

# **Rohstoffplanung und -steuerung – Ein Konzept zur nachhaltigkeitsinduzierten Prozessbewertung**

Bei der Fakultät Maschinenbau der Technischen Universität Dortmund

zur Erlangung des Grades des Doktor-Ingenieurs

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Wirt.-Ing. Sven Krause

Dortmund im November 2009

Referent: Prof. Dr.-Ing. Axel Kuhn

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen

Tag der mündlichen Prüfung: 12.11.2009



## DANKSAGUNG

Die vorliegende Arbeit entstand parallel zu meiner beruflichen Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fabrikorganisation der Technischen Universität Dortmund.

Für die Entstehung dieser Arbeit bin ich zahlreichen Menschen sehr dankbar. Obwohl hier nicht alle erwähnt werden können, ist mein Dank an sie nicht weniger herzlich.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Axel Kuhn, Inhaber des Lehrstuhls für Fabrikorganisation und Institutsleiter des Fraunhofer Instituts für Materialfluss und Logistik, möchte ich für die Betreuung meiner Arbeit danken. Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen für sein Interesse an der bearbeiteten Thematik und für die Übernahme des Koreferats.

Darüber hinaus gilt mein besonderer Dank meinen Kollegen am Lehrstuhl und des Fraunhofer Instituts. Sie alle haben dazu beigetragen, meine Ideen und Gedanken weiter zu entwickeln. Insbesondere bleiben mir die anregenden und sehr angenehmen Gespräche mit Stephan in besonderer Erinnerung, die mich immer wieder motiviert haben und mir zudem über so manchen mitunter auftauchenden Zweifel hinweggeholfen haben.

Meinen Eltern und Großeltern danke ich ganz besonders, nicht nur für die Unterstützung bei meiner Arbeit und der Ermöglichung meines Studiums, sondern vor allem für ihre Erziehung und ihr Vorbild, die mir die Kraft und die Ausdauer gaben, meinen Weg zu finden und zu gehen. Mein größter und herzlichster Dank gilt schließlich meiner Freundin Sandy, die mir in dieser Zeit immer wieder den Rücken gestärkt und freigehalten hat und durch unsere anregenden und motivierenden Gespräche maßgeblich zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen hat. Ihr und meiner geliebten Oma Anita widme ich diese Arbeit.

*Sven Krause*

*Dortmund, November 2009*



*„Im Wesen des Deutschen Volkes, begründet auf seine Tüchtigkeit, sowie auf der geographischen Lage des Landes, seiner verhältnismäßigen Armut an Rohstoffen im Allgemeinen und namentlich im Hinblick auf das enge Bewohntsein, liegt es, dass sein Streben schon von früh an auf eine möglichst sparsame Wirtschaft, eine möglichst durchgreifende Nutzbarmachung aller wertgebenden Faktoren gerichtet war. Dazu kam die Fürsorge der Behörde für eine möglichst gute Gesundheit der Bevölkerung, die Durchführung der Arbeitsschutzgesetzgebung, die Schaffung der Gewerbepolizei und nicht zuletzt das gesunde Verständnis der Bevölkerung für das Recht des Nachbar ... auf einen möglichst ungestörten Genuss einer reinen Luft, eines guten Trinkwassers, eines durch Fleiß und Sparsamkeit erworbenen eigenen Anwesens, des Waldes und aller ihm oder anderen gehörigen Grundstücke und Anlagen.“*

**H. Becker, Jena, 1923<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> H. Becker: Seite 4, Spalte 2 und S.5, 1. in L. Elster, A. Eber F. Wieser Handwörterbuch der Staatswissenschaften; 4. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Jena, 1923.

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>I</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>IV</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>VI</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>IX</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1. Ausgangssituation.....	1
1.2. Zielsetzung .....	4
1.3. Aufbau der Arbeit .....	5
<b>2. Theoretische Grundlagen .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1. Rohstoffmanagement .....</b>	<b>8</b>
2.1.1. Begriffsdefinitionen.....	8
2.1.2. Bedeutung des ressourcenorientierten Managements.....	9
2.1.3. Determinanten einer ressourceneffizienten Unternehmensführung.....	11
<b>2.2. Ökologieorientierung und Nachhaltigkeitsmanagement.....</b>	<b>13</b>
2.2.1. Begriffsdefinitionen.....	13
2.2.2. Konstitutive Gestaltungsaspekte der Nachhaltigkeit .....	15
2.2.3. Unternehmenspositionierung im Kontext der Nachhaltigkeit .....	16
<b>2.3. Interdependenzen zwischen den Wissensgebieten .....</b>	<b>21</b>
2.3.1. Entstehung und Ursachen des Klimawandels.....	21
2.3.2. Effizienter Ressourceneinsatz.....	30
<b>2.4. Methoden und Instrumente im Spannungsfeld der Wissensgebiete .....</b>	<b>35</b>
2.4.1. Betriebliches Energiemanagement .....	37
2.4.2. Eco-Effizienz/Flussmanagement .....	39
2.4.3. Flusskostenrechnung .....	41
2.4.4. Hot-Spot-Analyse und Ressourcenproduktivität .....	43
2.4.5. EG-Öko-Audit-Verordnung.....	44
2.4.6. Ökobilanz .....	47
2.4.7. Öko-Effizienz-Analyse .....	49

2.4.8. Öko-Kompass .....	50
2.4.9. Stoffstrommanagement.....	53
2.4.10. Sustainability Balanced Scorecard .....	55
<b>2.5. Defizite existierender Methoden und Instrumente .....</b>	<b>56</b>
<b>2.6. Anforderungen an ein Modell zur Bewertung eines nachhaltigen Rohstoffeinsatzes .....</b>	<b>58</b>
<b>3. Modell zur Bewertung eines nachhaltigen Rohstoffeinsatzes .....</b>	<b>60</b>
<b>3.1. Aggregiertes Produktionssystem .....</b>	<b>60</b>
<b>3.2. Erfolgsfaktoren eines IPS .....</b>	<b>61</b>
3.2.1. Beschaffung .....	62
3.2.2. Produktion .....	63
3.2.3. Vertrieb .....	64
3.2.4. Zielsystem eines IPS.....	64
<b>3.3. Das natürliche Produktionssystem .....</b>	<b>65</b>
3.3.1. Spezifikation des Betrachtungsgegenstandes .....	66
3.3.2. Rohstoffbestand .....	69
3.3.3. Entstehungszeit .....	74
3.3.4. Recyclingrate .....	90
<b>3.4. Gesamtmodell und Zielsetzung .....</b>	<b>92</b>
<b>4. Methodik zur nachhaltigkeitsinduzierten Prozessbewertung.....</b>	<b>94</b>
<b>4.1. Zuordnungsprinzip .....</b>	<b>94</b>
<b>4.2. Vorgehensweise zur Bewertung des Ressourceneinsatzes .....</b>	<b>99</b>
<b>4.3. Exemplarische Betrachtung .....</b>	<b>104</b>
4.3.1. Produkt .....	104
4.3.2. Verkehrslogistik.....	110
4.3.3. Produktentwicklung.....	113
<b>5. Entwicklung von Handlungsoptionen .....</b>	<b>116</b>
<b>5.1. Recycling und Sekundärrohstoffe.....</b>	<b>117</b>
<b>5.2. Miniaturisierung und Materialsubstitution.....</b>	<b>119</b>
<b>5.3. Nutzungskonzepte und Servicedienstleistungen.....</b>	<b>121</b>
<b>5.4. Logistik und Regionalisierung .....</b>	<b>123</b>
<b>6. Fazit und Ausblick.....</b>	<b>125</b>

<b>Quellenverzeichnis.....</b>	<b>XI</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>XXIV</b>
A.1. Aluminium .....	XXV
A.2. Chrom.....	XXVIII
A.3. Eisen.....	XXIX
A.4. Kupfer .....	XXXVII
A.5. Magnesium.....	XL
A.6. Mangan.....	XLIV
A.7. Molybdän .....	XLVII
A.8. Nickel .....	LI
A.9. Silber.....	LIV
A.10. Titan.....	LVII
A.11. Wolfram .....	LXI
A.12. Zink.....	LXVI
A.13. Zinn.....	LXX

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

°C	Grad Celsius
a	Anno (Jahr)
APS	Aggregiertes Produktionssystem
BSC	Balanced Scorecard
bspw.	Beispielsweise
bzw.	Beziehungsweise
CSR	Corporate Social Responsibility
d. h.	Das heißt
Et al.	Et alii (und andere)
etc.	Et cetera
EU	Europäische Union
f.	Folgend
ff.	Fortfolgend
Hrsg.	Herausgeber(schaft)
i.A.a.	In Anlehnung an
i. H. v.	In Höhe von
IfM	Institut für Mittelstandsforschung
IPS	Industrielles Produktionssystem
InR	Industrielle Ressource
IR	Industrieller Rohstoff
J	Joule
K	Kelvin
kg	Kilogramm
km	Kilometer
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
kWh	Kilowattstunde
MBV	Market based view
min	Minute

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

---

ND	Nutzungsdauer
NPS	Natürliches Produktionssystem
NR	Natürlicher Rohstoff
RBV	Resource based view
t	Tonne
vgl.	Vergleiche
z. B.	Zum Beispiel

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Energetische Einsparpotentiale in Deutschland /vgl. HENN04, S.8/ .....	2
Abbildung 2: Nutzenpotentiale von Energie- und Rohstoffeffizienz /vgl. HENN04, S.7/.....	3
Abbildung 3: Marktpotentiale für umweltfreundliche Technologien /HENN07, S.18/.....	3
Abbildung 4: Theoretische Grundlagen /Eigene Darstellung/ .....	5
Abbildung 5: Modell und Methodik /Eigene Darstellung/.....	6
Abbildung 6: Beispielhafte Betrachtung und Ableitung von Handlungsoptionen /Eigene Darstellung/ .....	7
Abbildung 7: Gegenüberstellung der Resource based view und Marked based view /Eigene Darstellung/ .....	11
Abbildung 8: Die drei Säulen der Nachhaltigkeit /vgl. MICH02, S.16/ .....	15
Abbildung 9: Zielkriterien des unternehmerischen Handelns /vgl. HERM04, S.69 i. V. m. SHKM02, S.6/ .....	17
Abbildung 10: Nachhaltigkeitsinteressen der Stakeholder /vgl. PKKG05, S.11/.....	17
Abbildung 11: Bedeutung der Zieldimensionen für unternehmerisches Handeln /Eigene Darstellung/ .....	18
Abbildung 12: Bereiche des Umweltrechtes /vgl. BALR07, S.21/.....	19
Abbildung 13: Positionierungsoptionen von Unternehmen /Eigene Darstellung/.....	20
Abbildung 14: Interdependenzen zwischen Rohstoffmanagement und Ökologieorientierung /Eigene Darstellung/ .....	21
Abbildung 15: Abweichungen der global gemittelten bodennahen Lufttemperatur /vgl. IPCC 2007/.....	22
Abbildung 16: Ursachen der Klimaänderung /Eigene Darstellung/.....	24
Abbildung 17: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen (CO <sub>2</sub> Äquivalent) /i. A. a. IPCC07, S.36/.....	25
Abbildung 18: Anteil an CO <sub>2</sub> -Emissionen nach Quellkategorien in Deutschland /vgl. UBA07/ .....	26
Abbildung 19: Wirkungszusammenhang zwischen Sonnenaktivität und Treibhauseffekt /Eigene Darstellung/ .....	27
Abbildung 20: Anzahl Wirbelstürme auf dem amerikanischen Festland /i.A.a. BIRL07, S.11/ .....	28

Abbildung 21: Entwicklung der nominalen Preise für beispielhafte Energieträger /vgl. BGR07, S.2/ .....	30
Abbildung 22: Anteile der Energierohstoffe an Förderung, Reserven und Ressourcen /vgl. BGR07, S.7/ .....	32
Abbildung 23: Entwicklung der Energieimporte /vgl. FPJT08, S.8/ .....	32
Abbildung 24: Abiotisches Primärmaterial nach Herkunft /vgl. FPJT08, S.7/.....	33
Abbildung 25: Entwicklung der Produktivität im verarbeitenden Gewerbe /vgl. FPJT08, S.8/ .....	33
Abbildung 26: Ablaufschema eines Energiekonzepts /TOEN00, S.5/.....	38
Abbildung 27: Ablauf des Öko-Audits /vgl. FICH95: S.25/.....	45
Abbildung 28: Ablauf einer Ökobilanz /WITT03, S.39/ .....	48
Abbildung 29: Öko-Effizienz Matrix /SHKM02, S.79/.....	50
Abbildung 30: Prinzip der Öko-Kompass Analyse /vgl. REIS06, S.11/.....	52
Abbildung 31: Elemente des Stoffstrommanagements /vgl. WITT03, S.38/.....	54
Abbildung 32: Aufbau einer SBSC /SHKM02, S.109 i. V. m. FHSW01, S.25/ .....	56
Abbildung 33: Zusammenhang zwischen NPS und IPS im Kontext eines aggregierten Produktionssystems /Eigene Darstellung/ .....	60
Abbildung 34: Kennzahlensystem zur Abdeckung relevanter Managementinteressen /i.A.a. KIRC03, S.72/ .....	62
Abbildung 35: Leit- und Wachstumsbranchen in Deutschland /i.A.a. ARND06/ .....	66
Abbildung 36: Defizite existenter Kennzahlen zur Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung /Eigene Darstellung/ .....	68
Abbildung 37: Entwicklung des CRB-Metal Sub-index‘ 1972-2009 /vgl. Commodity Research Bureau 2009/.....	72
Abbildung 38: Gliederung der Erde /vgl. MATT00, S.442 i. V. m. RING79, BABR08, S.7/ 74	
Abbildung 39: Kreislauf der Gesteine /i.A.a. MEIS99, S.48/ .....	77
Abbildung 40: Geotektonische Alterskarte der Welt /vgl. USGS08, SCAM83/ .....	81
Abbildung 41: Vorgehen zur Berechnung der Rohstoffentstehungszeit /Eigene Darstellung/ 82	
Abbildung 42: Bildungsbedingungen von Erdöl und Erdgas /i.A.a. BABR08, S.171/ .....	89
Abbildung 43: Überblick der verschiedenen Recyclingarten /i. A. a. HECL08/ .....	91
Abbildung 44: Gesamtmodell zur Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung /Eigene Darstellung/ .....	92

---

Abbildung 45: Grundlegende Wirkzusammenhänge des Zuordnungsprinzips /Eigene Darstellung/ .....	94
Abbildung 46: Vollständige Darstellung eines Prozesskettenelements /i. a. A. KUHN95, S. 47/.....	96
Abbildung 47: Zusammenhang zwischen NR, IR und InR /Eigene Darstellung/.....	98
Abbildung 48: Zuordnungsprinzip des variablen und fixen Ressourceneinsatzes /Eigene Darstellung/ .....	99
Abbildung 49: Zu erfassende Daten der eingesetzten IR /Eigene Darstellung/ .....	99
Abbildung 50: Vorgehensweise zur Bewertung des Rohstoffeinsatzes /Eigene Darstellung/.....	100
Abbildung 51: Entwicklung der Fahrzeuggewichte in der Kompaktklasse /vgl. LEBR08, S.5, BSF+07, S.14/ .....	105
Abbildung 52: Entwicklung der Materialzusammensetzung von Fahrzeugen /vgl. BSF+07, S.16/.....	106
Abbildung 53: Entwicklung des Verbrauchsintensitätsfaktors in Abhängigkeit einer Materialsubstitution von Stahl durch Aluminium /Eigene Berechnungen/ .....	108
Abbildung 54: Entwicklung des Güterverkehrs 1998-2007 /vgl. Destatis 2008/ .....	111
Abbildung 55: Nachhaltige ND ausgewählter Rohstoffe /Eigene Berechnungen/ .....	113
Abbildung 56: Lösungsraum nachhaltigkeitsinduzierter Handlungsoptionen /Eigene Darstellung/ .....	116
Abbildung 57: Unterschiedliche Innovationszyklen von Modulen und Produkten am Beispiel der Automobilindustrie /vgl. JUNG05, S.111/.....	120
Abbildung 58: Nutzungskonzepte in Abhängigkeit der Produkthanforderung und Ressourcenverbrauch /Eigene Darstellung/ .....	122
Abbildung 59: Verlagerungs- und Rückverlagerungsmotive im Zeitverlauf /vgl. KILA04, S.8/ .....	124

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht Treibhausgase /vgl. STRO08, S.1/ .....	23
Tabelle 2: Preissteigerungen einzelner Materialrohstoffe /vgl. KBL+06, S.3/ .....	34
Tabelle 3: Materialeinsatz und -einsparungen der größten Branchen im Kontext der Materialinanspruchnahme /i.A.a. JKL+05, S.5/ .....	35
Tabelle 4: Gestaltungsprinzipien des Flussmanagements .....	40
Tabelle 5: Gesamtübersicht der untersuchten Methoden und Instrumente .....	57
Tabelle 6: Produktionsmanagement und Produktionscontrolling /vgl. MUEL01, S.10/ .....	63
Tabelle 7: Wichtige Kennzahlen des Zielsystems eines IPS.....	65
Tabelle 8: Übersicht der bedeutendsten Materialrohstoffe /vgl. BSF+07, S. 14 ff.; WVM08; FAB+05, S.71 ff./ .....	67
Tabelle 9: Betrachtete Rohstoffe der vorliegenden Arbeit.....	67
Tabelle 10: Validierung der Übertragbarkeit von IPS-Kennzahlen auf ein NPS.....	68
Tabelle 11: Weltweite Bestände der betrachteten Materialrohstoffe /vgl. USGS08; FAB+05/ .....	70
Tabelle 12: Weltweite Bestände der betrachteten Energierohstoffe /vgl. BGR07/.....	71
Tabelle 13: Reserven beispielhafter Rohstoffe in den Jahren 1972 und 2004 [Mio. t].....	72
Tabelle 14: Rohstoffe und deren größte Lagerstättenländer /vgl. USGS08/.....	73
Tabelle 15: Elementare Zusammensetzung der Erdkruste /vgl. PRSI95, S.36/ .....	75
Tabelle 16: Rohstoffe und deren wichtigsten bauwürdigen Minerale .....	78
Tabelle 17: Differenzierung der geotektonischen Entstehungszyklen der Erde .....	80
Tabelle 18: Altersbestimmung der Kupferlagerstätten /Eigene Berechnungen/ .....	83
Tabelle 19: Altersberechnung der Kupferlagerstätten der USA .....	84
Tabelle 20: Durchschnittliche Entstehungszeit der größten Kupferlagerstätten /Eigene Berechnungen/.....	86
Tabelle 21: Entstehungszeiten der Materialrohstoffe.....	86
Tabelle 22: Entstehungszeiten der Kohlearten .....	89
Tabelle 23: Entstehungszeiten von Erdöl und -gas .....	90
Tabelle 24: Recyclingraten der betrachteten Rohstoffe /BGR07; FAB+05; USGS08; USGS98; USGS00/.....	91
Tabelle 25: Natürliche Entstehungszeiten der betrachteten IR /Eigene Berechnungen/.....	100

Tabelle 26: Übersicht der Verbrauchsintensitäten betrachteter IR /Eigene Berechnungen/..	101
Tabelle 27: Übersicht der Soll-Nutzungsdauern betrachteter IR /Eigene Berechnungen/.....	102
Tabelle 28: Übersicht der nachhaltigen Nutzungsdauern ausgewählter NR /Eigene Berechnungen/.....	103
Tabelle 29: Entwicklungen der Nutzungsdauer von Pkw /vgl. KBA03, S.1; KBA09, S.11/	106
Tabelle 30: Technische Lebensdauer im Vergleich zur realen Nutzungsdauer /vgl. BEPK99, S.18/.....	106
Tabelle 31: Bewertung eines Pkw /Eigene Berechnungen/ .....	107
Tabelle 32: Vergleich von Aluminium und Stahl /Eigene Berechnungen/.....	109
Tabelle 33: Vergleich der Materialrohstoffe in den Bereichen Herstellung und Nutzung /Eigene Berechnungen/ .....	110
Tabelle 34: Vergleich von Lkw-Modellen /vgl. LAOM07, S.4/.....	111
Tabelle 35: Berechnungen für einen Lkw inkl. Sattelaufzieger /Eigene Berechnungen/.....	112
Tabelle 36: Wertschöpfungseffekte durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen (vgl. IDWK06, S.14) .....	118
Tabelle 37: Substitutions- und Kombinationsmöglichkeiten von Rohstoffen /vgl. WEDD01, S.66/.....	119
Tabelle 38: Potentialabschätzung einer Miniaturisierung /Eigene Berechnungen/ .....	120
Tabelle 39: Rücklaufzeiten beispielhafter Wirtschaftsgüter /vgl. EHK+04, S.69/ .....	121

# 1. EINLEITUNG

## 1.1. Ausgangssituation

In den letzten Jahrzehnten wurde immer offensichtlicher, dass das Ausmaß unserer Wirtschaftsweise eine erhebliche Beeinträchtigung der Umwelt einhergehend mit einer drastischen Verringerung der natürlichen Rohstoffe zur Folge hat. Im 21. Jahrhundert stößt die globale Gesellschaft an ihre natürlichen Grenzen, dabei ist nicht der Verbrauch einzelner Rohstoffe das Problem, sondern vielmehr die Zerstörung der Ökosphäre mit dem anhaltenden exzessiven Rohstoffverbrauch. Natürliche Rohstoffe stellen die Grundlage der wirtschaftlichen Aktivitäten und gleichzeitig die Tragfähigkeit unseres Ökosystems dar. Wohlfahrtssteigerungen können nur durch Inanspruchnahme von Rohstoffen realisiert werden, wobei das Management der natürlichen Rohstoffe gerade in den letzten Jahren zur grundlegenden Herausforderung avanciert ist. Das anhaltende Wachstum der Bevölkerung, gesteigerte und global verteilte Produktionsaktivitäten gehen einher mit Preissteigerungen auf den Energie- und Rohstoffmärkten und steigern somit die Übernutzung natürlicher Rohstoffe. Vor dem Hintergrund dieser Entwicklungen wird sich der Anpassungsdruck zu Effizienzsteigerungen zukünftig weiter verschärfen. /VGL. KRTU06, S.5, SCHR07, S.7 F./

Die wirtschaftliche Entwicklung, vor allem die Industrialisierung bevölkerungsreicher Schwellenländer, ist die treibende Kraft für die Entwicklung auf den Rohstoffmärkten. Das globale Bruttoinlandsprodukt ist in den letzten Jahren sehr stark angestiegen, wobei ein Großteil auf die Schwellenländer entfällt. Die Verbrauchszentralisierung in der westlichen Welt wird zunehmend aufgelöst, Indien und China nehmen allmählich tragende Rollen in der globalen Rohstoffverteilung ein. /VGL. RPGZ08, S.7/

Die aktuellen Auswirkungen der Finanz- und Wirtschaftskrise haben ihren ursächlichen Ursprung in einer Fehlbewertung von Rohstoffen, an dieser Entwicklung sieht man deutlich, dass die primäre finanzielle Bewertung von Rohstoffen nicht mehr ausreicht, eine positive Entwicklung der Weltwirtschaft zu gewährleisten. Ein Bewertungsansatz, der nur auf einer reinen monetären Bewertung beruht, kann nicht den Anforderungen an ein zukünftiges Handeln gerecht werden. Daher ist es an der Zeit einen rohstofforientierten Bewertungs- und Handlungsrahmen zu entwickeln. Eine reine Outputorientierung im Sinne der Quantifizierung von Umweltbelastungen greift zu kurz und kann nur als resultierende Größe der zunehmenden Rohstoffinanspruchnahme konstatiert werden, aber nicht den Anspruch auf die zentrale Stellgröße für die Nivellierung der industriellen Aktivitäten erheben.

Die Entwicklungstrends im Bereich der Produktentwicklung leisten einen erheblichen Beitrag in der Beschleunigung des Rohstoffverbrauchs, die stetige und forcierte Verkürzung der Entwicklungszyklen verstärkt die negativen Effekte einer Rohstoffverbrauchsstrategie. Die Produkt- und Marktstrategie von Unternehmen richtet sich dabei nicht mehr primär an der Nach-

frage aus, sondern verfolgt das Ziel der Gewinnmaximierung in Kombination mit der Generierung von Alleinstellungsmerkmalen und vernachlässigt zunehmend die originären Nachfrage- bzw. Kundeninteressen.

Im Rahmen dieser Entwicklungen ist es erforderlich, den Rohstoffverbrauch weiter zu senken, um auf lange Sicht die Wirtschaftsleistung vom Rohstoffverbrauch zu entkoppeln. Die Einsparpotentiale in Deutschland sind enorm und können maßgeblich dazu beitragen, die Rohstoffeffizienz weiter zu steigern. /VGL. ABBILDUNG 1/

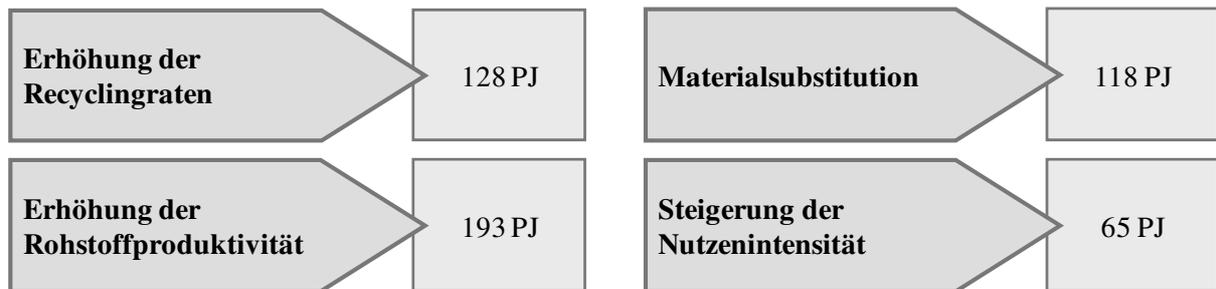


Abbildung 1: Energetische Einsparpotentiale in Deutschland /vgl. HENN04, S.8/

Vor allem der Bereich der Produktion besitzt eine vorrangige Bedeutung zur Umsetzung von Effizienzsteigerungen. Im Rahmen einer Studie der *FRAUNHOFER GESELLSCHAFT* wurden folgende Effizienztreiber:

- Stoff- und Prozessenergieverluste,
- Hilfsstoff- u. Energieverbrauch,
- Transportvorgänge und Prozesskettenlänge identifiziert. /VGL. FHG09/

Der bedeutendste Faktor im Kontext einer Ressourcenschonung ist der Faktor Material und dessen Nutzung im Rahmen der industriellen Produktion. Anhand dieser Einsparpotentiale ist ersichtlich wie stark eine Effizienzorientierung der Industrie zu einem ausgeglichenen Handeln im Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie beitragen kann. Die Grundlage für weitergehende Effekte erstreckt sich, auf die Weiterentwicklung der Technik, die mit einer Kostenreduktion einhergeht. Ferner lassen sich auch volkswirtschaftliche Beschäftigungseffekte erzielen, die dazu beitragen können, neue Branchen zu etablieren. /VGL. ABBILDUNG 2/

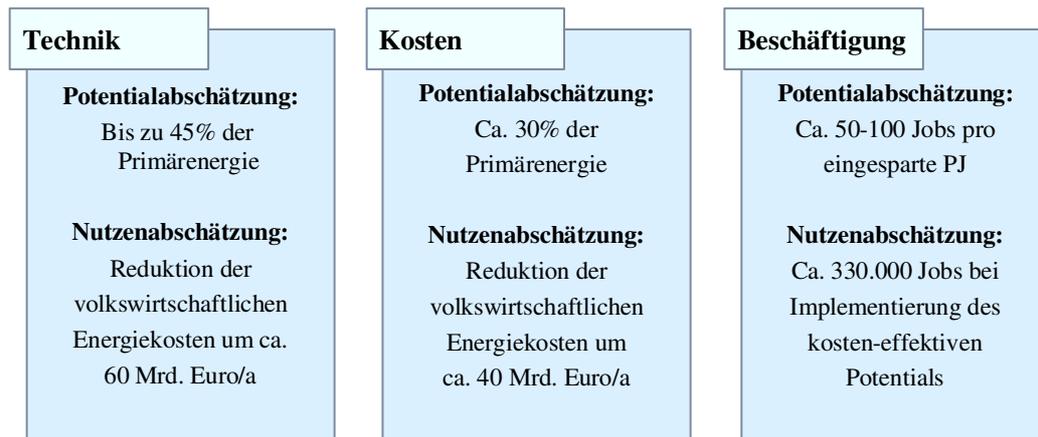


Abbildung 2: Nutzenpotentiale von Energie- und Rohstoffeffizienz /vgl. HENN04, S.7/

Die quantifizierten Einspar- und Beschäftigungspotentiale basieren maßgeblich auf der Entstehung neuer Industriebranchen und der Weiterentwicklung bestehender Zweige. Der zentrale Gestaltungsgegenstand wird dabei von neuen Konzepten zur Energieversorgung und -gewinnung dargestellt. Ein nicht minder bedeutender Teil wird jedoch von Querschnittsfunktionen repräsentiert, die eine Effizienzsteigerung in bestehenden Industriezweigen zum Ziel haben. Der positive Doppelleffekt basiert zum einen auf einer maßgeblichen Rohstoffeinsparung und zum anderen auf einer Verbesserung der existenten Kostensituation in den Unternehmen.

Der Markt für umweltfreundliche Technologien wächst kontinuierlich; besonders durch die deutsche Innovationsführerschaft in vielen Industriebranchen ergibt sich zusätzlich ein maßgeblicher Anpassungsdruck im Kontext der Nachhaltigkeit. /VGL. ABBILDUNG 3/

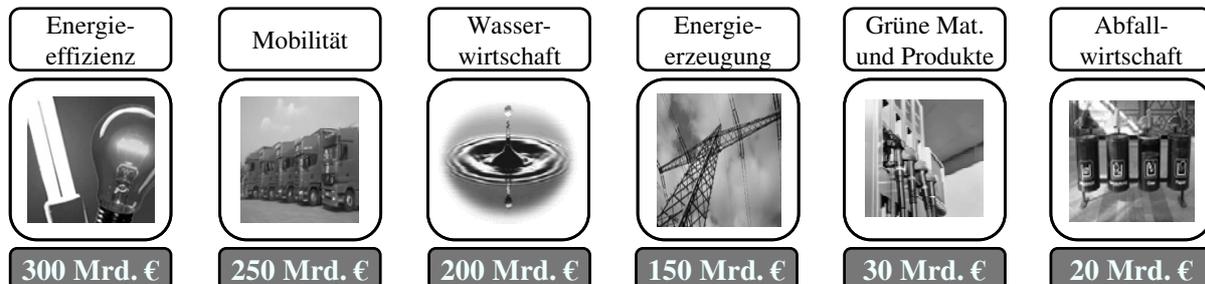


Abbildung 3: Marktpotentiale für umweltfreundliche Technologien /HENN07, S.18/

Der effiziente Einsatz von Rohstoffen kann somit vor allem zur gesamtwirtschaftlichen Wettbewerbssteigerung beitragen, die kumulierte Einzelbetrachtung von Unternehmen stellt die Basis einer notwendigen nachhaltigen Entwicklung dar. Dieser Zusammenhang lässt sich anhand der globalen Arbeitsteiligkeit verdeutlichen. Die Wertschöpfungsketten müssen weltweit effizienter gestaltet werden, um erreichte Effizienzsteigerung in Deutschland nicht mit Negativeffekten vorgelagerter Wertschöpfungsstufen subsumieren zu müssen. /VGL. JKL+05, S.1/

## 1.2. Zielsetzung

Mit der vorliegenden Arbeit wird ein Beitrag zur nachhaltigkeitsinduzierten Rohstoffplanung und -steuerung geleistet. Die Basis eines gezielten Rohstoffeinsatzes liegt in einem Bewertungsansatz im Sinne einer nachhaltigen industriellen Produktion. Die Zielsetzung für die Entwicklung eines Bewertungskonzeptes konzentriert sich dabei auf die folgenden fünf Forschungsfragen:

1. Was sind zentrale Herausforderungen im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung?

Zunächst sind die zukünftigen Anforderungen einer nachhaltigen Entwicklung zu identifizieren, um anschließend eine detaillierte Untersuchung des notwendigen Betrachtungsgegenstandes durchführen zu können. Dazu muss die Bedeutung der Input- als auch der Outputrelationen untersucht und der grundlegende Betrachtungs- und Aktionsgegenstand determiniert werden. Im Folgenden ist zu klären welche unterschiedlichen Zielaspekte die Nachhaltigkeit verfolgt und welche Gestaltungsaspekte das größte Erfolgspotential besitzen. Eine Priorisierung dieser Aspekte dient dabei als Grundlage für die Bewertung des Erfolgspotentials einer nachhaltigen Entwicklung.

2. Was sind die Defizite existierender Konzepte zur Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung und welche Anforderungen lassen sich daraus an ein Konzept zur nachhaltigkeitsinduzierten Prozessbewertung ableiten?

Im Rahmen einer kritischen Würdigung müssen existierende Methoden und Instrumente in Hinblick auf Zielerreichung und Anwendungsorientierung untersucht werden. Basierend auf den identifizierten Defiziten werden Anforderungen an ein nachhaltigkeitsinduziertes Bewertungskonzept identifiziert und determiniert.

3. Welchen Grad der Ganzheitlichkeit muss das zu entwickelnde Konzept besitzen, um eine fundierte Aussage zur Nachhaltigkeitsleistung treffen zu können?

Dazu ist es notwendig bisherige Betrachtungsbereiche kritisch zu hinterfragen und gegebenenfalls eine Neuausrichtung vorzunehmen. Wegen der exponierten Rolle, die das Ökosystem einnimmt, sind darüber hinaus die vorgelagerten Prozessabläufe der Ökosphäre als Grundlage für die industrielle Produktion zu berücksichtigen. Ferner ist zu untersuchen, inwiefern eine aggregierte Sichtweise, in der das natürliche Produktionssystem mit dem industriellen Produktionssystem kombiniert betrachtet wird, fundierte Erkenntnisse vor dem Hintergrund einer Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung liefern kann.

4. Was sind adäquate Kennzahlen zur Bewertung der Nachhaltigkeit?

Zur Beantwortung dieser Frage ist zu prüfen, inwieweit die Erfolgskennzahlen der industriellen Produktion auf den Betrachtungsgegenstand der natürlichen Produktion übertragen werden können. Auf Grundlage dieser Ergebnisse sind adäquate Kennzahlen für das natürliche Produktionssystem zu entwickeln. Dabei spielt es vor allem eine

Rolle wie Rohstoff-Aufwände zur Erreichung einer gesteigerten Effizienz mit den damit verbundenen Rohstoff-Einsparungen direkt miteinander verglichen werden können. Das Ergebnis der Beantwortung dieser Frage ist ein Bewertungsansatz, der Unternehmen Auskunft darüber gibt, wie die identifizierten Kennzahlen zur nachhaltigkeitsinduzierten Prozessbewertung angewandt werden können.

5. Welche Handlungsoptionen können Unternehmen eine Orientierungshilfe für eine nachhaltige Entwicklung geben?

Auf Basis des entwickelten Bewertungsansatzes werden die bedeutendsten Handlungsoptionen für eine nachhaltige Entwicklung identifiziert, um Unternehmen eine Orientierungshilfe für eine nachhaltige Unternehmensausrichtung zu geben.

### 1.3. Aufbau der Arbeit

Im Kapitel der theoretischen Grundlagen werden Definitionen und begriffliche Abgrenzungen vorgenommen, um für den weiteren Verlauf dieser Arbeit auf eine einheitliche Terminologie zurückgreifen zu können. Darauf folgend werden Methoden und Instrumente im Spannungsfeld des Nachhaltigkeitsmanagements und der Rohstoffeffizienz in Bezug auf die Anwendungsorientierung untersucht, um daraus die Anforderungen an ein nachhaltigkeitsinduzierten Bewertungsansatz zur Rohstoffplanung und -steuerung zu konstatieren. /VGL. ABBILDUNG 4/

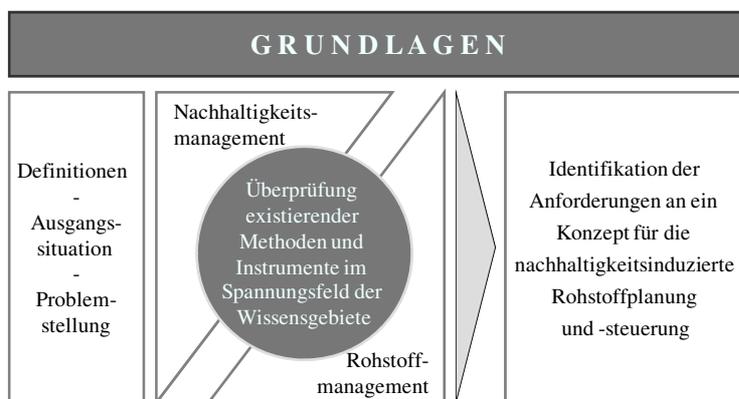


Abbildung 4: Theoretische Grundlagen /Eigene Darstellung/

Im ersten Schritt wird das Rohstoffmanagement näher analysiert. Dazu wird zunächst eine der Arbeit zu Grunde liegende Begriffsdefinition vorgenommen, um im Anschluss daran die Bedeutung eines ressourcenorientierten<sup>2</sup> Managementansatzes darzulegen. Dazu wird im ersten Schritt die grundlegende Frage beantwortet, ob ein ressourcenbasierter Führungsansatz eines Unternehmens im Gegensatz zu einem marktbasierten Ansatz im Bezugssystem der Markt-

<sup>2</sup> Rohstoffe stellen eine Teilmenge der Ressourcen dar. Bei der Ressourcenorientierung handelt es sich um eine abstrahierte Angebotsorientierung im Sinne der zur Verfügung stehenden Ressourcen bzw. Rohstoffe. Eine Abgrenzung der Begrifflichkeiten „Ressource“ und „Rohstoff“ wird in Kap. 2.1.1 vorgenommen.

wirtschaft zum Erfolg führen kann. Die Beantwortung dieser Frage ist von grundlegender Bedeutung, da nur so die grundsätzliche Anwendbarkeit des Gesamtansatzes gewährleistet werden kann.

Im Kontext der Unternehmensausrichtung werden im Folgenden die Determinanten einer ressourceneffizienten Unternehmensführung dargestellt. Im zweiten Schritt wird das Themenfeld der Ökologieorientierung und des Nachhaltigkeitsmanagement detailliert untersucht. Dazu wird eine begriffliche und definitorische Abgrenzung vorgenommen, um darauf aufbauend die Gestaltungsaspekte des Nachhaltigkeitsmanagements zu determinieren. Im Fokus einer Anwendungsorientierung werden danach die Möglichkeiten zur Unternehmenspositionierung im Sinne der Nachhaltigkeit herausgearbeitet.

Im Folgenden werden die Interdependenzen der zwei Themenbereiche dargestellt und die jeweilige Bedeutung spezifiziert. Im Rahmen der Zielsetzung dieser Arbeit wird das Rohstoffmanagement als primärer Gestaltungsrahmen im Sinne der Nachhaltigkeit identifiziert. Im darauf folgenden Schritt des zweiten Kapitels werden existierende Methoden und Instrumente in Bezug auf ihre Anwendbarkeit in den Themenbereichen analysiert und einer kritischen Würdigung unterzogen. Die identifizierten Defizite werden abschließend in Anforderungen an ein Konzept zur nachhaltigkeitsinduzierten Prozessbewertung überführt.

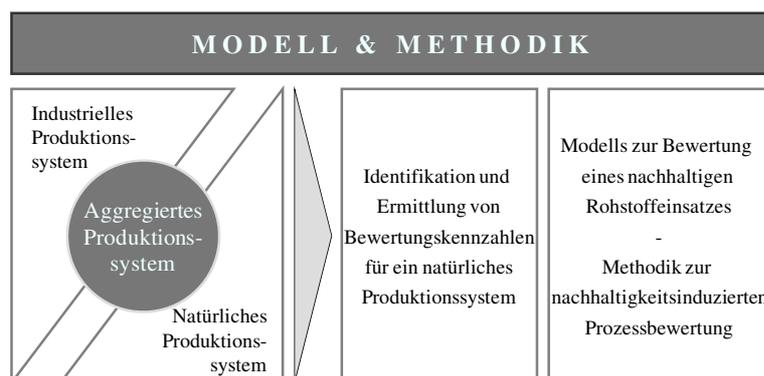


Abbildung 5: Modell und Methodik /Eigene Darstellung/

Im dritten Kapitel wird ein Modell zur Bewertung eines nachhaltigen Rohstoffeinsatzes entwickelt. Im ersten Schritt wird die Modellierung eines aggregierten Produktionssystems vorgenommen, welches sich aus dem industriellen und dem natürlichen Produktionssystem zusammensetzt. Darauf aufbauend werden die bedeutendsten Erfolgsfaktoren der industriellen Fertigung herausgearbeitet und anschließend in ein Ziel- bzw. Bewertungssystem des natürlichen Produktionssystems übertragen. Die bedeutenden Kennzahlen eines natürlichen Produktionssystems werden anschließend in ein Gesamtmodell zur Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung überführt. /VGL. ABBILDUNG 5/ Im vierten Kapitel wird auf Grundlage des Bewertungsmodells eine Methodik zur nachhaltigkeitsinduzierten Prozessbewertung entwickelt, um anschließend eine exemplarische Betrachtung an verschiedenen Untersuchungsgegenständen durchzuführen.

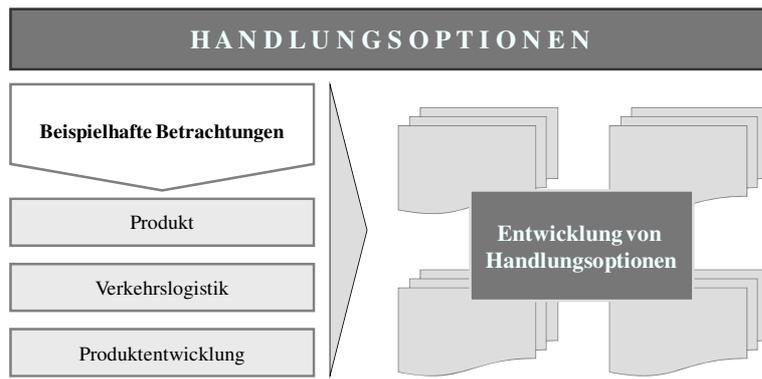


Abbildung 6: Beispielhafte Betrachtung und Ableitung von Handlungsoptionen /Eigene Darstellung/

Im fünften Kapitel wird basierend auf den Ergebnissen der beispielhaften Betrachtungen die Entwicklung von Handlungsoptionen vorgenommen. /VGL. ABBILDUNG 6/

## 2. THEORETISCHE GRUNDLAGEN

In diesem Kapitel werden zunächst allgemeine Definitionen und Interpretationen grundlegender Begrifflichkeiten diskutiert. Das Ziel ist es, eine konsistente Definition für die Begrifflichkeiten des Betrachtungsgegenstandes zu finden, um eine einheitliche begriffliche Auffassung im Sinne der weiteren Betrachtungen festzulegen. Im Folgenden werden die Vernetzungen und Wirkzusammenhänge der identifizierten Wissenschaftsbereiche extrahiert und im Kontext von Veränderungstreibern und darauf basierenden Handlungsfeldern dargestellt. Im Schlusskapitel werden existierende Ansätze auf ihre Adaptabilität hin untersucht und Defizite aufgezeigt. Das Ergebnis dokumentiert die intensive Auseinandersetzung des Autors mit den bedeutendsten Entwicklungen im Bereich relevanter Themengebiete der vorliegenden Arbeit und dient dazu, Anforderungen an ein Modell zur Bewertung eines nachhaltigen Rohstoffeinsatzes abzuleiten.

### 2.1. Rohstoffmanagement

Auf Grundlage unterschiedlicher Auffassungen und Begrifflichkeiten werden im ersten Schritt für die Arbeit grundlegende Definitionen formuliert.

#### 2.1.1. Begriffsdefinitionen

Der Begriff Ressource hat seinen Ursprung im Lateinischen („resurgere“) und dem Französischen („la ressource“) und bedeutet in diesem Zusammenhang Reserve oder Hilfsmittel. Im Allgemeinen werden darunter materielle, finanzielle und personelle Mittel verstanden, die zum Erreichen gesetzter Ziele eingesetzt werden.

Ressourcen werden nach *DIN 69902* als Einsatzmittel bezeichnet. In diesem Zusammenhang wird von Personal und Sachmittel, die zur Durchführung von Vorgängen, Arbeitspaketen oder Projekten benötigt werden, gesprochen. */DIN69902/* Im Kontext des Leistungserstellungsprozesses von Produkten oder Dienstleistungen wird darunter ein Input des Leistungsprozesses einer Unternehmung verstanden. */MUES99, S.17/* Es handelt sich dabei generell um generische Produktionsfaktoren wie Standort, Material, Anlagen, Finanzen, Informationen und Menschen. */KLPG93, S.30/* In der Literatur finden sich jedoch zahlreiche, weitere Definitionen. *STAEHLE* subsumiert Kapital, Arbeit, Werkstoffe, Betriebsmittel, Geld, Rechtssicherheit, Infrastruktur, Ausbildung etc. unter der Begrifflichkeit Ressource. */STAE89, S.38/* Ähnliche Definitionen und Klassifizierungen wählen *ACKHOFF*, *SCHUMANN* und *SCHWANINGER*. */ACKH70, S.65; SCHU76, S.1; BORR82, S 827; SCHW94, S.30/*

*KUHN* fasst die knappen Betriebsmittel - Personal, Flächen, Bestände, Bearbeitungs-, Arbeits- und Organisationsmittel - als Ressourcen zusammen. */KUHN97, S.29/* Allen Definitionen gemein ist jedoch die Aussage, dass durch den Ressourceneinsatz eine Wertschöpfung

vollzogen wird. /THIE97, S.39; RUEH94, S.50/ Aufgrund dieser Zielsetzung und im Kontext der Resource based view (VGL. 2.1.2) wird die folgende Definition aufgestellt:

---

„Ressourcen sind die materiellen, immateriellen und finanziellen Anlagen, die Unternehmen nutzen, um eine Strategie zu implementieren.“ /i. A. a. BAAR01/

---

Rohstoffe stellen einen Teilbereich der Ressourcen dar. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden ausschließlich Rohstoffe, die zur industriellen Produktion benötigt werden, betrachtet. Rohstoffe werden für die weiteren Arbeiten wie folgt definiert:

---

„Natürliche Rohstoffe entsprechen den natürlichen Vorkommen im Ökosystem. Sie haben bis auf die Exploration aus ihren natürlichen Quellen noch keine Bearbeitung erfahren. Als industrielle Rohstoffe werden die Stoffe bezeichnet, die in einen industriellen Produktionsprozess einfließen. Sie dienen als Ausgangsmaterial für weitere Verarbeitungsstufen in der Produktion verwendet.“

---

Bei natürlichen Rohstoffen handelt es sich um beispielsweise Gibbsite<sup>3</sup>, was aus natürlichen Lagerstätten gewonnen wird. Die Transformation in einen industriellen Rohstoff erfolgt durch die weitere Bearbeitung des natürlichen Rohstoffes, der dann als Ausgangsstoff, z. B. Aluminium, der industriellen Produktion zugeführt und dort zu Produkten weiterverarbeitet wird.

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Nachhaltigkeitsaspekt /VGL. 2.2/ der Rohstoffverwendung in den Vordergrund gestellt. Aus diesem Grund werden lediglich Rohstoffe betrachtet werden, die einen direkten Beitrag zur Wertschöpfung leisten. Der Rohstoffeinsatz kann zum einen zur Herstellung von Produkten und zum anderen zur Herstellung von Energie erfolgen. Aus diesem Grund wird eine weitere Unterscheidung zwischen Materialrohstoffen und Energierohstoffen vorgenommen.

### **2.1.2. Bedeutung des ressourcenorientierten Managements**

Die Unternehmensaktivitäten können einer primären Angebotsorientierung im Sinne der Ressourcen- bzw. Rohstoffverfügbarkeit folgen oder sich an der marktseitigen Nachfrage ausrichten. Im strategischen Management dominierte lange Zeit die marktorientierte Sichtweise, die maßgeblich von der Industrieökonomie und ihrer einzelwirtschaftlichen Wendung, dem sogenannten Market based view (MBV), geprägt war.

---

<sup>3</sup> Ein Bauxit, das zur Herstellung von Aluminium verwendet wird.

Die Entwicklung der Market based view basiert auf dem Structure-Conduct-Performance-Paradigma nach MASON und BAIN. /VGL. HAER00, S.61FF./ Unternehmen, die sich erfolgreich im Markt platziert haben und eine aktive Preisgestaltung betreiben, müssen sich im Rahmen des strategischen Managements an der Struktur des Marktes orientieren und können nicht vollkommen eigenständig agieren, so lautete die zentrale Erkenntnis der Forschungsarbeiten von MASON. /VGL. MASO39, S.69/ In diesem Paradigma wird davon ausgegangen, dass die Struktur eines Marktes oder einer Branche (Structure) das strategische Verhalten (Conduct) einer Unternehmung beeinflusst, aus welchem folgend die Leistung (Performance) resultiert. In der neueren Entwicklung wurde die MBV sehr stark durch PORTER als Hauptvertreter dieses Ansatzes geprägt. In seinen Arbeiten griff er das traditionelle Structure-Conduct-Performance-Paradigma auf und überarbeitete es. Der wirtschaftliche Erfolg einer Unternehmung ist demnach von zwei Hauptaspekten abhängig, zum einen von der Branchenstruktur, in der ein Unternehmen tätig ist und zum anderen von dessen eigener strategischen Positionierung innerhalb einer Branche. Basierend darauf hat PORTER mit dem Fünf-Kräfte-Modell ein Analyseinstrument für das strategische Management geschaffen, was sich grundlegend auf seine Forschungsergebnisse stützt. /VGL. PORT84, PORT86/ Kennzeichnend für den marktorientierten Ansatz ist die Außensichtweise des Managements. Demnach wird jede Strategie basierend auf einer Umfeldbeobachtung und -analyse, primär vertreten durch die Kundenbedürfnisse und die Interaktionen der Wettbewerber, entwickelt. Von besonderer Bedeutung ist die Bedeutung der Ressourcen im Kontext des Erfolges.

*“Resources are not valuable in and of themselves, but because they allow firms to perform activities that create advantages in particular markets.” /PORT91, S.108/*

Die Market based view bezieht sich jedoch lediglich auf Grundannahmen im Hinblick auf Ressourcen, Identität von Firmen im Bezug auf strategisch relevante Ressourcen/Rohstoffe sowie perfekte Mobilität. Dennoch sind sie nicht von geringer Bedeutung für das Management. Vertreter des marktorientierten Einflusses sind sich des entscheidenden Beitrags der Ressourcen zum Erfolg eines Unternehmens durchaus bewusst. Allerdings sollten sie nicht der Ausgangspunkt einer neuen Strategie sein, sondern vielmehr soll deren Entwicklung und Förderung von Bedürfnissen des Marktes ausgehen. /DEWM04, S.250 FF./

Im Gegensatz dazu entwickelte sich in den fünfziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts eine gegenteilige Auffassung, beginnend mit den Forschungsarbeiten von PENROSE /VGL. PENR55; PENR59/, die den wirtschaftlichen Erfolg einer Unternehmung weniger durch die Marktpositionierung erklärt als vielmehr anhand der Ressourcen (Resource based view), über die sie verfügt. THOMPSON und PFEFFER/SALANCIK legten durch den Resource-dependence approach einen weiterentwickelten Ansatz vor, der die Bedeutung von Ressourcen als maßgebliche Quelle des wirtschaftlichen Erfolges eines Unternehmens betont, dieses Problem jedoch aus einer anderen Perspektive betrachtet. /VGL. THOM67; PFSA78/ Im Resource based view (und seinen Weiterentwicklungen, z. B. Kernkompetenzenansatz, Knowledge based view und Wissensmanagement) wird der Erfolg von Unternehmen aus der Nutzung von strategisch wertvollen Ressourcen erklärt. Dem hingegen versucht der Resource-dependence app-

roach zu erklären, dass Unternehmen aufgrund ihrer Abhängigkeit von externen Ressourcenquellen versuchen, die Kontrolle über die Ressourcenlieferanten zu erlangen und die sich daraus ergebenden Aktivitäten zur Vermeidung der Ressourcenabhängigkeit internalisieren sollten. /VGL. THOM67/

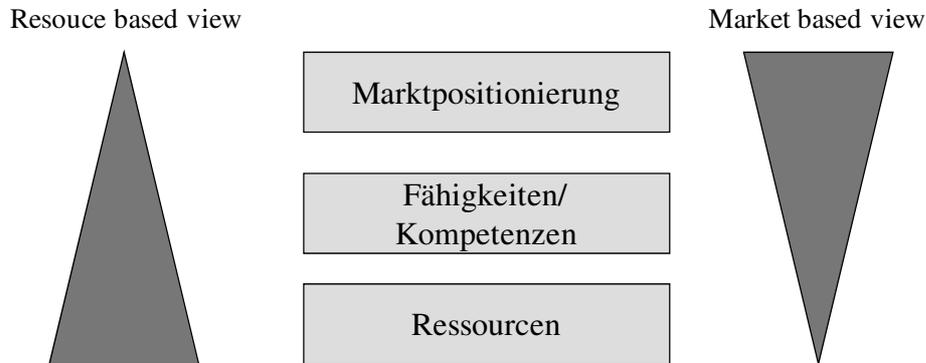


Abbildung 7: Gegenüberstellung der Resource based view und Market based view /Eigene Darstellung/

Die beschriebenen Ansätze und ihre konträren Sichtweisen /VGL. ABBILDUNG 7/ werden an dieser Stelle nicht weiter diskutiert werden, sie dienen primär zur Veranschaulichung eines zielorientierten Ressourceneinsatzes und liefern einen Ansatz zur Begründung eines dauerhaften Wettbewerbsvorteils von Unternehmen. Die Unternehmensaktivitäten müssen sich immer stärker an den Aspekten der Verfügbarkeit von Rohstoffen ausrichten. Eine Rohstoffverfügbarkeitsorientierung in Bezug auf die industrielle Produktion stellt somit die zentrale Herausforderung des zukünftigen Handelns dar. /VGL. KAZI07, PLEN06, S.19 FF./

Vor dem Hintergrund der Anforderung an eine nachhaltige Unternehmensausrichtung zeigt sich deutlich, dass der Markt nicht als erfolgskritischer Faktor konstatiert werden kann, da die Marktnachfrage bisher keiner natürlichen Grenze unterworfen scheint. Auf Grundlage dieser Erkenntnis und der Entwicklung der Weltwirtschaft kann nur eine ressourcen- bzw. rohstofforientierte Marktsicht als angebotsbasierende Grundlage determiniert werden. Die Limitierung der natürlichen Rohstoffe als Ursprung der Ökonomie hingegen steckt den engen Aktionsradius des wirtschaftlichen Handelns ab.

### 2.1.3. Determinanten einer ressourceneffizienten Unternehmensführung

Unternehmen können nicht losgelöst von den Gegebenheiten des Umfeldes agieren, sie müssen extrinsische Änderungen antizipieren, erfassen und durch intrinsische Reaktionen im Sinne des wirtschaftlichen Erfolges gegensteuern. /VGL. KIRC90, S.3 FF., GUEN94, S.2 FF./ Das Umfeld eines Unternehmens lässt sich grundsätzlich in ökonomische, politische bzw. rechtliche, soziale, technologische und ökologische Aspekte strukturieren. /VGL. BALR07, S.10/ In

diesem Zusammenhang spricht man auch von der sog. Stakeholder<sup>4</sup>-Sichtweise. Durch ein Agieren des Unternehmens vor dem Hintergrund unterschiedlicher Interesseneigner werden wiederum die differenzierten Sichtweisen beeinflusst, in dem Meinungen und Werte artikuliert werden. Die so entstehenden Interdependenzen stellen auch vermehrt negative Effekte in den Mittelpunkt, da die Sichtweisen oftmals konträr zueinander in Verbindung stehen. Insbesondere im Bereich der industriellen Produktion rücken Umweltinteressen bzw. Aspekte der Nachhaltigkeit immer stärker in den Vordergrund. Eine immer breitere Öffentlichkeit nimmt Aktivitäten vermehrt wahr und entkoppelt sich von der primären Bewertung anhand monetärer Kennzahlen. */VGL. HABL07/* In diesem Zusammenhang ist die ökologische Betroffenheit, d. h. das Bewusstsein für die Bedeutung des unternehmerischen Handelns im Sinne der ökologischen Ziele sehr stark ausgeprägt.

In einer breit angelegten Umfrage von Unternehmen aller Branchen wurde gezeigt, dass 92% der Unternehmen ihre Aktivitäten an ökologisch motivierten Gruppen (Politik, Markt und Öffentlichkeit) ausrichten. Lediglich 8% hatten ein geringes Interesse, ökologische Aspekte in ihre Handlungen zu integrieren. */VGL. BALR07, S.14 FF./* In einer spezifischen Branchenbetrachtung zeigten sich vor allem die Mineralöl-, Recycling-, Chemie-, Elektrizitätserzeugung-, Kunststoff-, Metallherstellungsbranchen als besonders stark betroffen gegenüber den wachsenden ökologischen Anforderungen. Zudem konnte kein fundierter Zusammenhang zwischen der Unternehmensgröße und dem Grad der Betroffenheit identifiziert werden.

Unter Zugrundlegung der Mittelstandsdefinition des Instituts für Mittelstandsforschung (IfM) Bonn gab es im Jahr 2004 rund drei Millionen mittelständische Unternehmen. Daraus ergibt sich ferner, dass 70,5% aller Beschäftigten ihre Anstellung im Mittelstand haben, nahezu 40% der Umsätze und knapp 50% der Bruttowertschöpfung in KMU generiert werden und zudem rund 47% aller Investitionen im Mittelstand getätigt werden. */VGL. ICKS06, S.5 FF./* Im Zusammenhang mit den existenten Größenstrukturen deutscher Unternehmen lässt sich daher konstatieren, dass insbesondere KMU von den wachsenden ökologischen Anforderungen an die Unternehmensführung tangiert werden.

Durch die Inanspruchnahme von Ressourcen werden Kosten verursacht, die quantifizierbar sind. Da für den Transformationsprozess ein Kostenminimum erzeugt werden soll, ist ein sparsamer Ressourcenverbrauch anzustreben. */VGL. PIEL93, S.4; ZANT99, S.76/* Der effiziente, kombinierte Einsatz der Ressourcen sichert somit einen maßgeblichen Anteil am Unternehmens- und Wettbewerbserfolg. */VGL. SCHU76, S.1/* Der Ressourceneinsatz erfolgt im Rahmen der finanziellen Prozessbewertung der Beschaffung, Nutzung und Entsorgung. Das sich daraus ableitende Hauptziel ist die Steigerung der Effizienz in den einzelnen Wertschöpfungsphasen. Die Steigerung der Ressourceneffizienz bedeutet für Unternehmen bei mindestens gleichbleibender Wertschöpfung den Verbrauch zu reduzieren. */VGL. ROBL01, S.4/*

---

<sup>4</sup> Als Stakeholder (deutsch: Anspruchsträger) wird eine einzelne Person oder eine Gruppe bezeichnet, die ihre Interessen an einer Unternehmung wahrnimmt.

## 2.2. Ökologieorientierung und Nachhaltigkeitsmanagement

### 2.2.1. Begriffsdefinitionen

In diesem Kapitel werden allgemeine Definitionen und Interpretationen der grundlegenden Begrifflichkeiten diskutiert werden.

#### 2.2.1.1. Ökologie und Umwelt

Die Ökologie wird im Rahmen der Einordnung in die wissenschaftliche Forschung als Teildisziplin der Biologie verstanden. Im Zuge der aktuellen politischen und gesellschaftlichen Entwicklungen und Diskussionen ist die Ökologie zur „Leitwissenschaft“ aufgestiegen. */VGL. TREP98/* Die hohen politischen Ansprüche konnten in der Forschungspraxis allerdings nur zum Teil erfüllt werden. So intensivierte sich auch in den Umweltwissenschaften der Diskurs über das Selbstverständnis, die Leistungsfähigkeit und die zukünftige Ausrichtung */VGL. HIRS95, SCHE96, STEI96/*

Im Vordergrund der Betrachtungen stehen dabei die Wechselbeziehungen und -wirkungen von biotischen Organismen und ihrer Umwelt. */VGL. TREP87, S.12 UND 226/* Die Umwelt umfasst die Bestandteile der Außenwelt, die in direkter oder indirekter Weise eine Wirkung auf Organismen haben. Sie können sowohl unbelebter (abiotischer) als auch belebter (biotischer) Natur sein.

Das Wirkungsgefüge von Populationen und deren abiotischer Umwelt wird als Ökosystem bezeichnet. Ein Ökosystem umfasst dabei die Gesamtheit einer Lebensgemeinschaft, die in Wechselwirkung mit ihrer Umwelt steht und in diese integriert ist. Innerhalb eines Ökosystems lassen sich drei biotische Komponenten unterscheiden: Produzenten, Konsumenten und Destruenten<sup>5</sup>. Produzenten sind vor allem Pflanzen. Sie besitzen die Fähigkeit, die körpereigenen, organischen Substanzen aus anorganischen Stoffen (Kohlenstoff, Stickstoff, Wasser etc.) und der mittels der Photosynthese nutzbaren Sonnenenergie aufzubauen. Neben den körpereigenen organischen Substanzen fällt innerhalb dieses Umwandlungsprozesses der für Konsumenten wichtige Sauerstoff an.

