

# **Landschaftsstrukturmaße in der Raumplanung**

Untersuchung von Strukturmaßen zur Erfassung der  
Schutzwürdigkeit von Wäldern anhand der räumlichen Struktur

Masterarbeit  
zur Erlangung des akademischen Grades eines Masters of Science (M. Sc.)

Univ.-Prof. Dr. Dietwald Gruehn (Fakultät Raumplanung, LLP)

M. Sc. Mathias Schaefer (Fakultät Raumplanung, RIM)

vorgelegt von:

Antonia Pfeiffer

[antonia.pfeiffer@tu-dortmund.de](mailto:antonia.pfeiffer@tu-dortmund.de)

Abgabedatum: 01.07.2020

Bildnachweis Titelblatt: eigene Aufnahme

## Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Masterarbeit im Studiengang Raumplanung an der Technischen Universität Dortmund selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Bei der Anfertigung wurde ausschließlich die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus diesen Quellen entnommen wurden, habe ich als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

(Ort, Datum)

(Unterschrift)

## Lesehinweis

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit und zur Fokussierung auf den fachlichen Inhalt wird auf eine geschlechterspezifische Differenzierung verzichtet und nur die männliche Ausdrucksform gewählt. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichberechtigung stellvertretend für alle existierenden Genderformen.

Aus Datenschutzgründen wurden in der veröffentlichten Version Interviewpartner\*innen anonymisiert und persönliche Informationen gelöscht.

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben. Mein besonderer Dank gebührt meinen Betreuern Prof. Dr. Dietwald Gruehn und M. Sc. Mathias Schaefer, für ihre zuverlässige Unterstützung, hilfreiche Anregungen und konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit.

Bei meinen Interviewpartnern bedanke ich mich herzlich für ihre Informationsbereitschaft und Anregungen, die maßgeblich dazu beigetragen haben, dass diese Masterarbeit in dieser Form vorliegt.

Schließlich danke ich meinen Kommilitonen und Freunden, die mir mit viel Geduld, Interesse und Hilfsbereitschaft zur Seite standen. Nicht zuletzt gebührt ein ganz spezieller Dank meiner Familie für die bedingungslose Unterstützung während meines gesamten Studiums und für die starke emotionale Stütze in der Abschlussphase.



# Zusammenfassung

Politisches Ziel ist es, die vielfältigen ökonomischen, ökologischen und sozialen Funktionen des Waldes zum Nutzen gegenwärtiger und zukünftiger Generationen dauerhaft sicherzustellen. Die fundierte Berücksichtigung von Waldfunktionen in Entscheidungsfindungsprozessen der Raumplanung setzen eine quantitative Informationsgrundlage voraus. Die Erfassung, Bewertung und Gewichtung der räumlichen Strukturen der Wälder mit einer daraus abgeleiteten Gesamtplanung ist eine große Herausforderung. Landschaftsstrukturmaße können die Komplexität der räumlichen Struktur vereinfachen, messbar und vergleichbar machen. Im Rahmen dieser Arbeit soll anhand einer umfassenden Sammlung an Strukturmaßen aufgezeigt werden, welche Potenziale und Hemmnisse für den Einsatz als ökologische Planungswerkzeuge zur Bewertung der räumlichen Eigenschaften von Wäldern bestehen. Die aussagekräftigsten Strukturmaße wurden zur GIS-basierten multikriteriellen Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder mittels der Compromise Programming (CP) Methode in einer Gesamtbewertung zusammengeführt. Anhand dieses Bewertungsverfahrens konnten quantitative Zustandsbeschreibungen sowie flächenbezogene Aussagen über den Gefährdungszustand bzw. die Schutzwürdigkeit der Waldflächen des Bundeslandes Nordrhein-Westfalens (NRW) getroffen werden. Hierbei konnten besonders zu schützende kleine Waldflächen mit einem hohen Isolierungsgrad und hohen negativen Einwirkungen durch angrenzende Nutzungen identifiziert werden. Diese Waldflächen gilt es vor weiteren Beeinträchtigungen zu schützen, um das Potenzial der Multifunktionalität zu bewahren. Das Ergebnis der Gesamtbewertung zeigt, dass 62,74 % des Waldes in NRW aufgrund räumlicher Gegebenheiten besonders schutzbedürftig sind. Nur ein sehr geringer Anteil der Wälder entspricht den idealen räumlichen Strukturen. Die vorgeschlagene Methode kann als wissenschaftlicher Rahmen für forstpolitische Entscheidungen und Planung im Umgang mit Wäldern zum Schutz auf einer frühen Planungsphase beitragen. Diese Arbeit ist ein Beitrag zur fortlaufenden Verfahrens- und Methodenentwicklung der forstlichen Fachplanung zum Schutz der Wälder und deren vielfältigen Funktionen.



## Summary

The political objective is to ensure the long-term economic, ecological, and social functions of forests for the benefit of present and future generations. The sound consideration of forest functions in decision-making processes in spatial planning requires a base of quantitative information. The recording, evaluation, and weighting of the spatial structures of forests for an overall planning approach is a major challenge. Landscape metrics can simplify the complexity of the spatial structure and make it measurable and comparable. The aim of this thesis is to demonstrate the potentials and barriers of structural measures as ecological planning tools for the assessment of spatial characteristics of forests by means of a comprehensive collection of landscape metrics. The most significant structural measures were combined into a GIS-based multi-criteria assessment of the vulnerability of forests using the compromise programming (CP) method. This assessment procedure enabled a quantitative description of the current state of the forest and area-related statements about the endangered state or rather the need for protection of certain forest areas in the federal state of North Rhine-Westphalia (NRW). Small forest areas with a high degree of insulation and high negative impacts from adjacent uses were identified. These forests need to be protected from further damage to preserve the potential of multifunctionality. The result of the overall assessment shows that 62,74 % of the forest in NRW is particularly vulnerable due to spatial conditions. Only a very small proportion of the forests correspond to the ideal spatial structures. The proposed method can contribute to the protection of forests at an early planning stage as a scientific framework for policy decisions as well as forestry management and planning. This thesis is a contribution to the ongoing development of procedures and methods of forestry planning for the protection of forests and their multifaceted functions.

Anzahl der Zeichen ohne Leerzeichen: 168.677

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	iii
Tabellenverzeichnis.....	iv
Kartenverzeichnis.....	v
Formelverzeichnis.....	v
Abkürzungsverzeichnis.....	vi
1 Einleitung.....	1
2 Theoretische Grundlagen und Begriffsbestimmungen.....	3
2.1 Landschaftsstrukturmaße.....	3
2.1.1 Software zur Berechnung und Darstellung von Strukturmaßen.....	5
2.1.2 Datengrundlage.....	8
2.2 Wald als Schutzgut in der Raumplanung.....	11
2.2.1 Definition von Wald.....	13
2.2.3 Walderhebungen in Deutschland.....	13
2.2.2 Waldfunktionen.....	15
2.3 Bewertung der Schutzwürdigkeit von Wäldern.....	21
2.3.1 Anforderungen an das Bewertungssystem.....	22
2.3.2 Anforderungen an Strukturmaße als Bewertungskriterien.....	23
2.3.3 Compromise Programming.....	25
3 Problem und Fragestellung.....	29
4 Methodik zur Bewertung der Schutzwürdigkeit von Wäldern anhand der räumlichen Struktur.....	31
4.1 Methodisches Vorgehen und Forschungsdesign.....	31
4.2 Kategorisierung und Abgrenzung der Strukturmaße.....	33
4.3 Experteninterviews zur Kriteriengewichtung.....	35
4.4 Auswahl der Geodaten.....	35
4.5 Aufbereitung der Geodaten.....	37
4.6 Bezugseinheiten.....	40
5 Ausgewählte Strukturmaße zur Erfassung der räumlichen Struktur von Wäldern.....	43
5.1 Patchebene.....	48
5.2 Klassenebene.....	57
5.3 Auswirkungen der Rasterauflösung und Landschaftsgrenze auf die Anwendung der Strukturmaße.....	63
5.4 Reduzierung der Strukturmaße durch Korrelationsanalyse.....	67
5.4.1 Patchebene.....	67

5.4.2 Klassenebene .....	69
6 Anwendung des Bewertungssystems der Schutzwürdigkeit der Wälder NRWs .....	72
6.1 Patchebene .....	72
6.2 Klassenebene .....	89
7 Schlussfolgerung und weiterer Forschungsbedarf .....	103
8 Quellenverzeichnis .....	108
8.1 Rechtsquellen.....	113
8.2 Interviewquellen .....	113
9 Anhang .....	I
9.1 ATKIS-Objektarten im Basis-DLM.....	I
9.2 CORINE Land Cover Nomenklatur der Bodenbedeckungen .....	IV
9.3 Interview Leitfäden .....	V
9.3.1 Interview mit Experte 1.....	V
9.3.2. Interview mit Experte 2 .....	VI
9.3.3. Interview mit Experte 3 .....	VII
9.3.4. Interview mit Experte 4 .....	VIII
9.4 Interviewtranskripte .....	IX

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: GIS als zentrales Werkzeug für die Landschaftsanalyse und -planung .....	6
Abbildung 2: Vektordatenmodell .....	7
Abbildung 3: Konzept der 4- bzw. 8-Nachbarschaftsregel .....	8
Abbildung 4: Bewertungsschema für die Schutzwürdigkeit von Wäldern aufgrund der räumlichen Gegebenheiten .....	22
Abbildung 5: Forschungsdesign und verwendete Methodik .....	32
Abbildung 6: Bewertungsschema für die Abschätzung des Schutzpotenzial von Wäldern aufgrund der räumlichen Gegebenheiten .....	34
Abbildung 7: Konstruktion zweier Kernflächen mit 100 m und 350 m Randzonen .....	50
Abbildung 8: Rotationsradius zweier flächenähnlicher Wald-Patches .....	52
Abbildung 9: Konzept der Distanz zum nächsten Nachbarn .....	54
Abbildung 10: Konzept der Proximity-Distanz .....	55
Abbildung 11: Darstellung der Landnutzungen in unterschiedlichen Rasterauflösungen .....	63
Abbildung 12: Kleinste erfasste Waldflächen nach Rasterauflösung .....	64
Abbildung 13: Größte erfasste Waldfläche nach Rasterauflösung .....	64
Abbildung 14: Anzahl der Waldflächen nach Rasterauflösung .....	65
Abbildung 15: Durchschnittlicher Umfang der Wälder nach Rasterauflösung .....	66
Abbildung 16: Anteil schutzbedürftiger Wälder aufgrund der Flächengröße (AREA) .....	75
Abbildung 17: Anteil schutzbedürftiger Wälder aufgrund der verbleibende Kernfläche (CAI) .....	77
Abbildung 18: Anteil schutzbedürftiger Wälder aufgrund der umschreibenden Kreisfläche (CIRCLE) .....	79
Abbildung 19: Anteil schutzbedürftiger Wälder aufgrund des Ähnlichkeitsindex (SIMI) .....	81
Abbildung 20: Schematische Übersicht der Gesamtbewertung .....	84
Abbildung 21: Ergebnis der Gesamtbewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder auf Patchebene nach drei Szenarien .....	85
Abbildung 22: Vergleich der Flächenberechnung zwischen den Gebieten der Regionalforst- ämter und ganz NRW als Bezugseinheiten für die Berechnung der Strukturmaße .....	87
Abbildung 23: Ergebnis der Gesamtbewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder auf Patchebene nach drei Szenarien für NRW ohne Unterteilung in Gebiete der Forstämter .....	88
Abbildung 24: Waldflächenanteil (PLAND) der Regionalforstämter .....	91
Abbildung 25: Kernflächenanteil (PLAND) der Regionalforstämter .....	93
Abbildung 26: Umschreibende Kreisfläche (CIRCLE) der Regionalforstämter .....	95
Abbildung 27: Zerschneidungsindex (DIVISION) der Regionalforstämter .....	97
Abbildung 28: Flächengewichtete Randkontrastdichte (CWED) der Regionalforstämter .....	99
Abbildung 29: Ergebnis der Gesamtbewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder auf Klassenebene nach drei Szenarien .....	101

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Walderhebungen in Deutschland.....	14
Tabelle 2: Übersicht der Waldfunktionen mit bestehender Rechtsbindung.....	16
Tabelle 3: Überblick der Schutzfunktionen von Wäldern .....	19
Tabelle 4: Wirkungsraum entlang von Wegen auf die Erholung im Wald.....	21
Tabelle 5: Paarweiser Vergleich.....	27
Tabelle 6: Zufallsindex (RI) nach Saaty.....	28
Tabelle 7: Vergleich verschiedener digitaler Vektordaten zur Flächennutzung.....	36
Tabelle 8: Anteil der ATKIS Objektarten 'Wald', 'Gehölz' und 'Vegetationsmerkmal' an der Gesamtwaldfläche NRWs.....	38
Tabelle 9: Ausgewählte ATKIS Objektarten zur Landnutzungsgeometrie .....	39
Tabelle 10: Strukturmaße nach Hauptkriterien bezogen auf Wald-Patches .....	44
Tabelle 11: Strukturmaße nach Hauptkriterien bezogen auf die gesamte Waldlandschaft (Klassenebene) und den Bezugsraum (Regionalforstamt).....	46
Tabelle 12: Übersicht der Randzonen basierend auf TA Lärm Grenzwerten .....	49
Tabelle 13: Ähnlichkeitskoeffizient basierend auf den Hemerobiestufen.....	56
Tabelle 14: Kontrastwerte basierend auf den Hemerobiestufen .....	57
Tabelle 15: Korrelationsmatrix Patchebene .....	67
Tabelle 16: Abschließende Auswahl der Strukturmaße nach Hauptkriterien bezogen auf Wald-Patches .....	68
Tabelle 17: Korrelationsmatrix Klassenebene .....	69
Tabelle 18: Abschließende Auswahl der Strukturmaße nach Hauptkriterien bezogen auf die gesamte Waldlandschaft.....	71
Tabelle 19: Eignungswerte für die Schutzbedürftigkeit der Wälder nach den Bewertungs- kriterien auf Patchebene.....	73
Tabelle 20: Kriteriengewichtung auf Patchebene basierend auf dem paarweisen Vergleich nach Saaty 1990 .....	83
Tabelle 21: Eignungswerte für die Schutzbedürftigkeit der Wälder nach den Bewertungs- kriterien auf Klassenebene.....	89
Tabelle 22: Kriteriengewichtung auf Klassenebene basierend auf dem paarweisen Vergleich nach Saaty 1990 .....	100

## Kartenverzeichnis

Karte 1: Regionalforstämter NRW.....	41
Karte 2: Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand der Flächengröße (AREA) .....	74
Karte 3: Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand des Kernflächenindex (CAI) .....	76
Karte 4: Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand der Form (CIRCLE) .....	78
Karte 5: Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand des Ähnlichkeitsindex (SIMI).....	80
Karte 6: Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand des Waldflächenanteils (PLAND)...	90
Karte 7: Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand des Kernflächenanteils (CPLAND)..	92
Karte 8: Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand der flächengewichteten umschreibenden Kreisfläche (CIRCLE_AM).....	94
Karte 9: Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand des Zerschneidungsindex (DIVISION) .....	96
Karte 10: Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand der flächengewichteten Randkontrastdichte (CWED) .....	98

## Formelverzeichnis

Formel 1: Compromise Programming ( $L_p$ -Norm).....	26
Formel 2: Eigenvektor .....	27
Formel 3: Konsistenzindex (CI) .....	28
Formel 4: Konsistenzverhältnis (CR).....	28
Formel 5: Shape Index (SHAPE).....	51
Formel 6: Fraktale Dimension (FRAC).....	51
Formel 7: Proximity Index (PROX).....	54
Formel 8: Ähnlichkeitsindex (SIMI).....	55
Formel 9: Randkontrast (ECON).....	57
Formel 10: Mittelwert (MN).....	58
Formel 11: Flächengewichteter Mittelwert (AM).....	58
Formel 12: Prozentualer Anteil einer Klasse (PLAND).....	59
Formel 13: Anteil der Kernfläche einer Klasse (CPLAND).....	59
Formel 14: Landschafts-Shape Index (LSI).....	60
Formel 15: Effektive Maschenweite (MESH).....	61
Formel 16: Zerschneidungsindex (Division).....	62
Formel 17: Flächengewichtete Randkontrastdichte (CWED).....	62

# Abkürzungsverzeichnis

AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AFIS	Amtliches Festpunktinformationssystem
AHP	Analytic Hierarchy Process
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
ATKIS	Amtliches topographisch-kartographisches Informationssystem
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BWaldG	Bundeswaldgesetz
BWI	Bundeswaldinventur
BZE	Bodenzustandserhebung
CLC	CORINE Land Cover
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CP	Compromised Programming
CORINE	Coordinated Information on the European Environment
DGM	Digitales Geländemodell
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DLM-DE	Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland
DOP	Digitales Orthophoto
DTK	Digitale Topographische Karte
FStrG	Bundesfernstraßengesetz
GDI-DE	Geodateninfrastruktur Deutschland
GIS	Geographisches Informationssystem
INSPIRE	Infrastructure for Spatial information in the European Community
LFoG NRW	Landesforstgesetz Nordrhein-Westfalen
LWI	Landeswaldinventur
MCDM	Multiple Criteria Decision Making
NRW	Nordrhein-Westfalen
TA	Technische Anleitung
UZVR	unzerschnittene verkehrsarme Räume
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WZE	Waldzustandserhebung





# 1 Einleitung

Der heutige Waldzustand ist das Ergebnis Jahrhunderte langer, vom Menschen verursachter Veränderungen durch waldbauliche Eingriffe, Übernutzung, Landnutzungsänderungen und anthropogener Stoffeinträge (vgl. UBA 2008: 8). Durch langjährige und vielfältige soziale, wirtschaftliche, kulturelle, aber auch ökologische Entwicklungen ergeben sich die heutigen Bodennutzungen. Art, Umfang und Intensität der einzelnen Bodennutzungen verändern das Ökosystem Wald. Die Veränderungen sind häufig so stark, dass Wälder in ihren Funktionen entscheidend geschwächt oder gar als Freiräume zerstört werden. Das ist insbesondere problematisch, da dem Wald ein besonderer ökologischer Stellenwert zukommt. Wälder erfüllen mehrere essenzielle Schutz- und Erholungsfunktionen. Sie beherbergen eine große Vielfalt an Arten und Lebensräumen (vgl. UBA 2015: 8), filtern Schadstoffe aus der Luft, schützen Böden vor Erosion, helfen sauberes Grundwasser zu bilden und schützen das Klima, indem sie das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) aus der Luft binden (vgl. Europäische Kommission 2010: 8ff.). Zudem stehen Wälder den Erholungs- und Freizeitbedürfnissen der Bevölkerung zur Verfügung (vgl. BMU 2019). In der Vergangenheit stand die wirtschaftliche Funktion und damit eine Bewirtschaftung zur Maximierung der Ökosystemgüter im Vordergrund. In den letzten 20 Jahren hat der Stellenwert der Schutz-, Erholungs- und Naturschutzfunktionen in Deutschland immer mehr zugenommen (vgl. BfN 2002: 5f.). Politisches Ziel ist es, die vielfältigen ökonomischen, ökologischen und sozialen Funktionen des Waldes zum Nutzen gegenwärtiger und zukünftiger Generationen dauerhaft sicherzustellen (vgl. BMELV 2011: 5). Aktuelle Entwicklungen, wie die fortschreitende Waldfragmentierung, der erhöhte Nutzungsdruck durch die anhaltende Urbanisierung sowie der Klimawandel, verleihen diesem Ziel Nachdruck.

Eine der wichtigsten Aufgaben der Raumplanung ist die Bewertung und Entscheidungsfindung, wie mit dem verfügbaren Lebensraum umgegangen werden soll (vgl. Spieß et al. 2014: 155). Beispiele, die die forstliche Fachplanung betreffen, sind u. a. Flächennutzungskonflikte, Waldumwandlungen und Aufforstung. Raumplaner müssen permanent in Bewertungs- und Entscheidungssituationen eine Vielzahl von Kriterien und Zielen, aber auch menschliche Präferenzen untereinander abwägen (vgl. ebd.). Typischerweise ist die optimale Lösung einer perfekten Waldlandschaft, die den Vorlieben aller Entscheidungsträger entspricht, aufgrund möglicher Nutzungskonflikte, naturbedingter Einschränkungen oder gesetzlicher Regelungen utopisch. Für ein bestmögliches Ergebnis muss zwischen verschiedenen Lösungen unterschieden werden und der Entscheidungsprozess muss gut strukturiert sein. Um zu belastbaren Informationen und Daten zu gelangen, auf deren Grundlage konkrete Maßnahmen zum Schutz und zur Entwicklung von Wäldern durchgeführt werden können, sind verlässliche Verfahren und Methoden der Datenerhebung, Analyse und Bewertung erforderlich (vgl. BfN 2016: 143). Im

Rahmen dieser Arbeit soll ein möglichst objektives Bewertungsverfahren entwickelt und angewendet werden, um den Schutz der Wälder und ihrer vielfältigen Funktionen zu unterstützen.

Im Zuge der Bemühungen, Wälder zu schützen, wurde bisher viel Wert auf ökologische Prozesse, aber weniger auf die räumliche Struktur von Wäldern gelegt. Die Waldlandschaftspflege geht davon aus, dass Ressourcenflüsse sowie Biodiversitätsniveaus und Ökosystemprozesse durch die Anordnung und räumliche Verteilung der Waldbedingungen, d. h. der räumlichen Struktur und deren zeitliche Veränderung, bestimmt werden (vgl. Baskent, Jordan 1995: 1830). Die Struktur einer Landschaft, d. h. die Zusammensetzung, die Anordnung und die sich daraus ergebenden räumlichen Lagebeziehungen der einzelnen Landschaftselemente, lässt sich mit Hilfe von Landschaftsstrukturmaßen beschreiben und quantitativ erfassen (vgl. Walz 2012: 12). Diese ermöglichen es, Veränderungen der Landschaftsstruktur aufzuzeigen und so den Zustand und die Entwicklung von Natur und Umwelt zu beschreiben. Sie sind damit Voraussetzungen, um rechtzeitig geeignete Steuerungsmaßnahmen zur Vermeidung unerwünschter bzw. zur Förderung erwünschter Entwicklungen zu ergreifen (vgl. ebd.). Im Rahmen der vorliegenden Abschlussarbeit wird eine umfassende Sammlung an Strukturmaßen auf ihre Eignung zur Erfassung der räumlichen Struktur von Wäldern und zur Bewertung deren Schutzwürdigkeit untersucht. Die Arbeit soll die Potenziale für die Anwendung von Strukturmaßen in der Freiraum- und Umweltplanung bzw. der forstlichen Fachplanung aufzeigen und ein Verfahren zur Bewertung der Schutzwürdigkeit von Wäldern liefern. Als wissenschaftliche Grundlage soll das Bewertungsverfahren für forstpolitische Entscheidungen dienen und dabei helfen, geeignete Gegenmaßnahmen abzuleiten. Damit wird ein wichtiger Beitrag zum Schutz der Wälder und deren vielfältigen Funktionen geleistet.

## 2 Theoretische Grundlagen und Begriffsbestimmungen

Im Folgenden werden wesentliche theoretische Grundlagen betrachtet und grundlegende Begriffe definiert. Hierzu wird zunächst das Konzept der Landschaftsstrukturanalyse und seine Verwendung in der Raumplanung erläutert. Weiterführend wird aufgezeigt was einen Wald ausmacht und wie er normiert ist. Anhand der vielfältigen Waldfunktionen soll aufgezeigt werden, warum Wälder ein bedeutendes Schutzgut darstellen und ein besonderer Handlungsbedarf zu ihrem Schutz besteht. Abschließend werden die Anforderungen an das Bewertungssystem der Schutzwürdigkeit der Wälder dargestellt und die zur multikriteriellen Bewertung herangezogene Methode des Compromise Programming (CP) erläutert.

### 2.1 Landschaftsstrukturmaße

Die Waldlandschaftspflege geht davon aus, dass Ressourcenflüsse, Biodiversitätsniveaus und Ökosystemprozesse durch die Anordnung und räumliche Verteilung der Waldbedingungen bestimmt werden (vgl. Baskent, Jordan 1995: 1830). Beispiele hierfür sind die Verteilung von Material und Nährstoffen oder die Ansiedlung bzw. die Wanderung von Lebewesen. Die Größe, Form und die räumlichen Beziehungen zwischen den einzelnen Elementen einer Landschaft sind dabei wesentliche Einflussgrößen (vgl. Dale et al. 2000: 639). In der Kulturlandschaft sind auch die unterschiedlichen anthropogenen Nutzungen in ihrer Anordnung und Ausdehnung ein bestimmender Faktor. Unterschiedliche räumliche Strukturen, ökologische Prozesse und Funktionen stehen in der Landschaft funktional betrachtet in einem engen Beziehungsgefüge (vgl. Turner 1989: 189; Uuemaa et al. 2009: 8f.). Die Erfassung der räumlichen Gegebenheiten und Struktur von Wäldern kann daher genutzt werden, um Waldfunktionen und -prozesse indirekt zu beschreiben und zu bewerten.

Eine Landschaft und ihre räumliche Struktur ergibt sich nach dem in der Landschaftsökologie weit verbreiteten Ansatz aus der Zusammensetzung (Anzahl und Art) und Anordnung (Lage) diskreter Landschaftselemente (vgl. Walz 2012: 12). Diese charakterisieren eine Landschaft, anhand derer sie identifiziert werden kann. Landschaftsstrukturelle Merkmale können beobachtet, beschrieben und quantifiziert werden, um Entwicklungen und Prozesse, die zu einem bestimmten Erscheinungsbild einer Landschaft beigetragen haben, zu erklären (vgl. Lang, Blaschke 2007: 15). Mittels räumlicher Maßzahlen, sogenannter Landschaftsstrukturmaße, können raumstrukturelle Aspekte von Landschaften gemessen und quantifiziert werden (vgl. ebd.: 18). Die räumliche Anordnung und Verbindung der Landschaftselemente lassen sich so durch flächen-, form- und topologiebeschreibende mathematische Maßzahlen quantitativ beschreiben (vgl. Walz 2012: 12). Komplexe Landschaftsmuster können durch Strukturmaße leicht erfassbar, messbar und vergleichbar gemacht werden.

Die Landschaftsstrukturanalyse ist ein hierarchischer Prozess, der z. B. mehrere Waldstrukturmessungen in verschiedenen Größenordnungen umfasst. Landschaftsstrukturmaße können auf drei Ebenen berechnet und dargestellt werden: Patch, Klasse und Landschaft (vgl. Lang, Blaschke 2007: 212). Die Strukturmaße können entweder auf Patchebene, für jede einzelne Waldfläche, oder auf Gesamtebene, bezogen auf die gesamte Waldlandschaft, berechnet werden. Die kleinsten, je nach Erfassungs- und Betrachtungsmaßstab als weitgehend homogen anzusehenden, räumlichen Einzelemente einer Landschaft werden Patch genannt (vgl. Walz 2012: 12). Auf Patchebene beschränken sich die Maßzahlen auf die Charakterisierung der räumlichen Eigenschaften einzelner Patches. Hierzu zählen vor allem die Größe, der Kernflächenanteil sowie Gestaltparameter wie z. B. die Form, das Umfang-Flächen-Verhältnis oder der Verlauf der Ränder (vgl. ebd.: 16). Ebenso können Aussagen über die Lagebeziehungen, wie bspw. über die Isolation einzelner Patches oder zur Art und Unterschiedlichkeit der angrenzenden Patches (Kontext bzw. Kontrast) gemacht werden. Obwohl Patches die Hauptbestandteile einer Landschaft bzw. Waldlandschaft sind, beschreiben ihre Messungen nicht die räumliche Struktur der gesamten Landschaft. Hier können Maße der Landschaftsebene, die sich auf die räumlichen Gegebenheiten der gesamten betrachteten Landschaft beziehen, herangezogen werden (vgl. Lang, Blaschke 2007: 212f.). Anstatt Strukturmaße für die gesamte Landschaft mit all ihren Nutzungsklassen zu berechnen, können diese auch auf einzelne Nutzungsklassen begrenzt werden. Strukturmaße auf Klassenebene betrachten nur Landschaftselemente, die zu einer bestimmten Klasse gehören, wie z. B. Wald, und beziehen ihre Aussagen demnach nur auf die jeweilige Klasse einer Landschaft (vgl. ebd.: 212ff.). Während Maßzahlen auf der Patchebene typischerweise direkt berechnet werden, können Maßzahlen auf der Landschafts- und Klassenebene auch indirekt durch Mittelwert- oder Summenbildung der ermittelten Maße auf Patchebene berechnet werden.

Bereits in der forstlichen Planung und im Monitoring verwendete Strukturmaße sind die Flächengröße und der Waldflächenanteil an der Gebietsfläche oder auch die Waldfläche je Einwohner. Im sogenannten IÖR-Monitor, Forschungsdateninfrastruktur des Leibniz-Institutes für ökologische Raumentwicklung, können Daten bzw. Maßzahlen zur Flächennutzungsstruktur und deren Entwicklung sowie zur Landschaftsqualität deutschlandweit als Kartenwerk abgerufen werden<sup>1</sup>. Neben den Angaben zu Waldflächenanteilen sind hier auch Zerschneidungsmaße aufgeführt. Mittlerweile werden unzerschnittene Verkehrsarme Räume (UZVR) als einheitlicher Indikator auch für Wälder verwendet. Dieser Indikator gibt den Anteil unzerschnittener Waldflächen, die größer als 50 km<sup>2</sup> sind und nicht durch Trassen der überörtlichen Verkehrsnetze zerschnitten werden, an der Gebietsfläche an (vgl. Walz et al. 2013: 119). Auf Grundlage der naturschutzfachlichen Einstufung von Wäldern nach Burkhardt et al. (2004: 28f.) werden Waldflächen größer als

---

<sup>1</sup> <https://www.ioer-monitor.de/>

50 km<sup>2</sup> als sehr gut eingestuft. Ein weiteres bereits vielfach angewendetes Strukturmaß ist die effektive Maschenweite der Wälder nach Jaeger (2000: 118ff.). Diese entspricht der Wahrscheinlichkeit, dass zwei beliebig ausgewählte Punkte in einer Waldfläche nach der Zerschneidung dieser Waldfläche noch gemeinsam in derselben Teilfläche liegen (vgl. Esswein 2007: 157). Je größer die effektive Maschenweite in einem Gebiet, desto weniger ist dessen Landschaft zerschnitten (vgl. Walz 2012: 78). Der Einsatz der beiden Maßzahlen zur Erfassung der Zerschneidung der Wälder, UZVR und effektive Maschenweite, ist ein erster Ansatz, das Potenzial der Anwendung von Strukturmaßen in der forstlichen Fachplanung zu nutzen, um belastbare Informationen zu generieren und den Wald langfristig zu erhalten.

