. München : Verlag Franz Vahlen, 2005
- SEDLBAUER, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Stuttgart, Universität, Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen, Dissertation, 2001
- SIA (Hrsg.): SIA 469 – Erhaltung von Bauwerken. Zürich : SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, 10-1997
- SIMONS, K.; HIRSCHBERGER, H.; STÖLTING, D.: Lebensdauer von Bauteilen und Baustoffen – Abschlussbericht. Bonn : Technische Universität Braunschweig, 1987
- SPIPKER, R.; OSWALD, R.: Konzepte für die praxisorientierte Instandhaltungsplanung im Wohnungsbau. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2000
- STAHR, M. (Hrsg.): Bausanierung – Erkennen und Beheben von Bauschäden. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2009
- STAHR, M. (Hrsg.): Praxiswissen Bausanierung – Erkennen und Beheben von Bauschäden. Wiesbaden : Vieweg, 1999
- STARK, J.; STÜRMER, S.: Bauschädliche Salze. Weimar : Bauhaus-Universität Weimar, 1996
- STEINHÖFEL, H.-J.: Sanierung von Flachdächern – Vorbereitung und Rechtsfragen. Köln : Rudolf Müller, 1986
- THIENEL, K.-C.: Bauschäden – Frühlingstrimester 2006. München : Universität der Bundeswehr München, 2006
- VDI (Hrsg.): VDI 2885 – Einheitliche Daten für die Instandhaltungsplanung und Ermittlung von Instandhaltungskosten. Berlin : Verein Deutscher Ingenieure, 12-2003
- VEIT, P.: Qualität im Gleis – Luxus oder Notwendigkeit?. In: EI – Eisenbahningenieur (2006), Heft 57, S. 32-37
- WAHRIG, G.: Deutsches Wörterbuch. 7. Aufl. Gütersloh : Wissen Media Verlag, 2005

- WARNECKE, H.-J.: Handbuch Instandhaltung. Band 1 – Instandhaltungsmanagement. 2. Aufl. Köln : TÜV-Verlag, 1992
- WEEBER, H.; BOSCH, S.: Bauqualität – Verfahrensqualität und Produktqualität bei Projekten des Wohnungsbaus. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2003
- WELLER, B.; HÄRTH, K.; TASCHE, S.: Konstruktiver Glasbau – Grundlagen Anwendung Beispiele. Regensburg : Aumüller, 2008
- WENDEHORST, R.: Baustoffkunde. 26. Aufl. Hannover : Curt R. Vincentz, 2004
- WERNKE, N.: Instandhaltung und Modernisierung von Büro- und Verwaltungsgebäuden in Abhängigkeit zum fortgeschrittenen Lebensalter. Braunschweig, Technische Universität, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Diplomarbeit, 2004
- WESCHE, K.: Baustoffe für tragende Bauteile – Band 3: Stahl, Aluminium. Wiesbaden : Bauverlag, 1985
- WETZEL, C.: Optimierung des zukünftigen Instandhaltungsbedarfs. In: Bundesbaublatt (2003), Heft 2, S. 28-33
- WILLEMS, W. M.; SCHILD, K.; DINTER, S.: Handbuch Bauphysik Teil 1 – Wärme- und Feuchteschutz, Behaglichkeit, Lüftung. Wiesbaden : Vieweg, 2006
- WILLEMS, W. M.; SCHILD, K.; DINTER, S.: Handbuch Bauphysik Teil 2 – Schall- und Brandschutz, Fachwörterglossar deutsch-englisch, englisch-deutsch. Wiesbaden : Vieweg, 2006
- WORMUTH, R. (Hrsg.); SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.): Baulexikon – Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Berlin : Bauwerk Verlag, 2000
- WÜRFELE, F.; BIELEFELD, B.; GRALLA, M.: Bauobjektüberwachung – Kosten – Qualitäten – Termine – Organisation – Leistungsinhalt – Rechtsgrundlagen – Haftung – Vergütung. Wiesbaden : Vieweg, 2007
- ZANGEMEISTER, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. 4. Aufl. München : Wittmann, 1976
- ZECHO, M.: Korrosionsverhalten von Zink- und Zink-Aluminium-Überzügen auf Stahl. Stuttgart : Otto-Graf-Institut, 2000
- ZIMMERMANN, G. (Hrsg.): Risschäden an Mauerwerk. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2002
- ZIMMERMANN, G. (Hrsg.): Schäden an polymeren Beschichtungen. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2001