#### 2.2.1.2. Nachhaltigkeit

Das Prinzip der Nachhaltigkeit wurde erstmals vor knapp 300 Jahren in Anbetracht einer drohenden Rohstoffkrise formuliert. Der Silberbergbau im sächsischen Erzgebirge, zu dieser Zeit eine tragende Säule des wirtschaftlichen Erfolges in Sachsen, war in seiner Existenz bedroht. Es handelte sich um eine indirekte Bedrohung, denn nicht das Silbererz wurde knapp, sondern der grundlegend erforderliche Rohstoff Holz zur Herstellung. Holz wurde für den Ausbau der Gruben, den Abbau des Erzes und insbesondere für den Betrieb der Schmelzöfen mit Holz-

---

<sup>5</sup> Destruenten schließen die Nahrungskette zu einem Stoffkreislauf, in dem sie organischen Stoffe, die zuvor von den Produzenten erzeugt und von den Konsumenten umgewandelt wurden, wieder in anorganische Stoffe zersetzen.

kohle benötigt. Über Jahrhunderte hatte man „Raubbau“ in den umliegenden Wäldern betrieben und wurde am Ende des 17. Jahrhunderts mit dem Problem der Rohstoffknappheit konfrontiert. Aus heutiger Sicht lässt sich determinieren, dass aufgrund der Vernachlässigung der nachhaltigen Erfordernisse im Kontext der Rohstoffvorkommen massive ökonomische Probleme entstehen können. Als Schöpfer des forstlichen Nachhaltigkeitsbegriffs gilt Hans Carl von Carlowitz, Oberberghauptmann am kursächsischen Hof in Freiberg. Sein Ziel war die dauerhafte Verfügbarkeit von ausreichenden Holzmengen für den Silberbergbau. Er formulierte 1713 eine Anweisung zur wilden Baum-Zucht und implementierte so erstmalig das Prinzip der Nachhaltigkeit. Das Grundprinzip war relativ einfach, es durfte nur so viel Holz geschlagen werden, wie durch planmäßige Aufforstung, durch Säen und Pflanzen nachwachsen konnte. Die nachhaltige Forstwirtschaft bildet die Basis für die Anfänge des Naturschutzes, da insbesondere die Wälder durch zunehmende Nutzung betroffen waren. Der Raubbau an der Natur hatte mit der Industrialisierung, Urbanisierung und Kolonisierung im 18. und 19. Jahrhundert schon größere Ausmaße angenommen, erreicht aber mit der wissenschaftlich-technischen Revolution im 20. Jahrhundert eine globale Dimension. /ZEIT99, S.98/

Der Begriff der Nachhaltigkeit (engl. Sustainability) wurde erstmals 1972 durch die Studie „The limits of Growth“ entscheidend geprägt. Die Studie entstand im Auftrag der deutschen Volkswagen-Stiftung am Massachusetts Institute of Technology. Dieser erste Bericht an den Club of Rome<sup>6</sup> sagte einen katastrophalen Niedergang des Lebensstandards und der Weltbevölkerung voraus.

*„If the present growth trends in world population, industrialization, pollution, food production, and resource depletion continue unchanged, the limits to growth on this planet will be reached sometime within the next one hundred years. The most probable result will be a rather sudden and uncontrollable decline in both population and industrial capacity.“*

Die identifizierten Gründe waren das rasante Wachstum der Weltbevölkerung, die zunehmende Industrialisierung bzw. Globalisierung und die damit verbundene, steigende Umweltverschmutzung. Die grundsätzliche und notwendige Intention zur Gegensteuerung wurde wie folgt postuliert:

*“It is possible to alter these growth trends and to establish a condition of ecological and economic stability that is sustainable far into the future. The state of global equilibrium could be designed so that the basic material needs of each person on earth are satisfied and each person has an equal opportunity to realize his individual human potential.“*

Das Hauptziel dieses Postulats ist es, die ökonomischen und individuellen Ziele in Einklang mit den Ressourcen und Kapazitäten der Erde zu bringen. /VGL. MEZM72, S.1/ In der Literatur existiert eine Vielzahl von Definitionen und erweiternden Interpretationen des Begriffs Nach-

---

<sup>6</sup> Der Club of Rome ist eine Vereinigung von Vertretern aus Wissenschaft, Kultur, Wirtschaft und Politik aus allen Regionen der Welt. Er wurde 1968 von Aurelio Peccei und Alexander King initiiert, um sich für eine lebenswerte und nachhaltige Zukunft der Menschheit einzusetzen.

haltigkeit respektive Sustainability. /VGL. BREU99/ Im Rahmen dieser Arbeit sei jedoch auf die Definition des Sachverständigen Rates für Umweltfragen verwiesen.

„Nachhaltigkeit ist ein primär ökologisch fokussiertes Konzept, bei dem soziale und ökonomische Bezüge zu berücksichtigen sind.“ /i. A. a. DEBU02/

### 2.2.2. Konstitutive Gestaltungsaspekte der Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit ist ein mehrdimensionaler und vernetzter Begriff, der sich im Wesentlichen auf drei Gestaltungsaspekte konzentriert. /VGL. ABBILDUNG 8/ Die Interpretation dieser drei Schwerpunkte lässt sich anhand der Dimension und des primären Gestaltungsgegenstandes vornehmen.

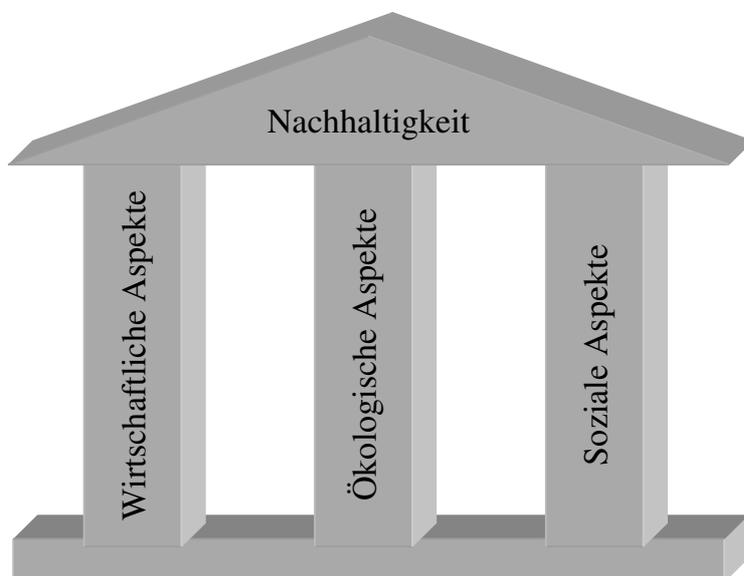


Abbildung 8: Die drei Säulen der Nachhaltigkeit /vgl. MICH02, S.16/

Der wirtschaftliche Aspekt manifestiert seine Berechtigung im Rahmen der wirtschaftlichen Wirkmechanismen, d. h. die Nachhaltigkeit kann nur im Rahmen eines wirtschaftlichen Handelns erreicht werden. Ohne den Bezug zu marktwirtschaftlichen Aktivitätsrestriktionen ist eine Umsetzung von Nachhaltigkeitsanforderungen nicht möglich.

Die ökologische Komponente bezieht sich primär auf Grenzen des Ökosystems und der darin enthaltenen Ressourcen. /VGL. 2.1/ Ein Verbrauch von Ressourcen geht immer einher mit einer unwiederbringlichen Vernichtung von Teilen des Ökosystems. Eine exponierte Stellung innerhalb der Ressourcen stellen jedoch die erneuerbaren Rohstoffe dar, obwohl oftmals die Gewinnung mit Hilfe von nicht erneuerbaren Rohstoffen erfolgt.

Der soziale Aspekt ist sehr vielfältig ausgeprägt und hat zudem einen stringent ideell fokussierten Charakter. Das Ziel ist es, zum einen den Ausgleich der heterogen ausgeprägten Kapi-

talverhältnisse der Welt zu erreichen und zum anderen die Schaffung einer Generationengerechtigkeit. Im Rahmen der Generationengerechtigkeit wird ferner zwischen intergenerativer und intragenerativer Gerechtigkeit unterschieden, worauf jedoch an dieser Stelle nicht detailliert eingegangen wird.<sup>7</sup>

Im Vergleich zu früheren Zeiten, in denen der Umweltschutz nur eine untergeordnete Rolle spielte, stellt das Drei-Säulen-Modell mit seiner betonten Gleichrangigkeit einen Fortschritt dar. Kritisch muss jedoch betrachtet werden, ob das Säulen-Konzept dem Anspruch, die Gleichrangigkeit der Ziele zu gewährleisten, gerecht werden kann. In der Praxis häuft sich die Anwendungsintention, beliebige ökonomische Interessen gegen umweltorientierte Ziele zu positionieren. Die vorherrschende Gewichtung der Ökonomie als oberstes Ziel kann als Indikator dafür angesehen werden. /VGL. UNIC01, BMWG07, S.12; HAFB07, S.13 FF.; PLEO05, S.18-23/ Das Drei-Säulen-Modell verliert somit die Bedeutung als Orientierungshilfe zur Schaffung von nachhaltigkeitsfokussierten Konzepten und wird zu einem idealisierten, realitätsfernen Wunschzettel degradiert. /VGL. BRJO00, S.75/ Somit lässt sich festhalten, dass der konstitutive Gestaltungs- und Wirkgegenstand der Nachhaltigkeit eine ökologiebewusste Ökonomie ist.

Unter dem umsetzungsorientierten Aspekt und einer besseren Handhabbarkeit erscheint es sinnvoll, einen klaren ökologischen Fokus in den Vordergrund zu stellen. Daraus folgt, dass jener Tatsache Rechnung getragen werden muss, dass im Umweltschutz - im Vergleich zur Umsetzung ökonomischer und sozialer Ziele - der größte Nachholbedarf und im Hinblick auf eine langfristige Stabilisierung die größten Defizite bestehen. /VGL. DEBU02, S.68/

### **2.2.3. Unternehmenspositionierung im Kontext der Nachhaltigkeit**

Der Ansatz der Nachhaltigkeit unterscheidet grundlegend zwei Gestaltungsebenen, zum einen die Gesellschaft als globales Ökosystem und zum anderen die Unternehmensebene als Teilsystem des Ökosystems. /VGL. PUB006, S.8/ Im Rahmen dieser Arbeit wird die Ebene der Gesellschaft nicht näher betrachtet werden. Es bleibt dennoch festzuhalten, dass sich die Unternehmensaktivitäten im globalen Bezugssystem bewegen müssen, da Herausforderungen nicht losgelöst von individuellen und gesellschaftlichen Bedürfnissen betrachtet werden können.

Die Möglichkeit eines Unternehmens, sich im Rahmen strategischer Planungs- und Entwicklungsprozesse zu positionieren, bieten sich in Anlehnung an die o.a. Konzepte im Spannungsfeld der Ökonomie, Ökologie und der Gesellschaft. /VGL. ABBILDUNG 9/

---

<sup>7</sup> Zur vertiefenden Darstellung der Differenzierung zwischen inter- und intragenerativer Gerechtigkeit sei auf /JKBP99, S.23 ff./ verwiesen.

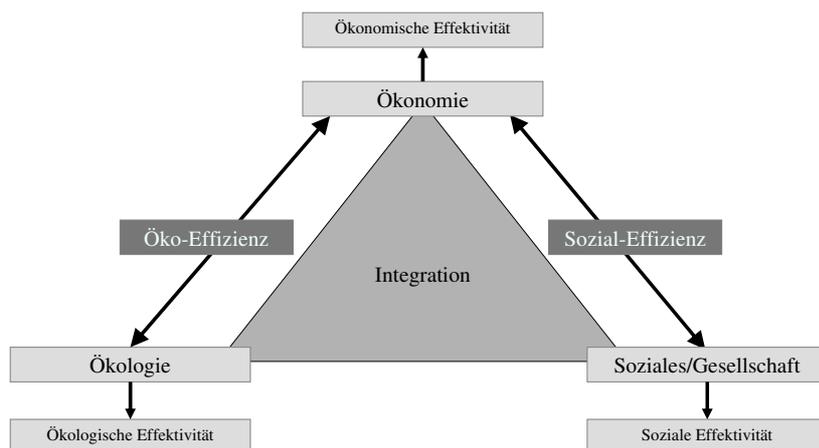


Abbildung 9: Zielkriterien des unternehmerischen Handelns /vgl. HERM04, S.69 i. V. m. SHKM02, S.6/

Die zwei Haupthandlungsfelder erstrecken sich nach *SCHALTEGGER ET AL.* auf die Bereiche der Sozial- und Öko-Effizienz, der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von sozialen und ökologischen Aktivitäten. Eine gleichrangige Verfolgung der Zielkriterien wirkt sich jedoch kontraproduktiv auf das Gesamtergebnis aus. In diesem Sinne erscheint eine Priorisierung der Ziele sinnvoll und kann ferner dazu beitragen, das Dilemma der Zieldisparität zu relativieren. /VGL. *SHKM02, S.6 FF./*

### Anforderungen an Unternehmen aus Sicht der Interesseneigner

Aufgrund der steigenden Internationalisierung der wirtschaftlichen Aktivitäten nehmen die Anzahl der Anforderungen und Ansprüche, die heutzutage auf Unternehmen wirken, stetig zu. /VGL. 2.1.3/ Mit wachsender Produkt- und Markt komplexität erreicht auch die Anforderungskomplexität eine neue Dimension. Die zur Zielerreichung notwendigen Ressourcen werden zur Zeit unter dem Aspekt der Ökonomie sehr detailliert bewertet. Demgegenüber ist die ökologische Bewertung der Ressourcennutzung nur sehr rudimentär ausgeprägt und zudem findet keine adäquate Anwendung der Bewertungskriterien statt. /VGL. *HAFB07, S.11/*

Im Rahmen einer Studie zur Ausprägung von Nachhaltigkeitszielen der Interesseneigner von Unternehmen wurden folgende Ziele identifiziert. /VGL. *ABBILDUNG 10/*

Umgang mit Menschenrechten	61,4%	Sozialstandards in Entwicklungsländern	56,6%
Energie- und Ökoeffizienz	61,0%	Umweltmanagementsystem	53,9%
Gesundheits- und Arbeitsschutz	60,4%	Boden- und Wasserschutz	53,9%
Klimaschutz, Treibhausgasemissionen	59,4%	Bestechlichkeit und Korruption	52,7%
Umweltschutz im Produktionsprozess	58,8%	Lieferantenkontrolle in sozialen Themen	51,1%
Umweltpolitik und -leitlinien	58,8%	Produktbezogener Umweltschutz	50,7%
Corporate Governance	56,8%	Abfallaufkommen und Recycling	49,5%

Legende:

Ökologiefokussiertes Themenfeld	Sozialfokussiertes Themenfeld	n: 495
---------------------------------	-------------------------------	--------

Abbildung 10: Nachhaltigkeitsinteressen der Stakeholder /vgl. *PKKG05, S.11/*

Das Ergebnis zeigt eine Zielgewichtung im Bereich der ökologieorientierten Handlungsfelder. Diese Feststellung determiniert die primäre Bedeutung der Ökologie als Fundament im Bezugsrahmen eines unternehmerischen Nachhaltigkeitsansatzes. Die hypothetisch unterstellte Gleichrangigkeit wird somit in Frage gestellt und identifiziert die Ökologie als Ausgangspunkt aller nachhaltigkeitsorientierten Aktivitäten. Das ökonomische Handeln begründete sich bis jetzt tendenziell eher auf ein „Wirtschaften gegen unbegrenzte Kapazitäten“. Die einzige Barriere bestand in der finanziellen Restriktion, die aber in diesem Zusammenhang nur als Mittel zur Vergleichbarkeit angesehen werden kann und keine reale Restriktion im Sinne von ökologischen Grenzen darstellt. /VGL. SCHR07, S.7/ Ein Konzept, was die Ökologie als zentrale Befähigung zur Verfolgung sozialer und ökonomischer Ziele manifestieren würde, könnte auch den geschilderten Kausalzusammenhängen genügen. /VGL. HENN01/

### Bezugsrahmen der Zielkriterien einer nachhaltigen Entwicklung

Die Gesamtheit der Aktivitäten lässt sich in zwei Kategorien einteilen, zum einen die Befriedigung von gesetzlichen Anforderungen und zum anderen Aktivitäten, die auf Freiwilligkeit basieren und das Ziel einer umweltgerechten Unternehmensentwicklung verfolgen. Im Rahmen einer nachhaltigkeitsorientierten Zielhierarchie kann die Ökologie als Grundlage des Handelns identifiziert werden, auf deren Grundlage primär die gesetzlichen Anforderungen erfüllt werden müssen und darauf aufbauend die Verfolgung von ökonomischen Zielen vorangetrieben werden kann. Der soziale bzw. gesellschaftliche Aspekt einer nachhaltigen Entwicklung wird erst auf Grundlage von ökonomischem Handeln möglich und stellt demnach die Spitze der Nachhaltigkeit dar. /VGL. ABBILDUNG 11/

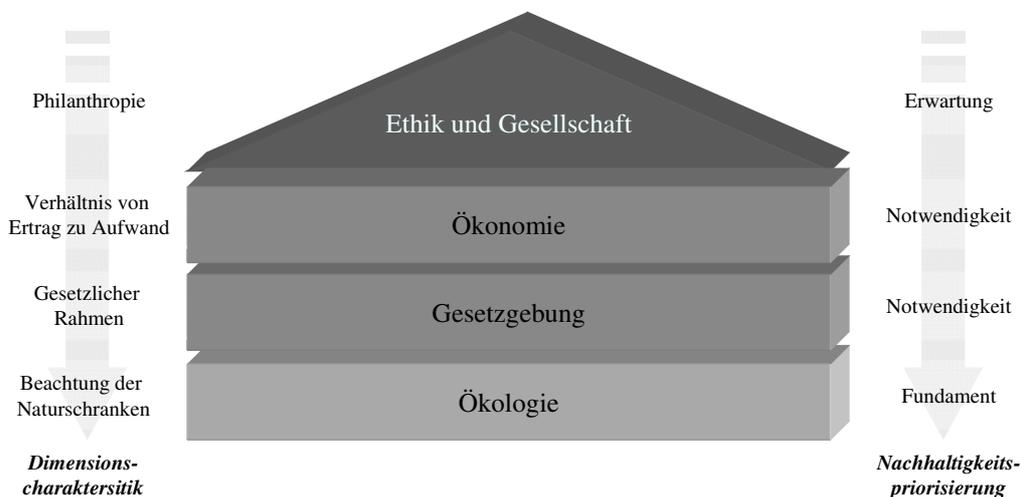


Abbildung 11: Bedeutung der Zieldimensionen für unternehmerisches Handeln /Eigene Darstellung/

Im Bezugsrahmen der gesetzlichen Anforderungen, die als Grundlage des unternehmerischen Handelns dienen, lassen sich im Kernbereich der Unternehmensrelevanz der mediale sowie der stoff- und energiebezogene Umweltschutz identifizieren. /VGL. ABBILDUNG 12/

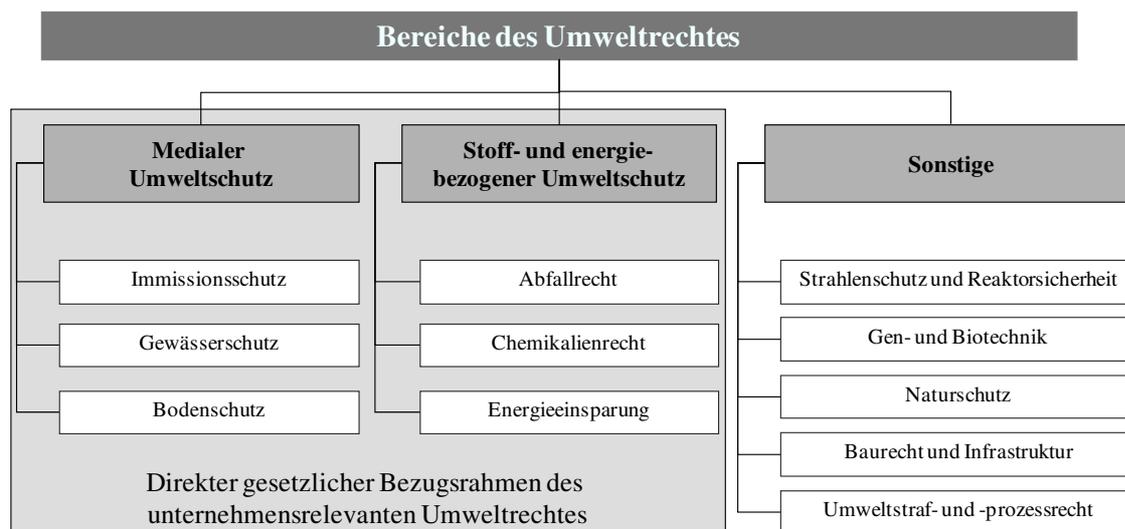


Abbildung 12: Bereiche des Umweltrechtes /vgl. BALR07, S.21/

Das Ziel des medialen Ansatzes ist die Separierung der Umweltmedien. Als Leitgesetze dienen vor allem das Bundesimmissionsschutzgesetz, das Wasserhaushaltsgesetz und das Bundesbodenschutzgesetz. Im Rahmen dieser Gesetze und Vorschriften werden Regeln aufgestellt, die der Genehmigungspflicht „gefährlicher Anlagen“ und dem planerischen Vorgehen mit Raumbezug dienen. /VGL. BALR07, S.20 FF./ In dieser Art der Betrachtung finden jedoch intermediale Aspekte keine Bedeutung, so dass stoff- und energiebezogene Betrachtungen notwendig sind. Als typische Beispiele lassen sich das Chemikaliengesetz oder die Gefahrstoffverordnung nennen. Im Kern dieser beiden Vorschriften steht die Anmeldung und Zulassung umweltgefährlicher Stoffe. Ferner werden diese Gesetze durch die produktorientierten Bestandteile des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes in Form von Verwendungsregeln und dem Erneuerbare-Energien-Gesetzes ergänzt. Die größte Bedeutung kommt nach BAUM ET AL. dem Abfallrecht und dem Immissionsschutz bei. /VGL. BALR07, S.22/ Die bedeutendste Charakteristik der Nachhaltigkeit liegt jedoch im globalen Aktionsradius bzw. Geltungs- und Wirkungsbereich.

Die internationale Umweltgesetzgebung stellt sich keineswegs in diesem Maß homogen dar, so dass es zu frappierenden Unterschieden in der Welt kommt. Auf der Grundlage des Grades der Internalisierung der externen Kosten des Umweltschutzes ist der gesetzliche Bezugsrahmen zu separieren, wodurch der globalen Dimension der Herausforderung des Umweltschutzes nur sehr unzureichend Rechnung getragen wird. In diesem Zusammenhang kann das Niveau der gesetzlichen Anforderungen in zwei Klassen unterteilt werden, zum einen in das der westlichen Industrieländer und zum anderen in das der Schwellenland- und Entwicklungswelt. /VGL. RANN96, S.1 FF./

### Freiwillige Aktivitäten

Unternehmen, die einen nachhaltigen Strategieansatz verfolgen, leisten einen substantziellen Beitrag zum Umweltschutz, dem Wohlergehen der Mitarbeiter sowie zur nachhaltigen Ent-

wicklung unserer Gesellschaft. Sie bedienen dadurch nicht nur die Erwartungen ihrer Anspruchsgruppen, sondern können sich auch gegenüber den Herausforderungen der Zukunft positionieren. /VGL. BMU06, S.5/ Eine nachhaltige Unternehmensführung hat zum Ziel, die Beiträge des Unternehmens in den sozialen, ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeits herausforderungen systematisch zu verbessern. Diese Maßnahmen umfassen sowohl Aktivitäten im strategischen als auch operativen Bereich. /VGL. LABC04, S.14 I. V. M. EUK001/ Eine Vielzahl dieser Aktivitäten entsteht auf der Basis der Freiwilligkeit und Eigenverantwortung, alle freiwilligen Anstrengungen von Unternehmen werden unter dem Begriff des Corporate Social Responsibility (CSR) zusammengefasst. In Anlehnung an das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung, welches sich auf einen gesamtwirtschaftlichen Bezugsrahmen bezieht, ist das Konzept des CSR ein Instrumentarium, was sich auf Belange der Unternehmen fokussiert. Dabei findet eine primäre Betrachtung im Bereich der sozialen und ökologischen Aktivitäten statt, die Ökonomie wird lediglich als Bezugsrahmen verstanden. Ferner finden sich darin vielfältige Konzepte und Instrumentarien (z. B. Corporate Citizenship, Corporate Sustainability, etc.), die im Kern Aktivitäten neben den allgemein gültigen Grundsätzen wirtschaftlichen Handelns adressieren und teilweise darüber hinaus gehen. /VGL. WILS03; SHKM02; LABC04; OECD00/ Durch fehlende Standards in der Darstellung können diese Aktivitäten jedoch oftmals nicht verglichen werden und bedienen darüber hinaus mitunter eher die Ziele einer positiven, öffentlichkeitswirksamen Darstellung von Unternehmen und die daran geknüpften Ziele im Sinne eines erfolgreichen Shareholder Value Ansatzes. /VGL. PKKG05, S.18 FF./

Grundsätzlich ergeben sich als vorrangige Positionierungs- und Einflussmöglichkeiten von Unternehmen die Handlungsfelder der Ökoeffizienz, d. h. die ökonomische Unternehmensausrichtung im Einklang ökologischer Zielgrößen. Dabei spielt die Ausprägung dieses Gestaltungsaspektes die vornehmliche Rolle.

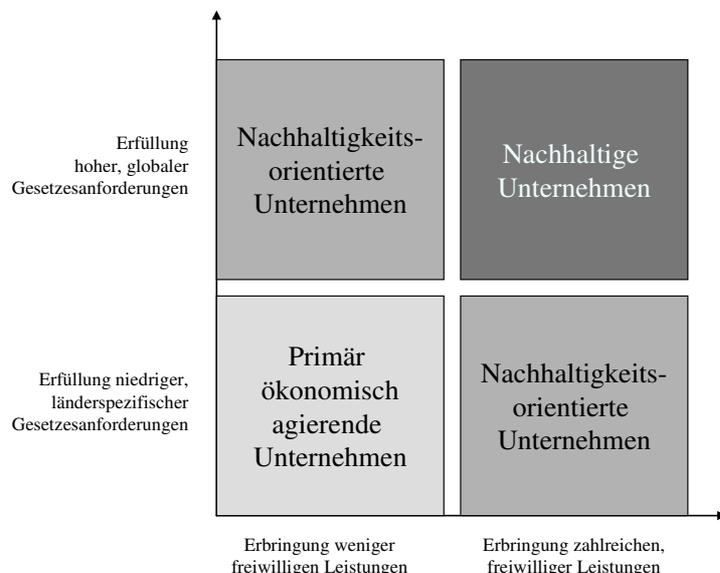


Abbildung 13: Positionierungsoptionen von Unternehmen /Eigene Darstellung/

## 2.3. Interdependenzen zwischen den Wissensgebieten

In diesem Kapitel werden grundlegende Zusammenhänge zwischen den sich verknäppenden Ressourcen respektive Rohstoffen und der daraus resultierenden Umweltwirkungen aufgezeigt und detailliert erläutert werden.

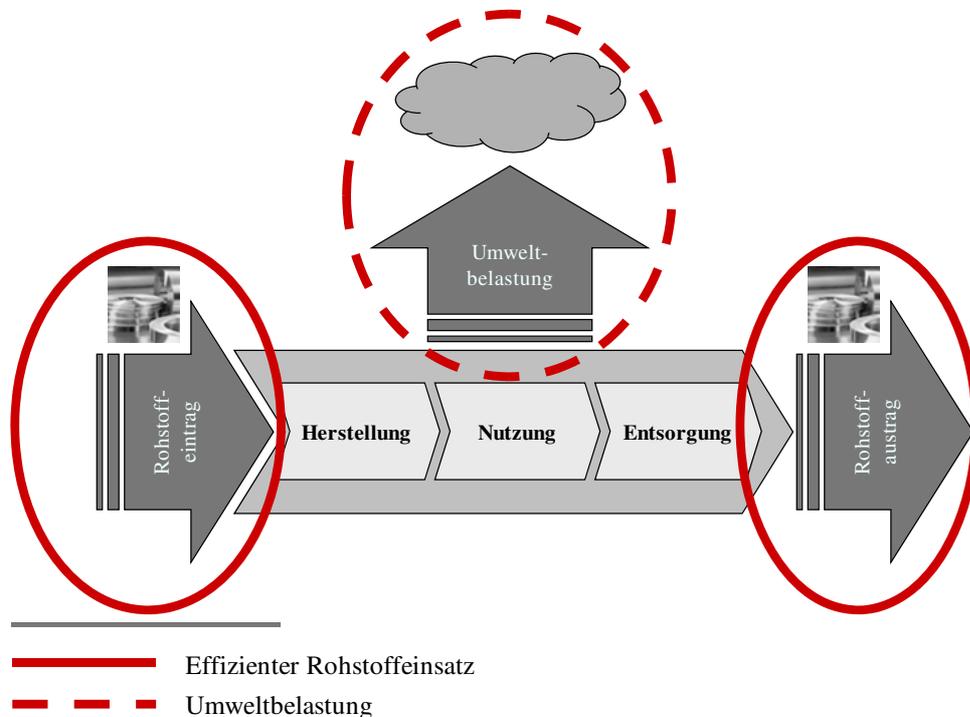


Abbildung 14: Interdependenzen zwischen Rohstoffmanagement und Ökologieorientierung /Eigene Darstellung/

### 2.3.1. Entstehung und Ursachen des Klimawandels

Mit dem Beginn der Industrialisierung der Welt haben die Menschen durch die damit verbundenen Emissionen von Treibhausgasen deutliche Veränderungen im Stoffhaushalt der Atmosphäre hervorgerufen. Seit Ende des 18. Jahrhunderts stiegen die Konzentrationen von Kohlendioxid in der Atmosphäre um ca. 35%, von Methan um über 100% und von Distickstoffoxid (Lachgas) um etwa 18%. Die Wirkung dieser Treibhausgase ist in Bezug auf den Klimawandel erheblich, durch die Zunahme ihrer Konzentration kommt es zum anthropogenen (durch den Menschen verursachten) Treibhauseffekt, der den natürlichen Treibhauseffekt zusätzlich verstärkt. /VGL. UBA+08, S.49 FF. I. V. M. IPCC07/

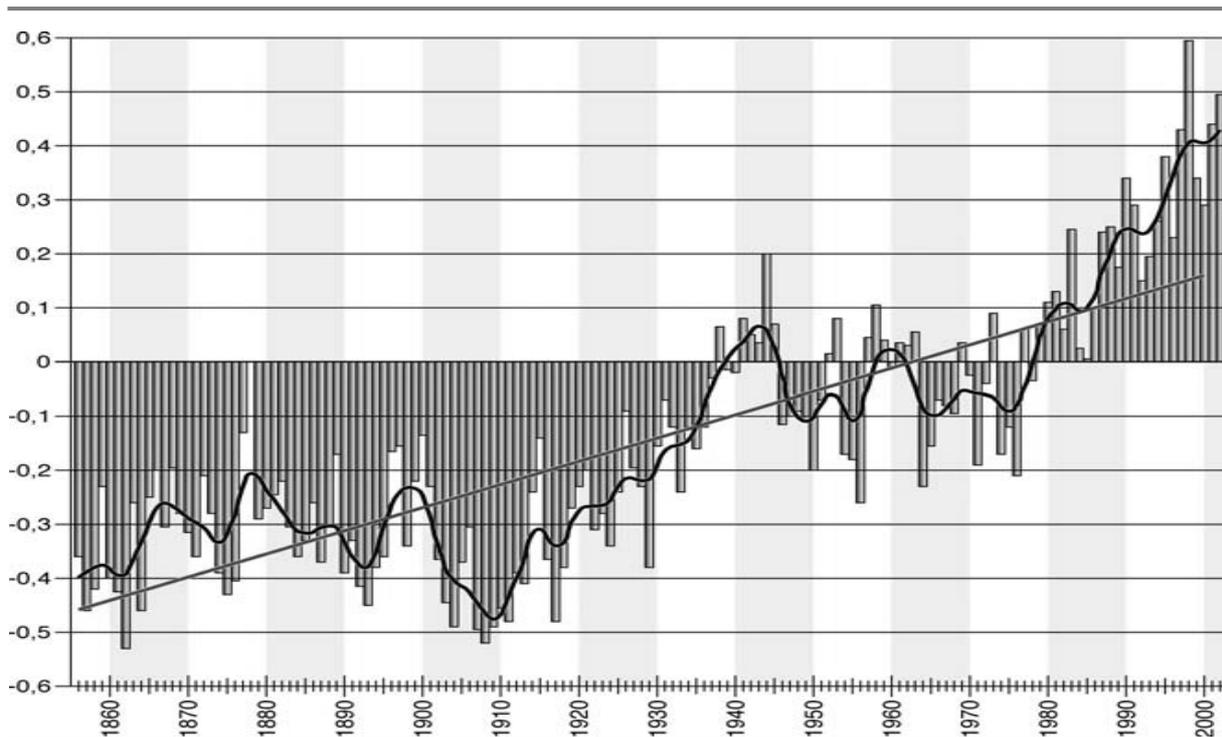


Abbildung 15: Abweichungen der global gemittelten bodennahen Lufttemperatur /vgl. IPCC 2007/

Aus dem Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)<sup>8</sup> geht hervor, dass eine Erwärmung des Klimasystems, für die der Mensch die Hauptverantwortung trägt, stattfindet, die sich in den letzten Jahren noch weiter verstärkt hat. /VGL. ABBILDUNG 15; IPCC07/ Der globale Erwärmungsprozess basiert auf einem Anstieg der globalen Luft- und Meerestemperaturen, dem fortschreitenden Abschmelzen von Schnee und Eis sowie dem Anstieg des mittleren globalen Meeresspiegels.

Diese Klimaveränderung hat enorme Auswirkungen auf ökologische und gesellschaftliche Systeme, so dass als Ziel der Grenzwert der globalen Erwärmung in Relation zum vorindustriellen Niveau auf 2°C festgelegt wurde. Diesem Ziel folgend muss eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 50-85%<sup>9</sup> bis 2050 umgesetzt werden. /VGL. IPCC07/

Treibhausgase, die in der Erdatmosphäre vorliegen, lassen den kontinuierlich abgegebenen Energiestrom der Sonne beinahe ungehindert in die Erdatmosphäre eintreten. Sie hindern jedoch ebenfalls die Wärme am vollständigen Rückaustritt in die Atmosphäre. Die Treibhausgase speichern die Sonnenenergie, indem sie die vorwiegend im langwelligeren Infrarotbereich liegende Rückstrahlung der Erdoberfläche absorbieren. Bei diesem Absorptionsprozess werden die Moleküle eines Gases angeregt und speichern somit die Wärme in Schwingungszuständen. Diesen Gesamtvorgang bezeichnet man auch als Treibhauseffekt, der erreicht, dass

<sup>8</sup> Das IPCC ist eine wissenschaftliche regierungsübergreifende und zwischenstaatliche Forschungsgemeinschaft, welche durch die Weltorganisation für Meteorologie und dem Umwelt-Programm der Vereinten Nationen gegründet wurde.

<sup>9</sup> Im Vergleich zum Referenzjahr 2000

die Temperatur in Bodennähe um ca. 35°C erhöht ist und mit 17°C im Durchschnitt die beste Voraussetzung für unser Leben darstellt. Würde dieser natürliche Treibhauseffekt nicht existieren, d. h. würde eine atmosphärenfreie Erde vorliegen, würde sich eine Temperatur von ca. -18°C einstellen. Denn es würde dann genau so viel Wärme abgestrahlt, wie Licht aufgenommen wird. /VGL. UBA+08, S.49/

Beobachtungen in den letzten Jahren zeigen eine deutliche Veränderung des weltweiten Klimas. Als Ursache wird die rasante Zunahme des Treibhauseffektes bzw. die steigende Konzentration an Treibhausgasen in der Erdatmosphäre determiniert. Zur Absorption der kurzweligen Wärmestrahlung der Sonne tragen die natürlich vorkommenden Treibhausgase in verschiedenem Maße bei. /VGL. TABELLE I/

Tabelle 1: Übersicht Treibhausgase /vgl. STRO08, S.1/

Treibhausgas	Treibhauseffekt	Treibhausgas	Treibhauseffekt
Wasserdampf (H <sub>2</sub> O)	21 K	Ozon (O <sub>3</sub> )	2,4 K
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	7 K	Methan (CH <sub>4</sub> )	0,8 K
Distickstoffoxid (N <sub>2</sub> O)	2,4 K	Sonstige <sup>10</sup>	0,6 K

Die Auslöser von steigenden Konzentrationen der Treibhausgase sind auf zwei Antriebsfaktoren zurückzuführen. Die Unterscheidung erstreckt sich auf die Ursachen ihrer Entstehung, zum einen vom Menschen verursacht (anthropogen), zum anderen durch die Wirkzusammenhänge zwischen natürlichen Ereignissen, wie z. B. Vulkanik. /VGL. ABBILDUNG 16/ Die Erforschung der Ursachen und vor allem ihrer Wirkzusammenhänge stellt einen bedeutenden Forschungsgegenstand zahlreicher Wissenschaftsbereiche dar. Eine Unterscheidung zwischen anthropogenen und natürlichen Ursachen für die Entwicklung der Temperaturen auf der Erde ist jedoch sehr schwierig, da sich beide Effekte überlagern und allein die Stärke, die räumliche Ausprägung und der Zeitverlauf der natürlichen Klimaschwankungen mit großen Unsicherheiten behaftet ist. /VGL. STRO08, S.5/

<sup>10</sup> Sonstige Treibhausgase sind bspw. Fluorkohlenwasserstoffe (FKW), Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW), Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) etc.

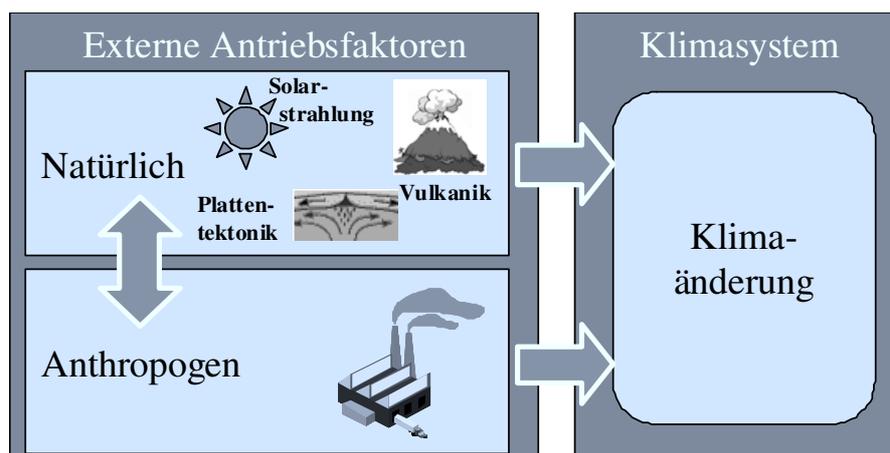


Abbildung 16: Ursachen der Klimaänderung /Eigene Darstellung/

Die Erforschung der Ursachen für die zunehmende globale Erwärmung ist in der Wissenschaft sehr breit gefächert. Die wohl bekannteste und zudem am weitesten verbreitete Ursache ist die Zunahme der  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der Atmosphäre als hauptsächliche Ursache des Klimawandels. Kohlendioxid ist das bedeutendste Treibhausgas. Bezogen auf die gesamten Treibhausgas-Emissionen betrug der  $\text{CO}_2$ -Anteil 2008 ca. 88 %. Seit dem Basisjahr (1990) stieg der Anteil von  $\text{CO}_2$  leicht an, diese Zunahme resultiert jedoch aus einer im Vergleich zu  $\text{CO}_2$  erheblich stärkeren Minderung der Emissionen von Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Distickstoffoxid ( $\text{N}_2\text{O}$ ). /VGL. IPCC95; IPPC01; IPPC07; DIWB07; UBA05; EEAC04/ Demnach scheint die Menschheit durch ihre stark forcierte Industrialisierung ein Hauptverursacher des weltweiten Klimawandels darzustellen.

Die globale Erwärmung und der Meeresspiegelanstieg haben sich beschleunigt, ebenso das Abschmelzen der Gletscher und Eiskappen. Die Erdtemperatur stieg während der letzten 100 Jahre im Durchschnitt um ca.  $0,74^\circ\text{C}$ . Im Rahmen der Erforschung der Erdtemperaturen wurde zudem festgestellt, dass die letzten elf Jahre zu den mit Abstand Wärmsten seit Beginn der Wetterbeobachtungen zählten. Es gilt als „gesicherte Erkenntnis“, dass menschliches Handeln, hauptsächlich verursacht durch den rasant gestiegenen Verbrauch fossiler Rohstoffe, den stetig wachsenden menschlichen Aktivitäten in der Landwirtschaft und die insgesamt sich ändernde Landnutzung, das Klima erwärmt hat. Das heutige Niveau der Treibhausgase liegt deutlich höher als das natürliche Niveau in den letzten 650.000 Jahren. /VGL. IPCC95; IPPC01; IPPC07/

Durch die Wissenschaft zieht sich allerdings kein breiter Konsens bezüglich dieser Sichtweise, es wird vielmehr schon seit Längerem eine tiefgreifende Diskussion durch zahlreiche Wissenschaftsbereiche geführt, von Meteorologen über Solarphysiker bis hin zu Wolkenforschern und Astrophysikern<sup>11</sup>. /VGL. LIND92, LIHA96, SVFC97, SHVE03, GRAR07/

<sup>11</sup> Für eine detaillierte Darstellung der Diskussion sei auf /SARD97/ verwiesen.

Ein Teil der Wissenschaftsgemeinde, die die Ursachen des Klimawandels erforscht, sieht in den natürlichen Wirkzusammenhängen zwischen kosmischer Strahlung, Wolkenbildung und Ausmaßen des natürlichen Klimawandel die Hauptverantwortung für die steigenden Erdtemperaturen. Die Sonne stellt dabei einen zentralen Forschungsgegenstand dar und wird als primärer Auslöser von steigenden Temperaturen angesehen. Dem anthropogenen Treibhauseffekt wird von dieser Gruppe keineswegs widersprochen, er wird lediglich als Sekundäreffekt angesehen, der nicht die ausschlaggebende Rolle für die Temperaturentwicklung einnimmt.

Eine internationale Forschergruppe um *SAMI K. SOLANKI* vom Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung hat durch Isotopenanalyse von Bäumen und dem Polareis die Anzahl der Sonnenflecken der letzten 11.000 Jahre rekonstruiert. Wie die Wissenschaftler berichten, ist es notwendig über 8.000 Jahre in der Erdgeschichte zurückgehen, bis man einen Zeitraum findet, in dem die Sonne im Mittel ebenso aktiv war wie in den vergangenen 60 Jahren. Aus dem Studium früherer Perioden mit hoher Sonnenaktivität sagen die Forscher voraus, dass die gegenwärtig hohe Aktivität der Sonne wahrscheinlich nur noch wenige Jahrzehnte andauern wird. /VGL. *SUK+04, USS+93, SOKR03, MASV00*/

### 2.3.1.1. Anthropogene Ursachen

In der Atmosphäre herrscht ein Volumenanteil von ca. 0,3% CO<sub>2</sub>-Gehalt, ohne den die Pflanzen- und Tierwelt sowie menschliches Leben nicht existieren könnten. Im Normalzustand<sup>12</sup> wird der CO<sub>2</sub>-Gehalt durch die Austauschprozesse während der Photosynthese konstant gehalten. Durch die vermehrte Oxidierung fossiler Rohstoffe wurde der CO<sub>2</sub>-Vorrat in der Atmosphäre zusätzlich angereichert und führte so zu einer Verzerrung des ursprünglichen, sich im Gleichgewicht befindlichen, Kohlenstoffkreislaufes. Der Anstieg des Kohlendioxidgehaltes in der Atmosphäre wird vom Anstieg weiterer Treibhausgase noch dramatisch verstärkt. /VGL. *ABBILDUNG 17*/

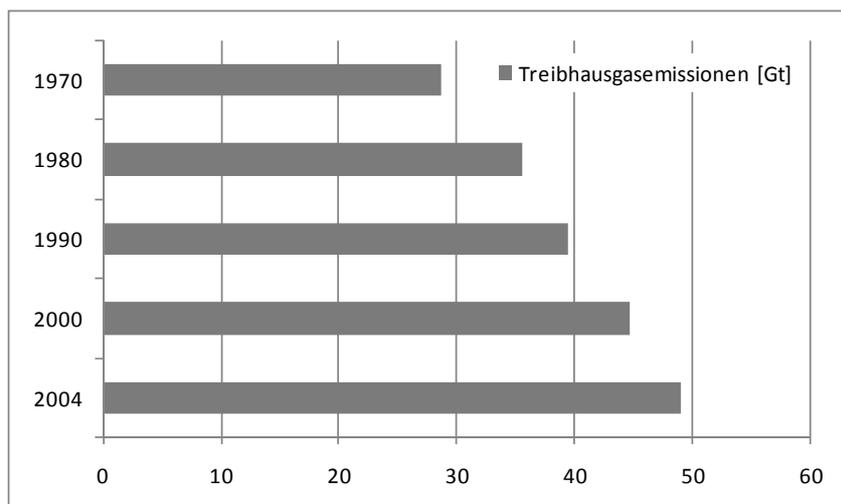


Abbildung 17: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen (CO<sub>2</sub> Äquivalent) /i. A. a. IPCC07, S.36/

<sup>12</sup> Unter Normalzustand wird das Gleichgewicht zwischen CO<sub>2</sub>-Produktion und -Verwertung verstanden.

Das IPCC stellt im Rahmen seiner Forschungsergebnisse fest, dass sich eine Erhöhung der durchschnittlichen Temperaturen um  $0,2^{\circ}\text{C}$  pro Dekade in den nächsten 30 Jahren höchstwahrscheinlich einstellen wird, wenn die Treibhausgasemissionen nicht gesenkt werden. Eine Verharrung in diesem Status quo würde eine weitere Erderwärmung zur Folge haben, die die Änderungen im 20. Jahrhundert noch übertreffen könnten. /VGL. IPCC07/

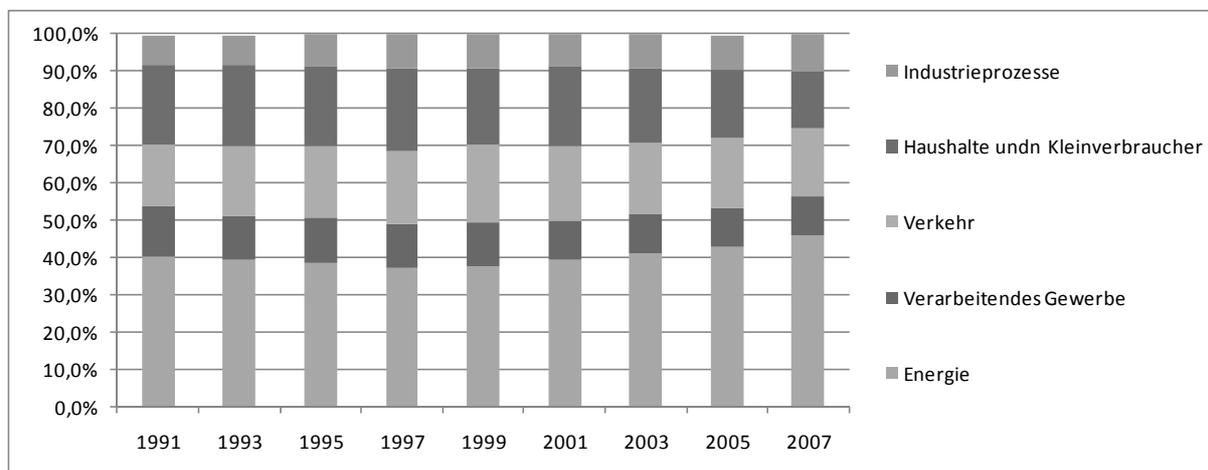


Abbildung 18: Anteil an  $\text{CO}_2$ -Emissionen nach Quellkategorien in Deutschland /vgl. UBA07/

Die  $\text{CO}_2$ -Emissionen stellen den wichtigsten Teil der vom Menschen verursachten Klimagase dar. Eine Branchenanalyse (VGL. ABBILDUNG 18) weist die Energieherstellung als den mit Abstand größten Emittenten aus. Zudem zeigt die Entwicklung eine Zunahme der verkehrsbedingten  $\text{CO}_2$ -Emissionen, was hauptsächlich auf einen starken Anstieg des Güterverkehrs zurück zu führen ist. Der Güterverkehr stieg allein Zeitraum 1998-2007 um ca. 41%. /vgl. CLAU08/

### 2.3.1.2. Natürliche Ursachen

Die Sonne erwärmt die Erde, im Zusammenspiel mit der Atmosphäre entsteht ein Treibhauseffekt, der die gegenwärtig bekannte Form des Lebens ermöglicht. Dieser Effekt ist der natürliche Treibhauseffekt.

Ein großer Teil der Forschungsinstitute, die sich mit den Entwicklungen des Weltklimas beschäftigen, ist davon überzeugt, dass der größte bis hin zu alleinige Anteil an der momentanen globalen Erwärmung auf natürlichen Wirkmechanismen basiert. Die Sonne und ihre Aktivitäten werden als Antriebskraft der erwärmenden Entwicklung angesehen. /VGL. LIND90, CALD97, SCWE05, SCWE07/

Als Hauptursache werden die Ausbildungen von Sonnenflecken auf der Sonnenoberfläche angesehen. Sie sind dunkler und kühler als ihre Umgebung und bestehen aus zwei Bereichen. Im Kern, wo der Fleck am dunkelsten ist, liegt die Umbra. Diese ist ungefähr  $3.400^{\circ}\text{C}$  heiß und wird von der etwas helleren Penumbra umgeben. Die Sonnenflecken sind jedoch ca.  $2.000^{\circ}\text{C}$  kühler als die restliche Oberfläche der Sonne und erscheinen aus diesem Grunde dunkler. Sonnenflecken entstehen an den Stellen, wo Magnetfelder aus der Sonne heraustreten

und das Emporsteigen heißer Gase aus dem Inneren unterdrücken. Diese heraustretenden Magnetfelder münden wiederum in einem anderen Fleck der Sonne und verbinden sich somit zu bipolaren Gruppen. Durch intensive Sonnenbeobachtung seit dem 17. Jahrhundert wurde festgestellt, dass die Sonnenflecken nicht immer in der gleichen Anzahl vorliegen. Ihre Anzahl schwankt durchschnittlich in einem elf-jährigen Zyklus. Dabei korreliert die Anzahl der Sonnenflecken mit der magnetischen Aktivität der Sonne und somit auch ihrer Helligkeit. Zudem findet auf der Sonne eine Umpolung der Nord- und Südhalbkugel alle elf Jahre statt. Diesen Vorgang nennt man den 22-jährigen Zyklus, denn alle zweiundzwanzig Jahre ist die Sonne wieder gleich gepolt. /VGL. MATT03, S.48 FF., S.72 FF./

Es wurde außerdem ein Zusammenhang zwischen der schwankenden Sonnenaktivität und der kosmischen Strahlung entdeckt. Die kosmische Strahlung dringt in die Erdatmosphäre ein und isoliert dabei die Luft. An den Ionen kondensiert die Luftfeuchtigkeit, was zu einer vermehrten Wolkenbildung führt. Mit einer Zunahme der Wolkendecke sinkt die direkte Sonneneinstrahlung und in Folge dessen die Temperatur. /VGL. ABBILDUNG 19/ Die Abhängigkeit in Relation zur Sonnenaktivität äußert sich über die Anzahl der Eruptionen auf der Sonne in Form von Sonnenflecken, die zu einer Abnahme der kosmischen Strahlung führt.<sup>13</sup> Je kürzer ein Zyklus ist, desto kälter ist auch die Durchschnittstemperatur in den entsprechenden Jahren. Die Sonne hat in einem relativ kurzen Zyklus keine Möglichkeit, ihre Aktivität zu maximieren und dementsprechend ihre größte Strahlungsintensität zu entfalten. Diesen Wirkzusammenhängen folgend kann festgehalten werden, dass bei zunehmender Dauer der Sonnenzyklen die globale Erwärmung zunimmt. /VGL. MATT03, S.45 FF./

Der Zusammenhang zwischen einzelnen Faktoren und deren Auswirkung auf die globale Erd-erwärmung wird in der folgenden Grafik dargestellt.

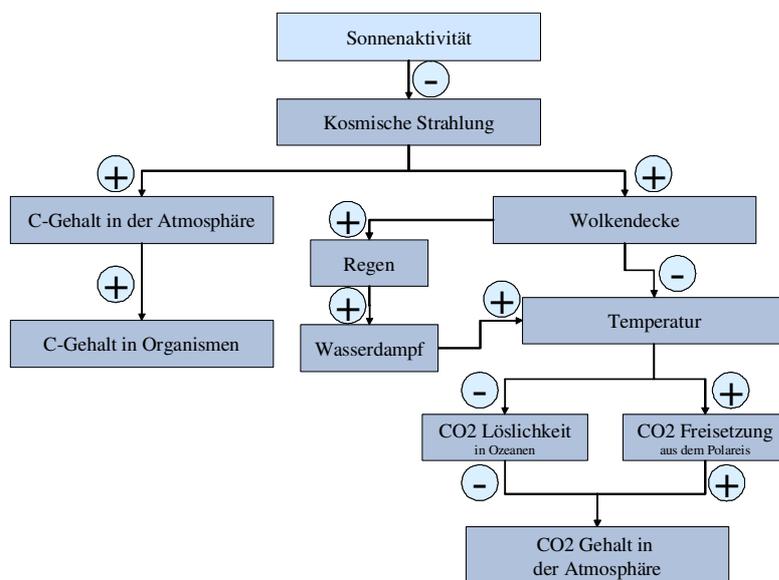


Abbildung 19: Wirkungszusammenhang zwischen Sonnenaktivität und Treibhauseffekt /Eigene Darstellung/

<sup>13</sup> Für eine detaillierte Darstellung der physikalischen Zusammenhänge wird auf /MATT03/ verwiesen.

### 2.3.1.3. Verifizierung des Forschungsstandes

Eine Zunahme der globalen Durchschnittstemperaturen ist unbestritten und lässt sich anhand vieler Temperaturmessungen zweifelsfrei nachweisen. Es ist jedoch keineswegs erwiesen, in welchem Maße und vor allem auf welchen Ursachen die Erwärmung basiert. Während die physikalischen Effekte des Kohlendioxids in einer Vielzahl von Experimenten nachgewiesen werden konnten, steht ein endgültiger Beweis für die Mechanismen der Sonne noch aus.

In Forschungsarbeiten der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) wurde festgestellt, dass die Ozeane in den letzten Jahren kälter geworden sind. Laut *LYMAN* haben die oberen Schichten der Ozeane in den Jahren 2003 bis 2005 durchschnittlich 20% der Hitze verloren, die in den vorhergehenden 50 Jahren aufgebaut wurden. Dieses Ergebnis entstand auf Grundlage von Messungen zur Feststellung der Ozeantemperaturen. *LYMAN* konnte zeigen, dass sich der tropische Atlantik mit bis zu eineinhalb Grad Celsius besonders stark abgekühlt hat, was auch ein Grund gewesen sein könnte, warum in diesem Zeitraum keine starken Hurrikans in der Karibik-Region oder an der nordamerikanischen Atlantikküste auftraten. Der betrachtete Zeitraum besitzt jedoch vor dem Hintergrund langfristiger Klimaänderungen keinen repräsentativen Umfang. Die Abschätzungen der Abnahme der Extremwetterereignisse werden zudem durch langjährige Untersuchungen zur Häufigkeit von Wirbelstürmen in den USA gestützt. /VGL. ABBILDUNG 20/ Als mögliche Ursache wurde die nordatlantische Oszillation identifiziert, die aber nicht als direkter Verursacher determiniert werden konnte und in folgenden Forschungsarbeiten genauer untersucht werden soll. /VGL. BLRL07; WLJG06/

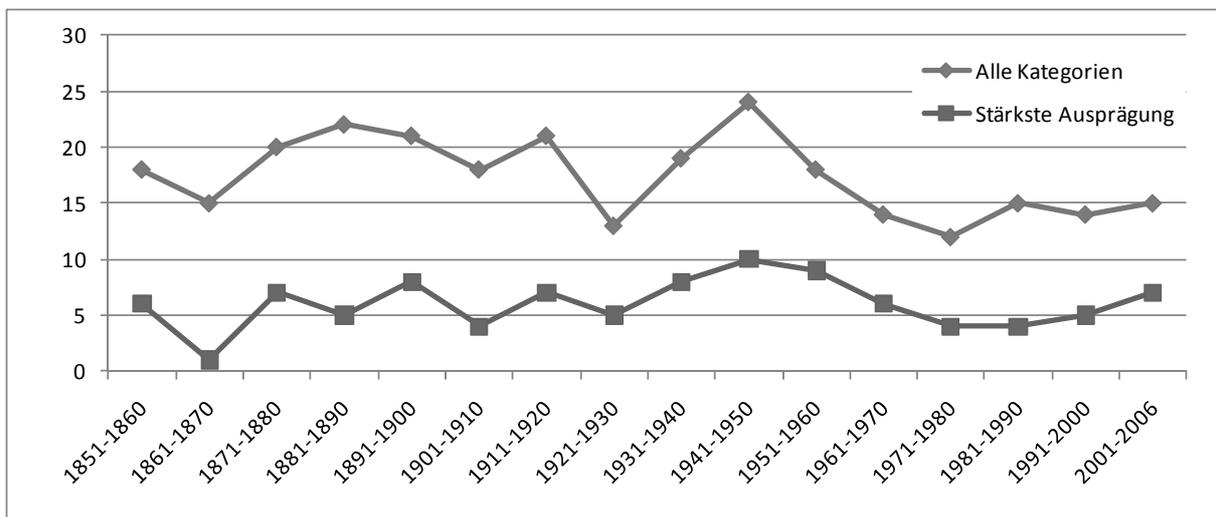


Abbildung 20: Anzahl Wirbelstürme auf dem amerikanischen Festland /i.A.a. BIRL07, S.11/

Es existiert eine Vielzahl von unterschiedlichen, wissenschaftlichen Ansätzen zur Erklärung der globalen Erwärmung; eine eindeutige Ursache konnte bisher nicht identifiziert werden. Zur Verifizierung des Forschungsstandes in Bezug auf den Klimawandel wurden im Rahmen

einer Repräsentativbefragung 239 deutsche Klimaforscher<sup>14</sup> nach den Ursachen des Klimawandels befragt. Die Standpunkte der Klimaforscher sind sehr breit gefächert. Die Mehrheit der Befragten ist der grundlegenden Ansicht, dass die Konsequenzen des Klimawandels für die Menschen gefährlich werden können. Eine bedeutende Minderheit stimmt dieser These jedoch nicht zu, weil sie negative und positive Folgen sieht oder die Gefahr generell bezweifelt bzw. der Überzeugung ist, dass man zum jetzigen Zeitpunkt keine konkreten Aussagen über die Klimaentwicklung treffen kann. */VGL. POST08/*

Diese Meinungsverschiedenheit basiert auf dem momentanen Stand der Klimaforschung und deren vielfältigen Diskussionsfeldern, insbesondere den theoretischen und methodischen Grundlagen von Klimaprognosen. Der überwiegende Teil der befragten Wissenschaftler ist der Ansicht, dass die Voraussetzungen für die Modellierung und Berechenbarkeit des Klimas gegenwärtig noch nicht gegeben seien. Dies bezieht sich auf die Menge und Qualität der empirischen Daten, die Qualität der Modelle und Theorien sowie die Kapazität der verfügbaren Analysetechniken. */VGL. POST08/*

Der Wissensstand der Klimaforschung kann daher als nicht eindeutig konstatiert werden und die dargestellten Sachverhalte werden nur sehr stark vereinfacht in einen Prozess der Meinungsbildung induziert. Die Erfolge der Klimaberichterstattung als latentes Zukunftsproblem müssen jedoch im Kontext eines fundierten Forschungsprozesses hervorgehoben werden. Ein ganzheitliches Verständnis des Klimas und dessen Wirkmechanismen liegen bis dato nicht vor und verlangt nach weiterer Forschungsarbeit.

Im Bild, das sich die Wissenschaft vom Klimasystem und den zu Grunde liegenden Prozessen macht, gibt es zurzeit noch zahlreiche offene Fragen. Die wichtigsten Punkte des bis dato unvollständigen Verständnisses sind:

- Wirkung der Aerosole
- Veränderung der Wolkendecke und deren Entstehungsmechanismen
- Dynamik der Kryosphäre
- Temperatureinfluss auf die Schichtung der Meeresoberflächen und Einfluss des pH-Wertes im Kontext der Aufnahmefähigkeit von Kohlendioxid

*/VGL. KHF+08, S. 81 FF./*

Durch diese Faktoren wird vor allem der Unsicherheitsbereich bezüglich des Betrags der erwarteten Erwärmung erhöht. Der wissenschaftliche Konsens besteht in der weitgehenden Einigkeit, dass sich die Erde in einem dynamischen Klimagefüge befindet und sich in den letzten Jahren eine globale Erwärmung darstellt. Der Versuch das zukünftige Klima anhand von Modellierungen abzubilden, befindet sich jedoch momentan noch in einem Anfangsstadium.

---

<sup>14</sup> Wissenschaftler aus folgenden Fachgebieten: Geowissenschaften, Physik und Meteorologie sowie Chemie, Mathematik, Biologie und Meereskunde wurden in der Befragung berücksichtigt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass nicht der Treibhausgasausstoß das originäre Problem darstellt, sondern vielmehr der Zeitraum, in der der Ausstoß realisiert wurde. Die fossilen Energieträger und Rohstoffe werden in „Augenblicken“ in Relation zu ihrer Entstehungszeit ausgebeutet und „entwertet“. Auf diese Weise wurde und wird in wenigen Jahrzehnten der Kohlenstoff verbrannt, den die Natur in sehr langen Zeiträumen angereichert hat. Das Problem wäre nicht existent, wenn die Emissionen auf einen längeren Zeitraum, bspw. die Entstehungszeit der jeweiligen Rohstoffe, verteilt und somit die Determinanten der Entstehung stärker in die Bewertung einbezogen würden.