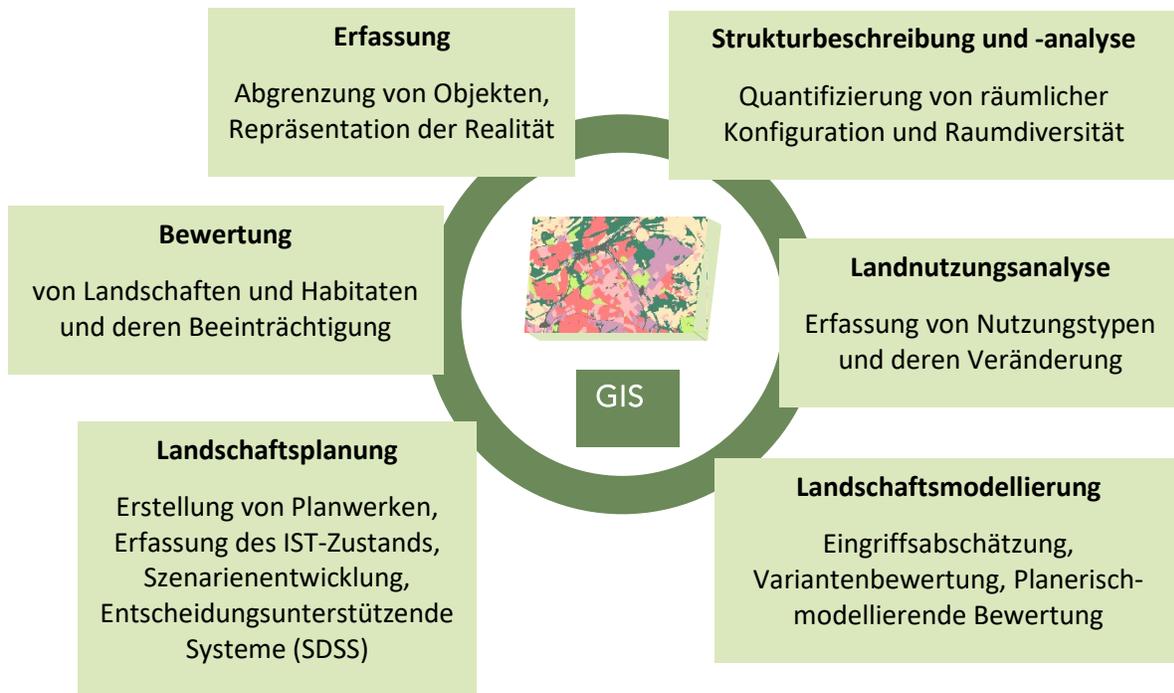
### 2.1.1 Software zur Berechnung und Darstellung von Strukturmaßen

Die Auswertung der Landschaftsstruktur ist mittels der Funktionalitäten von Geographischen Informationssystemen (GIS, auch Geo-Informationssystem) effektiv und für größere Raumausschnitte möglich. Mittels GIS können große Mengen von Rauminformationen z. B. Flächennutzungsinformationen, Biotoptypen, Bodenarten erfasst, gespeichert, verwaltet, analysiert und visualisiert werden. GIS ermöglicht es, georeferenzierte räumliche Daten zu überlagern, miteinander zu verschneiden, und mit leistungsfähiger Rechentechnik teilweise komplizierte mathematische Formeln auszuwerten. So können für räumliche Bezugseinheiten Parameter der Landschaftsstruktur bzw. Strukturmaße berechnet, räumliche Zusammenhänge erklärt und in Form von Karten dargestellt werden.

GIS werden mittlerweile in den meisten europäischen Ländern auf fast allen Verwaltungsebenen eingesetzt. Insbesondere in der querschnittsorientierten Landschaftsplanung werden GIS häufig verwendet. Die Einsatzmöglichkeiten in der Landschaftsanalyse und -planung wurden von Lang und Blaschke (vgl. Lang, Blaschke 2007: 40f.) aufgeführt und mögliche Einsatzbereiche in Abbildung 1 zusammengefasst. Hier ist zum einen die Erfassung der Ist-Situation sowie die flexible Kombination verschiedener Datenschichten zu nennen. Zum anderen überwiegen die umfassenden Möglichkeiten der Visualisierung und Datenausgabe als Stärken der digitalen Datenverarbeitung gegenüber der manuellen Bearbeitung. Auf allen Planungsebenen ist so in den letzten Jahren eine bedeutende Menge raumbezogener Daten in GIS erfasst worden (vgl. Blaschke 2000: 25).

Für einen effizienten Einsatz von GIS ist die Datenharmonisierung angesichts wachsendem Ressourcendruck und den zunehmend auftretenden Nutzungskonflikten von großer Bedeutung. Zusätzlich muss aber auch, wie schon in vielen Veröffentlichungen zu Landschaftsanalysen gefordert, der Einsatz der analytischen Potenziale von GIS forciert werden, um mit neuen, zeitgemäßen Planungsmethoden vorausschauend und proaktiv zu agieren (vgl. Lang, Blaschke 2007: 288). Zusammen mit anderen Instrumenten kann GIS dabei intersubjektiv nachvollziehbare und transparente Planungsentscheidungen unterstützen.

Abbildung 1: GIS als zentrales Werkzeug für die Landschaftsanalyse und -planung



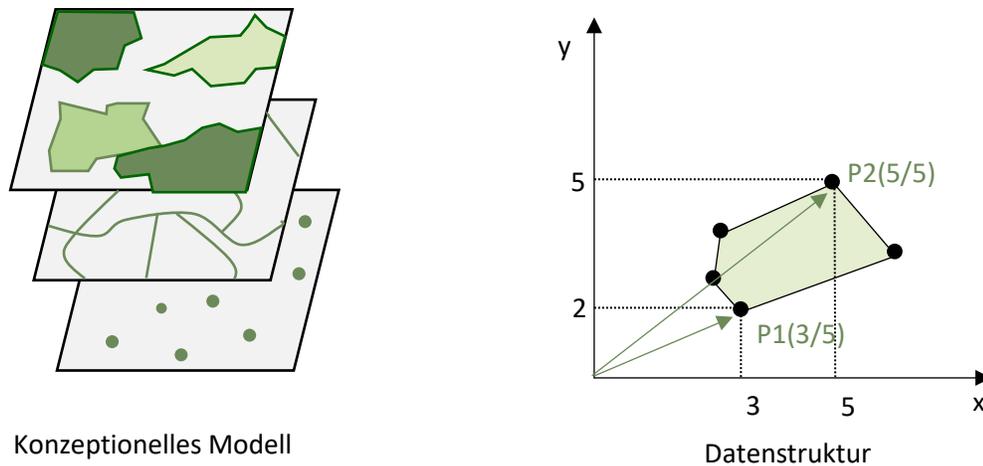
(eigene Darstellung nach Lang, Blaschke 2007: 41)

Zur weitergehenden Analyse stehen neben GIS eine Vielzahl von speziell für die quantitative Landschaftsstrukturanalyse entwickelten Software-Produkte zur Berechnung von Landschaftsstrukturmaßen zur Verfügung z. B. FRAGSTATS. Mittels der von McGarigal und Marks (1995) entwickelten FRAGSTATS-Software können eine Vielzahl von Landschaftsstrukturmaßen auf Patch-, Klassen- und Landschaftsebene berechnet werden. Die aktuelle Version 4.2 (vgl. McGarigal 2012) bietet über 100 verschiedene Maßzahlen und statistische Aggregationen und bildet so das umfassendste Werkzeug zur quantitativen Landschaftsstrukturanalyse (vgl. Lang, Blaschke 2007: 68). Die derzeit aktuelle Version 4.2 erlaubt nur die Auswertung von Daten im Rasterformat. Es können alle gängigen nominalen Raster-Formate (u. a. ArcGrid, ASCII, BINARY, ERDAS, IDRISI) analysiert werden. FRAGSTATS in seiner aktuellen Implementierung ist eine 32-Bit-Anwendung und als solche auf 3 GB Speicher zur Datenverarbeitung begrenzt (vgl. McGarigal 2000). Die Speichieranforderungen werden durch die Rasterauflösung, die Anzahl der Patches und die Anzahl der Klassen beeinflusst. Sehr große und komplexe Landschaften können dadurch den maximal verfügbaren Speicher überschreiten und müssen zur Verarbeitung in FRAGSTATS in kleinere Datensätze unterteilt werden.

Vektordaten eignen sich zur Abbildung räumlich diskreter Objekte, die in räumlichen Einheiten klar abgrenzbar sind, z. B. administrative Grenzen, Biotoptypen, Flächennutzungen etc. Diskrete räumliche Gegebenheiten werden abhängig von der maßstäblichen Auflösung

entweder durch Punkt-, Linien- oder Flächendaten, auch Polygone genannt, abgebildet (vgl. Esri 2016; s. Abb. 2). In einem Vektormodell werden die Punkte, Linien und Polygone geometrisch durch Vektoren in einem kartesischen Koordinatensystem beschrieben. Die Flächen-, Umfang- oder Distanzberechnung für vektoriell abgebildete Objekte basiert dabei auf dem Prinzip der Vektorverknüpfung (vgl. Lang, Blaschke 2007: 49).

Abbildung 2: Vektordatenmodell



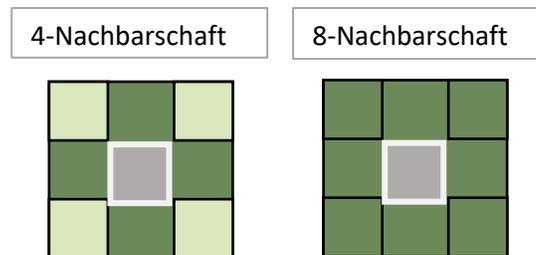
(eigene Darstellung nach Lang 2007: 49)

Bei Rastermodellen wird der Raumausschnitt in kleine Zellen zerlegt, wobei die Zelleneinteilung meist regelmäßig in Form von kleinen Quadraten mit einer festen Kantenlänge erfolgt (vgl. Lang, Blaschke 2007: 51). In der pixelbasierten Darstellung, die ein Rasterbild ergibt, wird jedem einzelnen Pixel ein Wert zugeordnet. Im Gegensatz zu Vektormodellen mit einer hohen geometrischen Genauigkeit ist die räumliche Auflösung bei Rasterdaten von der Pixelgröße abhängig (vgl. Esri 2016). Das Rasterformat ist durch drei Parameter bestimmt: der Spezifikation der Ursprungskoordinate, der Rastergröße und der Anzahl der Zeilen und Spalten (vgl. Lang, Blaschke 2007: 52). Zudem wird ein NoData-Wert definiert, denn ein Rasterdatensatz unterliegt immer einem rechteckigen Schnitt, in dem es oft Bereiche gibt, für die keine Werte vorliegen. Solche Bereiche werden mit 'NoData' kodiert, wobei hier eine negative Zahl außerhalb des gültigen Messwertbereiches wie -9999 gewählt werden sollte (vgl. ebd.).

Vorteil von Rasterdatenmodellen ist insbesondere ihre einfache Datenstruktur, die gegenüber Vektormodellen eine geringere Rechenleistung erfordert (vgl. Esri 2016). Bei der Verwendung von Rasterdatenmodell zur Berechnung von Strukturmaßen muss jedoch das zugrundeliegende Nachbarschaftskonzept beachtet werden. Die Fläche eines Patches entspricht dabei der Anzahl der mit einem bestimmten Wert belegten, räumlich zusammenhängenden Rasterzellen (vgl. Lang, Blaschke 2007: 230). Bei der 4-Nachbarschaft-

Regel wird die Fläche über die Kanten der Rasterzellen definiert (s. Abb. 3). Bei der 8-Nachbarschaft-Regel erfolgt die Nachbarschaftsdefinition zusätzlich über die Ecken der Zellen. Das ergibt insgesamt acht Nachbarn pro Zelle. Für eine möglichst genaue Abbildung der Waldflächen empfiehlt es sich die Strukturmaße mittels der 8-Nachbarschafts-Regel in FRAGSTATS zu berechnen.

*Abbildung 3: Konzept der 4- bzw. 8-Nachbarschaftsregel*



(eigene Darstellung nach Lang, Blaschke 2007: 231)

## 2.1.2 Datengrundlage

Für eine effiziente Bewertung der Schutzwürdigkeit von Wäldern sollte die notwendige Datengrundlage verfügbar oder mit vertretbarem Aufwand zu ermitteln sein, als vollständige Zeitreihen vorliegen oder regelmäßig erhoben werden, sachlich und zeitlich vergleichbar sein sowie eine große geographische und räumliche Abdeckung aufweisen. Jedoch findet die Datenerfassung bisher oft in isolierten Einzelprojekten statt, die teilweise kaum kompatibel, mit unterschiedlichen Datenbankkonzeptionen, Datenmodellen, Projektionen etc. ausgestattet sind (vgl. Lang, Blaschke 2007: 288). So ist die Harmonisierung und Integration des Datenbestandes eine der derzeitigen Herausforderungen in der Landschafts- und Umweltplanung. Um den Datenaustausch zwischen den Behörden europaweit zu ermöglichen und den Zugriff für die Öffentlichkeit zu erleichtern, wird seit 2007 im Rahmen der INSPIRE (Infrastructure for Spatial information in the European Community) Richtlinie der EU eine europäische Datenbasis aufgebaut. Anhand von INSPIRE-Standardisierungsvorgaben werden Metadaten aufgebaut sowie Geodaten, Daten mit direktem räumlichem Bezug, über Web-Dienste bereitgestellt (vgl. BKG 2017). In Deutschland läuft dieser Prozess unter dem Stichwort Geodateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE), in dem sogenannten geoportal werden Daten zur frei zugänglichen und teilweise kostenpflichtigen Verfügung gestellt (vgl. BKG 2019a). Die einzelnen Bundesländer haben dazu ebenfalls eigene Portale aufgebaut. Im Folgenden werden öffentlich verfügbare für Deutschland einheitliche Datengrundlagen, die sich zur Analyse der räumlichen Struktur von Wäldern eignen, vorgestellt.

### Amtliches topographisch-kartographisches Informationssystem (ATKIS)

Geodaten aus verschiedenen Fachbereichen müssen zunehmend miteinander in räumliche Beziehung gebracht werden, darunter z. B. Daten aus Energie-, Forst- und Landwirtschaft, Umweltschutz, Statistik, Geologie, Bergbau, Regional- und Stadtplanung, Transport- und Verkehrsnavigation, aber auch aus Kultur, Erholung und Freizeit. In Deutschland ist ein solches Informationssystem unter der Bezeichnung Amtliches topographisch-kartographisches Informationssystem (ATKIS) bekannt. Dieses bundesweit einheitliche System wurde von der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) zur digitalen Erfassung und Darstellung von Informationen zur Nutzung und Topographie der Erdoberfläche in Deutschland aufgebaut (vgl. AdV 2008: 5). Die enthaltenen Daten werden heute vom Geodaten Zentrum des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie in Frankfurt am Main verwaltet und betreut. ATKIS beinhaltet verschiedene Produktgruppen:

- Digitale Landschaftsmodelle (DLM)
- Digitale Geländemodelle (DGM)
- Digitale Orthophotos (DOP) und
- Digitale Topographische Karten (DTK).

Das Hauptprodukt, das vektorbasierte DLM, hat die Aufgabe, die Landschaft nach vornehmlich topographischen Gesichtspunkten zu gliedern und die topographischen Erscheinungsformen und Sachverhalte der Landschaft zu klassifizieren (vgl. BKG 2019b). Das DLM basiert auf dem AAA-Datenmodell, welches Datenbestände aus dem ATKIS, dem Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) und dem Amtlichen Festpunktinformationssystem (AFIS) vereinheitlicht. Die DLM werden in unterschiedlichen Maßstäben mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden angeboten:

- Basis-DLM im Maßstab 1 : 10.000
- DLM50 im Maßstab 1 : 50.000
- DLM250 im Maßstab 1 : 250.000
- DLM1000 im Maßstab 1 : 1.000.000

Die Landschaft wird im Basis-DLM durch punkt-, linien- und flächenförmige Objekte grob unterteilt und durch spezifische Objekteigenschaften fein gegliedert. Die enthaltenen Objekte werden bundesweit einheitlich durch einen Objektartenkatalog mit 155 Objektarten in 18 Objektgruppen festgehalten (vgl. AdV 2018; s. Anhang 9.1). Dabei gibt es jedoch auch bundesländerabhängige Objektarten, die nicht in jedem Fall realisiert werden wie z. B. Streuobstwiesen.

Für die Erfassung der Basis-DLM werden Geobasisdaten der Katasterbehörden in Verbindung mit DOP und Ergebnissen der örtlichen Felderkundung als wesentliche Datenquellen herangezogen. Dadurch kann eine Lagegenauigkeit der wesentlichen linienhaften und punktförmigen Elemente von  $\pm 3$  m gewährleistet werden (vgl. BKG 2020: 3). Weitere Quellen wie Straßenkarten, Eisenbahnpläne oder Verwaltungsgrenzenkarten werden zur Abgrenzung der linien- und flächenförmigen topographischen Objekte hinzugezogen (vgl. Bezirksregierung Köln 2017: 4). Das Basis-DLM wird alle drei bis fünf Jahre umfassend flächendeckend aktualisiert (vgl. BKG 2020: 3). Für bedeutende Objekte und Attribute, insbesondere im Verkehrsbereich wird eine Spitzenaktualität von drei bis 13 Monaten realisiert, so dass ein hoch aktueller Grunddatenbestand zur Verfügung steht (vgl. ebd.).

Die weiteren DLM, wie das DLM50, werden vollautomatisch aus dem Basis-DLM abgeleitet, wobei eine inhaltliche semantische Generalisierung sowie eine Vereinfachung der geometrischen Strukturen erfolgten (vgl. Bezirksregierung Köln 2020). Dadurch weisen diese eine einfachere Strukturierung und eine geringere Datenmenge als das Basis-DLM auf.

### **CORINE Land Cover (CLC)**

Neben den DLM gibt es die Daten des CORINE Land Cover (CLC) EU-Projektes, welches die wichtigsten Formen der Landnutzung und Landbedeckung Europas einheitlich klassifiziert. Dabei steht CORINE für Coordinated Information on the European Environment. Die Landabdeckung von 36 europäischen Staaten wurden 1990 hierzu erstmals auf Grundlage von Satellitenbildern auf einer einheitlichen Nomenklatur kartiert, als Vektordaten erfasst und ausgewertet. Die Bedeckungsarten werden in 13 Hauptklassen eingeteilt, die je nach Art weiter unterteilt werden in insgesamt 44 europaeinheitliche Klassen (s. Anhang 9.2), wovon in Deutschland 37 Anwendung finden (vgl. UBA 2019). Bisher haben fünf Erhebungen für die Zeitschnitte 1990, 2000, 2006, 2012 und 2018 stattgefunden (vgl. ebd.). Die Erfassungsuntergrenze von flächenhaften Elementen liegt bei einer Mindestgröße von 25 ha und für linienhafte Elemente wie Straßen und Wasserläufe bei einer Breite von 100 m (vgl. ebd.; Copernicus 2020). Bei der Fortführung wurden weiterführend auch Veränderungen ab 5 ha aufgenommen (vgl. UBA 2019). Die CORINE-Daten sind frei als digitale Karten im Maßstab 1 : 100.000 als Vektor- und Rasterdaten zugänglich. Sie gelten als eine der wichtigsten Datenquellen für Analysen zur Landschaftsveränderung in Europa und sind Grundlage für das europäische Biodiversitätsmonitoring (vgl. Walz 2012: 27).

### **Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland (DLM-DE)**

Darüber hinaus steht noch das Digitale Landbedeckungsmodell für Deutschland (DLM-DE) zur Verfügung. Das DLM-DE ist ein Vektordatensatz nach der CORINE-Nomenklatur, für den ausgewählte flächenhafte Objektarten des ATKIS Basis-DLM aus den Bereichen Siedlung, Verkehr, Vegetation und Gewässer in die spezifischen Anforderungen von CLC überführt wurden (vgl. BKG 2019c). Die Mindestkartierfläche des Datensatzes beträgt 1 ha und liegt

somit zwischen ATKIS (0,1 - 1 ha) und CORINE (5 - 25 ha) (vgl. ebd.). Der Datensatz wird mit Hilfe von Fernerkundungsdaten bzw. multitemporalen Satellitendaten seit der flächendeckenden Ersterfassung 2009 im Turnus von drei Jahren aktualisiert (vgl. ebd.). Somit liegt im Vergleich zu den CORINE-Daten ein detaillierter und aktuellerer Datensatz für Deutschland vor. Seit 2012 erfolgt eine getrennte Erfassung von Landbedeckung und Landnutzung mit anschließender automatischer Transformation in die CLC-Nomenklatur (vgl. ebd.). Während die Erfassung der Landbedeckung mittels Bilddaten erfolgt, dient das ATKIS Basis-DLM des jeweiligen Stichjahres als Informationsquelle für den Aspekt der Landnutzung (vgl. ebd.). Gerade bei Nutzungsarten im Freiraum, darunter Wälder, weist das DLM-DE durch den Abgleich mit Satellitendaten eine höhere Aktualität gegenüber ATKIS auf (vgl. Walz 2012: 28f.).

## 2.2 Wald als Schutzgut in der Raumplanung

Ziel der Forstpolitik in Deutschland ist es, die vielfältigen Funktionen und Leistungen des Waldes sowie seine ordnungsgemäße Bewirtschaftung nachhaltig zu sichern. Einen bundesweiten gesetzlichen Rahmen hat der Gesetzgeber 1975 durch das Bundeswaldgesetz (BWaldG), dem Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft, gesetzt. Ziel ist dabei der Schutz und Erhalt des Waldes aufgrund seiner Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion (§ 1 Abs. 1 BWaldG). Weiterführende Ziele sind zum einen die Förderung der Forstwirtschaft und zum anderen der Ausgleich zwischen den Interessen der Allgemeinheit und den Belangen der Waldbesitzer (vgl. § 1 Abs. 1 u. 2 BWaldG). Hier gilt es, die vielfältigen ökonomischen, ökologischen und sozialen Leistungen und Funktionen des Waldes zum Nutzen gegenwärtiger und zukünftiger Generationen dauerhaft und optimal sicherzustellen, die Waldflächen in Deutschland zu erhalten und auszubauen (vgl. BMELV 2011: 5). Das BWaldG wird ergänzt durch die Gesetzgebung der Länder, den Landesforstgesetzen. Diese schaffen u. a. einheitliche begriffliche Definitionen, beschreiben Aufgaben, Zuständigkeiten sowie Organisation der forstwirtschaftlichen Zusammenschlüsse, setzen ordnungsrechtliche Vorgaben zu Waldumwandlungen, Erstaufforstungen und Kahlschlägen und beschreiben Merkmale ordnungsgemäßer Forstwirtschaft. Zusammen mit den Waldgesetzen der Länder schützt das BWaldG den Wald insbesondere vor Rodung und willkürlicher Inanspruchnahme durch andere Landnutzungszwecke (Umwandlung), aber auch vor unsachgemäßer Behandlung. So sind Waldbesitzer in Deutschland u. a. gesetzlich dazu verpflichtet, kahle Waldflächen wieder aufzuforsten (vgl. § 11 BWaldG). Die Waldflächenveränderung verläuft planmäßig und rechtlich zulässig durch behördliche Genehmigungen, aber auch ungesteuert, z. B. durch ungenehmigte Waldumwandlungen oder durch natürliche Entwicklung. Zur planmäßigen Veränderung gehören alle behördlichen Verfahren, in denen Erstaufforstungen und Waldumwandlungen geregelt werden, z. B. Bebauungspläne, Einzelgenehmigungen und Planfeststellungen.

Die Umsetzung von Maßnahmen zur Erhaltung und Wiederaufforstung des Waldes, sowie der Sicherung der Multifunktionalität von Wäldern erfolgt auf Landesebene, denn die Kompetenz zur Regelung forstlicher Belange ist den Ländern zugewiesen. Wichtige Instrumente der forstlichen Raumplanung stellen hier die forstlichen Rahmenpläne dar. Die forstliche Rahmenplanung stellt als besitzübergreifende und umfassende Fachplanung die Verbindung zwischen der forstlichen Planung und den Zielen der Raumordnung sowie Landesplanung her. Forstliche Rahmenpläne können als Landeswaldprogramm und als den Erfordernissen angepasste räumliche und sachliche Teilpläne aufgestellt werden. Hierzu gibt es in den Bundesländern unterschiedliche gesetzliche Festlegungen. Oftmals beinhalten diese die Darstellung des bestehenden Waldzustandes nach Fläche, Standortverhältnissen und Besitzstruktur sowie die Darstellung der Waldfunktionen. Außerdem sind angestrebte Zustände sowie entsprechende erforderliche Maßnahmen zur Erreichung dieses Zustandes darzustellen.

Zum Erhalt der Waldflächen und zur Verhinderung einer weiteren Waldzerschneidung, durch neue Trassenplanungen und Umwandlung für andere Flächennutzungen, sind gemäß § 1 Abs. 5 des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) "großflächige, weitgehende unzerschnittene Landschaftsräume vor weiterer Zerschneidung zu bewahren". Dies wurde auch im Nationalen Waldprogramm Deutschlands als Zielstellung aufgegriffen: UZVR sollen erhalten und gefördert werden, die weitere Inanspruchnahme freier Landschaft durch Verkehrsstrassen muss auf ein unverzichtbares Mindestmaß begrenzt bleiben und Waldflächenverluste, insbesondere alter Waldstandorte, sind zu vermeiden und auszugleichen (vgl. BMVEL 2003: 60). In Waldlandschaften kommt der Erhaltung von UZVR eine hohe Bedeutung zu, da hier Zerschneidungen zu erheblichen Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes (Waldklima, Biotopschutz) und der Erholungsfunktionen führen können (vgl. LEP NRW, Erläuterung zu 7.1-3).

Zum Erhalt der Waldflächen besteht besonderer Handlungsbedarf in waldarmen Gebieten. Einige Länder haben hierzu landesplanerische Definitionen festgehalten, so werden in NRW Gemeinden und Städte mit einem Waldanteil von unter 20 % als waldarm bezeichnet (vgl. LEP NRW, Erläuterung zu 7.3-3). Hierzu zählen Stand 2019 z. B. Köln (17,4 %), Dortmund (16 %) und Düsseldorf (14,7 %) (vgl. IÖR Monitor 2019) Nach aktueller Rechtsprechung wird in Brandenburg ein Anteil von unter 10 % sogar als forstpolitisch bedenklich eingestuft (vgl. MLUL BB 2018: 3). Hierzu zählen z. B. Neuss (8,5 %), Unna (8,2 %) und Düren (9,8 %) (vgl. IÖR Monitor 2019). Für diese waldarmen Kommunen steht das Ziel der Waldvermehrung im Vordergrund. So ist eine Erhöhung des Waldanteils nicht nur erstrebenswert, sondern dringend geboten (vgl. LEP NRW, Erläuterung zu 7.3-3).

### 2.2.1 Definition von Wald

Bei der Definition von Wald sind unterschiedliche Aspekte zu beachten. Zunächst lässt sich Wald unter die Oberbegriffe Landbedeckung und Landnutzung einordnen (vgl. BMEL 2017: 7). Hierbei spielen sowohl botanische als auch funktionale und rechtliche Aspekte eine Rolle. Aus botanischer Sichtweise ist Wald eine von Bäumen geprägte Vegetation (vgl. ebd.). Unter funktionalen Aspekten entsteht im Schutz einer ausreichend großen Fläche mit dicht geschlossenen Baumkronen ein typisches Wald(innen)klima (vgl. ebd.). So unterscheidet sich der Wald bspw. von Baumalleen, Parkanlagen, Baumschulen oder offenen Heidelandschaften (vgl. BMEL 2014: 6).

Gemäß § 2 BWaldG ist Wald jede mit Forstpflanzen bestockte Grundfläche. Hierzu zählen ebenfalls Flächen, auf denen nur vorübergehend keine Bäume wachsen, wie kahl geschlagene oder verlichtete Grundflächen, die auch als Waldblößen und Lichtungen bezeichnet werden. Darüber hinaus gehören zum Wald per Definition: baumfreie Flächen wie Waldwege, Holzlagerplätze, Waldeinteilungs- und Sicherungstreifen, Waldwiesen, Wildäusungsplätze sowie weitere mit dem Wald verbundene und ihm dienende Flächen, einschließlich Flächen mit Erholungseinrichtungen (vgl. BMEL 2017: 7; § 2 Abs. 1 BWaldG). Vom Waldbegriff ausgenommen werden Kurzumtriebsplantagen, Agroforstwirtschaft sowie in der Flur oder im bebauten Gebiet gelegene kleinere Flächen, die mit einzelnen Baumgruppen, Baumreihen oder mit Hecken bestockt sind oder als Baumschulen verwendet werden (vgl. § 2 Abs. 2 BWaldG).

Diese Arbeit orientiert sich an der oben genannten gesetzlichen Walddefinition des BWaldG. Im Sinne einer transparenten und einheitlichen Abgrenzung gilt ergänzend, wie in der Methodik der Bundeswaldinventur, dass eine Fläche erst als Wald erfasst wird, wenn sie mindestens 0,1 ha groß und mindestens 10 m breit ist.

### 2.2.3 Walderhebungen in Deutschland

Zum Schutz und Erhalt von Wäldern und einer Politik, die dies entsprechend fördert, sind Kenntnisse über den Zustand, die Struktur, die Dynamik und Leistungsfähigkeit der Wälder auf regionaler und nationaler Ebene nötig (vgl. Riedel et al. 2015: 1). Seit mehr als 35 Jahren wird der Waldzustand und die Entwicklung der Wälder in Deutschland kontinuierlich durch Waldinventuren und Monitorings erfasst. Die erhobenen Daten bilden eine wichtige fachliche Grundlage für forstbetriebliche Entscheidungen des Bundes und der Länder für eine nachhaltige Waldentwicklung, zum Schutz und Erhalt sowie für die Anpassung der Waldökosysteme an sich verändernde Umweltbedingungen (vgl. BMEL 2016: 6). Rechtliche Grundlage zur Durchführung von Walderhebungen in Deutschland bildet dabei

§ 41a BWaldG. Wesentlicher Bestandteil des forstlichen Umweltmonitorings sind die Waldzustandserhebungen (WZE) und die periodischen Bodenzustandserhebungen im Wald (BZE), die auf einem systematischen Stichprobenetz erfolgen (s. Tabelle 1). Die WZE beruht in erster Linie auf dem Monitoring der Baumkronen und liefert auf Länder- bzw. Bundesebene repräsentative Ergebnisse über den Kronenzustand und die Schadursachen für die Hauptbaumarten. Dauerhafte Messpunkte sind auf einem systematischen 16 km x 16 km Raster festgelegt und werden jährlich untersucht (vgl. BMEL 2016: 17-18). An den Knotenpunkten des Rasters befinden sich die Stichprobenmesspunkte, mittels derer Aussagen für den Gesamtwald getroffen werden können. Die Einstufung des Gesundheitszustandes erfolgt nach Belaubungsdichte, Farbe und Struktur der Blätter bzw. der Nadeln (vgl. Landesbetrieb Wald und Holz NRW 2018b: 23). Insekten- und Pilzbefall sowie Stamm- und Kronenverletzungen werden ebenfalls erfasst.