## 2.3.2. Effizienter Ressourceneinsatz

### 2.3.2.1. Globale Entwicklungen im Kontext der Rohstoffsituation

In den 1990 Jahren waren die Preise für eine Vielzahl von Rohstoffen auf einem sehr niedrigen Niveau, mit Beginn des neuen Jahrtausends stiegen auf Grundlage der globalen wirtschaftlichen Entwicklung, vor allem im asiatischen Raum (insb. China und Indien), die Preise dramatisch an. /VGL. ABBILDUNG 21/

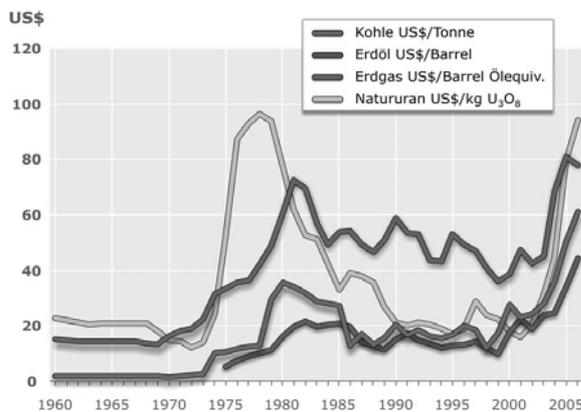


Abbildung 21: Entwicklung der nominalen Preise für beispielhafte Energieträger /vgl. BGR07, S.2/

Bei dieser Preisentwicklung handelt es sich jedoch keineswegs um Engpässe einzelner Rohstoffe, sondern um eine übergreifende Entwicklung. Eine bis dato geltende Regel, dass 20% der Menschheit in Europa, Nordamerika und Japan mehr als 80% der Weltbergbauproduktion konsumieren, trifft nicht mehr zu. Der Rohstoffverbrauch der Schwellenländer, insbesondere China, Indien und andere bevölkerungsreiche Staaten, nahm rapide zu und führte dazu, dass Schwellenländer mit über der Hälfte der Weltbevölkerung an der Nachfrage nach Rohstoffen beteiligt sind. Das globale Wirtschaftswachstum stellt eine treibende Kraft für die Entwicklung auf den Rohstoffmärkten dar.

Die Folgen für die Rohstoffförderung sind eindeutig erkennbar, bisher unwirtschaftliche Rohstoffvorkommen werden attraktiv und die Investitionen in neue Explorationsvorhaben steigen. In Folge dessen wird diese Preisentwicklung für Unternehmen rohstoffintensiver Branchen zu einem existenzbedrohenden Problem.

Grundsätzlich lassen sich die vorhandenen Rohstoffe in Reserven und Ressourcen unterteilen:

- Reserven umfassen die sicher nachgewiesenen und mit bekannter Technologie wirtschaftlich gewinnbaren Vorkommen in der Lithosphäre.
- Ressourcen<sup>15</sup> sind Vorkommen, die nicht wirtschaftlich zu fördern sind oder die noch nicht sicher ausgewiesen sind, aber aufgrund geologischer Indikatoren erwartet werden.

Preissteigerungen an den Weltrohstoffmärkten und neue Explorationsergebnisse können Ressourcen in Reserven überführen. /VGL. BMWI06, S.2; ABBILDUNG 22/

Eine Bewertung der Vorkommen kann nur im Kontext der quantifizierten Nachfrage erfolgen, die Reichweite kann entweder statisch oder dynamisch betrachtet werden. Da die Vielzahl der Faktoren, die in eine dynamische Betrachtung einfließen, mit sehr großen Unsicherheiten behaftet ist, wird in der rohstoffwirtschaftlichen und rohstoffpolitischen Diskussion in der Regel der Begriff der statischen Reichweite verwendet. Sie beschreibt den augenblicklichen Kenntnisstand und ist lediglich eine Momentaufnahme eines sich dynamisch entwickelnden Systems. Die statische Reichweite ist damit keine Prognose, sondern lediglich eine hypothetische, rechnerische Kenngröße, da

- sich der Jahresverbrauch durch Faktoren wie dem zunehmenden Energiebedarf von Schwellenländern wie zum Beispiel China und Indien signifikant ändern kann;
- eine dem Jahresverbrauch entsprechende Produktionsrate nicht über die gesamte Nutzungsdauer eines Energierohstoffes aufrecht erhalten werden kann. Dies gilt im besonderen Maße für Erdöl. Aus der Angabe einer Reichweite kann somit nicht automatisch geschlossen werden, dass der betrachtete Energierohstoff innerhalb des gesamten Zeitraums in ausreichender Menge verfügbar ist;
- Rohstoffpreisänderungen an den Weltmärkten die Grenzen zwischen Reserven und Ressourcen substantiell verschieben können;
- Die fortschreitende Exploration und technologische Fortschritte bei Produktionsverfahren die Ressourcen und Reserven aber auch substanziell vergrößern können.

/VGL. BMWI08, S.3/

---

<sup>15</sup> Für den weiteren Verlauf der Arbeit werden diese Vorkommen als Mindestreservenbasis bezeichnet. Eine Erläuterung findet sich in Kap. 3.3.2.

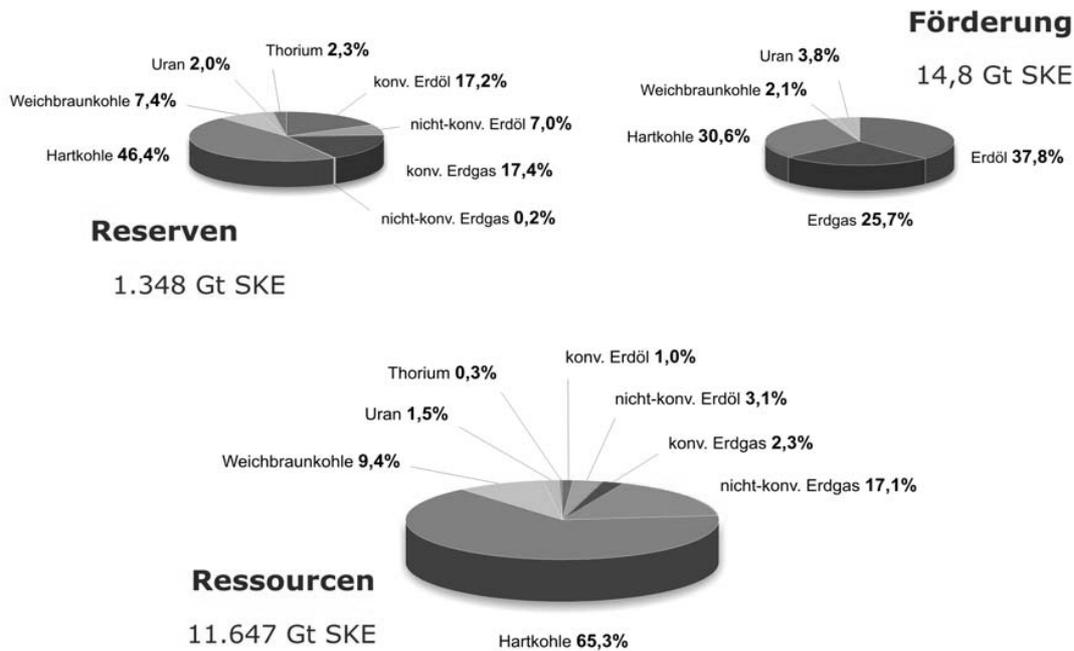


Abbildung 22: Anteile der Energierohstoffe an Förderung, Reserven und Ressourcen /vgl. BGR07, S.7/

### 2.3.2.2. Notwendigkeit einer Steigerung der Ressourceneffizienz

Die Rohstoffknappheit entpuppt sich als idealer Nährboden, um Innovationen für mehr Ressourceneffizienz, Materialsubstitution und Recycling voranzutreiben. Der Handlungsbedarf erstreckt sich dabei auf zwei Bereiche, die Energie- und Materialrohstoffe. So nahm in Deutschland die Abhängigkeit von importierten Energierohstoffen in den letzten Jahren dramatisch zu. /VGL. ABBILDUNG 23/

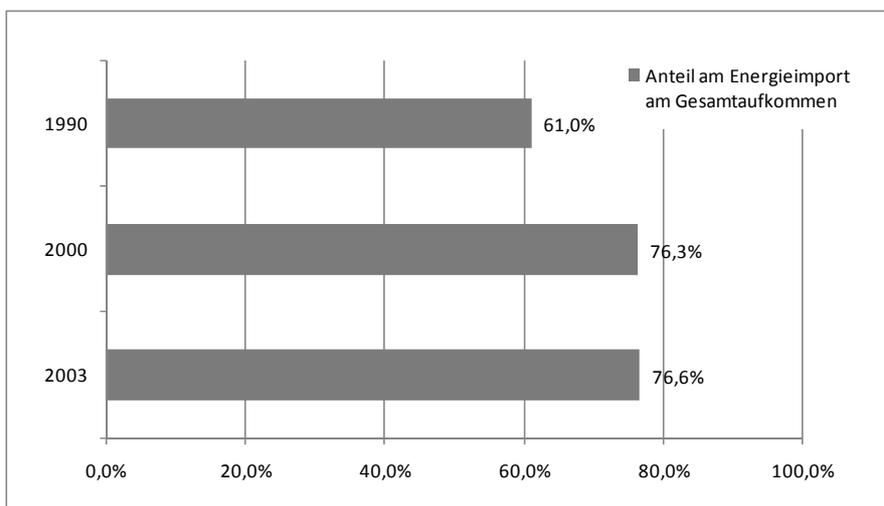


Abbildung 23: Entwicklung der Energieimporte /vgl. FPJT08, S.8/

Zudem nahm die Abhängigkeit von importierten Materialrohstoffen von 1994 bis 2003 um ca. 15% zu, was zum einen speziell den Trend der Abhängigkeit von Ressourcen in Deutschland verschärft und zum anderen die exportorientierte Industrie vor zukünftige Herausforderungen

in Bezug auf weltweit sich verknappende Ressourcen stellt. Im gleichen Zeitraum nahm die Ressourcenentnahme in Deutschland um ca. 25% ab. /VGL. ABBILDUNG 24/

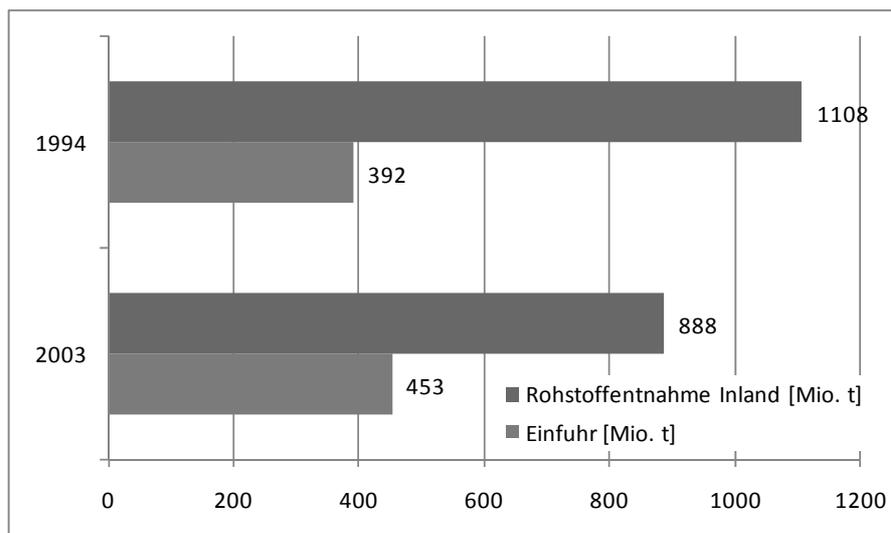


Abbildung 24: Abbiotisches Primärmaterial nach Herkunft /vgl. FPJT08, S.7/

Diese gestiegenen Importaktivitäten in Kombination mit der Verringerung der Ressourcenexploration in Deutschland führten lokal gesehen zu einer Verringerung der Umweltbelastungen, im Umkehrschluss führte es jedoch zu einem Export der Umweltbelastungen in andere Länder. /VGL. FPJT08, S7 F./

Effizienzsteigerungen werden in jeder Branche mit dem Ziel der Erreichung ökonomischer Anforderungen der Interesseneigner und zum anderen mit der Intention der Vereinfachung der Prozessabläufe verfolgt. Die bisherigen Anstrengungen erstreckten sich in den letzten Jahren hauptsächlich auf den Bereich der Arbeitsproduktivität. /VGL. ABBILDUNG 25/

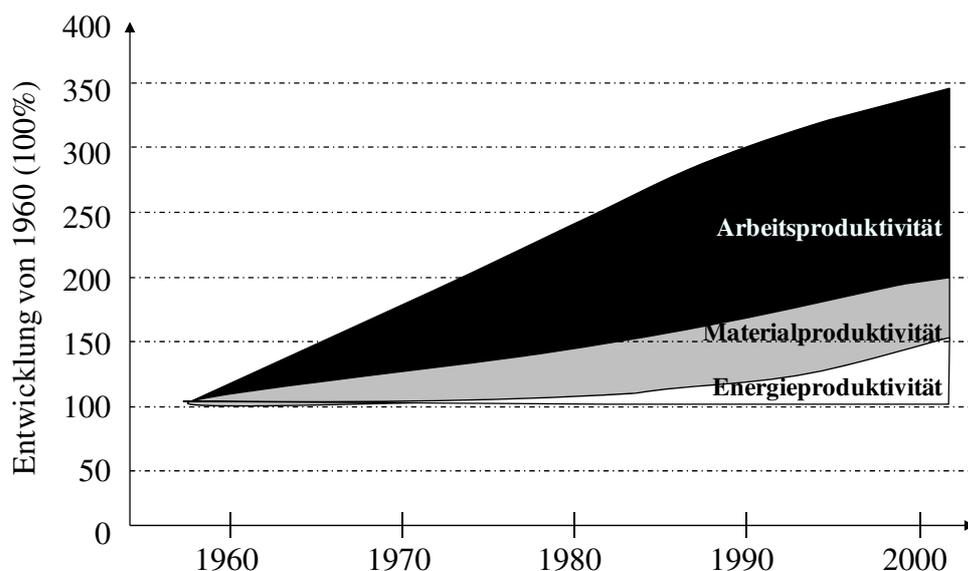


Abbildung 25: Entwicklung der Produktivität im verarbeitenden Gewerbe /vgl. FPJT08, S.8/

Das Potentialfeld der Energie- und Materialeffizienz (jeweils ca. 50%) ist bisher relativ unterrepräsentiert, wobei die größeren Anstrengungen noch im Bereich der Energie zu finden sind. Die Reduktion der Energiekosten stellt in erster Linie eine Verbesserung der internen Kostenstruktur dar, wo hingegen eine Verringerung des Materialverbrauchs sekundär auch einer Kostensenkung gleichkommt, aber vielmehr konträr zu den Gewichtszunahmen von Produkten steht. Die Weiterentwicklung von Produkten wird oftmals über eine Erhöhung des Gewichts erreicht oder durch eine Subsumierung von einfachen Materialien durch kostenintensive High-Tech Materialien, was eine Produktivitätssteigerung nur relativ ermöglicht.

Die permanente Notwendigkeit zur Verbesserung der Kostenstrukturen zeigt sich zudem in den Preissteigerungen der Materialrohstoffe und der damit erzielbaren Einsparpotentiale. /VGL. TABELLE 2/

Tabelle 2: Preissteigerungen einzelner Materialrohstoffe /vgl. KBL+06, S.3/

10	Anwendungsgebiet	Preis 2001 [US\$]	Preis 2005 [US\$]	Preisanstieg [%]
Indium	LCD-Bildschirme	120	810	575
Kupfer	Baubereich, Elektronik, Antriebstechnik	71,6	165	230
Molybdän	Stahlerzeugung	5	72	1.340
Platin	Katalysatoren	533	890	66
Selen	Glas, Chemie, Elektro- nik	3,8	52	1.268
Tellur	Stahlerzeugung	7	96	1.271
Wolfram	Elektronik	64	140	118
Vanadium	Petrochemie, Metall- wirtschaft	1,38	17,5	1.177
Zirkon	Keramik, Chemie	340	662	95

Im Rahmen der *STUDIE ZUR KONZEPTION EINES PROGRAMMS FÜR DIE STEIGERUNG DER MATERIALEFFIZIENZ IN MITTELSTÄNDISCHEN UNTERNEHMEN* wurden die Materialeinspar- und -effizienzpotentiale für die kommenden zehn Jahre ermittelt:

- **Trendfall:** Unter diesen Einsparpotentialen werden Effekte subsumiert, die durch die zu erwartende Fortschrittdynamik erreicht werden können. Das Potential für diese Maßnahmen wird auf etwa 6,4 Mrd. EUR/a geschätzt.
- **Zusätzlich induzierte Potentiale:** Diese Potentiale umfassen außerordentliche Maßnahmen, wie z. B. politische Förderprogramme oder durch die Selbstorganisation in der Wirtschaft ausgelösten Investitionen und organisatorische Maßnahmen. Es werden

finanzielle Einspareffekte in Höhe von ca. sieben Mrd. EUR/a in Relation zu den bilanzierten Materialaufwänden der betrachteten Branchen prognostiziert.

Insgesamt geht die Analyse für den Zeitraum der nächsten sieben bis zehn Jahre für die analysierten Branchen von Einsparpotentialen durch eine Steigerung der Materialrohstoffeffizienz in Höhe von rund 13 Mrd. Euro aus. /VGL. JKL+05, S.5/ Die größten Materialrohstoffeffizienzpotentiale erreichen auch die jeweils größten Branchen mit hohen Anteilen kleiner und mittlerer Unternehmen. /VGL. TABELLE 3/

Tabelle 3: Materialeinsatz und -einsparungen der größten Branchen im Kontext der Materialinanspruchnahme /i.A.a. JKL+05, S.5/

Branchenauswahl	Material-einsatz [Mrd. €]	Materialein-sparpotential [Mrd. €]	Materialein-sparpotential [%]
Chemische Industrie (ohne Grundstoffindustrie)	11,1	1,8 - 3,4	16-30
Herstellung von Anlagen zur Elektrizitätserzeugung, -verteilung u.ä.	10,2	1,5 - 3,0	14-29
Herstellung von Kunststoffwaren	10,8	1,0 - 2,0	9-18
Herstellung von Metallerzeugnissen	18,6	0,8 - 1,5	4-8

Der bei Materialeffizienzverbesserungen ebenfalls auftretende begleitende Nutzen wurde nicht bewertet. Hierbei handelt es sich beispielsweise um eine höhere Kapital- und Arbeitsproduktivität der eingesetzten Anlagen und Maschinen infolge verbesserten Produktionsausstoßes nach Menge und Qualität, um verminderte Transportkosten oder um reduzierte Energiekosten. Diese begleitenden positiven Nebeneffekte können erheblich sein und eine ähnliche Größenordnung, wie die vermiedenen Materialkosten erreichen.

Die dargestellten Entwicklungen zeigen die Notwendigkeit zu Effizienzsteigerung im Bereich der Ressourcennutzung. Unter diesem Gesichtspunkt scheint eine Fokussierung auf den Bereich der Inputrelationen sehr sinnvoll, da die Outputrelationen maßgeblich vom Input bestimmt werden. /vgl. Abbildung 14/ Die Bedeutung einer Steigerung der Ressourceneffizienz muss daher als initiiierende Einflussgröße konstatiert werden.

## 2.4. Methoden und Instrumente im Spannungsfeld der Wissensgebiete

In diesem Kapitel werden bestehende Methoden und Instrumente erläutert und im Kontext einer Anwendungsorientierung kritisch hinterfragt werden. Die grundlegende Unterscheidung der Instrumente kann anhand des originären Betrachtungsgegenstandes vorgenommen werden. Zum einen zielt die Fokussierung auf die ganzheitliche Betrachtung eines Produktlebens-

zyklus ab und zum anderen werden primär die Prozessabläufe innerhalb eines Unternehmens oder Standortes explizit untersucht. Zur Differenzierung der Ansätze wurden folgende Strukturierungskriterien gewählt:

1. Primäres Betrachtungsobjekt

Das primäre Betrachtungsobjekt orientiert sich an den zu Grunde liegenden Systemgrenzen der Betrachtung. Die Bandbreite kann dabei von einzelnen Prozessen über eine unternehmens- bzw. standortweite Betrachtung bis hin zu Branchenuntersuchungen reichen. Ein weiterer Untersuchungsgegenstand kann ein spezielles Produkt sein, wobei dieser Ansatz eine Mischung der zuvor beschriebenen darstellt, da er auf Prozess- und Unternehmens- bzw. Branchensichtweisen basiert.

2. Primärer Betrachtungsgegenstand

Der primäre Betrachtungsgegenstand teilt sich in die inputorientierte und die outputorientierte Sichtweise. Die Inputrelation wird durch die Rohstoffe (Energie und Material) symbolisiert, wo hingegen eine primäre Outputbetrachtung sich auf die Umweltaspekte fokussiert. Einige Ansätze verfolgen auch beide Betrachtungsgegenstände, wobei in diesen Fällen der vornehmlichen Sichtweise Rechnung getragen wird.

3. Art der Betrachtung

Die Art der Betrachtung kann sich auf quantifizierbare Informationen beziehen. Dabei beruht das Ergebnis der Untersuchung auf einer vergleichbaren, quantifizierten Aussage. Eine weitere Art der Betrachtung kann sich auf qualitative Aspekte beziehen, die sich nur schwer einer Vergleichbarkeit des Ergebnisses unterziehen lässt.

4. Anwendungsbereich

Die untersuchten Instrumente haben meist einen spezifischen Anwendungsbereich, welcher sich in die drei Hauptlebenszyklen Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Produkten unterteilen lassen kann. Eine Sonderstellung ist ein Ansatz, der auf der Logik der Selbstähnlichkeit basiert und somit in allen Zyklen angewandt werden kann.

5. Aufwand

Ein besonderes Unterscheidungsmerkmal, was auch gleichzeitig den Grad der Anwendungshemmnisse darstellt, ist der mit der Anwendung verbundene Aufwand. In diesem Punkt wird eine Aufwandsabschätzung vorgenommen, wobei keine Unterscheidung zwischen der Einführung und Nutzung des Instruments unternommen wird.

6. Vergleichbarkeit der Aufwand-Ersparnis Relation

Dieser Punkt ist der Bedeutendste im Kontext der Nachhaltigkeit und basiert auf dem primären Anspruch einer nachhaltigen Entwicklung, in dem die unternommenen Anstrengungen zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs in Relation zu den tatsächlich

erreichten Einsparungen stehen müssen. Dieses Attribut induziert eine qualitative Unterscheidung von in Anspruch genommenen Ressourcen anhand geeigneter Kriterien.

Aus den identifizierten Defiziten der Ansätze /VGL. 2.5/ werden in Kapitel 2.6 die Anforderungen an nachhaltigkeitsinduziertes Bewertungskonzept zur Ressourcenplanung und -steuerung erarbeitet.

### 2.4.1. Betriebliches Energiemanagement

Primäres Betrachtungsobjekt	Primärer Betrachtungsgegenstand	Art der Betrachtung	Anwendungsbereich	Aufwand	Vergleichbarkeit der Aufwand-Ersparnis Relation
Unternehmen	Input (Rohstoffe)	quantitativ	Herstellung / Entsorgung	mittel	nicht enthalten

Die Ursprünge des betrieblichen Energiemanagements (BEM) sind auf die Arbeiten von WINJE und HANITSCH zurückzuführen. /VGL. WIHA86/

Das BEM wird als planmäßige Gestaltung der Verwertung von Energie in Betrieben, um Produkte kostengünstiger zu fertigen, die Versorgungssicherheit zu gewährleisten und einen ressourcenschonenden Umgang mit der Energie zu erreichen, definiert. Unter Hinzunahme eines durchgängigen Informationssystems wird die Transparenz der betrieblichen Prozesse gewährleistet, um so Verschwendungen im Bereich Technik, Struktur oder Organisation zu identifizieren und im Folgenden die Verbesserungspotentiale auszuschöpfen. Hierzu gehören die Optimierung der internen Kommunikation in den Bereichen, die von der Energie tangiert werden, die Fähigkeit auf Störungen oder Anomalitäten bei der Energieversorgung im Betrieb bzw. im Umfeld des Unternehmens schneller zu reagieren und die bessere Messbarkeit des Umsetzungserfolgs durchgeführter Maßnahmen zur Energieverbrauchsoptimierung. Eine ökonomische Bewertung des Ansatzes wird mittels der Energiekosten ermöglicht. Die Bedeutung des Energiemanagements beruht zudem auf der Abbildung von Opportunitätskosten, die durch Energielieferengpässe entstehen können. /VGL. GOEB07, S.13, SCBW01, S.88 FF., SCFB06, S.1FF., TOEN00, S.1 FF./

Zentrale Herausforderungen dieses Ansatzes sind folgende Punkte:

- Energie bewegt sich in unterschiedlichen, stetig wandelnden Erscheinungsformen durch die Prozesse innerhalb einer Unternehmung
- Energieflüsse müssen aufgrund ihrer gegenseitigen Verknüpfungen ganzheitlich betrachtet werden
- Überwachung und Untersuchung der Energieversorgung und -nutzung kann einen beträchtlichen Aufwand verursachen, da diese Systeme über die Zeit gewachsen sind und nicht geplant wurden /VGL. TOEN00, S.2/

Für Unternehmen ist der signifikanteste Grund für den Verzicht auf ein Energiemanagement, dass der hohe finanzielle und zeitliche Aufwand, um das System zu integrieren und zu kontrollieren, die eingesparten Energiekosten übersteigt. Ergebnisse aus der Praxis zeigen jedoch, dass nach einer erfolgreichen Implementierung eine fünf bis zehn prozentige Kostenreduzierung möglich ist. /VGL. TOEN00, S.3/

Der grundsätzliche Ausgangspunkt, um Einsparungen zu erzielen, liegt in der Erfassung des tatsächlichen und geplanten Energieverbrauchs (Lastgang, Bedarfsprognose) sowie der Zuordnung zu den betreffenden Energieträgern und Verwendungen im Unternehmen. Als Hilfsmittel können Kennzahlen erhoben werden, die die Arbeitsleistung bewerten und als Vergleichskriterien gegenüber Konkurrenten sowie für Herstellerangaben zu den Betriebsmitteln dienen. Hiermit lassen sich Defizite in Bezug auf den Energieeinsatz aufdecken. Die transparenten Energieflüsse können in einen Zusammenhang mit den Material- und Kostenflüssen gebracht werden. Die Synchronisation dieser Flüsse zueinander ermöglicht die Steuerbarkeit des Unternehmens. /VGL. SCBW01, S.89, SCFB06, S.3, TOEN00, S.3/

Organisatorische Veränderungen sind die einfachsten Handlungswege zur Beseitigung gefundener Mängel und besitzen zudem einen erheblichen Nutzeneffekt. Möglichkeiten in diesem Bereich sind beispielsweise die Einführung einer kontinuierlichen Wartung der Maschinen oder die Minimierung der Strombezugskosten mittels Lastmanagement oder Blindstromkompensation. /VGL. TOEN00, S.3 FF/ Die weitaus investitionsintensiveren Lösungsalternativen sind der Ausbau oder die Anschaffung neuer Betriebsmittel. Diesen Maßnahmen muss eine fundierte Analyse in Form eines Energiekonzeptes vorangehen. Die Anforderungen an die neuen Betriebsmittel können von den vorhandenen Anlagen abgeleitet werden. Der schematische Ablauf zum Aufbau eines Energiekonzeptes kann **ABBILDUNG 26** entnommen werden. /VGL. TOEN00, S.3 FF./

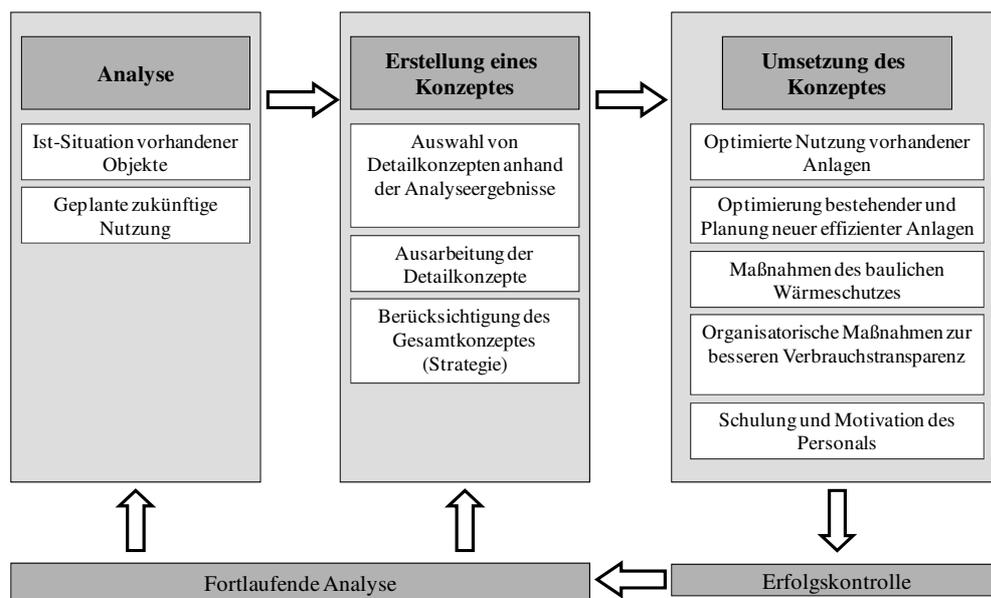


Abbildung 26: Ablaufschema eines Energiekonzeptes /TOEN00, S.5/

**Nutzenpotential im Kontext einer nachhaltigen Unternehmensentwicklung**

Das betriebliche Energiemanagement ist ein effektives Instrument zur Reduzierung des Energieverbrauchs, wodurch die Umweltbelastungen reduziert werden können. Zusätzlich lassen sich ökonomische Ziele, beispielsweise Kostenreduktion, verwirklichen. Ermöglicht wird dies durch die beschriebene Transparenz der Energieflüsse. /SCBW01, S.89, SCFB01, S.3/

Innerhalb des Unternehmens wird das Energiemanagement auf der Führungsebene verankert. Das Ziel ist eine Definition einer betrieblichen Energiepolitik, die in den Unternehmensrichtlinien fixiert werden muss. In Bezug auf eine erfolgreiche Umsetzung muss jedoch darauf geachtet werden, dass sich der Leitgedanke einer energiesparenden Mentalität im Bewusstsein aller Mitarbeiter festsetzt. Aus dem Ablaufschema des Energiekonzepts wird ersichtlich, dass neben dem strategischen auch der taktische Bereich (Erstellen von Teilkonzepten aus der Gesamtstrategie) und das operative Management (Umsetzung des Konzepts) dieses Instrument nutzen können bzw. für eine effektive Umsetzung der Gesamtziele sorgen müssen. /VGL. SCBW01, S.89, SCFB06, S.3/

Ein offensichtliches Defizit dieses Konzepts ist die fehlende qualitative Bewertung der Energie<sup>16</sup>. Es wird lediglich auf Grundlage der Quantifizierung eine Reduzierung der benötigten Energie determiniert. Im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung ist die Qualität der zu verwendenden Energie ebenso von grundlegender Bedeutung wie die avisierte Reduktion des Energieverbrauchs. Ferner erfolgt nur eine primäre Betrachtung der Energieflüsse und weniger eine ganzheitliche Betrachtung der Rohstoffflüsse innerhalb eines Unternehmens. Die fehlende Vergleichbarkeit von der Aufwand-Ersparnis Relation in diesem Konzept führt zu einer unzureichenden Bewertungsmöglichkeit von bspw. neu anzuschaffenden Betriebsmitteln, die möglicherweise in der Herstellung ein Vielfaches von Rohstoffen verbraucht haben, was sie in der Nutzungsphase an Energie einsparen. Diese heterogene Betrachtung der Aufwand-Ersparnis Relation stellt einen gravierenden Nachteil in Bezug auf eine nachhaltigkeitsinduzierte Unternehmensausrichtung dar.

**2.4.2. Eco-Effizienz/Flussmanagement**

Primäres Betrachtungsobjekt	Primärer Betrachtungsgegenstand	Art der Betrachtung	Anwendungsbereich	Aufwand	Vergleichbarkeit der Aufwand-Ersparnis Relation
Produkt	Input (Rohstoffe)	quantitativ	Herstellung Entsorgung	hoch	nicht enthalten

Das Flussmanagement generiert einen ganzheitlichen Überblick der Material- (vom Rohstoff über Endprodukt bis zum Abfall/Recycling) und Informationsflüsse (beginnend bei der Kundenanfrage bis zur Endlieferung) und verknüpft diese mit den jeweiligen Kosten. Das Ziel ist

<sup>16</sup> In Bezug auf die Wahl des Energieträgers

die Erhöhung der Transparenz dieser Flüsse und der Kommunikation der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsprozesse miteinander. Mit Hilfe eines durchgängigen Informationssystems lassen sich die Materialflüsse koordinieren. Außerdem werden die Ströme kontinuierlich von den Mitarbeitern wahrgenommen, die Flüsse können zielgerichtet aufeinander abgestimmt werden. Mittels der durchgängigen Kooperation und Kommunikation der Mitarbeiter bzw. Unternehmen lassen sich zudem neue Synergieeffekte generieren. /VGL. WAST03, S.4 FF., MUEL03, S.2 FF./

Die Ausgangssituation konstatiert dabei eine mangelnde Übersicht der Waren- und Informationsflüsse durch vorhandene, unstimmige Strukturen und Abläufe sowie unzureichende Materialdaten. Die Intention des Flussmanagements ist die kontinuierliche Überprüfung und gegebenenfalls Beseitigung dieser Blockaden sowie eine methodische, flussorientierte Ausrichtung der relevanten Gestaltungsbereiche (z. B. Organisationsstruktur oder Ablaufprozesse). Die Mitarbeiter sollen befähigt werden, die gegenwärtigen Ströme in den existenten Strukturen zu überprüfen und, wenn nötig, eigenständig, schnell und effizient anzupassen. /VGL. WAST03, S.4 FF./

Die grundlegenden Prinzipien der Gestaltung des Flussmanagements /VGL. TABELLE 4/ folgen dabei der Vorgehensweise eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses, der von den Mitarbeitern getragen wird. /VGL. WAST03, S.12/

Tabelle 4: Gestaltungsprinzipien des Flussmanagements

Vermieden werden	Gefördert werden
eingefahrene Verhaltensmuster	<b>veränderte Wahrnehmung</b>
kompromisslose Sichtweisen	<b>kompromissbereite Sichtweisen</b>
Teilloptimierungen	<b>ganzheitliche Gestaltung und Optimierung</b>
Symptome bekämpfen	<b>Ursachen beseitigen</b>
Standardlösungen von „Außen“	<b>Innovationen/Veränderungen von „Innen“</b>
Unkollegialität, konträres Arbeiten	<b>Kooperation und Teamarbeit</b>
Blockaden, Widerstände, starre Regeln	<b>langfristige Veränderungen</b>
flache Hierarchien	<b>aktive Mitarbeiterbeteiligung</b>

### Nutzenpotential im Kontext einer nachhaltigen Unternehmensentwicklung

Das Nutzenpotential des Flussmanagements, die ökonomische und ökologische Leistung zu erhöhen, ergibt sich aus der großen Bedeutung der Waren- und Informationsflüsse, die nahezu alle relevanten Leistungsindikatoren (z. B. Durchlaufzeit, Prozesssicherheit, Kundenzufriedenheit) beeinflussen. Die transparenten Material- und Informationsströme, die Synchronisation und Vereinfachung der Strukturen und Abläufe sowie die Integration und Aktivierung der Mitarbeiter sind die Faktoren, die positiv auf die genannten Indikatoren einwirken. /VGL.

WAST03, S.5 FF., MUELO3, S.2/ Im Folgenden wird der wichtigste Teil der Ziele, die erreicht werden können, abgebildet:

- Kostensenkung (insbesondere für Material)
  - Materialkosten und Materialwertverluste
- Leistungssteigerung
  - optimale Bestände und niedrige Durchlaufzeiten
  - höhere Prozesssicherheit bei geringerer Prozessdauer
  - hohe Anpassungs- und Reaktionsfähigkeit bei Änderungen der Märkte
- Kundenanforderungen besser erfüllen
- Geschäftsprozesse einfacher und sicherer gestalten
- Flexibilität steigern
- Umweltentlastung
  - durch verringerten Ressourcenbedarf
  - geringere Materialverluste /VGL. WAST03, S.5, 11/

Die Zielverfolgung richtet sich jedoch primär an ökonomischen Kriterien aus und folgt erst in sekundärer Sicht einer Reduzierung der Umweltbelastungen. Die Erreichung ökologischer Ziele wird somit nur als Resultat im Kontext ökonomischer Erfordernisse realisiert. Es kann jedoch ein enormes Einsparungs- bzw. Verbesserungspotential erreicht werden, was sich in der hohen Kostenbeteiligung der Materialflüsse an den betrieblichen Gesamtkosten begründet. Mit ca. 57% sind sie der herausragende Kostenfaktor. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass ungefähr 5-20% der gesamten Materialkosten auf Materialverluste (Verschwendung) zurückzuführen sind. /VGL. WAST03, S.5 FF., MUELO3, S.2/

Das Flussmanagement kann einmalig angewandt werden, um eine Effizienzsteigerung zu erzielen, eine langfristige und gesteigerte Leistungsfähigkeit erschließt sich jedoch erst durch eine Integration in das Managementsystem. /VGL. WAST03, S.5/ Anhand dieser Zielvorgaben werden alle weiteren Aktivitäten und Veränderungsansätze bewertet, so dass dauerhaft eine zielgerichtete und abgestimmte Unternehmensentwicklung ermöglicht wird.“ /WAST03, S.16/ Zudem entzieht sich dieser Ansatz einer qualitativen Bewertung der Rohstoffströme im Kontext der Nachhaltigkeit, was auf einer fehlenden Vergleichbarkeit der Rohstoffe fußt.

### 2.4.3. Flusskostenrechnung

Primäres Betrachtungsobjekt	Primärer Betrachtungsgegenstand	Art der Betrachtung	Anwendungsbereich	Aufwand	Vergleichbarkeit der Aufwand-Ersparnis Relation
Unternehmen	Input (Rohstoffe)	quantitativ / monetär	Herstellung	hoch	bedingt enthalten (kostenbasiert)

Die Flusskostenrechnung ist eine betriebswirtschaftliche Methode zur vollständigen Erfassung der Umweltkosten, die sich aus der Bemessung von Umweltschäden und -schutz ergeben. Die ganzheitliche Aufnahme aller Kosten ist notwendig, da sich Konzepte zur Schonung

des Ökosystems erst dann rechnen, wenn eine Verzerrung der ökonomischen Betrachtung von Verbesserungsoptionen verhindert wird. /VGL. LMSF03, S.6, SWO+03, S.46, 104/

Im Fokus der Flusskostenrechnung steht die geschlossene Erfassung und Darstellung der Energie- und Materialströme sowie die Bestimmung der mit den Flüssen verbundenen Kostenfaktoren. Die Identifikation und Quantifizierung basiert auf der Entnahme natürlicher Rohstoffe und der Abgabe von Emissionen, Rest- und Schadstoffen, die zu Umweltbelastungen führen. Dabei werden zur Unterstützung technische Materialstromanalysen angewandt, die das Unternehmen in die Lage versetzt, Transparenz in der Berechnung der tatsächlichen Herstellkosten zu erreichen und darüber hinaus die Möglichkeit, ein Material-Flussmanagement zu gestalten. /VGL. LMSF03, S.7, 20FF, SWO+03, S.46, 53, 104/

Die Einführungs- und Anwendungsvoraussetzungen bestehen aus dem:

- Schaffung von Transparenz über die betrieblichen Energie- und Materialflüsse in Mengen und Kosten, die Informationsflüsse sowie die Organisationsstrukturen und unternehmensspezifischen Prozesse
- Implementierung einer permanenten Kommunikation über geplante Änderungen und Aktivitäten in Bezug auf die Materialflüsse
- Möglichkeit und Know-how, die Energie- und Materialflüsse zielgerichtet als auch einheitlich für das Unternehmen bzw. Unternehmensnetzwerk abzustimmen

/VGL. SWO+03, S.53/

### **Nutzenpotential im Kontext einer nachhaltigen Unternehmensentwicklung**

Die Material- und Energieflüsse sind in der Wirtschaft die Hauptverursacher von Kosten und Umweltbelastungen. Ein zielgerichteter Einsatz der Flusskostenberechnung kann dazu beitragen, die Kennzahlen der ökologischen Anforderungen in den ökonomischen Bezugsrahmen des wirtschaftlichen Handelns zu transferieren. Der Ansatz verfolgt dabei ebenso die grundlegende Logik, dass eine Reduktion der Materialaufwände und -verluste zum einen einher geht mit einer Kostenreduktion und zum anderen mit einer möglichen Optimierung der betrieblichen Prozessabläufe. /VGL. LMSF03, S.30, SWO+03, S.46, 53/

Es ergibt sich jedoch durch den primären Anwendungsbereich in der Herstellung eine eingeschränkte Anwendbarkeit, obgleich schon die Anforderungen an die Umsetzung und das nötige Fachwissen als sehr hoch einzuschätzen sind. /VGL. LOBJ02, S.62 FF./ Es erfolgt zudem keine qualitative Bewertung der Energie in Bezug auf die unterschiedlichen Entstehungsprozesse der Energierohstoffe. Ferner wird nur eine Übertragung der Kostenentwicklung vorgenommen. Die Volatilität der Rohstoffpreise scheint diesem Ansatz jedoch nicht in entsprechender Weise zu folgen, als dass es auch in diesem Bereich des wirtschaftlichen Handelns zu enormen Schwankungen kommt.

#### 2.4.4. Hot-Spot-Analyse und Ressourcenproduktivität

Primäres Betrachtungsobjekt	Primärer Betrachtungsgegenstand	Art der Betrachtung	Anwendungsbereich	Aufwand	Vergleichbarkeit der Aufwand-Ersparnis Relation
Branche	Input (Rohstoffe)	quantitativ	Herstellung	hoch	nicht enthalten

Dieses Instrumentarium wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes des *WUPPERTAL INSTITUTS* entwickelt, um die Ressourcenproduktivität und Ressourcenschonung in Deutschland zu erhöhen. Der erste Schritt verfolgt die Überprüfung von Informationssystemen zur Messung von Ressourcenproduktivität. Im Folgenden wird eine Hot-Spot-Analyse durchgeführt, mit der Zielsetzung den Ist-Zustand und die Trends der Ressourcenproduktivität auf nationaler Ebene zu identifizieren. Das Ergebnis der Untersuchung sind Hot-Spots und Treiber des Rohstoffverbrauchs. Doch nicht nur der Verbrauch von Ressourcen wird erfasst, sondern auch der direkte und indirekte Emissionsausstoß an Treibhausgasen, die Bruttowertschöpfung und die Beschäftigung. Die Rohstoff- und Energieproduktivität ist mit den Indikatoren der Eurostat-Methodik<sup>17</sup> zur Messung der Material- und Ressourcenproduktivität gegenüberzustellen, um Daten für das weitere Vorgehen zu sammeln. Mit den gewonnenen Daten wird, unter Beachtung der ausgesuchten Umweltindikatoren und Wertschöpfung, eine Ist- und Trendanalyse bestimmter Produktsegmente bezüglich einer geringwertigen Ökoeffizienz ausgeführt. Die Wahl der Segmente hängt von der Relevanz des Wirtschaftsbereiches für die gesamtwirtschaftliche Ressourcenproduktivität ab.

Die Hot-Spot-Analyse ist in drei Schritte unterteilt:

1. Abschätzung der Ressourcenintensität innerhalb einer Lebenszyklusphase
2. Gewichtung des Ressourcenverbrauchs zwischen den Lebenszyklusphasen
3. Identifizierung der Hot-Spots durch eine integrierte Betrachtung der Analyseschritte eins und zwei. /VGL. WAKU06, S.6 FF./

Basierend auf den Ergebnissen der Hot-Spot-Analyse werden vor allem politische Anreizsysteme geschaffen, die auf eine nachhaltige Entwicklung abzielen, wo hingegen kontraproduktive Anreizstrukturen identifiziert und egalisiert werden. Abschließend werden die Effekte der unterschiedlichen Handlungsoptionen auf die Produktivität der Rohstoffe und die sozioökonomische Performanz der Gesamtwirtschaft bewertet. /WAKU06, S.40 FF./

#### Nutzenpotential im Kontext einer nachhaltigen Unternehmensentwicklung

<sup>17</sup> Die Eurostat-Methodik ist eine Datenbank der Europäischen Kommission und enthält die Werte der Indikatoren für eine nachhaltige Entwicklung. /vgl. EURO06/

Mit Hilfe der Hot-Spot-Analyse ist es möglich, eine sektorale Analyse durchzuführen, die in logischer Konsequenz jedoch nur Einsparpotentiale<sup>18</sup> auf einer Meta-Ebene identifiziert. Ferner wird das Brancheneinsparpotential lediglich anhand repräsentativer Produktbeispiele durchgeführt, eine unternehmens- bzw. prozessspezifische Analyse hingegen ist nicht Bestandteil der Methodik; sie führt vielmehr zu einer möglichen Verzerrung durch Ungenauigkeiten im Rahmen der Erhebung auf Mikroebene. In diesem Kontext ist der vordergründige Anwendungshorizont in einer politischen Regulierung oder Branchenlösungen zu sehen. /VGL. WAKU06, S.63 F./

Mit der Umsetzung dieses Ansatzes kann die Ausnutzung der natürlichen Ressourcen (Rohstoffe) optimiert und die Belastung der Umwelt vermindert werden. Die Ressourcenproduktivität wird als Kernstrategie bzw. Unternehmens- und Branchenziel angesehen, was gleichzeitig die strategische Dimension darstellt. Eine Anwendungsmöglichkeit für einzelne Unternehmen ist daher nicht gegeben.

### 2.4.5. EG-Öko-Audit-Verordnung

Primäres Betrachtungsobjekt	Primärer Betrachtungsgegenstand	Art der Betrachtung	Anwendungsbereich	Aufwand	Vergleichbarkeit der Aufwand-Ersparnis Relation
Unternehmen	Output (Umwelt)	quantitativ	Herstellung	hoch	nicht enthalten

Die EG-Öko-Audit-Verordnung wurde 1993 vom Europäischen Rat festgelegt und trat 1995 in Kraft. Es handelt sich um eine freiwillige Teilnahme gewerblicher Unternehmen an einem Gemeinschaftssystem, um ein nachhaltiges Umweltmanagement und eine Umweltbetriebsprüfung zu implementieren. Hinter diesem Konzept steckt die Absicht, eine fortwährende Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes und die Verantwortung der Unternehmen gegenüber dem Umweltschutz anzuregen. Hierzu sollen diese die ökonomischen Chancen erkennen, die ein nachhaltiges Management in Kombination mit Controlling-Systemen für Umweltschutzmaßnahmen beinhaltet. Darüber hinaus sollte der Öffentlichkeit ermöglicht werden, Informationen über das Umweltverhalten der Unternehmen zu erlangen. /VGL. FICH95, S.23 FF., SCMA95, S.10 FF., SCMA96, S.13, SIET95, S.22/

Der Ablauf des Öko-Audits wird in Abbildung 11 gezeigt. Ersichtlich wird dabei auch die Unterteilung der Bestandteile zur Unternehmens- bzw. Standortebene.

<sup>18</sup> Für eine detaillierte Darstellung der sektoralen Potentiale zur Verringerung des Ressourcenverbrauchs wird auf /BRAFO7/ verwiesen.

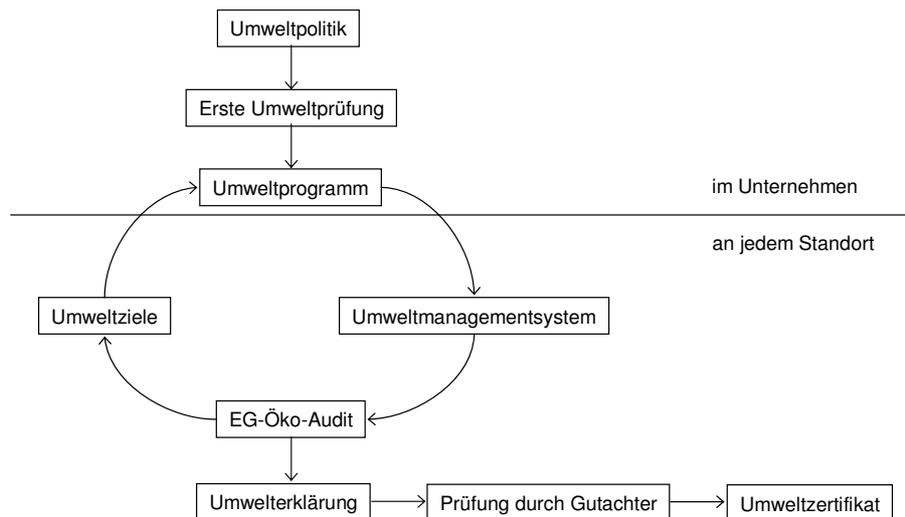


Abbildung 27: Ablauf des Öko-Audits /vgl. FICH95: S.25/

Die Umweltpolitik ergibt sich aus den Zielen und Handlungsgrundsätzen für die Umsetzung des betrieblichen Umweltschutzes. Sie orientiert sich an den Vorschriften des Gesetzgebers und der EG-Öko-Audit-Verordnung, zudem an der Motivation einer stetigen Verbesserung.

Die erste Untersuchung bietet einen Überblick des aktuellen Stands des Umweltschutzes und der Auswirkungen auf das Ökosystem durch den Betrieb. Stärken und Schwächen werden identifiziert und in ein ökologisches Pflichtenheft eingetragen. Daraus ergeben sich Anmerkungen für eine Optimierung. Auf dieser Grundlage werden die ökologischen Ziele neu definiert und über das Umweltprogramm realisiert. Dabei muss bedacht werden, dass die größten ökologischen Probleme zuerst gelöst werden sollten.

Das Umweltmanagementsystem garantiert einen ungestörten Ablauf des Umweltschutzes. Beim Aufbau des Systems müssen folgende Faktoren beachtet werden: Umweltpolitik und Umweltziele, Beschreibung der Zuständigkeiten, Ausbildung und Motivation der Mitarbeiter, Feststellung relevanter Umweltauswirkungen und Umweltmanagement-Dokumentation. Um eine Optimierung der bestehenden Strukturen zu erreichen, enthält es Organisationsformen, Verantwortlichkeiten sowie Verfahren und Abläufe. In regelmäßigen Intervallen können die Effekte auf die Umwelt bestimmt, beurteilt und reduziert werden. Alle drei Jahre wird das Öko-Audit, eine Soll-Ist-Abgleichsanalyse, durchgeführt. Bei dieser zielgerichteten, objektiven und dokumentierten Analyse wird das bestehende Umweltmanagementsystem mit den erzielten Umweltergebnissen bewertet und die Übereinstimmung des Ist-Zustandes mit den Umweltvorschriften und dem Umweltprogramm/-politik kontrolliert. Mit den Ergebnissen wird zum einen die Umwelterklärung erstellt, zum anderen werden die Ziele neu definiert und im Umweltprogramm fixiert. Somit liegt ein geschlossener Analysekreislauf vor, wie auch in *ABBILDUNG 27* erkennbar ist. Letztendlich werden die zusammengestellten Dokumente durch einen externen Gutachter überprüft. Wenn dieser die Einhaltung der EG-Öko-Audit-Verordnung bestätigt, erhält das Unternehmen das Umweltzertifikat und wird ins Standortre-

gister eingetragen. Die Dokumentation des Öko-Audits wird abschließend der Öffentlichkeit mitgeteilt. /VGL. SCMA95, S.10 FF., 19 FF., SCMA96, S.13 FF., SIET95, S.22 FF./

### **Nutzenpotential im Kontext einer nachhaltigen Unternehmensentwicklung**

Durch den Einsatz ergeben sich zahlreiche Nutzenpotentiale:

- *Risikominimierung*: Die Transparenz der Fertigungsprozesse wird erhöht, dadurch lassen sich die umweltrelevanten Abläufe leichter identifizieren. Das Risiko von Unfällen und Betriebsstörungen kann vermindert werden. Zudem können strafrechtliche Konsequenzen abgewendet werden, da das Umwelthaftungsgesetz Berücksichtigung im Umweltmanagement findet.
- *Kostenreduktion*: Die Anpassungen der Organisation und der technischen Ausstattungen an den Umweltschutz führen zu Effizienzsteigerungen. Die Minimierung des Rohstoff- und Energiebedarfes, der Entsorgungskosten und der nachgeschalteten Umwelttechniken wird ermöglicht.
- *Der Besitz des Umweltzertifikates* führt zu Wettbewerbsvorteilen bei der Vergabe von Aufträgen und zu einer zukunftsfähigen Existenzsicherung. Besonders die heutzutage eher ökologisch geprägte Kaufentscheidung der Kunden wird beeinflusst und das Image des Unternehmens in der Öffentlichkeit positiv wahrgenommen. /VGL. SCMA95, S.10, SCMA96, S.16 FF, SIET95, S.23/

Im strategischen Management findet diese Methode ihre Hauptanwendung. Die Unternehmensführung wird über die Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter und aller Strukturen informiert. Dort werden die langfristig angelegten Umweltziele festgelegt und die Konzeption des Umweltmanagements bestimmt. Die Akzeptanz der Methodik durch alle Mitarbeiter ist für den erfolgreichen Einsatz unabdingbar. /VGL. SCMA95: S.17, SCMA96: S.110 FF., SIET95, S.22/

Der hohe Organisations- und Personalaufwand bei der Durchführung kann jedoch als enormes Anwendungshemmnis wirken. /VGL. SCMA96, S.25/ Entgegen den bisher dargestellten Methoden und Instrumenten ist dieses Konzept nur auf eine zeitpunktuelle Anwendung<sup>19</sup> ausgerichtet, so dass eine kontinuierliche Verbesserung der Nachhaltigkeitsleistung als primäres Ziel nicht als primäre Wirkintention identifiziert werden kann.

---

<sup>19</sup> Die Zertifizierung wird zu einem bestimmten Zeitpunkt vorgenommen und wird danach in jährlichen Zyklen revalidiert. Daher kann eine stetige Anwendung und Weiterentwicklung nicht in adäquatem Umfang gewährleistet werden.

### 2.4.6. Ökobilanz

Primäres Betrachtungsobjekt	Primärer Betrachtungsgegenstand	Art der Betrachtung	Anwendungsbereich	Aufwand	Vergleichbarkeit der Aufwand-Ersparnis Relation
Produkt Unternehmen	Output (Umwelt)	quantitativ	Herstellung Nutzung Entsorgung	hoch	nicht enthalten

In der Praxis werden die Produkt- und die Betriebsökobilanz unterschieden. Die Produkt-Ökobilanz bildet den vollständigen Lebensweg von der Rohstoffgewinnung über Transporte, Produktion, Gebrauch, Nachnutzung bis hin zur Entsorgung eines Produktes bzw. einer Dienstleistung ab und untersucht seine Umweltrelevanz. Dabei werden alle Stoffe und Energien, die in das Produkt oder die Dienstleistung einfließen sowie die entstehenden Umweltbelastungen für jede Lebensphase erfasst. Diese Untersuchung kann auch für Dienstleistungen angewandt werden. Von einer Produktlinienanalyse wird bei der Berücksichtigung von sozialen Gesichtspunkten gesprochen.

Dagegen fokussiert die Betriebs-Ökobilanz ihre Analyse auf einen Produktionsstandort und bildet dessen Umweltwirkungen ab. */VGL. FASS01, S.117; WITT03, S.39 FF./* Als Grundlage dient die Input-/Output-Analyse. Bei dieser werden die Rohstoff- und Energieströme, die in das Unternehmen eingehen und die Abfall-, Abwassermengen, Emissionen in Boden, Wasser und Luft, Energieverbräuche usw., die aus dem Herstellungsprozess entstehen, gemessen. Über eine längerfristig ausgelegte Anwendung entsteht die Chance, Gegenüberstellungen von verschiedenen Produkten/Prozessen zu verwirklichen und Umweltbelastungen gezielt abzustellen. */VGL. SHKM02, S.75/*

Sachverhalte die nicht stoffstrombezogen sind, werden in der Ökobilanz nicht abgebildet. Zudem stellt sich ein sehr hoher Erfassungsaufwand dar und die Auswirkungen von den in der Zukunft liegenden Phasen Endnutzung und Entsorgung müssen abgeschätzt werden. */VGL. SHKM02, S.76/*

Die Norm *DIN EN ISO 14040 FF* beinhaltet die Prinzipien und den Untersuchungsrahmen für Ökobilanzen sowie die methodischen Anforderungen zur Durchführung einer Ökobilanzierungsstudie. Eine Ökobilanz die maßgeblichen Phasen: Zieldefinition und Festlegung des Untersuchungsrahmens, Sachbilanz, Wirkungsbilanz und Auswertung. */VGL. ABBILDUNG 28/*

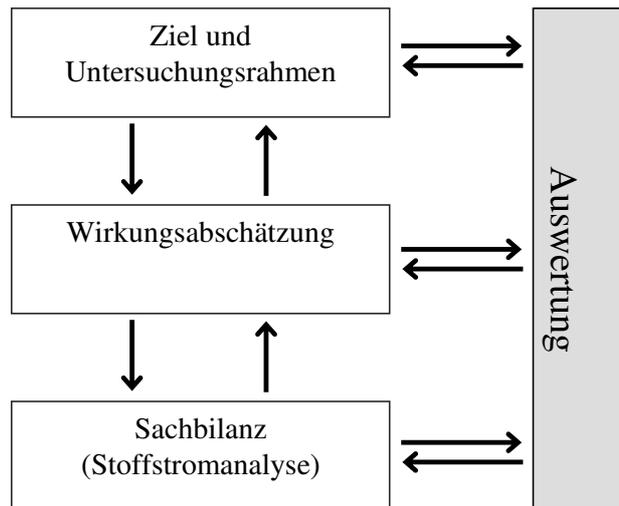


Abbildung 28: Ablauf einer Ökobilanz /WITT03, S.39/

Mit der Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens wird bestimmt, welche Produkte bzw. Dienstleistungen bilanziert und miteinander verglichen werden. Die untersuchten Produkte bzw. Dienstleistungen müssen dafür den gleichen Nutzen erfüllen, um eine funktionelle Einheit bilden zu können. Die Erstellung der Sachbilanz umfasst die Sammlung und Berechnung der Daten sowie ggf. die Verbesserung der Systemgrenze. Beispielhafte Daten sind Inputs von Energie, Rohstoffen, Betriebsstoffen und andere physikalische Flüsse, anfallende Abfallumfänge, Emissionen in die Luft, Einleitung in Wasser und Angaben zu Verunreinigungen des Bodens. Diese Daten werden im Rahmen von Berechnungen validiert und auf die Prozessmodule sowie nachfolgend auf den Referenzfluss der funktionellen Einheit bezogen. Hierbei können Allokationsverfahren für Produkte und Emissionen von Prozessmodulen angewandt werden. Die Wirkungsabschätzung quantifiziert die Sachbilanzergebnisse hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Umwelt anhand von Wirkungskategorien. Bei einer Ökobilanz werden je nach angewandter Methode zur Wirkungsabschätzung bis zu 14 Wirkungskategorien (z. B. Versauerungspotential und Treibhauspotential) betrachtet. In einem letzten Schritt werden die Ergebnisse ausgewertet, die Konsequenzen für die Umwelt bewertet und mögliche Lösungen für eine optimierte Umweltschonung entwickelt. /VGL. GEBH03, WITT03, S.39 FF., MEYE04/

### Nutzenpotential im Kontext einer nachhaltigen Unternehmensentwicklung

Der Vorzug der Ökobilanz gegenüber anderen Ansätzen ist die ganzheitliche Betrachtung des Produktlebenszyklus. Denn hierdurch können erhebliche Fehleinschätzungen bezüglich der ökologischen Umweltwirkungen, die bei der Analyse eines einzelnen Prozessschrittes entstehen, vermieden werden. Unternehmen, die die Ökobilanz verwenden, sind in der Lage, Schwachstellen in ihren Produktionsabläufen zu entdecken; es ist jedoch kein schlüssiger Vergleich zwischen Produkten mit unterschiedlichen Zielen oder Randbedingungen möglich. Ebenso sind keine allgemeinen Aussagen ohne eine zuvor festgelegte Bezugsgröße möglich, da Ergebnisse jeweils nur im Bezugsrahmen der Wirkungskategorie einen fundierten Aussa-

geehalt besitzen. Zu vergleichende Objekte (z. B. anzuschaffende Maschinen) müssen in sehr spezifischen Punkten (Nutzengleichheit) übereinstimmen, so dass eine Vergleichbarkeit von unterschiedlichen, technologischen Konzepten nicht gegeben ist.

Der Umfang der benötigten Daten zur Erstellung einer Ökobilanz ist enorm, es werden Strukturdaten (Flächen, Maschinen, Gebäude etc.) und Produktionsdaten benötigt. Der Nachteil wird oftmals von Herstellern, insbesondere von KMU darin gesehen, dass der Aufwand der Durchführung sowie der angesprochene Datenmangel sehr groß sind.

### 2.4.7. Öko-Effizienz-Analyse

Primäres Betrachtungsobjekt	Primärer Betrachtungsgegenstand	Art der Betrachtung	Anwendungsbereich	Aufwand	Vergleichbarkeit der Aufwand-Ersparnis Relation
Produkt	Input (Rohstoffe)	quantitativ	Herstellung	mittel	nicht enthalten

Die grundlegende Idee der Öko-Effizienz-Analyse ist es, ökologische und ökonomische Perspektiven miteinander zu integrieren. Dieser Zusammenschluss soll zu einer verbesserten Entwicklung und Optimierung von Produkten, Prozessen und Unternehmen führen. Produkte oder Fertigungsabläufe werden, wie bei der Ökobilanz, über ihren gesamten Lebenszyklus abgebildet und hinsichtlich ihrer Öko-Effizienz betrachtet. Die Untersuchung berücksichtigt dabei:

- Umweltbelastungen, die durch die eingesetzten Materialien entsteht
- Ausgangsstoffe, die die Zulieferer produzieren
- Verhalten der Endkunden bei der Verwendung des Produktes
- Chancen einer Wiederverwendung bzw. des Recyclings

Der Rohstoff- und Energieverbrauch, der Flächenbedarf, die Emissionen in Luft und Wasser und auf dem Entsorgungsweg, Toxizitätspotential sowie Risikopotential sind die Größen, die den Grad der Auswirkungen auf die Natur anzeigen. Bezeichnet werden diese mit dem Begriff Schadschöpfung. Für die ganzheitliche Analyse müssen zudem die ökonomischen Fakten der Wertschöpfung, z. B. Return on Investment oder Deckungsbeitrag, gesammelt werden. Abschließend ordnet das Ökoeffizienz-Portfolio das Produkt bzw. den Prozess oder das Unternehmen den beiden ermittelten Größen, Schadschöpfung und Wertschöpfung, zu. Dieses ist in Abbildung 13 illustriert. Die Öko-Effizienz eines Erzeugnisses oder Fertigungsablaufes lässt sich an der Position in der Matrix ablesen. Bei der Betrachtung mehrerer Alternativen ist es möglich, die ökologisch effizienteste Variante zu wählen. /VGL. ABBILDUNG 29/ Im Analyseablauf können zur Messung der Schadschöpfung die Methoden der Ökobilanz oder des Öko-Kompasses unterstützend eingesetzt werden. /VGL. KLAU07: S.12 FF., ROSE01: S.4 FF./

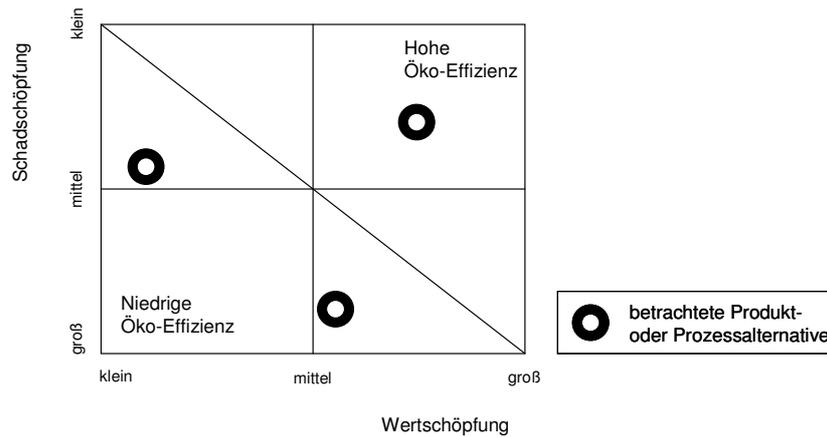


Abbildung 29: Öko-Effizienz Matrix /SHKM02, S.79/

**Nutzenpotential im Kontext einer nachhaltigen Unternehmensentwicklung**

Ein besonderes Alleinstellungsmerkmal gegenüber anderen Instrumenten ist die Integration der Kunden- und Marktperspektive. Ziel ist es, Produkte zu bewerten, die den Kundenwunsch optimal erfüllen und dabei die ökoeffizienteste Lösung anbietet. Die Anwendung ermöglicht dem Unternehmen, Schwachstellen bei der Herstellung der Produkte zu lokalisieren. Daraus ergeben sich eine Kosten- und Ressourcenverbrauchsminimierung und ein verringerter Emissionsausstoß. Ebenfalls sollen die verbesserten Produkte die Rohstoffverschwendung der Kunden absenken. /VGL. SHKM02, S.79, KLAU07, S.12 F./

Die Öko-Effizienz Analyse dient vor allem dazu, Produkt- oder Dienstleistungsalternativen im Spannungsfeld der Ökologie und Ökonomie zu bewerten. Ein grundlegendes Defizit dieses Ansatzes ist es jedoch, dass sich die ökologische Bewertung als sehr aufwendig darstellt und dass zudem kein fester Bezugsrahmen für die Bewertung existiert. Eine Vergleichbarkeit der Produktalternativen ist das zentrale Ziel dieses Ansatzes, eine Identifizierung von Verbesserungspotentialen der Produkte oder Dienstleistungen stellt jedoch keinen primären Betrachtungsgegenstand dar. Darüber hinaus ist die Vergleichbarkeit der eingesetzten Rohstoffe im Kontext der Nachhaltigkeit nicht gegeben.

**2.4.8. Öko-Kompass**

Primäres Betrachtungsobjekt	Primärer Betrachtungsgegenstand	Art der Betrachtung	Anwendungsbereich	Aufwand	Vergleichbarkeit der Aufwand-Ersparnis Relation
Produkt	Output (Umwelt)	quantitativ / qualitativ	Herstellung	hoch	nicht enthalten

Das Instrument des Öko-Kompass kann, neben der Ökobilanz, zur Bewertung bestehender Produkte und Fertigungsabläufe (Referenzprodukte/-abläufe) angewandt werden. Eine Anzahl von Alternativprodukten/-abläufen, die auf umweltorientierten Innovationen und Maßnahmen

für den Umweltschutz basieren, dient als Vergleichsgrundlage. Der Öko-Kompass bewertet dabei die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen eines Produktes oder Fertigungsprozesses, gruppiert diese in verschiedene Kategorien und gewichtet sie. Er kann somit als eine Weiterentwicklung der Ökobilanz gesehen werden, da die Umweltauswirkungen in bestimmten Kategorien nach Relevanz bewertet und somit eine vergleichende Umweltbelastung erreicht wird. Auf diese Weise können relativ zu einem bestehenden Produktkonzept Verbesserungspotentiale für einzelne Kategorien identifiziert werden. Die Kategorien sind:

- Potenzielle Risiken für Gesundheit und Umwelt,
- Schonung von Ressourcen,
- Recyclingfähigkeit,
- Energieverbrauch,
- Materialverbrauch bzw. -intensität und
- Ausweitung der Dienstleistungen.

Die Referenzprodukte/-abläufe erhalten in den jeweiligen Kategorien eine Wertung von 2, wohingegen die Alternativen bezogen auf ihre Veränderungswirkung einen Wert zwischen 0 und 5 zugewiesen bekommen. Die Bedeutung der Ziffern ist wie folgt:

- 5  $\Rightarrow$  75% Einsparung/Verbesserung
- 4  $\Rightarrow$  50% Einsparung/Verbesserung
- 3  $\Rightarrow$  leichte Einsparung/Verbesserung
- 2  $\Rightarrow$  Status Quo, keine Veränderung
- 1  $\Rightarrow$  leichte Verschlechterung/Mehrverbrauch
- 0  $\Rightarrow$  100% Verschlechterung/Mehrverbrauch

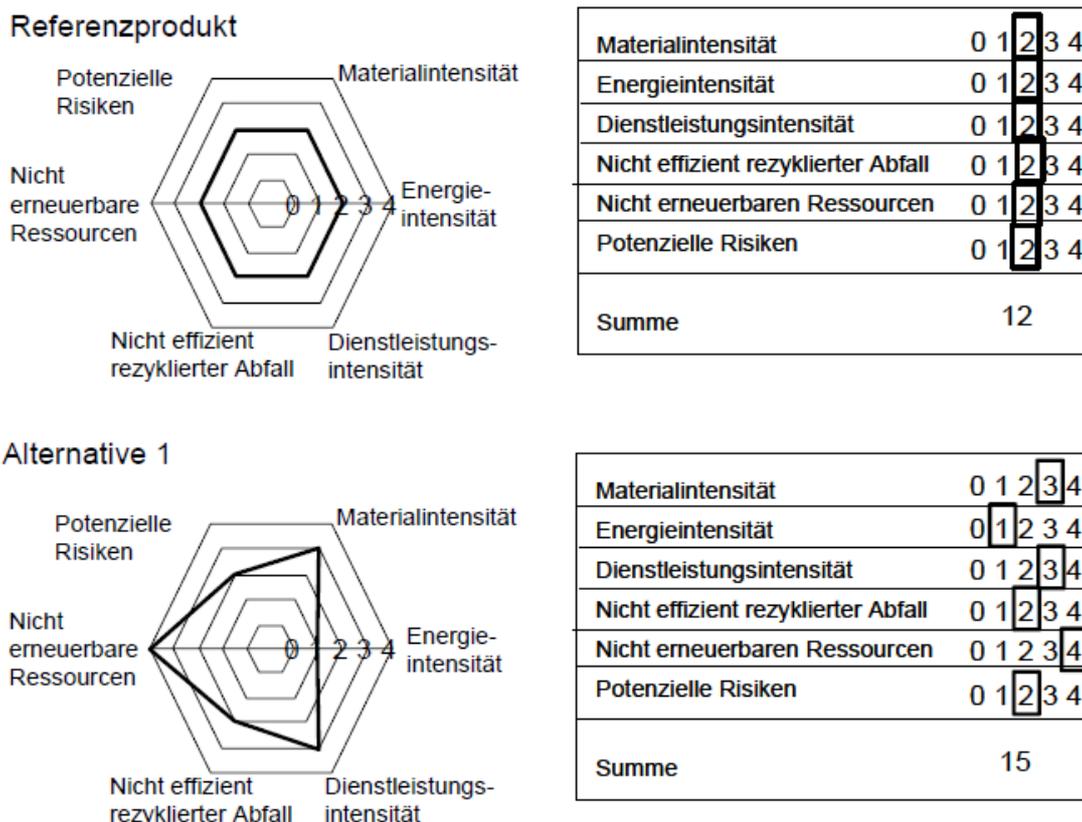


Abbildung 30: Prinzip der Öko-Kompass Analyse /vgl. REIS06, S.11/

Das Ergebnis dieser Gegenüberstellung wird in einem Sechseck /VGL. ABBILDUNG 30/ gezeigt. Die genannten Kategorien werden an der betreffenden Stelle eingetragen. /VGL. SHKM02, S.82, SCBW01, S.264 FF., FUSS99/

### Nutzenpotential im Kontext einer nachhaltigen Unternehmensentwicklung

Der Öko-Kompass ist ein Hilfsmittel, welches die komplexe Umweltbewertung in einem einfachen Modell visualisiert. Er gewichtet ein- und ausgehende Ströme, hebt gewisse Gegebenheiten hervor und vergleicht alternative Handlungsmöglichkeiten. Durch die oben beschriebene Analyse wird die Öko-Effizienz der Produkte und Fertigungsabläufe offenbart. Hieraus ergeben sich Chancen, Optimierungsmaßnahmen durchzuführen und damit einen größeren, ökologischen Wirkungsgrad der Produkte bzw. Prozesse zu erzielen. /VGL. SHKM02, S.82, SCBW01: S.264 FF./

Der Öko-Kompass ist ein Werkzeug, mit dem existierende Produkte in Bezug auf ihre Nachhaltigkeit verglichen werden können. Die primäre Beschränkung auf diese Analysefunktionalität ist gleichzeitig der Nachteil, da keine Unterstützung für Prozessplanungen und Aufgaben der Produktentwicklung gegeben ist. Die Anwendbarkeit beschränkt sich hauptsächlich auf den strategischen Bereich. Ferner erfolgt keine quantitative Messung der Umweltbeiträge. /VGL. SHKM02, S.82/ Die qualitative Bewertung des Rohstoffeinsatzes bezieht sich zudem lediglich auf die Masse der verwendeten Rohstoffe, wobei keine Priorisierung stattfindet.

### 2.4.9. Stoffstrommanagement

Primäres Betrachtungsobjekt	Primärer Betrachtungsgegenstand	Art der Betrachtung	Anwendungsbereich	Aufwand	Vergleichbarkeit der Aufwand-Ersparnis Relation
Produkt	Input (Rohstoffe)	quantitativ	Herstellung Nutzung Entsorgung	hoch	nicht enthalten

Das Stoffstrommanagement wurde durch die Enquete-Kommission des 12. und 13. Deutschen Bundestages „Schutz des Menschen und der Umwelt“ geprägt. Es wird der vollständige Weg eines Produktes von der Rohstoffgewinnung über die Herstellungsprozesse bis zu seiner Entsorgung beschrieben. Stoffströme sollen so durch eine entsprechende Änderung der unternehmerischen Rahmenbedingungen in eine umweltverträglichere Richtung für einen dauerhaften Schutz des Produktionsfaktors Natur gesteuert werden. Die Zielvorgaben dabei kommen aus dem ökologischen und ökonomischen Bereich. /VGL. SHKM02, S.105, WITT03, S.37/

Anhand von Untersuchungen stellte die Kommission sechs Problemfelder fest, die hauptsächlich für die Belastung der Umwelt durch Stoffeinträge verantwortlich sind und demzufolge ein Stoffstrommanagement benötigen:

- Treibhauseffekt
- Abbau des stratosphärischen Ozons
- Photooxidantienbildung (Sommersmog)
- Versauerung von Böden und Gewässern
- Eutrophierung (Überdüngung) von Gewässern
- Eintrag toxischer und ökotoxischer Stoffe in die Umwelt. /vgl. AAC05/

Bei der Durchführung des Stoffstrommanagements wird das reale System in einem vereinfachten Modell dargestellt. Dabei muss ein hoher Aufwand betrieben werden, um die Stoffströme beschreiben zu können. Der Betrachtungsgegenstand, die Messgrößen, der Bilanzraum, die -tiefe und die -detaillierung orientieren sich an der jeweiligen Zielverfolgung. Es werden nur Aspekte betrachtet, die einen umweltrelevanten Bezug aufweisen. Bei der Analyse des Stoffstromsystems werden Schwachstellen der Prozesse aufgezeigt. Somit können Maßnahmen für die Bereinigung der erkannten Mängel erarbeitet und umgesetzt werden. Dabei unterstützen Methoden wie die standortbezogene Ökobilanz oder die Produktlinienanalyse die Stoffstromanalyse. /VGL. SHKM02, S.105, WITT03, S.38/

In *ABBILDUNG 31* werden die fünf Schritte des Stoffstrommanagements abgebildet.

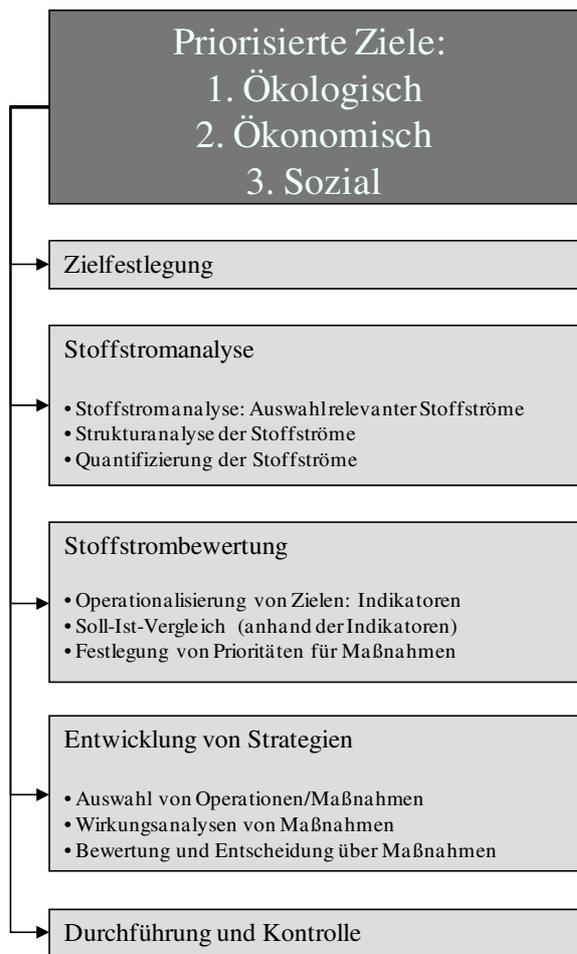


Abbildung 31: Elemente des Stoffstrommanagements /vgl. WITT03, S.38/

### Nutzenpotential im Kontext einer nachhaltigen Unternehmensentwicklung

Das Stoffstrommanagement verfolgt eine gezielte Beeinflussung der Energie- und Materialströme. Im Rahmen der Stoffstromanalyse werden der Rohstoffverbrauch, die Menge an Abfallstoffen sowie der Ausstoß von stofflichen und energetischen Emissionen in die Medien Luft, Wasser und Boden identifiziert. Die Stoffstrombewertung ermöglicht auf Grundlage der nachfolgend entwickelten Strategien und Maßnahmen die Nutzung der Ressourcen zu intensivieren sowie und eine Basis für den Aufbau von Wertschöpfungskreisläufen zu schaffen. /VGL. SHKM02, S.105, WITT03, S.37F/

Das Stoffstrommanagement bildet somit eine ergänzende Form für das Umweltmanagement ab und unterstützt ein Unternehmen bei der Gestaltung und Steuerung betrieblicher Handlungen, um die stoffstrombezogenen Umweltschutzziele zur Vermeidung belastender Auswirkungen auf die Umwelt zu erreichen. /VGL. BUWL04, S.212/

Des Weiteren wird auch bei diesem Ansatz keine Gewichtung der Materialflüsse durchgeführt, es erfolgt lediglich eine quantitative Messung, wobei unterschiedliche Aspekte (z. B. Rohstoffknappheit) nicht berücksichtigt werden. Zudem wird die Frage der Bewertung ausgeklammert, d. h. es wird kein „nachhaltiges“ Niveau der Materialflüsse festgelegt.

### 2.4.10. Sustainability Balanced Scorecard

Primäres Betrachtungsobjekt	Primärer Betrachtungsgegenstand	Art der Betrachtung	Anwendungsbereich	Aufwand	Vergleichbarkeit der Aufwand-Ersparnis Relation
Unternehmen	Output (Umwelt)	qualitativ	Herstellung	mittel	nicht enthalten

Die Sustainability Balanced Scorecard (SBSC)<sup>20</sup> gehört zu den leistungsfähigsten Instrumenten, um die Unternehmensstrategie sowohl an ökonomischen als auch an ökologischen und sozialen Zielen auszurichten. Dies liegt an der Beachtung nicht-monetärer und „weicher Aspekte“, mit denen Umwelt- und Sozialeffekte gemessen werden können. Durch die Verknüpfung des Umwelt- und Sozialmanagements mit einem wirtschaftlich konventionell ausgerichteten Management wird ein dreifaches win-win-win-Potential erreicht. /VGL. SHKM02, S.109, HAWA01, S.1/

Die folgenden Punkte ermöglichen eine Leistungsentwicklung:

- Identifikation und Bemessung der relevanten, ökologischen und sozialen Erfolgsfaktoren
- die Umwelt- und Sozialfaktoren werden mit dem Unternehmenserfolg (Ökonomie) kausal verbunden
- Management der Faktoren nach ihrer strategischen Relevanz
- wesentliche Kennzahlen und Maßnahmen entwerfen /VGL. HAWA01, S.15/

Die Formulierung der SBSC erfolgt in drei Schritten. Zuerst wird die Geschäftseinheit bestimmt, deren Strategie die Grundlage für die Ausarbeitung der Scorecard bildet. Danach werden die für die Geschäftseinheit bedeutsamsten Umwelt- und Sozialkomponenten identifiziert. Der dritte Schritt ermittelt mittels eines top-down-Verfahrens den strategischen Einfluss dieser Komponenten auf die folgenden Aspekte: Finanzen, Kunden, interne Prozesse, Lernen und Entwickeln und zudem die Nicht-Markt-Perspektive. In *ABBILDUNG 32* lässt sich die gegenseitige Einflussnahme dieser Faktoren aufeinander erkennen. Die durchgeführte Analyse generiert über das betriebliche Informationssystem und die Umweltrechnung Kennzahlen, Zielgrößen und Maßnahmen zur Zielerreichung. Das Ende dieses Prozesses bildet eine Scorecard bestehend aus ca. vier bis fünf Perspektiven, in denen ca. 20-25 essenzielle, strategische Werte aufgezeigt werden. Diese werden über eine Ursache-Wirkungskette auf den Erfolg des Unternehmens ausgerichtet und sind mit Kennzahlen erfassbar. /VGL. SHKM02, S.109 F., HAWA01, S.4 F./

<sup>20</sup> Die SBSC ist nur eine Integrationsmöglichkeit der Nachhaltigkeit in eine Balanced Scorecard. Weitere leicht differierende BSC-Ansätze im Kontext der Nachhaltigkeit sind in /PUBO06, S. 44 ff./ dargestellt.



Tabelle 5: Gesamtübersicht der untersuchten Methoden und Instrumente

	Primäres Betrachtungsobjekt	Primärer Betrachtungsgegenstand	Art der Betrachtung	Anwendungsbereich	Aufwand	Vergleichbarkeit der Aufwand-Ersparnis Relation
Betriebliches Energiemanagement	Unternehmen	Input (Rohstoffe)	quantitativ	Herstellung / Entsorgung	mittel	nicht enthalten
Eco Effizienz Flussmanagement	Produkt	Input (Rohstoffe)	quantitativ	Herstellung Entsorgung	hoch	nicht enthalten
Flusskostenrechnung	Unternehmen	Input (Rohstoffe)	quantitativ / monetär	Herstellung	hoch	bedingt enthalten (kostenbasiert)
Hot Spot Analyse und Ressourcenproduktivität	Branche	Input (Rohstoffe)	quantitativ	Herstellung	hoch	nicht enthalten
Öko Audit Verordnung	Unternehmen	Output (Umwelt)	quantitativ	Herstellung	hoch	nicht enthalten
Ökobilanz	Produkt Unternehmen	Output (Umwelt)	quantitativ	Herstellung Nutzung Entsorgung	hoch	nicht enthalten
Öko Effizienz Analyse	Produkt	Input (Rohstoffe)	quantitativ	Herstellung	mittel	nicht enthalten
Öko Kompass	Produkt	Output (Umwelt)	quantitativ / qualitativ	Herstellung	hoch	nicht enthalten
Stoffstrommanagement	Produkt	Input (Rohstoffe)	quantitativ	Herstellung Nutzung Entsorgung	hoch	nicht enthalten
Sustainability Value Balanced Scorcard	Unternehmen	Output (Umwelt)	qualitativ	Herstellung	mittel	nicht enthalten

Ferner lassen sich im Rahmen der gestiegenen Bedeutung der Nachhaltigkeit bei den zu diesem Zweck entwickelten Methoden und Instrumente noch zahlreiche Defizite aufzeigen, die folgendermaßen zusammengefasst werden können:

- Die Bewertung erfolgt oft ohne sinnvolle Systematik oder der Ansatz beschränkt sich nur auf ein Systematisierungskriterium (Ziel-, Ordnungs- o. Rechensystematik).
- Eine qualitative Betrachtung der Rohstoffflüsse (Energie und Material) fehlt oftmals, so dass keine priorisierende Schlussfolgerung von Rohstoffverbräuchen vorgenommen werden kann.
- In den Ansätzen werden oft verschiedene Kennzahldefinitionen ohne Blick auf deren geschlossene Aussagekraft vorgenommen.
- Es fehlt eine vergleichende Betrachtung der Aufwände zur Steigerung der Nachhaltigkeit von Prozessen und Produkten in Bezug auf die anvisierten Einsparungen.

- Der Aufbau der betrachteten Methoden und Instrumente macht deutlich, dass das primäre Betrachtungsobjekt sich entweder auf ein Produkt oder einen Prozess beschränkt. Eine Anwendbarkeit in beiden Feldern ist oftmals nicht gegeben bzw. nur unter enormen Adaptionsanstrengungen realisierbar.
- Die Ansätze liefern meist keine Planungs- und Entscheidungsunterstützung.
- In vielen Fällen erfolgt keine Berücksichtigung des für das Datenmanagement erforderlichen Aufwandes, was zu einer massiven Reduzierung der Anwendungsorientierung führt.

Abschließend kann festgehalten werden, dass bislang keine geeigneter Ansatz existiert, der die im Folgenden erläuterten Anforderungen voll erfüllt und somit im Rahmen der verfolgten Zielsetzung herangezogen werden könnte.

## **2.6. Anforderungen an ein Modell zur Bewertung eines nachhaltigen Rohstoffeinsatzes**

Im Rahmen der Studie „*STRATEGIE RESSOURCENEFFIZIENZ – IMPULSE FÜR DEN ÖKOLOGISCHEN UND ÖKONOMISCHEN UMBAU DER INDUSTRIEGESELLSCHAFT*“ des *BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT* wurden Methoden und Handlungsfelder zur Steigerung der Ressourceneffizienz bewertet. Im Zuge dieser Validierung wurde im Bereich der Managementinstrumente vor allem die Notwendigkeit eines kontinuierlichen, datenbasierten Informationsmanagements, eines stringenten Zielsystems, einer fortwährenden Produkt- und Dienstleistungsbewertung sowie nachhaltigkeitsorientierter ganzheitlicher Managementsysteme determiniert. Diese identifizierten Anforderungen dienen zur Verbesserung der Nachhaltigkeitsleistung von Unternehmen und ermöglichen eine Priorisierung als auch Bewertung technologischer Aspekte. Dabei spielen vor allem Rohstoff- und Werkstoffauswahl, Produktion und die Produktgestaltung eine bedeutende Rolle. */VGL. FPJT08, S.13 FF./*

Das zu entwickelnde Modell muss die Defizite existierender Methoden und Instrumente ausgleichen und die grundlegenden Anforderungen an des Nachhaltigkeitszielsystems */VGL. 2.1, 2.2 UND 2.3/* und einer anwendungsorientierten Lösung umsetzen. Die Anforderungen an einen Bewertungsansatz zur Bestimmung der Nachhaltigkeitsleistung basieren auf den beschriebenen Defiziten der analysierten Methoden und Instrumente. Dabei ist es von grundlegender Bedeutung, das Rohstoffverbrauchsverhalten zur Wiederbeschaffung in Relation zu setzen, um so einen Gestaltungsrahmen nachhaltiger Aktivitäten zu formulieren. */VGL. MMP+04, S. 3, S.8 F., PUB006, S.7, HENN01/*

Die Entwicklung des Modells zur Bewertung eines nachhaltigen Rohstoffeinsatzes richtet sich an folgenden Anforderungen aus:

1. Vergleichbarkeit der Aufwand-Ersparnis Relation

Die Bewertung der unternommenen Anstrengungen zur Reduzierung des Rohstoffverbrauchs in Relation zu den tatsächlich erreichten Einsparungen muss das zentrale Ziel der Entwicklung eines Modells zur Bewertung eines nachhaltigen Rohstoffeinsatzes sein. Die Vergleichbarkeit muss auf Grundlage eines konsistenten Kennzahlensystems erfolgen.

2. Standardisierung & Vergleichbarkeit

Das Bewertungsmodell muss im Kontext der Quantifizierung auf einheitlichen Maßen und Anwendungsprinzipien basieren. Durchgehende und standardisierte Bewertungseinheiten schaffen die Voraussetzung für Benchmarks zwischen Produkten, Prozessen, Unternehmen als auch Branchen, um eine unternehmensübergreifende Vergleichbarkeit zu gewährleisten. /VGL. HAFB07, S.13/

3. Einfachheit & Anwendungsorientierung

Der Verwendungsaufwand für Unternehmen muss durch die Nutzung, einfach zu erhebenden, Daten möglichst gering gehalten werden, um so potentielle Einsatzhemmnisse zu reduzieren. Die so geschaffene Anwendungsorientierung kann eine Verbreitung und den Gebrauch des Bewertungsmodells unternehmens- und branchenübergreifend maßgeblich unterstützen. Die Nachvollziehbarkeit der Bewertung muss zudem auf allen Unternehmensebenen gewährleistet sein, um eine breite Akzeptanz zu forcieren. /VGL. PUB006, S.42 F./

4. Selbstähnlichkeit

Die Bewertungsmethodik muss dem Grundsatz der Selbstähnlichkeit folgen und eine Bewertung von Einzelprozessen, unternehmensübergreifenden Prozessen als auch eine ganzheitliche Produktbewertung ermöglichen. Eine Skalierbarkeit ad infinitum der anzuwendenden Bewertungen muss im primären Fokus bei der Entwicklung des Modells stehen. /VGL. ZUSC98, S.81/

5. Entscheidungsunterstützung

Als aggregierte Anforderung kann die Funktionalität zur Entscheidungsunterstützung determiniert werden. Die Bewertungsergebnisse können als Entscheidungsunterstützung in relevanten Planungs- und Steuerungsprozessen eingesetzt werden und eine nachhaltigkeitsinduzierte Unternehmensausrichtung ermöglichen. /VGL. JKBP99, S.26 F., PUB006, S.9 FF., S.24 FF., ZUSC98, S.126/

Die identifizierten Anforderungen werden im folgenden Kapitel der Entwicklung eines Modells zur Bewertung eines nachhaltigen Rohstoffeinsatzes zu Grunde gelegt.

### 3. MODELL ZUR BEWERTUNG EINES NACHHALTIGEN ROHSTOFFEINSATZES

#### 3.1. Aggregiertes Produktionssystem

Die Grundlage eines industriellen Produktionssystems (IPS) ist die Verfügbarkeit von Rohstoffen, um die Herstellung von materiellen und immateriellen Produkten zu ermöglichen. In einem vorgelagerten Prozess entstehen die natürlichen Rohstoffe in einem natürlichen Produktionssystem (NPS). Die Exploration der Rohstoffe mit dem Ziel der industriellen Verwendung kann als Umweltentnahme und die Extrahierung von Schadstoffen während als auch nach der industriellen Produktion als Umweltbelastung<sup>21</sup> determiniert werden. Ferner kann die industrielle Herstellung von Sekundärrohstoffen als Umweltrückführung angesehen werden. Die Aggregation beider Systems lässt ein aggregiertes Produktionssystem (APS) entstehen. /VGL. ABBILDUNG 33/

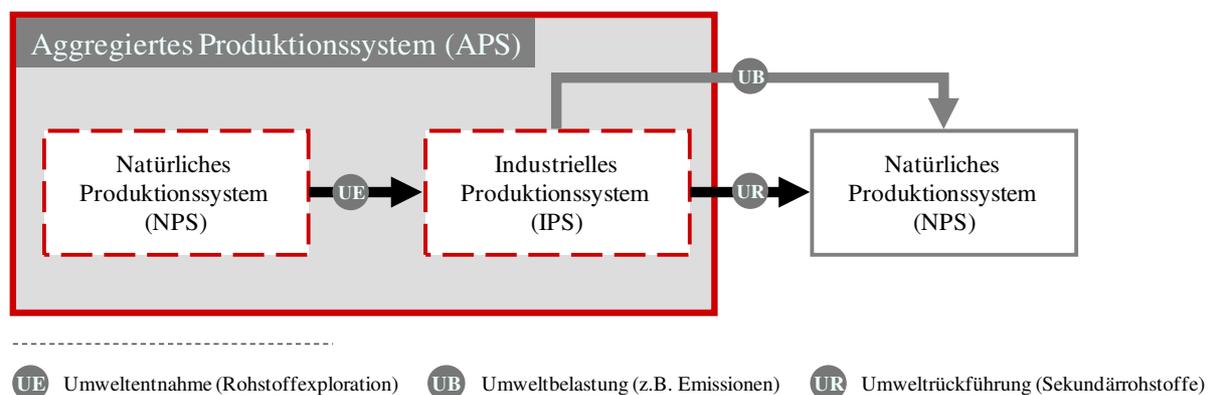


Abbildung 33: Zusammenhang zwischen NPS und IPS im Kontext eines aggregierten Produktionssystems /Eigene Darstellung/

Beide Produktionssysteme richten sich an den gleichen Erfolgsfaktoren /VGL. 3.2 UND 3.3/ aus, der wesentliche Unterschied liegt in der Beeinflussbarkeit der ablaufenden Prozesse. Bearbeitungszeiten, Durchlaufzeiten, Auslastungsgrade der Ressourcen und Bestände sind im industriellen Umfeld die wichtigsten Kriterien, die den Gegenstand kontinuierlicher Optimierungsbestrebungen repräsentieren. Die Erfolgsfaktoren des natürlichen Produktionssystems entziehen sich weitestgehend einer anthropogenen Einwirkungsmöglichkeit. Die zusammenfassende Betrachtung beider Systeme ist unter der genannten Zielsetzung dieser Arbeit zwangsläufig und führt zur Existenz eines aggregierten Produktionssystems, welches eine Identifikation von Verbesserungspotentialen im Rahmen einer ganzheitlichen Sichtweise ermöglicht.

<sup>21</sup> Der Aspekt der Umweltbelastung (Boden-, Luft- und Wasserverschmutzung) wird im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht. Der Betrachtungsgegenstand liegt auf der Rohstoffnutzung respektive -anspruchnahme.

Der Aspekt der Ganzheitlichkeit wird derzeit bereits im Rahmen von IPS-Betrachtungen unterstellt, wobei sich der zeitliche Bezugsrahmen beider Systeme maßgeblich unterscheidet. Optimierungsansätze in einem IPS orientieren sich an Wochen, Tagen oder sogar Stunden, wohingegen die zeitlichen Relationen, die einem NPS zu Grunde liegen, sich auf Jahrtausende oder sogar Jahrmillionen beziehen. Die Bandbreite derzeitiger Optimierungsanstrengungen erstreckt sich somit auf einen sehr schmalen, zeitlichen Grat und vernachlässigt die ihm eigene gegebene Anforderung der Ganzheitlichkeit. Im Gegensatz zum natürlichen Kreislaufsystem vollziehen sich die Prozesse der gesellschaftlichen Versorgung mit Gütern und Dienstleistungen in einer Durchflusswirtschaft. Die ökologische Umwelt dient dabei als Lieferant von Material und Energie sowie als Aufnahmemedium für unerwünschten Output, z. B. Emissionen oder Abfälle der industriellen Produktion.

Die zentrale Herausforderung der Nachhaltigkeit liegt in der Nivellierung der zeitlichen Dimensionen zwischen industrieller Produktion und der Entstehungszeit von Rohstoffen. Bisherige Aktivitäten scheitern schon im Vorfeld der Anwendung, da die Systemgrenzen der Betrachtung unzureichend ausgelegt sind. Eine Bewertung der vorgelagerten natürlichen Entstehungsprozesse in Relation zur Forderung einer immer rasanter werdenden industriellen Entwicklung fand bisher nicht statt. Eine Industrie, die ihren Aktionsradius lediglich an existenten Rohstoffbeständen ausrichtet, wird nie eine nachhaltige Entwicklung generieren. Die objektive Bestimmung der Nachhaltigkeitsleistung kann nur über die Quantifizierung des zeitlichen Entstehungs- bzw. Wiederbeschaffungsaspekt erfolgen. Das Fundament von monetären Bewertungsmaßstäben muss sich an dem zu quantifizierenden Zeitaspekt ausrichten, um die Zielintegration der Nachhaltigkeit langfristig zu vollziehen.

### **3.2. Erfolgsfaktoren eines IPS**

In industriellen Produktionssystemen werden eine Vielzahl von unterschiedlichen Kennzahlen und Kennzahlensystemen angewandt. Eine Übersicht von Kennzahlensystemen und deren Anwendungsbereiche gibt *KIRCHHAUSEN*. Auf Grundlage einer detaillierten Analyse praxiserprobter und theoretisch fokussierter Kennzahlensysteme erarbeitet sie die essenziellen Erfolgsfaktoren industrieller Produktionssysteme. */VGL. KIRC03, S.18 FF./*

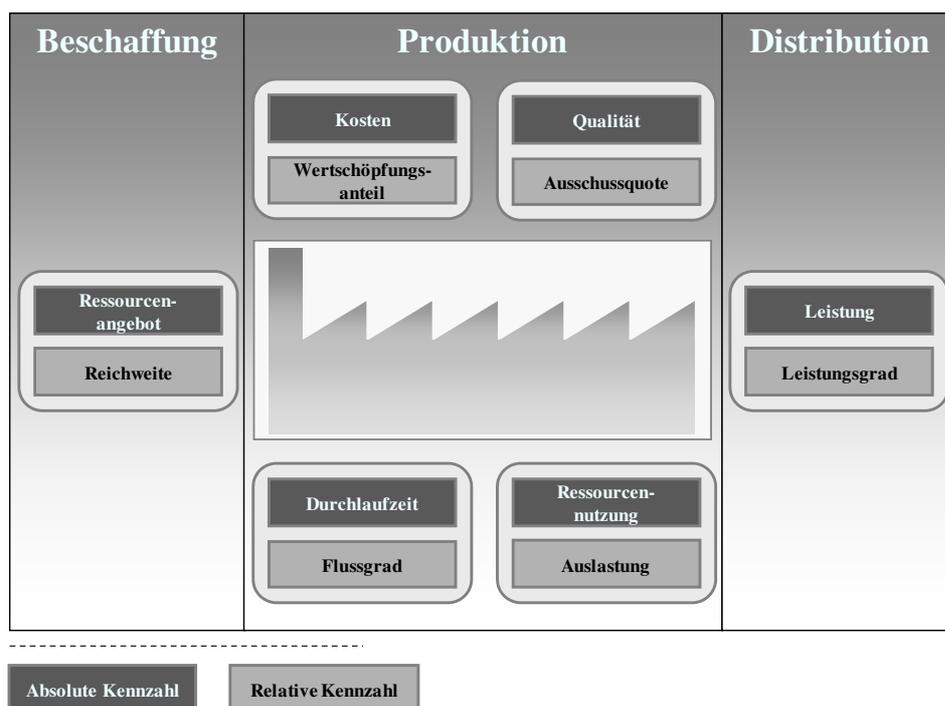


Abbildung 34: Kennzahlensystem zur Abdeckung relevanter Managementinteressen /i.A.a. KIRC03, S.72/

Die dargestellten Kennzahlen orientieren sich dabei an den Interessenfeldern des Managements, die als Hauptziel einen optimalen Einsatz und eine effiziente Steuerung der benötigten Ressourcen verfolgen. Der Betrachtungsgegenstand der Produktion und Logistik wird anhand von sechs Kennzahlenpaaren bewertet. Die Kennzahlenpaare setzen sich dabei aus einer absoluten und einer relativen Kennzahl zusammen. Die Darstellung der Kennzahlengruppen richtet sich an den Interessen der Unternehmung aus, dabei werden die verschiedenen Funktionsbereiche repräsentiert, die im Folgenden in Bezug auf ihre Bedeutung näher erläutert werden.

### 3.2.1. Beschaffung

Im Bereich der Beschaffung dienen Kennzahlen dazu, die kritischen Erfolgsparameter zu quantifizieren, die einen erheblichen Einfluss auf die Verfügbarkeit der für den Produktionsprozess notwendigen Ressourcen haben.

Zur grundlegenden Bedeutung der Beschaffung muss zunächst der Gegenstand der Beschaffungsaktivitäten näher untersucht werden. Den Funktionsumfang der Beschaffung versteht *KUMMER* als die Gesamtheit der Maßnahmen, die zur Versorgung eines Unternehmens mit den notwendigen Produktionsfaktoren notwendig sind, die nicht selbst erstellt werden. /VGL. *KUMM06, S.66/* Auch *WANNENWETSCH* beschreibt das Hauptziel der Beschaffung als die Materialbereitstellung beim Unternehmen hinsichtlich Art, Menge, Zeit und Qualität. So soll der Materialbedarf des Unternehmens, aber auch des angeschlossenen Lieferanten, sichergestellt werden. /VGL. *WANN07, S.105/*

Entscheidende Kennzahlen im Bereich der Beschaffung sind die Verfügbarkeit, die analog zum Ressourcenangebot nach *KIRCHHAUSEN* gesehen werden kann, die Durchlaufzeit im Wa-

reneingang und die Produktivität der Beschaffung als funktionale Einheit eines Unternehmens. /VGL. VDI4400A, S.5/ Neben diesen Kennzahlen spielt die Reichweite der beschafften Ressourcen eine entscheidende Rolle. /VGL. KIRC03, S.73 FF./ Die Reichweite kann auch als Subkennzahl der Produktion angesehen werden, da sich jedoch die vorrätige Reichweite an den Beschaffungsaktivitäten ausrichtet und nur von dieser Funktionseinheit beeinflusst werden kann, wird sie im Rahmen dieser Arbeit dem Bereich der Beschaffung zugeordnet.

### 3.2.2. Produktion

Das Produktionsmanagement, welches eine zentrale Planungs- und Führungsfunktion besitzt, wird durch steuernde Aktivitäten des Produktionscontrollings adäquat unterstützt. Die Abgrenzung zwischen Produktionsmanagement und -controlling wird in TABELLE 6 dargestellt, in welcher u. a. der informativ-unterstützende und koordinierende Charakter des Produktionscontrollings deutlich wird.

Tabelle 6: Produktionsmanagement und Produktionscontrolling /vgl. MUEL01, S.10/

	<b>Produktionsmanagement</b>	<b>Produktionscontrolling</b>
<b>Aufgabe</b>	Planung und Steuerung der Produktion	Koordination von Produktionsplanung und -steuerung mit der Informationsversorgung der Produktion
	Führung der Mitarbeiter	
<b>Kompetenz</b>	Treffen von Entscheidungen	Unterstützung und Beratung des Produktionsmanagements
<b>Ergebnisverantwortung</b>	unmittelbar (direkt)	mittelbar (indirekt)
<b>Genutzte Daten</b>	Mengen- und Zeitgrößen	Wertgrößen sowie Mengen- und Zeitgrößen

Bezüglich der zeitlichen Dimension lässt sich weiterhin ein strategisches und ein operatives Produktionscontrolling unterscheiden. WILDEMANN sieht die Steuerung von strategischen Investitionsvorhaben als Hauptaufgabe des strategischen Produktionscontrollings, um so „die Schaffung und Sicherung profitabler Unternehmensstrukturen“ zu garantieren, um damit „bestehende oder neue Erfolgspotentiale“ ausnutzen zu können. /VGL. WILD02, S.55/ In dieser durch das strategische Produktionsmanagement vorgegebenen Struktur dient das operative Produktionscontrolling der Unterstützung der entsprechenden Prozesse des kurz- bis mittelfristigen Produktionsmanagements mit den klassischen Aufgaben der Produktionsplanung und -steuerung (PPS).

Ein effizientes Produktionscontrolling basiert auf einer permanenten Erfassung erfolgsrelevanter Kennzahlen, die eine erfolgreiche Steuerung der Produktionsprozesse ermöglicht. Die wichtigsten Kennzahlen, die im Rahmen des Produktionscontrollings zur Anwendung kommen, sind Durchlaufzeit, Flussgrad, Auslastung und Bestand, aber auch qualitätsorientierte Größen wie Fehler- und Ausschussquoten. /VGL. VDI4400B, S.6/ Ein weiterer Grund für den

im operativen Produktionscontrolling weit verbreiteten Einsatz nicht-monetärer Kennzahlen liegt in einer beabsichtigten Vereinfachung für die Mitarbeiter in der Fertigung. Mengen- und Zeitgrößen schaffen ein intuitiv verständlicheres Bild einer Situation und bieten geeignetere Entscheidungshilfen als abstrakte Kosteninformationen. Darüber hinaus lassen sich nicht-monetäre Kennzahlen einfacher operationalisieren bzw. zu strategischen Kennzahlen aggregieren als dies bei finanziellen Größen der Fall ist. /VGL. WILD02, S.62 FF./

### 3.2.3. Vertrieb

Der Vertrieb stellt die Schnittstelle zum Kunden dar und fungiert gleichzeitig als Unternehmenseinheit, die sich mit Fragen der Markt-, Produkt- und Kundenanalyse auseinandersetzt. Die Zielsetzung des Vertriebs folgt dabei stringent den Zielen der Unternehmung. /VGL. PEPE01, S.97 F./

Die Distributionslogistik als Teil des Vertriebs hat die Aufgabe, die produzierten Güter den Kunden verfügbar zu machen. Das Aufgabenspektrum der Distributionslogistik beinhaltet alle Tätigkeiten, die den Güter- und Informationsfluss zwischen der Produktion und den Kunden planen, steuern und realisieren. Ferner kann die Entsorgungs- und Ersatzteillogistik zu den Aufgaben der Distributionslogistik subsumiert werden. /VGL. ENGE04, S.132/

Bedeutende Kennzahlen der Distributionslogistik sind Durchlaufzeit (bezogen auf die Distributionsprozesse), Produktivität, Lieferservice und Bestand. /VGL. VDI4400C, S.5; PLUE03, S.255; AIKT04, S.B5-31/

### 3.2.4. Zielsystem eines IPS

Das Zielsystem eines industriellen Produktionssystems richtet sich primär an Kennzahlen aus, die einen Bezug zu Zeit, Bestand und Effizienz haben. /VGL. TABELLE7/ Es sind keine grundlegenden Unterschiede zwischen den einzelnen Funktionsbereichen zu erkennen; es existiert lediglich bezogen auf die jeweilige Funktion eine abweichende Berechnung, die Bezugsbasis ist jedoch gleichbleibend. Eine Nennung der Bedeutung von Kostenaspekten wird an dieser Stelle bewusst vermieden, da die Bewertung der finanziellen Aspekte eines IPS lediglich eine Monetarisierung<sup>22</sup> der angeführten Kennzahlen darstellt.

---

<sup>22</sup> Die Monetarisierung stellt eine monetäre Bewertung von Kennzahlen dar, die Bewertungsintension ist jedoch in einer generellen Vergleichbarkeit zu sehen und stellt für sich keinen zentralen Gestaltungsparameter der industriellen Produktion dar.

Tabelle 7: Wichtige Kennzahlen des Zielsystems eines IPS

<b>Funktionsbereich</b>	<b>Kennzahlen</b>
<b>Beschaffung</b>	<b>Durchlaufzeit, Produktivität, Reichweite</b>
<b>Produktion</b>	<b>Durchlaufzeit, Produktivität, Flussgrad, Auslastung und Bestand, Fehler- und Ausschussquoten</b>
<b>Vertrieb</b>	<b>Durchlaufzeit, Produktivität, Lieferservice, Bestand</b>

Die Aktivitäten im Kontext der ständigen Verbesserung eines IPS richten sich an diesem Zielsystem aus, um so die resultierende Größe der Finanzen als oberstes Ziel zu optimieren. Die funktionsübergreifende Zielverfolgung wird als ganzheitlicher Ansatz zur stetigen Effizienzsteigerung des Gesamtsystems forciert. Im Rahmen der Ausweitung des Betrachtungsgegenstandes wurden in den letzten Jahren Konzepte und Ansätze zur lebenszyklusbasierten Gesamtoptimierung verfolgt. Eine Integration des vorgelagerten Bereiches der Ressourcenentstehung wurde bislang nicht vorgenommen.

Bei einer detaillierten Betrachtung des IPS-Zielsystems wird deutlich, dass vor allem zeitliche Aspekte im Vordergrund stehen. Die Durchlaufzeit als Leitgröße spielt in allen Funktionsbereichen die maßgebliche Rolle. Weitere Zielgrößen wie z. B. Flussgrad, Reichweite, Lieferservice haben ebenso einen stringenten Zeitbezug. Im Folgenden werden diese vornehmlich zeitlichen Aspekte in ein Zielsystem für ein NPS übertragen werden.

### **3.3. Das natürliche Produktionssystem**

In einem natürlichen Produktionssystem laufen Prozesse ab, die im Rahmen dieser Arbeit als vorgelagerte Prozesse<sup>23</sup> des industriellen Produktionssystems determiniert werden. Durch die natürliche Entstehung von Rohstoffen wird die Grundlage für eine industrielle Produktion geschaffen. Gemäß den Erfolgskriterien einer industriellen Produktion können auch in einem natürlichen Produktionssystem erfolgskritische Parameter im Kontext der Versorgungssicherheit ermittelt werden. Entgegen der Einflussmöglichkeit im Bereich der Industrie entzieht sich jedoch der Ressourcenentstehungsprozess einer maßgeblichen Beeinflussbarkeit. Anhand der Extraktion von bedeutenden Produktionsparametern ist jedoch eine qualitative Betrachtung der Ressourcen möglich, um so eine priorisierte Auswahl treffen zu können.

<sup>23</sup> Der Modellansatz hat als primären Betrachtungsgegenstand die Input-Relationen, die Output-Relationen (Umweltbelastungen) werden im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet /VGL. ABBILDUNG 33/.

### 3.3.1. Spezifikation des Betrachtungsgegenstandes

Der Betrachtungsgegenstand der vorliegenden Arbeit wird anhand der Bedeutung von einzelnen Branchen und deren wichtigsten Rohstoffe festgelegt. Die Bedeutung der jeweiligen Branchen lässt sich in Deutschland in zwei Branchenarten unterteilen; zum einen existieren Leitbranchen, die vor allem im internationalen Vergleich eine führende Rolle (bspw. Innovationsführer) einnehmen und zum anderen werden zunehmend Alleinstellungsmerkmale von Wachstumsbranchen erreicht, die zu einer herausragenden Rolle in der Weltwirtschaft führen können. /VGL. ABBILDUNG 35/

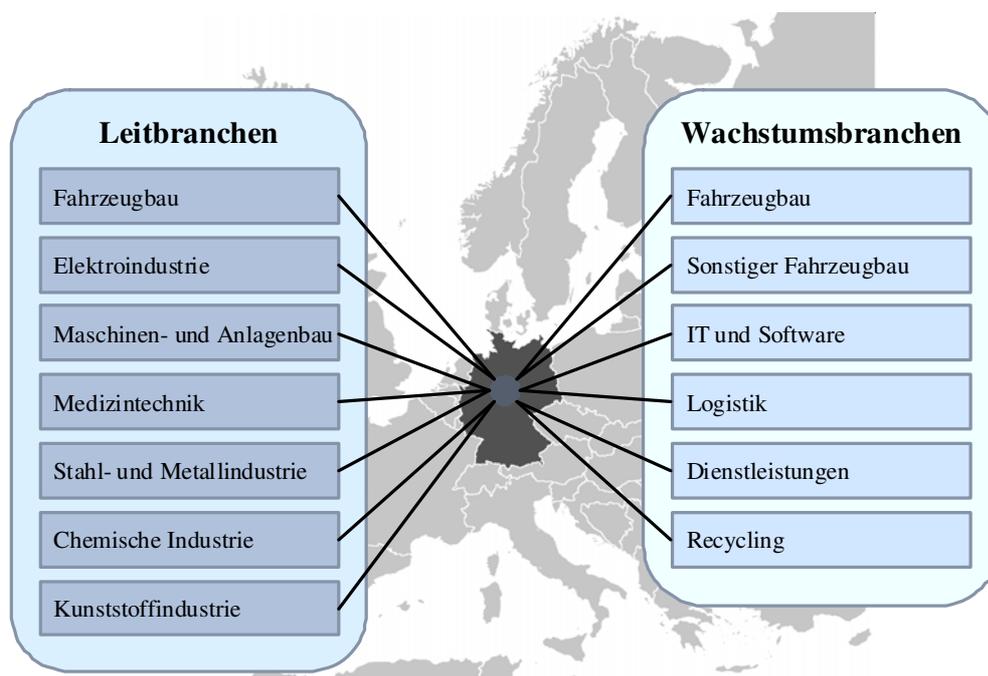


Abbildung 35: Leit- und Wachstumsbranchen in Deutschland /i.A.a. ARND06/

Im Folgenden werden die bedeutendsten Rohstoffe, die in den identifizierten Branchen zur Anwendung kommen, dargestellt. Auf Grundlage verschiedener Studien und Betrachtungen wurden die in TABELLE 8 identifizierten Rohstoffe einer eingehenden Untersuchung unterzogen. /VGL. BSF+07, S. 14 FF.; WVM08; FAB+05, S.71 FF./

Die Strukturierung der zu betrachtenden Rohstoffe kann in zwei Gruppen untergliedert werden. Zum einen in die Gruppe der Energierohstoffe und zum anderen in die Gruppe der Materialrohstoffe. Energierohstoffe werden für die Erzeugung von Energie genutzt. Hingegen die Verwendung von Materialrohstoffen sich auf eine hauptsächliche Nutzung als Ausgangsmaterial für die industrielle Erzeugung von Produkten und Dienstleistungen bezieht. Die Unterscheidung erfolgt nach dem primären Einsatzzweck.

Tabelle 8: Übersicht der bedeutendsten Materialrohstoffe /vgl. BSF+07, S. 14 ff.; WVM08; FAB+05, S.71 ff./

Rohstoff	Bedeutende Einsatzbranchen und -gebiete
Aluminium	Luft- und Raumfahrt, Fahrzeugbau, Bauindustrie, Elektroindustrie
Chrom	Stahlindustrie, Chemische Industrie
Eisen	Fahrzeugbau, Bauindustrie, Maschinen- und Anlagenbau
Kupfer	Elektroindustrie, Bauindustrie, Maschinen- und Anlagenbau
Magnesium	Stahlindustrie, Chemische Industrie, Flugzeugbau, Fahrzeugbau
Mangan	Stahlindustrie
Molybdän	Stahlindustrie, Schmierstoffe, Chemische Industrie, Elektroindustrie, Flugzeugbau
Nickel	Stahlindustrie, Flugzeugbau, Katalysatorenbau, Batterien
Silber	Medizintechnik, Elektroindustrie
Titan	Stahlindustrie, Medizintechnik, Chemische Industrie, Maschinen- und Anlagenbau
Wolfram	Stahlindustrie, Leuchtmittel
Zink	Fahrzeugbau, Bauindustrie, Stahlindustrie, Batterien, Medizintechnik
Zinn	Stahlindustrie, Elektroindustrie, Chemische Industrie

Des Weiteren spielen die Energierohstoffe eine bedeutende Rolle für die industrielle Entwicklung. Die wichtigsten Energieressourcen sind Erdöl, Erdgas sowie Braun- und Steinkohle. Deutschland besitzt jedoch eine sehr hohe Abhängigkeit von Energierohstoffimporten /VGL. 2.3.2.2/. Die Importabhängigkeit wird in den nächsten Dekaden noch weiter steigen, da Deutschland nur in geringem Umfang über eigene Energierohstoffe verfügt. Zudem wird die weltweite Nachfrage nach Energierohstoffen in den nächsten Jahren stark steigen, da vor allem die industrielle Entwicklung in Schwellenländern überproportional zunehmen wird. /VGL. BGR07, S.1 F./ Im Rahmen dieser Arbeit werden die folgenden Rohstoffe untersucht.

Tabelle 9: Betrachtete Rohstoffe der vorliegenden Arbeit

Materialrohstoffe			
Aluminium	Chrom	Eisen	Kupfer
Magnesium	Mangan	Molybdän	Nickel
Silber	Titan	Wolfram	Zinn
Zink			
Energierohstoffe			
Braunkohle	Erdölgas, Erdgas	Mineralöl	Steinkohle

Existente Kennzahlen zur Quantifizierung der Nachhaltigkeitsleistung sind den untersuchten Methoden und Instrumenten entliehen und besitzen folgende Defizite. /VGL. ABBILDUNG 36; SHKM02, HAWA01; FASS01; WITT03; GEBH03; MEYE04; SWO+03; LMSF03; LOBJ02/

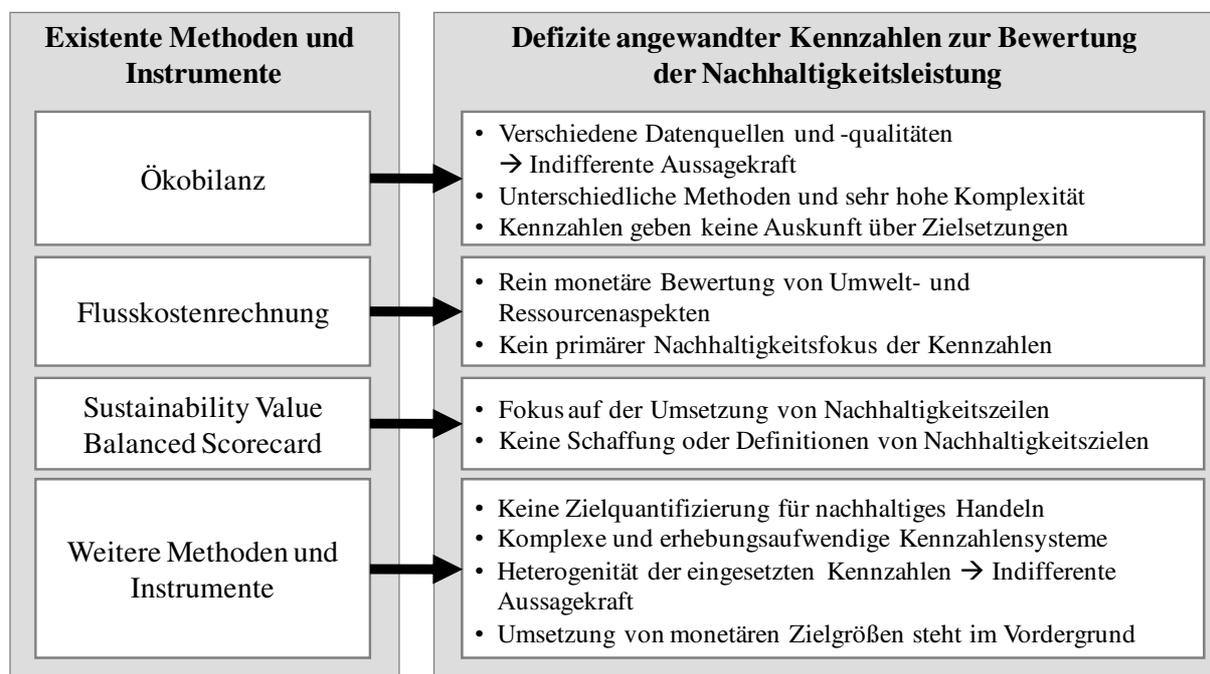


Abbildung 36: Defizite existenter Kennzahlen zur Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung /Eigene Darstellung/

Auf Grundlage der aufgezeigten Defizite ist es an dieser Stelle erforderlich ein Kennzahlensystem zu entwerfen, welches eine Negation der angeführten Nachteile zum Ziel hat. Das aggregierte Produktionssystem setzt sich aus dem natürlichen und industriellen Bestandteil zusammen. Die allgemeine Grundfunktion, die es zu bewerten gilt, ist die Produktion von Rohstoffen bzw. Mineralien respektive Gütern. Im Rahmen dieser Funktionsausrichtung ist es von vordergründiger Bedeutung die existenten Erfolgskennzahlen /VGL. TABELLE 7/ der industriellen Produktion auf ihre Semantik im Kontext einer erweiterten Anwendung zu untersuchen. Die Untersuchung zur Übertragbarkeit der IPS-Kennzahlen auf den Betrachtungsgegenstand des NPS bzw. APS wird in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 10: Validierung der Übertragbarkeit von IPS-Kennzahlen auf ein NPS

IPS-Kennzahl	Übertragbarkeit auf NPS	Quantifizierbarkeit
Durchlaufzeit	Die Durchlaufzeit der natürlichen Rohstoffe im NPS wird durch die <u>Entstehungszeit</u> repräsentiert.	Ja
Produktivität	Die Produktivität stellt einen nicht quantifizierbaren Aspekt des natürlichen Produktionsprozesses dar.	Nein
Reichweite	Die Reichweite kann durch den <u>Rohstoffbestand</u> dargestellt werden.	Ja

IPS-Kennzahl	Übertragbarkeit auf NPS	Quantifizierbarkeit
Flussgrad	Der Flussgrad stellt einen nicht zu beeinflussbaren Aspekt des natürlichen Produktionssystems dar und kann nicht in eine NPS-Kennzahl übertragen werden.	Nein
Auslastung	Eine Auslastungsreduzierung des natürlichen Produktionsprozesses im Sinne der Nicht-Inanspruchnahme von Primärrohstoffen wird über die <b>Recyclingrate</b> dargestellt.	Ja
Bestand	Der Bestand wird durch den weltweiten <b>Rohstoffbestand</b> repräsentiert.	Ja
Fehler- und Ausschussquote	Der natürliche Produktionsprozess entzieht sich einer Bewertungsmöglichkeit in Bezug auf Fehlprozesse, da eine anthropogene Einflussnahme nicht möglich ist.	Nein
Lieferservice	Der Lieferservice stellt einen nicht quantifizierbaren Aspekt des natürlichen Produktionsprozesses dar und kann nicht in eine NPS-Kennzahl übertragen werden.	Nein

Die zu erfassenden Kennzahlen beschränken sich stringent auf zeitliche Aspekte, dem zentralen Gestaltungsparameter und der wichtigsten Bezugsgröße der industriellen Produktion als auch der Nachhaltigkeit. /VGL. 3.2.4/ Die Umfang der zu erhebenden Kennzahlen folgt bewusst dem Grundsatz der Simplifikation, um zum einen die Anwendbarkeit zu fördern und zum anderen um den Terminus der Aussage des Kennzahlensystems nicht durch eine übergeordnete Komplexität zu gefährden.

Der grundlegende Modellparameter „Zeit“ wird auf zwei Arten erfasst, einerseits als absoluter Wert im Sinne der Entstehungszeit der Rohstoffe und andererseits als Relativwert in Bezug zu den weltweiten Rohstoffbeständen. Die Entstehungszeit gibt Auskunft über die externe<sup>24</sup> Wiederbeschaffungszeit. Des Weiteren wird die Recyclingrate erfasst, die eine Aussage über die interne Wiederbeschaffungszeit zulässt. Im Folgenden werden die einzelnen Kennzahlen detailliert erläutert und deren Berechnung dargestellt.

### 3.3.2. Rohstoffbestand

Der jeweils aktuelle, weltweite Rohstoffbestand ist ausschlaggebend für die Preissituation und die damit verbundenen Produktionsaktivitäten. Die Situation der Bestände ist jedoch dynamisch, so dass man im Kontext der Materialrohstoffe keineswegs von nicht erneuerbaren Rohstoffen sprechen kann.

<sup>24</sup> Die Unterscheidung zwischen extern und intern basiert auf der Art der Beschaffung. Eine externe Beschaffung symbolisiert die Beschaffung von Primärrohstoffen (Entnahme aus dem Ökosystem), wo hingegen eine interne Beschaffung die Verwendung von Sekundärrohstoffen (Recycling innerhalb des industriellen Zyklus) darstellt.