*Tabelle 1: Walderhebungen in Deutschland*

	Forstliches Umweltmonitoring	Landeswaldinventur	Bundeswaldinventur
systematische Stichproben-netze	Waldzustandserhebung, Bodenzustandserhebung	Landeswaldinventuren (einzelner Bundesländer)	Bundeswaldinventur
Turnus	jährlich	je Land unterschiedlich	alle 10 Jahre
Stichproben-dichte	16 km x 16 km	2 km x 2 km 2,83 km x 2,83 km	4 km x 4 km

(eigene Zusammenstellung nach BMEL 2016: 10)

Seit 1986 liefert die alle zehn Jahre durchgeführte Bundeswaldinventur (BWI) einen Überblick über die großräumigen Waldverhältnisse und die forstlichen Produktionsmöglichkeiten (vgl. Riedel et al. 2015: 1). Auch die BWI basiert auf einem terrestrischen Stichprobenetz in 4 km x 4 km Raster, das bei jeder wiederkehrenden Inventur verwendet wird (vgl. BMEL 2014: 44). Nach einheitlichem Verfahren werden über 150 Merkmale erhoben, wie z. B. Alter der Waldbestände, Baumartenzusammensetzung, Art und Menge des ökologisch wichtigen Totholzes, Menge des Holzvorrats und Vielfalt in den Wäldern (vgl. ebd.: 46). Die Grunddaten werden von den Ländern gemäß § 41a Absatz 2 BWaldG erhoben und auf Bundesebene zusammengestellt und ausgewertet. Die Ergebnisdaten werden durch Berichterstattung veröffentlicht und über die Ergebnisdatenbank öffentlich zugänglich gemacht<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> <https://bwi.info/>

Einige Länder haben das Stichprobennetz zusätzlich auf Grundlage der jeweiligen Landeswaldgesetze verdichtet, um durch Landeswaldinventuren (LWI) regional differenzierte Informationen und umfassende Daten über die Waldverhältnisse zu erlangen (vgl. Riedel et al. 2017: 9). Dabei ist das Grundnetz der Inventur an die Ansprüche der Genauigkeit auf Bundesebene ausgerichtet. Die Stichprobendichte wurde dabei von einigen Ländern auf ein 2,83 km x 2,83 km Raster verdoppelt oder auf ein 2 x 2 km Raster vervierfacht (vgl. ebd.). Die BWI sowie die LWI der Länder und das forstliche Umweltmonitoring ergänzen einander und liefern essenzielle Daten über den Waldzustand und die Entwicklung der Wälder Deutschlands. Die Ergebnisse dieser Erhebungen dienen den Waldeigentümern sowie den Forstfachleuten und der Politik als Handlungs- und Entscheidungsgrundlage, um die Wälder nachhaltig zu bewirtschaften und für zukünftige Generationen zu bewahren.

### 2.2.2 Waldfunktionen

Der Wald ist mehr als nur die Summe seiner Bäume. Er ist ein vielschichtiges, komplexes Ökosystem aus zahlreichen walddtypischen Pflanzen, Tieren und Kleinorganismen (vgl. BMEL 2017: 7). Aus der Wechselwirkung zwischen Waldbäumen, walddtypischer Tier- und Pflanzenwelt, Waldboden, Luft und Wasser ergeben sich vielfältige, miteinander verknüpfte soziale, ökonomische und ökologische Leistungen und Funktionen (vgl. Europäische Kommission 2010: 6ff.). Dabei wird im klassischen funktionalen Sinn zwischen Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen unterschieden.

Im BWaldG ist dieser Funktionstrias in § 1 beschrieben:

“Der Wald ist wegen seines wirtschaftlichen Nutzens (Nutzfunktion) und wegen seiner Bedeutung für die Umwelt, insbesondere für die dauernde Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes, das Klima, den Wasserhaushalt, die Reinhaltung der Luft, die Bodenfruchtbarkeit, das Landschaftsbild, die Agrar- und Infrastruktur und die Erholung der Bevölkerung (Schutz- und Erholungsfunktion) zu erhalten, erforderlichenfalls zu mehren und seine ordnungsgemäße Bewirtschaftung nachhaltig zu sichern.”

Prinzipiell kann dieser Funktionstrias von jeder Waldfläche erbracht werden. Es finden sich jedoch häufig auch Bereiche, in denen einzelne oder mehrere Funktionen dominieren. Gemäß § 8 BWaldG müssen Träger öffentlicher Vorhaben die Funktionen des Waldes bei raumwirksamen Planungen und Maßnahmen angemessen berücksichtigen. 1974 wurde dazu erstmals ein bundeseinheitlicher Leitfaden zur Waldfunktionenkartierung vom bundesweiten Arbeitskreis Landschaftspflege und Forsteinrichtung veröffentlicht. Angesichts der sich stetig verändernden Umweltbedingungen und gesellschaftlichen Ansprüchen an Wälder ändern sich auch die Ansprüche an die Waldfunktionen und deren Kartierung. Der 2015 mit der

vierten Auflage angepasste Leitfaden wird als Grundlage für die Erhebung und kartographische Darstellung der Waldfunktionen in den einzelnen Bundesländern verwendet (vgl. Projektgruppe Waldfunktionenkartierung der AG Forsteinrichtung 2015: 9). Die Durchführung der Waldfunktionenkartierung wurde in einigen Bundesländern darüber hinaus in den Landeswaldgesetzen verbindlich vorgeschrieben, z. B. in Baden-Württemberg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen und Nordrhein-Westfalen. Grundsätzlich können Waldfunktionen mit und ohne bestehende Rechtsbindung differenziert werden. Zum einen können Wälder ordnungsbehördlich als Schutzgebiete z. B. Natur- und Landschaftsschutzgebiete oder Wasserschutzgebiete ausgewiesen werden, um die Funktionen des Waldes durch bestimmte Maßnahmen zu fördern oder auch durch Unterlassungen nicht zu gefährden (vgl. BfN 2002: 19). Tabelle 2 enthält eine Übersicht der verschiedenen Funktionen, differenziert nach den verschiedenen Rechtsquellen.

*Tabelle 2: Übersicht der Waldfunktionen mit bestehender Rechtsbindung*

Natur	
Nationalparke	§ 24 BNatSchG und diverse Landesnaturschutzgesetze
Naturschutzgebiete	§ 23 BNatSchG
Landschaftsschutzgebiete	§ 26 BNatSchG
Geschützte Biotope nach NatSchG	§ 30 BNatSchG und diverse Landesnaturschutzgesetze
Natura 2000 Gebiete	§ 23 BNatSchG und diverse Landesnaturschutzgesetze
Wildnisentwicklungsgebiete	diverse Landesnaturschutzgesetze
Naturwaldzellen	diverse Landesnaturschutzgesetze und -forstgesetze
Wasser	
Wasserschutzgebiete	§ 51 WHG und diverse Landeswassergesetze
Heilquellenschutzgebiete	§ 53 WHG und diverse Landeswassergesetze
Überschwemmungsgebiete	§ 76 WHG und diverse Landeswassergesetze
Umwelteinwirkungen	
Schutzwald	§ 12 BWaldG, § 10 Bundesfernstraßengesetz und diverse Landesforstgesetze
Erholung	
Naturparke	§ 27 BNatSchG und diverse Landesnaturschutzgesetze

(eigene Zusammenstellung)

Die Waldfunktionenkarte dokumentiert die Multifunktionalität des Waldes, enthält aber keinerlei Planungselemente im engeren Sinne und weist keinen unmittelbaren Schutzstatus aus (vgl. Landesbetrieb Wald und Holz NRW 2018b: 26). Sie dient jedoch als Grundlage und Entscheidungshilfe für raumbedeutsame Planungen und Maßnahmen.

### **Nutzfunktion**

Unter der Nutzfunktion im engeren Sinne versteht man die wirtschaftliche Nutzung, d. h. die Nutzung von Ökosystemgütern. Solche Güter sind Holz (Brennholz, Bauholz, usw.), Wild (Jagd) und sonstige Produkte wie z. B. Weihnachtsbäume, Schmuckreisig, Beeren und Pilze. Die Holznutzung stellt hierbei den größten Anteil und unter wirtschaftlicher Betrachtung die wichtigste Nutzfunktion des Waldes dar (BfN 2002: 19). Die Nutzfunktion wird grundsätzlich jeder Waldfläche unterstellt. Zwar gibt es gut erschlossene Wälder an hoch produktiven Standorten, die sich für die Holzproduktion und Nutzung in besonderem Maß eignen. Jedoch werden in Waldfunktionenkarten die Nutzfunktionen des Waldes nicht gesondert dargestellt.

### **Schutzfunktion**

Im Gegensatz zu anderen Nutzungsformen entspricht der Wald weitgehend einer natürlichen Vegetationsform und erbringt bedeutende Schutzfunktionen (s. Tabelle 3). Wälder und ihre Böden filtern Wasser, wodurch die Qualität des Grundwassers sowie stehender und fließender Gewässer gesichert bzw. verbessert wird (vgl. Projektgruppe Waldfunktionenkartierung der AG Forsteinrichtung 2015: 13). Eine dauerhafte Bestockung sichert die Bodenqualität und erhält so das Sickerungsvermögen des Bodens sowie eine hohe Wasserspeicherkapazität (vgl. Landesbetrieb Wald und Holz NRW 2018a: 16). Somit hat der Wald eine regulierende Wirkung auf den Wasserhaushalt. Bei Stark- oder Dauerregenereignissen und Schneeschmelzen wird der Wasserabfluss an der Oberfläche vermindert, wodurch der Wald einen bedeutenden Beitrag zum Hochwasserschutz leistet (vgl. Landesbetrieb Wald und Holz NRW 2018a: 16-17; Marks 1989: 35; Projektgruppe Waldfunktionenkartierung der AG Forsteinrichtung 2015: 13-14). Zudem schützen Wälder gefährdete Standorte sowie benachbarte Flächen vor den Auswirkungen von Wasser- und Winderosion, Rutschungen und Steinschlag, Aushagerung und Humusabbau (vgl. Landesbetrieb Wald und Holz NRW 2018a: 21; Marks 1989: 35).

Durch das natürliche Wachstum entziehen Wälder der Atmosphäre CO<sub>2</sub> und binden dieses langfristig im Holz (vgl. Landesbetrieb Wald und Holz NRW 2018a: 28). Sie fungieren so als wichtige CO<sub>2</sub>-Senke. Durch Verdunstung und Schattenbildung sowie horizontalen und vertikalen Luftaustausch sorgen Wälder für den Ausgleich von Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsextremen (vgl. Projektgruppe Waldfunktionenkartierung der AG Forsteinrichtung 2015: 26). Sie schützen nachgelagerte Flächen vor nachteiligen Windeinwirkungen und vermeiden Kaltluftzüge (vgl. ebd.: 27). Ein Klimaschutzwald erfüllt seine Schutzfunktion am besten, wenn der Wald aus dauerbestockten, hohen und

geschlossenen Beständen zusammengesetzt ist. Vor allem große zusammenhängende Wälder prägen das Klima erheblich (vgl. ebd.). Insbesondere die fortschreitende Expansion von Ballungszentren und die zunehmende Urbanisierung erfordern die Schaffung bzw. Erhaltung des Waldes als Ausgleichsfaktor zur Verbesserung des Stadtklimas (vgl. ebd.: 26).

Luftverunreinigungen und Lärm entstehen z. B. an Verkehrswegen, Flugplätzen und Industrieanlagen und stellen eine Belastung für Mensch und Umwelt dar (vgl. § 24 BNatSchG). Stäube, Aerosole und Gase, werden durch die Immissionsschutzfunktion von Wäldern gemindert (vgl. Projektgruppe Waldfunktionenkartierung der AG Forsteinrichtung 2015: 28). Wälder schützen damit Wohn-, Arbeits- und Erholungsbereiche, land- und forstwirtschaftliche Flächen sowie andere schutzbedürftige Objekte vor nachteiligen Wirkungen der Immissionen. Als natürliche Lärmbarriere trägt Wald erheblich zum physischen und psychischen Wohlbefinden bei (vgl. Götzl et al. 2015: 41). Bodendecke, Äste, Zweige, Laub und Nadeln absorbieren Schalldruck. Stämme und Äste streuen den Schall durch wiederholte Reflexion (vgl. Projektgruppe Waldfunktionenkartierung der AG Forsteinrichtung 2015: 31). Messergebnisse zum Verkehrslärm zeigen, dass Wald mit dichtem Unterholz und einer Bewuchstiefe von mindestens 100 m eine Dämpfung von bis zu 10 dB ergeben kann (vgl. Marks 1989: 94; Projektgruppe Waldfunktionenkartierung der AG Forsteinrichtung 2015: 31). Aber auch schmale Waldstreifen üben durch eine optische Abschirmung der Lärmquelle eine positive Wirkung auf das subjektive Lärmempfinden aus (vgl. Projektgruppe Waldfunktionenkartierung der AG Forsteinrichtung 2015: 31). Insbesondere in der Nähe von Siedlungsbereichen ist somit der Schutz durch Wälder vor Lärm- und Luftimmission und die damit einhergehende Minderung übermäßiger Belastungen von hoher Bedeutung.

Die fortschreitende Zersiedelung und Bebauung mit Industrie- und Gewerbeanlagen, Verkehrsstrassen, Energieerzeugungsanlagen, Wohngebieten etc. führen zu einer zunehmenden Beeinträchtigung des Landschaftsbildes. Zur Erhaltung des Landschaftsbildes werden mit Hilfe von Waldflächen Gebiete oder Objekte eingegrünt und verdeckt. Im Allgemeinen lässt sich festhalten, dass Waldstreifen mit einer Tiefe unter 30 m als Sichtschutz nicht funktionsgerecht sind (vgl. ebd.: 34). Hier gilt zudem, je dichter der Wald, umso geringe die Tiefe der Einsichtsmöglichkeit (vgl. ebd.). Bei der Planung von Eingriffen, die das Landschaftsbild nachhaltig stören, ist darauf zu achten, geeignete Flächen für die Anpflanzung von Wäldern als Sichtschutz vorzusehen. Insbesondere in waldarmen Gebieten kann der Wald das Landschaftsbild als Sichtschutz deutlich verbessern (vgl. ebd.).

Aufgrund seiner naturräumlichen Vielfalt hat der Wald ein großes Naturschutzpotenzial (vgl. ebd.: 35). Durch dichte Besiedlung, intensive Nutzung und hohe Technisierung hat die Bedeutung des Waldes für den Natur- und Landschaftsschutz stetig zugenommen (vgl. Landesbetrieb Wald und Holz NRW 2018a: 43).

*Tabelle 3: Überblick der Schutzfunktionen von Wäldern*

Funktion	Wald....
Wasserschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– trägt zum quantitativen und qualitativen Schutz der Wasserressourcen bei</li> <li>– und seine Böden filtern und reinigen Wasser</li> <li>– erhöht das Sickerungs- und Wasserspeichervermögen des Bodens</li> <li>– wirkt regulierend auf den Wasserhaushalt</li> <li>– trägt zum Hochwasserschutz bei</li> </ul>
Bodenschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– schützt gefährdete Standorte sowie benachbarte Flächen vor den Auswirkungen von Wasser- und Winderosion</li> </ul>
Lawinenschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– vermindert die Gefahr von Lawinenrissen</li> <li>– schützt Siedlungen, Verkehrswege und andere Gebiete wie Erholungsbereiche und tiefer gelegene Wälder</li> </ul>
Küstenschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– schützt den unmittelbaren Küstenbereich vor den Auswirkungen von Wasser- und Winderosionen, Bodenrutschungen, Bodenverwehungen, Aushagerungen oder Salzeintrag</li> </ul>
Klimaschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– fungiert als wichtige CO<sub>2</sub> Senke</li> <li>– verhindert die Entstehung von Kaltluft und hemmt das Abfließen</li> <li>– sorgt für Ausgleich von Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsextremen</li> <li>– schützt nachgelagerte Flächen vor negativen Windeinwirkung</li> <li>– verbessert als Grüne Lunge das Bioklima in Siedlungsbereichen</li> </ul>
Immissionsschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– filtert Luftschadstoffe aus der Atmosphäre</li> <li>– schützt nachgelagerte Flächen vor schädlichen Immissionen</li> <li>– trägt zum Schutz und Verbesserung der Luftqualität bei</li> </ul>
Lärmschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– kann den Schalldruckpegel messbar mindern</li> <li>– kann Lärmquellen verdecken und dadurch das subjektive Lärmempfinden erheblich senken</li> </ul>
Sichtschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– verdeckt Objekte oder schützt vor unerwünschten Einblicken</li> <li>– trägt zum Erhalt des Landschaftsbildes bei</li> </ul>
Wald mit besonderer Funktion für den Natur- und Landschaftsschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ist Lebensraum für viele Tier- und Pflanzenarten</li> <li>– sichert Nährstoffkreisläufe und die dauerhafte Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes</li> <li>– ist als Trittstein und Korridor für viele Arten wichtige für den Biotopverbund</li> <li>– dient der Erhaltung der biologischen Vielfalt</li> </ul>

(eigene Zusammenstellung nach Projektgruppe Waldfunktionenkartierung der AG Forsteinrichtung 2015: 10f.)

Im Leitfaden zur Waldfunktionenkartierung wird beschrieben:

“Waldflächen mit besonderer Funktion für den Naturschutz dienen dem Schutz schützenswerter Lebensräume, Arten und Prozesse. Waldflächen mit besonderer Funktion für den Landschaftsschutz dienen v. a. dem Schutz der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes, der nachhaltigen Nutzungsfähigkeit der Naturgüter und dem Erhalt von Vielfalt, Eigenart und Schönheit sowie des Erholungswertes von Natur und Landschaft.”  
(Projektgruppe Waldfunktionenkartierung der AG Forsteinrichtung 2015: 10).

Großflächigkeit und geringe Zerschneidung in Verbindung mit einem sehr geringen Störungspotenzial gelten als besondere naturschutzfachliche Qualität der Wälder (vgl. ebd.: 37). Die Größe der Waldflächen ist jedoch sehr unterschiedlich. Sie reichen von vielen Quadratkilometer großen einzelnen Schutzgebieten bis zu wenige Quadratmeter großen Biotopen. Gleiches gilt auch für die vielfältigen Schutzgebietskategorien, die dem Natur- und Landschaftsschutz dienen.

### **Erholungsfunktion**

Durch eine zunehmende Urbanisierung und dem steigenden Bedürfnis nach Naturerlebnissen gewinnt der Wald als Erholungsraum stetig an Bedeutung. Als naturnahe Umwelten leisten Wälder einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Lebensqualität der Bevölkerung (vgl. Projektgruppe Waldfunktionenkartierung der AG Forsteinrichtung 2015: 43). Besonders in dicht besiedelten Regionen findet Erholung auf verschiedenste Weisen im Wald statt. Untersuchungen zur Motivation von Waldbesuchern zeigen, dass Ruhe und Stille des Waldes als häufigsten Grund für den Waldbesuch genannt werden. Aufgrund des waldtypischen Klimas, reinerer Luft und vergleichsweise geringer Lärmbelastung sowie seiner Großräumigkeit steht Wald im Kontrast gegenüber Siedlungsbereichen und trägt wesentlich zur physischen und psychischen Erholung bei (vgl. Landesbetrieb Wald und Holz NRW 2018b: 47). Durch seine freie Zugänglichkeit und Flächenausdehnung ermöglicht der Wald vielfältige Aktivitäten der Erholungsnutzung und Freizeitgestaltung, wie bspw. Spazierengehen, Wandern, Joggen, Mountainbiken, Geocachen, Reiten usw. (vgl. Landesbetrieb Wald und Holz NRW 2018b: 56). Wald leistet hierbei einen wesentlichen Beitrag zur Gesundheitsvorsorge der Bevölkerung. Von besonderer Bedeutung ist der Wald als Raum für Naturerleben und nachhaltige Bildung. In den letzten Jahren haben außerschulische Bildungsangebote deutlich an Beliebtheit gewonnen (vgl. BMEL 2017: 21), was sich z. B. an den wachsenden Angeboten und Möglichkeiten der Waldpädagogik zeigt.

Im Gegensatz zu anderen Schutzfunktionen ist die Erholung im Wald in vielen Fällen auf die Vorleistung der Forstwirtschaft angewiesen. Für die meisten Besucher ist der durch Waldwege geschaffene Zugang zum Wald Voraussetzung, um sich im Wald erholen zu können

(vgl. BfN 2002: 21). Seine Erholungswirkung durch Ruhe, Waldklima, Erleben der freien Natur sowie ästhetische Eindrücke, kann der Wald jedoch erst ab einer gewissen Ausdehnung entfalten. Tabelle 4 zeigt die Wirkräume entlang von Wegen auf die Erholung im Wald. Hier geht man von einem Radius von rund 100 m von den häufig frequentierten Wegen und Erholungsschwerpunkten aus (vgl. Projektgruppe Waldfunktionenkartierung der AG Forsteinrichtung 2015: 44).

*Tabelle 4: Wirkungsraum entlang von Wegen auf die Erholung im Wald*

Begangraum	maximal 100 m, i. d. R. nicht tiefer als 50 m
Visueller Raum	ohne Berücksichtigung von Standorten mit Fernblick, je nach Bestandsstruktur und Morphologie mindestens 30 m (eine Baumlänge) bis mehrere 100 m
Ruheraum	mindestens 100 m, bei Berücksichtigung von z. B. Verkehrsstrassen ggf. bis zu 1.000 m

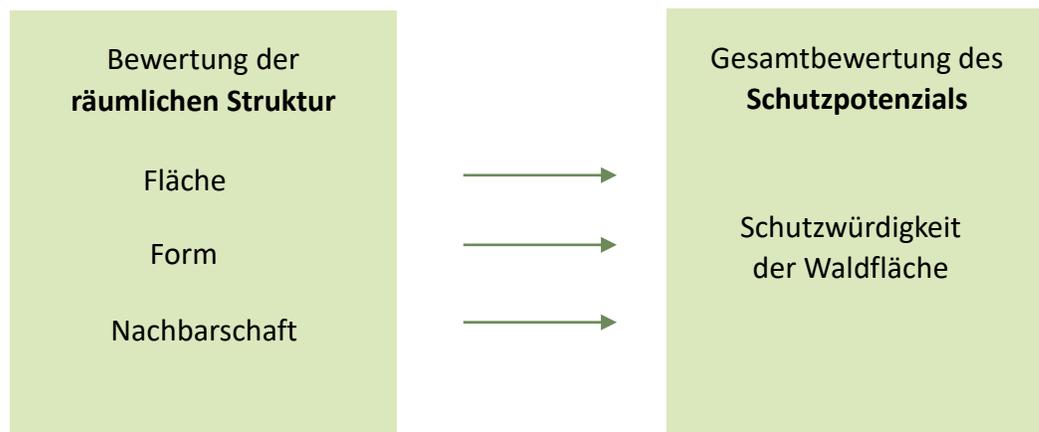
(eigene Darstellung nach Projektgruppe Waldfunktionenkartierung der AG Forsteinrichtung 2015: 44)

## 2.3 Bewertung der Schutzwürdigkeit von Wäldern

Wälder sind aufgrund der vielzähligen Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen besonders schützenswerte Ökosysteme (s. Kap. 2.2.2). Zur Einschätzung der Schutzwürdigkeit der einzelnen Wälder, um deren Multifunktionalität zu sichern und zu entwickeln, sind belastbare Informationen notwendig. Die BWI sowie die LWI der Länder und das forstliche Umweltmonitoring liefern bereits essenzielle Daten über den Waldzustand und die Entwicklung der Wälder Deutschlands (s. Kap. 2.2.3). Für einen langfristigen Schutz der Wälder und seiner Multifunktionalität ist neben einer reinen Zustandsbeschreibung, aber insbesondere eine objektive und umfassende Bewertung erforderlich, um konkreten Handlungsbedarf abzuleiten und geeignete Maßnahmen ergreifen zu können. Einen Überblick über die verschiedenen Ansätze zur Bewertung der Habitatfunktion gibt Bastian (1997). Als die zentralen Kriterien werden dabei der Natürlichkeitsgrad, die Diversität, die Seltenheit und Gefährdung, das Regenerationspotenzial sowie die räumliche Struktur genannt. Im Rahmen dieser Arbeit soll die räumliche Struktur als Bewertungskriterium für das Potenzial der Schutzwürdigkeit von Wäldern herangezogen werden. Zwischen den vielfältigen Prozessen, Funktionen und räumlichen Gegebenheiten der Wälder bestehen enge Beziehungen. Die verschiedenen räumlichen Merkmale beeinflussen das Potenzial der Wälder die vielfältigen Funktionen erfüllen zu können. Eine negative Veränderung der räumlichen Struktur von Wäldern führt zu einer Abnahme des Potenzials der

Multifunktionalität. Durch die Bewertung der räumlichen Eigenschaften wie Fläche, Form und Nachbarschaft können Wälder identifiziert werden, die aufgrund der räumlichen Struktur ihre vielfältigen Funktionen nicht mehr in vollem Maße erfüllen können. Um die Multifunktionalität zu erhalten, sind diese Wälder besonders schutzbedürftig und vor weiteren negativen räumlichen Veränderungen zu schützen. Durch die Gesamtbewertung der Fläche, Form und Nachbarschaft kann ein Bewertungsschema definiert werden, indem Wälder mit ungünstigen räumlichen Gegebenheiten für die Funktionserfüllung mit einer höheren Schutzbedürftigkeit bewertet werden als solche mit idealen räumlichen Voraussetzungen (s. Abb. 4). Aus einer hohen Schutzbedürftigkeit aufgrund der räumlichen Struktur ergibt sich eine naturschutzfachliche Schutzwürdigkeit der Wälder, um deren wertvolles Potenzial der Multifunktionalität zu sichern.

*Abbildung 4: Bewertungsschema für die Schutzwürdigkeit von Wäldern aufgrund der räumlichen Gegebenheiten*



(eigene Darstellung)

### 2.3.1 Anforderungen an das Bewertungssystem

In allen normativen Wissenschaftszweigen wird stets nach immer objektiveren Verfahren gesucht. So auch im Bereich der naturschutzfachlichen Bewertung. Komplexer werdende, pluralistische Wertvorstellungen innerhalb der Gesellschaft verlangen immer stärker nach einem transparenten Werteschlüssel, um Entscheidungsprozesse besser nachvollziehen zu können. Ökologische Bewertungsverfahren müssen aufgrund des möglichen Konfliktpotenzials unterschiedlicher Interessensgruppen bestimmte Mindestanforderungen erfüllen. Nach Bastian (1997) und Plachter (1989/92) muss das Bewertungsverfahren:

- logisch aufgebaut sein und Verfahrensschritte nachvollziehbar, aber auch ausreichend differenzierbar sein.

- dem jeweiligen Betrachtungsmaßstab angemessen sein und auf den betrachteten Landschaftsausschnitt, die Beurteilungskriterien und die thematische Tiefe abgestimmt sein.
- vollständig und umfassend sein und den aktuellen Kenntnisstand, die geltenden Wertkriterien, die wesentlichen Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren berücksichtigen.
- wissenschaftlicher Natur sein und die ökologischen Zusammenhänge entsprechend reflektieren (Eingangsgroßen, Wirkungsrelationen und Prozesse, resultierende Größen).
- praxistauglich sein, d. h. die wesentlichen Parameter sind in einem angemessenen Zeitrahmen zu erheben.

Zudem muss eine Bewertung einem konkreten Bedarf dienen und an einem bestimmten Ziel ausgerichtet sein. Hierbei geht die Formulierung von Zieldimensionen über die isolierte Betrachtung einzelner Schutzgründe hinaus. Die Aufzählung von objektiven Schutzgründen ist zunächst nur eine Reihung von wissenschaftlichen Tatsachen z. B. die Bestimmung der Form, Flächengröße oder Nachbarschaftsbeziehungen (vgl. Lang, Blaschke 2007: 282). Diese müssen in gesellschaftliche Werte überführt werden, welche nicht wissenschaftlich definiert, sondern handlungsorientiert sind. Durch Leitbilder und Leitlinien lassen sich Handlungsansätze für konkrete Qualitätsangaben für die jeweiligen Waldflächen und deren räumliche Struktur ableiten. Dabei müssen sich die einzelnen Handlungen an konkreten Zielen orientieren, die wiederum aus gesellschaftlichen Konventionen abgeleitet werden (vgl. ebd.). Hier sei die übergeordnete Zielsetzung des Waldschutzes und Walderhaltes aus dem BWaldG zu nennen (s. Kap. 2.2). Zur Identifizierung von Problembereichen und der Ableitung von konkretem Handlungsbedarf sind die realen Verhältnisse eines bestimmten Gebietes und die Sollzustände desselben Abschnittes zu vergleichen. Der Schutz von Waldflächen zur Sicherung der Waldfunktionen ist dabei Ziel und entscheidende Voraussetzung für nachfolgende Bewertungen.