Die Genese von Rohstoffen findet fortlaufend statt, so dass auch in der jetzigen Zeit die Rohstoffbildung voran schreitet und den Bestand beeinflusst. Als Beispiel kann die Entstehung von Manganknollen angesehen werden. Manganknollen entstehen durch im Wasser gelöste Mineralien, die sich im Laufe der Zeit um einen wie auch immer gearteten Kern ablagern. Das Material des Kernes kann ein Gesteinsbrocken sein, aber auch ein achtlos ins Meer geworfenes Stück Abfall. Frühere wissenschaftliche Erkenntnisse basierten auf der Annahme, dass Manganknollen viele Millionen Jahre zur Entstehung benötigen. Entdeckte Bierdosenkerne lassen jedoch auf einen viel kürzeren Entstehungszeitraum schließen. Entscheidend für das Wachstumstempo scheint insbesondere der Mineraliengehalt des Wassers zu sein. Riesige Manganknollenfelder mit mehreren Kilometern Ausdehnung haben sich so oder so ähnlich beispielsweise in 5.000 Metern Tiefe vor der Küste Perus entwickelt. /VGL. DEKI06, S.2/

Ein weiteres Beispiel liefert die Entstehung von Erdöl. Das durchschnittliche Alter bewegt sich in zeitlichen Dimensionen von Jahr-Millionen. Die jüngsten Erdölfunde werden jedoch auf 4.000 Jahre datiert und basieren auf komplexen Geneseprozessen in den Weltmeeren. /VGL. ERVE03, S.5/

Eine Unterscheidung des Rohstoffbestandes erfolgt anhand der wirtschaftlichen und technischen Rahmenbedingungen und wird im Rahmen dieser Arbeit wie folgt differenziert:

Reserven stellen den Teil des Rohstoffbestandes dar, der momentan unter wirtschaftlichen Bedingungen (Markpreis und Förderkosten) gefördert werden kann. Die Reserven stellen eine Teilmenge der Mindestreservenbasis dar. /VGL. USGS08, S.195/

Die Mindestreservenbasis stellt den Teil des Rohstoffbestandes dar, der in Anbetracht minimaler chemischer und physischer Anforderungen in Bezug auf aktuelle Minen- und Produktionspraktiken förderbar ist. /VGL. USGS08, S.195/

Gegenwärtig stellt sich die Bestandssituation der betrachteten Rohstoffe wie folgt dar:

Tabelle 11: Weltweite Bestände der betrachteten Materialrohstoffe /vgl. USGS08; FAB+05/

Material-Rohstoff	Reserven [Mio. t]	Mindestreservenbasis [Mio. t]
Aluminium	25.000	65.000
Chrom	810	12.000
Eisen	80.000	230.000
Kupfer	470	1.600
Magnesium	2.200	12.000
Mangan	460	5.200

Material-Rohstoff	Reserven [Mio. t]	Mindestreservenbasis [Mio. t]
Molybdän	8,6	19
Nickel	67	150
Silber	0,27	0,57
Titan	650	2.000
Wolfram	2,9	6,3
Zink	220	1.900
Zinn	6,1	11

Tabelle 12: Weltweite Bestände der betrachteten Energierohstoffe /vgl. BGR07/

Energie-rohstoff	Reserven [Mio.]	Mindestreservenbasis [Mio.]
Mineralöl	163.000 t	245.000 t
Steinkohle	627.000 t	8.240.000 t
Braunkohle	100.000 t	1.197.000 t
Erdgas/Erdöl	181.000.000 m <sup>3</sup>	388.000.000 m <sup>3</sup>

Die ersten Überlegungen, dass die Rohstoffe der industriellen Produktion knapp werden können, gehen auf *MEADOWS* et al. zurück. In seinem Werk „*DIE GRENZEN DES WACHSTUMS*“ mahnt er bereits 1972 vor endlichen Rohstoffbeständen. /VGL. *MEZM72*, S.45/ Die determinierten Aussagen von *MEADOWS* beruhen auf Berechnungen zu den Reichweiten der Rohstoffe. Die neuen Berechnungen zu den Reichweiten wurden nicht wie bisher auf einer konstanten Produktions- bzw. Verbrauchsmenge bestimmt, sondern erstmals auf Basis eines exponentiell steigenden Verbrauchs. Die berechneten Ergebnisse stellten sich jedoch im Nachhinein als falsch heraus, da sie nicht der Realität entsprachen. Der entscheidende Fehler bei den Berechnungen liegt in der Annahme begründet, dass die Reserven statisch betrachtet wurden und mit der exponentiellen Zunahme des Rohstoffverbrauchs immer weiter sinken würden. Die Bestände sind jedoch einer starken Variation unterworfen, dass sie durch neue Explorationsaktivitäten erhöht werden können. /VGL. *FAB+05*, S.24 f. I. V. M. *MEZM72*, S.46 ff./

Die Varianz der Rohstoffbestände wird in *TABELLE 13* verdeutlicht. Die spezifischen Reserven sind jedoch in entscheidendem Maße von der Wirtschaftlichkeit der Rohstoffgewinnung abhängig.

Tabelle 13: Reserven beispielhafter Rohstoffe in den Jahren 1972 und 2004 [Mio. t]

Rohstoff	1972	2004	Rohstoff	1972	2004
<b>Bauxit</b>	1.170	23.000	<b>Chrom</b>	775	810
<b>Eisenerz</b>	100.000	80.000	<b>Mangan</b>	800	380
<b>Kupfer</b>	308	407	<b>Molybdän</b>	4,95	8,60
<b>Zink</b>	123	220	<b>Nickel</b>	66,5	62,0
<b>Zinn</b>	4,35	6,10	<b>Wolfram</b>	1,32	2,90

Insofern ist die fast ausschließliche Zunahme der Rohstoffreserven nicht verwunderlich, da im gleichen Zeitraum auch die Rohstoffpreise für Metalle in erheblichem Maße stiegen. /VGL. *ABBILDUNG 37*/ Die Zunahme der Reserven in Relation zu den Rohstoffpreisen lässt sich über die Abhängigkeit der Explorationstätigkeiten in Bezug zur Wirtschaftlichkeit dieser Aktivitäten erklären. Dies kann jedoch nicht als alleiniger Grund angeführt werden, da die realen Preise der Basismetallrohstoffe seit Anfang der siebziger Jahre gefallen oder zumindest auf gleichem Niveau geblieben sind. Der Anstieg kann ebenso auf den technologischen Fortschritt insbesondere bei der Exploration und Gewinnung der entsprechenden Erze zurückgeführt werden. /VGL. *FAB+05, S.26*/

Da aber auch der technologische Fortschritt über eine gesteigerte Ressourcennutzung realisiert wurde, kann man auch bei diesem Aspekt einer Verzerrung der monetären Bewertung des Rohstoffbestandes determinieren.

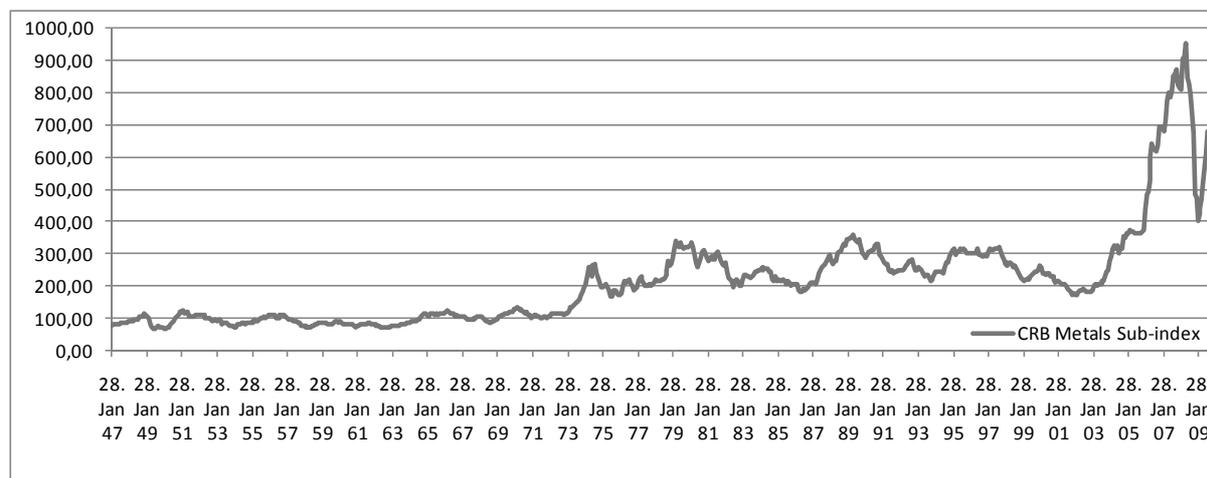


Abbildung 37: Entwicklung des CRB-Metal Sub-index‘ 1972-2009 /vgl. Commodity Research Bureau 2009/

Die Rohstoffknappheit entpuppt sich also nicht als eigentliches Problem. Der anthropogene Umgang mit den Rohstoffen ist das entscheidende Kriterium, das kritisch hinterfragt werden muss. Die derzeitige Rohstoffknappheit und die damit verbundenen hohen Rohstoffpreise zwingen Wirtschaft, Politik und Verbraucher dazu, sich dieser Herausforderung zu stellen. In

dieser Situation eröffnen sich neue Gestaltungsräume für Innovationen in den Bereichen Rohstoffförderung, Ressourceneffizienz, Recycling und Materialsubstitutionen.

Die Verteilung der Rohstoffe auf einzelne Teile der Welt gestaltet sich recht unterschiedlich. /VGL. TABELLE 14/ So entfällt ein Großteil der Rohstofflagerstätten auf wenige Länder, wie z. B. Australien, Chile, China, Russland, Südafrika und die USA.

Tabelle 14: Rohstoffe und deren größte Lagerstättenländer /vgl. USGS08/

<b>Rohstoff</b>	<b>Verteilung der größten Lagerstätten (Mindestreservenbasis)</b>			
<b>Aluminium</b>	Guinea (29,6%)	Australien (22,8%),	Jamaika (8,0%)	Brasilien (7,6%)
<b>Chrom</b>	Kasachstan (59,8%)	Südafrika (33,8%)	nicht relevant	nicht relevant
<b>Eisen</b>	Russland (19,4%)	Australien (16,4%)	Ukraine (12,5%)	Brasilien (9,9%)
<b>Kupfer</b>	Chile (35,7%)	USA (7,3%)	Peru (6,3%)	Indonesien (5,1%)
<b>Magnesium</b>	Russland (23,8%)	China (21,4%)	Nordkorea (20,7%)	Australien (3,8%)
<b>Mangan</b>	Südafrika (72,4%)	Ukraine (11,7%)	Australien (3,9%)	Indien (3,6%)
<b>Molybdän</b>	China (42,0%)	USA (29,4%)	Chile (13,0%)	Kanada (4,9%)
<b>Nickel</b>	Australien (23,5%)	Kuba (13,2%)	Neu Kaledonien (10,2%)	Russland (7,3%)
<b>Silber</b>	Polen (22,7%)	Mexiko (9,2%)	Peru (8,7%)	Australien (8,1%)
<b>Titan</b>	China (25,2%)	Australien (15,6%)	Indien (14,8%)	Südafrika (14,4%)
<b>Wolfram</b>	China (65,2%)	Kanada (8,2%)	Russland (7,3%)	USA (3,7%)
<b>Zink</b>	Australien (21,5%)	China (19,0%)	Kasachstan (7,4%)	Peru (6,2%)
<b>Zinn</b>	China (30,4%)	Brasilien (17,8%)	Malaysia (12,9%)	Peru (10,0%)

Die Entstehungszeit von Rohstoffen kann nicht lagerstättenunabhängig erfolgen, die erdgeschichtlichen Entstehungsprozesse gestalten sich unterschiedlich und sind an bestimmte Regi-

onen gebunden. Die dargestellte Länderverteilung der Rohstoffbestände wurde daher vor dem Hintergrund der Bestimmung der Entstehungszeit der betrachteten Rohstoffe vorgenommen.

### 3.3.3. Entstehungszeit

Natürliche Rohstoffe kommen in der Natur nicht im homogenen Zustand vor, sondern werden aus Mineralien gewonnen. Der Begriff Mineral wird auf das lateinische Wort „minera“ (Erz) zurückgeführt. Minerale sind homogene (chemisch und strukturell), kristalline und anorganische Substanzen, die natürlich entstanden sind. Ein Mineral ist natürlicher Bestandteil von Gesteinen (vielkörnige Mineralaggregate), aus denen die Erdkruste besteht. Eine Lagerstätte wird als natürliche, räumlich begrenzte Konzentration von Mineralien in und auf der Erdkruste definiert. /VGL. MATTOO, S.1 FF./

Das Alter der Erde wird nach heutigem Kenntnisstand auf ca. 4,6 Mrd. Jahre taxiert, wobei die ältesten Gesteinsfunde auf 3,8 Mrd. Jahre datiert werden. /VGL. MATTOO, S.441 F./ Die Erde gliedert sich in Form eines Schalenaufbaus in drei Hauptschalen. /VGL. ABBILDUNG 38/

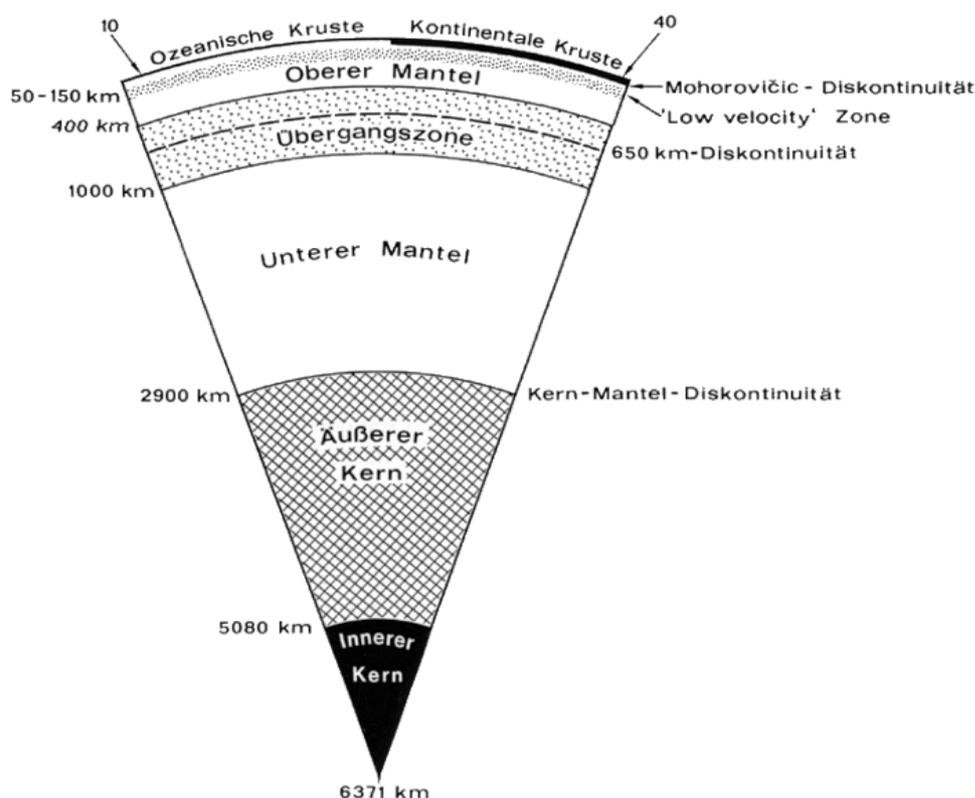


Abbildung 38: Gliederung der Erde /vgl. MATTOO, S.442 i. V. m. RING79, BABR08, S.7/

Die Hauptschalen sind die Erdkruste, der Erdmantel und der Erdkern, wobei diese durch die Diskontinuitätsflächen innerhalb des Erdkörpers begrenzt werden. Als Erdkruste wird die Zone von der Erdoberfläche bis zur Mohorovicic-Diskontinuität<sup>25</sup> definiert. Die Erdkruste

<sup>25</sup> Sie stellt eine Grenzfläche innerhalb des Schalenbaus der Erde dar und trennt die Erdkruste vom Erdmantel.

besitzt jedoch eine unterschiedliche Dicke, so dass die Variation sich in der Unterscheidung zwischen den Kontinentalplatten (30-60 km) und Ozeanplatten (5-7 km) äußert<sup>26</sup>. /VGL. MATT00, 441 F./ Die Erdkruste besteht aus unterschiedlichen Elementen, wobei die neun häufigsten Elemente bereits ca. 99% des Volumens einnehmen. Erstmals hat der amerikanische Geochemiker WIGGLESWORTH CLARKE (1924) die Durchschnittsgehalte der Elemente in der Erdkruste berechnet, daher spricht man in diesem Zusammenhang auch von den Clarke-Werten. /VGL. TABELLE 15/

Tabelle 15: Elementare Zusammensetzung der Erdkruste /vgl. PRS195, S.36/

Element	Anteil [%]	Element	Anteil [%]
Sauerstoff	46,6	Natrium	2,8
Silizium	27,7	Kalium	2,6
Aluminium	8,1	Magnesium	2,1
Eisen	4,7	Titan	0,4
Calcium	3,6	Wasserstoff	0,1

Die übrigen natürlich vorkommenden Elemente verteilen sich auf das verbleibende Prozent am Aufbau der Erdkruste. Lagerstätten solcher Elemente oder ihrer Verbindungen, wie zum Beispiel an Schwefel gebundene Metalle wie Kupfer, Blei oder Zink kommen deshalb nur selten in der Erdkruste vor. Diese Vorkommen wurden durch geologische Prozesse örtlich konzentriert und gelten in dieser Form als Lagerstätte. Lagerstätten stellen somit im Verhältnis zum normalen Aufbau der Erdkruste seltene und gegenüber der durchschnittlichen chemischen Zusammensetzung ausgesprochen anomale Anreicherungen der jeweiligen Elemente dar. Die Anreicherung der Elemente bis zu ihrer Bauwürdigkeit erfolgt unter dem Einfluss und im Verlauf verschiedenartiger geologischer und geo-chemischer Prozesse.

Lagerstätten sind natürliche, örtliche Konzentrationen mineralischer Rohstoffe in der Erde, die nach Größe und Inhalt für eine wirtschaftliche Gewinnung in Betracht kommen können. Sie bestehen aus bestimmten nutzbaren Mineralen. Nutzbare Minerale sind natürliche mineralische Bildungen einheitlicher physikalischer und chemischer Beschaffenheit, die aufgrund ihrer Eigenschaften direkt verwendet werden oder aus denen nutzbare Rohstoffe gewonnen werden können.

---

Lagerstätten sind lokal überdurchschnittlich reichhaltige, geochemische Anreicherung eines Minerals in der Erdkruste. /VGL. THAL05, S.21/

---

<sup>26</sup> In Bezug auf die Zielsetzung der Arbeit wird an dieser Stelle auf die detaillierte Darstellung der anderen Hauptschalen verzichtet und auf /MATT00, S. 447 ff./ verwiesen.

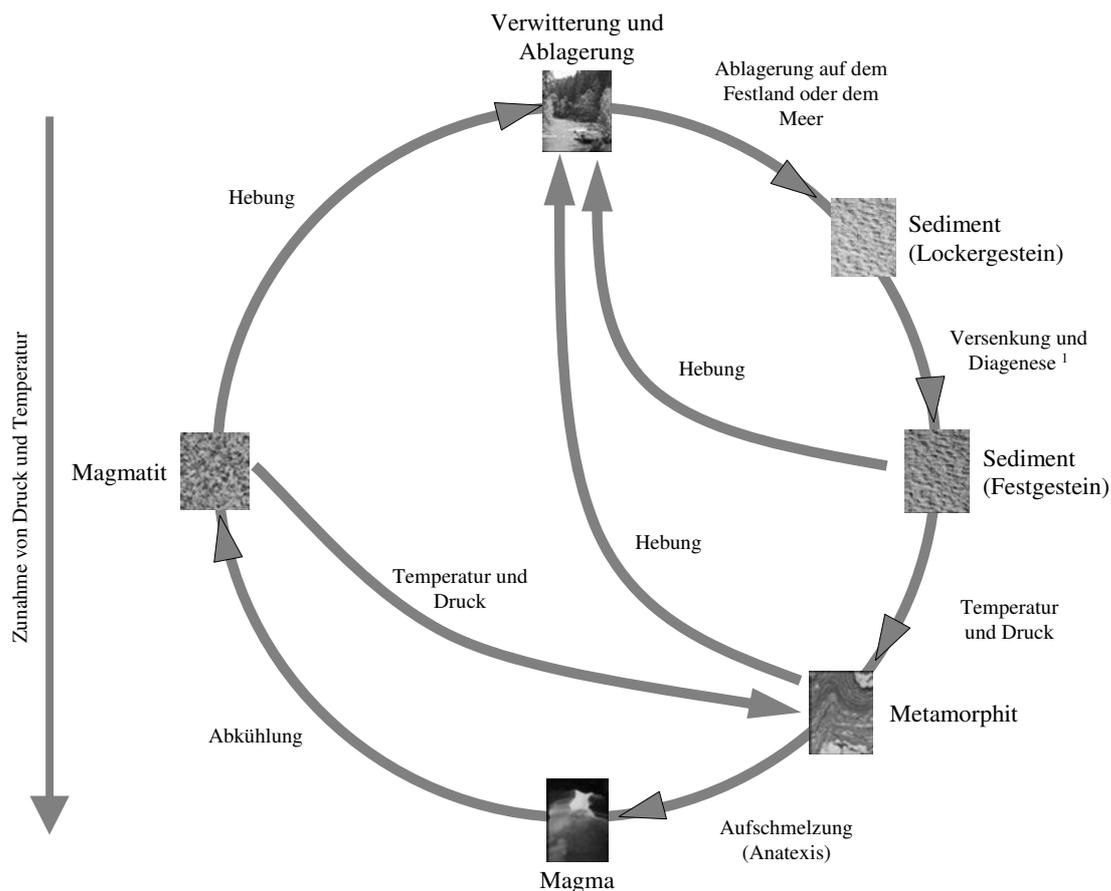
Die Bauwürdigkeit von Lagerstätten richtet sich an zwei maßgeblichen Kriterien aus, zum einen der technologischen Möglichkeit zum Abbau und zum anderen an den Anforderungen der Wirtschaftlichkeit der Förderaktivitäten. Des Weiteren spielen der Anreicherungsgrad, die Größe der Lagerstätte, strukturelle Faktoren (Lage, Verkehrsanbindung etc.) und politische Aspekte eine wichtige Rolle bei der Entscheidung bzgl. einer möglichen Förderung. /VGL. *TAHL05, S.21/*

Die Entstehung von Lagerstätten beruht auf komplexen Prozessen, die Ursachen von Stoffanreicherungen können vielfältiger Natur sein. Ausschlaggebend ist dabei die dynamische Interaktion von Erdkern, -mantel und -kruste sowie Hydro-, Bio- und Atmosphäre. Die Abkühlung und Entgasung des Erdinneren sowie die Entmischung des Gesamtsystems im Verlauf der Erdgeschichte nehmen eine wesentliche Rolle im Entstehungsprozess ein, man spricht in diesem Zusammenhang vom geologisch-geochemischen Kreislauf. Die Entstehung von Lagerstätten ist an die geologischen Prozesse der Erdgeschichte gebunden, die zeitliche Gliederung orientiert sich dabei an geotektonischen Epochen. /VGL. *THAL05, S.37 F./*

Nach ihrer Entstehung (Genese) werden die folgenden drei Hauptgesteinsgruppen unterschieden:

- **Magmatische Gesteine** sind Erstarrungsprodukte aus heißem, geschmolzenem Gesteinsmaterial. Erreichen die Schmelzen die Erdoberfläche und erstarren, werden sie Vulkanite genannt. Zu den magmatischen Gesteinen zählen auch die Tiefengesteine oder Plutonite. Das sind Gesteine, die in großen Tiefen der Erdkruste aufgeschmolzen wurden, nach oben in andere Gesteine eindringen und dort erstarren.
- **Metamorphe Gesteine** sind Umwandlungsprodukte aus ehemals anderen Gesteinen. Gesteine, die unter hohem Druck und hoher Temperatur standen, weil sie beispielsweise bei Gebirgsbildungen in große Tiefen versenkt wurden und unter Tausenden Metern anderem Gestein zu liegen kamen. Ursprünglich kann dieses Material ein magmatisches Gestein, schon vorher metamorph verändertes Gestein oder ein Sediment gewesen sein.
- **Sedimentgesteine** sind die dritte Gruppe von Gesteinen, welche in zwei Untergruppen unterteilt werden. Die eine besteht aus dem Erosionsmaterial der Gebirge, das Wasser und Wind mit Hilfe der Schwerkraft transportiert haben und das letztendlich in Senken, Seen und Ozeanen wieder abgelagert wurde. Die andere setzt sich aus biologisch und chemisch ausgefällten Sedimenten wie Kalkstein und Salzgestein, den sogenannten Evaporiten, zusammen. /VGL. *MATT00, S.183 FF./*

Diese drei Gesteinsgruppen stehen über den Kreislauf der Gesteine /VGL. *ABBILDUNG 39/* miteinander in Beziehung.



<sup>1</sup> Umbildung lockerer Sedimente zu mehr oder weniger festen Gesteinen durch langzeitige Wirkung von Überlagerungsdruck, Temperatur, chemischer Lösung und Ausscheidung.

Abbildung 39: Kreislauf der Gesteine /i.A.a. MEIS99, S.48/

Der Kreislauf der Gesteine ist ein Wechselspiel zwischen den Systemen des Klimas (z. B. Verwitterung) und der Tektonik (z. B. Hebung). Durch diese Beziehung wird der Transfer von Material und Energie zwischen dem Erdinneren, der Erdoberfläche, den Ozeanen und der Atmosphäre angetrieben. Durch die Wandlung des Klimas kann sich somit die Geschwindigkeit der klimatischen Prozesse verändern, es kann beschleunigend oder hemmend auf die Geschwindigkeit wirken, mit der Material in das Erdinnere zurückgelangt. /VGL. GJPS08, S. 79/

Der Gesteinskreislauf beginnt mit dem Aufstieg von Magma an die Erdoberfläche, an der die flüssige Masse erkalte und zur Entstehung magmatischen Gesteins führt. Durch Verwitterung und Erosion entstehen darauffolgend die Sedimente. Durch mögliche Überlagerungen findet der Transformationsprozess unter hohem Druck hin zu Sedimentgesteinen statt. Eine fortwährende Überlagerung (Diagenese) führt zu einer Absenkung der Sedimentgesteine und schließlich zur Entstehung von Metamorphiten, die durch Aufschmelzprozesse wieder zum Magma übergehen können. Mögliche Querverbindungen können durch tektonische Prozesse (z. B. Hebungen) hervorgerufen werden. /VGL. GJPS08, S. 79 F./

Für die Bildung wirtschaftlich wichtiger Anreicherungen von Mineralien ist dieser Kreislauf der bedeutendste Prozess. Die chemischen Elemente der Erde sind auf eine Vielzahl von Mi-

neralien verteilt und treten in Form unterschiedlichster Gesteine auf. In der Regel entsprechen die Konzentrationen der durchschnittlichen Verteilung in der Erdkruste. /VGL. TABELLE 15/ Die Ursache von höheren Mengenkonzentrationen liegt in den geologischen Prozessen der Erde und des Klimas. Diese Lagerstätten sind aber nur in begrenzter Anzahl bestimmter Regionen zu finden. Die Sulfide<sup>27</sup> sind die wichtigsten Minerale in Bezug auf wirtschaftlich abbaufähige Erzlagerstätten. Daneben sind Oxide<sup>28</sup> und Silicate<sup>29</sup> weitere bedeutende Erzminerale. Darüber hinaus gibt es noch eine Besonderheit des Elementes Gold, was nur gediegen auftritt, da es keine Verbindungen mit anderen Elementen eingeht. /VGL. GJPS08, S. 80 F./ Die Gewinnung von Elementen reduziert sich auf wenige Erze, die für eine Extraktion besonders geeignet oder durch einen hohen Elementgehalt gekennzeichnet sind. /VGL. TABELLE 16/

Tabelle 16: Rohstoffe und deren wichtigsten bauwürdigen Minerale

Rohstoff/ Element	Erze/ Erzminerale	Art des Minerals (Klassifikation nach Strunz)	Seite /MATT00 /	Anteil am Ele- ment [%]
<b>Aluminium</b>	Gibbsite	Bauxite (Silikat)	309	34,59
	Boehmite	Bauxite (Kalk)	309	44,98
	Diaspore	Bauxite (Kalk)	309	44,98
<b>Chrom</b>	Chromite	Oxide und Hydroxide (XY <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Verb.)	77	46,46
<b>Eisen</b>	Magnetite	Oxide und Hydroxide (XY <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Verb.)	76	72,36
	Hematite	Oxide und Hydroxide (X <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Verb.)	57 f.	69,94
	Goethite	Oxide und Hydroxide (Hydroxid)	77 f.	62,85
	Siderite	Karbonate (Calcitreihe 32/m)	88	48,20
<b>Kupfer</b>	Chalcocine	Metallische Sulfide Me:S > 1:1	32	79,85
	Bornite	Metallische Sulfide Me:S > 1:1	32 f.	63,31
	Chalcopyrite	Metallische Sulfide Me:S = 1:1	38 f.	34,63
<b>Magnesium</b>	Magnesit	Karbonate (Calcitreihe 32/m)	88 f.	28,83
	Dolomit	Karbonate (Dolomitreihe)	93 f.	13,18
	Olivine	Silikate (Nesosilikate)	113 ff.	25,37
<b>Mangan</b>	Pyrolusite	Oxide und Hydroxide (XO <sub>2</sub> Verb.)	74	63,19
<b>Molybdän</b>	Molybdenite	Metallische Sulfide Me:S ≤ 1:2	42 f.	59,94
<b>Nickel</b>	Pentlandite	Metallische Sulfide Me:S > 1:1	33 f.	34,21
<b>Silber</b>	Acanthite	Metallische Sulfide Me:S > 1:1	33	87,06
<b>Titan</b>	Rutile	Oxide und Hydroxide (XO <sub>2</sub> Verb.)	71 f.	59,94
	Ilmenite	Oxide und Hydroxide (X <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Verb.)	59	31,56
<b>Wolfram</b>	Wolframite	Wolframverbindung	103	60,63
	Scheelite	Wolframverbindung	102 f.	63,85
<b>Zink</b>	Sphalerite	Metallische Sulfide Me:S = 1:1	35 ff.	64,06
	Wurtzite	Metallische Sulfide Me:S = 1:1	37 f.	60,98
<b>Zinn</b>	Cassiterite	Oxide und Hydroxide (XO <sub>2</sub> Verb.)	72 f.	78,77

<sup>27</sup> Verbindungen von metallischen Elementen mit Schwefel

<sup>28</sup> Verbindungen von metallischen Elementen mit Sauerstoff

<sup>29</sup> Verbindungen von metallischen Elementen mit Silicium

Die Vorkommen dieser Erzminerale befinden sich häufig an den aktiven Kontinentalrändern, an denen Gesteinsmaterial subduziert wird, zur Aufschmelzung ozeanischer Lithosphäre und im Folgenden zur Bildung von Magma kommt. Im Zuge der Entstehung von hydrothermalen Lösungen können sich in diesen Regionen große Erzlagerstätten ausbilden. Die Klassifizierung der Lagerstätten richtet sich an drei Haupttypen aus. /VGL. GJPS08 S.81 F./

### **1. Hydrothermallagerstätten**

Durch das Eindringen hydrothermalen Lösungen in tektonisch zerrüttete Gesteine kommt es zur Abscheidung von Erzmineralen. Diese Art von Durchdringungsprozessen führt zu einer platten- oder schichtförmigen Ausbildung des Erzkörpers. Diese Art von Lagerstätten wird als Ganglagerstätten bezeichnet. Das Auftreten des Erzminerals konzentriert sich dabei zum einen auf die Gänge (im Gestein) und zum anderen auf die Nebengesteine, was durch die hydrothermale Lösung thermisch verändert wurde. Hydrothermale Lagerstätten sind der wichtigste Lagerstättentypus von Metallen. Die Abscheidung der Metalle kanalisiert sich sehr häufig in Form von Sulfiden, z. B. Sphalerite. /VGL. GJPS08 S.82/

Eine zweite Untergruppe der Hydrothermallagerstätten sind die Imprägnationslagerstätten. In diesen Lagerstätten liegen die Erzminerale stark verteilt vor und sind oftmals in magmatischem oder sedimentärem Gestein eingesprengt. Die Metallgehalte dieser Lagerstätten sind relativ gering, jedoch durch großräumige Imprägnationen sehr groß in ihrem Ausmaß, was einen wirtschaftlichen Tagebau ermöglicht. Besonders im Kupferabbau spielen sie eine bedeutende Rolle. /VGL. GJPS08 S.82 F./

### **2. Magmatische Lagerstätten**

Diese Lagerstätten entstehen durch eine frühzeitige Auskristallation von Mineralen bei gleichzeitiger Absenkung in einer Magmakammer (Intrusivkörper<sup>30</sup>) und der daraus entstehenden Anreicherung am Kammerboden. Sehr viele der Chromvorkommen (z. B. Südafrika) weisen eine solche Entstehungsgeschichte auf. /VGL. GJPS08 S.84 F., MATT00, S.264 FF./

### **3. Sedimentäre Lagerstätten**

Einige der größten Erzlagerstätten gehören diesem Lagerstättentyp an und basieren auf sedimentären Prozessen. Diese Ablagerungen entstehen durch mechanische Absetzungen auf Grundlage der Schwerkraft und durch chemische Fällungsprodukte in sedimentären Ballungsräumen (z. B. ruhigen Meeresregionen oder Gräben). Die Bildung der Sedimente vollzieht sich dabei über die Verwitterung (mechanisch und/oder chemisch), Transport<sup>31</sup>, Ablagerung oder Ausscheidung und ggf. Verfestigung (Diagenese). /VGL. GJPS08 S.85, MATT00, S.317 FF./

---

<sup>30</sup> Intrusion bezeichnet das Eindringen von Magma in existierende Gesteinskörper.

<sup>31</sup> Typische Transportmedien sind Wasser, Wind und Eis.

Auf eine weitere Detaillierung der Lagerstättentypen und deren Bildungsprozesse wird an dieser Stelle verzichtet und auf /MATT00/, /GJPS08/, /BABR08/ und /PRSI95/ verwiesen.

Die Hauptgebiete der Lagerstätten sind die Regionen der Erde, die eine starke tektonische Aktivität aufweisen bzw. im Verlauf der Erdgeschichte aufgewiesen haben. Gemäß dieser regionalen Einteilung der Erde weisen die verschiedenen Lagerstätten dementsprechende Alter auf. /VGL. MATT00, GJPS08, BABR08/ Eine tektonisch basierte Übersicht der Erde kann einen Überblick über die Altersregionen verschaffen. /VGL. ABBILDUNG 40/

Die Strukturierung der erdgeschichtlichen Entstehungszyklen stellt sich wie folgt dar:

Tabelle 17: Differenzierung der geotektonischen Entstehungszyklen der Erde

<b>Zeitalter</b>	<b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b>	<b>Paläo- zoikum</b>	<b>Neo- protero- zoikum</b>	<b>Meso- protero- zoikum</b>	<b>Paläo- protero- zoikum</b>	<b>Archai- kum</b>
<b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
<b>Zeitlicher Meridian [Mio. Jahr]</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150

Die geotektonischen Entstehungsprozesse der Erde lassen sich in sechs Hauptzyklen differenzieren. Für die folgenden Berechnungen wird der Meridian des Entstehungszyklus herangezogen.

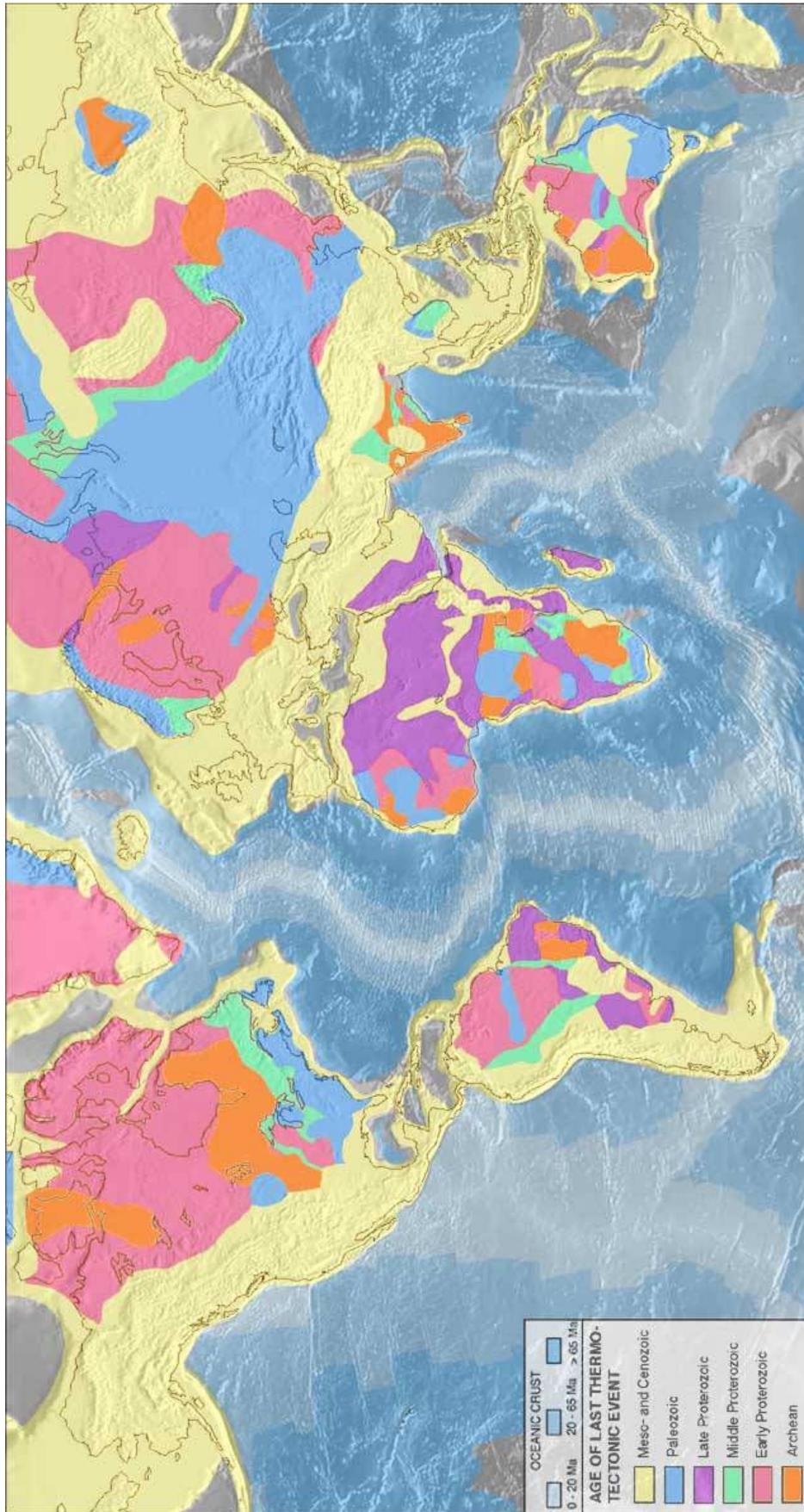


Abbildung 40: Geotektonische Alterskarte der Welt /vgl. USGS08, SCAM83/

Anhand der Altersskalierung kann die Bestimmung der Rohstoffentstehungszeit vorgenommen werden, welche sich primär an den bedeutendsten Lagerstätten ausrichtet. Für diese Quantifizierung werden folgende Daten benötigt:

- Örtliche Lage der größten Rohstoffbestände (mind. 50% der globalen Mindestreservenbasis) /VGL. TABELLE 14/
- Umfang der Mindestreservenbasis der größten Lagerstättenländer /VGL. TABELLE 11/
- Wichtigste Erze und Erzminerale zur Gewinnung der Rohstoffe /VGL. TABELLE 16/

Die Berechnung der Rohstoffentstehungszeiten /VGL. ABBILDUNG 41/ erfolgt an dieser Stelle beispielhaft für den Rohstoff Kupfer. Die weiteren Berechnungen können dem ANHANG entnommen werden.

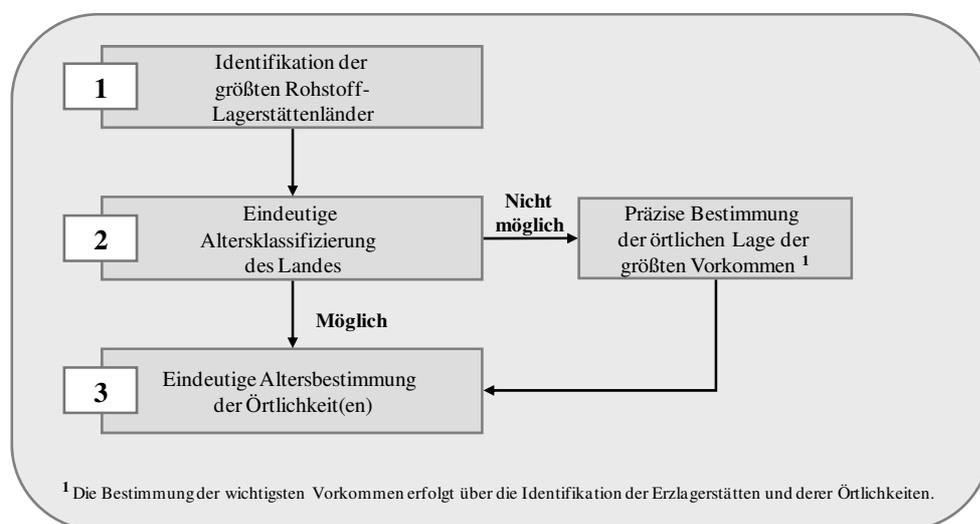


Abbildung 41: Vorgehen zur Berechnung der Rohstoffentstehungszeit /Eigene Darstellung/

Zur Berechnung der durchschnittlichen Entstehungszeit wurden folgende Annahmen getroffen:

- Das Alter der Ressourcen wird auf Grundlage repräsentativer Lagerstätten bestimmt, die mindestens 50% der globalen Vorkommen darstellen.
- Die Verteilung der Ressourcenmengen in den jeweiligen Lagerstätten der betrachteten Länder wird als gleichverteilt angenommen.

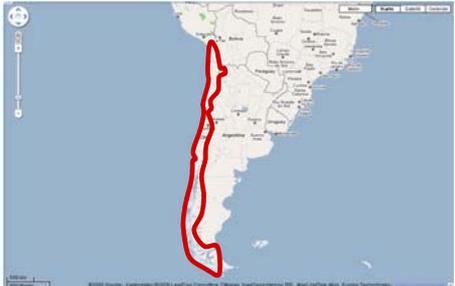
### Entstehungszeit von Kupfer

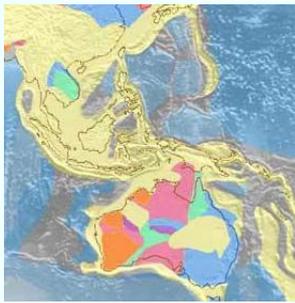
Die bedeutenden Vorkommen von Kupfer konzentrieren sich auf vier Länder, Chile, Peru, USA und Indonesien. Chile stellt den mit Abstand größten „Kupferproduzenten“ der Welt dar, es verfügt über 35,7% des Mindestreservenbasis-Bestandes. Es folgen die USA, Peru und Indonesien, mit jeweils 7,3%, 6,3% und 5,1% der Vorkommen. /VGL. USGS08, S. 54 F./ Daraus ergibt sich, dass sich 54,5% der globalen Rohstoffbestände auf vier Länder konzentrie-

ren. Chile, Indonesien und Peru sind gemäß der geotektonischen Altersbestimmung eindeutig zuordenbar. /VGL. TABELLE 18/

Es ist jedoch nicht in jedem Fall gegeben, dass sich die Reserven bzw. Mindestreservenbasis auf Länder erstrecken, die sich eindeutig zu einem geotektonischen Entstehungszyklus zuordnen lassen. In vielen Fällen sind die betrachteten Länder von mehreren Altersregionen geprägt, so dass die Zuordnung nur über eine spezifische Betrachtung der wichtigsten Erze /VGL. TABELLE 16/ und deren jeweiligen Lagerstätten erfolgen kann. In diesen Fällen wird auf Grundlage der Verteilung der länderbezogenen Lagerstätten eine Zuordnung vorgenommen. Dazu wird jede Lagerstätte einem geotektonischen Entstehungszyklus zugeordnet. Eine Übersicht der verschiedenen Lagerstätten lässt sich mit Hilfe der Lagerstätten-Datenbank *MINDAT* anfertigen. /VGL. TABELLE 19, ANHANG/ Im nächsten Schritt wird eine Zuordnung der Lagerstätten zu den geotektonischen Altersregionen vorgenommen.

Tabelle 18: Altersbestimmung der Kupferlagerstätten /Eigene Berechnungen/

	Alterslandkarte	Geografische Lage des Landes
Chile		
Alter der Region bzw. des Landes	<b>126.000.000 Jahre</b>	
Peru		
Alter der Region bzw. des Landes	<b>126.000.000 Jahre</b>	

	Alterslandkarte	Geografische Lage des Landes
Indonesien		
Alter der Region bzw. des Landes	<b>126.000.000 Jahre</b>	

Die Entstehungszeit der Kupferlagerstätten in den USA lassen sich nicht direkt bestimmen. Hierfür muss eine spezifische Lagerstättenanalyse durchgeführt werden. Dazu müssen zunächst die wichtigsten Erze bestimmt werden. /VGL. TABELLE 16/ Anschließend können die einzelnen Lagerstätten den geotektonischen Zeiträumen zugeordnet werden. /VGL. TABELLE 19/

Tabelle 19: Altersberechnung der Kupferlagerstätten der USA

Erz/Erzmineral	Übersicht der Lagerstätten - USA
Chalcocite	
Bornite	

Erz/Erzmineral	Übersicht der Lagerstätten - USA					
Chalcopyrite						
Zeitalter	Meso- zoikum bis Käno- zoikum	Paläo- zoikum	Neo- protero- zoikum	Meso- protero- zoikum	Paläo- protero- zoikum	Archai- kum
Zeitspanne [Mio. Jahr]	0-251	251-542	542-1.000	1.000- 1.600	1.600- 2.500	<b>2.500- 3.800</b>
Meridian	125,5	396,5	771	1.300	2.050	<b>3.150</b>
Gesamtanzahl der Chalcocite Vorkommen	905	152	0	0	65	<b>0</b>
Gesamtanzahl der Bornite Vor- kommen	720	120	0	0	28	<b>5</b>
Gesamtanzahl der Chalcopyrite Vorkommen	889	229	0	0	86	<b>3</b>
Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]	<b>238.042.942</b>					

Auf Grundlage dieser Berechnungen kann die gewichtete Entstehungszeit von Kupfer bestimmt werden. /VGL. TABELLE20/

Tabelle 20: Durchschnittliche Entstehungszeit der größten Kupferlagerstätten /Eigene Berechnungen/

Land	USA	Chile	Peru	Indonesien
<b>Anteil an Rohstoff-Mindestreservenbasis [%]</b>	13,26	68,18	11,36	7,20
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	283.042.942	126.000.000	126.000.000	126.000.000
<b>Gewichtetes Durchschnittsalter des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>146.386.375</b>			

Die Bestimmung der Entstehungszeiten der in dieser Arbeit betrachteten Rohstoffe erfolgt in Anlehnung an die Vorgehensweise für Kupfer. Die Übersicht der Entstehungszeiten aller Materialrohstoffe zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 21: Entstehungszeiten der Materialrohstoffe

Rohstoff	Rohstoffland	Durchschnittsalter der Lagerstätten	Gewichtete Entstehungszeit <sup>32</sup>
<b>Aluminium</b>	Australien	998.000.000	<b>1.740.000.000</b>
<b>Aluminium</b>	Brasilien	170.000.000	
<b>Aluminium</b>	Guinea	3.150.000.000	
<b>Aluminium</b>	Jamaika	126.000.000	
<b>Chrom</b>	Kasachstan	408.000.000	<b>1.408.000.000</b>
<b>Chrom</b>	Südafrika	3.150.000.000	
<b>Eisen</b>	Russland	1.032.000.000	<b>1.350.000.000</b>
<b>Eisen</b>	Australien	1.664.000.000	
<b>Eisen</b>	Ukraine	673.000.000	
<b>Eisen</b>	Brasilien	2.388.000.000	
<b>Kupfer</b>	Chile	126.000.000	<b>146.000.000</b>
<b>Kupfer</b>	USA	238.000.000	

<sup>32</sup> Die Gewichtung basiert auf den Vorkommen der Mindestreservenbasis des jeweiligen Landes. Zur Berechnung werden die vier größten Lagerstättenländer als repräsentativ angesehen und auf 100% normiert, um so die Berechenbarkeit des Alters zu ermöglichen.

Rohstoff	Rohstoffland	Durchschnittsalter der Lagerstätten	Gewichtete Entstehungszeit <sup>32</sup>
Kupfer	Indonesien	126.000.000	
Kupfer	Peru	126.000.000	
Magnesium	Russland	1.133.000.000	<b>1.075.000.000</b>
Magnesium	Nordkorea	2.050.000.000	
Magnesium	China	527.000.000	
Magnesium	Slowakei	126.000.000	
Mangan	Ukraine	3.150.000.000	
Mangan	Südafrika	3.150.000.000	<b>2.980.000.000</b>
Mangan	Australien	947.000.000	
Molybdän	China	547.000.000	
Molybdän	USA	183.000.000	<b>370.000.000</b>
Molybdän	Chile	126.000.000	
Molybdän	Kanada	504.000.000	
Nickel	Australien	2.887.000.000	
Nickel	Neu Kaledonien	126.000.000	<b>1.408.000.000</b>
Nickel	Kanada	1.994.000.000	
Nickel	Kuba	126.000.000	
Silber	Polen	126.000.000	
Silber	China	543.000.000	<b>260.000.000</b>
Silber	USA	140.000.000	
Silber	Mexiko	126.000.000	
Titan	China	535.000.000	
Titan	Australien	825.000.000	<b>620.000.000</b>
Titan	Südafrika	1.168.000.000	
Wolfram	China	362.000.000	
Wolfram	Kanada	350.000.000	<b>367.000.000</b>
Wolfram	Russland	552.000.000	
Wolfram	USA	138.000.000	
Zink	Australien	653.000.000	
Zink	China	364.000.000	<b>483.000.000</b>

Rohstoff	Rohstoffland	Durchschnittsalter der Lagerstätten	Gewichtete Entstehungszeit <sup>32</sup>
Zink	USA	450.000.000	
Zink	Kasachstan	397.000.000	
Zinn	China	210.000.000	<b>358.000.000</b>
Zinn	Malaysia	126.000.000	
Zinn	Peru	126.000.000	
Zinn	Brasilien	771.000.000	

Die Entstehungszeit der Energierohstoffe variiert nicht in dem Maße wie die der Materialrohstoffe. Die Entstehungszeiten von Kohle, Erdöl und Erdgas sind weltweit gleich, da sie auf Basis üppiger Vegetation entstanden und sich in diesem Zusammenhang nur bestimmte erdgeschichtliche Epochen eigneten. Daher kann die Bestimmung der Entstehungszeiten der Energieressourcen lagerstättenunabhängig vorgenommen werden.

### Entstehung von Braun- und Steinkohle

Die Entstehung von Steinkohle geht auf eine intensive Vegetation, die für den Inkohlungsprozess notwendig ist, zurück. Nachdem das Pflanzenmaterial abgestorben war, wurde es sehr schnell durch fallende Blätter abgedeckt. Durch die zusätzliche Überdeckung mit Wasser wurde der vollständige Abbau dieser Biomasse verhindert, da die zersetzenden Bakterien von der Sauerstoffzufuhr abgeschnitten wurden. Die abgestorbene Masse reicherte sich allmählich an und ging in Torf über. Die Anreicherung von Torf kann auch heute noch in verschiedenen Sumpfreionen und Torfmooren beobachtet werden. Im Zuge der voran schreitenden Überdeckung wurde der Torf weiter zusammengepresst, was einen zunehmenden Feuchtigkeitsentzug nach sich zog. Durch weitere Absenkung und damit verbundene Temperaturerhöhung stieg der Kohlenstoffgehalt weiter an, was zur Entstehung von Braunkohle führte. Eine fortwährende Temperaturzunahme und tektonische Deformationen ließen Hartbraunkohle und anschließend Steinkohle entstehen. /VGL. GJPS08, S.640/

Die weltweit verbreiteten Steinkohlelager sind hauptsächlich im Zeitalter des Karbons entstanden. Die bedeutendste Phase der weltweiten Steinkohlenbildung lag zwischen dem Oberkarbon und dem Unterperm. Kohlen dieser Entstehungsphasen sind auf allen Kontinenten zu finden. /VGL. RWEP04, S.7, KOEH02, S.1, PRSI95/ Das geologische Alter der Steinkohle befindet sich zwischen den zeitlichen Grenzen von 299-270 Millionen Jahre (Unterperm) und 300-330 Millionen Jahre (Oberkarbon). Im Durchschnitt ergibt sich ein Wert von 300.000.000 Jahre für die Entstehungszeit der Steinkohle. /VGL. PRSI95/

Die Haupteпоche der Entstehung der Braunkohle ist die Mitte des Tertiärs, das Miozän. /vgl. BVBK08, RWEP04, S.7/ Es ergibt sich eine mittlere Entstehungszeit von 14.000.000 Jahre. /VGL. GJPS08, S.601/

Tabelle 22: Entstehungszeiten der Kohlearten

Rohstoff	Durchschnittsalter der Kohleentstehung [Jahr]
Steinkohle	300.000.000
Braunkohle	14.000.000

### Entstehung von Erdöl und Erdgas

Zur Entstehung von Erdöl existieren zwei grundsätzliche Theorien, die Biogenetische und die Abiogenetische. Laut vorherrschender Forschungsmeinung wird jedoch angenommen, dass die Herkunft des Erdöls organischen Ursprungs ist. Demnach entstand Erdöl aus Meeresorganismen, die nach ihrem Absterben zum Meeresboden absinken und sich dort anreichern und von Sedimenten bedeckt werden. Diese Überreste zersetzen sich unter Luftausschluss und Einwirkung anaerober Mikroorganismen, wobei Faulschlamm entsteht. Dieser Schlamm wird im Laufe der Zeit weiter von Sedimenten überdeckt, zu Sapropelgestein (Erdölmuttergestein) verfestigt, weiter versenkt und gelangt somit in tiefere Bereiche, in denen hoher Druck und hohe Temperaturen herrschen. /VGL. GJPS08, 634 F./

Die Entstehung von Erdöl basiert auf der Existenz von bestimmten Druck- und Temperaturbedingungen, wie sie in einem geothermischen Gradienten in ca. 1000-3000 Meter (Erdölfenster) herrschen. Oberhalb dieses Bereiches sind die Temperaturen zu niedrig, um die Erdölbildung zu ermöglichen. Unterhalb des Erdölfensters /VGL. ABBILDUNG 42/ sind die Temperaturen zu hoch (ca. 150°C), so dass die Kohlenwasserstoffverbindungen des Erdöls in Methan übergehen und es zur Bildung von Erdgas kommt. Der thermische Bildungsbereich für Erdgas erstreckt sich von ca. 120°C bis 200°C. /VGL. GJPS08, 634 F., BABR08, S.171 F./

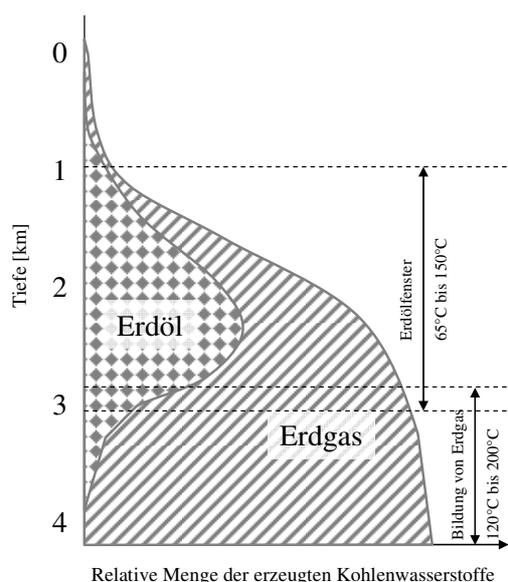


Abbildung 42: Bildungsbedingungen von Erdöl und Erdgas /i.A.a. BABR08, S.171/

Durch eine fortschreitende Kompaktion<sup>33</sup> des Erdölmuttergesteins beginnt die Abwanderung (Migration) der flüssigen oder gasförmigen Kohlenwasserstoffverbindungen in umliegende, permeable Gesteinsformationen. Diese sogenannten Speichergesteine (z. B. Sandstein oder poröse Kalksteine) dienen als Speichermedium des Erdöls oder -gases. Durch angrenzende, undurchlässige Gesteinsschichten (Falle) wird die Größe einer Lagerstätte bestimmt. Erdöl- und Erdgaslagerstätten entstehen in fast allen Fällen nicht in-situ. /VGL. GJPS08, 634 F., BABR08, S.171 F./

Das Alter von Erdöl- und Erdgaslagerstätten lässt sich anhand des Alters des Muttergesteins bestimmen. Das Muttergestein von Erdgas war die Steinkohle, der Inkohlungsprozess war die Voraussetzung für die Bildung von Erdgas. In großen Teilen Europas und Nordamerika kam es hauptsächlich im Oberkarbon (ca. 300 Millionen Jahre) zu derartigen Entwicklungen.

Die Bedingungen für die Bildung von Erdölmuttergestein finden sich hauptsächlich im Zeitalter des Unteren Jura (ca. 190-210 Millionen Jahre), so dass hier die Hauptentstehungszeit von Erdöl liegt. Es gibt auch jüngere und ältere Erdöllagerstätten, die jedoch nur einen sehr kleinen Teil der Lagerstätten repräsentieren. /VGL. WEG01, S.7 F., BPAG08, S.9 F./

Tabelle 23: Entstehungszeiten von Erdöl und -gas

Rohstoff	Durchschnittsalter der Erdöl- und Erdgasentstehung [Mio. Jahr]
Erdöl	200
Erdgas	300

### 3.3.4. Recyclingrate

Die Beschaffung von Rohstoffen kann grundlegend über zwei Wege erfolgen, zum einen über die direkte Beschaffung von Primärrohstoffen (extern) und zum anderen über die Beschaffung von Sekundärrohstoffen (intern). Sekundärrohstoffe werden durch Recyclingprozesse gewonnen und besitzen die gleichen Materialeigenschaften wie Primärrohstoffe. Unter dem Recyclingprozess wird das Schließen von Stoffkreisläufen mit dem Zweck der Zuführung zu einer Wiederverwendung verstanden. /VGL. VDI2243/ Der Recyclingprozess, insbesondere der von Metallen, kann in verschiedenen Arten erfolgen. /VGL. ABBILDUNG 43/

<sup>33</sup> Kompaktion ist eine Volumenverkleinerung von Sedimenten durch den Druck darüberliegender Gesteinsschichten.

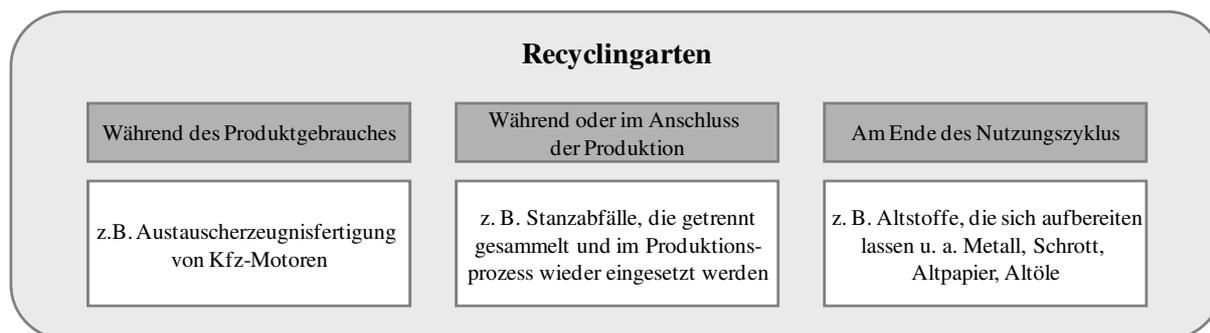


Abbildung 43: Überblick der verschiedenen Recyclingarten /i. A. a. HECL08/

Metalle sind die wichtigsten Ausgangsstoffe für Recyclingprozesse. Durch Einschmelzprozesse können Sekundärrohstoffe von hoher Qualität gewonnen werden. Die Erzeugnisse von Recyclingbetrieben werden somit zu inländischen Minen in Relation zur Ertragskraft (engl.: Urban Mining) und schonen die natürlichen Vorkommen an Erzen. Die Schließung der Rohstoffkreisläufe wurde in den letzten Jahren vor dem Hintergrund gestiegener Primärrohstoffpreise wirtschaftlich noch interessanter. Die ökonomischen Einsparpotentiale werden durch positive Effekte vor dem Hintergrund einer Erhöhung des Autarkiegrades in der Rohstoffbeschaffung verstärkt. /VGL. IDWK06, S.6/

Deutschland hat im Bereich des Rohstoffrecyclings eine führende Rolle in der Welt eingenommen. Allgemein liegen die Recyclingraten in Deutschland auf einem sehr hohen Niveau. Beispielsweise konnte im Jahr 2004 beim Recycling von Stahl eine Recyclingrate von ca. 55% erzielt werden. Im Bereich der Nichtmetalle sind ähnliche Raten erzielbar. /VGL. TABELLE 24/ Ein großer Vorteil bei der Gewinnung von Sekundärrohstoffen ist der Einsparungseffekt in den Energieaufwendungen. Ein repräsentatives Beispiel ist die Gewinnung von Sekundärzink, bei der nur ca. fünf Prozent der Energiemenge notwendig ist, die für die Primärproduktion verbraucht wird. /VGL. IDWK06, S.7/

Tabelle 24: Recyclingraten der betrachteten Rohstoffe /BGR07; FAB+05; USGS08; USGS98; USGS00/

Ressource (Element)	Recyclingrate [%]	Ressource (Element)	Recyclingrate [%]
<b>Aluminium</b>	35	<b>Nickel</b>	40
<b>Chrom</b>	17,5	<b>Silber</b>	32
<b>Eisen</b>	55	<b>Titan</b>	50
<b>Kupfer</b>	54	<b>Wolfram</b>	22,5
<b>Magnesium</b>	33	<b>Zink</b>	41
<b>Mangan</b>	20	<b>Zinn</b>	65
<b>Molybdän</b>	10		

Recyclingunternehmen in Deutschland haben im Jahr 2006 ca. 3,7 Milliarden € an Rohstoff- und Energiekosten durch die Gewinnung von Sekundärrohstoffen eingespart. Im Bereich des Metallrecycling werden in Deutschland bereits rund 20% der Kosten für Metallrohstoffe eingespart. Das größte Einsparungspotential liegt bei der Herstellung von Stahl und Aluminium. Auf Grundlage dieser Potentiale erwächst sich auch ein bedeutender Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekt im Kontext vermiedener Importausgaben, der sich auf ca. 60.000 Arbeitsplätze beläuft. /VGL. BDE06/

### 3.4. Gesamtmodell und Zielsetzung

Das Gesamtmodell zur Bewertung eines nachhaltigkeitsinduzierten Ressourceneinsatzes basiert auf den identifizierten Kennzahlen und deren Wirkungszusammenhänge. /VGL. ABBILDUNG 44/

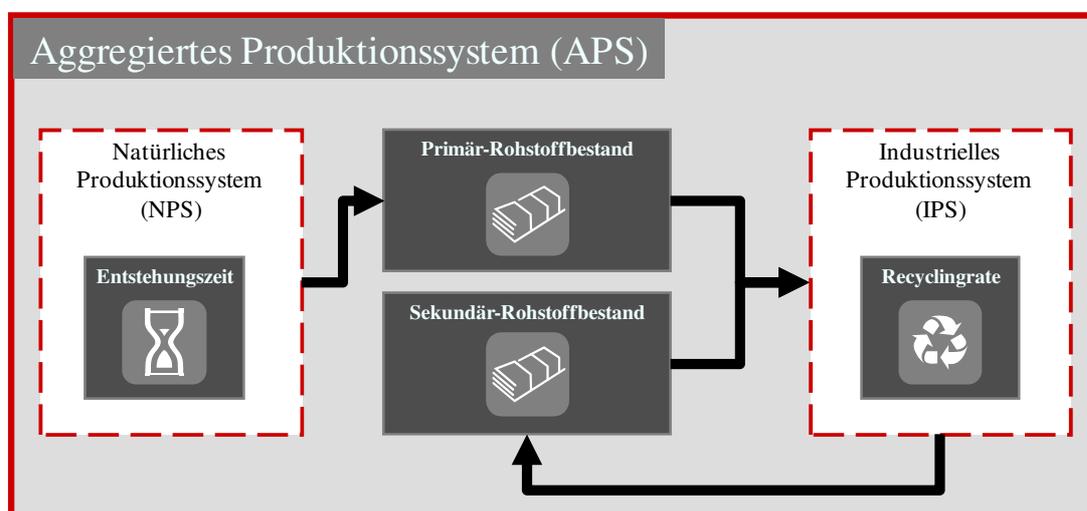


Abbildung 44: Gesamtmodell zur Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung /Eigene Darstellung/

Die quantifizierte Kennzahl der Entstehungszeit stellt den zentralen Bewertungsparameter dar. Auf Grundlage der Entstehungszeit kann eine richtungsweisende Aussage zur Zielsetzung in Bezug auf die Nutzungsdauer (ND) von Produkten und Dienstleistungen getroffen werden. Die errechnete Soll-ND stellt lediglich einen Idealwert dar und bedarf einer interdependenten Betrachtung in Kombination mit dem Rohstoffbestand und dem Recyclinggrad. Die sich daraus ergebene, nachhaltige Nutzungsdauer versteht sich als Zielstellung zur Steigerung der Nachhaltigkeitsleistung.

Der Rohstoffbestand gibt eine Auskunft über die zeitlich maximale Verfügbarkeit von Rohstoffen für die industrielle Produktion. Als singuläre Kennzahl besitzt der Ressourcenbestand nur eine geminderte Aussagekraft in Relation zur Nachhaltigkeitsleistung, erst in Zusammenarbeit mit der Entstehungszeit kann eine fundierte Aussage über die „Bestandsreichweite“ getroffen werden.

Unter Hinzunahme des Recyclinggrades kann der Autarkiegrad des Bestandes determiniert werden. Diese Kennzahl stellt den Grad der Entkopplung des IPS vom NPS dar und ist daher gleichzeitig die Zielsetzung der Aktivitäten im Bereich der Kreislaufwirtschaft. In Kombination mit der Entstehungszeit und dem Bestand kann zudem eine Aussage abgeleitet werden, die gleichzeitig eine Auskunft über die zeitliche Restriktion zur Erreichung einer adäquaten Nachhaltigkeitsleistung gibt.

## 4. METHODIK ZUR NACHHALTIGKEITSINDUZIERTEN PROZESSBEWERTUNG

Für die Bewertung des Rohstoffverbrauchs ist es zunächst notwendig, den Betrachtungsgegenstand zu spezifizieren. Dazu wird eine Klassifizierung vorgenommen, die den Verbrauch in einen fixen und variablen Bestandteil unterteilt.

### 4.1. Zuordnungsprinzip

Die zu entwickelnde Vorgehensweise zur Bewertung richtet sich in erster Linie am Betrachtungsgegenstand aus und an dem damit verbundenen Anforderungen zur Zuordnung des Ressourcenverbrauchs. Die kleinste zu bewertende Einheit stellt ein Prozess dar, dessen Ausführung einen Beitrag zur Erstellung eines Produktes bzw. einer Dienstleistung liefert. Die Summe der Produkte und Dienstleistungen stellt in einer übergeordneten Granularität das Leistungsspektrum eines Unternehmens dar. Die Abbildung 45 zeigt, dass ein zu entwerfendes Zuordnungsprinzip sich an Prozessen ausrichten muss, die sich zu den Ebenen Produkt und Unternehmen im Sinne der Selbstähnlichkeit aggregieren lassen. /VGL. ABBILDUNG 45/

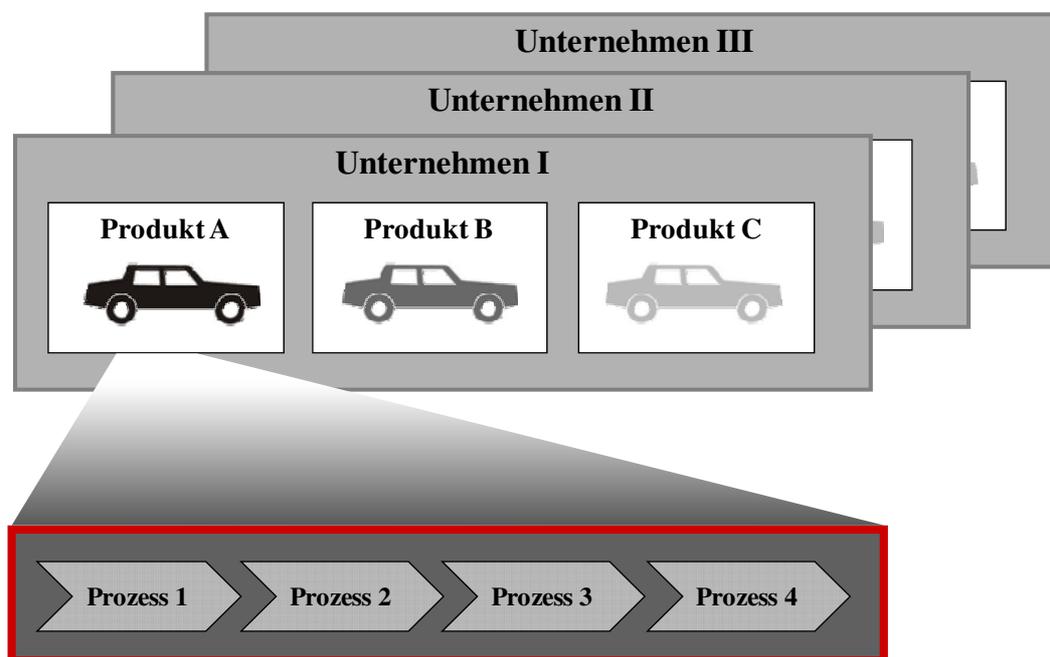


Abbildung 45: Grundlegende Wirkzusammenhänge des Zuordnungsprinzips /Eigene Darstellung/

Der zentrale Betrachtungsgegenstand wird von Prozessen repräsentiert, die einer vollständigen Beschreibung unterzogen werden müssen, um den Anspruch der Vollständigkeit zu erfüllen.

Als Grundlage der notwendigen Prozessbeschreibung wird das Dortmunder Prozesskettenparadigma nach *KUHN* herangezogen. Hierbei handelt es sich um ein selbstähnliches Modellierungsinstrumentarium, das Prozessabläufe auf beliebiger Detaillierungsebene, vom Elementarprozess bis zum standortübergreifenden Unternehmensprozess, darstellen kann. Die Selbstähnlichkeit bietet die Möglichkeit die Modellstruktur eines Prozesskettenelementes über unterschiedliche Betrachtungsebenen zu wiederholen, um so grundsätzlich gleichartige Beeinflussungsmöglichkeiten der Prozesseigenschaften zu bieten. /VGL. *KUHN95, S.37 FF./*

Diese Prozesseigenschaften lassen sich über nachfolgende Strukturelemente vollständig beschreiben:

- **Quellen und Senken:**

Quellen und Senken bilden die Schnittstellen eines jeden Prozesskettenelements zur Umwelt bzw. vor- und nachgelagerten Prozessen. Über eine Quelle wird eine Systemlast in Form von Leistungsobjekten eingeschleust. Die Quelle kann ein Leistungsobjekt dabei aktiv in den Prozess „drücken“ oder nach Anforderung des Prozesses freigeben. Senken stellen den Bedarf bzw. das Abrufverhalten des nachfolgenden Prozesses dar.

- **Prozesse**

Insgesamt werden nach *KUHN* vier Prozesstypen differenziert: Bearbeiten, Prüfen, Transportieren und Lagern bzw. Puffern. Lediglich der Bearbeitungsprozess wird als wertschöpfender Prozess bezeichnet während die Restlichen nur eine unterstützende Wirkung haben, aber keinen Mehrwert am Produkt bzw. der Dienstleistung schaffen.

- **Lenkung**

Sämtliche Prozesse verfügen über Regeln und Steuerungsvorschriften, mit denen die Prozesse des jeweiligen Prozesskettenelementes koordiniert und geregelt werden. Insgesamt werden fünf Lenkungsebenen mit direktem Bezug zum Abstraktionsgrad identifiziert. Dabei handelt es sich um die normative, administrative und dispositive sowie die Netzwerk- und Bausteinebene.

- **Ressourcen**

Für die Leistungstransformation benötigt jeder Prozess bestimmte Ressourcen. Als die sechs knappen Betriebsmittel der Logistik<sup>34</sup> gelten die folgenden Ressourcen: Personal, Bestand, Flächen, Arbeitsmittel, Arbeitshilfsmittel und Organisationsmittel.

- **Strukturen**

Über Strukturen werden vor allem das Layout sowie Informationsfluss- und Organisationsstrukturen in den Prozessen hinterlegt. Im Gegensatz zu dem zuvor beschriebenen Parameter Prozesse sind Strukturen statisch ausgebildet, langfristig aber dennoch ver-

---

<sup>34</sup> Die Ressourcen werden als „knapp“ bezeichnet, weil die Lenkung zur Erreichung einer definierten Leistung einen möglichst sparsamen Einsatz zum Ziel hat. /vgl. *KUHN95, S.46/*

änderbar. /VGL. KALS02, S.15 F./ Sie haben einen großen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit eines Prozesses.

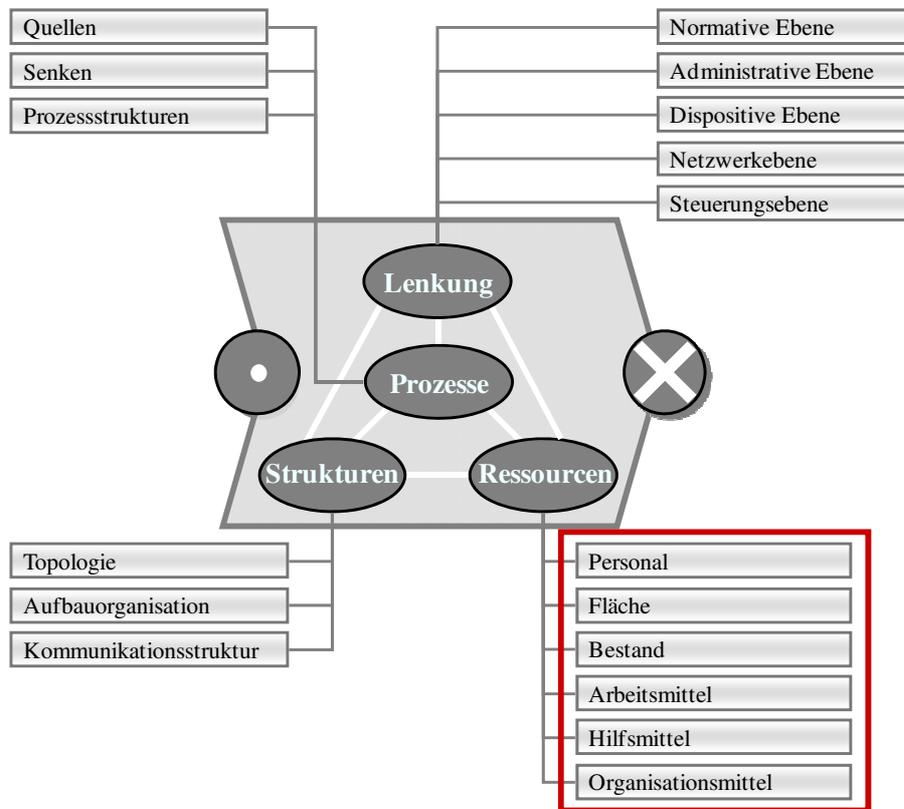


Abbildung 46: Vollständige Darstellung eines Prozesskettenelements /i. a. A. KUHN95, S. 47/

Die Zuordnung des Rohstoffverbrauchs erfolgt im Parameter der Ressourcen, der im Folgenden detailliert dargestellt und untersucht wird. Das Problem bei der Findung der richtigen Prozessgestaltung liegt darin, dass jede Veränderung eines Prozesses die Strukturen, Lenkung und Ressourcen anderer Prozesse beeinflusst. /VGL. KUHN95, S.49 FF./

### Ressourcenmodell

Zur Leistungstransformation bedient sich jeder Prozess personeller, technischer und informationstechnischer Ressourcen. Neben den erwähnten Ressourcen nach KUHN wird in der Literatur die Erweiterung der Ressourcen kontrovers diskutiert. Nach FUCHS werden die Ressourcenklassen Personal, Bestand, Fläche, Arbeitsmittel, Arbeitshilfsmittel, Organisationsmittel, Dienstleistungen, Betriebsstoffe, Energie und Information in das Ressourcenmodell integriert. /VGL. FUCH05/

Für die vorliegende Arbeit werden Dienstleistungen, Betriebsstoffe, Energie und Informationen nicht als eigenständige Ressource in das Ressourcenmodell integriert. Dienstleistungen stellen Fremdprozesse dar und werden über die Inputrelation Quelle als Initialkosten eines Leistungsobjekts berücksichtigt, während Betriebsstoffe, Energie und Informationen in den Ressourcen Arbeits- und Organisationsmitteln bereits erfasst sind. Eine separate Aufnahme

würde eine doppelte Erfassung darstellen. Finanzmittel sind laut *FUCHS* für logistische Systeme ebenfalls nicht als eigenständige Ressourcenklasse zu definieren, weil keine unmittelbar abhängigen Kosten durch die Bereitstellung von Finanzmitteln erzeugt werden. */VGL. FUCH05, S.49 FF./* Zur inhaltlichen Abgrenzung werden die Ressourcenklassen im Folgenden kurz erläutert.

- **Bestand**

Nach *PIELOK* ist die Ressource Bestand mit der folgenden Definition charakterisiert: „Die Durchlaufzeit und die Kapazitätsauslastung (und damit die Leistungserstellung eines Prozesskettenelementes) sind direkt abhängig von den Beständen. Der mittlere Bestand beschreibt die mittlere Anzahl aller Leistungsobjekte (Aufträge, Material etc.) in einem Prozesskettenelement (in Abhängigkeit von der mittleren Durchlaufzeit und dem mittleren Durchsatz).“ */VGL. PIEL95, S.73/* Bestände haben einerseits Einfluss auf die unternehmerischen Zielgrößen, da sie in direktem Zusammenhang mit den Kapazitäten, Durchlaufzeiten sowie dem Kundennutzen stehen, andererseits verursachen sie Kosten. */VGL. KUHN98, S.20/*

- **Hilfsmittel**

Die Hilfsmittel haben ihren primären Nutzungshorizont im Bereich der Logistik. So handelt es sich vornehmlich um Ladehilfsmittel, auf denen die Leistungsobjekte befördert werden. Beispielhaft seien für Ladehilfsmittel die Palette, der Werkstückträger, die Gitterbox und die Vollwandboxpalette genannt. */VGL. JÜNE89, S.134/* Ferner kann es sich auch um Werkzeuge und Vorrichtungen für Produktionsanlagen handeln. */VGL. PIEL95, S.74, ZANT99, S.76/* Ein weiterer Bereich der Hilfsmittel erstreckt sich auf die Betriebsstoffe (z. B. Energie, Schmierstoff und Versorgungsmedien), die zur Prozessdurchführung benötigt werden. */VGL. POHL00, S.27/*

- **Arbeitsmittel**

Mit der Ressource Arbeitsmittel sind alle Objekte gemeint, die ein Leistungsobjekt transformieren. Entsprechend der vier unterschiedlichen Prozesse (Bearbeiten, Prüfen, Lagern, Transportieren) können die Arbeitsmittel zugeordnet werden. Beispielhaft seien die Drehmaschine (physische Veränderungen des Leistungsobjektes), das Flurförderzeug (räumliche Veränderungen am Leistungsobjekt) sowie das Hochregal (zeitliche Veränderung am Leistungsobjekt) genannt. */VGL. PIEL95, S.74/*

- **Organisationsmittel**

Zu den Organisationsmitteln zählen Informationsträger (z. B. Transponder) als auch Informationsspeicher und technische Realisierungen, die notwendig sind, um die Informationen mit Hilfe von Rechnern verwalten, übertragen und bearbeiten zu können. */VGL. KUHN97, S. 30; PIEL95, S.73 F./*

Die dargestellten Ressourcen werden im Rahmen des Transformationsprozesses von Leistungsobjekten benötigt und stellen eine vollständige Beschreibung der Inputrelation eines Prozesskettenelementes dar. Die IR Personal und Fläche entziehen sich einer Möglichkeit zur direkten Quantifizierung im Sinne der NR und werden im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter

betrachtet. Ferner wird der Argumentation von *FUCHS* gefolgt, dass es sich bei Finanzmitteln nicht um IR handelt, da sich die Finanzmittel als resultierende Größe aus den anderen Zielgrößen ergeben und sich einer direkten Beeinflussbarkeit entziehen. /VGL. *FUCH05*/

Das Ressourcenmodell zeigt jedoch Weiterentwicklungspotential in Bezug auf eine nachhaltigkeitsinduzierte Prozessbewertung. Dazu muss eine grundlegende Unterscheidung in natürliche Rohstoffe (NR), industrielle Rohstoffe (IR) und Industrieressourcen (InR) vorgenommen werden. Das übergeordnete Ziel ist die direkte Zuordnung auf Basis des jeweiligen NR-Verbrauchs einer Industrieressource. Daher muss die Klassifizierung der Ressourcen nach *KUHN* adaptiert werden, um eine einheitliche Zurechenbarkeit der NR zu den IR zu ermöglichen und so der zentralen Anforderung an einen nachhaltigkeitsinduzierten Ansatz Rechnung zu tragen. /VGL. *ABBILDUNG 47* /

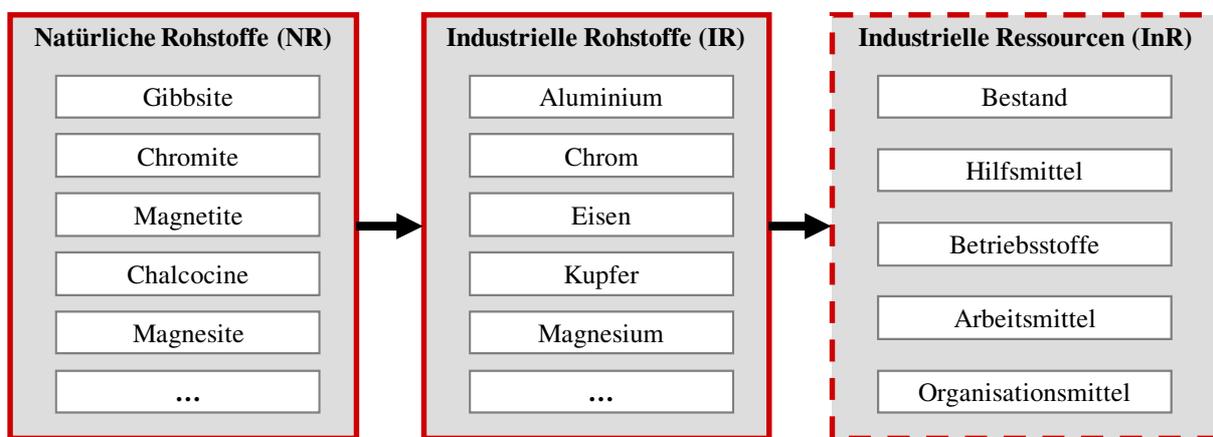


Abbildung 47: Zusammenhang zwischen NR, IR und InR /Eigene Darstellung/

Zur weiteren Spezifizierung des Zuordnungsprinzips wird im zweiten Schritt eine Separierung des IR-Einsatzes in einen fixen, nicht beeinflussbaren<sup>35</sup>, und einen variablen Bestandteil vorgenommen. Diese Unterscheidung richtet sich an der Charakteristik der Leistungsobjekte aus. Bei Leistungsobjekten wird zwischen Temporär- und Permanentobjekten unterschieden. Temporärobjekte stehen einem Prozess nur für eine bestimmte Zeit zur Verfügung, Permanentobjekte müssen hingegen dauerhaft verfügbar sein.

Auf Grundlage dieser Unterscheidung wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit in die zwei Arten des fixen und variablen Ressourceneinsatzes unterschieden. Erfolgt der Einsatz der Ressource in Abhängigkeit der produzierten Menge, wird sie dem variablen Teil (leistungsmengeninduzierter Bestandteil) zugerechnet. Im Falle eines mengenunabhängigen Einsatzes wird der Ressourceneinsatz dem fixen Teil (leistungsmengenneutraler Bestandteil) zugerechnet. /VGL. *ABBILDUNG 48* /

<sup>35</sup> Die Beeinflussbarkeit existiert grundsätzlich, es sind jedoch keine kurzfristigen Änderungen zu erwarten.

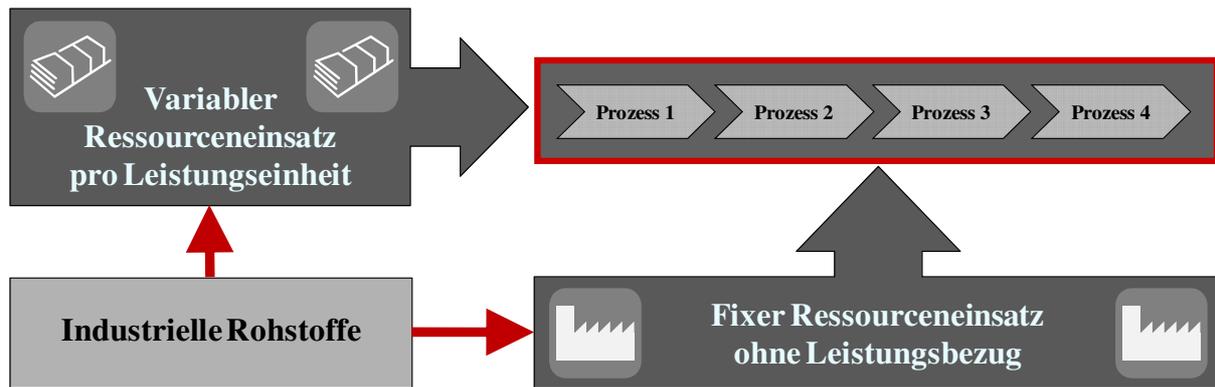


Abbildung 48: Zuordnungsprinzip des variablen und fixen Ressourceneinsatzes /Eigene Darstellung/

Im Rahmen der Betrachtung des fixen Ressourceneinsatzes werden die InR Arbeitsmittel und Organisationsmittel zur Quantifizierung herangezogen. Im Bereich des variablen Ressourceneinsatzes werden die InR Bestand, Hilfsmittel und Betriebsstoffe betrachtet. Die Grundlage des quantifizierten Ressourceneinsatzes basiert auf der Datenerhebung der spezifischen Gewichte und der IR-Verteilung der zu betrachtenden Prozesse. /VGL. ABBILDUNG 49/



Abbildung 49: Zu erfassende Daten der eingesetzten IR /Eigene Darstellung/

Eine qualitative Aussage kann jedoch erst unter Hinzunahme der prognostizierten Nutzungsdauer erfolgen. Sie agiert in diesem Kontext als primäre Richtschnur für die Bewertung von Prozessen. Eine Bestimmung dieser Daten erfolgt auf Grundlage der Betriebsmitteldateien der Unternehmen, in denen die Ressourcenzusammensetzung der einzelnen Maschinen und Anlagen aufgeführt ist.

## 4.2. Vorgehensweise zur Bewertung des Ressourceneinsatzes

Basierend auf dem Zuordnungsprinzip wird folgende Vorgehensweise zur Bewertung des Ressourceneinsatzes zu Grunde gelegt.

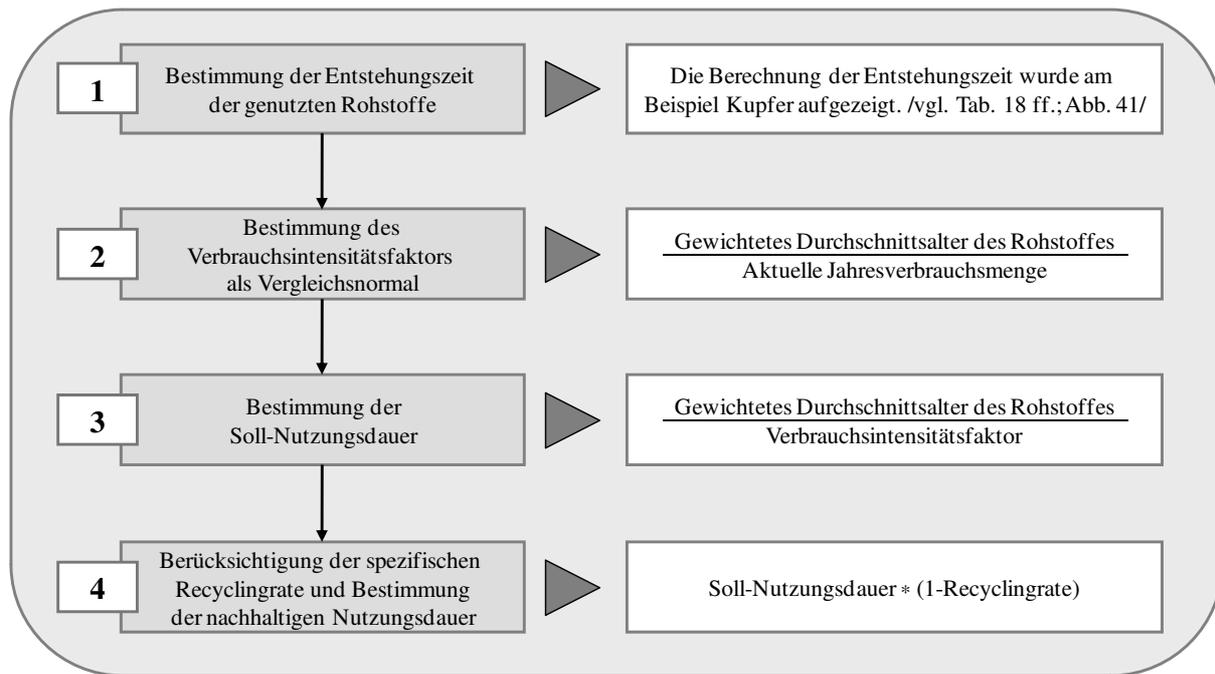


Abbildung 50: Vorgehensweise zur Bewertung des Rohstoffeinsatzes /Eigene Darstellung/

### Bestimmung der Entstehungszeit der IR (1)

Im ersten Schritt wird die Entstehungszeit der Rohstoffe ermittelt. Dazu werden zum einen die geographischen Informationen über die Lagerstätte und zum anderen der Jahresweltverbrauch des zu betrachtenden Rohstoffes benötigt. Auf Grundlage dieser Daten kann die natürliche Entstehungszeit ermittelt werden. /VGL. TABELLE 25/

Tabelle 25: Natürliche Entstehungszeiten der betrachteten IR /Eigene Berechnungen/

Rohstoff	Gewichtete Entstehungszeit [a]	Mindestreservenbasis [Mio. t]	Natürliche Entstehung [t/a]
Aluminium	1.740.000.000	65.000	37,4
Chrom	1.408.000.000	12.000	8,5
Eisen	1.350.000.000	230.000	170,4
Kupfer	146.000.000	1.600	11,0
Magnesium	1.075.000.000	12.000	11,2
Mangan	2.980.000.000	5.200	1,7
Molybdän	370.000.000	19	0,1
Nickel	1.408.000.000	150	0,1
Silber	260.000.000	0,57	< 0,1
Titan	620.000.000	2.000	3,2

Rohstoff	Gewichtete Entstehungszeit [a]	Mindestreservenbasis [Mio. t]	Natürliche Entstehung [t/a]
Wolfram	367.000.000	6,3	< 0,1
Zink	483.000.000	1.900	3,9
Zinn	358.000.000	11	0,0
Erdöl	200.000.000	245.000.000.000	1.200,0
Erdgas (Angaben in m <sup>3</sup> )	300.000.000	388.000.000.000.000	1.293.300,0
Braunkohle	14.000.000	1.197.000.000.000	85.500,0
Steinkohle	300.000.000	8.240.000.000.000	27.500,0

### Bestimmung der Verbrauchsintensität (2)

Die Bestimmung der Verbrauchsintensität stellt den zweiten Schritt dar. Dazu wird die natürliche Entstehungszeit ins Verhältnis zum aktuellen Jahresweltverbrauch gesetzt. Der errechnete Faktor stellt einen Normierungsfaktor dar, der die Intensität des momentanen weltweiten Verbrauchs repräsentiert. /VGL. TABELLE 26/ Zudem entspricht dieser Faktor der originär benötigten Entstehungszeit des natürlichen Produktionssystems in Relation zum weltweiten Verbrauch. Die Quantifizierung der jährlichen Verbrauchsmengen erfolgte in Anlehnung an die Daten des US Geological Survey, in denen die weltweiten Verbräuche aus dem Jahre 2007 angegeben wurden und den durchgeführten Berechnungen zu Grunde gelegt wurden. /VGL. USGS08; BMWI06/ Die Verbrauchsmengen stellen sich in jedem Jahr anders dar, so dass es sich auch bei dem daraus resultierenden Verbrauchsintensitätsfaktor um eine dynamische Variable handelt. Der grundlegenden Logik des dynamischen Wirtschaftens wird damit Rechnung getragen und die Aktivitäten Einzelner in die Relation zum Gesamtsystem gesetzt.

Tabelle 26: Übersicht der Verbrauchsintensitäten betrachteter IR /Eigene Berechnungen/

Rohstoff	Natürliche Entstehung [t/a]	Verbrauch [t/a]	Verbrauchsintensitätsfaktor
Aluminium	37,4	38.000.000	1.016.000
Chrom	8,5	20.000.000	2.352.900
Eisen	170,4	1.900.000.000	11.150.200
Kupfer	11,0	15.600.000	1.418.200
Magnesium	11,2	650.000	58.000
Mangan	1,7	11.600.000	6.823.500

Rohstoff	Natürliche Entstehung [t/a]	Verbrauch [t/a]	Verbrauchsintensitätsfaktor
Molybdän	0,1	187.000	1.870.000
Nickel	0,1	1.660.000	16.600.000
Silber	< 0,1	20.500	9.350.900
Titan	3,2	6.100.000	1.906.300
Wolfram	< 0,1	89.600	5.219.600
Zink	3,9	10.500.000	2.692.300
Zinn	0,0	300.000	9.763.600
<b>Erdöl</b>	1.200,0	3.847.400.000	3.206.200
<b>Erdgas</b> (Angaben in m <sup>3</sup> )	1.293.300,0	2.794.000.000.000	2.160.400
<b>Braunkohle</b>	85.500,0	898.000.000	10.500
<b>Steinkohle</b>	27.500,0	4.629.000.000	168.300

### Bestimmung der Soll-Nutzungsdauer (3)

Im dritten Schritt wird die Soll-Nutzungsdauer ermittelt. Sie stellt einen Bezug zur Verbrauchsintensität dar und entspricht einem Soll-Wert in Bezug auf die Entstehungszeit des jeweiligen Rohstoffes. /VGL. TABELLE 27/

Tabelle 27: Übersicht der Soll-Nutzungsdauern betrachteter IR /Eigene Berechnungen/

Rohstoff	Verbrauchsintensitätsfaktor	Entstehungszeit [min/kg]	Soll-Nutzungsdauer [a/kg]
Aluminium	1.016.000	14	27
Chrom	2.352.900	61	275
Eisen	11.150.200	3	65
Kupfer	1.418.200	48	130
Magnesium	58.000	47	5
Mangan	6.823.500	301	3.909
Molybdän	1.870.000	10.194	36.269
Nickel	16.600.000	4.933	155.797
Silber	9.350.900	240.082	4.271.271

Rohstoff	Verbrauchsintensitätsfaktor	Entstehungszeit [min/kg]	Soll- Nutzungsdauer [a/kg]
<b>Titan</b>	1.906.300	163	592
<b>Wolfram</b>	5.219.600	30.637	304.245
<b>Zink</b>	2.692.300	134	684
<b>Zinn</b>	9.763.600	17.110	317.835
<b>Erdöl</b>	3.206.200	0,43	2,56
<b>Erdgas</b> (Angaben in m <sup>3</sup> )	2.160.400	0,41	< 0,1
<b>Braunkohle</b>	10.500	0,01	< 0,1
<b>Steinkohle</b>	168.300	0,02	< 0,1

#### Bestimmung der nachhaltigen Nutzungsdauer (4)

Abschließend wird der rohstoffspezifische Recyclinggrad zur Quantifizierung einer nachhaltigen Nutzungsdauer vorgenommen. Dazu wird die zuvor bestimmte Soll-Nutzungsdauer, um den jeweiligen Recyclinggrad minimiert und die nachhaltige ND errechnet.

Tabelle 28: Übersicht der nachhaltigen Nutzungsdauern ausgewählter NR /Eigene Berechnungen/

Rohstoff	Soll- Nutzungsdauer [a/kg]	Recyclingrate [%]	Nachhaltige Nutzungsdauer [a/kg]
<b>Aluminium</b>	27	35,0	18
<b>Chrom</b>	275	17,5	227
<b>Eisen</b>	65	55,0	29
<b>Kupfer</b>	130	54,0	60
<b>Magnesium</b>	5	33,0	3
<b>Mangan</b>	3.909	37,0	2.463
<b>Molybdän</b>	36.269	10,0	32.642
<b>Nickel</b>	155.797	40,0	93.478
<b>Silber</b>	4.271.271	32,0	2.904.464
<b>Titan</b>	592	50,0	296
<b>Wolfram</b>	304.245	22,5	235.790
<b>Zink</b>	684	41,0	404

Rohstoff	Soll-Nutzungsdauer [a/kg]	Recyclingrate [%]	Nachhaltige Nutzungsdauer [a/kg]
Zinn	317.835	65,0	111.242
Erdöl	2,56	0	2,56
Erdgas (Angaben in m <sup>3</sup> )	< 0,1	0	< 0,1
Braunkohle	< 0,1	0	< 0,1
Steinkohle	< 0,1	0	< 0,1

Die quantifizierte, nachhaltige Nutzungsdauer entspricht dem Zielwert für eine nachhaltige Ressourcen- respektive Rohstoffnutzung. Im Rahmen der Berechnung der nachhaltigen ND einzelner Rohstoffkomponenten eines Produktes oder Prozesses ist lediglich der größte Wert von direkter Bedeutung, da sich die Entstehungsprozesse der Rohstoffe parallel gestalten. Dieses Vorgehen wird im Rahmen der beispielhaften Betrachtung dargestellt. Die nachhaltige ND der Energierohstoffe entspricht der Soll-ND, da die Energierohstoffe im Rahmen der Nutzung einer Oxidation unterzogen werden und keine in dieser Arbeit betrachteten Sekundärrohstoffe entstehen.

Aufbauend auf diesen Berechnungen wird im Folgenden eine exemplarische Betrachtung einzelner Beispiele vorgenommen, um im Anschluss bedeutende Handlungsempfehlungen zu erarbeiten, die eine nachhaltigkeitsinduzierte Rohstoffplanung und -steuerung ermöglichen.

### 4.3. Exemplarische Betrachtung

In diesem Kapitel wird der zuvor entworfene Bewertungsansatz auf beispielhafte Fragestellungen in den Themenbereichen Produkt, Verkehrslogistik und Produktentwicklung angewandt werden.

#### 4.3.1. Produkt

Als Gegenstand der Betrachtung wird die Entwicklung von Fahrzeugen zu Grunde gelegt. Eine Untersuchung der Entwicklung des Fahrzeuggewichtes gibt einen ersten Anhaltspunkt bezüglich des Rohstoffverbrauchs. /VGL. ABBILDUNG 51/

Es kann festgestellt werden, dass das Fahrzeugleergewicht über einen Zeitraum von 35 Jahren von ca. 800kg auf über 1.200kg zunahm, was einer 50%igen Gewichtssteigerung entspricht.

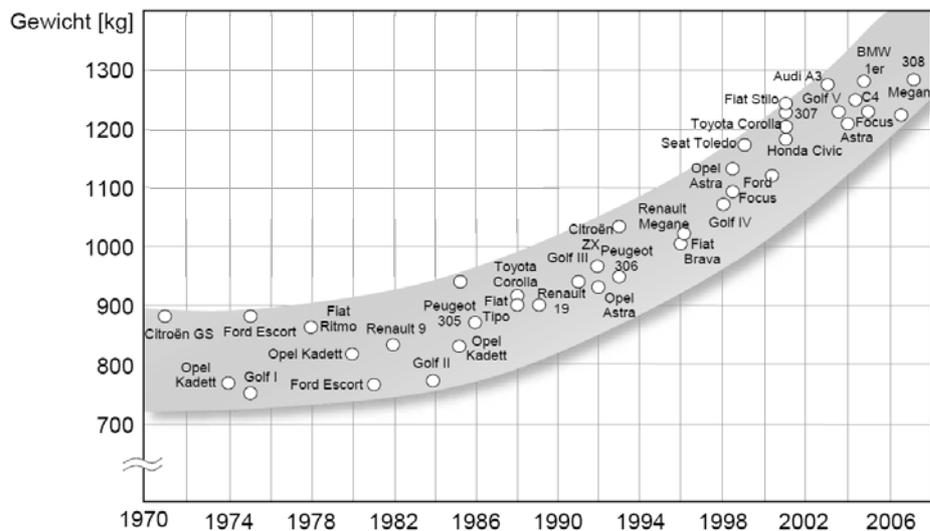


Abbildung 51: Entwicklung der Fahrzeuggewichte in der Kompaktklasse /vgl. LEBR08, S.5, BSF+07, S.14/

Die Gründe für diese Gewichtszunahme sind hauptsächlich auf die Entwicklung im Bereich der Sicherheits- und Komfortkomponenten zurückzuführen. Zudem haben die gestiegenen Motorleistungen, die maßgeblich auf dem gestiegenen Gewicht basieren, zusätzlich zu dieser Entwicklung beigetragen. Die Anzahl elektronischer Komponenten stieg in diesem Zeitraum um ein Vielfaches, dadurch wurden zusätzliche Verbraucher in die Fahrzeuge integriert, so dass erreichte Verbrauchsreduktionen nicht zu den erhofften Kraftstoffeinsparungen führten.

Ein aktueller Vergleich zwischen Fahrzeugen aus den Baujahren 1993 und 2008 offenbart diese konträre Entwicklung. In diesem Fall wurde ein Mehrverbrauch in Höhe von ca. drei Prozent festgestellt. /VGL. SPIE08/ Diese Gegenüberstellung zeigt, dass eine Verbrauchsreduzierung nicht ohne eine priorisierte Entwicklung von Komponenten erfolgen kann.

Ein weiterer Aspekt ist die Entwicklung der Materialverteilung in Fahrzeugen. Die Hauptwerkstoffkomponenten von Automobilen sind in *ABBILDUNG 52* dargestellt. Die dominierende Rolle hat nach wie vor Stahl, doch ist ein Trend zur Verwendung von Leichtmaterialien erkennbar, so sank der Anteil von Stahlkomponenten von 75% (1975) auf 58% (2000). Der Einsatz von Aluminium stieg im gleichen Zeitraum um über 165%.

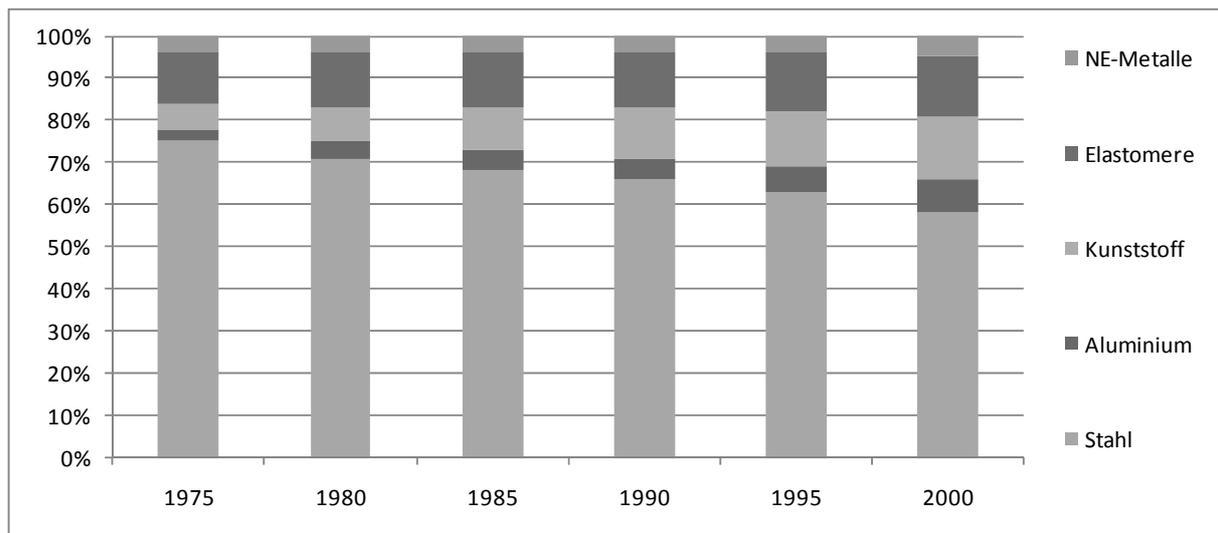


Abbildung 52: Entwicklung der Materialzusammensetzung von Fahrzeugen /vgl. BSF+07, S.16/

Für die folgenden Berechnungen werden die Rohstoffe Kunststoffe und Elastomere nicht weiter untersucht, da sich keine einheitliche Zusammensetzung dieser Materialien ermitteln ließ.

Zur Bewertung der Nachhaltigkeit dieser Entwicklung muss im nächsten Schritt die Entwicklung der Nutzungsdauer von Pkw betrachtet werden. /VGL. TABELLE 29/

Tabelle 29: Entwicklungen der Nutzungsdauer von Pkw /vgl. KBA03, S.1; KBA09, S.11/

	1970	1980	1990	2000	2002	2009
<b>PKW</b>	9,1	9,7	10	11,6	11,9	12,2

Die durchschnittliche Nutzungsdauer von Pkw stieg in den letzten 30 Jahren um ca. 30%. In Relation zu den Entwicklungen des Fahrzeuggewichtes zeigt sich ein deutliches Defizit, basierend auf der Nutzungsdauer pro Kilogramm eingesetztem Rohstoff. Dieser Trend wird auch anhand anderer Konsumgüter deutlich. /VGL. TABELLE 30/

Tabelle 30: Technische Lebensdauer im Vergleich zur realen Nutzungsdauer /vgl. BEPK99, S.18/

Produkt	Technische Lebensdauer [a]	Nutzungsdauer [a]	Trend zur zukünftigen Entwicklung der Nutzungsdauer
<b>Fernseher</b>	10-20	10	<b>gleichbleibend-fallend</b>
<b>PC</b>	10	3-4	<b>fallend</b>
<b>Workstation</b>	10	5	<b>gleichbleibend</b>
<b>Laserdrucker</b>	10	3	<b>gleichbleibend</b>
<b>Telefon</b>	12	5	<b>fallend</b>

Produkt	Technische Lebensdauer [a]	Nutzungsdauer [a]	Trend zur zukünftigen Entwicklung der Nutzungsdauer
Möbel	3-300	3-300	gleichbleibend
Großkopierer	10	5-8	gleichbleibend
Waschmaschine	15	10-15	gleichbleibend

Die differenzierte Betrachtung der technischen Lebensdauer<sup>36</sup> und der tatsächlichen Nutzungsdauer zeigt offensichtliche Verbesserungspotentiale in Bezug auf die Ausschöpfung der Nutzungsintensität.

Unter Anwendung des vorgestellten Bewertungsansatzes zeigt sich für das Produkt Personenkraftwagen aus dem Referenzjahr 2000 folgendes Ergebnis:

Tabelle 31: Bewertung eines Pkw /Eigene Berechnungen/

Rohstoff	Gewichtsanteile [kg]	Entstehungszeit der Rohstoffe [min]	Verbrauchsintensitätsfaktor	Recyclingrate	Nachhaltige ND [a]
Stahl (Eisen)	649,60	2.003,25	11.147.765,10	55%	19.119,68
Aluminium	89,60	1.260,60	1.017.183,20	35%	1.585,76
Kupfer	28,00	1.346,46	1.427.267,16	54%	1.681,91
Magnesium	28,00	1.317,80	58.203,51	33%	97,77
<b>Maximalwert:</b>					<b>19.119,68</b>

Im Rahmen der Bestimmung der nachhaltigen ND ist es maßgeblich, welcher Rohstoffeintrag den höchsten Wert besitzt, da der Entstehungszeit von Rohstoffen ein parallelisierter Zeitverlauf unterstellt werden kann und daher eine Kumulation der Nutzungsdauern nicht vorgenommen werden muss.

Im Ergebnis dieser beispielhaften Untersuchung zeigt sich, dass der Stahlverbrauch der Intensitätstreiber ist, was jedoch maßgeblich auf seinen hohen Anteil am Gesamtgewicht und den hohen Weltverbrauch zurückzuführen ist. Ferner kann festgehalten werden, dass momentane Nutzungskonzepte /VGL. TABELLE 30, TABELLE 29/ sehr große Defizite aufweisen und ein enormer Handlungsbedarf besteht.

<sup>36</sup> Die technische Lebensdauer eines Produktes ist die durchschnittliche Zeit, in der ein Produkt funktionstüchtig ist. /vgl. BEPK99, S.17 f./

Zudem lässt sich erkennen, dass der Pkw-Aluminiumanteil sich nicht direkt negativ auf die nachhaltige ND auswirkt. Diese Tatsache liegt in einem geringeren Verbrauchsintensitätsfaktor und der hohen nachhaltigen ND von Stahl (Eisen) begründet. /VGL. TABELLE 26/

Durch eine Substitution von Stahl (Eisen) bei der Pkw-Herstellung könnte dieser Vorteil genutzt werden. Die Grenze der Substitutionsmöglichkeit kann sich nur im Rahmen einer Verbrauchsverschiebung gestalten, die bei einer Verbrauchserhöhung von Aluminium eine gleichzeitige Verbrauchsreduktion von Stahl mit sich führt. Diese Abhängigkeit wird in AB-BILDUNG 53 durch eine Sensitivitätsanalyse beispielhaft verdeutlicht.

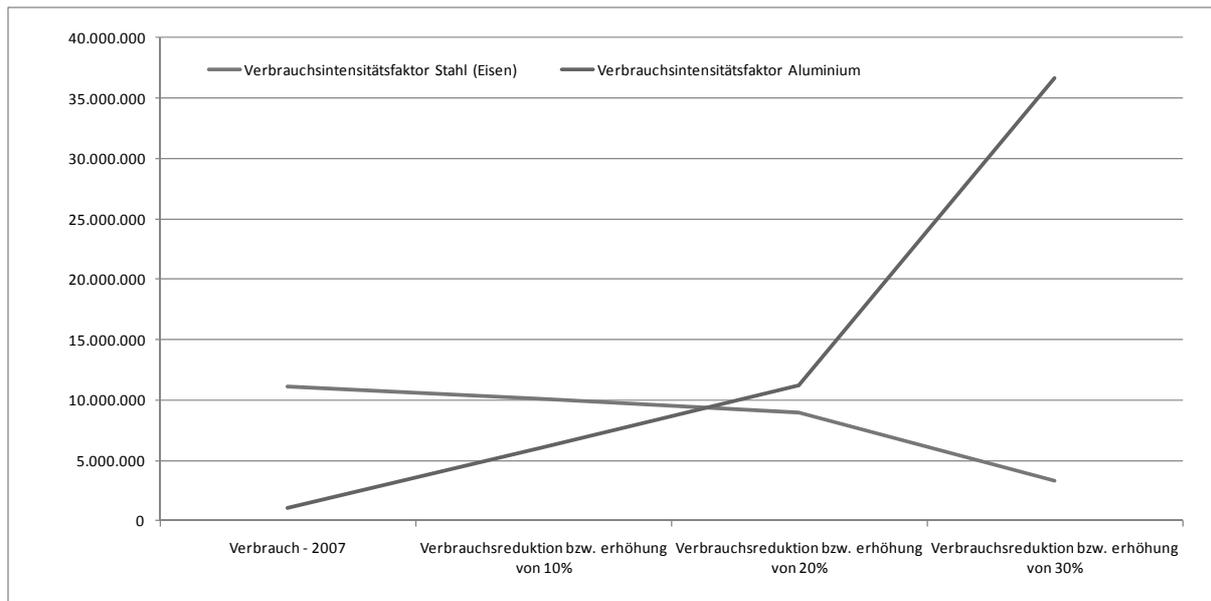


Abbildung 53: Entwicklung des Verbrauchsintensitätsfaktors in Abhängigkeit einer Materialsubstitution von Stahl durch Aluminium /Eigene Berechnungen/

Durch die vorgenommene Sensitivitätsanalyse kann der optimale Substitutionsgrad bestimmt werden, welcher sich in dieser dualen Betrachtung bei ca. 16% befindet. Auf weitere Berechnungen wird an dieser Stelle verzichtet. Es konnte aufgezeigt werden, dass der Verbrauch von zwei Rohstoffen sich gegenseitig beeinflusst. Die grundsätzliche Anforderung an eine nachhaltige Rohstoffnutzung zeigt sich in einer grundsätzlichen Verlängerung und Intensivierung der Nutzungsphasen. /VGL. 5.3/

Die Auswirkung einer Materialsubstitution in einem Pkw kann nicht ohne Betrachtung der Nutzungsphase erfolgen, da der Gewichts- respektive der resultierende Verbrauchsvorteil von Aluminium in diese Phase fällt. In einem ersten Schritt müssen die zwei Vergleichsmaterialien untersucht werden, wobei sich die Betrachtung auf die benötigte Menge des Energie- und Materialrohstoffes konzentriert. Ein wesentlicher Unterschied liegt im Energiebedarf zur Herstellung. Für die Produktion von Aluminium wird eine Energiemenge i. H. v. 69 kWh pro kg benötigt, wohingegen die Energiemenge zur Herstellung von 1 kg Stahl 6,31 kWh beträgt. /VGL. MUEL00, S.3/ Die benötigte Energiemenge muss in einem zweiten Schritt einer Masse

eines Energieträgers zugeordnet werden. Im Durchschnitt lässt sich aus 1 kg Kohle<sup>37</sup> 7,92 kWh gewinnen. /VGL. BUCH07, S.69/

Tabelle 32: Vergleich von Aluminium und Stahl /Eigene Berechnungen/

Rohstoff	Energieaufwand Herstellung [kWh]	Benötigte Menge des Energieträgers Kohle [kg]	Entstehungszeit des Energierohstoffes [min]	Entstehungszeit des Materialrohstoffes [min]	Nachhaltige ND für Energierohstoff [a]	Nachhaltige ND für Materialrohstoff [a]	Nachhaltige ND [a]
Aluminium	69,00	8,71	0,17	14,07	0,053	27,23	27,23
Stahl	6,31	0,80	0,02	3,08	0,005	65,41	65,41

Nach dieser Betrachtung ergibt sich ein Nachteil für den Materialrohstoff Stahl, obgleich des sehr hohen Energieaufwandes in der Herstellung von Aluminium. Im Rahmen einer ganzheitlichen Betrachtung muss auch die Aufwand-Nutzen Relation betrachtet werden, d. h. wie hoch der Einsparungseffekt an Kraftstoff durch die Gewichtsreduktion ist.

Folgende Annahmen wurden für die Betrachtung getroffen:

- Aus einer Gewichtersparnis i. H. v. 100 kg ergibt sich ein Minderverbrauch i. H. v. 0,5 l pro 100 km /VGL. MUELL00, S.5, TKGB03, S.91/
- Die Gesamtkilometerlaufleistung eines Kfz beläuft sich auf 150.000 km bei einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 12,2 Jahren und einem Verbrauch von acht l pro 100 km /VGL. KBA03, S.1; KBA09, S.18/
- Aus einer Substitution von 100 kg Stahl durch Aluminium lässt sich ca. 45%iger Gewichtsvorteil erzielen, der auf Grundlage der Materialeigenschaften von Aluminium den Anforderungen in Bezug (Festigkeit, Hitzebeständigkeit etc.) genügt

Auf Grundlage dieser Annahmen lassen sich folgende Berechnungen anstellen.

<sup>37</sup> Der Energiegehalt von Kohle basiert auf einem Durchschnittswert von Braun- und Steinkohle.

Tabelle 33: Vergleich der Materialrohstoffe in den Bereichen Herstellung und Nutzung /Eigene Berechnungen/

Rohstoff	Benötigte Materialrohstoff [kg]	ND Energierohstoff [a]	ND Materialrohstoff [a]	Recyclinggrad [%]	ND Kraftstoffverbrauch [a]	Nachhaltige ND [a]
Aluminium	55	2,94	1497,54	35	29.804,93	<b>29.804,93</b>
Stahl	100	0,49	6540,67	55	30.766,38	<b>30.766,38</b>

An diesem Beispiel zeigt sich, dass sich schon im Herstellungsprozess die Vorteilhaftigkeit von Aluminium zeigt. Die zusätzlichen Einsparungseffekte in der Nutzungsphase fallen im Rahmen dieser Betrachtung eher gering aus. Eine alleinige Betrachtung der Herstellungsaufwände lässt jedoch keine fundierten Rückschlüsse auf die Vorteilhaftigkeit eines Materialrohstoffes in Bezug auf die Gesamtlebensdauer<sup>38</sup> eines Produktes zu. Vielmehr kann durch die entwickelte Methodik die Aufwand-Nutzen Relation auf Basis der einheitlichen Zeitdimension quantifiziert werden.

### 4.3.2. Verkehrslogistik

Im Bereich der Logistik ist vor allem der Güterverkehr von herausragender Bedeutung. Insgesamt nahm der gesamte Güterverkehr in einem Zeitraum von 1998-2007 um ca. 42% zu, wobei das größte Wachstum von ca. 48% auf den Straßengüterverkehr entfiel. Die Fahrleistung wuchs in diesem Zeitraum von ca. 300 auf knapp 500 Mrd. tkm. /VGL. ABBILDUNG 54/ Der Anteil des Straßengüterverkehrs im Rahmen der Güterverkehrsleistung ist zudem stetig gewachsen und stellt den bedeutendsten Verkehrsträger dar. /VGL. BGL08, CLAU05/ Die durchschnittliche Nutzungsdauer der Lkw hat sich jedoch in den letzten 30 Jahren nicht entscheidend verändert, war sie 1970 bei 8,9 Jahren, so lag sie im Jahre 2002 bei 10,3 Jahren. /VGL. KBA03/ Diese Änderung entspricht lediglich einer Steigerungsrate i. H. v. 16%.

<sup>38</sup> Die Gesamtlebensdauer bezieht auf die Phasen Herstellung, Nutzung und Entsorgung.

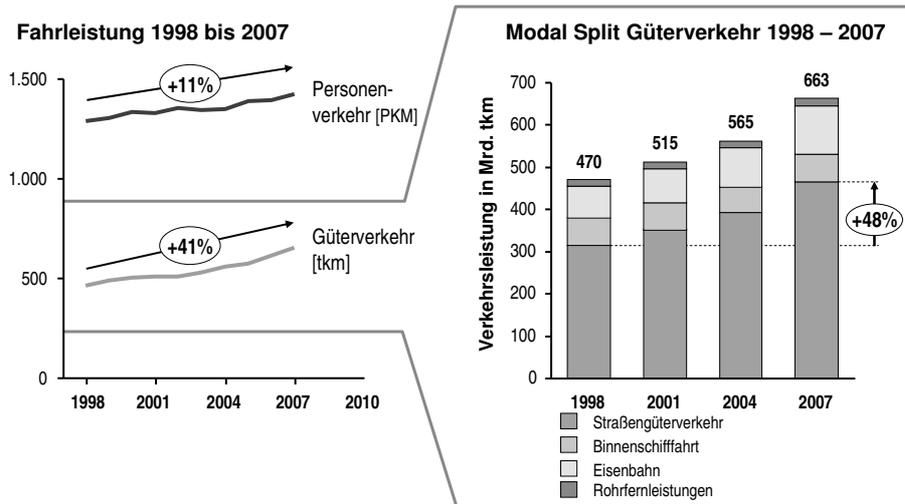


Abbildung 54: Entwicklung des Güterverkehrs 1998-2007 /vgl. Destatis 2008/

Zur Bewertung der Nachhaltigkeit im Sinne des entwickelten Konzeptes zur nachhaltigkeitsinduzierten Prozessbewertung, ist es notwendig die Rohstoffverteilung näher zu untersuchen. Zur beispielhaften Betrachtung muss man zum einen die Zugmaschine und zum anderen den Sattelaufleger betrachten.

Tabelle 34: Vergleich von Lkw-Modellen /vgl. LAOM07, S.4/

Sattelzugmaschine	Leergewicht [kg]	Verbrauch pro 100 km [l]
Mercedes Actros 1855 LS	7.900	35,00
Mercedes Actros 1844 LS	7.340	32,80
Scania R580LA Topline	7.440	36,70
<b>Durchschnitt:</b>	7.560	34,83
Sattelaufleger (Schmitz Cargobull AG)	Leergewicht [kg]	
Faltwand	8.500	
Express-2	7.050	
Paper	6.890	
Drink	6.285	
Mega	6.870	
Coil	6.995	
<b>Durchschnitt:</b>	7.098	

Die durchschnittliche Kilometerlaufleistung eines Lkw variiert zwischen 125.000 und 156.000 km pro Jahr. /VGL. NAKO08, S.6, BUER07, S.40, VERU02/ Für die weitere Berechnung wird der Mittelwert in Höhe von 143.667 km angenommen.

Für die Berechnungen müssen der Rohstoffverbrauch für die Zugmaschine und den Sattelaufleger quantifiziert werden. Aus Vereinfachungsgründen wird für beide Güter die Nutzungsdauer von 10,3 Jahren angenommen. In der spezifischen Anwendung kann dieser Wert für den Sattelaufleger noch adaptiert werden. Des Weiteren muss der Rohstoffverbrauch der Zugmaschine in Form von Kraftstoff in die Berechnungen integriert werden. /VGL. TABELLE 35/

Tabelle 35: Berechnungen für einen Lkw inkl. Sattelaufleger /Eigene Berechnungen/

	Rohstoff	Anteil am jeweiligen Gesamtgewicht <sup>39</sup>	Gewichtsanteile [kg]	Recycling-rate [%]	Nachhaltige ND [a]
Zugmaschine	Stahl	58,0%	4384,8	55,0%	129.058
	Aluminium	8,0%	604,8	35,0%	10.704
	Kupfer	2,5%	189	54,0%	11.353
	Magnesium	2,5%	189	33,0%	660
	Kraftstoffverbrauch - Gesamt-ND	n.n.	515.404 Liter	0,0%	3.079.808
Sattel-aufleger	Stahl	70,0%	4.969	55,0%	146.248
	Aluminium	10,0%	710	35,0%	12.563
<b>Maximalwert:</b>					<b>3.079.808</b>

Zusammenfassend kann für den Bereich Verkehrslogistik festgehalten werden, dass bei einer Gesamtkilometerlaufleistung in Höhe von 1.479.676km diese Transportleistung auf ca. drei Millionen Jahre verteilt werden müsste, d. h. dass sich jeder Kilometer auf einen Zeitraum von zwei Jahren erstrecken müsste. Da wie in diesem Fall der Kraftstoffverbrauch den größten Wert vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Nutzungsdauer einnimmt, stellt dieser Rohstoffeintrag ein offensichtliches Verbesserungspotential dar. /VGL. TABELLE 35/ Insgesamt

<sup>39</sup> Die Rohstoffverteilung für die Zugmaschine wurde aus dem Pkw-Bereich übertragen, da keine fundierten Angaben für den Lkw-Bereich im Rahmen dieser Arbeit eruiert werden konnten. Die Rohstoffverteilung für den Sattelaufleger basiert auf Schätzwerten.

kann an dieser Stelle der hohe Rohstoffverbrauch im Bereich der Verkehrslogistik konstatiert werden, der insbesondere auf den Kraftstoffverbrauch zurückzuführen ist.