### 2.3.2 Anforderungen an Strukturmaße als Bewertungskriterien

Natur und Landschaft gelten allgemein als besonders schwer zu quantifizieren. Deshalb wurden Naturschutzindikatoren unter den Umweltindikatoren in früheren Indikatorensystemen vernachlässigt (vgl. Lang, Blaschke 2007: 315). Ökologische Phänomene können in Bewertungsverfahren immer nur unvollständig erfasst werden, da die Realität oftmals viel komplexer ist als ihre Abbildung (vgl. ebd.: 284). Mit Hilfe der Bewertungskriterien bzw. den Strukturmaßen sollen sonst nicht zugängliche oder schwer fassbare Eigenschaften – wie hier die Schutzwürdigkeit aufgrund der räumlichen Struktur der Wälder – messbar gemacht werden (vgl. Walz, Stein 2017: 59). Durch Vereinfachungen

können Maßzahlen komplexe Strukturen und Zusammenhänge deutlich machen, und auf der Basis konkreter Raumeinheiten diese auch visualisieren (vgl. ebd.). Die als Bewertungskriterien verwendeten Strukturmaße sollten ähnlich wie Indikatoren drei Hauptfunktionen erfüllen (in Anlehnung an León 2005: 46f.):

1. Kommunikations- und Informationsfunktion: Strukturmaße können zur praktischen Umsetzung von Maßnahmen beitragen, indem sie den aktuellen Zustand und entsprechenden Handlungsbedarf aufzeigen. Um die Zielgruppen und Akteure wie Politiker und Bürger zu erreichen, müssen die Strukturmaße ein möglichst objektives Bild des aktuellen Zustandes zeichnen und einfach vermittelbar sein. Eine beschränkte Anzahl von leicht verständlichen Strukturmaßen ist dabei hilfreich.

2. Kontroll- und Evaluierungsfunktion: Zur Überprüfung des Handelns, der Wirksamkeit politischer Strategien und Förderprogramme müssen die Strukturmaße über längere Zeiträume vergleichbare Informationen zu einem Sachverhalt anzeigen können. Entwicklungstrends, Fort- oder Rückschritte können so erkannt werden.

3. Planungsfunktion: Mit Hilfe von Strukturmaßen kann angezeigt werden, wo Handlungsbedarfe bestehen, indem der allgemeine Zustand beschrieben wird (s. a. Funktion 1 und 2), aber auch räumlich explizit, indem für einen Planungsraum diejenigen Bereiche erkannt werden können, in denen Bedarf für Maßnahmen besteht, wie in dieser Arbeit die Ermittlung von Wäldern mit erhöhtem Schutzbedarf.

Zur Erfüllung dieser Funktionen werden folgende Anforderungen an Strukturmaße gestellt, die auch für die Erfassung der räumlichen Struktur von Wäldern relevant sind:

- Reduktion komplexer Strukturen durch mathematische Einfachheit, Anschaulichkeit und intuitive Verständlichkeit,
- geringer bzw. effizienter Datenbedarf,
- Robustheit gegenüber der Berücksichtigung von Kleinstflächen, sowie kleineren methodischen Änderungen oder Änderungen der Datenbasis,
- Homogenität und Additivität im mathematischen Sinn sowie
- Unabhängigkeit voneinander und gute Abgrenzbarkeit zu ähnlichen oder vergleichbaren Strukturmaßen,
- kein oder geringer Interpretationsbedarf, sich weitgehend von selbst erschließen (vgl. Dramstad 2009: 248; Spangenberg et al. 2020: 67f.)

Die Bewertung der Schutzbedürftigkeit der einzelnen Waldfläche aufgrund ihrer räumlichen Eigenschaften lässt sich durch Strukturmaße und deren Visualisierung in Form von Karten darstellen. Mittels Karten kann gezeigt werden, welche Wälder ein hohes Potenzial für eine Erhaltung und Aufwertung der räumlichen Strukturen zur Erfüllung der verschiedenen Waldfunktionen aufweisen und wo in diesem Sinne investiert werden sollte (vgl. Jay et al. 2016: 10). So dienen die quantitative Beschreibung und räumliche Darstellung in Form von Karten als Grundlage für Politik und Planung bzw. für die Kommunikation mit der Öffentlichkeit. Allerdings sind Karten mit Vorsicht zu verwenden und zu interpretieren. Sie werden immer von den an der Entstehung der Karte Beteiligten in Inhalt und Form geprägt und können verzerrte Wahrnehmungen hervorrufen. Was und wie mit der visuellen Darstellung argumentiert wird, sollte berücksichtigt werden.

### 2.3.3 Compromise Programming

Die Auswahl von schutzbedürftigen Waldflächen sollte auf einer transparenten Methode beruhen, um die Replizierbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten (s. Kap. 2.3.1). Hierbei ist die Verfügbarkeit und Verwendung von effektiven Werkzeugen und Bewertungsmethoden, die trotz knapper Zeitressourcen Bewertungen effizient durchführen und gleichzeitig einfach nachvollziehbar sind, von großer Bedeutung. Als Methoden stehen multikriterielle Bewertungsverfahren zur Verfügung. Eine Vielzahl an multikriteriellen Bewertungsmethoden werden unter dem Begriff Multiple Criteria Decision Making (MCDM) zusammengefasst. Mit dem Einsatz von MCDA kann eine Kompromisslösung geschaffen werden. Hier werden Alternativen (z. B. Waldflächen) auf Basis quantitativ messbarer Kriterien bewertet. Die Gesamtbewertung der einzelnen Waldflächen hängt davon ab, inwieweit die Messwerte eines bestimmten Kriteriums dem Hauptziel entsprechen (vgl. Schaefer, Thinh 2019: 2). MCDM basieren meist auf der grundlegenden Vorgehensweise der Aufstellung der Bewertungskriterien, Klassifizierung der Kriterien, Gewichtung der Kriterien und Zusammenführung der einzelnen Bewertungen nach den Kriterien zu einer Gesamtbewertung (vgl. Spieß et al. 2014: 155 f.).

In dieser Arbeit wird der Analytic Hierarchy Process (AHP) von Saaty (2008) und die CP-Methode von Zeleny (1976) aus der Palette der MCDM angewendet. Die Methode des CP basiert auf einem mathematischen Konzept, das als Erweiterung der Nutzwertanalyse gesehen werden kann (vgl. Spieß et al. 2014: 159). CP liegt die Annahme zugrunde, dass die Ideallösung eines Mehrzieloptimierungsproblems aufgrund der konkurrierenden Ziele  $O_1, O_2, \dots, O_n$  untereinander nicht erreicht werden kann. Distanzbasierend wird mittels CP daher nach einer Kompromisslösung gesucht, die möglichst nah an der Ideallösung aller Kriterien liegt.

Die Distanz zwischen der Ideallösung und der Kompromisslösung wird mit der  $L_p$ -Norm gemessen, nach der Formel:

$$L_p(w) = \left[ \sum_{j=1}^n w_j^p \left| \frac{z_j^* - z_j(x)}{z_j^* - z_{*j}} \right|^p \right]^{\frac{1}{p}} \rightarrow \min(w_j > 0; \sum w_j = 1; p \geq 1; p \in N) \quad (1)$$

*Mit:*

$z_j^*$  = Idealwert des Ziels  $O_j$  ( $j = 1(1)n$ )

$z_{*j}$  = Anti – Idealwert des Ziels  $O_j$

$z_j$  = Attributwert des Ziels  $O_j$

$w_j$  = relatives Gewicht des Ziels  $O_j$

$L_p(w)$  ist die gewichtete Entfernung jeder Alternative zum Idealpunkt  $Z_j^*$ . Das Gegenteil von  $Z_j^*$  ist  $Z_{*j}$  und beschreibt den schlechtesten Wert, den eine Alternative annehmen kann. Je mehr  $L_p(w)$  in Richtung 1 ( $\rightarrow \max$ ) tendiert, desto näher ist die bewertete Fläche dem Schutzpotenzial und umgekehrt. Mit der Definition des Exponenten  $p$  wird bestimmt, inwieweit das Bewertungsergebnis von der Abweichung eines Messwertes eines Indikators  $Z_j(x)$  vom Idealwert beeinflusst wird. In der Praxis wird  $L_p$  für  $p = 1$ ,  $p = 2$  und  $p = \infty$  berechnet (vgl. Spieß et al. 2014: 160). Bei  $p = 1$  ist eine City-Block-Norm angegeben, in der schlecht bewertete Messwerte durch gut bewertete Messwerte ausgeglichen werden können, demnach liegt eine vollständige bzw. totale Kompensation vor. Diese Methode des CP entspricht der Nutzwertanalyse (vgl. ebd.). Das Gegenteil ist die Maximal-Norm mit  $p = \infty$ . In diesem Fall ist keine Kompensationsmöglichkeit gegeben. In der Praxis wird  $p = \infty$  durch  $p = 10$  repräsentiert (vgl. ebd.). Bei  $1 < p < \infty$  (Euklidische-Norm) liegt eine Teilkompensation vor. Je größer  $p$ , desto stärker wird das Bewertungsergebnis von denjenigen Messwerten dominiert, welche die größte relative Abweichung zum Idealwert aufweisen. Der Parameter  $w_j$  stellt das individuelle Gewicht jedes Kriteriums in Bezug auf die Schutzbedürftigkeit dar, unter Berücksichtigung dessen, dass  $w_j > 0$ ,  $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$ . Folglich stellen die Parameter  $w_j$  und  $p$  eine direkte Beeinflussung der Kompromisslösung dar.

Für die Ermittlung der relativen Gewichte für  $w_j$  wird die Methode des paarweisen Vergleichs angewendet, welche im Rahmen des AHP von Saaty entwickelt wurde. Bei der Verwendung von AHP werden für jeden Indikator relative Gewichte berechnet, da deren Bedeutung in der Analyse der Schutzwürdigkeit abweichen kann. Jede Bewertung ist bis zu einem gewissen Grad subjektiv (vgl. Lang, Blaschke 2007: 283). Durch Hinzunahme von Expertenmeinungen kann die Objektivität und Qualität des Bewertungsverfahrens erhöht werden. Für die endgültige Kriteriengewichtung werden daher Experten der Forst- und Umweltplanung befragt, da diese tendenziell mehr Erfahrung mit der Bedeutung der einzelnen Kriterien für den Bewertungsprozess der Wälder haben.

Das Kernverfahren des AHP besteht in einem paarweisen Vergleich von jeweils zwei Kriterien, wie von Brunelli (2015) beschrieben. Für den paarweisen Vergleich wird zunächst auf Basis der Saaty-Skala (s. Tab. 5) eine A-Matrix generiert, die ein numerisches Gewichtsverhältnis darstellt, um die Relevanz eines Indikators für das Schutzpotenzial zu beurteilen. Nach dem paarweisen Vergleich werden zunächst die Spaltensummen der A-Matrix berechnet. Es folgte eine Normalisierung der A-Matrix, die zu einer B-Matrix führt. Die relative Kriteriengewichtung wird durch Mittelwerte der B-Matrix-Werte errechnet. Anschließend werden die Kriterien nach Bedeutung geordnet. Die Summe aller relativen Gewichte beträgt hierbei immer eins, was 100 % entspricht.

*Tabelle 5: Paarweiser Vergleich*

Intensität der Bedeutung	Definition	Erklärung
1	gleich wichtig	beide Kriterien beeinflussen sich gleichermaßen
3	mäßig wichtiger	ein Kriterium ist mäßig einflussreicher als das andere
5	viel wichtiger	ein Kriterium hat einen stärkeren Einfluss als das andere
7	deutlich wichtiger	ein Kriterium hat deutlich mehr Einfluss auf das andere
9	sehr viel wichtiger	der Unterschied zwischen den Einflüssen der beiden Kriterien ist sehr hoch
2, 4, 6, 8	Zwischenwerte für die Beurteilung	Zwischenwerte zwischen gleich, mäßig, viel, deutlich, sehr viel wichtiger

(eigene Darstellung nach Saaty 2006)

Um die Konsistenz des paarweisen Vergleiches zu überprüfen, ist die Bestimmung des Konsistenzverhältnisses (*CR*) im AHP implementiert. Die Konsistenz der Bewertungen lässt sich durch das Verhältnis zwischen dem Konsistenzindex (*CI*) und dem Zufallsindex (*RI*) nach Saaty (1990) bestimmen. Hierzu wird zunächst  $Aw_i$  durch die Multiplikation der A-Matrix mit den relativen Gewichtungen  $w_j$  berechnet. Anschließend werden die Eigenwerte  $\lambda_i$  wie folgt berechnet:

$$\lambda_i = \frac{Aw_i}{w_i} \quad (i = 1(1)n) \tag{2}$$

Der Konsistenzindex ( $CI$ ) kann durch die Mittelwerte aller Eigenwerte  $\lambda_{max}$  und die Anzahl der berücksichtigten Kriterien  $n$  bestimmt werden:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Das Verhältnis von  $CI$  und des  $RI$  ergibt das  $CR$ :

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

$RI$  wird tabellarisch von Saaty bereitgestellt (s. Tab. 6). Je nach Anzahl der Kriterien muss ein anderer Wert gewählt werden. Wenn  $CR$  0,1 überschreitet, sind die Beurteilungen gemäß Saaty zu inkonsistent, um zuverlässig zu sein. In der Praxis müssen jedoch manchmal  $CR$ s von mehr als 0,1 akzeptiert werden. Wenn  $CR$  gleich 0 ist, dann bedeutet das, dass die Gewichtungen vollkommen übereinstimmend sind (vgl. Saaty 1990: 3).

*Tabelle 6: Zufallsindex (RI) nach Saaty*

Anzahl	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$RI$	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

(eigene Darstellung nach Saaty 2008: 157)

Die klar nachvollziehbare und überschaubare konzeptionelle Struktur der CP-Methode bietet für räumliche Entscheidungsprobleme, bei denen Entscheidungsträger dazu neigen, sich auf ihre Intuition und persönlichen Präferenzen zu verlassen, ein objektives Bewertungssystem. Die Einzelbewertungen der unterschiedlichen Bewertungskriterien können mittels CP zu einem logischen Gesamtergebnis verknüpft und so die Schutzwürdigkeit der Wälder objektiv bewertet werden.

### 3 Problem und Fragestellung

Wälder erfüllen vielfältige soziale, ökonomische und ökologische Funktionen, die miteinander verknüpft sind und die sie oft zur gleichen Zeit am selben Ort erfüllen (s. Kap. 2.2.2). Zwischen den unterschiedlichen gesellschaftlichen Ansprüchen und den Funktionen des Waldes existieren Zielkonflikte, die in unterschiedliche Vorstellungen hinsichtlich des Managements der Wälder münden. Die Auseinandersetzungen um die richtige Nutzung und Schutz des Waldes sind hierbei so alt wie die Erkenntnis, dass die früher unendlich groß erscheinende Ressource begrenzt ist. Wälder sind ein knappes Gut und stehen somit nicht in beliebigem Umfang jedem und jeder Nutzung oder Funktion zur Verfügung (vgl. Winkel 2006: 1ff.). Wälder wachsen langsam, Bäume brauchen Jahre, um sich zu verjüngen, Jahrzehnte zum Wachsen, und die Endnutzung junger Bestände lässt sich zum Zeitpunkt der Bestandsgründung mitunter nur schwer vorhersagen (vgl. Europäische Kommission 2010: 5). Angesichts der langen Zeitdimensionen ökosystemarer Prozesse in Wäldern muss eine entsprechende Planung und Bewirtschaftung zwingend langfristig ausgerichtet sein. Umso wichtiger ist es, den Bestand zu schützen, vorhandene Waldflächen zu erhalten und wo möglich auszubauen (s. Kap. 2.2).

Die Sicherung der Multifunktionalität erfordert ausgewogene und auf stichhaltigen Waldinformationen beruhende Bewirtschaftungs- und Planungsansätze. Handlungsempfehlungen sowie die fundierte Berücksichtigung von Waldfunktionen in Entscheidungsfindungsprozessen setzen eine quantitative Informationsgrundlage voraus. Daten zu vielen Aspekten der Waldfunktionen sind zum Teil bereits vorhanden: Wasserqualität, Temperatur- oder Windmessungen, Boden- und Vegetationseigenschaften (vgl. Jay et al. 2016: 11). Neben ökologischen Aspekten sind jedoch auch räumliche Gegebenheiten zu berücksichtigen, da zwischen den ökologischen Prozessen, den Funktionen und den räumlichen Strukturen der Wälder enge Beziehungen bestehen. Die räumliche Struktur, also die spezifische Konfiguration der Waldflächen in einer Landschaft hinsichtlich ihrer Größe und Form, ihrer zahlenmäßigen Verteilung sowie deren Anordnung im Raum (s. Kap. 2.1) sind essenzielle Informationen zur Erfassung und Bewertung des Zustandes und der Qualität des Waldes. Denn die räumlichen Gegebenheiten haben Auswirkungen auf ökologische Prozesse, die Verteilung von Energie und Materie, von Organismen und Populationen (vgl. Lang, Blaschke 2007: 102).

Die bestehenden terrestrischen Stichprobenverfahren wie die BWI, sind zur Bewertung der räumlichen Aspekte jedoch nur unzureichend geeignet, da sich durch die Aufnahmen der bestehenden Erhebungsverfahren keine Informationen zu der Form der einzelnen Wälder sowie Nachbarschaftsbeziehungen zu angrenzenden Nutzungen herleiten lassen. Bisher werden die räumlichen Gegebenheiten nicht ausreichend berücksichtigt. Eine Barriere

scheint hier die Verfügbarkeit von quantitativen Messungen der räumlichen Struktur ganzer Waldlandschaften zu sein. Einige Studien versuchten bereits, einzelne räumliche Merkmale von Waldlandschaften mit Hilfe von Formindizes und Zerschneidungsmaßen zu beschreiben (vgl. Baskent, Jordan 1995; Oehmichen, Köhl 2006; Walz et al. 2011). Bisher wurden nur Zerschneidungsmaße wie der Anteil der UZVR oder der effektiven Maschenweite in der Forstplanung adaptiert (s. Kap. 2.1).

Die Erfassung, Bewertung und Gewichtung der räumlichen Struktur der Wälder mit einer daraus abgeleiteten Gesamtplanung ist eine große Herausforderung. Landschaftsstrukturmaße können die Komplexität der räumlichen Struktur vereinfachen, messbar und vergleichbar machen (s. Kap. 2.1). Es gibt jedoch kein Strukturmaß, das alle Aspekte bzw. Eigenschaften der räumlichen Struktur zusammenfasst (vgl. Baskent, Jordan 1995: 1831). Eine quantitative Beschreibung und Darstellung der räumlichen Struktur in Form von Karten als Grundlagen für Politik und Planung bzw. die Kommunikation mit der Öffentlichkeit ist meist nur für einzelne Aspekte und nicht für ganze Waldlandschaften vorhanden. Mit zunehmender Anzahl an zu erfassenden räumlichen Merkmalen steigt auch die Zahl der zur Beschreibung erforderlichen Strukturmaße. Die Auswahl der geeigneten Strukturmaße zur Erfassung der räumlichen Struktur und Bewertung der Wälder hinsichtlich ihres Schutzpotenzials ist eine anspruchsvolle Aufgabe. Diese erfordert insbesondere standardisierte, leistungsfähige, transparente sowie objektive Verfahren, die die räumlichen Eigenschaften umfassend beschreiben und bewerten.

Vor dem Hintergrund der geschilderten Ausgangslage leistet diese Arbeit einen Beitrag zu der bestehenden Forschungslücke, indem eine umfassende Sammlung an Strukturmaßen auf ihre Eignung zur Erfassung der räumlichen Struktur von Wäldern zur Bewertung deren Schutzwürdigkeit untersucht wird. Es soll aufgezeigt werden, welche Potenziale und Hemmnisse für den Einsatz als ökologische Planungswerkzeuge zur Bewertung der räumlichen Eigenschaften von Wäldern bestehen. Die zu beantwortende Forschungsfrage lautet:

Welche Strukturmaße eignen sich, um die Schutzwürdigkeit von Waldflächen anhand der räumlichen Struktur zu erfassen und zu bewerten?

Die aussagekräftigsten Strukturmaße sollen in einem möglichst objektiven Bewertungsverfahren zusammengeführt werden, sodass eine quantitative Zustandsbeschreibung der Waldlandschaft sowie flächenbezogene Aussagen über den Gefährdungszustand bzw. die Schutzbedürftigkeit getroffen werden können. Methodische und technische Anforderungen an das Bewertungssystem und die Verwendung von Strukturmaßen sollen aufgezeigt werden. Auf diese Weise soll ein Beitrag zur fortlaufenden Verfahrens- und Methodenentwicklung der forstlichen Fachplanung und zum Schutz der Wälder und deren vielfältigen Funktionen geleistet werden.

## 4 Methodik zur Bewertung der Schutzwürdigkeit von Wäldern anhand der räumlichen Struktur

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde eine rasterzellenbasierte multikriterielle Bewertung der räumlichen Struktur von Wäldern durchgeführt, um Rückschlüsse auf deren Schutzwürdigkeit zu ziehen. Dabei wurde ein umfassender Methodenpool aus statistisch-quantitativen Verfahren sowie geographischer Informationsverarbeitung angewendet, um die räumlichen Gegebenheiten von Wäldern möglichst präzise und genau zu erfassen.

### 4.1 Methodisches Vorgehen und Forschungsdesign

Zur Organisation des Bewertungsverfahrens und zur Veranschaulichung des methodischen Vorgehens wurden den einzelnen Forschungsschritten verschiedene Methoden zugeordnet (s. Abb. 5). Die Basis bildet eine Literaturrecherche zum theoretischen Hintergrund der Landschaftsstrukturanalyse, der Definition von Wald und dem aktuellen Stand der Walderhebungen und Schutz der Wälder (s. Kap. 2). Dadurch wurde der Forschungsbedarf aufgezeigt und wichtige Verständnisgrundlagen vermittelt. In der darauf aufbauenden Analyse wurden die zur Verfügung stehenden geeigneten Strukturmaße zunächst kategorisiert und beschrieben. Mittels einer Korrelationsanalyse wurde überprüft, welche Strukturmaße zusammenhängen bzw. welche in ihrer Interpretation unabhängig voneinander sind. So soll aufgezeigt werden, welche Potenziale und Hemmnisse für den Einsatz der einzelnen Strukturmaße zur Erfassung der räumlichen Gegebenheiten von Wäldern bestehen. Anschließend wurden die aussagekräftigsten Strukturmaße zur multikriteriellen Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder mittels der CP-Methode aufsummiert, gewichtet und in einer Gesamtbewertung zusammengeführt. Um die Transparenz des Verfahrens und Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurde mit vier Experten der Forst- und Umweltplanung Interviews durchgeführt. Anhand dieses Bewertungsverfahrens wurde das Potenzial der Schutzwürdigkeit der einzelnen Waldflächen bestimmt und Problemflächen bzw. Risikobereiche des Untersuchungsgebietes aufgezeigt, die in Anbetracht räumlicher Strukturmerkmale besonders schutzbedürftig sind. Bei der Auswahl der Methoden sowie der zur Verfügung stehenden Datengrundlage wurde auf die Replizierbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse geachtet, um das Bewertungsverfahren auch auf andere Landschaftsausschnitte anwenden zu können. Als Fallbeispiel bzw. Berechnungsgrundlage dienen die Waldflächen des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen (NRW). NRW verfügt über eine vergleichsweise heterogene Verteilung und Struktur von Waldflächen, die sich zur Erprobung unterschiedlicher Strukturmaße sehr gut eignen. Zudem ist im Vergleich zu anderen Bundesländern ein deutlich größerer Datensatz zur geographischen Informationsverarbeitung öffentlich und kostenlos zugänglich.

Abbildung 5: Forschungsdesign und verwendete Methodik (eigene Darstellung)

	Forschungsschritte	Methodik
Theorie	Erarbeitung theoretischer Grundlagen	Literaturrecherche
Analyse	Kategorisierung der Strukturmaße	Semantisch-inhaltliche Selektion
	Aussagekraft der Strukturmaße	Korrelationsanalyse
	Erprobung der Strukturmaße	GIS-Aufbereitung der Daten FRAGSTAS-Berechnung
	Bewertung der Schutzwürdigkeit von Waldflächen	Compromise Programming Experten Interviews zur Gewichtung der Kriterien
Interpretation	Diskussion der Ergebnisse	GIS-Visualisierung der Ergebnisse

Strukturmaße zur Bewertung der Schutzwürdigkeit von Waldflächen anhand der räumlichen Struktur

(eigene Darstellung)

## 4.2 Kategorisierung und Abgrenzung der Strukturmaße

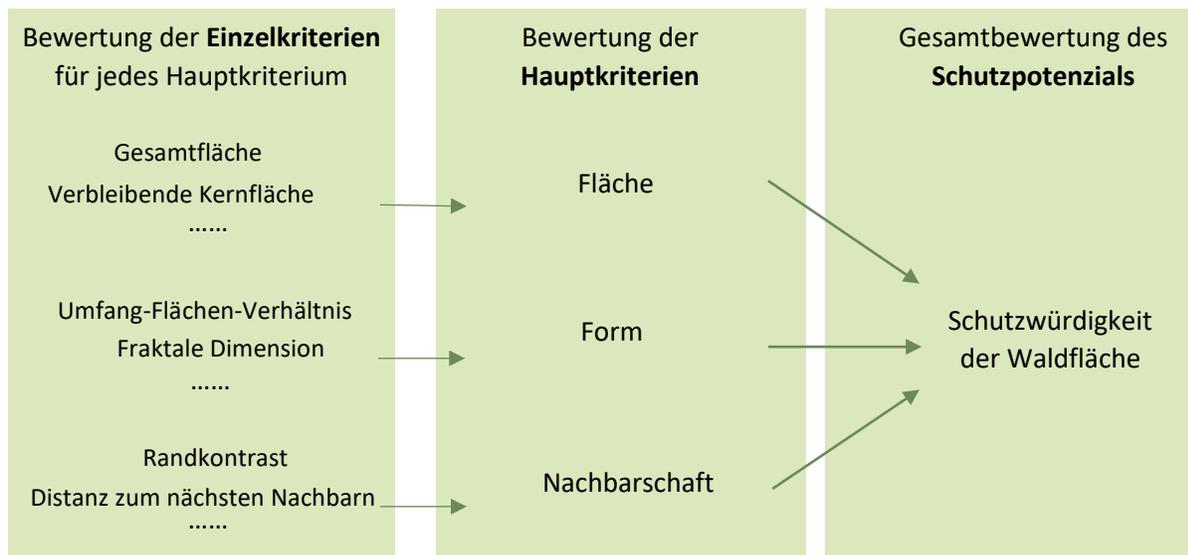
Aus Sicht des potenziellen Nutzers steht eine nahezu unüberschaubare Menge an Strukturmaßen zur Verfügung. Diese Fülle ist mit ein Grund, weshalb der Einsatz von Landschaftsstrukturmaßen in Planung und Verwaltung bisher sehr begrenzt bzw. erst im Ansatz begriffen ist (vgl. Botequilha Leitão, Ahern 2002; Lang, Blaschke 2007: 214). In den letzten Jahrzehnten, in denen sich der landschaftsstrukturelle Ansatz entwickelt hat, wurden mehrere Hundert Indizes und Maße entwickelt, die zum Teil sehr ähnliche Aspekte beurteilen und auch mathematisch gesehen ähnliche Aussagen treffen, also korreliert sind (vgl. Lang, Blaschke 2007: 214). Jedoch kommt jedem einzelnen Strukturmaß durchaus auch eine Berechtigung zu, denn es kann immer einen Spezialfall geben, in dem diese sinnvoll angewendet werden können. Jeder Maßzahl liegt eine bestimmte Motivation oder ein Ziel zugrunde. Andererseits ist aber im überwiegenden Teil der Fragestellungen oder Anwendungen ein begrenztes Set an Strukturmaßen ausreichend, um die wesentlich relevanten Kriterien zu beschreiben (vgl. ebd.).

Zur Vereinfachung der Interpretation eines recht großen und komplexen Messsatzes wurden die Strukturmaße nach einem hierarchischen Rahmen geordnet und dabei zwischen Maßzahlen auf der Patch- und Klassenebene unterschieden. Auf der Patchebene wurde jede Waldfläche einzeln bewertet und auf der Klassenebene wurden aggregierte, regionalisierte Aussagen über Wälder innerhalb der Forstämter getroffen. Strukturmaße auf der Landschaftsebene wurden hier aufgrund des Fokus auf Wälder nicht berücksichtigt.

Neben der Unterteilung auf Patch- und Klassenebene wurden die Strukturmaße auf jeder Betrachtungsebene in drei Hauptkriterien unterteilt. Jede einzelne Waldfläche weist strukturelle Merkmale auf, die sie von anderen Flächen um sie herum unterscheidet. Dazu gehören die flächenhafte Größe und Form sowie die lineare Grenze, die sie umschließt. Zudem weisen die Waldflächen eine externe topologische Position im Verhältnis zu den umgebenden Landnutzungen auf. Über die drei Hauptkriterien der Fläche, Form sowie Nachbarschaftsbeziehungen wurde deshalb die räumliche Struktur der Wälder abgebildet und das Potenzial ihrer Schutzwürdigkeit bewertet (s. Abb. 6).

Die Gesamtmenge möglicher Strukturmaße innerhalb FRAGSTATS wurde durch semantisch-inhaltliche Selektion auf ein kleines handhabbares Set eingegrenzt. Den drei Hauptkategorien wurden jeweils einige Maßzahlen als Einzelkriterien untergeordnet, die auf konkrete, die Struktur von Wäldern betreffende, Fragestellungen abgestimmt sind (s. Abb. 6). Als Grundlage für die semantisch-inhaltliche Selektion dient die FRAGSTATS-Dokumentation von McGarigal (2015) sowie diverse Untersuchungen zur Anwendung von Landschaftsstrukturmaßen, u. a. Lang und Blaschke (2007), Walz (2012), Baskent und Jordan (1995).

Abbildung 6: Bewertungsschema für die Abschätzung des Schutzpotenzial von Wäldern aufgrund der räumlichen Gegebenheiten



(eigene Darstellung)

Zur weiteren Reduzierung der Maßzahlen und Auswahl eines beschränkten Sets an voneinander möglichst unabhängiger Landschaftsstrukturmaße wurde zudem eine Korrelationsanalyse zwischen den Werten der unterschiedlichen Strukturmaße durchgeführt. Dazu wurde das Verfahren der Rangkorrelation nach Spearman/Rho für nicht normalverteilte Werte angewendet. Das bivariate Zusammenhangsmaß  $r_s$  basiert auf der Berechnung von Wertepaaren, die aus den zugrundeliegenden abhängigen Stichproben gebildet werden (vgl. Bühl 2016: 425f.). Für die Rangkorrelation nach Spearman werden den einzelnen Werten Rangplätze zugeordnet und die Differenz zwischen dem Rangplatz auf der ersten und dem Rangplatz auf der zweiten Variablen bestimmt. Die Stärke des Zusammenhangs zwischen den Variablen wird durch den Korrelationskoeffizienten  $r_s$  ausgedrückt, welcher zwischen -1 und +1 liegt (vgl. ebd.). Ein Betrag nah bei eins deutet dabei auf einen starken und ein Betrag nah bei null auf einen schwachen Zusammenhang hin. Im Rahmen dieser Arbeit wird für den Satz an Strukturmaßen eine Korrelationsmatrix aufgestellt und die Auswahl auf relativ unabhängige Landschaftsstrukturmaße mit einem Korrelationskoeffizienten kleiner als +0,5 oder größer als -0,5 begrenzt.