### 4.3.3. Produktentwicklung

Für eine beispielhafte Betrachtung der Produktentwicklung in Kombination mit der Produktion werden vor allem die verwendeten Rohstoffe näher betrachtet. Im Rahmen der Berechnungen konnte bereits gezeigt werden, in welchem Zusammenhang der globale Verbrauch mit den Entstehungszeiten der NR steht. Auf Grundlage dieser Berechnungen ist es möglich, eine Priorisierung des Rohstoffeinsatzes vorzunehmen, um eine qualitative Aussage über einzelne Rohstoffe treffen zu können.

Das oberste Ziel der Produktentwicklung ist der schonende Umgang mit Rohstoffen und Ressourcen. Diese Aktivitätsintention wird im Rahmen der Produktion umgesetzt und so kann die Produktion als „ausführendes Organ“ der Produktentwicklung angesehen werden. Auf Grundlage des nachhaltigkeitsinduzierten Bewertungsansatzes kann eine Materialsubstitutionsmatrix entworfen werden, die eine fokussierte Rohstoffverwendung ermöglicht. Dazu werden die nachhaltigen ND der einzelnen Rohstoffe betrachtet. /VGL. ABBILDUNG 55/

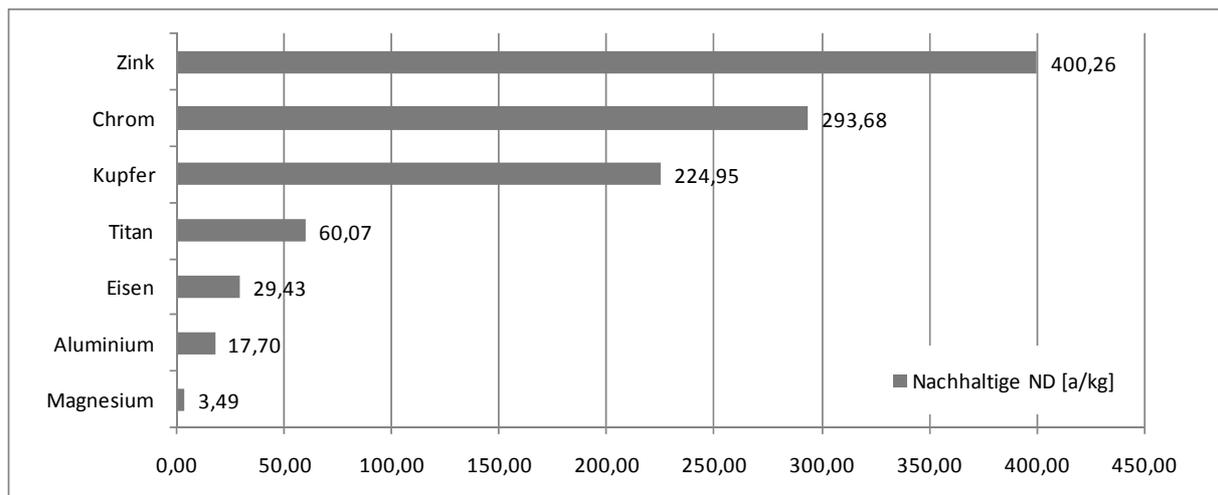


Abbildung 55: Nachhaltige ND ausgewählter Rohstoffe /Eigene Berechnungen/

Auf Basis dieser Übersicht kann im Zuge einer Produktentwicklung der Einsatz bestimmter Ressourcen forciert werden, um eine gezielte Reduzierung der nachhaltigen ND von Produkten vornehmen zu können. Die Abhängigkeit vom jeweiligen Weltverbrauch hat dabei eine besondere Bedeutung. Diese gegenseitige Einflussnahme muss in die Betrachtungen mit einbezogen werden. Eine duale Betrachtung wurde bereits in KAP. 4.3.1 vorgenommen und beschrieben. /VGL. ABBILDUNG 53/

Im Rahmen der beispielhaften Betrachtungen konnte gezeigt werden, dass der momentane Ressourcenverbrauch nur in einem sehr geringen Maße dem Aspekt der Nachhaltigkeit Rechnung trägt und zum Teil massive Verbesserungspotentiale in allen Bereichen bestehen. Es wurden folgende Hauptaktionsfelder identifiziert:

- Produkt
  - Gewichtsreduktion in einer möglichen Miniaturisierung kann den Ressourcenverbrauch positiv beeinflussen
  - Existierende Nutzungszyklen stoßen an ihre Grenzen vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Rohstoffnutzung
- Verkehrslogistik
  - Zunehmende Globalisierung wirkt sich negativ auf die Nachhaltigkeit aus
  - Nicht wertschöpfende Prozesse müssen dringlicher denn je reduziert werden
- Produktentwicklung
  - Materialsubstitutionen stellen eine adäquate Handlungsoption dar
  - Reduzierungen von Innovationszyklen können die Negativeffekte unzureichender Nutzungszyklen verstärken

Allen Beispielen gleich ist die zentrale Herausforderung eines schonenden und bewussten Ressourceneinsatzes. Zudem haben die Recyclingraten der Ressourcen einen maßgeblichen Einfluss für eine nachhaltigkeitsinduzierte Rohstoffnutzung.

Nach der erfolgreichen Anwendung wird an dieser Stelle dargestellt, inwiefern die in *KAPITEL 2.6* definierten Anforderungen erfüllt wurden.

1. Vergleichbarkeit der Aufwand-Ersparnis Relation

Das entwickelte Bewertungsmodell ermöglicht eine objektive Vergleichbarkeit unternehmerischer Anstrengungen zur Reduzierung des Rohstoffverbrauchs in Relation zu den tatsächlich erreichten Einsparungen. Die Erfüllung dieser Anforderung wurde zudem im Rahmen der beispielhaften Betrachtungen erfolgreich unter Beweis gestellt.

2. Standardisierung & Vergleichbarkeit

Das Bewertungsmodell basiert auf einheitlichen Kennzahlen (zeitlicher Gesamtbezug) und liefert auf dieser Grundlage eine Vergleichbarkeit der Aufwand-Ersparnis Relation. Die entwickelte Anwendungsmethodik basiert auf einer standardisierten Vorgehensweise und schafft somit die Voraussetzung, Benchmarks zwischen Prozessen, Produkten, Unternehmen oder Branchen durchführen zu können.

3. Einfachheit & Anwendungsorientierung

Die zu erhebenden Daten umfassen Angaben zum Gewicht und der jeweiligen Zusammensetzung des zu betrachtenden Objekts. Diese Daten sind in jedem Unternehmen sehr einfach zu eruieren und stellen somit in ihrer Erhebung nur einen geringen Aufwand dar. Die damit geschaffene Anwendungsorientierung beeinflusst eine Verbreitung und den Gebrauch des Bewertungsmodells positiv.

4. Selbstähnlichkeit

Das Bewertungsmodell lässt sich auf einzelne Prozesse, Produkte als auch Unternehmen anwenden und erfüllt daher den Anspruch der Selbstähnlichkeit in jeder Hinsicht.

5. Entscheidungsunterstützung

Die Ergebnisse der Bewertungen können als Entscheidungsunterstützung in relevanten Planungs- und Steuerungsprozessen eingesetzt werden und ermöglichen eine nachhaltige Unternehmensausrichtung.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch die Entwicklung dieses Modells die Defizite bisheriger Methoden und Instrumente egalisiert wurden und der Anwendung in Unternehmen keinerlei Hemmnisse gegenüber stehen.

Auf Grundlage der identifizierten Defizite werden im folgenden Kapitel verschiedene Handlungsoptionen entwickelt, die zu einem nachhaltigen Rohstoffeinsatz führen können.

## 5. ENTWICKLUNG VON HANDLUNGSOPTIONEN

Aufbauend auf den Ergebnissen der beispielhaften Betrachtungen werden zunächst geeignete Gestaltungsparameter mit dem Ziel eines nachhaltigkeitsinduzierten Rohstoffeinsatzes entwickelt. Auf dieser Grundlage werden im Folgenden wichtige Handlungsoptionen erarbeitet.

Das Missverhältnis zwischen Rohstoffeinsatz und Zeiteinheit der Nutzung stellt die Grundlage zur Identifikation von Gestaltungsparametern dar. Anhand dieses ausgeprägten Defizits lassen sich zwei zentrale Gestaltungsparameter ableiten, zum einen die Einflussnahme auf den Rohstoff und zum anderen auf zeitliche Aspekte der Nutzung. Die Logistik einhergehend mit einer forcierten Regionalisierung bzw. differenzierten Globalisierung stellt eine zentrale Handlungsoption dar. Die wichtigsten Handlungsoptionen in dem jeweiligen Gestaltungsparameter werden in der folgenden Abbildung dargestellt:

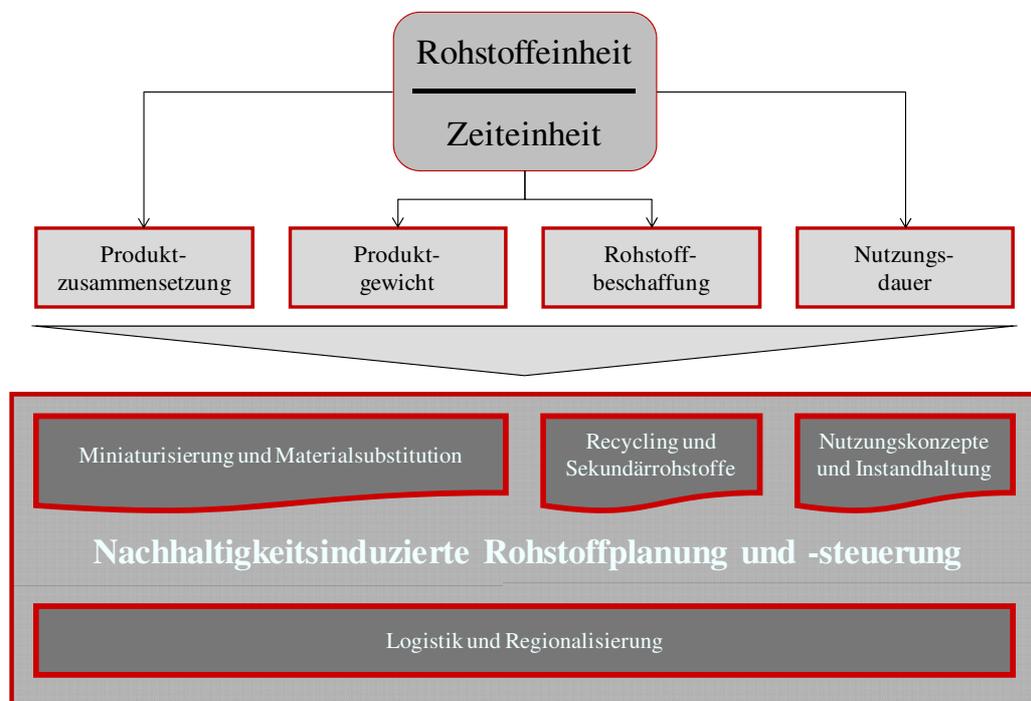


Abbildung 56: Lösungsraum nachhaltigkeitsinduzierter Handlungsoptionen /Eigene Darstellung/

Im Folgenden wird eine grundlegende Ausrichtung von Aktivitäten zur Steigerung der Nachhaltigkeitsleistung gegeben. Eine vertiefende Darstellung und Ausarbeitung der identifizierten Handlungsoptionen wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht vorgenommen, da die zentrale Forschungsarbeit auf die Entwicklung eines neuen Rahmen- und Bewertungskonzept im Kontext der Nachhaltigkeit basierte. Der primäre Fokus der Handlungsoptionen liegt in der Identifikation von Aktionsfeldern für zukünftige Aktivitäten zur Steigerung der Nachhaltigkeitsleistung.

## 5.1. Recycling und Sekundärrohstoffe

Das Recycling nimmt einen immer wichtigeren Stellenwert innerhalb der Industrie ein. Im Zuge der zunehmenden Entsorgungs- und Verwertungsaktivitäten steigen die Recyclingraten stetig an und können zu einer autarken Versorgung im Sinne einer unabhängigen Rohstoffversorgung führen. Diese Vision wird allerdings noch einige Anstrengungen nach sich ziehen, da immer neue Innovationssprünge notwendig sind, die Recyclingraten weiter zu steigern.

Sekundärrohstoffe werden durch die Aufbereitung bereits verwendeter Primärrohstoffe gewonnen und können nach ihrer Gewinnung den Produktions- und Fertigungsprozessen zugeführt werden. Auf der anderen Seite kann unter der Verwendung von Sekundärrohstoffen auch die weitere Verwendung in einem Bereich, der außerhalb der ursprünglichen Nutzung oder Anwendung liegt, verstanden werden. Dieser Aspekt zielt auf ein kreislaforientiertes Nutzungskonzept ab und wird separat in *KAP. 5.3* behandelt.

Der Einsatz von Rohstoffen kann im Bereich der Produktion einen direkten Einfluss auf Effizienzsteigerungen nehmen, wo hingegen die Verwendung von Sekundärrohstoffen sich vielmehr in Form einer indirekten Reduktion darstellt. Die Grundvoraussetzung für die Verwendung von „Kreislaufrohstoffen“ ist die Austauschbarkeit dieser Ersatzstoffe mit den eigentlichen Rohstoffen. In der momentanen Anwendung beschränkt sich deren Einsatz oftmals auf die Deckung von Spitzenlasten im Sinne des Ressourcenbedarfes, während die importierten Primärressourcen zur Deckung des kontinuierlichen Grundbedarfs genutzt werden. Dieser eher punktuelle Einsatz ist auf die Preiskopplung der Primärrohstoffexploration in Bezug zu den Aufwendungen für die stoffliche Verwertung der Reststoffe und Abfälle zurückzuführen. */VGL. IDWK06, S.5 F./*

Im Rahmen des BMBF-Rahmenprogrammes *FORSCHUNG FÜR DIE NACHHALTIGKEIT* wurden für den Bereich Sekundärrohstoffe folgende Forschungsfelder identifiziert:

- Verbindung und Kopplung von Ver- und Entsorgungsprozessen zur Schließung des Rohstoffkreislaufes
- Verbesserung der Qualitätssicherung bei der Herstellung von Sekundärrohstoffen
- Kreislaforientierte, innerbetriebliche Erzeugung und Verwertung von Sekundär-brennstoffen
- Konzepte zur dezentralen Sammlung, Sortierung und Verwertung von Rohstoffabfällen
- Energieeffiziente Verwertungsprozesse
- Tools zur Simulation und optimalen Abstimmung von Teilprozessen und Prozesssimulation auf Basis abfall- und stoffspezifischer Kenndaten
- Konzipierung eines Ausbildungs- und Qualifikationskonzeptes zur Arbeitsplatzsicherung */VGL. BMBF06, S.25/*

### Aspekte von Energie- und Materialrohstoffen

Im Rahmen einer forcierten Nutzung von Sekundärrohstoffen werden die Metalle Stahl (Eisen) und Kupfer näher untersucht. Zur Herstellung von einer Tonne Roheisen werden heutzutage ca. 17 GJ benötigt, wo hingegen die Produktion von Sekundäreisen einen Energiebedarf von 5,4 GJ pro Tonne aufweist. /VGL. NWK+08, S.256/ Dieser energetische Vorteil ist zudem verbunden mit einem Minderbedarf im Bereich der logistischen Leistungen, da der Verwertungsprozess in einem regionalen Umfeld erfolgen kann.

Für Kupfer kann ein ähnlicher energetischer Vorteil konstatiert werden. Der Energieaufwand zur Zeugung von Primärkupfer beläuft sich auf 98 GJ pro Tonne, während zur Gewinnung von Sekundärkupfer nur 14 GJ/t benötigt werden. /VGL. BRIX06, S.32/ Im Rahmen des bergbautechnischen Abbauprozesses müssen ca. 200 t Kupfererz und Gestein pro Tonne Kupfer bewegt werden, während im Zuge des Recyclings die gleiche Menge Kupfer bereits aus 14 t Schrott gewonnen kann. Dieser Aspekt belegt zusätzlich den verminderten Logistikbedarf.

Eine zentrale Herausforderung im Bereich des Recyclings stellt die Vermengung von Rohstoffen dar, so dass sich der Sortierungsprozess nicht immer effizient gestalten lässt. Daher müssen zukünftige Forschungsarbeiten eine recyclinggerechte Konstruktion und eine Verbesserung der ausgeprägten heterogenen Produktzusammensetzung zum zentralen Gegenstand haben.

### Wertschöpfungs- und Beschäftigungsaspekte

Deutschland ist ein rohstoffarmes Land, seine Industrie ist jedoch sehr stark auf die Einfuhr von Rohstoffen angewiesen, was eine sehr hohe Abhängigkeit von den Weltmarktpreisen für Rohstoffe nach sich zieht. Die eigentlichen Potentiale in der Nutzung von Sekundärrohstoffen liegen viel höher, so sind vor allem energetische Aspekte von tragender Bedeutung. Zudem können Wertschöpfungsaktivitäten lokal betrieben werden und tragen dazu bei, nationale Beschäftigungseffekte zu erzielen. /VGL. NWK+08, S.253/

Durch die Steigerung der Recycling- und Verwertungsaktivitäten lassen sich erhebliche Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte erzielen. Zudem generiert sich aus der Einsparung von Importzöllen ein zusätzlicher Kosteneffekt. /VGL. TABELLE 36, IDWK06, S.14/

Tabelle 36: Wertschöpfungseffekte durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen (vgl. IDWK06, S.14)

	<b>Primärrohstoff [Mio. €]</b>	<b>Energie [Mio. €]</b>	<b>Summe [Mio. €]</b>
<b>Stahl</b>	1.234	1.062	<b>2.296</b>
<b>Aluminium</b>	138	566	<b>704</b>
<b>Zink</b>	70	25	<b>95</b>
<b>Gesamt</b>	<b>1.442</b>	<b>1.653</b>	

## 5.2. Miniaturisierung und Materialsubstitution

Die Materialsubstitution stellt eine adäquate Handlungsoption zur Steigerung der Nachhaltigkeitsleistung dar. Eine Umsetzung muss sich nicht nur an metallischen Ressourcen orientieren, sondern kann auch für die Bewertung von Metallsubstitutionen durch Bio-Ressourcen angewandt werden. Eine zentrale Frage von Substitutionen ist die stoffliche Eignung. Vor diesem Hintergrund muss die Substitutionsfähigkeit von Rohstoffen detailliert untersucht werden, um so eine Aussage über den Grad der Substitution und eventuelle Rohstoffantipathien zu erhalten. /VGL. TABELLE 37/

Tabelle 37: Substitutions- und Kombinationsmöglichkeiten von Rohstoffen /vgl. WEDD01, S.66/

	Aluminium	Magnesium	Zink	Kunststoff	Keramik Beton	Glas	Holz
<b>Stahl</b>	--	o	+++	+	+	+	-
<b>Aluminium</b>		--	-	-	O	-	-
<b>Magnesium</b>			o	-	O	o	O
<b>Zink</b>				-	O	o	O
<b>Kunststoff</b>					k.A.	---	-
<b>Beton</b>						o	+
<b>Glas</b>							O

+++ Starke Kooperation / + Eher Kooperation / o Keine Berührungen / - Starke Substitution --- Eher Substitution

Ein weiteres Ziel einer nachhaltigen Entwicklung stellt die Miniaturisierung von Produkten dar. Eine Miniaturisierung ist dabei die gezielte Verkleinerung eines Produktes bei einer gleichzeitigen Erhaltung seiner Funktionalitäten. Eine Reduktion der Abmaße oder des Gewichtes kann ein entscheidender Schritt zur Reduzierung des Rohstoffverbrauchs darstellen. /VGL. KAP. 4.3.1/

Ein Vergleich zwischen Automobilen aus den Jahren 1975 und 2000 zeigt dieses Potential sehr deutlich. Unter Verwendung der zeitspezifischen Rohstoffverteilung kann eine Reduktion um ca. 16% erzielt werden. Dieses Minderungspotential könnte durch eine Verringerung des Stahleinsatzes zudem erheblich gesteigert werden. /VGL. TABELLE38, KAP. 4.3.1/

Tabelle 38: Potentialabschätzung einer Miniaturisierung /Eigene Berechnungen/

	Anteil Stahl [kg]	Anteil Aluminium [kg]	Anteil Kupfer [kg]	Anteil Magnesium [kg]	Nachhaltige ND [a]
<b>1975</b>	1.850,29	337,66	769,41	753,03	<b>42.070</b>
<b>2000</b>	2.003,25	1.260,60	1.346,46	1.317,80	<b>48.730</b>

Die Entwicklung von Mobiltelefonen stellt eine gegenläufige Entwicklung dar. Als Motorola 1983 das erste Mobiltelefon auf dem Markt brachte, wog das Gerät ca. 800g. In den letzten 26 Jahren sank das Gewicht eines durchschnittlichen Mobiltelefons auf ca. 100g. /VGL. MAMA07/ Diese positive Entwicklung wurde jedoch durch eine weltweite Verbreitung von Mobiltelefonen egalisiert, so besitzen bereits 4,4 Milliarden Menschen auf der Welt ein Mobiltelefon. /VGL. SPIE09/

Ein weiteres Potential wird durch die zunehmende Verkürzung von Innovationszyklen deutlich. Durch eine stetig steigende Verwendung von elektronischen Komponenten und Bauteilen müssen auch andere Branchen zunehmend ihre eigenen Produktentwicklungen an diesen Innovationszyklen ausrichten. /VGL. ABBILDUNG 57/

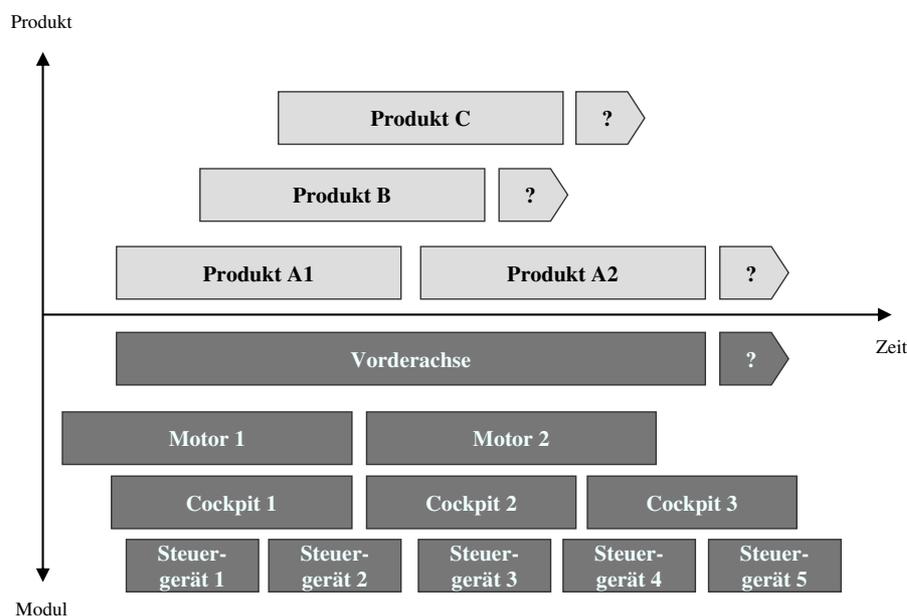


Abbildung 57: Unterschiedliche Innovationszyklen von Modulen und Produkten am Beispiel der Automobilindustrie /vgl. JUNG05, S.111/

Durch die voranschreitende Integration von elektronischen Komponenten muss vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeitsanforderungen über Schnittstellen zwischen den Komponenten nachgedacht werden. Ein denkbarer Ansatz wäre die weitere Forcierung der Modularisierung

von Produkten, um den Austausch von Komponenten auch während einer Nutzungsphase zu gewährleisten. Dieser Ansatz könnte auch auf andere Komponenten übertragen werden.

Der wesentliche Treiber im Sinne der Verbrauchsintensität bei Fahrzeugen ist der Kraftstoffkonsum. Durch eine produkt- und lebenszyklusübergreifende Austauschbarkeit von Motoren bzw. Antriebseinheiten könnten speziell im Automobilbereich die Effizienzsteigerungen in der Antriebstechnik losgelöst von neuen Auto-Modellen und damit gestiegenen Produktgewichten genutzt werden. Gerade im Hinblick auf mögliche Absatzschwankungen im Fahrzeugbereich wäre dieser Ansatz ein adäquates Mittel, um kurz- bis mittelfristige Absatzeinbußen zu kompensieren und neue Geschäftsfelder zu erschließen. Diese Entwicklung könnte die Nutzungsdauer verlängern sowie eine komponentenspezifische Nutzung und gleichzeitig eine Entkopplung der branchenbezogenen Innovationszyklen ermöglichen.

### 5.3. Nutzungskonzepte und Servicedienstleistungen

Die heutigen Nutzungskonzepte reichen nicht aus einen nachhaltigen Ressourcenverbrauch zu gewährleisten. Die Nutzungszeiten von Produkten lassen sich über die Rücklaufzeiten näherungsweise abschätzen. /VGL. TABELLE 39/

Tabelle 39: Rücklaufzeiten beispielhafter Wirtschaftsgüter /vgl. EHK+04, S.69/

Wirtschaftsgut	Rücklaufzeit [a]
Kraftfahrzeug	10-12
Kleine Elektromotoren	10-12
Haushaltsgroßgeräte	10-15
Haushaltskleingeräte	3-5
Braune Ware (TV, Radio etc.)	8-10
Graue Ware (PC etc.)	3-5

Die vordergründige Unzulänglichkeit stellt sich zum einen in den zu kurzen Nutzungsphasen dar und zum anderen in der oftmals existenten Primärnutzung, d. h. Einmaligkeit der Nutzungsphasen. Die Verbesserung der Nutzungseffizienz durch Verlängerung der Produktnutzung kann über unterschiedliche Ansätze erreicht werden.

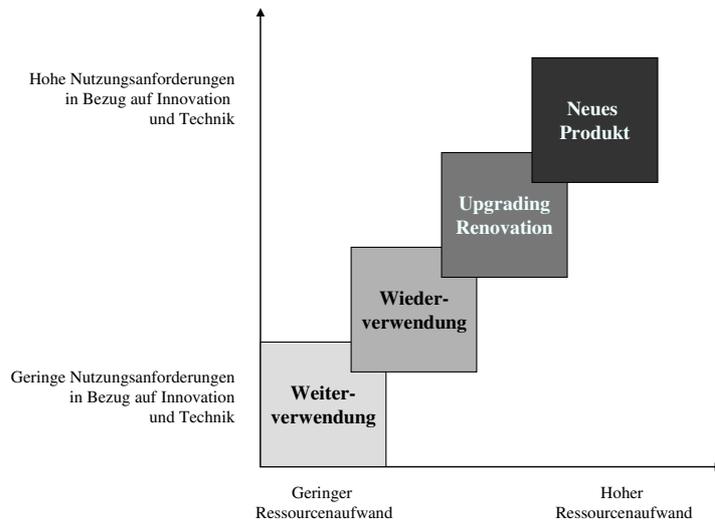


Abbildung 58: Nutzungskonzepte in Abhängigkeit der Produkthanforderung und Ressourcenverbrauch /Eigene Darstellung/

Bei der Weiterverwendung werden Komponenten/Module ausgebaut und in anderen, neuen Produkten mit anderem Nutzen weiterverwendet. Die Wiederverwendung im Sinne einer Kaskadennutzung ist ein Ansatz zur Verlängerung der Gesamtnutzungsdauer, bei der im Rahmen des Nutzungsphasenübergangs das Produkt gereinigt, geprüft und erneut dem Markt zugeführt wird. Der Funktionsumfang bleibt in vollem Maße erhalten und kann gegebenenfalls sogar erweitert werden. Das Upgrading bzw. die Renovation beschreibt den gezielten Austausch bestimmter Komponenten und Module gegen Innovativere. Ein Großteil der Funktionen und seine Gestalt bleiben erhalten, wobei die Leistungsfähigkeit gesteigert wird, um gesteigerten Kundenanforderungen gerecht zu werden. /VGL. RABE03, S.16/

Ein weiterer Effizienzaspekt ist die Bündelung von Nachfragen in Form kollaborativer Nutzungskonzepte. Durch die Summierung der Bedarfe können vor allem im Bereich der Beschaffung nachhaltigkeitsorientierte Skaleneffekte realisiert werden und der Ressourcenverbrauch minimiert werden.

Contracting (deutsch: Kontrahierung) stellt einen potentiellen Ansatz zur Steigerung der Rohstoffeffizienz dar. Die bedeutendsten Formen von Contracting im Sinne der Nachhaltigkeit sind das Energie-Contracting und das technische Anlagenmanagement. Durch die kollaborative Nutzung von Ressourcen (Anlagen) oder Beschaffung von Energie und den damit verbundenen Kostenvorteilen für Unternehmen kann der Einsatz effizienter und energiesparender Technik sowie die Bereitstellung umweltfreundlicher Energie gewährleistet werden. /VGL. GOEK04, S.4 F./

Im Rahmen der Umsetzung von nachhaltigen Nutzungskonzepten nehmen die Servicedienstleistungen, insbesondere die Instandhaltung und Wartung, eine bedeutende Rolle ein. Instandhaltungsaktivitäten können maßgeblich dazu beitragen, den Ressourcenverbrauch nachhaltig zu senken und stellen ein zunehmend größeres Wettbewerbspotential dar. Durch eine nachhaltige und zustandsorientierte Instandhaltung können Schadensausmaße reduziert und Sekun-

därschäden vermieden werden. Ferner kann durch eine verbesserte und detaillierte Fehlerdiagnose die Erhöhung der Lebensdauer von Bauteilen und Maschinen und deren Nutzungsdauern erreicht werden. /VGL. GUBA99/

## 5.4. Logistik und Regionalisierung

Die Logistik nimmt eine wichtige Rolle in der Industrie ein, erst durch sie wurde es möglich, eine globalisierte Wirtschaft aufzubauen. Seit den 70-er Jahren begann die internationale Arbeitsteiligkeit, in der standardisierte industrielle Aktivitäten ins Ausland verlagert wurden. Die treibende Intention bestand im Kern aus Kosteneinsparungseffekten und später dem Ausbau der Marktpräsenz, die es im internationalen Wettbewerb zu generieren galt. Der Rohstoffverbrauch stieg stetig an, was in Folge zu steigenden Logistikpreisen führte.

Die Logistik ist mit einem Jahresumsatz von ca. 200 Milliarden € und ca. 2,6 Millionen Beschäftigten einer der bedeutendsten Industriebranchen in Deutschland. Die Transportleistung wächst jedoch stärker als das Bruttoinlandsprodukt. In Deutschland werden ca. 72% der transportierten Güter über den Straßengüterverkehr abgewickelt, wo hingegen lediglich 18% über die Bahn und ca. 10% mit dem Schiff transportiert werden. Insgesamt ist die Anzahl der transportierten Güter in den letzten Jahren nicht gestiegen, es kam vielmehr die Verlängerung der Transportwege und die zunehmende Kleinteiligkeit der Güter zum Tragen, was die Logistikeffizienz nicht wachsen ließ. Die vorhandene Infrastruktur zeigt schon heute die Grenzen eines grenzenlosen Wachstums auf. /VGL. HECL08/

Die Beförderung von Gütern mit den Verkehrsträgern Bahn und Schiff ist im Vergleich zum Straßengüterverkehr deutlich ressourceneffizienter und weist zudem eine geringere Umweltbelastung aus. Ein Transport von einer Tonne Fracht über 100km mit der Bahn kann einen enormen Vorteil im Sinne des Rohstoffverbrauchs generieren, so liegt die benötigte Kraftstoffmenge bei gerade einmal 1,2 Liter. Im Vergleich dazu werden im Straßengüterverkehr für die gleiche Transportleistung 5,2 Liter Kraftstoff benötigt, was einem Mehrverbrauch von über 400% entspricht. Zudem zeigte die beispielhafte Betrachtung /VGL. 4.3.2/ bereits sehr deutlich, dass die Logistik maßgeblich dazu beitragen kann, den weltweiten Rohstoffverbrauch zu senken.

### Globale Arbeitsteiligkeit

Produktionsverlagerungen und Outsourcing-Aktivitäten werden zum einen von den existierenden Lohngefällen und zum anderen von den Logistikkosten bestimmt. Daher kommt auch in diesem Kontext der logistischen Leistungserstellung eine große Bedeutung im Sinne von Effizienzsteigerungen bei. Die Nachteile von Outsourcing-Projekten stellen sich in einer Zunahme der Rückverlagerungen dar. /VGL. ABBILDUNG 59/

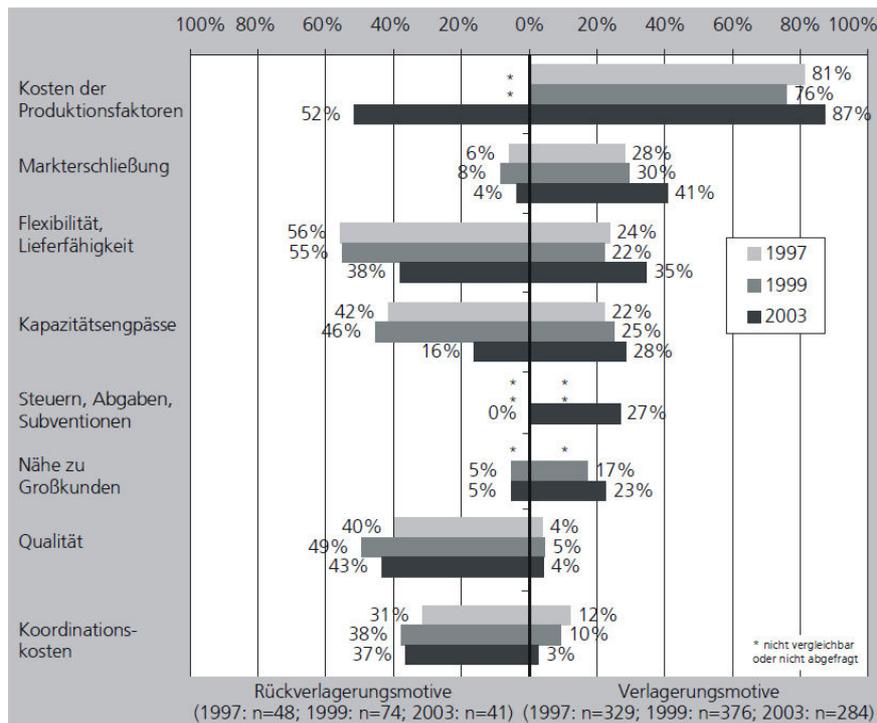


Abbildung 59: Verlagerungs- und Rückverlagerungsmotive im Zeitverlauf /vgl. KILA04, S.8/

Jeder ausgelagerte Prozess kommt einer Unterbrechung der Wertschöpfung gleich, was indirekt zu Steigerung der logistischen Dienstleistungen führt. Eine zunehmende, regionale Konzentration von Unternehmensfunktionen kann dazu beitragen, den Ressourcenverbrauch zu minimieren. Die primären Forschungsziele der Logistik sind:

- Regionale Bündelung von Produktion und Logistik durch den Aufbau von Produktions- und Logistikclustern
- Globaleffiziente Kollaboration zwischen Logistiknetzwerken auf Basis lokal und regional agierender Logistikpartner
- Ganzheitliche Bewertung von technischen Neuerungen (z. B. RFID) in Bezug auf das Potential einer Ressourcenverbrauchsminderung

Abschließend kann für die Handlungsoption der Logistik festgehalten werden, dass ein weiterer Ausbau der Globalisierung höhere Anforderungen an die Logistik schaffen könnte. Durch einen weiteren, primär kostenorientierten Ausbau der globalen Arbeitsteiligkeit wird der Aufwand für die Logistik weiter steigen, so dass der Anteil nichtwertschöpfender Aktivitäten weiter zunimmt. Eine zentral gesteuerte, aber regional organisierte Logistik kann einen wertvollen Beitrag für eine nachhaltige Logistik schaffen.

## 6. FAZIT UND AUSBLICK

*„Der Kommunismus ist zusammengebrochen, weil er den Preisen nicht erlaubt hat die ökonomische Wahrheit zu sagen, aber der Kapitalismus kann zusammenbrechen, wenn er den Preisen nicht erlaubt, die ökologische Wahrheit zu sagen.“* Ernst Ulrich von Weizsäcker

Die Grenzen des Wachstums liegen in den Grenzen unserer Rohstoffe begründet. Dieser Bezugsrahmen wird von der heutigen Lebensweise nur rudimentär beachtet. Der Konsum und die Nutzung einzelner Rohstoffe spielt dabei nur indirekt eine Rolle, vielmehr gilt es, die Zerstörung der Ökosphäre mit dem anhaltenden exzessiven Rohstoffverbrauch in den Mittelpunkt der Betrachtungen zu rücken.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte in einem ersten Schritt die Frage nach der Umsetzbarkeit eines ressourcenorientierten Managementansatzes im Vergleich zu einer rein marktorientierten Unternehmensausrichtung geklärt werden. Die Ressourcen wurden dabei als Bezugsrahmen des wirtschaftlichen Handelns identifiziert und bilden die Grundlage für die Generierung einer Marktnachfrage. Es ist somit unerlässlich, sich in erster Linie mit der Verfügbarkeit von Ressourcen zu beschäftigen, als die Befriedung von Marktinteressen als primäres Ziel zu betrachten. Daraufhin wurden die Positionierungsmöglichkeiten von Unternehmen im Sinne der Nachhaltigkeit beschrieben und erste Anforderungen an eine nachhaltigkeitsorientierte Unternehmensausrichtung aufgezeigt.

Die Wissenschaftsgebiete Umweltmanagement und Rohstoffmanagement wurden danach ausführlich betrachtet. Im Folgenden wurde Argumentationen für den möglichen Beitrag zur Steigerung der Nachhaltigkeitsleistung dargestellt, mit deren Hilfe aufgezeigt werden konnte, dass eine primäre Fokussierung auf den Aspekt der Umweltschadschöpfung, die eigentlichen Potentiale ungeachtet lässt und zudem einer zu starken Konzentration auf den end-of-pipe Aspekt unterliegt. Im Zuge einer fundierten Darstellung des Standes der Forschung auf dem Gebiet der Klimaforschung konnte gezeigt werden, dass eine Klimaveränderung stattfindet, die Ursachen jedoch noch nicht ausreichend erforscht sind, um die Treibhausgase als alleinigen Verursacher zu determinieren. Das grundlegende Problem liegt zudem nicht in der Menge der Treibhausgase, die vom Menschen emittiert werden, sondern vielmehr in dem zeitlichen Aspekt seiner Handlung und somit seines Rohstoffverbrauchs pro Zeiteinheit. Eine effiziente Rohstoffinanspruchnahme kann daher einen wertvolleren Beitrag zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele leisten.

Die Untersuchung bisheriger Instrumentarien im Spannungsfeld der dargestellten Wissensgebiete zeigte zahlreiche Unzulänglichkeiten in Bezug auf die Aspekte der Rohstoffentstehung, einer qualitativen Vergleichbarkeit in Bezug auf die Aufwand-Ersparnis Relation und des Bewertungsaufwandes.

Eine ganzheitliche Sichtweise konnte durch die Schaffung eines aggregierten Produktionssystems erreicht werden. Durch die wechselseitige Betrachtung der industriellen und natürlichen Produktion konnte der Betrachtungsgegenstand der Arbeit spezifiziert werden. Die wichtigsten Erfolgsfaktoren und Kennzahlen einer industriellen Fertigung wurden daraufhin identifiziert und ihre Übertragbarkeit auf das natürliche Produktionssystem vorgenommen, um ein einheitliches Zielsystem zu entwerfen. Die Bestimmung der ausgewählten Kennzahlen der natürlichen Produktion erfolgte unter Hinzunahme geologischer Erkenntnisse und zeigte an dieser Stelle bereits die negative Seite des vom Menschen verursachten Raubbaus an der Natur. Das bedeutendste Ergebnis war die Quantifizierung der Entstehungszeiten von Rohstoffen, die der Durchlaufzeit als Pendant der industriellen Produktion entspricht.

Der Bewertungsansatz wurde durch die Festlegung des Zuordnungsprinzips in eine anwendbare Methodik überführt, die in der darauf folgenden exemplarischen Betrachtungen erfolgreich angewandt. Die abschließende Entwicklung von Handlungsoptionen zeigte eine Vielzahl von Effizienzsteigerungsstrategien und deren Verbesserungspotentiale.

Um auf Grundlage eines anwendungsorientierten Bewertungsmodell die Nachhaltigkeit von Produkten, Prozessen und Unternehmen quantifizieren zu können und darüber hinaus Handlungsoptionen zur Steigerung der Nachhaltigkeitsleistung identifizieren zu können, wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit fünf Forschungsfragen diskutiert:

1. Was sind zentrale Herausforderungen im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung?

Die vorgenommene thematische Auseinandersetzung mit dem Wissensgebiet der Nachhaltigkeit führte zu der Erkenntnis, dass nicht alle Gestaltungsaspekte eine gleichwertige Bedeutung besitzen. Die ökonomische Perspektive dient dabei als Grundlage für Unternehmen, sich mit ökologischen Anforderungen auseinander zu setzen. Eine gleichrangige Verfolgung ökologischer und ökonomischer Zielsetzungen ist nur dann möglich, wenn sich ökologische Interessen positiv in der monetären Bewertung niederschlagen. Ferner stellen soziale Aspekte keinen primären Handlungsbedarf dar, da soziale Interessen durch Mitarbeiter oder Interesseneigner repräsentiert werden und somit lediglich einen Teil des Ökosystems darstellen.

Im Rahmen der Untersuchung der Interdependenzen der betrachteten Wissensgebiete wurde darlegt, dass eine Outputorientierung im Sinne der Reduzierung von Umweltbelastungen keine adäquate Ausrichtung von Nachhaltigkeitsaktivitäten darstellt. Vielmehr wurde aufgezeigt, dass nur eine Bewertung der Inputrelation in Form von Rohstoffeinträgen einen aktiv zu beeinflussenden Lösungsraum darstellt.

2. Was sind die Defizite existierender Konzepte zur Erreichung nachhaltiger Zielsetzungen und welche Anforderungen an ein nachhaltigkeitsinduziertes Bewertungskonzept lassen sich daraus ableiten?

Eine fehlende Entscheidungsunterstützung, inhomogene Kennzahlen, fehlende Anwendungsorientierung, unzureichende Bewertungssystematiken sind die zentralen De-

Defizite der untersuchten Methoden und Instrumente. Der bedeutendste Nachteil basiert jedoch auf der fehlenden Bewertbarkeit der Aufwände zur Steigerung der Nachhaltigkeit von Produkten oder Prozessen in Bezug auf die anvisierten Einsparungen. Die identifizierten Defizite wurden im Anschluss in Anforderungen an ein nachhaltigkeitsinduziertes Modell zur Prozessbewertung überführt. Die zentrale Herausforderung lag in der Integration einer Bewertungsmöglichkeit der Rohstoffaufwände und der daraus resultierenden Mindestanforderungen in Bezug auf Rohstoffeinsparungen als Grundlage zur Erreichung einer höheren Nachhaltigkeitsleistung.

3. Welchen Grad der Ganzheitlichkeit muss das zu entwickelnde Konzept besitzen, um eine fundierte Aussage zur Nachhaltigkeitsleistung treffen zu können?

Eine singuläre Betrachtung der industriellen Produktion und deren Auswirkungen auf das Ökosystem stellt nur einen unzureichenden Blickwinkel vor dem Hintergrund der Ganzheitlichkeit dar. Die zeitliche Dimension, die von der industriellen Produktion eingenommen wird, repräsentiert lediglich einen äußerst geringen Umfang der „Gesamtdurchlaufzeit“ von Produkten dar. Erst die Integration der natürlichen Produktionsprozesse kann dem Anspruch der Ganzheitlichkeit gerecht werden.

4. Was sind adäquate Kennzahlen zur Bewertung der Nachhaltigkeit?

Auf Grundlage der Kennzahlen zur Bewertung industrieller Prozessabläufe wurden Kennzahlen entwickelt, die eine vergleichende Bewertung von Aufwänden zur Erreichung einer gesteigerten Rohstoffeffizienz mit den damit verbundenen Einsparungen ermöglichen. Durch die fokussierte Dimensionierung der Kennzahlen auf zeitliche Aspekte sowie die Beschränkung des Kennzahlumfanges konnte zudem eine hohe Anwendungsorientierung sicher gestellt werden.

5. Welche Handlungsoptionen können Unternehmen eine Orientierungshilfe für eine nachhaltige Entwicklung geben?

Auf Grundlage der identifizierten Defizite im Rahmen der beispielhaften Betrachtung konnten im Anschluss Gestaltungsparameter abgeleitet werden. Die Gestaltungsparameter waren die Grundlage für die Entwicklung von Handlungsoptionen für eine nachhaltige Entwicklung.

Zusammenfassend kann die Erfüllung dieser Anforderungen determiniert werden, so dass es im Rahmen der vorliegenden Arbeit gelungen ist, ein Konzept für eine nachhaltige Rohstoffplanung und -steuerung zu entwickeln. Die berechneten nachhaltigen Nutzungsdauern aus den beispielhaften Betrachtungen stellen ein Idealziel dar, was als nur sehr schwer erreichbar anzusehen ist. Es kann jedoch als Positionierungsmöglichkeit von Unternehmen respektive Produkten genutzt werden, um in die rein monetäre Bewertung von Gütern eine nachhaltige Sichtweise zu integrieren und zukünftige Verbesserungspotentiale an den Zielen der Nachhaltigkeit auszurichten. Das Verhältnis von Geldeinheit zu nachhaltiger Nutzungsdauer bzw. Überbeanspruchung des Ökosystems stellt dabei die Annäherung an die Ziele einer nachhaltigen

gen Entwicklung dar. Im Rahmen zukünftiger Forschungsarbeiten kann das entwickelte Bewertungsmodell auch auf die Umweltbelastungen angewandt werden, um die Ganzheitlichkeit der Schnittstellen zwischen industriellem Handeln und der Ökosphäre abzubilden.

Rein monetäre Bewertungssysteme stoßen mehr denn je an ihre Grenzen, es scheint fast so als sei die finanzielle Bewertung von Rohstoffen ein Irrweg der Menschheit. In den Anfängen von Geld als Währung war man geleitet, dadurch die Tauschvorgänge zu vereinfachen. Geld war als Vergleichsnorm zur Bewertung von Rohstoffen und Gütern gedacht und entrückte immer mehr dieser anfänglichen Intention. Es kamen psychologische Effekte an den Börsen der Welt hinzu, die über ein realistisches und vorausschauendes Kalkül hinausgingen. Die Bewertung erfolgte auf Grundlage von Ressourcen plus X, was im Anbeginn der Währungen der Welt auf Begehrlichkeiten und gewissen Erkenntnislücken (z. B. Umwelteffekte) beruhte, formte sich im Laufe der Zeit zu einer nicht definierbaren „Masse“, die es zu erforschen galt.

Die Kernaussage einer nachhaltigen Entwicklung ist so klar wie einfach, künftige Generationen müssen dieselben Entwicklungschancen haben wie wir heute. Der Schutz der Ökosphäre ist somit die Fahrrinne, in der eine nachhaltige Entwicklung stattfinden kann. Es reicht heute nicht mehr aus, allein auf technische Innovationen in der Produktion und Entsorgung zu setzen. Die Herausforderung liegt in der Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen, die sich durch zwei Aspekte auszeichnen; sie müssen ökologisch vertretbar und gleichzeitig ökonomisch effizient sein.

## QUELLENVERZEICHNIS

- ACKH70 Ackhoff, R.L.: A Concept of corporate Planning, New York et. al., 1970
- AIKT04 Arnold, D., Isermann, H. Kuhn, A., Tempelmeier, H.(Hrsg.): Handbuch der Logistik, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2004
- ARND06 Arndt, O.: Ergebnisse der Sonderauswertung auf Basis des Prognos Zukunftsatlas 2004 und 2006, Vortrag der Prognos AG, Bremen, 29.09.2006
- BABR08 Bahlburg, H., Breitreuz, C.: Grundlagen der Geologie, Spektrum Akademischer Verlag, Münster, Freiberg, 2008
- BALR07 Baum, H.-G., Albrecht, T., Raffler, D.: Umwelt- und Ressourcenschutz als Unternehmensziel - Steigerung des Unternehmenswertes durch Ressourcenmanagement, Wiesbaden, 2007
- BDE06 Bundesverband der deutschen Entsorgungswirtschaft e.V.: „Urban Mining“ gegen die Rohstoffknappheit, Pressemitteilung vom 03. Juli 2006
- BEPK99 Behrendt, S., Pfitzner, R., Kreibich, R.: Wettbewerbsvorteile durch ökologische Dienstleistungen - Umsetzung in der Unternehmenspraxis, Springer Verlag, Berlin, 1999
- BGL08 Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V.: Modal-Split im Güterverkehr 1950-2008 nach Tonnenkilometern  
Abruf am 23.11.2008  
<http://www.bgl-ev.de/images/daten/verkehr/modalsplittkm.pdf>
- BGR07 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Kurzstudie zu Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2006, 2007
- BIRL07 Blake, E.S., Rappaport, E.N., Landsea, C.W.: The deadliest, costliest and most intensive United states tropical cyclones from 1852-2006, NOAA/NWS/NCEP/TPC/National Hurricane Center, 2007
- BMBF06 Bundesministerium für Bildung und Forschung: BMBF-Rahmenprogramm „Forschung für die Nachhaltigkeit“ - Hintergrundpapier und Ergebniszusammenfassung zum Vorhaben Analyse und Bewertung von Forschungsschwerpunkten für den Themenbereich „Nachhaltig wirtschaften in rohstoffnahen Produktionssystemen“, Pfinztal, 2006
- BMWG07 BMW Group: Sustainable Value Report 2007/08, München, 2007
- BMWI06 Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Verfügbarkeit und Versorgung mit Energierohstoffen, 2006

- 
- BMWI08 Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Primärenergieverbrauch nach Energieträgern, 2008
- BPAG08 Deutsche BP Aktiengesellschaft: Erdöl bewegt die Welt - Von der Quelle bis zum Verbraucher, Bochum, 2008
- BREU99 Breuel, B. (Hg.), Agenda 21, Vision: Nachhaltige Entwicklung, Buchreihe der Expo 2000, Frankfurt/Main: Campus Verlag, 1999
- BRIX06 Unternehmenspräsentation Kupferhütter Brixlegg, 2006
- BRJO00 Brand, K. W., Jochum, G.: Der deutsche Diskurs zu nachhaltiger Entwicklung, Münchener Projektgruppe für Sozialforschung, München, 2000
- BSF+07 Bringezu, S., van de Sand, I., Acosta-Fernández, J., Ulbricht, M., Erren, M., Saygin, D.: Abschätzung von Potentialen zur Verringerung des Ressourcenverbrauches im Automobilssektor, Wuppertal, 2007
- BUER07 Büringer, H.: Entwicklung des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg – Jahresfahrleistungen mit Kraftfahrzeugen, Statistisches Monatsheft Baden Württemberg 06/2007
- BUWL04 Burschel, C., Wiendl, A., Losen, D.: Betriebswirtschaftslehre der Nachhaltigen Unternehmung, München, Oldenbourg, Wissenschaftsverlag, 2004
- BVBK08 Informationen vom Deutschen Braunkohlen-Industrie-Verein e.V.  
Abruf am 06.11.2008  
<http://www.braunkohle.de/pages/glossar.php?page=7&archiv=E>
- CALD97 Calder, N.: Die launische Sonne, Dr. Böttiger Verlag, Wiesbaden, 1997
- CLAU05 Clausen, U.: Transportketten und logistische Dienstleistungen klimafreundlich gestalten, Vortrag zur Regionalkonferenz des Bundesministeriums für Bildung und Forschung „Rheinklima – die Zukunftsfähigkeit eines europäischen Wirtschaftsraums im Wandel des Klimas“, Bonn, 15. April 2005
- CLAU08 Clausen, U.: Maßnahmen im mobilen Bereich – Ergebnisse von StaMoLo und deren Umsetzung in der Praxis. Klimaschutz in der Logistik: Treibhausgase mindern – Kosten senken, Bonn, 2008
- DEBU02 Deutscher Bundestag: Umweltgutachten 2002 des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen - Für eine neue Vorreiterrolle, Deutscher Bundestag, 2002
- DEKI06 Deutsches Kupferinstitut: Kupfer - Werkstoff der Menschheit, Düsseldorf, 2006
- DEWM04 De Wit, B. ; Meyer, R.: Strategy, Process, Content, Conext – an international perspective, 2004
- EEAC04 European Environment Agency: Impacts of Europe’s changing Climate - An
-

- indicator-based assesment, Copenhagen, 2004
- ENGE04 Engelbrecht, C.: Logistiko Optimierung durch Outsourcing: Erfolgswirkung und Erfolgsfaktoren, DUV Verlag, 2004
- ERVE03 Erdöl-Vereinigung: Erdöl – Entstehung, Förderung und Verarbeitung, Zürich, 2003
- EUKO01 Europäische Kommission (Hrsg.): Europäische Rahmenbedingungen für die soziale Verantwortung der Unternehmen, Brüssel, 2001
- EURO06 Europäische Union: Indikatoren für nachhaltige Entwicklung für die Europäische Union, 2006  
Abruf am 11.12.2008  
[http://ec.europa.eu/sustainable/welcome/index\\_de.htm](http://ec.europa.eu/sustainable/welcome/index_de.htm)
- FAB+05 Frondel, M., Angerer, G. Grösche, Buchholz, P., P., Huchtemann, D. Oberheitmann, A., Peters, P., Vance, C., Sartorius, C., Röhling, S., Wagner, M.: Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen, Essen, Karlsruhe, Hannover, 2005
- FASS01 Faßbender-Wynands, E.: Umwelterorientierte Lebenszyklusrechnung: Instrumente zur Unterstützung des Umweltkostenmanagements, Köln, Deutscher Universitäts-Verlag, 2001
- FhG09 Fraunhofer Gesellschaft: Energieeffizienz in der Produktion – Untersuchung zum Handlungs- und Forschungsbedarf, Studie im Auftrag des Bundesministerium für Bildung und Forschung, Chemnitz und München, 2009
- FHSW01 Figge, F., Hahn, T., Schaltegger, S., Wagner, M.: The Sustainability Balanced Scorecard - Wertorientiertes Nachhaltigkeitsmanagement mit der Balanced Scorecard, Lüneburg, 2001
- FICH95 Fichter, K.: Die EG-Öko-Audit-Verordnung: Mit Öko-Controlling zum zertifizierten Umweltmanagement, München, Wien, Hanser Verlag, 1995
- FUCH05 Fuchs, F.: Entwicklung eines Werkzeugs zur ressourcenorientierten Prozesskostenrechnung für die Logistik. Verlag Praxiswissen, Dortmund 2005
- FUSS99 Fussler, C.: Die Öko-Innovation: Wie Unternehmen profitable und umweltfreundlich sein können, Hirzel, Stuttgart, 1999
- GEBH03 Gebhardt, K.: Umwelt Lexikon, Hamburg, 2003
- GJPS08 Grotzinger, J., Jordan, T. H., Press, F., Siver, R.: Allgemeine Geologie, Springer Verlag (Spektrum Akademischer Verlag), Berlin, Heidelberg, 2008
- GOEB07 Goebel D.: Betriebliches Energiemanagement, Dissertation, Universität Duisburg-Essen, 2007

- GOEK04 Gobmaier, T., Endres, M., Köhler, D.: Erprobung von Contracting in gewerblichen Unternehmen, Forschungsprojekt im Auftrag des Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. in Zusammenarbeit mit enwikon Energiewirtschaftliche Konzepte GmbH, München, 2004
- GRAR07 Green, K.C., Armstrong, J.S.: Global Warming: Forecasts by scientists versus scientific Forecasts, Energy & Environment volume 18, No. 7+8, 2007
- GUBA99 Gülker, E., Bandow, G. (Hrsg): Nachhaltige Instandhaltung - Ein neuer Weg zum Unternehmenserfolg, Dortmund, 1999
- GUEN94 Günther, E.: Ökologieorientiertes Controlling, München, 1994
- HABL07 Handelsblatt: Vom kleinen Trend zum großen Schub, 09.05.07
- HAER00 Haertsch, P.: Wettbewerbsstrategien für die Digital Economy; Eine kritische Überprüfung klassischer Strategiekonzepte, Dissertation, St. Gallen, 2000
- HAFB07 Hahn, T., Liesen, A., Figge F., Barkemeyer, R.: Nachhaltig erfolgreich wirtschaften, Studie im Rahmen des Forschungsprojektes „NEW - Erfolgreich wirtschaften: Analyse, Messung und Steuerung der Nachhaltigkeit von Unternehmen mit dem Sustainable Value Ansatz“ im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung Berlin, Sustainable Development Research Center und Universität St. Andrews, 2007
- HAWA01 Hahn, T., Wagner, M.: Sustainability Balanced Scorecard: Von der Theorie zur Umsetzung, Lüneburg, 2001
- HECL08 Hesse, K. Clausen, U.: Nachhaltige Gestaltung der Logistik, Dortmund, 2008
- HENN01 Hennicke, P.: Nachhaltigkeit – ein neues Geschäftsfeld?, Das Magazin, Wissenschaftszentrum NRW, 04/2001
- HERM04 Hermann, S.: Corporate Sustainability Branding - Nachhaltigkeits- und stakeholderorientierte Profilierung von Unternehmensmarken, Dissertation Handelshochschule Leipzig, 2004
- HIRS95 Hirsch, G.: Beziehungen zwischen Umweltforschung und disziplinärer Forschung. GAIA, 4, Heft 5-6: 302-314, 1995
- IDWK06 Institut der deutschen Wirtschaft Köln: Vorabdruck aus: IW-Trends – Die gesamtwirtschaftliche Bedeutung von Sekundärrohstoffen, 33. Jahrgang, Heft 3/2006, Berlin
- IPCC95 Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC Second Assessment Report: Climate Change 1995, Geneva, 1995

- IPPC01 Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001, Geneva, 2001
- IPPC07 Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2007: Synthesis Report, Valencia, 2007
- JKBP99 Jörissen, J., Kopfmüller, J., Brandl, V., Paetau, M.: Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung, Institut für Autonome intelligente Systeme Forschungszentrum, Karlsruhe, 1999
- JKL+05 Baron, R., Alberti, K., Gerber, J., Jochem, E. (Projektleitung), Bradke, H., Dreher, C., Ott, V., Kristof, K. (Projektleitung), Liedtke, C. (Projektleitung), Acosta, J., Bleischwitz, R., Bringezu, S. Busch., T. Kuhnt, M., Lemken, Ritthoff, M. Rosnow, J., Supersberger, N., Villar, A.: Studie zur Konzeption eines Programms für die Steigerung der Materialeffizienz in mittelständischen Unternehmen, Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit, Wuppertal (u.a.), 2005
- JUNG05 Junge, M.: Controlling modularer Produktfamilien in der Automobilindustrie - Entwicklung und Anwendung der Modularisierung-Balanced-Scorecard, Dissertation Universität Mainz, 2005
- KALS02 Käppner, M.; Laakmann, F.; Stracke, N.: Dortmunder Prozesskettenparadigma - Grundlagen. Sonderforschungsbereich 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“, Dortmund 2002
- KAZI07 Kazim H.: Kampf um Rohstoffe, Spiegel online, 16.01.2007
- KBA03 Kraftfahrt-Bundesamt: Pressemitteilung Nr. 30/2003 - Alter Fahrzeugbestand, Flensburg, 13.10.2003
- KBA09 Kraftfahrt-Bundesamt: Fahrzeugzulassungen – Bestand Fahrzeugalter (Stand: 1. Januar 2009), 2009
- KBL+06 Krsitof, K., Bleischwitz, R., Liedtke, C., Türk, V., Bringezu, S., Ritthoff, M., Schweinfurth, A.: Ressourceneffizienz - Eine Herausforderung für Politik und Wirtschaft, Hintergrundpapier des Wuppertal Instituts zur Tagung des Bundesumweltministeriums und der IG Metall „Ressourceneffizienz – Innovationen für Umwelt und Arbeitsplätze“, Berlin, 31.08.2006
- KHF+08 Koch, H.-J., von Haaren, C., Foth, H., Faulstich, M., Jänicke, M., Michaelis, P., Ott, K.: Umweltgutachten 2008: Umweltschutz im Zeichen des Klimawandels, Berlin, 2008
- KIRC90 Kirchgeorg, M.: Ökologieorientiertes Unternehmerverhalten - Typologien und Erklärungsansätze auf empirischer Grundlage, 1990
- KLAU07 Klausning, A.: Nachhaltigkeit am Beispiel des BASF-Konzerns, Ravensburg,