Der hierarchische Rahmen sowie die Reduzierung auf ein Set unabhängiger Strukturmaße ermöglicht es, verschiedene Messungen in einer umfassenden Weise zusammenzustellen, die für die Charakterisierung der räumlichen Struktur von Waldlandschaften einfach zu handhaben ist.

## 4.3 Experteninterviews zur Kriteriengewichtung

Für die endgültige Gewichtung der Bewertungskriterien im Rahmen der CP-Methode (s. Kap. 2.3.3) wurden vier Experten der Forst- und Umweltplanung befragt, da diese tendenziell mehr Erfahrung mit der Bedeutung der einzelnen Kriterien Fläche, Form und Nachbarschaft für die Schutzwürdigkeit der Wälder haben. Jede Bewertung ist bis zu einem gewissen Grad subjektiv (vgl. Lang, Blaschke 2007: 283). Durch Hinzunahme von Expertenmeinungen soll die Objektivität und Qualität des Bewertungsverfahrens erhöht werden.

Unter einem Experten verstehen Miegl und Brunner (2001: 6) eine Person, „die [...] aufgrund von langjähriger Erfahrung über bereichsspezifisches Wissen/Können verfügt“. Gläser und Laudel (2010: 12) schreiben zudem: „Experte beschreibt die spezifische Rolle des Interviewpartners als Quelle von Spezialwissen über die zu erforschenden Sachverhalte. Experteninterviews sind eine Methode, dieses Wissen zu erschließen.“ Grundsätzlich ist unter einem Experteninterview ein wissenschaftliches Interview zu verstehen, das zielgerichtet und theoriegeleitet ist (vgl. Kaiser 2014: 9).

Ziel der durchgeführten Interviews war in erster Linie, den bisherigen Einsatz von Strukturmaßen in der Praxis zur Beurteilung der Schutzwürdigkeit von Wäldern zu erfassen und die Meinung der Experten zum Einfluss der räumlichen Strukturmerkmale auf die Funktionserfüllung der Wälder zu erfragen. Zudem wurden die Experten zum Vorgehen zur Waldinventur und Waldmonitoring befragt. Hierzu wurden telefonische Gespräche mit insgesamt vier Experten aus dem Referat III-3 Forstpolitik, Forsthoheit, Naturschutz im Wald im Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW, dem Regionalforstamt Münsterland, dem Zentrum für Wald und Holzwirtschaft sowie dem wissenschaftlichen Forschungsfeld der Landschaftsökologie geführt.

Die Expertengespräche wurden leitfadengestützt durchgeführt, aufgenommen und anschließend transkribiert (s. Anhang 9.3 u. 9.4) und qualitativ ausgewertet. Während der Datensammlung und -auswertung zeigen sich so Verbindungen und Beziehungen zwischen den erhobenen Daten (vgl. ebd.: 12).

## 4.4 Auswahl der Geodaten

Bei der Analyse von Waldflächen auf der Basis von Geodaten ist zu berücksichtigen, dass die Katasterangaben zeitlich zwangsläufig immer hinter der realen Waldflächenentstehung zurückbleiben und es faktisch nicht möglich ist, alle forstrechtlichen Waldflächen als Daten und in Kartenwerken zu erfassen. Der Vergleich der verfügbaren vektorbasierten Geodaten zur Bodenabdeckung und Flächennutzung in Deutschland zeigt, dass derzeit für bundesweite

Auswertungen der räumlichen Struktur von Wäldern zuverlässig nur auf ATKIS zurückgegriffen werden kann (s. Tab. 7). Diese Daten werden regelmäßig aktualisiert und stehen in einer hohen thematischen Auflösung zur Verfügung. Bei der Verwendung von CORINE-Daten müssen Abstriche bei der thematischen Tiefe und der räumlichen Auflösung hingenommen werden. Die für europäischen Maßstab ausreichende Erfassungsuntergrenze von 5 - 25 ha ist für die Untersuchung von Wäldern auf Landesebene zu ungenau. Fortschritte bringt hier das DLM-DE mit einer genaueren Erfassungsuntergrenze von 1 ha und aktuelleren Informationen zu den Vegetationsklassen. Jedoch weisen sowohl die CORINE-Daten als auch das DLM-DE eine nicht ausreichende thematische Tiefe auf. So fehlen bspw. wichtige linienhafte Elemente der Landschaft wie Straßen und Schienen, die Wälder zerschneiden und als angrenzende Nutzungen Störwirkungen auslösen. Diese können lediglich durch die Verwendung von ATKIS-Daten in die Analyse einfließen. Weitere Datengrundlagen wie die Bundeswaldinventur, Waldinventuren oder auch Biotopkartierungen der einzelnen Bundesländer weisen zwar eine oftmals höhere thematische Auflösung auf, sind aber entweder nicht flächendeckend verfügbar oder werden nicht oder nur in unregelmäßigen Abständen aktualisiert.

*Tabelle 7: Vergleich verschiedener digitaler Vektordaten zur Flächennutzung*

	ATKIS	CORINE Land Cover	DLM_DE
Maßstab	1 : 25.000	1 : 100.000	1 : 25 000
Nomenklatur	155 Objektarten, weitere Differenzierung durch Objekteigenschaften	44 Klassen, in Deutschland treffen 37 zu	37 Klassen
Erfassungsuntergrenze	0,1 - 1 ha	5 - 25 ha	1 ha
Aktualisierung	3 Jahre	6 - 10 Jahre	3 Jahre
Flächendeckung	Deutschland	Europa	Deutschland
Bereitgestellt durch	Landesvermessungsämter	Statistisches Bundesamt	Bundesamt für Geodäsie und Kartographie (BKG)

(eigene Zusammenstellung nach Walz 2012: 34)

Für die Erfassung, Analyse und Darstellung der räumlichen Waldstrukturen soll hier das Basis-DLM des ATKIS Datensatzes verwendet werden. Dieses weist gegenüber den zur Verfügung stehenden DLM einen deutlich kleineren Maßstab (1 : 25.000) sowie eine detaillierte Klasseneinteilung auf. Insbesondere für die Untersuchung von Nachbarschaftsbeziehungen sowie die Berücksichtigung von Störeinträgen angrenzender Nutzungen auf Waldflächen ist eine detaillierte thematische Tiefe nötig.

## 4.5 Aufbereitung der Geodaten

Zur Ermittlung der Gesamtwaldfläche aus dem Basis-DLM wurden die drei Objektarten 'Wald', 'Gehölz' und einzelne Wertarten aus der Objektart 'Vegetationsmerkmal' herangezogen. Die Objektart Wald mit der Bezeichnung AX\_Wald und der Kennung 43002 ist definiert als eine Fläche, die mit Forstpflanzen, also Waldbäumen und Waldsträuchern, bestockt ist, was der Legaldefinition von Wald im BWaldG entspricht (vgl. AdV 2008: 71; s. Kap. 2.2.1).

Gemäß der Legaldefinition von Wald in § 2 Abs. 2 BWaldG gelten in der Flur oder im bebauten Gebiet gelegene kleinere Flächen, die mit einzelnen Baumgruppen, Baumreihen oder mit Hecken bestockt sind oder als Baumschulen verwendet werden, nicht als Wald. Dies impliziert, dass größere Flächen, die mit einzelnen Baumgruppen, Baumreihen oder mit Hecken bestockt sind, im Sinne des Gesetzes als Wald angesehen werden können. In ATKIS bzw. im Basis-DLM handelt es sich bei Gehölzflächen um Flächen größer als 0,1 ha, die mit einzelnen Bäumen, Baumgruppen, Büschen, Hecken und Sträuchern bestockt sind (vgl. AdV 2008: 72). Aufgrund der Erfassungsschwelle und der Beschreibung entspricht die Objektart Gehölz (AX\_Gehölz, Kennung 43003) im Wesentlichen der Legaldefinition von Wald.

Daneben finden sich innerhalb der Objektart Vegetationsmerkmal (AX\_Vegetationsmerkmal, Kennung 54001) einige Objektarten, die auf Flächen mit Waldeigenschaften hinweisen. Innerhalb der Objektart Vegetationsmerkmal gibt es 14 Wertarten (vgl. AdV 2008: 139ff.). In die gesamte Waldfläche NRWs zur Ermittlung des Schutzpotenzial fließen die Wertarten Baumbestand, Laubholz (1021), Baumbestand, Nadelholz (1022), Baumbestand, Laub- und Nadelholz (1023) und Gehölz (1250) ein. Bei den genannten Wertarten liegt die Erfassungsschwelle bei  $\geq 200$  m Länge entlang von Verkehrswegen (vgl. ebd.: 139).

Der Gesetzgeber eröffnet den Bundesländern in der Walddefinition nach § 2 Abs. 3 BWaldG die Möglichkeit, auch andere Grundflächen dem Wald zuzuordnen, die nicht unter die Legaldefinition von Wald in § 2 BWaldG fallen. In NRW wurde von dieser Möglichkeit Gebrauch gemacht und Wallhecken und Windschutzstreifen als Wald im Sinne des Gesetzes definiert (vgl. § 1 Ab. 1 LFoG NRW). Hier geht die Definition von Wald im LFoG NRW über die Definition von Wald im BWaldG hinaus. Die zusätzliche Aufnahme von den Objektarten Gehölz und Vegetationsmerkmal soll gewährleisten, dass auch ein Teil dieser Waldflächen in die Untersuchung einfließen. So ist die Walddefinition, die sämtlichen Untersuchungen und Inventuren zugrunde liegt, entscheidend für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse und Transparenz des Verfahrens. Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Flächenanteile der einzelnen ATKIS-Objektarten an der ermittelten Gesamtwaldfläche.

*Tabelle 8: Anteil der ATKIS Objektarten 'Wald', 'Gehölz' und 'Vegetationsmerkmal' an der Gesamtwaldfläche NRW*

	Fläche	Prozent der Summe
Wald	8.734,72 km <sup>2</sup>	91,74 %
Gehölz	693,00 km <sup>2</sup>	7,28 %
Vegetationsmerkmal	93,82 km <sup>2</sup>	0,98 %
Gesamtwaldfläche	9.521,54 km <sup>2</sup>	27,92 % *

\* Anteil an der Gesamtfläche NRWs (34.096,9 km<sup>2</sup>)

(eigene Berechnung u. Darstellung)

In ATKIS sind die Objekte auf einzelnen Ebenen mit teilweise redundanter Geometrie und direkter Attributanbindung aufgeteilt. Um auch Nachbarschaftsbeziehungen bei der Bewertung der Wälder zu berücksichtigen, wurden die Gesamtwaldfläche mit den in Tabelle 9 aufgeführten Objektarten aggregiert und eine vollständige und redundanzfreien Landnutzungsklassengeometrie generiert. Aneinandergrenzende Flächen derselben Objektart wurden dabei zu einer Fläche zusammengefasst. Eine Einbindung der Linienobjekte wurde durch Pufferung dieser realisiert. Hierzu wurde als Pufferbreite jeweils die Hälfte, der im Basis-DLM angegebenen Straßen- bzw. Schienenbreite verwendet, wodurch die Linienobjekte in Flächenobjekte transformiert wurden. Insofern keine Angaben zur Breite verfügbar waren, wurde der vorliegende Minimalwert für die jeweilige Objektart verwendet. Da sich die Flächen- und Linienobjekte in ATKIS überlappen, wurden die gepufferten Linienobjekte mit den Flächenobjekten verschnitten, um so die tatsächlichen Größenangaben der einzelnen Waldflächen ermittelt zu können.

Tabelle 9: Ausgewählte ATKIS Objektarten zur Landnutzungsgeometrie

Freiraumfläche	Wald	veg02_f	AX_Wald	
		veg03_f	AX_Gehölz	
		veg04_f	AX_Vegetationsmerkmal	
	unkultivierte Bodenfläche	verg03_f	AX_Heide	
		verg03_f	AX_Moor	
		verg03_f	AX_Sumpf	
		verg03_f	AX_UnlandVegetationsloseFläche	
	Landwirtschaft	veg01_f	AX_Landwirtschaft	
	Wasserfläche	gew01_f	AX_Fliessgewässer	
		gew01_f	AX_Hafenbecken	
		gew01_f	AX_StehendeGewässer	
	Siedlungs- und Verkehrsfläche	Verkehrsfläche	ver01_f	AX_Strassenverkehr
			ver01_f	AX_Platz
ver01_l			AX_Fahrbahnachse	
ver01_l			AX_Strassenachse	
ver03_f			AX_Bahnverkehr	
ver06_f			AX_Bahnverkehrsanlage	
ver03_l			AX_Bahnstrecke	
ver04_f			AX_Flugverkehr	
ver06_f			AX_Flugverkehrsanlage	
ver05_f			AX_Schiffsverkehr	
sie04_f			AX_Hafen	
sie04_f			AX_Schleuse	
Siedlungsfläche		sie02_f	AX_Wohnbaufläche	
		sie02_f	AX_FlächeGemischterNutzung	
		sie02_f	AX_FlächeBesondererFunktionalerPrägung	
		sie02_f	AX_IndustrieUndGewerbefläche	
		sie02_f	AX_Bergbaubetrieb	
		sie02_f	AX_Halde	
		sie02_f	AX_TagebauGrubeSteinbruch	
Siedlungsfreifläche	sie02_f	AX_Friedhof		
	sie02_f	AX_SportFreizeitUndErholungsfläche		

(eigene Zusammenstellung nach IÖR 2018)

Im Gegensatz zu Untersuchungen, die sich mit Zerschneidungselementen auseinandersetzen, wurde hier darauf verzichtet, in ATKIS als Linienobjekte erfasste Flüsse und Kanäle ab einer bestimmten Breite als Trennelemente von Wäldern zu erfassen. Bei der Verwendung von geogenen Zerschneidungselementen gibt es unterschiedliche Auffassungen. Hier wurde davon abgesehen, denn sobald man geogene Elemente als zerschneidend einstuft, begibt man sich in eine faunistische Interpretation, bei der man z. B. annimmt, dass bestimmte Tiere den Fluss nicht mehr überqueren können. Für Vögel stellt ein Fluss oder Kanal jedoch keine erhebliche Barriere da. Von einer derart differenzierten Betrachtungsweise wurde hier abgesehen und nur anthropogenen Trennelemente wie Straßen und Schienen einbezogen.

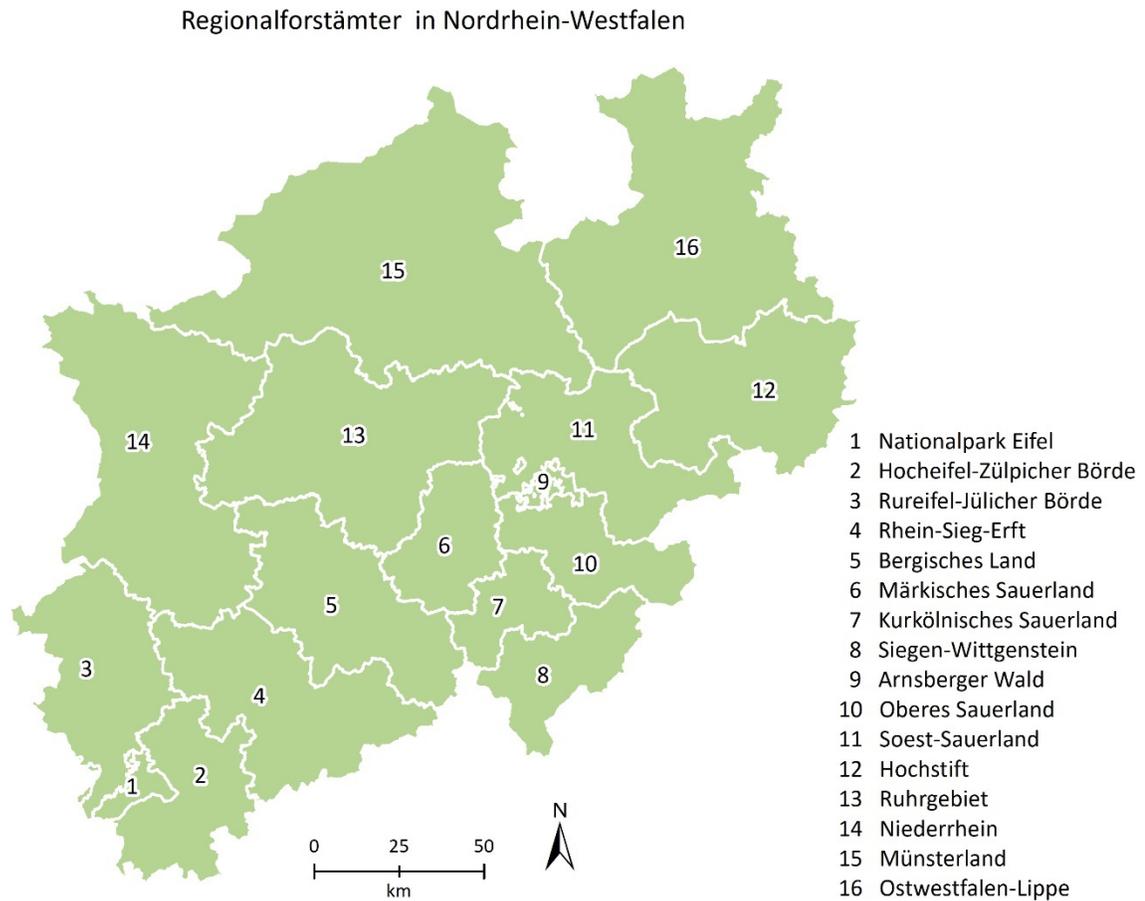
Für die Berechnung der Strukturmaße in FRAGSTATS müssen die ATKIS-Vektorgeometrien in ein Rastermodell transformiert werden. Hierbei wurden die zusammengeführten und miteinander verschnittenen Objekte in das sogenannte ASCII-Rasterformat mit Hilfe von GIS umgewandelt. Als Rasterauflösung wurden dafür 15, 25, 50 und 100 m gewählt. Eine noch feiner aufgelöste Raster-Untersuchung für den vorliegenden Datensatz ist aufgrund der Datenverarbeitungsgrenze von FRAGSTATS nicht möglich (s. Kap. 2.1.1). Bei der Berechnung der Strukturmaße wurde untersucht, welche Rasterauflösung sich am besten für die Erfassung der räumlichen Gegebenheiten von Wäldern eignet.

## 4.6 Bezugseinheiten

Die Analyse von Landschaften mit Hilfe von Landschaftsstrukturmaßen erfolgt immer für einen bestimmten begrenzten räumlichen Ausschnitt. Häufig werden als klar definierte Bezugseinheiten Verwaltungs- oder natürliche bzw. naturräumliche Einheiten verwendet. Politische Grenzen sind üblicherweise digital verfügbar und administrative Datensätze reichen wie im ALKIS bis auf Katasterniveau herunter. Für die Betrachtung der Wälder ist eine hinreichend große Gebietskulisse erforderlich, um sinnvolle Aussagen zu erhalten. Die Aufteilung in die räumlichen Zuständigkeitsbereiche der Forstbehörden ist hierfür am besten geeignet. Die Forstämter und Forstverwaltungen in Deutschland sind Verwaltungseinheiten, die für die Betreuung der Wälder zuständig sind. Die Bezeichnung der Forstverwaltungseinheiten kann je nach Region und Besitzart variieren. In Deutschland teilt sich die Verwaltungsstruktur der Forste größtenteils in drei Hierarchieebenen. Jedes Bundesland unterhält, mit Ausnahme der Hansestadt Bremen, eine Forstverwaltung auf Landesebene, eine unterstellte Forstbehörde, denen wiederum eine Vielzahl von regionalen Forstrevieren zugeordnet ist. Die Forstverwaltung in NRW gliedert sich in die Oberste Forstbehörde, das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz, und den Landesbetrieb Wald und Holz NRW, dem die Aufgaben der Höheren und Unteren Forstbehörden übertragen sind (vgl. § 55 Abs 1 LFoG NRW). Der Landesbetrieb Wald und Holz NRW ist gegliedert in 14 Regionalforstämter, das Nationalparkforstamt Eifel sowie das Lehr-

und Versuchsforstamt Arnsberger Wald (s. Karte 1). Jede Kommune in NRW ist einem der Regionalforstämter zugeordnet (vgl. MULNV NRW 2020). Die Landesforstverwaltung ist als Einheitsforstverwaltung organisiert und die Forstämter nehmen hoheitliche Funktionen wahr, bewirtschaften aber auch den landeseigenen Staatswald und betreuen privaten und kommunalen Waldbesitz. In der Landeswaldinventur wird für regionalisierte aggregierte Aussagen zum Zustand des Waldes in NRW ebenfalls die Einteilung in die 16 Regionalforstämter herangezogen, um Handlungsbedarf abzuleiten und Rückschlüsse für die Bewirtschaftung und Planung der Wälder zu ziehen.

*Karte 1: Regionalforstämter NRW*



(eigene Darstellung, Datengrundlage: IT.NRW 2020b)

Ein Nachteil von festen, vorher abgegrenzten Bezugsräumen ist, dass unter Umständen einzelne Waldflächen (Patches) willkürlich an der Grenze des Bezugsraums abgeschnitten werden. Um die Auswirkungen dieses Effektes zu untersuchen und belastbare Aussagen zu erhalten, wurde die Berechnung der Landschaftsstrukturmaße sowie die Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder zusätzlich ohne die Unterteilung in die Regionalforstämter auf ganz NRW bezogen durchgeführt.



## 5 Ausgewählte Strukturmaße zur Erfassung der räumlichen Struktur von Wäldern

An dieser Stelle sollen nun die wesentlichen Strukturmaße, die den drei Hauptkriterien, (Fläche, Form und Nachbarschaft) zugeordnet werden können, nach Patch- und Klassenebene überblicksartig dargestellt werden. Tabelle 10 und 11 enthalten jene Strukturmaße, die nach Hauptkriterien geordnet bestimmte räumliche Gegebenheiten des Waldes erfassen. Die Auswahl wurde hier nach der semantisch-inhaltlichen Selektionsweise (s. Kap. 4.2) getroffen. Die Liste erhebt nicht den Anspruch einer taxonomischen Erfassung aller potenziellen Landschaftsstrukturmaße und bietet auch keineswegs das Set an Maßzahlen, wie es beispielsweise in FRAGSTATS implementiert ist. Für eine vollständige Dokumentation dieser sei auf McGarigal (2015) verwiesen. Die Tabellen 10 und 11 enthalten einige Anmerkungen aus Sicht der Anwendung der entsprechenden Maßzahlen. So werden neben einer kurzen Wiedergabe der anzusprechenden räumlichen Fragestellung auch Hinweise gegeben zu dem generellen Indikationspotenzial, der Notwendigkeit der Parametrisierung sowie Interpretation und Kontext. Die englische Bezeichnung der Strukturmaße ist nur dann aufgeführt, wenn sie nicht ähnlich oder gleichlautend mit der Deutschen ist. Die Tabellen 10 und 11 enthalten Angaben zu Wertebereichen und Einheiten der Maßzahlen, jedoch keine mathematischen Formeln. Diese werden in den folgenden Kapiteln im Zusammenhang mit der Erläuterung der jeweiligen Strukturmaße auf Patch- und Klassenebene diskutiert. Für eine umfassende Formelsammlung der Strukturmaße sei hier auf McGarigal (2015) verwiesen.

Tabelle 10: Strukturmaße nach Hauptkriterien bezogen auf Wald-Patches  
(eigene Zusammenstellung mit Beiträgen aus Lang, Blaschke 2007 u. McGarigal 2015)

Kriterium	Strukturmaß	Wertebereich	Einheit	Indikation	Fragestellung	Anmerkung
Fläche	Fläche (AREA)	$0 < \text{AREA} \geq A^*$	ha	↗	Wie groß ist die einzelne Waldfläche?	
	Kernfläche (CORE)	$0 \leq \text{CORE} \leq \text{AREA}$	ha	↗ <del>↘</del>	Wie groß ist die verbleibende Kernfläche des Waldes?	Distanz zur Bildung von Randzonen muss angegeben werden
	Anzahl der Kernflächen (NCORE)	$0 \leq \text{NCORE} < \infty$	-	↘	Aus wie vielen räumlich getrennten Kernflächen besteht der Wald?	
	Kernflächen-Index (CAI)	$0 \leq \text{CAI} \leq 100$	%	↗ <del>↘</del>	Welchen Anteil einer Waldfläche nimmt die verbleibende Kernfläche ein?	Mehrere Kernflächen einer Waldfläche werden zusammengefasst
Form	Umfang-Fläche-Verhältnis (PARA)	$0 < \text{PARA} < \infty$	-	↘	Wie groß ist das Patch im Vergleich zu seinem Umfang?	
	Shape Index (SHAPE)	$1 \leq \text{SHAPE} < \infty$	-	↘	Wie kompakt sind die Patches im Vergleich zu einem flächengleichen Kreis / Quadrat?	1 bedeutet Kreis- / Quadratform
	Fraktale Dimension (FRAC)	$1 \leq \text{FRAC} \leq 2$	-	↘	Wie komplex oder zerlappt ist die Form des Waldes?	
	Umschreibende Kreisfläche (CIRCLE)	$0 \leq \text{CIRCLE} < 1$	-	↘	Ist der Wald schmal, länglich oder kompakt, kreisförmig?	
	Rotationsradius (GYRATE)	$0 \leq \text{GYRATE} < \infty$	m	↘	Wie kompakt ist die Form des Waldes?	
	Kontiguitätsindex (CONTIG)	$0 \leq \text{CONTIG} \leq 1$	-	↗	Wie stark hängen Pixel des Waldes zusammen?	

↗ / ↘ = höhere Werte implizieren im Allgemeinen bessere bzw. schlechtere raumstrukturellen Eigenschaften

~~↘~~ = funktionale Landschaftsstrukturmaße, d.h. Parametrisierung nötig, im Sinne von McGarigal 2015

A\* Fläche des gesamten Bezugsraums / des Regionalforstamt

Kriterium	Strukturmaß	Wertebereich	Einheit	Indikation	Fragestellung	Anmerkung
Nachbarschaft	Distanz zum nächsten Nachbarn (ENN)	$0 < ENN > \infty$	m	↘	Wie weit entfernt liegt die nächste benachbarte Waldfläche?	Euklidische (Luftlinien) Distanz
	Proximity Index (PROX)	$0 \leq PROX > \infty$	-	↗ ✂	Wie gut ist eine Waldfläche in seine Umgebung, Nachbarschaft aus Waldflächen, eingebunden?	Distanz für den Suchradius muss angegeben werden
	Ähnlichkeitsindex (SIMI)	$0 \leq SIMI > \infty$	-	↗ ✂	Befindet sich die Waldfläche in einer ihr ähnlichen oder in einer stark anthropogen geprägten Nachbarschaft?	Distanz für den Suchradius muss angegeben werden, Ähnlichkeitskoeffizient muss spezifiziert werden
	Randkontrast (ECON)	$0 \leq ECON \geq 100$	%	↘ ✂	Wie stark ist der Kontrast zu angrenzenden Landnutzungen?	Kontrast zu angrenzenden Landnutzungen muss spezifiziert werden

↗ / ↘ = höhere Werte implizieren im Allgemeinen bessere bzw. schlechtere raumstrukturellen Eigenschaften

✂ = funktionale Landschaftsstrukturmaße, d.h. Parametrisierung nötig, im Sinne von McGarigal 2015

A\* Fläche des gesamten Bezugsraums / des Regionalforstamt

Tabelle 11: Strukturmaße nach Hauptkriterien bezogen auf die gesamte Waldlandschaft (Klassenebene) und den Bezugsraum (Regionalforstamt) (eigene Zusammenstellung mit Beiträgen aus Lang, Blaschke 2007 u. McGarigal 2015)

Kriterium	Strukturmaß	Wertebereich	Einheit	Indikation	Fragestellung	Anmerkung
Fläche	Klassenfläche (CA/TA)	$0 < CA \leq A^*$	ha	↗	Wie groß ist die Gesamtfläche des Waldes?	
	Anteil einer Klasse (PLAND)	$0 \leq PLAND \leq 100$	%	↗	Welchen Anteil nimmt der Wald an der gesamten Landschaft/Forstamt ein?	
	Kernfläche (TCA)	$0 \leq TCA \leq CA$	ha	↗ ✍	Wie groß ist die verbleibende Kernfläche der Waldlandschaft?	Distanz zur Bildung von Randzonen muss angegeben werden
	Anteil der Kernfläche einer Klasse (CPLAND)	$0 \leq CPLAND \leq 100$	%	↗ ✍	Welchen Anteil nimmt die verbleibende Kernfläche an der gesamten Landschaft/Forstamt ein?	Distanz zur Bildung von Randzonen muss angegeben werden
	Anzahl der Kernflächen einer Klasse (NDCA)	$0 \leq NDCA < \infty$	-	↘ ✍	Aus wie vielen räumlich getrennten Kernflächen besteht die Waldlandschaft?	Distanz zur Bildung von Randzonen muss angegeben werden
Form	Landschafts-Shape Index (LSI)	$1 \leq LSI < \infty$	-	↘	Wie komplex ist die Form der Waldlandschaft? Wie fragmentiert ist die Waldlandschaft?	1 bedeutet die Waldlandschaft besteht aus einer einzelnen Waldfläche in Quadratform
	Umfang-Flächen Fraktale Dimension (PAFRAC)	$1 \leq PAFRAC \leq 2$	-	↘	Wie komplex oder zerlappt ist die Form der Waldlandschaft?	

↗ / ↘ = höhere Werte implizieren im Allgemeinen bessere bzw. schlechtere raumstrukturellen Eigenschaften

✍ = funktionale Landschaftsstrukturmaße, d.h. Parametrisierung nötig, im Sinne von McGarigal 2015

A\* Fläche des gesamten Bezugsraums / des Regionalforstamt

Kriterium	Strukturmaß	Wertebereich	Einheit	Indikation	Fragestellung	Anmerkung
Form	Flächengewichtete Umschreibende Kreisfläche (CIRCLE_AM)	$0 \leq \text{CIRCLE\_AM} < 1$	-	↘	Ist die Waldlandschaft insgesamt schmal, länglich oder kompakt, kreisförmig?	
	Flächengewichtete Rotationsradius (GYRATE_AM)	$0 \leq \text{GYRATE\_AM} > \infty$	m	↘	Wie kompakt ist die Form des Waldes?	
	Flächengewichtete Kontiguitätsindex (CONTIG_AM)	$0 \leq \text{CONTIG\_AM} \geq 1$	-	↗	Wie stark hängen Pixel der Waldlandschaft zusammen?	
Nachbarschaft	Konnektivität (CONNECT)	$0 \leq \text{CONNECT} \geq 100$	%	↗ ✂	Wie stark hängen die Waldflächen zusammen?	Distanz für den Suchradius muss angegeben werden
	Effektive Maschenweite (MESH)	$0 < \text{MESH} \leq A^*$	ha	↗	Was ist die gewichtete durchschnittliche Größe der Waldflächen? Wie fragmentiert ist die Waldlandschaft?	
	Zerschneidungsindex (DIVISION)	$0 \leq \text{DIVISION} > 1$	-	↘	Wie hoch ist der Zerschneidungsgrad der Waldlandschaft?	
	Flächengewichtete Randkontrastdichte (CWED)	$0 \leq \text{CWED} > \infty$	m pro ha	↘ ✂	Wie hoch ist der gewichtete durchschnittliche Kontrast der Waldlandschaft zu angrenzenden Nutzungen?	Kontrast zu angrenzenden Landnutzungen muss spezifiziert werden

↗ / ↘ = höhere Werte implizieren im Allgemeinen bessere bzw. schlechtere raumstrukturellen Eigenschaften

✂ = funktionale Landschaftsstrukturmaße, d.h. Parametrisierung nötig, im Sinne von McGarigal 2015

A\* Fläche des gesamten Bezugsraums / des Regionalforstamt

## 5.1 Patchebene

Ein Patch, also jede einzelne Waldfläche, weist flächen-, formbezogene und topologische Merkmale auf, die es von anderen Patches um es herum unterscheidet (s. Kap. 4.2). Diese räumlichen Merkmale liefern unterschiedliche räumliche Informationen, die zur Einschätzung des Schutzpotenzials der einzelnen Waldflächen nötig sind.

### Flächenbezogene Strukturmaße

Die **Fläche (AREA)** ist das am weitesten verbreitete Landschaftsstrukturmaß, mit dem die Gesamtfläche, die ein Wald-Patch umfasst, gemessen werden kann. Viele andere Strukturmaße bauen direkt oder auch indirekt auf dieser Maßzahl auf (vgl. Lang, Blaschke 2007: 230). Die Flächengröße stellt eine wichtige ökologische Einflussgröße dar. Die Dynamik von Arten, zur Verfügung stehende potenzielle Lebensräume und Waldprodukte, Nährstoff- und Wasserfluss sowie unzählige andere Prozesse und Funktionen werden durch die Größe der Flächen in einer Waldlandschaft beeinflusst (vgl. Baskent, Jordan 1995: 1833f.). Mit zunehmender Fläche steigt die potenzielle Individuen- und Artenzahl. Eine ausreichende Flächengröße ist im Hinblick auf die Klima-, Sichtschutz-, Lärmschutz-, Immissionsschutzfunktion Voraussetzung für die Funktionalität von Wäldern (s. Kap. 2.2.2). Bei der Berechnung der Flächengröße basierend auf einem Rasterdatenmodell, entspricht die Fläche der Anzahl der mit einem bestimmten Wert belegten, räumlich zusammenhängenden Rasterzellen. Hierbei muss auf das Nachbarschaftskonzept geachtet werden (s. Kap. 2.1.1).

Die Größe der einzelnen Waldfläche ist jedoch nicht allein bestimmend für die Multifunktionalität. Fragmentierte Waldlandschaften weisen mehrere Flächen mit unterschiedlichen Formen und Größen auf (vgl. Baskent, Jordan 1995: 1833f.). Neben anthropogen geschaffenen linearen Elementen wie Straßen und Eisenbahnstrecken, tragen technische Infrastrukturelemente, Bebauungen aber auch landwirtschaftliche Nutzungen zur Zergliederung von Waldlandschaften bei (vgl. Oehmich, Köhl 2006: 7). Nutzungsbedingte anthropogene Einwirkungen wie Immissionen, akustische und optische Störungen reichen weit in den Wald hinein und belasten so bisher ungestörte Bereiche (s. Kap. 2.2.2). Eine Folge ist die Beeinflussung des Wasserhaushaltes sowie Veränderung des Wald(innen)klimas. Bei der Ermittlung der Flächengröße kann, unter Berücksichtigung der Randzonen, in denen Wirkungen von angrenzenden Nutzungen in die Waldfläche hinein stattfinden, die Kernfläche bestimmt werden (vgl. Walz, Schauer 2009: 54). Diese entspricht der von Randeffekten unberührten und von externen Einwirkungen ungestörten Fläche innerhalb eines Patches. Die Erfassung von Kernflächen dient aus tierökologischer Sicht der Abbildung von ökologisch effektiven Habitat-Innenräumen für randsensitive Arten (vgl. Lang, Blaschke 2007: 235). Randbereiche werden von bestimmten Tierarten aufgrund möglicher Störungen gemieden und die störungsfreien Innenbereiche bevorzugt (vgl. ebd.). Es ergibt sich aber auch der umgekehrte Fall, wenn sich bestimmte Tierarten auf den Waldrand im Vergleich zum dichten

Inneren des Waldes spezialisiert haben. Eine weitaus größere Bedeutung findet die Verlärmung bisher ruhiger Landschaften und die damit verbundenen Auswirkungen des Lärms auf das Erholungs- und Ruhebedürfnis der Menschen (vgl. Walz 2012: 105). Eine gesundheitsfördernde Wirkung für den Erholenden tritt erst ab ca. 500 m Entfernung von den Verkehrswegen ein (s. Kap. 2.2.2). Die Störwirkungen, Verlärmung von bisher ungestörten Waldbereichen, durch eine Nutzungsintensivierung der Landschaft und Verkehrsstrassen führen zum Verlust und zur Schrumpfung von Habitaten und Gebieten der naturbezogenen Erholung (vgl. Walz, Schauer 2009: 51).

Die Reichweite der Störreize wird von der Vegetationsbedeckung und dem Relief beeinflusst (vgl. Roth et al. 2006: 149f.). Untersuchungen haben gezeigt, dass Wald mit einem dichten Bewuchs eine Pegelminderung von bis zu 0,1 dB je Meter bewirkt (vgl. Marks 1989: 94; s. Kap. 2.2.2). Aufbauend auf dieser Annahme können Randzonen für die potenziellen Lärmeinwirkungen der an den Wald angrenzenden Nutzungen basierend auf den Lärm Grenzwerten der Technischen Anleitung (TA) Lärm bestimmt und die in Tabelle 12 aufgeführten Distanzen angewendet werden.

*Tabelle 12: Übersicht der Randzonen basierend auf TA Lärm Grenzwerten*

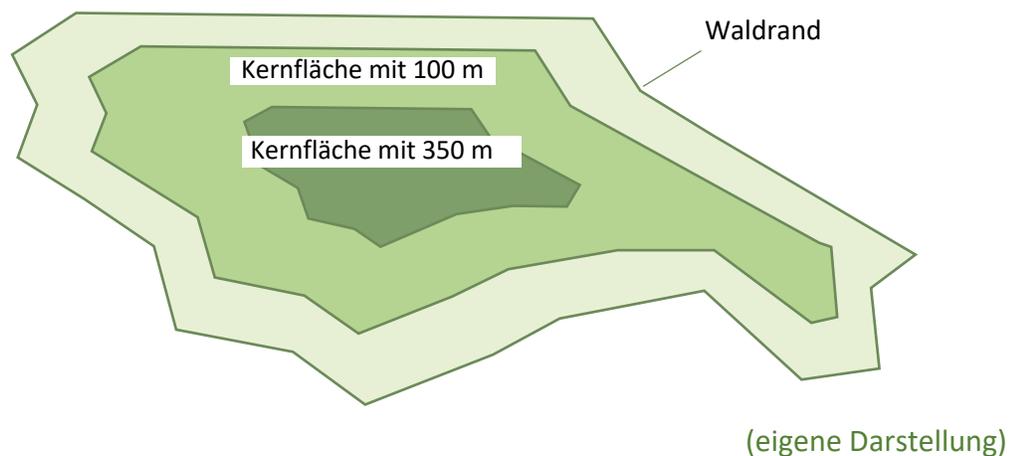
Nutzungen	TA Lärm Grenzwerte	Randzonen
Bundesautobahn	70-80 dB(A)	800 m
Sonstige Straßen	60 dB(A)	600 m
Bahnverkehr	70 dB(A)	700 m
Flughafen	65 dB(A)	650 m
Schifffahrt	60 dB(A)	600 m
Wohnflächen	50 dB(A)	500 m
Mischnutzung	60 dB(A)	600 m
Industrie und Gewerbeflächen	70 dB(A) und 65 dB(A)	700 m

(eigene Zusammenstellung)

Durch Berücksichtigung der Randzonen kann der störungsarme und naturnahe Waldbereich identifiziert werden. Zur Ermittlung des ungestörten Kernbereiches stehen unterschiedliche Strukturmaße zur Verfügung. Die **Kernfläche (CORE)** kann durch Abzug, der durch angrenzende Nutzungen verursachten Randzonen ermittelt werden (vgl. McGarigal 2015: 20; s. Abb. 7). Die verbleibende Kernfläche, der von Verlärmung ungestörte Bereich, wird durch

die Größe und Form der Wälder sowie die Art der unmittelbaren Umgebungsbedingungen bestimmt. Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass große Patches auch relativ große Kernflächen mit signifikantem Abstand von ihren Außengrenzen beherbergen können. Neben der Größe spielt auch die Form eine entscheidende Rolle. Langgestreckte und zerlappte Formen enthalten einen prozentual geringeren Kernbereich als kompakte Formen gleicher Flächengröße (vgl. Lang, Blaschke 2007: 236; Baskent, Jordan 1995: 1834). Eine Waldfläche kann bei entsprechend komplexer Struktur aber auch in beliebig viele, räumlich nicht zusammenhängende Kernflächen zerteilt werden. Das kann zu einer signifikanten Abnahme der effektiv nutzbaren Habitatfläche sowie der ungestörten Bereiche führen (vgl. Lang, Blaschke 2007: 238). Die **Anzahl der verbleibenden Kernflächen** wird mit **NCORE** angegeben. Die Flächenabnahme aufgrund von Randeffekten kann durch den **Kernflächen-Index (CAI)** leicht abgeleitet werden. Der CAI setzt die verbleibende Kernfläche mit der Ausgangsfläche des Waldes in Beziehung und drückt das Verhältnis in Prozent aus (vgl. McGarigal 2015: 121f.). Im Gegensatz zu ihren Pendanten, der einfachen Flächenberechnung, integrieren diese Kernflächenmaße die Auswirkungen der Flächengröße, der Form und der Randeffekte.

*Abbildung 7: Konstruktion zweier Kernflächen mit 100 m und 350 m Randzonen*



### Formbezogene Strukturmaße

Die geometrische Form von Wäldern ist ein weiteres Merkmal, das für die Erfassung der räumlichen Struktur wichtig ist. Die Formkomplexität bezieht sich auf die Geometrie von Patches, ob sie dazu neigen, einfach und kompakt zu sein, oder unregelmäßig und gewunden sind. Zusammen mit der Flächengröße ist die Form des Waldes von entscheidender Bedeutung für die verschiedenen Funktionen und ökologischen Prozesse. Die Form ist u. a. ausschlaggebend für die Wanderung kleiner Säugetiere, die Besiedlung von Gehölzen und kann die Nahrungssuche von Tieren beeinflussen (vgl. McGarigal 2015: 101). Die primäre Bedeutung der Form ist jedoch mit dem Randeffekt in Verbindung zu bringen. Die Form ist aufgrund der unendlichen Anzahl möglicher Patch-Formen ein nur sehr schwer erfassbares

räumliches Attribut. Daher indizieren formbezogene Maßzahlen im Allgemeinen die Gesamtformkomplexität, anstatt zu versuchen, jeder einzigartigen Form oder Morphologie einen Wert zuzuweisen. Die meisten formbezogenen Maßzahlen basieren auf der Kombination von Fläche und Umfang. Zudem können Kompaktheitsmaße, die auf umschreibenden oder einschreibbaren Kreisen oder Quadraten und deren Radien beruhen, die Form des Waldes beschreiben.

Der einfachste Formindex ist das **Umfang-Fläche-Verhältnis (PARA)**. Ein Problem dieses Strukturmaßes ist jedoch, dass das Verhältnis mit der Größe des Wald-Patches variiert. Hält man bspw. die Form konstant, führt eine Zunahme der Patchgröße zu einer Abnahme des Umfang-Fläche-Verhältnisses (vgl. McGarigal 2015: 101). Das Größenabhängigkeitsproblem von PARA wird durch den **Shape Index (SHAPE)** verringert. Mittels SHAPE kann die Komplexität der Wald-Form im Vergleich zu einer Standardform gleicher Größe gemessen werden (vgl. ebd.). Aus geometrischer Sicht wird die optimale Form mit einem bestmöglichen Flächen-Umfang-Verhältnis durch einen Kreis oder im Rastermodell ein Quadrat repräsentiert (vgl. Lang, Blaschke 2007: 240). SHAPE entspricht eins, wenn die Waldfläche kreisförmig bzw. quadratisch ist und steigt mit wachsender Abweichung an. Je weiter die Form des Wald-Patches von der idealen, kompakten Form abweicht, desto komplexer ist die Form des Waldes (vgl. McGarigal 2015: 104). SHAPE wird in FRAGSTATS mit folgender Formel berechnet:

$$SHAPE = \frac{.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \quad (5)$$

$p_{ij}$  = Umfang (m) des Patch ij.

$a_{ij}$  = Fläche (m<sup>2</sup>) des Patch ij.

Ein weiteres Maß basierend auf dem Flächen-Umfang-Verhältnis ist die von Mandelbrot (1984) entwickelte **fraktale Dimension (FRAC)**. Dieses Maß ist invariant zum Maßstab und beschreibt die Komplexität bzw. Irregularität der Randlinien eines Waldes (vgl. McGarigal 2015: 101). Für euklidische Formen wie Rechtecke, Quadrate oder Kreise ist die fraktale Dimension gleich eins. Wenn die Form komplexer, d. h. der Grenzverlauf des Patches unregelmäßiger und länger wird, nähert sich der Wert zwei. FRAC wird aus den Informationen der Umfangsfläche berechnet als:

$$FRAC = \frac{2 \ln (.25 p_{ij})}{\ln a_{ij}} \quad (6)$$

$p_{ij}$  = Umfang (m) des Patch ij.

$a_{ij}$  = Fläche (m<sup>2</sup>) des Patch ij.

Mit der Patchgröße nimmt auch die fraktale Dimension zu (vgl. Lang, Blaschke 2007: 243). Größere Patches zeigen stärkere Zerlaptheit und weisen eine höhere Formkomplexität auf, was für eine höhere Natürlichkeit und geringe anthropogene Eingriffe in die Form der Wälder spricht.

Das Verhältnis von Umfang zu Fläche ist mathematisch einfach zu berechnen, aber unempfindlich gegenüber Formänderungen. Wald-Patches können jedoch mit dem gleichen Umfang und der gleichen Fläche sehr unterschiedliche Formen aufweisen. Auch wenn Flächen-Umfang-Verhältnisse über die Fläche einer idealen Form standardisiert werden, beschreiben sie nur unzureichend die explizite Form eines Waldes (vgl. Lang, Blaschke 2007: 246). Kompaktheitsmaße geben hier mehr Aufschluss über die tatsächliche Form.

Ein einfaches Kompaktheitsmaß ist der **Rotationsradius (GYRATE)**. Er entspricht dem größten umschreibenden Kreis (s. Abb. 8). Dieser Radius kann bestimmt werden, wenn das entsprechende Wald-Patch um seinen geometrischen Schwerpunkt gedreht wird. GYRATE kann als ein Maß für die Ausdehnung des Wald-Patches verwendet werden und wird sowohl durch die Größe als auch durch die Kompaktheit beeinflusst (vgl. McGarigal 2015: 95). Je größer das Wald-Patch, desto größer ist der Kreisradius. Ähnlich verhält es sich, wenn die Waldfläche konstant bleibt, je umfangreicher die Waldfläche ist, d. h. langgestreckt und weniger kompakt, desto größer ist der Kreisradius.

*Abbildung 8: Rotationsradius zweier flächenähnlicher Wald-Patches*

Fläche = 1,5 ha

$r_A = 80 \text{ m}$

$r_B = 140 \text{ m}$



(eigene Darstellung nach Lang, Blaschke 2007: 246)

Ein alternatives Maß zur Erfassung der Form von Wäldern basiert auf dem Verhältnis der Größe des Wald-Patches und der kleinsten umschreibenden Kreisfläche (vgl. McGarigal 2015: 102). Nach Baker und Cai (1992) wird dieses Maß **Umschreibende Kreisfläche (CIRCLE)** genannt und kann die Ausdehnung eines Wald-Patches messen. Stark gestauchte und schmale Wald-Patches haben aufgrund der relativen Kompaktheit einen geringen Indexwert, wohingegen schmale und langgestreckte Wald-Patches einen hohen Indexwert aufweisen. Mittels CIRCLE kann zwischen schmalen, länglichen Wäldern mit potenziell höheren Randzonen und geringerer Habitatfläche und kompakten, kreisförmigen Wäldern unterschieden werden (vgl. Walz 2012: 78).

Ein abschließendes Maß zur Erfassung der Wald-Form basiert auf der räumlichen Verbundenheit oder Kontiguität von Zellen innerhalb eines Gitterzellen-Patches (vgl. McGarigal 2015: 102). Der **Kontiguitätsindex (CONTIG)** bewertet die räumliche Verbundenheit der einzelnen Patch-Pixel in einem 3x3-Pixel-Fenster. Er spiegelt wider, wie dendritisch, dispergiert oder mäandrierend ein Patch ist (vgl. Baskent, Jordan 1995: 1836). Unregelmäßige Formen, mit einer Anzahl von Verlappungen, die in mehrere Richtungen verlaufen, unterscheiden sich deutlich von gleichmäßigen Patch-Formen. Je stärker die Pixel eines Wald-Patches zusammenhängen, desto höher sind die Werte. Damit wird eine Art Klumpung oder Kompaktheit der Wälder ermittelt (vgl. Walz 2012: 130). Große, zusammenhängende und kompakte Wälder haben größere Kontiguitätsindex Werte.

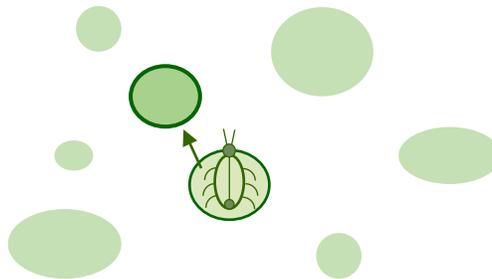
### Topologische Strukturmaße

Die Verteilung und der Abstand der räumlichen Bedingungen, d. h. die topologische Anordnung, in einer Nachbarschaft sind wichtig für die Charakterisierung der räumlichen Gegebenheiten von Waldlandschaften. Die Besiedlung durch Wildtierarten hängt bspw. von den Entfernungen zwischen den Lebensräumen ab (vgl. Baskent, Jordan 1995: 1839f.). Insbesondere räumlich verstreute Lebensraumabschnitte enthalten oft weniger Vogelarten als zusammenhängende (vgl. McGarigal 2015: 127). Natürliche Störungen wie Feuer, Wind und Parasitenbefall werden tendenziell durch die Bedingungen in der Waldnachbarschaft verursacht und das Ausmaß der Ausbreitung von Bränden oder Parasiten hängt stark von den angrenzenden Bedingungen ab (vgl. ebd.: 88f.). Darüber hinaus werden negative Einwirkungen durch Immissionen sowie akustische und optische Störungen, durch die den Wald umgebenden und direkt angrenzenden anthropogen geprägten Nutzungen, verursacht. Die Erfassung der räumlichen Struktur sollte daher neben der Fläche und der Form auch eine Nachbarschaftskomponente beinhalten. Zu den Lagebeziehungen gehören Informationen, wie bspw. zur Isolation einzelner Wälder oder zur Art und Unterschiedlichkeit der angrenzenden Nutzungen.

Die Erreichbarkeit der einzelnen Wälder als Lebensräume innerhalb einer Landschaft ist ein entscheidender Faktor für das Überleben von Metapopulationen (vgl. Lang, Blaschke 2007: 261). Die Erreichbarkeit von Wäldern ist auch für Erholungssuchende ausschlaggebend (s. Kap. 2.2.2). Die Distanz zwischen den Wäldern spielt bei der Bewertung von Erreichbarkeit und Vernetzung innerhalb gegebener oder zu optimierender Waldstrukturen eine wesentliche Rolle. Bei der Berechnung distanzbasierter Maßzahlen wird die Distanz im einfachsten Fall durch die euklidisch-kürzeste Entfernung (Luftlinie) von einem Ausgangspatch zu einem Zielpatch der gleichen Klasse gemessen (vgl. ebd.: 262; s. Abb. 9). Die **Distanz zum nächsten Nachbarn (ENN)** beschreibt die kürzeste Entfernung zum nächstgelegenen Patch derselben Klasse (vgl. Lang, Blaschke 2007: 263; s. Abb. 9). Es handelt sich dabei um die Rand zu Rand Distanz zwischen den am nächsten liegenden Wald-Patches

(vgl. McGarigal 2015: 138). ENN spiegelt so den Grad der Fragmentierung und indirekt auch die Komplexität der einzelnen Wald-Patches wider (vgl. Baskent, Jordan 1995: 1838).

Abbildung 9: Konzept der Distanz zum nächsten Nachbarn



(eigene Darstellung)

Für raumbedeutsame Planungen und Bewertung der Schutzbedürftigkeit von Wäldern spielt der Grad der Vernetzung bzw. Isolation der einzelnen Wälder eine bedeutende Rolle. Obwohl die euklidische Distanz zwischen den nächstgelegenen Wald-Patches auch zur Bewertung der Waldfragmentierung verwendet werden kann, repräsentiert diese nicht vollständig die Nachbarschaft der betrachteten Wälder. Denn eine z. B. 100 m entfernte Waldfläche, die 1 ha groß ist, ist möglicherweise von geringerer Bedeutung für die effektive Isolierung des Waldes, wie eine 200 m entfernt, aber 1.000 ha große Waldfläche (vgl. McGarigal 2015: 134).

Der **Proximity Index (PROX)**, der ursprünglich von Gustafson und Parker (1992) entwickelt wurde, berechnet innerhalb eines angegebenen Suchradius die Distanz zwischen dem jeweils betrachteten Patch und allen umgebenden Patches (s. Abb. 10). Wie bei ENN handelt es sich um die Rand zu Rand Distanz. Die quadrierte Entfernung wird ins Verhältnis zur Größe der benachbarten Patches gesetzt und die Verhältnisse aufsummiert:

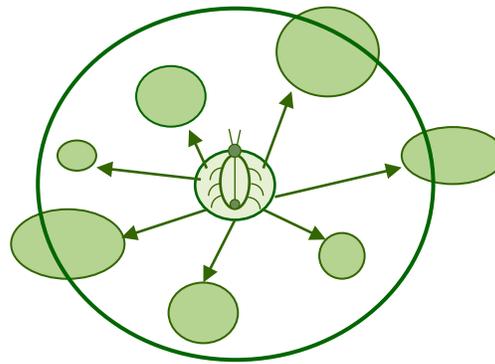
$$PROX = \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2} \quad (7)$$

$a_{ijs}$  = Fläche ( $m^2$ ) des Patch  $ijs$  innerhalb einer bestimmten Nachbarschaft ( $m$ ) zu Patch  $ij$ .

$h_{ijs}$  = Distanz ( $m$ ) zwischen Patch  $ijs$  und Patch  $ij$ , basierend auf der Rand zu Rand Distanz.

PROX nimmt einen hohen Wert an, wenn ein Wald-Patch von großen und/oder nahe gelegenen Patches umgeben ist (vgl. McGarigal 2015: 139). Er nimmt bei kleiner werdenden Flächen und größeren Abständen ab. Der betrachtete Suchradius, innerhalb dessen benachbarte Wald-Patches berücksichtigt werden, wird basierend auf den Distanzklassen nach Hänel auf 5.000 m festgelegt (vgl. Hänel 2007: 201; Riss 1988: 106). Diese Entfernung wird für den überwiegenden Teil der waldspezifischen Arten als maximale Ausbreitungs- oder Kolonisationsdistanz zwischen Wäldern angegeben.

Abbildung 10: Konzept der Proximity-Distanz



(eigene Darstellung)

Während PROX auf dem Prinzip der Nähe beruht, berücksichtigt der **Ähnlichkeitsindex (SIMI)** nicht nur die Größe und Nähe aller Wald-Patches, die sich innerhalb eines definierten Suchradius des Ausgangspatches befinden, sondern alle Patches unabhängig von der Klasse bzw. des Nutzungstyps. SIMI wird basierend auf derselben Formel wie PROX berechnet, mit der Abweichung, dass die Flächengröße der umgebenden Patches mit einem Ähnlichkeitskoeffizienten multipliziert werden:

$$SIMI = \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs} * d_{ik}}{h_{ijs}^2} \quad (8)$$

$a_{ijs}$  = Fläche ( $m^2$ ) des Patch  $ijs$  innerhalb einer bestimmten Nachbarschaft ( $m$ ) zu Patch  $ij$ .  
 $d_{ik}$  = Ähnlichkeit zwischen Patch – Typen  $i$  und  $k$ .  
 $h_{ijs}$  = Distanz ( $m$ ) zwischen Patch  $ijs$  und Patch  $ijs$ , basierend auf der Rand zu Rand Distanz.

SIMI beschränkt sich nicht nur auf Wälder, sondern berücksichtigt alle Patch- oder Nutzungstypen des Landschaftsmosaiks. Die Ähnlichkeit der unterschiedlichen Patches innerhalb des festgelegten Suchradius wird durch den Ähnlichkeitskoeffizienten berücksichtigt. Hier kann ebenfalls, wie bei PROX ein Radius von 5.000 m verwendet werden. Basierend auf der Zuordnung der Flächennutzung der ATKIS-Daten zu den Hemerobiestufen nach Stein (2011) wurde in dieser Arbeit jeder Landnutzungsclassen nach ihrem Natürlichkeitsgrad im Vergleich zum naturnahen Ökosystem Wald ein Wert zwischen null (keine Ähnlichkeit) und eins (hohe Ähnlichkeit) zugewiesen (s. Tab. 13).

*Tabelle 13: Ähnlichkeitskoeffizient basierend auf den Hemerobiestufen*

Landnutzungsklassen	Hemerobiestufe	Ähnlichkeitskoeffizient
Wald	2 - oligohemerob (schwach kulturbeeinflusst)	1
Wasser	4 - $\beta$ -euhemerob (mäßigstark kulturbeeinflusst)	0,6
Landwirtschaft	5 - $\alpha$ -euhemerob (stark kulturbeeinflusst)	0,4
unkultivierte Bodenfläche	3 - mesohemerob (mäßig kulturbeeinflusst)	0,8
Verkehrsfläche	6 - polyhemerob (sehr stark kulturbeeinflusst) 7 - metahemerob (übermäßig stark kulturbeeinflusst – Biozönose zerstört)	0
Siedlungsfläche	6 - polyhemerob (sehr stark kulturbeeinflusst) 7 - metahemerob (übermäßig stark kulturbeeinflusst – Biozönose zerstört)	0
Siedlungsfreiflächen	5 - $\alpha$ -euhemerob(stark kulturbeeinflusst)	0,4

(eigene Zusammenstellung u. Darstellung nach Stein 2011; Blume, Sukopp 1976)

Wenn alle Patches innerhalb des Suchradius einen Ähnlichkeitskoeffizient von null haben, ist SIMI gleich null (vgl. McGarigal 2015: 140). Ein Wald-Patch in einer Nachbarschaft, die ihr ähnlicher ist, d. h. größere Patches mit hoher Ähnlichkeit enthält, hat größere Messwerte (vgl. ebd.: 135). So kann unterschieden werden zwischen kleinen, isolierten Wäldern und solchen in einem komplexen Cluster aus größeren Patches mit ähnlichen Landnutzungen. Besonders kleine Restwaldflächen, umgeben von stark anthropogen geprägten Nutzungen, sind aufgrund der wichtigen Ausgleichs- und Immissionsschutzfunktionen in einer Landschaft zu erhalten, aber auch vor weiteren übermäßigen negativen Einwirkungen zu schützen (s. Kap. 2.2).

Ein einfacheres Maß zur Unterscheidung von Wäldern, die an stark anthropogen geprägte Landnutzungen und solchen die eher an Flächen natürlicher Nutzung mit geringerem anthropogenem Einfluss angrenzen, ist der **Randkontrast (ECON)**. Ähnlich wie bei SIMI wird den unterschiedlichen Landnutzungen basierend auf dem Grad des Kontrastes zueinander Werte zwischen null (kein Kontrast) und eins (maximaler Kontrast) zugewiesen. Der Kontrast zwischen den Wäldern und den angrenzenden Landnutzungen kann aufgrund des Grades der Natürlichkeit bzw. anthropogener Beeinflussung bestimmt werden (s. Tab. 14).

Tabelle 14: Kontrastwerte basierend auf den Hemerobiestufen

Landnutzungsclassen	Hemerobiestufe	Ähnlichkeitskoeffizient
Wald	2 - oligohemerob (schwach kulturbeeinflusst)	0
Wasser	4 - β-euhemerob (mäßigstark kulturbeeinflusst)	0,4
Landwirtschaft	5 - α-euhemerob (stark kulturbeeinflusst)	0,6
unkultivierte Bodenfläche	3 - mesohemerob (mäßig kulturbeeinflusst)	0,2
Verkehrsfläche	6 - polyhemerob (sehr stark kulturbeeinflusst) 7 - metahemerob (übermäßig stark kulturbeeinflusst – Biozönose zerstört)	1
Siedlungsfläche	6 - polyhemerob (sehr stark kulturbeeinflusst) 7 - metahemerob (übermäßig stark kulturbeeinflusst – Biozönose zerstört)	1
Siedlungsfreiflächen	5 - α-euhemerob(stark kulturbeeinflusst)	0,6

(eigene Zusammenstellung u. Darstellung nach Stein 2011; Blume u. Sukopp 1976)

ECON ist ein relatives Maß für den Kontrast entlang des Waldrandes (vgl. McGarigal 2015: 121). Der Patch-Umfang wird proportional zum Kontrastgrad der angrenzenden Patches reduziert und als Prozentsatz des gesamten Umfangs angegeben:

$$ECON = \frac{\sum_{k=1}^m (p_{ijk} * d_{ik})}{p_{ij}} (100) \quad (9)$$

$p_{ijk}$  = Länge (m) Patch – Randes ij angrenzend an Patch Type(Klasse) k.