- GRIN Verlag, 2007
- KLPG93 Klimecki, R.G., Probst, G.J., Gmür, M.: Flexibilisierungsmanagement, Bern, 1993
- KRAM98 Kramer, D.A.: Magnesium Recycling in the United States in 1998 - Flow studies for recycling metal commodities in the united states, USGS, 1998
- KRTU06 Kristof, K., Türk, V.: Ressourceneffizienzsteigerungen durch unternehmensübergreifende Instrumente - Status-Quo Analyse, Kritik, Politikempfehlungen, Wuppertal, 2006
- KUHN95 Kuhn, A.: Prozeßketten in der Logistik. Entwicklungstrends und Umsetzungsstrategien. Verlag Praxiswissen, Dortmund 1995
- KUHN97 Kuhn, A.: Ressourcen: Die knappen Betriebsmittel der Logistik.  
In: Fördertechnik, Nr. 4, 1997, S.29-34
- KUMM06 S. Kummer (Hrsg.), O. Grün, W. Jammernegg: Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik, Krugzell, 2006
- LABC04 Loew, T., Ankele, K., Braun, S., Clausen, J.: Bedeutung der internationalen CSR-Diskussion für Nachhaltigkeit und die sich daraus ergebenden Anforderungen an Unternehmen mit Fokus Berichterstattung, Endbericht an das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Geschäftszeichen GI2 – 46043/136, Münster und Berlin, 2004
- LAOM07 Lastauto Omnibus: Klang trifft Farbe - Test: Mercedes Actros 1855 LS  
Megaspaces, Sonderdruck, 01/2007
- LEBR08 Lesemann, M., Bröckerhoff, M.: Leichtbau durch Multi-Material-Design, Vortrag des Instituts für Kraftfahrwesen Aachen auf der Gemeinschaftsveranstaltung von Automotive Rheinland und Südwestfalen und den Industrie- und Handelskammern in Nordrhein-Westfalen "Leichtbau in der Automobilindustrie", Düsseldorf, 03.06.2008
- LIHA96 Hahn, R.W. (Hrsg.), Lindzen, R.S.: Science and Politics: Global Warming and Eugenics - Beitrag in: From Risks, Costs, and Lives Saved, Oxford University Press, New York, 1996
- LIND90 Lindzen, R.S.: Some coolness concerning global warming, Erschienen in American Meteorology Society Vol. 71 No. 3, 1990
- LIND92 Lindzen, R.S.: Global Warming: The Origin and Nature of the Alleged Scientific Consensus, Erschienen in: The Cato Review of Business & Government, Vol.15, No. 2, Spring 1992
- LOBJ02 Loew, T., Beucker, S., Jürgens, G.: Vergleichende Analyse der Umweltcontrollinginstrumente Umweltbilanz, Umweltkennzahlen und Fluss-

- kostenrechnung, Zwischenbericht aus dem Projekt „INTUS - Operationalisierung von Instrumenten des Umweltcontrolling durch den effektiven Einsatz von Betrieblichen Umweltinformationssystemen“, Stuttgart, 2002
- MaMa07     Manager Magazin: Meilensteine der Handyentwicklung, 2007  
 Abruf am 02.04.2009  
<http://www.manager-magazin.de/fotostrecke/0,2828,24782,00.html>
- MASO39     Mason, E., S.: Price and Production Policies of Large-Scale Enterprises, The American Economic Review, 29, Nr. 1, March Part 2 - Supplement, S. 61- 74
- MASV00     Marsh, N., Svensmark, H.: Cosmic rays, clouds and climate, Danish Space Research Institute, Space Science Reviews, 2000
- MATT00     Matthes, S.: Mineralogie - Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde, Springer Verlag, 2000
- MATT03     Matthes, K.B.: Der Einfluss des 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus und der QBO auf die Atmosphäre - eine Modellstudie, Dissertation - FU Berlin, 2003
- MEIS99     Meissner, R.: Geschichte der Erde: Von den Anfängen des Planeten bis zur Entstehung des Lebens, C.H.Beck Verlag, 1999
- MEYE04     Meyer, P.: Methode zur Steigerung der ökonomischen und ökologischen Effizienz von Logistiknetzwerken der Entsorgungswirtschaft, Verlag Praxiswissen, Dortmund 2004
- MeZM72     Meadows, D., Meadows, D., Zahn, E., Milling, P.: Die Grenzen des Wachstums, Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1972
- MICH03     Michalas, N.: Methodik zur Gestaltung von nachhaltigen Nutzungskonzepten im Maschinen- und Anlagenbau, Dissertation RWTH Aachen, 2003
- MMP+04     Martens, P. N., Möllerherm, S., Pieper, C., Mohlfeld, M., Pateiro Fernández, J.B., Drüppel, E.: Entwicklung von Beurteilungssystemen für die Nachhaltigkeit bei der Rohstoffgewinnung (Endbericht), Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit, Bochum, Aachen, 2004
- MUEL01     Müller, V.: Konzeptionelle Gestaltung des operativen Produktionscontrollings unter Berücksichtigung von differenzierten Organisationsformen der Teilefertigung. Dissertation, Universität Rostock, Shaker Verlag, Aachen 2001.
- MUEL03     Müller E.: Vorstellung des Leitfadens „Flussmanagement für Produktionsunternehmen“, Augsburg, Pressekonferenz, 2003
- MUES99     Müser, M.: Ressourcenorientierte Unternehmensführung, Josef Eul Verlag, Lohmar/Köln, 1999

- NAKO08 Natur+Kosmos: Wie Lkw umweltfreundlicher fahren, Sonderbeilage, März 2008
- NWK+08 Neugebauer, R., Westkämper, E., Klocke, F., Kuhn, A., Schenk, M., Michaelis, A., Spath, D., Weidner, E.: Untersuchung zur Energieeffizienz in der Produktion, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, 2008
- OECD00 Organisation for Economic Co-operation and development: The OECD Guidelines for multinational Enterprises, Paris, 2000
- PENR55 Penrose, E. T.: Research on the business firm: limits to the growth and size of firms, American Economic Review, 45, 2, S.531–43, 1955
- PENR59 Penrose, E. T.: The Theory of the Growth of the Firm, New York: John Wiley, 1959
- PEPE01 Pepels, W.: Einführung in das Distributionsmanagement, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2001
- PFSA78 Pfeffer, J., Salancik, G.R.: The External Control of Organizations. A Resource Dependence Perspective. New York, Hagerstown, San Francisco, London, 1978
- PIEL93 Pielok, T.: Potential-Management mittels Prozessketten: Diskussion von Praxisbeispielen In: Prozesskettenoptimierung mit Simulationsmodellen, VDI-Bildungswerk, Düsseldorf, 1993
- PLEN06 W. Plenkens: Kampf um Öl, Proseminar Technologiedynamik - Universität Hamburg, 2006
- PLEO05 Pleon Kohtes Klewes GmbH: Unternehmen Verantwortung: Der Global Stakeholder Report - Die zweite weltweite Stakeholder-Befragung zur Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen, Bonn, 2005
- PLUE03 Plümer, T.: Logistik und Produktion, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2003
- PORT84 Porter, M. E.: Wettbewerbsstrategie (Competitive Strategy), 2. Aufl., Frankfurt, 1984
- PORT86 Porter, M. E.: Wettbewerbsvorteile (Competitive Advantage), Frankfurt/ New York, 1986
- PORT91 Porter, M. E.: Towards a dynamic theory of strategy, In: Strategic Management Journal, Winter 1991, Vol. 12, 1991, S.95-117
- POST08 Post, S.: Klimakatastrophe oder Katastrophenklima? - Die Berichterstattung über den Klimawandel aus Sicht der Klimaforscher, München Fischer, 2008
- PRSI95 Press, F., Siever, R.: Allgemeine Geologie, Spektrum Akademischer Verlag,

- Heidelberg, Berlin, Oxford, 1995
- PUBO06 Pütz, M., Bömkes, T.: Controlling von Nachhaltigkeitspotentialen am Beispiel der Industry Line Public der T-Systems International GmbH, Bergische Universität Wuppertal - Prof. Dr. W. Matthes, Wuppertal, 2006
- RABE03 Rabelt, V. (Koordination): Langes Leben - Nachhaltige Produkte und wie man sie nutzt , Gemeinschaftsprojekt des GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Berlin, 2003
- RANN96 Ranné, O.: Ökonomische Überlegungen zum Begriff des Öko-Dumping, Diskussionspapier - Agrar- und Ressourcenökonomik, Universität Bonn, 1996
- REIS06 Reisinger, H.: Abfallvermeidung und -verwertung in Österreich - Annex zum Materialienband, Umweltbundesamt, Wien, 2006
- RING79 Ringwood, A.E.: Origin of the earth and the moon, Springer Verlag, 1979
- ROBL01 H. Rohn, C. Baedeker, C. Liedtke: Zukunftsfähige Unternehmen - SAFE - Sustainability Assessment For Enterprises - Die Methodik - Ein Instrument zur Unterstützung einer zukunftsfähigen Unternehmens- und Organisationsentwicklung, Wuppertal, 2001
- ROSE01 Rogalla, C., Sietz, M. Engemann, M.: Umweltmanagementsysteme, Kissing, WEKA Media GmbH, 2001
- RPGZ08 Reuscher, G., Ploetz, C., Grimm, V., Zweck, A.: Innovationen gegen Rohstoffknappheit, VDI e.V., Düsseldorf, 2008
- RUEH94 Rühli, E.: Die Resource-based View of Strategy - Ein Impuls für einen Wandel im unternehmungspolitischen Denken und Handeln? In: Gomez, P. (Hrsg.), Unternehmerischer Wandel. Wiesbaden, 31 – 57, 1994
- RWEP04 RWE Power AG: Entstehung der niederrheinischen Braunkohle, Essen, Köln, 2004
- SARD97 Sardemann, G.: Beeinflussung des globalen Klimas durch den Menschen: Historische Entwicklung und Stand des Wissens zum anthropogenen Treibhauseffekt, Erschienen in: J.Kopfmüller u. R.Coenen (Hrsg.) Risiko Klima, Frankfurt a. M. und New York 1997, S.27-73
- SCAM83 Scientific American, Vol. 249 (1983), S. 86 f.
- SCBW01 Schulz, W. F., Burschel, C., Weigert, M.: Lexikon Nachhaltiges Wirtschaften, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2001
- SCFB06 Schieferdecker, B., Fünfgeld C., Bonneschky A.: Energiemanagement-Tools: Anwendung im Industrieunternehmen, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag, 2006

- SCHA07 Schäfer, G. (Eurostat - Statistical Office of the European Communities): Europe in figures - Eurostat year book 2008, Luxembourg, 2007
- SCHE96 Scheringer, M.: Transdisziplinarität – Leitbild oder Leerformel? GAIA, 5, Heft 3-4: 126-128, 1996
- SCHR07 Schröder, S.: Vergleichende Energiebilanzierung der regionalen und überregionalen Produktion von Wein und Äpfeln, Göttingen, Cuvillier Verlag, 2007
- SCHU76 Schumann, J.: Grundzüge der mikroökonomischen Theorie, Berlin/Heidelberg/New York, 1976
- SCHW94 Schwaninger, M.: Managementsysteme, Frankfurt a.M./New York, 1994
- SCMA95 Schimmelpfeng, L., Machmer, D.: Öko-Audit: Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung, Taunusstein, Eberhard Blottner Verlag, 1995
- SCMA96 Schimmelpfeng, L., Machmer, D.: Öko-Audit und Öko-Controlling gemäß ISO 14000 ff. und EG-Verordnung Nr.1836/93: Mit dem Text der EG-Öko-Audit-Verordnung, Taunusstein, Blottner Verlag, 1996
- SCWE05 Scafetta, N., West, B. J.: Estimated solar contribution to the global surface warming using the ACRIM TSI satellite composite, Geophysical research letters, VOL. 32, 2005
- SCWE07 Scafetta, N., West, B. J.: Phenomenological reconstructions of the solar signature in the Northern Hemisphere surface temperature records since 1600, Geophysical research letters, VOL. 32, 2007
- SHEL07 Shell AG: Kraftstoff sparen in Deutschland - Daten und Fakten, 2007  
Abruf am 15.10.2008  
[http://www.shell.com/static/de-de/downloads/news\\_and\\_library/publications/2007/fuel\\_economy\\_facts.pdf](http://www.shell.com/static/de-de/downloads/news_and_library/publications/2007/fuel_economy_facts.pdf)
- SHKM02 Schaltegger, S., Herzig, C., Kleiber, O., Müller, J.: Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen: Konzepte und Instrumente zur nachhaltigen Unternehmensentwicklung, Center for Sustainability Management, Lüneburg, 2002
- SHVE03 Shaviv, N.J., Veizer J.: Celestial driver of Phanerozoic climate?, Erschienen in GSA TODAY S.4-9, Juli 2003
- SIET95 Sietz, M.: Umwelthandbuch Öko-Audit: Konzept, Organisation und Inhalt am Beispiel eines mittelständischen Druckunternehmens, Taunusstein, Blottner Verlag, 1995
- SOKR03 Solanki, S.K., Krivova, N. A.: Can solar variability explain solar warming since 1970?, Journal of Geophysical Research, Volume 108, No. A5, 1200, doi: 10.1029/2002JA009753, 21. Mai 2003

- SPIE08 Spiegel Online: Spritverbrauchstest - Golf III schlägt Golf V, 2008  
 Abruf am 23.09.2008  
<http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,584603,00.html>
- SPIE09 Spiegel Online: 4,4 Milliarden Handyverträge weltweit, 2009  
 Abruf am 05.08.2009  
<http://www.spiegel.de/netzwelt/web/0,1518,640552,00.html>
- STAE89 Staehle, W.H.: Funktionen des Managements – Eine Einführung in einzelwirtschaftliche und gesamtgesellschaftliche Probleme der Unternehmensführung, Bern/Stuttgart, 1989
- STEI96 Steiner, D.: Ende oder Transformation der Wissenschaft? GAIA, 5, Heft 6: 310-312, 1996
- STRO08 Stroh, K. (Bayerisches Landesamt für Umwelt): Umweltwissen - Treibhausgase, Augsburg, 2008
- SUK+04 Sami K. Solanki, Ilya G. Usoskin, Bernd Kromer, Manfred Schüssler, Jürg Beer: Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years, Nature, 28 October 2004
- SVFC97 Svensmark, H., Friis-Christensen, E.: Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage - a missing link in solar-climate relationships, Erschienen in Journal of Atmospheric and Solar-terrestrial Physics, No. 59, S.1225-1232
- SWO+03 Seebacher, U., Oehme, I. Suschek-Berger, J., Windsperger, A. Steinlechner, S.: Fabrik der Zukunft: Handbuch: Produktbezogene Umweltinformationssysteme (PUIS) in Theorie und Praxis, Graz, St. Pölten, 2003
- THAL05 Thalheim, K.: Mineralische Rohstoffe, Vorlesungsunterlagen, Institut für Geotechnik - Professur für angewandte Geologie, TU Dresden, 2005
- THIE97 Thiele, M.: Kernkompetenzorientierte Unternehmensstrukturen – Ansätze zur Neugestaltung von Geschäftsbereichorganisationen, Wiesbaden, 1997
- THOM67 Thompson, J.D.: Organizations in Action, New York, 1967
- TOEN00 Tönsing, E.: Energiekostenreduzierung durch betriebliches Energiemanagement, Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung - Im Auftrag des Baden-Württembergischen Wirtschaftsministeriums, Karlsruhe, 2000
- TREP87 Trepl, L.: Geschichte der Ökologie: vom 17. Jahrhundert bis zur Gegenwart. Frankfurt a. M. 1987
- UBA05 Umweltbundesamt: Die Zukunft in unseren Händen - 21 Thesen zur Klimaschutzpolitik des 21. Jahrhundert und ihre Begründungen, Dessau, 2005
- UBA07 Umweltbundesamt: Umwelt-Kernindikatorensystem : Klimaänderungen :

- Treibhauseffekt – Eine globale Herausforderung, 2007  
 Abruf am 20.07.2007  
<http://www.envit.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2842>
- UBA08 Umweltbundesamt: Emissionsentwicklung 1990 - 2007, Treibhausgase, inkl. erweiterte Auswertung und Äquivalentemissionen der Treibhausgase, 2008
- UNIC01 Union of Industrial and Employers' Confederations of Europe: European Industry – Views on EU Environmental Policy Making for Sustainable Development, Brüssel, 2001
- USGS00 U.S. Geological Survey: Silver Recycling in the United States in 2000, U.S. Department of the Interior, Washington, 2000
- USGS08 U.S. Geological Survey: Mineral Commodity Summaries 2008, U.S. Department of the Interior, Washington, 2008
- USGS98 U.S. Geological Survey: Manganese Recycling in the United States in 1998, U.S. Department of the Interior, Washington, 1998
- USS+93 Usoskin, I. G., Solanki, S. K., Schüssler, M., Mursula, K., Alanko, K.: A Millennium Scale Sunspot Reconstruction: Evidence For an Unusually Active Sun Since the 1940's, Physical Review Letters, 91, 211101 (1993)
- VDI4400a VDI-Richtlinie 4400: Logistikkennzahlen für die Beschaffung, VDI-Gesellschaft, Düsseldorf, 2001
- VDI4400b VDI-Richtlinie 4400: Logistikkennzahlen für die Produktion, VDI-Gesellschaft, Düsseldorf, 2001
- VDI4400c VDI-Richtlinie 4400: Logistikkennzahlen für die Distribution, VDI-Gesellschaft, Düsseldorf, 2001
- VERU02 Verkehrs-Rundschau: Ausgerechnet Maut, S. 20-22, Nr. 22/2002
- WAKU06 Wallbaum, H., Kummer, N.: Entwicklung einer Hot Spot-Analyse zur Identifizierung der Ressourcenintensitäten in Produktketten und ihre exemplarische Anwendung, Wuppertal, 2006
- WANN07 Wannenwetsch, H.: Integrierte Materialwirtschaft und Logistik - Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion, 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2007
- WAST03 Wagner Bernd, Strobel Markus: Flussmanagement für Produktionsunternehmen: Material- und Informationsflüsse nachhaltig gestalten: Ein ganzheitlicher Managementansatz für den Mittelstand, Augsburg, Readline Wirtschaftsverlag, 2003
- WEDD01 Weddige, h.-J.: Stahl im Wettbewerb der Werkstoffe, Dissertation TU Bergakademie Freiberg, 2001

- WIHA86 Winje, D., Hanitsch, R.: Energieberatung / Energiemanagement, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1986
- WILD02 Wildemann, H.: Produktionscontrolling. Controlling von Verbesserungsprozessen in Unternehmen. 4. Auflage, TCW Transfer-Centrum-Verlag, München 2002.
- WILS03 Wilson, M.: Corporate sustainability: What is it and where does it come from?, Ivey Business Journal, University of Western Ontario, 2003
- WITT03 Wittenberg, M.: Stoffstromanalyse und Bewertung von Umweltschutzmaßnahmen am Beispiel der Abwasserwirtschaft eines Automobilwerks, Technische Universität Braunschweig, Dissertation, 2003
- WLJG06 Willis, J.K., Lyman, J.M. Johnson, G.C., Gilson, J.: Recent Cooling of the Upper Ocean, Geophysical Research Letters No. 33, 2006
- WVM08 WirtschaftsVereinigung Metalle: Metallstatistik 2007, Düsseldorf, 2008
- ZANT99 Zantow, D.: Prozessorientierte Bewertung von Produktionsstandorten in Produktionsnetzwerken, Dissertation, Dortmund, 1999
- ZEIT99 Grober, Ulrich: Der Erfinder der Nachhaltigkeit. DIE ZEIT, Nr.48/25.11.99, S.98 d
- ZUSC98 R. Züst, A. Schlatter (Hrsg.): ECO-PERORMANCE - Beiträge zum betrieblichen Umweltmanagement, Zürich, 1998

**ANHANG**

**A.1. Aluminium**

Aluminium - Australien						
<b>Gibbsite</b>						
<b>Bohemite</b>						
<b>Zeitalter</b>	<b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b>	<b>Paläo- zoikum</b>	<b>Neo- protero- zoikum</b>	<b>Meso- protero- zoikum</b>	<b>Paläo- protero- zoikum</b>	<b>Archai- kum</b>
<b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Gibbsite</b>	0	1	0	1	0	0
<b>Bohemite</b>	0	0	0	1	0	0
<b>Diaspore</b>	Keine bekannten Lagerstätten					
<b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>998.000.000</b>					

# Aluminium - Brasilien



Zeitalter	Meso- zoikum bis Käno- zoikum	Paläo- zoikum	Neo- protero- zoikum	Meso- protero- zoikum	Paläo- protero- zoikum	Archai- kum
Zeitspanne [Mio. Jahr]	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800

ANHANG - ALUMINIUM

<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Gibbsite</b>	3	0	0	0	0	0
<b>Bohemite</b>	2	0	0	0	0	0
<b>Diaspore</b>	0	1	0	0	0	0
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>171.000.000</b>					

<b>Aluminium - Guinea</b>	
<b>Guinea kann direkt einem geo-tektonischen Zyklus zugeordnet werden. Dabei handelt es sich um das Archaikum.</b>	
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>3.150.000.000</b>

<b>Aluminium - Jamaika</b>	
<b>Guinea kann direkt einem geo-tektonischen Zyklus zugeordnet werden. Dabei handelt es sich um das Mesozoikum-Känozoikum.</b>	
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>126.000.000</b>

<b>Entstehungszeit Aluminium</b>				
<b>Land</b>	Australien	Brasilien	Guinea	Jamaika
<b>Anteil an Rohstoff-Mindestreservenbasis [%]</b>	33,53	11,18	43,53	11,76
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	998.000.000	170.000.000	3.150.000.000	126.000.000
<b>Gewichtetes Durchschnittsalter des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>1.740.000.000</b>			

## A.2. Chrom

Die größten Chromreserven mit 59,8% befinden sich laut *USGS* in Kasachstan. /VGL. *USGS08*, S. 49/ Daraus ergibt sich, dass sich 93,6% der Weltreserven in zwei Ländern befinden. Somit kann auf eine Betrachtung weiterer Lagerstätten in diesem Fall verzichtet werden.

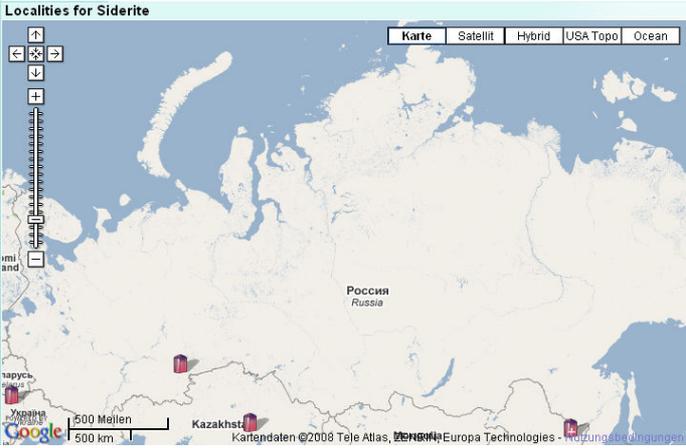
<b>Chrom - Kasachstan</b>	
<b>Kasachstan kann direkt einem geo-tektonischen Zyklus zugeordnet werden. Dabei handelt es sich um das Paläozoikum.</b>	
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>408.000.000</b>

<b>Chrom - Südafrika</b>	
<b>Südafrika kann direkt einem geo-tektonischen Zyklus zugeordnet werden. Dabei handelt es sich um das Archaikum.</b>	
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>3.150.000.000</b>

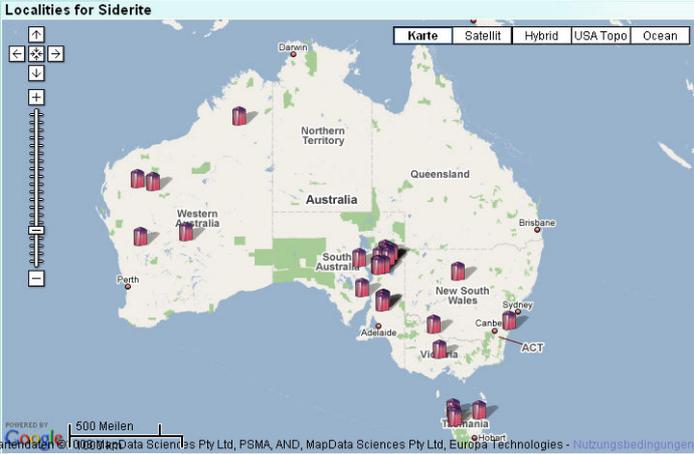
<b>Entstehungszeit Chrom</b>		
<b>Land</b>	Kasachstan	Südafrika
<b>Anteil an Rohstoff-Mindestreservenbasis [%]</b>	63,51	36,49
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	408.000.000	3.150.000.000
<b>Gewichtetes Durchschnittsalter des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>1.408.000.000</b>	

A.3. Eisen

<b>Eisen - Russland</b>	
<b>Magnetite</b>	
<b>Hematite</b>	
<b>Goethite</b>	

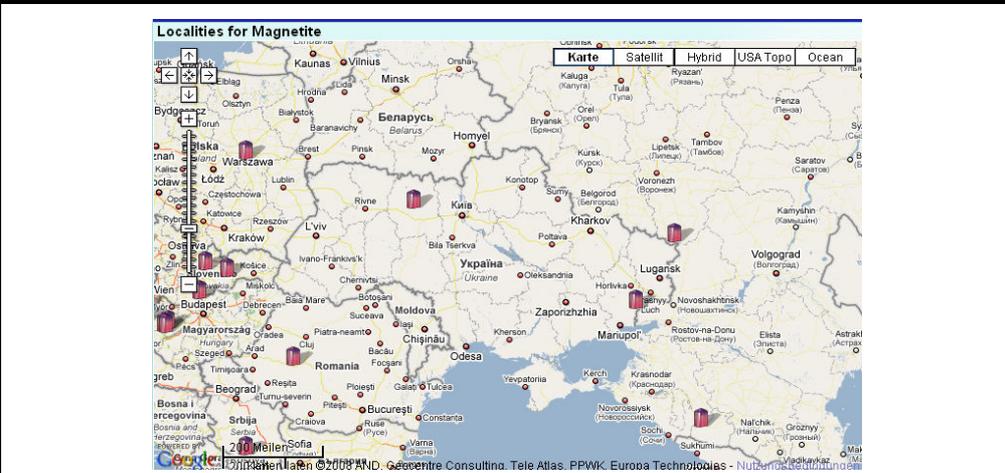
<b>Siderite</b>						
<b>Zeitalter</b>	<b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b>	<b>Paläo- zoikum</b>	<b>Neo- protero- zoikum</b>	<b>Meso- protero- zoikum</b>	<b>Paläo- protero- zoikum</b>	<b>Archai- kum</b>
<b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Magnetite</b>	3	2	0	0	6	0
<b>Hematite</b>	3	0	0	2	2	0
<b>Goethite</b>	2	1	0	0	2	0
<b>Siderite</b>	1	1	0	0	0	0
<b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>1.033.000.000</b>					

<b>Eisen - Australien</b>	
<b>Magnetite</b>	<p>Localities for Magnetite</p>
<b>Hematite</b>	<p>Localities for Hematite</p>
<b>Goethite</b>	<p>Localities for Goethite</p>

<p><b>Siderite</b></p>						
<p><b>Zeitalter</b></p>	<p><b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b></p>	<p><b>Paläo- zoikum</b></p>	<p><b>Neo- protero- zoikum</b></p>	<p><b>Meso- protero- zoikum</b></p>	<p><b>Paläo- protero- zoikum</b></p>	<p><b>Archai- kum</b></p>
<p><b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b></p>	<p>0-251</p>	<p>251-542</p>	<p>542-1.000</p>	<p>1.000-1.600</p>	<p>1.600-2.500</p>	<p>2.500-3.800</p>
<p><b>Meridian</b></p>	<p>125,5</p>	<p>396,5</p>	<p>771</p>	<p>1.300</p>	<p>2.050</p>	<p>3.150</p>
<p><b>Magnetite</b></p>	<p>2</p>	<p>14</p>	<p>0</p>	<p>0</p>	<p>3</p>	<p>36</p>
<p><b>Hematite</b></p>	<p>0</p>	<p>13</p>	<p>0</p>	<p>1</p>	<p>16</p>	<p>4</p>
<p><b>Goethite</b></p>	<p>0</p>	<p>21</p>	<p>0</p>	<p>1</p>	<p>2</p>	<p>13</p>
<p><b>Siderite</b></p>	<p>0</p>	<p>24</p>	<p>0</p>	<p>0</p>	<p>2</p>	<p>5</p>
<p><b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b></p>	<p><b>1.664.000.000</b></p>					

# Eisen - Ukraine

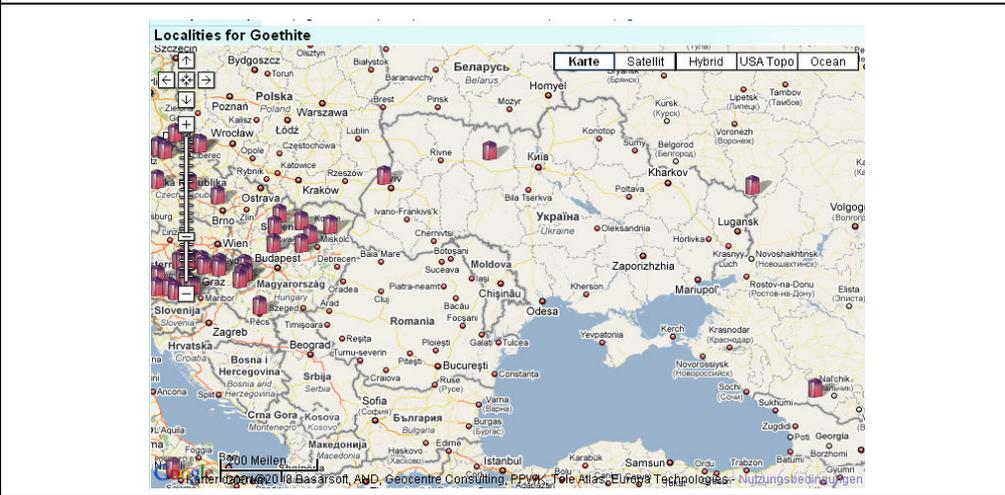
**Magnetite**



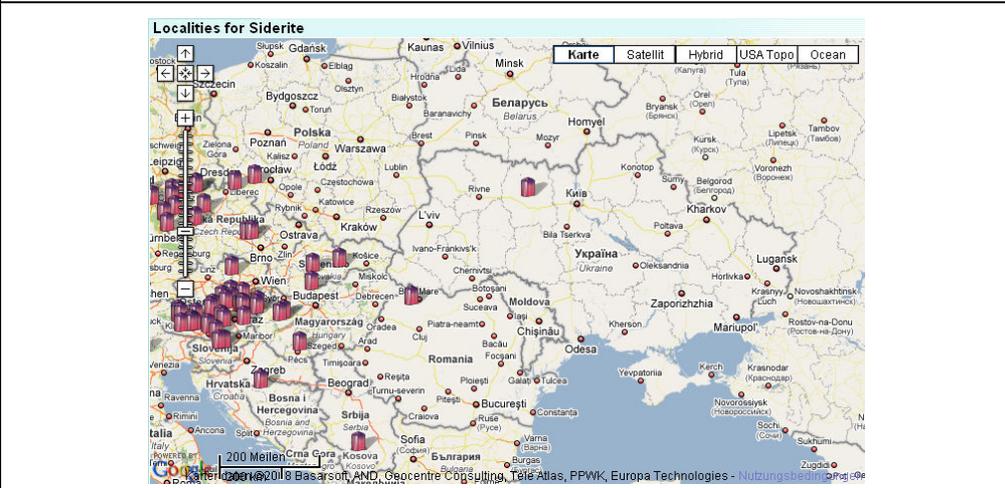
**Hematite**

Zu Hematite-Vorkommen in der Ukraine liegen keine Daten vor.

**Goethite**



**Siderite**





# Eisen - Brasilien

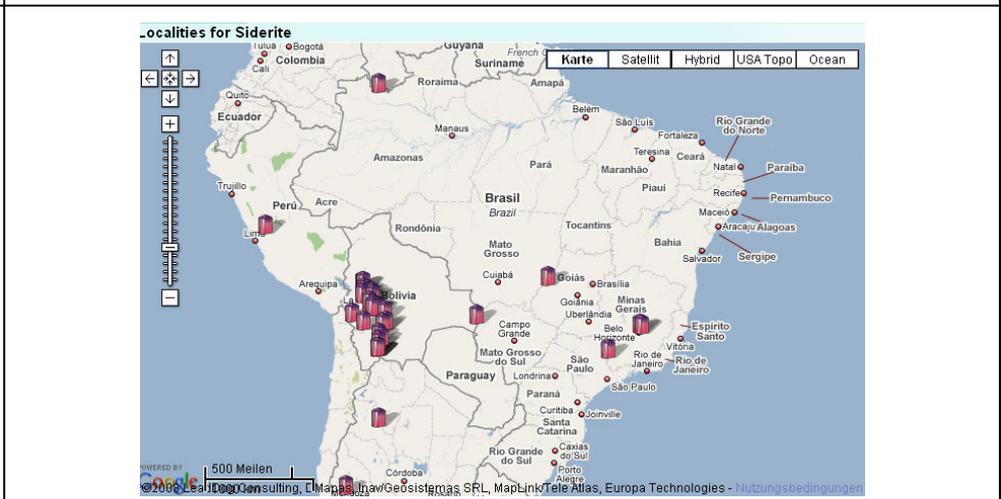
**Hematite**



**Goethite**



**Siderite**

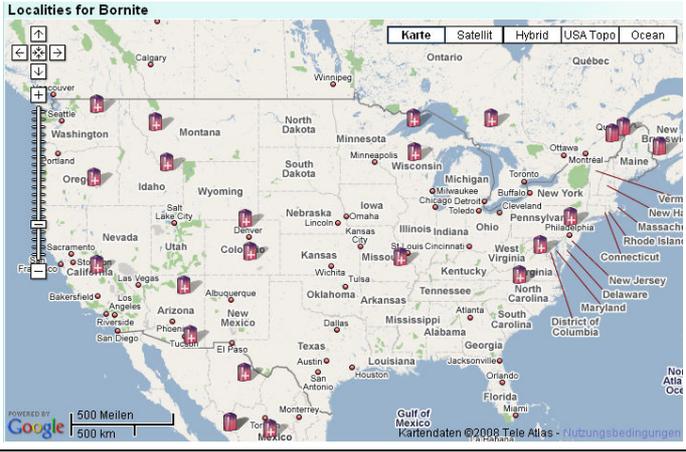
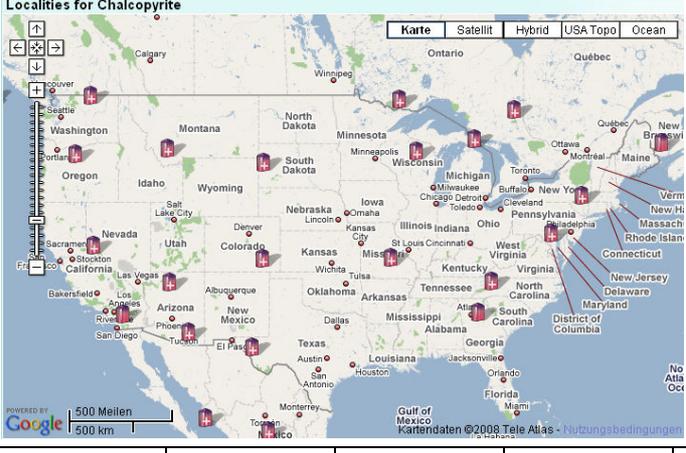


Zeitalter	Meso- zoikum bis Käno- zoikum	Paläo- zoikum	Neo- protero- zoikum	Meso- protero- zoikum	Paläo- protero- zoikum	Archai- kum
Zeitspanne [Mio. Jahr]	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800

<b>Eisen - Brasilien</b>						
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Magnetite</b>	0	0	4	0	0	8
<b>Hematite</b>	0	0	1	0	1	6
<b>Goethite</b>	0	0	2	0	0	5
<b>Siderite</b>	0	0	2	0	1	1
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>2.388.000.000</b>					

<b>Entstehungszeit Eisen</b>				
<b>Land</b>	Russland	Australien	Ukraine	Brasilien
<b>Anteil an Rohstoff-Mindestreservenbasis [%]</b>	33,33	30,11	21,51	15,05
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	1.032.000.000	1.664.000.000	673.000.000	2.388.000.000
<b>Gewichtetes Durchschnittsalter des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>1.350.000.000</b>			

A.4. Kupfer

Kupfer - USA						
<b>Chalcocite</b>						
<b>Bornite</b>						
<b>Chalcopyrite</b>						
<b>Zeitalter</b>	<b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b>	<b>Paläo- zoikum</b>	<b>Neo- protero- zoikum</b>	<b>Meso- protero- zoikum</b>	<b>Paläo- protero- zoikum</b>	<b>Archai- kum</b>
<b>Zeitspanne</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800

[Mio. Jahr]						
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Chalcocite</b>	905	152	0	0	65	0
<b>Bornite</b>	720	120	0	0	28	5
<b>Chalcopyrite</b>	889	229	0	0	86	3
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>238.000.000</b>					

<b>Kupfer - Chile</b>	
Guinea kann direkt einem geo-tektonischen Zyklus zugeordnet werden. Dabei handelt es sich um das Mesozoikum-Känozoikum.	
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>126.000.000</b>

<b>Kupfer - Peru</b>	
Guinea kann direkt einem geo-tektonischen Zyklus zugeordnet werden. Dabei handelt es sich um das Mesozoikum-Känozoikum.	
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>126.000.000</b>

<b>Kupfer - Indonesien</b>	
Guinea kann direkt einem geo-tektonischen Zyklus zugeordnet werden. Dabei handelt es sich um das Mesozoikum-Känozoikum.	
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>126.000.000</b>

<b>Entstehungszeit Kupfer</b>				
<b>Land</b>	<b>USA</b>	<b>Chile</b>	<b>Peru</b>	<b>Indonesien</b>
<b>Anteil an Rohstoff-Mindestreservenbasis [%]</b>	13,26	68,18	11,36	7,20
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	238.000.000	126.000.000	126.000.000	126.000.000
<b>Gewichtetes Durchschnittsalter des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>146.000.000</b>			

A.5. Magnesium

Magnesium - Russland						
Magnesite						
Dolomite						
Olivine						
Zeitalter	Meso- zoikum bis Käno- zoikum	Paläo- zoikum	Neo- protero- zoikum	Meso- protero- zoikum	Paläo- protero- zoikum	Archai- kum
Zeitspanne	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800

[Mio. Jahr]						
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Magnesite</b>	0	0	0	0	1	0
<b>Dolomite</b>	1	1	0	0	1	0
<b>Olivine</b>	1	0	0	0	1	0
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>1.133.000.000</b>					

## Magnesium - China

<b>Magnesite</b>	<p>Localities for Magnesite</p>
<b>Dolomite</b>	<p>Localities for Dolomite</p>

<p><b>Olivine</b></p>						
<p><b>Zeitalter</b></p>	<p><b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b></p>	<p><b>Paläo- zoikum</b></p>	<p><b>Neo- protero- zoikum</b></p>	<p><b>Meso- protero- zoikum</b></p>	<p><b>Paläo- protero- zoikum</b></p>	<p><b>Archai- kum</b></p>
<p><b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b></p>	<p>0-251</p>	<p>251-542</p>	<p>542-1.000</p>	<p>1.000-1.600</p>	<p>1.600-2.500</p>	<p>2.500-3.800</p>
<p><b>Meridian</b></p>	<p>125,5</p>	<p>396,5</p>	<p>771</p>	<p>1.300</p>	<p>2.050</p>	<p>3.150</p>
<p><b>Magnesite</b></p>	<p>4</p>	<p>1</p>	<p>0</p>	<p>0</p>	<p>6</p>	<p>0</p>
<p><b>Dolomite</b></p>	<p>86</p>	<p>40</p>	<p>0</p>	<p>0</p>	<p>23</p>	<p>0</p>
<p><b>Olivine</b></p>	<p>13</p>	<p>15</p>	<p>0</p>	<p>0</p>	<p>3</p>	<p>0</p>
<p><b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b></p>	<p><b>527.000.000</b></p>					

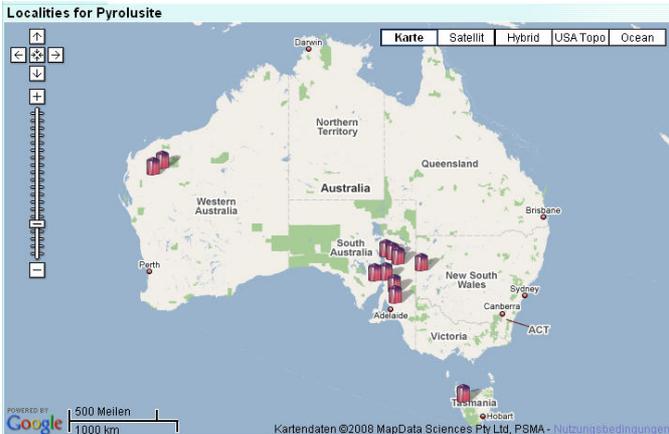
<p><b>Magnesium - Nordkorea</b></p>	
<p><b>Guinea kann direkt einem geo-tektonischen Zyklus zugeordnet werden. Dabei handelt es sich um das Paläoproterozoikum.</b></p>	
<p><b>Länderspezifische Ø Entstehungs- zeit des Rohstoffes [Jahr]</b></p>	<p><b>2.050.000.000</b></p>

<b>Magnesium - Slowakei</b>	
<b>Guinea kann direkt einem geo-tektonischen Zyklus zugeordnet werden. Dabei handelt es sich um das Mesozoikum-Känozoikum.</b>	
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>126.000.000</b>

<b>Entstehungszeit Magnesium</b>				
<b>Land</b>	Russland	China	Nordkorea	Slowakei
<b>Anteil an Rohstoff-Mindestreservenbasis [%]</b>	27,44	32,33	28,20	12,03
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	1.133.000.000	527.000.000	2.050.000.000	126.000.000
<b>Gewichtetes Durchschnittsalter des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>1.075.000.000</b>			

**A.6. Mangan**

Mangan - Südafrika						
<b>Pyrolusite</b>						
<b>Zeitalter</b>	<b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b>	<b>Paläo- zoikum</b>	<b>Neo- protero- zoikum</b>	<b>Meso- protero- zoikum</b>	<b>Paläo- protero- zoikum</b>	<b>Archai- kum</b>
<b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
<b>Pyrolusite</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Dolomite</b>	0	0	0	0	0	1
<b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>3.150.000.000</b>					

Mangan - Australien						
<b>Pyrolusite</b>						
<b>Zeitalter</b>	<b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b>	<b>Paläo- zoikum</b>	<b>Neo- protero- zoikum</b>	<b>Meso- protero- zoikum</b>	<b>Paläo- protero- zoikum</b>	<b>Archai- kum</b>
<b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Pyrolusite</b>	0	8	0	0	2	1
<b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>947.000.000</b>					

Mangan - Ukraine	
Ukraine kann direkt einem geo-tektonischen Zyklus zugeordnet werden. Dabei handelt es sich um das Archaikum.	
<b>Länderspezifische Ø Entstehungs- zeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>3.150.000.000</b>

## Mangan - Indien

Zu Indien liegen keine Daten vor. Daher wird die Determinierung der Entstehungszeit exklusive Indien vorgenommen.

## Entstehungszeit Mangan

Land	Südafrika	Australien	Ukraine	Indien
<b>Anteil an Ressourcen-Mindestreservenbasis</b>	82,82	3,31	10,77	3,11
<b>Länderspezifisches Durchschnittsalter</b>	3.150.000.000	947.000.000	3.150.000.000	--
<b>Gewichtetes Durchschnittsalter der Ressource [Jahr]</b>	<b>2.980.000.000</b>			

A.7. Molybdän

Molybdän - China						
<b>Molybdenite</b>						
<b>Zeitalter</b>	<b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b>	<b>Paläo- zoikum</b>	<b>Neo- protero- zoikum</b>	<b>Meso- protero- zoikum</b>	<b>Paläo- protero- zoikum</b>	<b>Archai- kum</b>
<b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Molybdenite</b>	95	53	0	0	32	0
<b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>547.000.000</b>					

<b>Molybdän - USA</b>						
<b>Molybdenite</b>						
<b>Zeitalter</b>	<b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b>	<b>Paläo- zoikum</b>	<b>Neo- protero- zoikum</b>	<b>Meso- protero- zoikum</b>	<b>Paläo- protero- zoikum</b>	<b>Archai- kum</b>
<b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Molybdenite</b>	755	73	0	0	15	0
<b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>183.000.000</b>					

Molybdän - Kanada						
<b>Pyrolusite</b>						
<b>Zeitalter</b>	<b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b>	<b>Paläo- zoikum</b>	<b>Neo- protero- zoikum</b>	<b>Meso- protero- zoikum</b>	<b>Paläo- protero- zoikum</b>	<b>Archai- kum</b>
<b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Molybdenite</b>	14	5	0	4	0	1
<b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>504.000.000</b>					

Molybdän - Chile	
Chile kann direkt einem geo-tektonischen Zyklus zugeordnet werden. Dabei handelt es sich um das Meso- und Känozoikum.	
<b>Länderspezifische Ø Entstehungs- zeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>126.000.000</b>

<b>Entstehungszeit Molybdän</b>				
<b>Land</b>	China	USA	Kanada	Chile
<b>Anteil an Rohstoff-Mindestreservenbasis [%]</b>	48,51	31,56	5,32	14,61
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	547.000.000	183.000.000	504.000.000	126.000.000
<b>Gewichtetes Durchschnittsalter des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>370.000.000</b>			

**A.8. Nickel**

Nickel - Australien						
<b>Pentlandite</b>						
<b>Zeitalter</b>	<b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b>	<b>Paläo- zoikum</b>	<b>Neo- protero- zoikum</b>	<b>Meso- protero- zoikum</b>	<b>Paläo- protero- zoikum</b>	<b>Archai- kum</b>
<b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Pentlandite</b>	0	4	0	0	1	41
<b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>2.887.000.000</b>					



<b>Nickel - Kuba</b>	
<b>Kuba kann direkt einem geo-tektonischen Zyklus zugeordnet werden. Dabei handelt es sich um das Mesozoikum-Känozoikum.</b>	
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>126.000.000</b>

<b>Entstehungszeit Nickel</b>				
<b>Land</b>	Australien	Kanada	Neu Kaledonien	Kuba
<b>Anteil an Rohstoff-Mindestreservenbasis [%]</b>	33,75	18,75	18,75	28,75
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	2.887.000.000	1.994.000.000	126.000.000	126.000.000
<b>Gewichtetes Durchschnittsalter des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>1.408.000.000</b>			

A.9. Silber

Silber - China						
<b>Acanthite</b>						
<b>Zeitalter</b>	<b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b>	<b>Paläo- zoikum</b>	<b>Neo- protero- zoikum</b>	<b>Meso- protero- zoikum</b>	<b>Paläo- protero- zoikum</b>	<b>Archai- kum</b>
<b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Acanthite</b>	18	31	0	0	8	0
<b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>543.000.000</b>					

## Silber - USA

<b>Acanthite</b>						
<b>Zeitalter</b>	<b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b>	<b>Paläo- zoikum</b>	<b>Neo- protero- zoikum</b>	<b>Meso- protero- zoikum</b>	<b>Paläo- protero- zoikum</b>	<b>Archai- kum</b>
<b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Acanthite</b>	409	8	0	0	2	0
<b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>140.000.000</b>					

## Silber - Polen

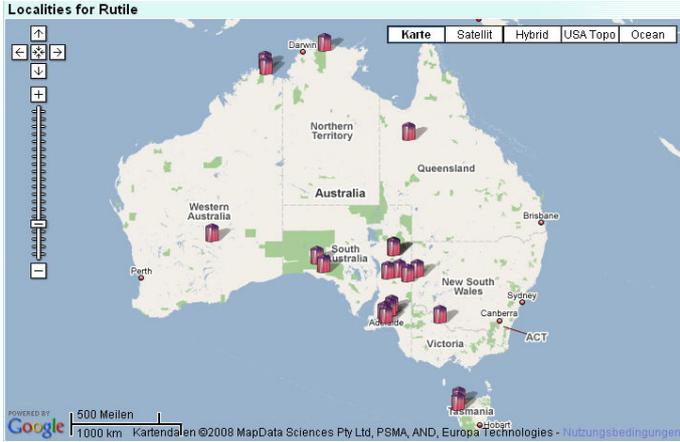
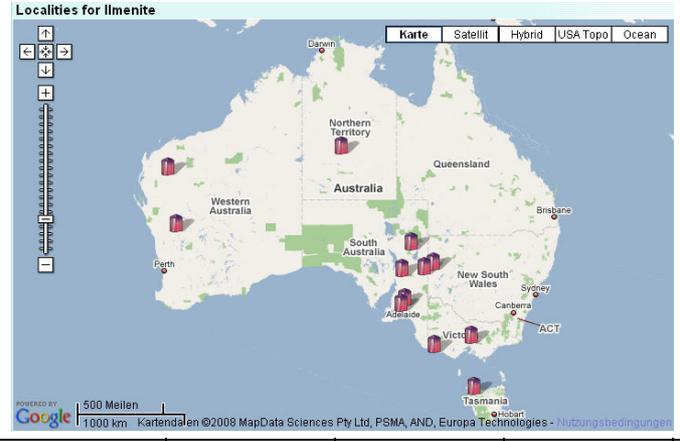
<p><b>Polen kann direkt einem geo-tektonischen Zyklus zugeordnet werden. Dabei handelt es sich um das Mesozoikum-Känozoikum.</b></p>	
<p style="text-align: center;"><b>Länderspezifische Ø Entstehungs- zeit des Rohstoffes [Jahr]</b></p>	<b>126.000.000</b>

<b>Silber - Mexiko</b>	
<b>Mexiko kann direkt einem geo-tektonischen Zyklus zugeordnet werden. Dabei handelt es sich um das Mesozoikum-Känozoikum.</b>	
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>126.000.000</b>

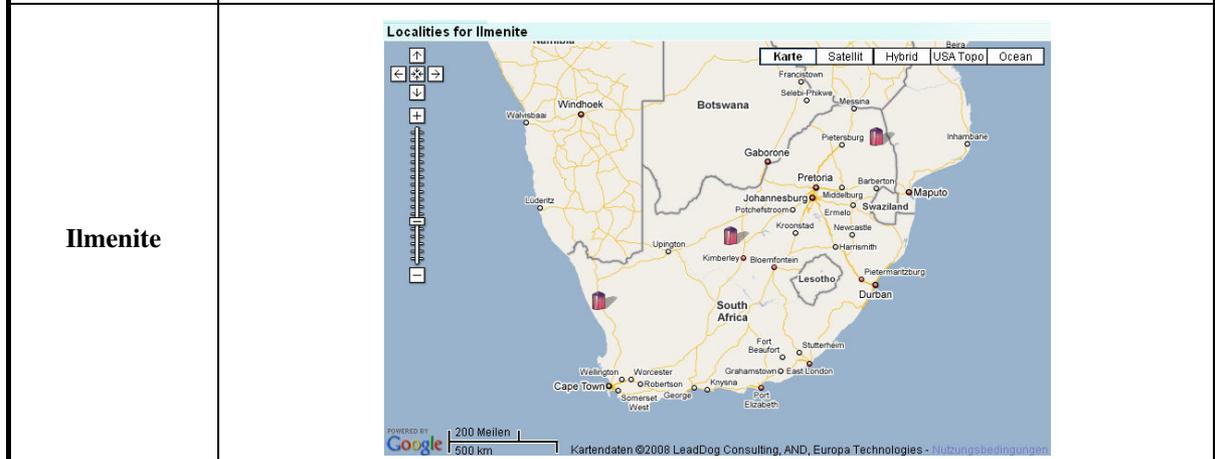
<b>Entstehungszeit Silber</b>				
<b>Land</b>	China	USA	Polen	Mexiko
<b>Anteil an Rohstoff-Mindestreservenbasis [%]</b>	31,58	21,05	36,84	10,53
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	543.000.000	140.000.000	126.000.000	126.000.000
<b>Gewichtetes Durchschnittsalter des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>260.000.000</b>			

A.10. Titan

Titan - China						
Rutile						
Ilmenite						
Zeitalter	Meso- zoikum bis Käno- zoikum	Paläo- zoikum	Neo- protero- zoikum	Meso- protero- zoikum	Paläo- protero- zoikum	Archai- kum
Zeitspanne [Mio. Jahr]	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
Meridian	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
Rutile	31	18	0	0	9	0
Ilmenite	31	17	0	0	11	0
Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]	<b>535.000.000</b>					

<b>Titan - Australien</b>						
<b>Rutile</b>						
<b>Ilmenite</b>						
<b>Zeitalter</b>	<b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b>	<b>Paläo- zoikum</b>	<b>Neo- protero- zoikum</b>	<b>Meso- protero- zoikum</b>	<b>Paläo- protero- zoikum</b>	<b>Archai- kum</b>
<b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Rutile</b>	2	14	0	1	3	1
<b>Ilmenite</b>	0	9	0	0	2	1
<b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>825.000.000</b>					

## Titan - Südafrika



Zeitalter	Meso- zoikum bis Käno- zoikum	Paläo- zoikum	Neo- protero- zoikum	Meso- protero- zoikum	Paläo- protero- zoikum	Archai- kum
Zeitspanne [Mio. Jahr]	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	<b>2.500-3.800</b>
Meridian	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Rutile</b>	0	0	0	1	0	0
<b>Ilmenite</b>	0	0	1	2	0	0
<b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>1.168.000.000</b>					

## Titan - Indien

Zu Indien liegen keine Daten vor. Daher wird die Determinierung der Entstehungszeit exklusive Indien vorgenommen.

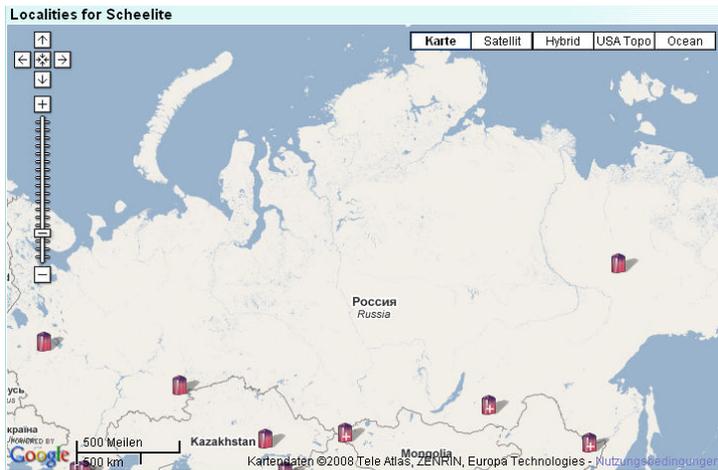
## Entstehungszeit Titan

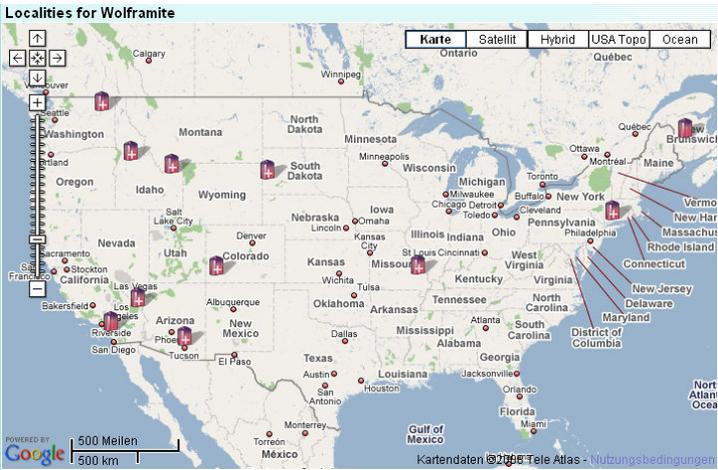
Land	China	Australien	Südafrika	Indien
<b>Anteil an Rohstoff-Mindestreservenbasis [%]</b>	34,48	18,82	24,04	22,66
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	535.000.000	825.000.000	1.168.000.000	n.n.
<b>Gewichtetes Durchschnittsalter des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>620.000.000</b>			

A.11. Wolfram

Wolfram - China						
Wolframite						
Scheelite						
Zeitalter	Meso- zoikum bis Käno- zoikum	Paläo- zoikum	Neo- protero- zoikum	Meso- protero- zoikum	Paläo- protero- zoikum	Archai- kum
Zeitspanne [Mio. Jahr]	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
Meridian	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
Wolframite	46	8	0	0	2	0
Scheelite	65	17	0	0	13	0
Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]	<b>362.000.000</b>					



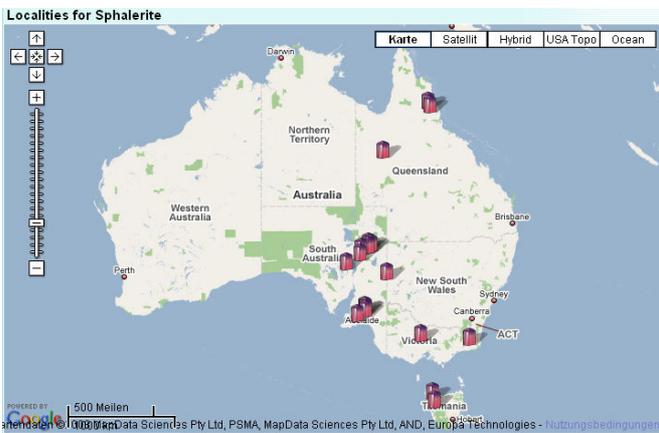
<b>Wolfram - Russland</b>						
<b>Wolframite</b>						
<b>Scheelite</b>						
<b>Zeitalter</b>	<b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b>	<b>Paläo- zoikum</b>	<b>Neo- protero- zoikum</b>	<b>Meso- protero- zoikum</b>	<b>Paläo- protero- zoikum</b>	<b>Archai- kum</b>
<b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Wolframite</b>	3	6	0	0	2	0
<b>Scheelite</b>	5	1	0	0	1	0
<b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>550.000.000</b>					

<b>Wolfram - USA</b>						
<b>Wolframite</b>						
<b>Scheelite</b>						
<b>Zeitalter</b>	<b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b>	<b>Paläo- zoikum</b>	<b>Neo- protero- zoikum</b>	<b>Meso- protero- zoikum</b>	<b>Paläo- protero- zoikum</b>	<b>Archai- kum</b>
<b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Wolframite</b>	192	10	0	0	0	0
<b>Scheelite</b>	1108	25	0	0	4	0
<b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>138.000.000</b>					

<b>Entstehungszeit Wolfram</b>				
<b>Land</b>	China	Kanada	Russland	USA
<b>Anteil an Rohstoff-Mindestreservenbasis [%]</b>	79,10	9,23	7,91	3,77
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	362.000.000	350.000.000	552.000.000	138.000.000
<b>Gewichtetes Durchschnittsalter des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>367.000.000</b>			

A.12. Zink

Zink - China						
Sphalerite						
Wurtzite						
Zeitalter	Meso- zoikum bis Käno- zoikum	Paläo- zoikum	Neo- protero- zoikum	Meso- protero- zoikum	Paläo- protero- zoikum	Archai- kum
Zeitspanne [Mio. Jahr]	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
Meridian	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
Sphalerite	13	6	0	0	2	0
Wurtzite	2	0	0	0	0	0
Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]	<b>364.000.000</b>					

Zink - Australien						
<b>Sphalerite</b>						
<b>Wurtzite</b>	<b>Zu Wurtzite-Vorkommen in Australien liegen keine Daten vor.</b>					
<b>Zeitalter</b>	<b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b>	<b>Paläo- zoikum</b>	<b>Neo- protero- zoikum</b>	<b>Meso- protero- zoikum</b>	<b>Paläo- protero- zoikum</b>	<b>Archai- kum</b>
<b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Sphalerite</b>	0	13	0	3	1	0
<b>Wurtzite</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>653.000.000</b>					

## Zink - USA



Zeitalter	Meso- zoikum bis Käno- zoikum	Paläo- zoikum	Neo- protero- zoikum	Meso- protero- zoikum	Paläo- protero- zoikum	Archai- kum
<b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Sphalerite</b>	603	182	0	0	124	0
<b>Wurtzite</b>	23	8	0	0	9	0
<b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>450.000.000</b>					

<b>Zink - Kasachstan</b>	
<b>Kasachstan kann direkt einem geo-tektonischen Zyklus zugeordnet werden. Dabei handelt es sich um das Paläozoikum.</b>	
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>397.000.000</b>

<b>Entstehungszeit Zink</b>				
<b>Land</b>	China	Australien	USA	Kasachstan
<b>Anteil an Rohstoff-Mindestreservenbasis [%]</b>	29,02	31,55	28,39	11,04
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	364.000.000	653.000.000	450.000.000	397.000.000
<b>Gewichtetes Durchschnittsalter des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>483.000.000</b>			

A.13. Zinn

Zinn - China						
<b>Cassiterite</b>						
<b>Zeitalter</b>	<b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b>	<b>Paläo- zoikum</b>	<b>Neo- protero- zoikum</b>	<b>Meso- protero- zoikum</b>	<b>Paläo- protero- zoikum</b>	<b>Archai- kum</b>
<b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Cassiterite</b>	64	9	0	0	2	0
<b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>210.000.000</b>					

Zinn - Brasilien						
<b>Cassiterite</b>						
<b>Zeitalter</b>	<b>Meso- zoikum bis Käno- zoikum</b>	<b>Paläo- zoikum</b>	<b>Neo- protero- zoikum</b>	<b>Meso- protero- zoikum</b>	<b>Paläo- protero- zoikum</b>	<b>Archai- kum</b>
<b>Zeitspanne [Mio. Jahr]</b>	0-251	251-542	542-1.000	1.000-1.600	1.600-2.500	2.500-3.800
<b>Meridian</b>	125,5	396,5	771	1.300	2.050	3.150
<b>Cassiterite</b>	0	0	2	0	0	0
<b>Länderspezifi- sche Ø Entste- hungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>771.000.000</b>					

Zinn - Malaysia	
<p>Malaysia kann direkt einem geo-tektonischen Zyklus zugeordnet werden. Dabei handelt es sich um das Mesozoikum-Känozoikum.</p>	
<b>Länderspezifische Ø Entstehungs- zeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>126.000.000</b>

<b>Zinn - Peru</b>	
<b>Peru kann direkt einem geo-tektonischen Zyklus zugeordnet werden. Dabei handelt es sich um das Mesozoikum-Känozoikum.</b>	
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>126.000.000</b>

<b>Entstehungszeit Zinn</b>				
<b>Land</b>	China	Brasilien	Malaysia	Peru
<b>Anteil an Rohstoff-Mindestreservenbasis [%]</b>	42,68	30,49	14,63	12,20
<b>Länderspezifische Ø Entstehungszeit des Rohstoffes [Jahr]</b>	210.000.000	771.000.000	126.000.000	126.000.000
<b>Gewichtetes Durchschnittsalter des Rohstoffes [Jahr]</b>	<b>358.000.000</b>			