$d_{ik}$  = Unterschied (gewichteter Randkontrast) zwischen Patch Typ i and k.

$p_{ij}$  = Länge (m) des Patch Umfangs ij.

Ein Wald-Patch mit einem Randkontrast von 10 % hat einen sehr geringen Kontrast zu seiner Nachbarschaft. Hohe Werte von ECON bedeuten, dass der vorhandene Waldrand, unabhängig davon, ob dieser 10 m oder 1.000 m lang ist, einen hohen Kontrast aufweist.

## 5.2 Klassenebene

Die räumlichen Merkmale von Wald-Patches liefern unterschiedliche räumliche Informationen über eine bewaldete Landschaft. Zum Schutz der Wälder und deren Multifunktionalität sind nicht nur Informationen zu einzelnen Waldflächen nötig, sondern auch aggregierte, regionalisierte Aussagen. Informationen über die gesamte Waldlandschaft

sind vor allem auf übergeordneten Planungsebenen notwendig, um gezielten Handlungsbedarf und Maßnahmen ableiten zu können. Im Gegensatz zu Maßzahlen auf der Patchebene, die jede Fläche einzeln betrachten, können Strukturmaße auf der Klassenebene die räumliche Struktur einer ganzen Waldlandschaft in Form eines Einzelwertes darstellen (vgl. Baskent, Jordan 1995: 1844). Strukturmaße auf Klassenebene quantifizieren für jeden Patch-Typ bzw. jede Landnutzungs-kategorie getrennt Anzahl und räumliche Konfiguration der Patches. Hierzu werden die Messwerte auf Patchebene aufsummiert oder durch Mittelwertbildungen arithmetisch zusammengefasst. Dadurch können auf Basis der zuvor vorgestellten flächen-, formbezogenen und topologischen Strukturmaße (s. Kap. 5.1) klassenaggregierte Aussagen über die räumliche Struktur der gesamten Waldlandschaft getroffen werden.

Strukturmaße auf Patchebene können entweder durch einen einfachen Mittelwert oder durch ein flächengewichtetes Mittelwertschema auf Klassenebene zusammengefasst werden. Der **Mittelwert (MN)** entspricht der Summe, der Messwerte aller Patches einer Klasse, dividiert durch die Anzahl der Patches derselben Klasse:

$$MN = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n_i} \quad (10)$$

MN wird in den gleichen Einheiten wie die entsprechende Maßzahl auf Patchebene angegeben. Maßzahlen, die auf den durchschnittlichen Patch-Eigenschaften basieren, liefern ein Maß für die Tendenz einer bestimmten räumlichen Gegebenheit der gesamten Landschaft, d. h. beschreiben die Patch-Struktur der Landschaft als die der durchschnittlichen Patch-Eigenschaften (vgl. McGarigal 2015: 86). So wird jedes Patch unabhängig von seiner Größe bei der Beschreibung der Landschaftsstruktur als gleichwertig oder gleichgewichtig betrachtet. Folglich gilt: Strukturmaße, die auf der mittleren Patch-Eigenschaft basieren, bieten eine grundsätzlich patch-zentrierte Perspektive auf die Landschaftsstruktur. Bezugsräume, hier die Regionalforstämter, unterschiedlicher Größe sind so nur bedingt miteinander vergleichbar, da die Größe der einzelnen Patches bei der Berechnung der Mittelwerte nicht berücksichtigt wird.

Eine landschaftszentrierte Perspektive bietet dagegen der **flächengewichtete Mittelwert (AM)** (vgl. McGarigal 2015: 83). AM entspricht der Summe, der Messwerte aller Patches einer Klasse, multipliziert mit der proportionalen Häufigkeit des Patches, d. h. Patch-Fläche dividiert durch die Summe der Patch-Flächen einer Klasse:

$$AM = \sum_{j=1}^n \left[ x_{ij} \left( \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right] \quad (11)$$

So können die durchschnittlichen Bedingungen eines zufällig ausgewählten Pixels in einer Landschaft wiedergegeben und unterschiedlich große Bezugsräume miteinander verglichen werden. Alle Strukturmaße der Patchebene können auf Klassenebene mit dem MN und dem AM zusammengefasst werden (vgl. McGarigal 2015: 87). Die Wahl der Aggregation hängt von der gewünschten Perspektive ab: patch-zentriert oder landschaftszentriert. Die Auswahl der statistisch zusammengefassten Strukturmaße ist in Tabelle 11 aufgeführt (s. Kap. 5).

Zudem gibt es Strukturmaße, die auf einfachen Summenbildungen basieren und als Anteile an der Gebietseinheit wiedergegeben werden. Für einige Strukturmaße, besonders die Distanz- oder Isolationsmaße (PROX, SIMI) ist die Mittelwertbildung nicht zielführend und kann zu verfälschten Interpretationen führen (vgl. McGarigal 2015: 87). Daher sollen im Folgenden ausgewählte Strukturmaße erläutert werden, die die räumliche Struktur der Waldlandschaft auf Gesamtebene, ohne Unterscheidung zwischen den einzelnen Patches, beschreiben.

### Flächenbezogene Strukturmaße

Einfache Maße auf der Klassenebene zur Erfassung der Flächengröße sind die aufsummierten Patch-Flächen zur gesamten **Klassenfläche (CA o. TA)** oder **Kernfläche (TCA)**. Flächenbezogenen Strukturmaße können zudem auch als Anteil an der gesamten Gebietsfläche wiedergegeben werden und ermöglichen so Aussagen über die Landschaftszusammensetzung. Als relative Maße eignen sich diese besonders für den Vergleich von Gebietseinheiten unterschiedlicher Größe. Hierzu zählt der **prozentuale Anteil einer Klasse (PLAND)** an der gesamten Landschaft (Gl. 12). Mittels PLAND können waldarme Gebiete leicht identifiziert werden.

$$PLAND = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100) \tag{12}$$

$p_i$  = Anteil der Landschaft besetzt durch Patch Typ (Klasse)  $i$ .

$a_{ij}$  = Fläche ( $m^2$ ) des Patch  $ij$ .

$A$  = Gesamtfläche der Landschaft ( $m^2$ ).

Als Gegenstück zu PLAND bezieht der **Anteil der Kernfläche einer Klasse (CPLAND)** an der gesamten Landschaft die Randzonen mit in die Berechnung ein (Gl. 13). Auf Klassenebene können so die Randeffekte und dadurch verursachte Verluste von ungestörten Bereichen identifiziert werden.

$$CPLAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^c}{A} (100) \tag{13}$$

$a_{ij}^c$  = Kernfläche ( $m^2$ ) des Patches  $ij$  basierend auf auf Randzone ( $m$ ).

$A$  = Gesamtfläche der Landschaft ( $m^2$ ).

### Formbezogene Strukturmaße

Die meisten formbezogenen Strukturmaße auf Klassenebene können durch Mittelwertbildungen wiedergegeben werden (s. Kap. 5 Tab 11). Die fraktale Dimension ist in diesem Fall besonders. Die Fraktalanalyse wird in der Regel auf die gesamte Landschaftsstruktur mittels der Umfang-Flächen-Verhältnis angewendet. Hierzu dient auf der Klassenebene die **Umfang-Flächen Fraktale Dimension (PARAFRAC)**. Im Gegensatz zur fraktalen Dimension eines einzelnen Patches, die die Formkomplexität für dieses Patch beschreibt, gibt PARAFRAC für ein gesamtes Patch-Mosaik die Komplexität der Patch-Form über eine Vielzahl von räumlichen Skalen, d. h. Patchgrößen, hinweg an (vgl. McGarigal 2015: 102). PARAFRAC gibt die Stärke des Umfang-Flächen-Verhältnisses an und beschreibt damit, wie sich der Umfang bei Zunahme der Patch-Fläche erhöht (vgl. ebd.: 106f.). Wenn z. B. gleichermaßen kleine und große Patches einfache geometrische Formen aufweisen, dann ist PARAFRAC relativ niedrig, was darauf hinweist, dass der Umfang mit zunehmender Fläche relativ langsam zunimmt (vgl. ebd.: 102). Umgekehrt, wenn Patches komplexe Formen aufweisen, dann nimmt PARAFRAC viel höhere Werte an, was darauf hinweist, dass der Umfang mit zunehmender Fläche schneller zunimmt. Mit Hilfe von PARAFRAC können so komplexer Patch-Formen einer Waldlandschaft beschrieben werden.

Gegenstück zum Shape Index auf der Patchebene ist der **Landschafts-Shape Index (LSI)** (vgl. McGarigal 2015: 131). LSI ist identisch mit SHAPE, mit der Ausnahme, dass die gesamte Gebietseinheit für die Berechnung zusammengefasst wird und alle Patch-Ränder einer Klasse zum Umfang gehören:

$$LSI = \frac{.25 \sum_{k=1}^m e_{ik}^*}{\sqrt{A}} \quad (14)$$

$e_{ik}^*$  = Gesamterandlänge ( $m$ ) in der Landschaft zwischen Ppatch Typ (Klassen)  $i$  und  $k$ .  
 $A$  = Gesamtfläche der Landschaft ( $m^2$ ).

LSI kann als Maß für die geometrische Komplexität der gesamten Waldlandschaft angewendet werden. Der LSI liefert ein standardisiertes Maß für die Länge und Dichte des gesamten Waldrandes, dass sich an die Größe der betrachteten Waldlandschaft anpasst. Regionalforstämter unterschiedlicher Größe sind so miteinander vergleichbar. Der LSI nimmt zu, wenn die Form der Waldlandschaft unregelmäßiger wird und/oder wenn die Waldrandlänge insgesamt zunimmt. Dieses Strukturmaß kann jedoch auch als Maß für die Disaggregation der Waldlandschaft interpretiert werden (vgl. McGarigal 2015: 131). Je größer der Wert von LSI, desto mehr sind die Wälder fragmentiert. LSI ist gleich eins, wenn die Landschaft aus einer einzelnen quadratischen Waldfläche besteht (vgl. ebd.: 146).

## Topologische Strukturmaße

Die Betrachtung der gesamten Waldlandschaft auf Klassenebene gibt Aufschluss über die Verteilung und Anordnung der einzelnen Patches, die die Waldlandschaft ausmachen. Unter die topologischen Aspekte fallen die Fragmentierung, die daraus resultierende Isolation der Wälder sowie die durch angrenzende Nutzungen ausgelösten Randeffekte. FRAGSTATS bietet auf Klassenebene unterschiedliche Strukturmaße zur Erfassung der topologischen Merkmale.

Als Ergänzung zur Mittelwertbildung der **euklidischen Distanz (ENN\_MN)** zwischen den nächstgelegenen Waldflächen kann auf der Klassenebene die Konnektivität der Waldlandschaft bestimmt werden. Die **Konnektivität (CONNECT)** wird anhand der Anzahl der funktionalen Verknüpfungen zwischen Patches des entsprechenden Patch-Typs definiert, wobei jedes Patch-Paar innerhalb einer vorher festgelegten Entfernung entweder verbunden ist oder nicht (vgl. McGarigal 2015: 153). Wie schon auf der Patchebene wird auch hier ein Suchradius von 5.000 m festgelegt (s. Kap. 5.1). CONNECT ist ein relatives Maß und entspricht 0 %, wenn die Waldlandschaft entweder aus nur einem einzelnen Wald-Patch besteht oder keines der Wald-Patches innerhalb der festgelegten Entfernung zu einem anderen Wald-Patch liegt (vgl. ebd.). Wenn alle Wälder innerhalb des Suchradius einen nächsten Nachbarn haben entspricht CONNECT gleich 100 %. Anhand CONNECT kann so der Grad des Zusammenhangs oder der funktionalen Konnektivität der Waldlandschaft bestimmt und unterschiedlich große Gebietseinheiten miteinander verglichen werden.

Neben der Konnektivität können auf der Klassenebene auch Zerschneidungsmaße berechnet werden. Mit der **effektive Maschenweite (MESH)** nach Jaeger (2000) können verschieden große Gebiete hinsichtlich ihres Zerschneidungsgrades miteinander verglichen werden. MESH beschreibt die Maschenweite eines Netzes mit gleichmäßiger Maschengröße, das dem Zerschneidungsgrad der betrachteten Waldlandschaft entspricht (vgl. Oehmichen, Köhl 2006: 20). Die Summe der quadrierten Fläche der einzelnen Patches wird durch die Gesamtfläche der Gebietseinheit dividiert:

$$MESH = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2}{A} \left( \frac{1}{10,000} \right) \quad (15)$$

$a_{ij}$  = Fläche ( $m^2$ ) des Patch  $ij$ .

$A$  = Gesamtfläche der Landschaft ( $m^2$ )

Die Größe der Maschenweite wird in FRAGSTATS in Hektar angegeben und liegt zwischen der Gebietsgröße des betrachteten Forstamtes als maximaler Wert für eine unzerschnittene Waldlandschaft und null Hektar als Minimalwert für den Fall einer gänzlichen Zerschneidung, also Überbauung (vgl. McGarigal 2015: 152). Der Zerschneidungsgrad ermöglicht es, Bereiche hoher Zerschneidung von Bereichen mit geringer Zerschneidung abzugrenzen. Hohe Werte

zeigen einen geringen Zerschneidungsgrad an und indizieren größere verbleibende Waldflächen. Über das Maß können Aussagen über den Erholungswert einer Landschaft abgeleitet werden. Große noch verbleibende Freiräume stellen als knappe Ressource eine wichtige Komponente für Mensch und Natur dar (vgl. Esswein 2007: 163). Mittels MESH können verschieden große Gebietseinheiten hinsichtlich ihrer Fragmentierung miteinander verglichen werden.

Das zu MESH redundante Strukturmaß ist der **Zerschneidungsindex (DIVISION)**. Division basiert auf der kumulativen Patchverteilung und kann als die Wahrscheinlichkeit interpretiert werden, dass zwei zufällig ausgewählte Pixel in der Waldlandschaft nicht in derselben Waldfläche liegen (vgl. McGarigal 2015: 151):

$$DIVISION = \left[ 1 - \sum_{j=1}^n \left( \frac{a_{ij}}{A} \right)^2 \right] \quad (16)$$

$a_{ij}$  = Fläche ( $m^2$ ) des Patch  $ij$ .

$A$  = Gesamtfläche der Landschaft ( $m^2$ )

DIVISION ist gleich null, wenn die Fläche des Regionalforstamtes aus einer einzigen großen Waldfläche besteht. Wenn der Anteil des Waldes im Forstamtsgebiet abnimmt und die Waldflächen an Größe abnehmen, nähert sich DIVISION eins. DIVISION wird als Wahrscheinlichkeit interpretiert, während MESH als Fläche angegeben wird (vgl. McGarigal 2015: 151).

Neben der Zerschneidung der Waldlandschaft und resultierender Isolation der Wälder gibt der Randkontrast, wie zuvor auf Patchebene besprochen (s. Kap. 5.1), Aufschluss über die direkte Nachbarschaft von Wäldern. Um Gebiete unterschiedlicher Größe miteinander zu vergleichen kann die **flächengewichtete Randkontrastdichte (CWED)** ermittelt werden. CWED berücksichtigt auf Klassenebene sowohl die Randdichte als auch den Randkontrast (Gl. 17). Dieses Strukturmaß reduziert die Länge jedes Randsegments proportional zum Kontrastgrad, wodurch der Vergleich zwischen Landschaften unterschiedlicher Größe ermöglicht wird (vgl. McGarigal 2015: 119):

$$CWED = \frac{\sum_{k=1}^m (e_{ik} * d_{ik})}{A} (10,000) \quad (17)$$

$e_{ik}^*$  = Gesamterandlänge ( $m$ ) in der Landschaft zwischen Ppatch Typ (Klassen)  $i$  und  $k$ .

$d_{ik}$  = Unterschied (gewichteter Randkontrast) zwischen Patch Typ  $i$  and  $k$ .

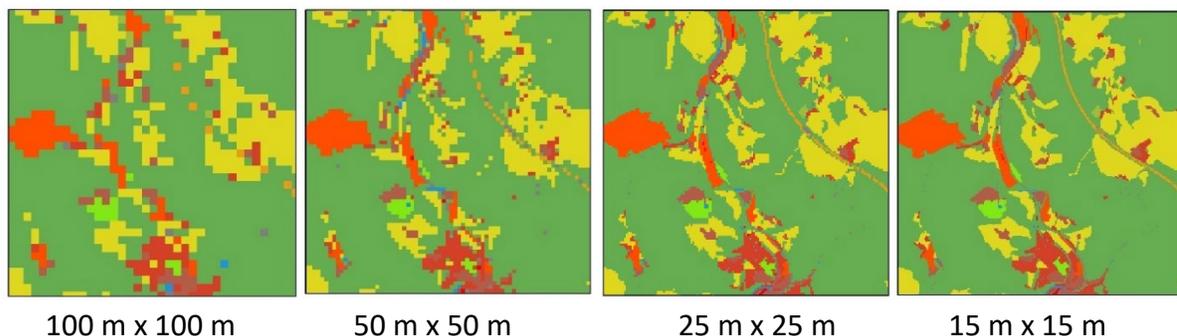
$A$  = Gesamtfläche der Landschaft ( $m^2$ ).

Es kann angenommen werden, dass Waldlandschaften mit den gleichen CWED Werten das gleiche Ausmaß an Randeffekten aufweisen. CWED ist gleich null, wenn keine Randeffekte in der Waldlandschaft auftreten. Werte erhöhen sich, wenn die Waldrandlänge ansteigt und/oder der Randkontrast zu angrenzenden Nutzungen zunimmt, d. h. das Kontrastgewicht sich eins nähert (s. Kap. 5.1).

## 5.3 Auswirkungen der Rasterauflösung und Landschaftsgrenze auf die Anwendung der Strukturmaße

Im Rastermodell kann die Fläche nur auf das Quadrat der Zellengrößen, d. h. ein Pixel, genau bestimmt werden (vgl. Lang, Blaschke 2007: 232). Für eine möglichst genaue Erfassung der Waldflächen ist der Erfassungsmaßstab ausschlaggebend. Dieser äußert sich im Rastermodell unmittelbar durch die Auflösung oder Körnung. Die kleinstmögliche Messeinheit wird über die Kantenlänge der Pixel eines Rasters bestimmt. Abbildung 11 verdeutlicht, je höher die Auflösung des Rasters, desto detailgetreuer ist die Darstellung der Flächen und linienhaften Elemente.

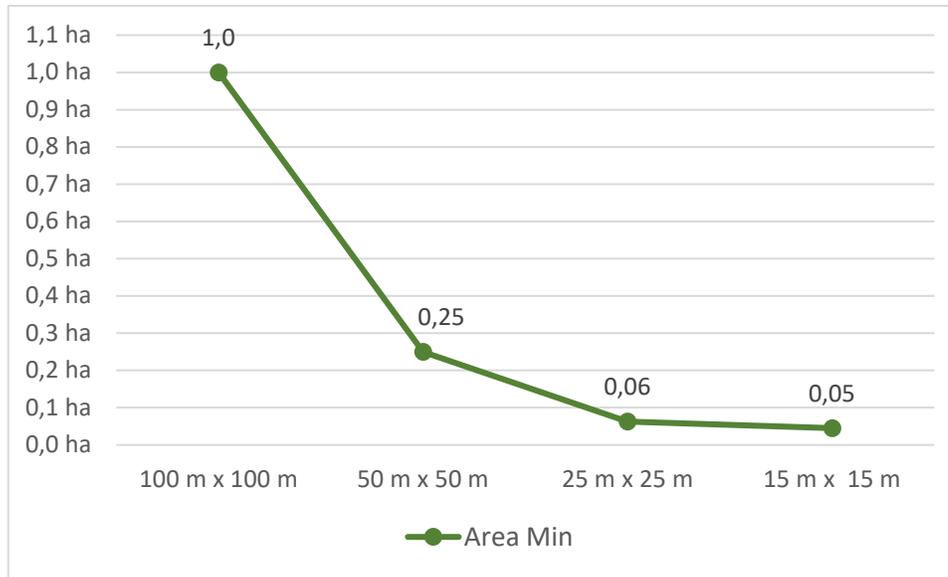
*Abbildung 11: Darstellung der Landnutzungen in unterschiedlichen Rasterauflösungen*



(eigene Darstellung)

Die kleinstmögliche Messeinheit, bei einer Rasterauflösung von 15 m x 15 m hat eine Fläche von 0,0225 ha. Berechnungen der Waldflächen mit einer Erfassungsuntergrenze von 0,1 ha zeigen, dass die kleinste erfasste Waldfläche deutlich abnimmt je feiner das Raster aufgelöst ist (s. Abb. 12). Die Erfassung der Waldflächen wird präziser und selbst kleinste Flächen unter der 0,1 ha Grenze können abgebildet werden.

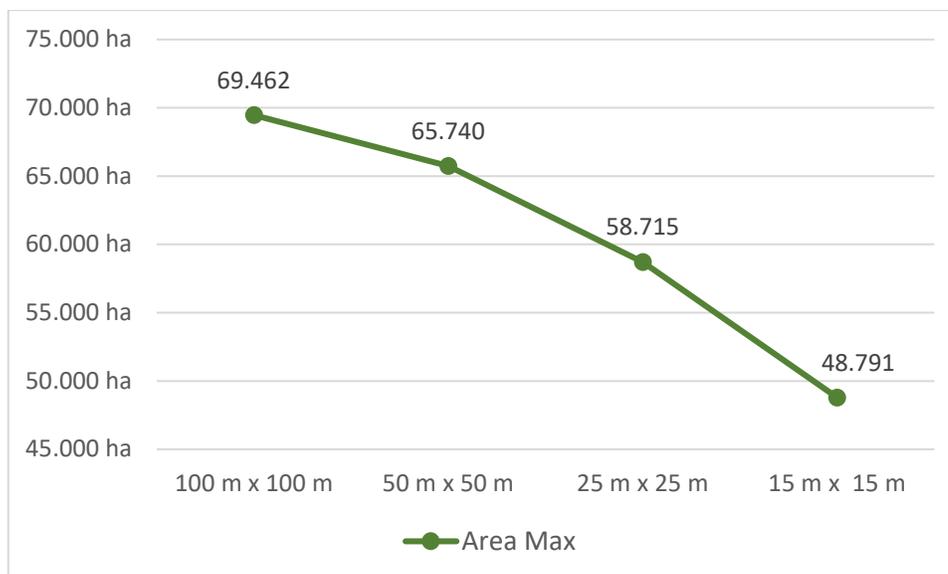
Abbildung 12: Kleinste erfasste Waldflächen nach Rasterauflösung



(eigene Berechnung u. Darstellung)

Die Berechnung der größten erfassten Waldfläche verdeutlicht, dass bei einer gröberen Auflösung Flächengrößen deutlich überschätzt werden (s. Abb. 13). Je kleiner die Pixel desto feiner wird die Zusammensetzung und Abgrenzung der unterschiedlichen Landnutzungsklassen untereinander. Angrenzende Nutzungen und linienhafte Elemente wie Straßen werden bei einer feineren Rasterauflösung besser berücksichtigt.

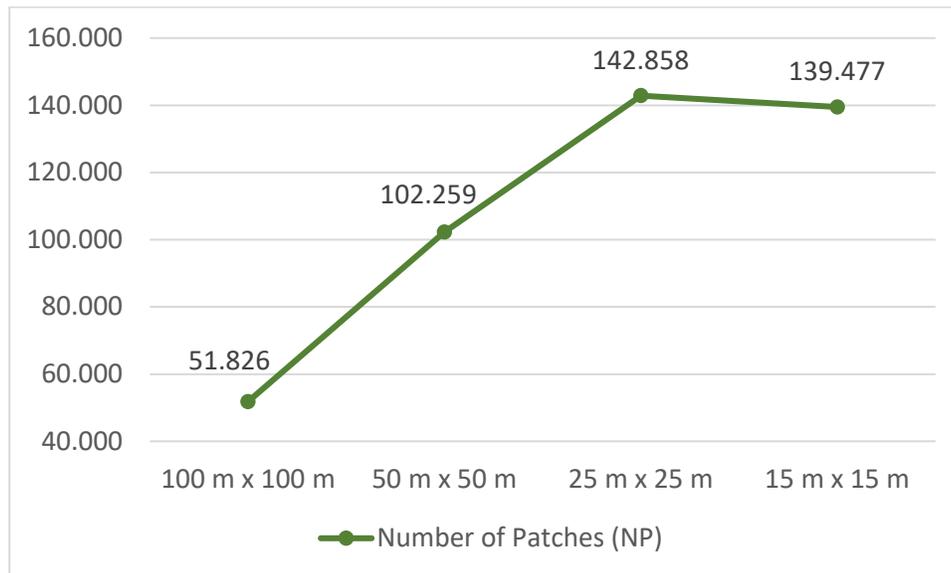
Abbildung 13: Größte erfasste Waldfläche nach Rasterauflösung



(eigene Berechnung u. Darstellung)

Abbildung 14 verdeutlicht wie die Anzahl der Waldflächen bei einer feineren Auflösung zunehmen. Flächengrößen werden realitätsnäher abgebildet und die Zerschneidung der Wälder zu mehreren einzelnen Patches durch linienhafte Elemente sowie kleinere Flächennutzungen werden deutlich.

*Abbildung 14: Anzahl der Waldflächen nach Rasterauflösung*



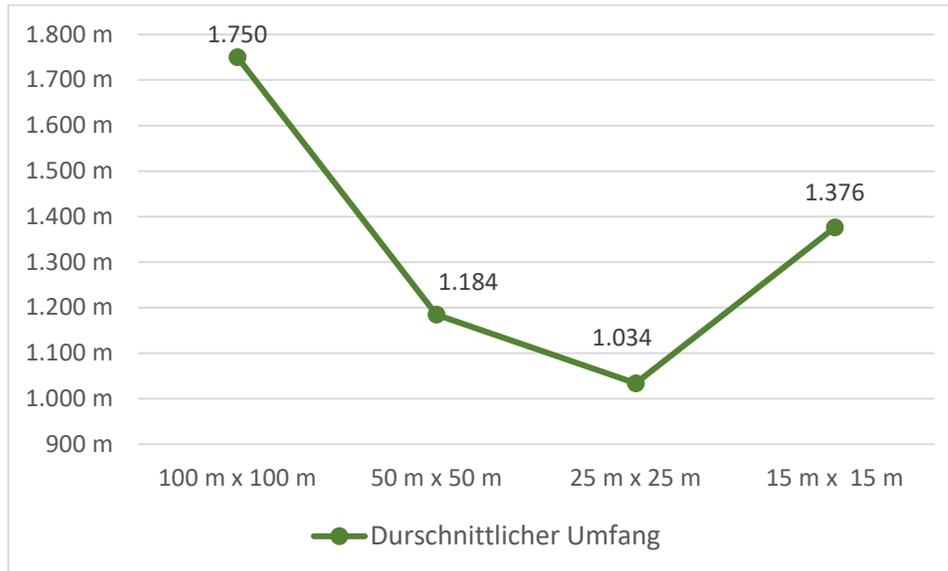
*(eigene Berechnung u. Darstellung)*

Zudem zeigt sich, dass zwischen der 25 m und 15 m Auflösung nur geringe Unterschiede bestehen, nämlich zwischen 0,06 ha und 0,05 ha Erfassungsuntergrenze der Waldflächen (s. Abb. 12). Die Anzahl der Waldflächen wird im 25 m x 25 m Raster anscheinend sogar überschätzt (s. Abb. 14). Hier kann festgehalten werden, dass ein möglichst fein aufgelöstes Datenmodell die Landnutzungen am besten abbildet. Für die Berechnung der Strukturmaße zur Erfassung der räumlichen Struktur der Wälder wird deshalb die Rasterauflösung von 15 m x 15 m gewählt. Diese stellt einen, auch mit begrenzter Rechenleistung handhabbaren, Datensatz dar.

Darüber hinaus kann die Auflösung der Raster-Daten einen großen Einfluss auf den Wert einzelner Strukturmaße haben. Im Rasterformat werden die Umrisslinien von Patches als Treppenstufen dargestellt. Kantenlängen werden im Verhältnis zur Pixelgröße nach oben verzerrt, größere Messeinheiten führen zu einer größeren Verzerrung (vgl. McGarigal 2015: 27). Die Änderung der Pixelgröße des Rasters wirkt sich auf die Randlinien und den Umfang der Patches aus. Abbildung 15 verdeutlicht die Schwankungen des Umfangs der Patches je nach Rasterauflösung. Daher ist bei der Verwendung von Maßzahlen, die Rand oder Umfang berücksichtigen, Vorsicht geboten. Besonders die zuvor beschriebenen Formmaße basierend auf dem Flächen-Umfang-Verhältnis PARA, SHAPE, FRAC und

PARAFRAC (s. Kap. 5.1 u. 5.2) sind anfällig für Veränderungen in der Rasterauflösung. Um die Robustheit des Verfahrens gegenüber methodischen Änderungen oder Änderungen der Datenbasis zu gewährleisten (s. Kap. 2.3.1), wird auf Strukturmaße die Flächen-Umfang-Verhältnis beinhalten verzichtet.

Abbildung 15: Durchschnittlicher Umfang der Wälder nach Rasterauflösung



(eigene Berechnung u. Darstellung)

Neben der Rasterauflösung kann auch die Grenze der Bezugseinheit einen Einfluss auf den Wert bestimmter Strukturmaße haben. Strukturmaße werden ausschließlich aus Patches innerhalb der Landschaftsgrenze berechnet. So kann es dazu kommen, dass Waldflächen an der Grenze des Bezugsraums, des Regionalforstamtes, abgeschnitten werden. Dieser Effekt muss bei der strikten Einteilung in administrative Grenzen bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Strukturmaße, die auf der Distanz zum nächstgelegenen Nachbarn basieren oder einen Suchradius verwenden, können besonders irreführend sein (vgl. McGarigal 2015: 27). Der nächste Nachbar einer Waldfläche innerhalb der Landschaftsgrenze mag z. B. sehr weit entfernt sein, doch in Wirklichkeit könnte die nächste Waldfläche sehr nahe sein, aber außerhalb der ausgewiesenen Landschaftsgrenze liegen.

Darüber hinaus können die Maßzahlen, die einen Suchradius (z. B. PROX, SIMI) verwenden, für Patches in der Nähe der Landschaftsgrenze verfälscht sein, da das durchsuchbare Gebiet viel kleiner ausfällt als bei einem Patch, das im Inneren der Landschaft liegt. Im Allgemeinen nehmen diese Grenzeffekte zu, wenn die Landschaftsausdehnung im Verhältnis zur Patchhäufigkeit oder Heterogenität der Landschaft abnimmt (vgl. McGarigal 2015: 136).

Gleiches gilt für die Berücksichtigung von Randeffekten. Randsegmente entlang der Landschaftsgrenze werden für die Bestimmung von Randzonen oder Kontrastwerten nicht berücksichtigt, es sei denn, ein Landschaftsrand mit Werten für Nutzungen und entstehende Randeffekte außerhalb der Landschaft wird definiert (vgl. McGarigal 2015: 41, 122). Diese Problematik ist bei der Interpretation der Kernflächen- und Kontrastmaße zu beachten.

## 5.4 Reduzierung der Strukturmaße durch Korrelationsanalyse

Maßzahlen messen oft mehrere Aspekte räumlicher Strukturen und so gibt es selten eine eindeutige Beziehung zwischen metrischen Werten und Strukturen. Die meisten Maßzahlen sind untereinander korreliert, da sie einen ähnlichen oder identischen Aspekt der Landschaftsstruktur messen. Es gibt nur wenige Primärmessungen wie Fläche, Rand und Umfang. Die meisten Strukturmaße werden aus diesen Primärmessungen abgeleitet. Einige Maße sind inhärent redundant, da sie alternative Möglichkeiten zur Darstellung der gleichen grundlegenden Aspekte der Struktur sind (vgl. McGarigal 2015: 28). Strukturmaße können auch empirisch redundant sein, nicht weil sie den gleichen Aspekt von Landschaftsmustern messen, sondern weil verschiedene Aspekte der räumlichen Struktur statistisch korreliert sind (vgl. ebd.). Das Ziel ist es, eine größere Menge an teilweise hochkorrelierten Maßzahlen auf ein repräsentatives Set von einigen wenigen Maßzahlen zu reduzieren. Dazu wurde das Verfahren der Rangkorrelation nach Spearman/Rho genutzt (s. Kap. 4.2).

### 5.4.1 Patchebene

Das Ergebnis der Korrelationsanalyse auf Patchebene zeigt, dass mehrere Strukturmaße stark korrelieren (s. Tab. 15). Die Markierungen in der Korrelationsmatrix zeigen alle Korrelationskoeffizienten größer als 0,5 oder kleiner als -0,5.

*Tabelle 15: Korrelationsmatrix Patchebene*

	AREA	CORE	NCORE	CAI	CIRCLE	GYRATE	CONTIG	ENN	PROX	SIMI	ECON
AREA	1	0,08	-0,07	-0,11	0,14	0,94	0,89	0,02	0,09	0,12	0,01
CORE	0,08	1	0,97	0,95	-0,11	0,04	0,14	0,10	-0,02	-0,03	-0,73
NCORE	-0,07	0,97	1	0,99	-0,11	-0,10	0,00	0,08	-0,03	-0,04	-0,76
CAI	-0,11	0,95	1,00	1	-0,12	-0,14	-0,04	0,10	-0,04	-0,05	-0,77
CIRCLE	0,14	-0,11	-0,11	-0,12	1	0,44	-0,27	-0,29	0,10	0,12	0,10
GYRATE	0,94	0,04	-0,10	-0,14	0,44	1	0,68	-0,09	0,11	0,14	0,04
CONTIG	0,89	0,14	0,00	-0,04	-0,27	0,70	1	0,17	0,05	0,06	-0,04
ENN	0,02	0,10	0,08	0,10	-0,29	-0,09	0,17	1	-0,37	-0,33	-0,09
PROX	0,09	-0,02	-0,03	-0,04	0,10	0,11	0,05	-0,37	1	0,90	0,06
SIMI	0,12	-0,03	-0,04	-0,05	0,12	0,14	0,06	-0,33	0,90	1	0,04
ECON	0,01	-0,73	-0,76	-0,77	0,10	0,04	-0,04	-0,09	0,06	0,04	1

(eigene Berechnung u. Darstellung)

Als voneinander relativ unabhängige Strukturmaße konnten vor allem die Flächenmaße AREA und CORE, das Formmaß CIRCLE sowie die Nachbarschaftsmaße ENN, SIMI und PROX identifiziert werden. Für eine einfachere Vergleichbarkeit und Interpretation der Ergebnisse wurde anstelle des Flächenmaßes CORE das relative Maß CAI verwendet, um den Flächenverlust durch Randeffekte deutlich darstellen zu können. Zudem wurde ENN durch das Strukturmaße SIMI ersetzt, da sich dieses nicht nur auf die euklidische Distanz zum nächsten Nachbarn beschränken, sondern die Flächengröße sowie Ähnlichkeit der Nachbarschaft mit einbeziehen. SIMI und PROX korrelieren sehr stark, da sie auf derselben Berechnungsgrundlage basieren. Sie sind in ihrer Aussage und Interpretation jedoch verschieden und liefern wesentliche Informationen zur Bewertung des Schutzpotenzial der Wälder. Während PROX den Grad der Isolation im Verhältnis zur Flächengröße der betrachteten Wälder innerhalb der Waldlandschaft wieder gibt, bezieht SIMI darüber hinaus alle Patch-Typen oder Nutzungsarten der Landschaft in die Berechnung ein (s. Kap. 5.1). SIMI stellt so ein umfassenderes Maß zur Beurteilung des Isolierungsgrades der Wälder dar. Tabelle 16 enthält die abschließende Auswahl der im Bewertungsverfahren angewendeten Strukturmaße. Das ausgewählte Set an Strukturmaßen auf Patchebene bildet so die wichtigen Aspekte der räumlichen Struktur ab und liefert handhabbare Maße zur Bewertung der Schutzbedürftigkeit von Wäldern.

*Tabelle 16: Abschließende Auswahl der Strukturmaße nach Hauptkriterien bezogen auf Wald-Patches*

Kriterium	Strukturmaß	Wertebereich	Einheit	Indikation	Fragestellung
Fläche	Fläche (AREA)	$0 < \text{AREA} \leq A^*$	ha	↗	Wie groß ist die einzelne Waldfläche?
	Kernflächen-Index (CAI)	$0 \leq \text{CAI} \leq 100$	%	↗ ↘	Welchen Anteil einer Waldfläche nimmt die verbleibende Kernfläche ein?
Form	Umschreibende Kreisfläche (CIRCLE)	$0 \leq \text{CIRCLE} < 1$	-	↘	Ist der Wald schmal, länglich oder kompakt, kreisförmig?
Nachbarschaft	Ähnlichkeitsindex (SIMI)	$0 \leq \text{SIMI} < \infty$	-	↗ ↘	Befindet sich die Waldfläche in einer ihr ähnlichen oder in einer stark anthropogen geprägten Nachbarschaft?

↗ / ↘ = höhere Werte implizieren im Allgemeinen bessere bzw. schlechtere raumstrukturellen Eigenschaften

↘ = funktionale Landschaftsstrukturmaße, d.h. Parametrisierung nötig, im Sinne von McGarigal 2015

A\* Fläche des gesamten Bezugsraums / des Regionalforstamt

(eigene Zusammenstellung mit Beiträgen aus Lang, Blaschke 2007 u. McGarigal 2015)

## 5.4.2 Klassenebene

Wie auf der Patchebene zeigt das Ergebnis der Korrelationsanalyse auf Klassenebene, dass mehrere Strukturmaße stark korrelieren (s. Tab. 17). Die Markierungen in der Korrelationsmatrix zeigen alle Korrelationskoeffizienten größer als 0,5 oder kleiner als -0,5. Als voneinander relativ unabhängige Strukturmaße konnten vor allem das Flächenmaß TCA, das Formmaß CIRCLE\_AM sowie die Nachbarschaftsmaße MESH und CWED identifiziert werden.

*Tabelle 17: Korrelationsmatrix Klassenebene*

	CA	PLAND	TCA	CPLAND	NDCA	LSI	GYRATE_AM	CIRCLE_AM	CONTIG_AM	CONNECT	DIVISION	MESH	CWED
CA	1	-0,50	0,44	-0,59	0,71	0,71	-0,37	0,53	-0,59	-0,73	0,62	-0,44	0,25
PLAND	-0,50	1	-0,27	0,82	-0,91	-0,91	0,68	-0,42	0,91	0,92	-0,91	0,80	0,20
TCA	0,44	-0,27	1	0,05	0,48	0,16	0,19	0,26	-0,04	-0,29	0,19	0,07	-0,33
CPLAND	-0,59	0,82	0,05	1	-0,80	-0,90	0,70	-0,50	1,00	0,90	-0,90	0,80	-0,30
NDCA	0,71	-0,91	0,48	-0,76	1	0,89	-0,63	0,59	-0,84	-0,95	0,91	-0,75	-0,20
LSI	0,71	-0,91	0,16	-0,94	0,89	1	-0,77	0,53	-0,98	-0,96	0,96	-0,87	0,08
GYRATE_AM	-0,37	0,68	0,19	0,71	-0,63	-0,80	1	-0,34	0,81	0,72	-0,82	0,95	0,09
CIRCLE_AM	0,53	-0,42	0,26	-0,48	0,59	0,53	-0,34	1	-0,48	-0,64	0,59	-0,47	0,14
CONTIG_AM	-0,59	0,91	-0,04	0,96	-0,84	-0,98	0,81	-0,48	1	0,92	-0,97	0,89	-0,13
CONNECT	-0,73	0,92	-0,29	0,87	-0,95	-0,96	0,72	-0,64	0,92	1	-0,96	0,84	0,03
DIVISION	0,62	-0,91	0,19	-0,90	0,91	0,96	-0,82	0,59	-0,97	-0,96	1	-0,91	0,03
MESH	-0,44	0,80	0,07	0,81	-0,75	-0,87	0,95	-0,47	0,89	0,84	-0,91	1	0,06
CWED	0,25	0,20	-0,33	-0,25	-0,20	0,08	0,09	0,14	-0,13	0,03	0,03	0,06	1

(eigene Berechnung u. Darstellung)

Auf Klassenebene wird besonders deutlich, dass bestimmte Strukturmaße empirisch redundant sind, da verschiedene Aspekte der räumlichen Struktur statistisch korrelieren. Trotz Korrelation untereinander liefern diese Strukturmaße wichtige Informationen zur räumlichen Struktur und aggregierte, regionalisierte Aussagen über die gesamte Waldlandschaft können getroffen werden.

Einfache Flächenmaße, wie CA und TCA geben Aufschluss über die verfügbare Waldfläche der Regionalforstämter. Als absolute Maße, sind diese zum Vergleich von Landschaften unterschiedlicher Größe jedoch nicht geeignet. Um waldarme Gebiete zu identifizieren soll hier stattdessen das Flächenmaß PLAND angewendet werden. Somit können die Waldanteile der unterschiedlich großen Forstämter miteinander verglichen werden. Mittels CPLAND

können die verbleibenden Kernflächenanteile, als von Lärm ungestörte Waldbereiche identifiziert werden. Beide Maße sind relativ, so können Gebiete unterschiedlicher Größe miteinander verglichen werden. Mit 0,82 weisen PLAND und CPLAND eine mittlere Korrelation zueinander auf, mit steigender Flächengröße der Patches und gleichbleibender Lärmeinwirkungen nimmt auch der ungestörte Bereich im Inneren zu.

Für eine einfachere Vergleichbarkeit und Interpretation der Ergebnisse wurde zudem Anstelle von MESH das redundante Zerschneidungsmaß DIVISION verwendet. Hier liegt eine negative Korrelation von -0,91 vor, je höher die effektive Maschenweite, desto geringer ist die Waldlandschaft zerschnitten. DIVISION gibt den Zerschneidungsgrad als Wahrscheinlichkeit an und ermöglicht so eine bessere Vergleichbarkeit der Regionalforstämter.

Tabelle 18 enthält die abschließende Auswahl der im Bewertungsverfahren angewendeten Strukturmaße. Das ausgewählte Set an Strukturmaßen auf Klassenebene bildet die wichtigen Aspekte der räumlichen Struktur ab und liefert handhabbare Maße zur Bewertung der Schutzbedürftigkeit von Wäldern auf aggregierter, regionalisierter Ebene.

*Tabelle 18: Abschließende Auswahl der Strukturmaße nach Hauptkriterien bezogen auf die gesamte Waldlandschaft*

Kriterium	Strukturmaß	Wertebereich	Einheit	Indikation	Fragestellung
Fläche	Anteil einer Klasse (PLAND)	$0 \leq \text{PLAND} \leq 100$	%	↗	Welchen Anteil nimmt der Wald an der gesamten Landschaft ein?
	Anteil der Kernfläche einer Klasse (CPLAND)	$0 \leq \text{CPLAND} > 100$	%	↗ ✍	Welchen Anteil nimmt die verbleibende Kernfläche an der gesamten Landschaft ein?
Form	Flächengewichtete Umschreibende Kreisfläche (CIRCLE_AM)	$0 \leq \text{CIRCLE\_AM} < 1$	-	↘	Ist die Waldlandschaft insgesamt schmal, länglich oder kompakt, kreisförmig?
Nachbarschaft	Zerschneidungsindex (DIVISION)	$0 \leq \text{DIVISION} > 1$	-	↘	Wie hoch ist der Zerschneidungsgrad der Waldlandschaft?
	Flächengewichtete Randkontrastdichte (CWED)	$0 \leq \text{CWED} > \infty$	m pro ha	↘ ✍	Wie hoch ist der gewichtete durchschnittliche Kontrast der Waldlandschaft zu angrenzenden Nutzungen?

↗ / ↘ = höhere Werte implizieren im Allgemeinen bessere bzw. schlechtere raumstrukturellen Eigenschaften

✍ = funktionale Landschaftsstrukturmaße, d.h. Parametrisierung nötig, im Sinne von McGarigal 2015

A\* Fläche des gesamten Bezugsraums / des Regionalforstamt

(eigene Zusammenstellung mit Beiträgen aus Lang, Blaschke 2007 u. McGarigal 2015)

## 6 Anwendung des Bewertungssystems der Schutzwürdigkeit der Wälder NRW

Die zuvor als relativ unabhängig und am aussagekräftigsten identifizierten Strukturmaße wurden mittels der CP-Methode (s. Kap. 2.3.3) in einem Bewertungsverfahren zusammengeführt. Anhand dieses Bewertungsschemas wurde der Gefährdungszustand der einzelnen Waldflächen bestimmt und Problemflächen bzw. Risikobereiche des Untersuchungsgebietes aufgezeigt, die in Anbetracht räumlicher Strukturmerkmale besonders schützenswert sind. Die Ergebnisse auf Patch- und Klassenebene sollen im Folgenden erläutert werden.

### 6.1 Patchebene

Insgesamt wurden vier Strukturmaße auf Patchebene ausgewählt, die sich zur Erfassung der räumlichen Struktur von Wäldern und deren Schutzwürdigkeit eignen (s. Kap. 5.4.1). Für die vier Bewertungskriterien wurde jeweils eine GIS-Rasterkarte erstellt, wobei jedes Patch den Grad der Schutzbedürftigkeit farblich widerspiegelt. Hierzu wurden vier Stufen des Gefährdungszustandes in hohe Schutzbedürftigkeit, moderate Schutzbedürftigkeit, mäßige Schutzbedürftigkeit und geringe Schutzbedürftigkeit unterteilt. Die Ergebnisse der berechneten Maßzahlen wurden in vergleichbare Einheiten zwischen null (geringe Schutzbedürftigkeit) und eins (hohe Schutzbedürftigkeit) standardisiert. Hierzu wurde die Min-Max-Normalisierung, eine lineare Transformation der Daten in den Bereich zwischen null und eins, angewendet. Je nach Strukturmaß führt ein Höchstwert zu einer hohen Schutzbedürftigkeit oder geringen Schutzbedürftigkeit. So weisen besonders kleine Flächen, die kleiner als 100 ha sind, eine höhere Schutzbedürftigkeit auf als besonders große Flächen von über 5.000 ha. Zur Einteilung der Grenzwerte für SIMI wurden an dieser Stelle die Durchschnittswerte aller Flächen ermittelt. Beim Vergleich mit anderen Landschaften ist zu berücksichtigen, dass SIMI bis ins Unendliche ansteigen kann und Grenzwerte zur Bewertung entsprechend angepasst werden müssen. Die standardisierten Werte wurden zudem in gleiche Intervalle ( $0 \leq 0,25$ ;  $> 0,25 - 0,5$ ;  $> 0,5 - 0,75$ ;  $> 0,75 - 1$ ) unterteilt, um Vergleiche zwischen den verschiedenen Ergebniskarten zu ermöglichen. Die Stufen der Schutzbedürftigkeit für das jeweilige Kriterium sind in Tabelle 19 aufgeführt.

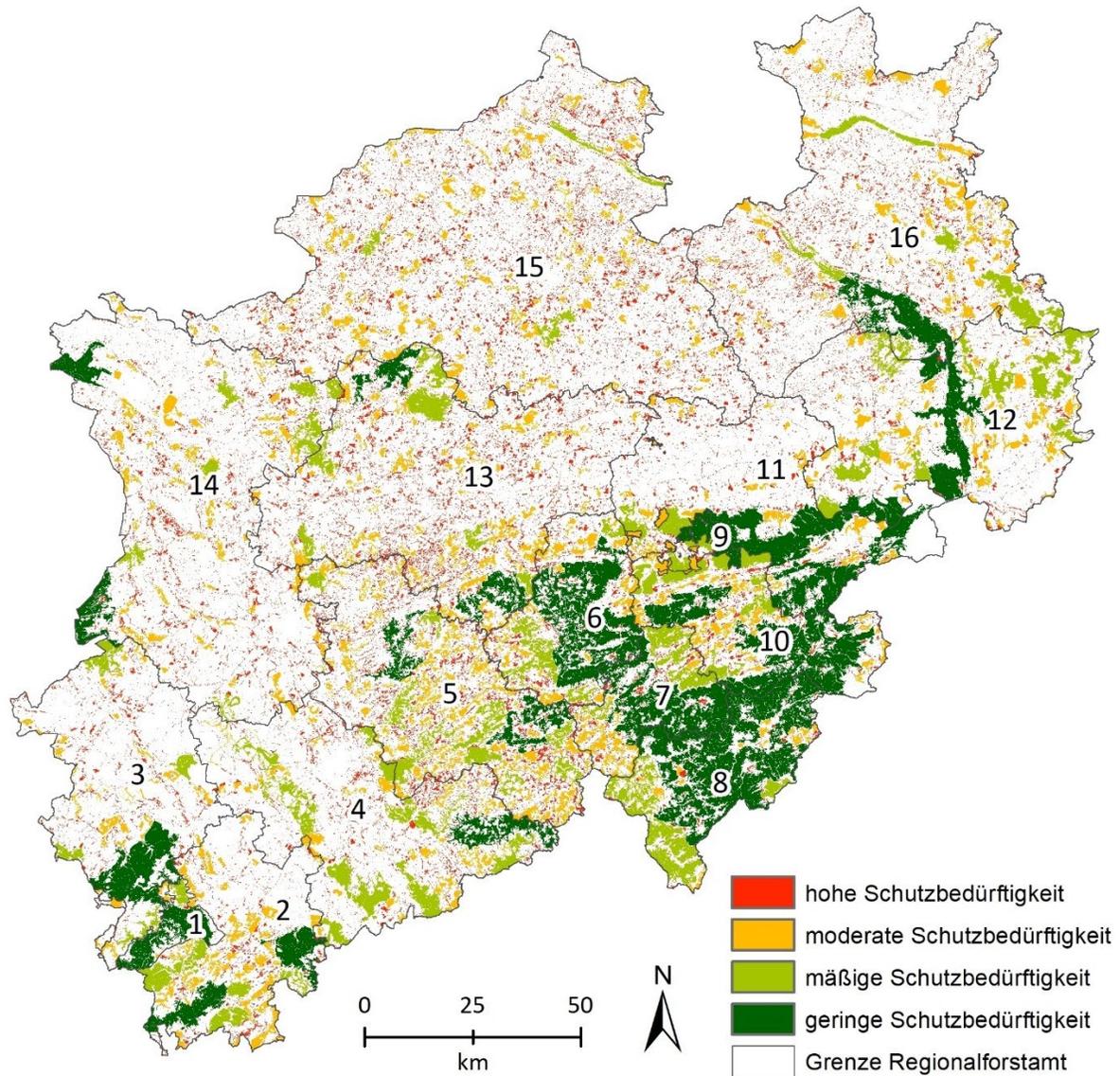
Tabelle 19: Eignungswerte für die Schutzbedürftigkeit der Wälder nach den Bewertungskriterien auf Patchebene

Kriterium	Strukturmaß	hohe Schutzbedürftigkeit ( $> 0,75 - 1$ )	moderate Schutzbedürftigkeit ( $> 0,5 - 0,75$ )	mäßige Schutzbedürftigkeit ( $> 0,25 - 0,5$ )	geringe Schutzbedürftigkeit ( $0 \leq 0,25$ )
Fläche	Fläche (AREA)	$\leq 100$ ha	$>100 - 1.000$ ha	$> 1.000 - 5.000$ ha	$> 5.000$ ha
	Kernflächenindex (CAI)	$0 \leq 25$ %	$> 25 - 50$ %	$> 50 - 75$ %	$>75 - 100$ %
Form	Umschreibende Kreisfläche (CIRCLE)	$> 0,75 - 1$	$> 0,5 - 0,75$	$> 0,25 - 0,5$	$0 \leq 0,25$
Nachbarschaft	Ähnlichkeitsindex (SIMI)	$0 \leq 500$	$> 500 - 1.500$	$> 1.500 - 12.000$	$> 12.000$

(eigene Darstellung)

Die Ergebniskarten der Bewertung der räumlichen Strukturen der einzelnen Waldflächen werden im Folgenden nach den einzelnen Strukturmaßen für die Kriterien Fläche, Form und Nachbarschaft aufgeführt und erläutert. Die Bewertungskriterien für jede einzelne Waldfläche wurden anschließend aufsummiert, gewichtet und in einer Gesamtbewertung zusammengeführt. Die Ergebnisse der Gesamtbewertung werden abschließend erläutert und die Schutzbedürftigkeit der Wälder aufgrund der räumlichen Struktur bestimmt und dargestellt.

Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder  
anhand der Flächengröße (AREA)

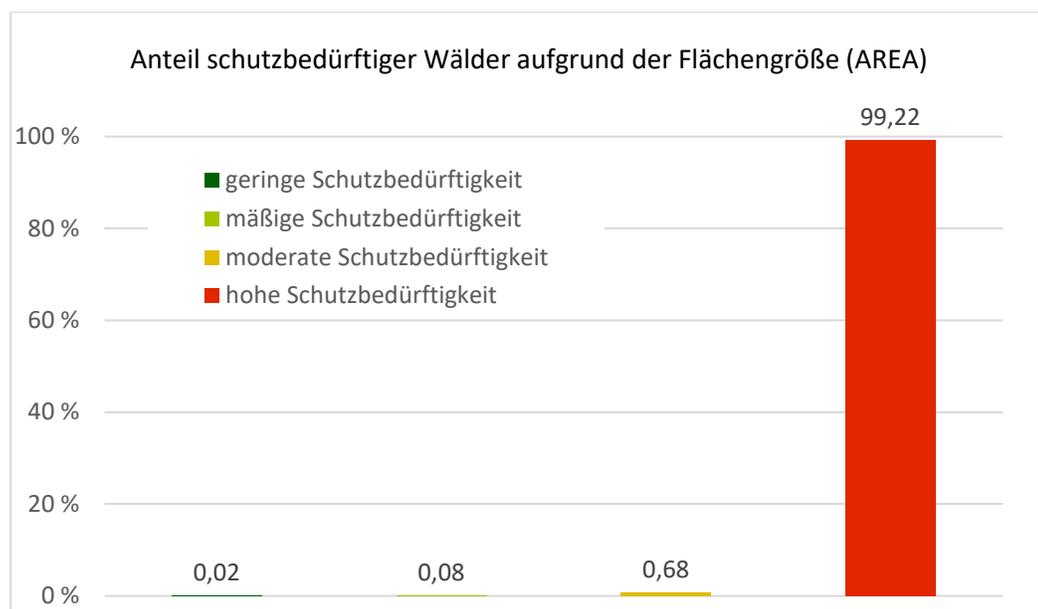


Karte 2: Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand der Flächengröße (AREA)  
(eigene Berechnung u. Darstellung, Datengrundlage IT.NRW 2020a u. b)

Aus naturschutzfachlicher Sicht werden Wälder ab einer Größe von 5.000 ha als besonders gut eingestuft. Diese Flächen verfügen über eine ausreichende Größe, um diverse Funktionen erfüllen zu können (s. Kap. 2.2.2). Das Potenzial der Multifunktionalität sinkt und die Auswirkungen der negativen Randeffekte nehmen zu, je weiter die Fläche abnimmt. Bei Waldflächen, die kleiner als 100 ha sind, sind die potenziellen Randeffekte durch die in Kapitel 5.1 angenommenen Verlärmungswerte von bis zu 800 m am höchsten. Kleine Wälder sind daher besonders schutzbedürftig. Es gilt eine weitere Flächenverminderung zu vermeiden und wo möglich die Waldflächen zu erweitern, um deren Multifunktionalität zu sichern.

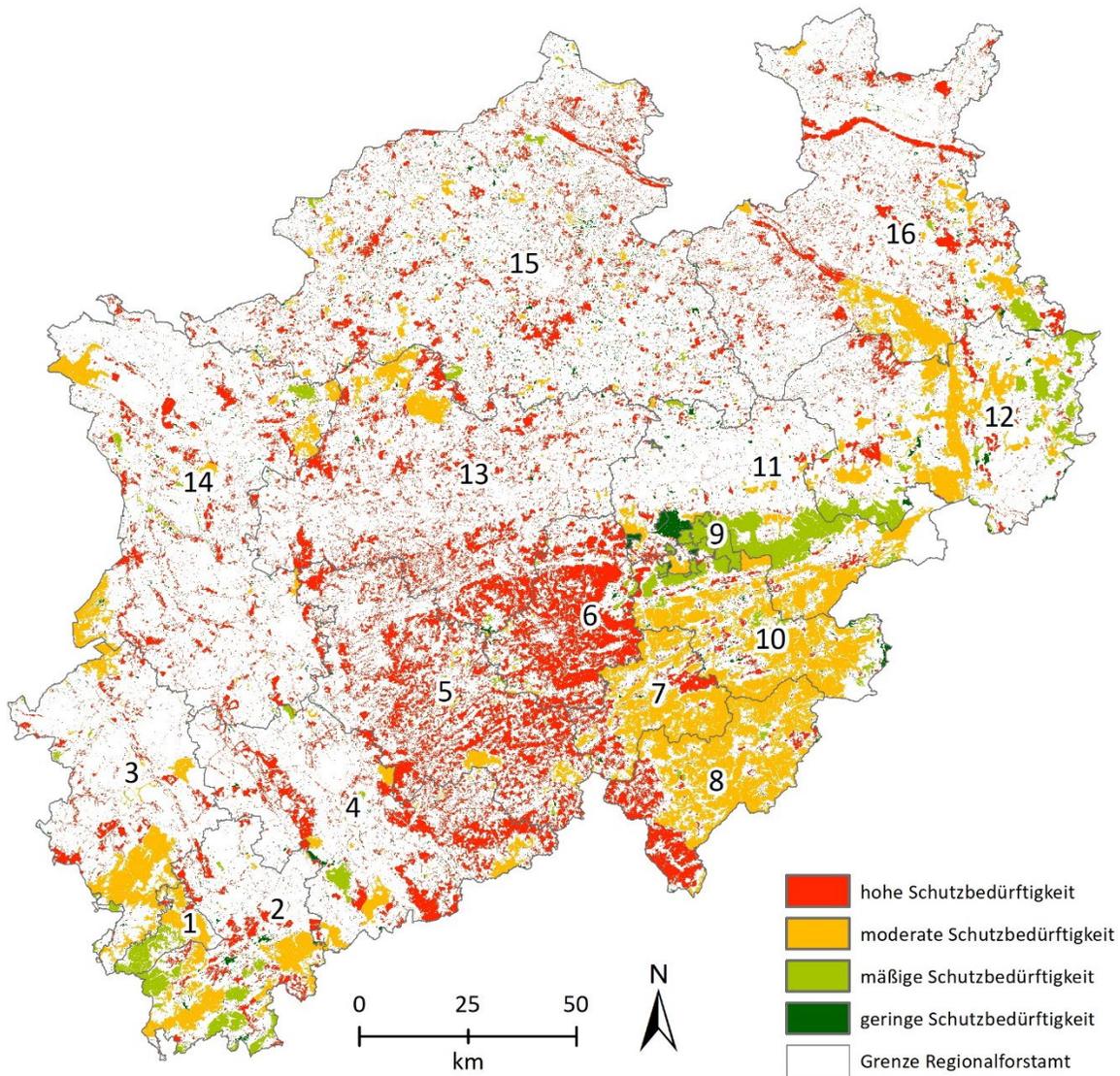
Die Bewertung der Flächengröße spiegelt die heterogene Verteilung der Wälder in NRW wider. Im Norden NRWs sind die Waldflächen insgesamt kleiner, während die südlichen Forstämter größere, zusammenhängende Wälder aufweisen (s. Karte 2). Besonders große Wälder über 5.000 ha befinden sich im Nationalpark Eifel (Nr. 1), dem Arnsberger Wald (Nr. 9), dem Regionalforstamt Siegen-Wittgenstein (Nr. 8) sowie dem Sauerland (Nr. 7, 6 u. 10). Eine große längliche Waldfläche erstreckt sich zudem über den Hochstift (Nr. 12) bis in das Forstamt Ostwestfalen-Lippe (Nr. 16). In jedem Forstamt sind zudem kleine besonders schützenswerte Wälder unter 100 ha zu finden. Abbildung 16 verdeutlicht, wie hoch der Anteil besonders kleiner, schützenswerter Flächen in NRW ist. Viele dieser kleinen Wälder liegen im Münsterland (Nr. 15) sowie dem Ruhrgebiet (Nr. 13). In dicht besiedelten Gebieten wie z. B. dem Ruhrgebiet sind Wälder aufgrund der wichtigen Ausgleichs- und Immissionschutzfunktionen sowie für die Erholungsbedürfnisse der Bevölkerung besonders zu schützen.

*Abbildung 16: Anteil schutzbedürftiger Wälder aufgrund der Flächengröße (AREA)*



(eigene Berechnung u. Darstellung)

Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder  
anhand des Kernflächenindex (CAI)

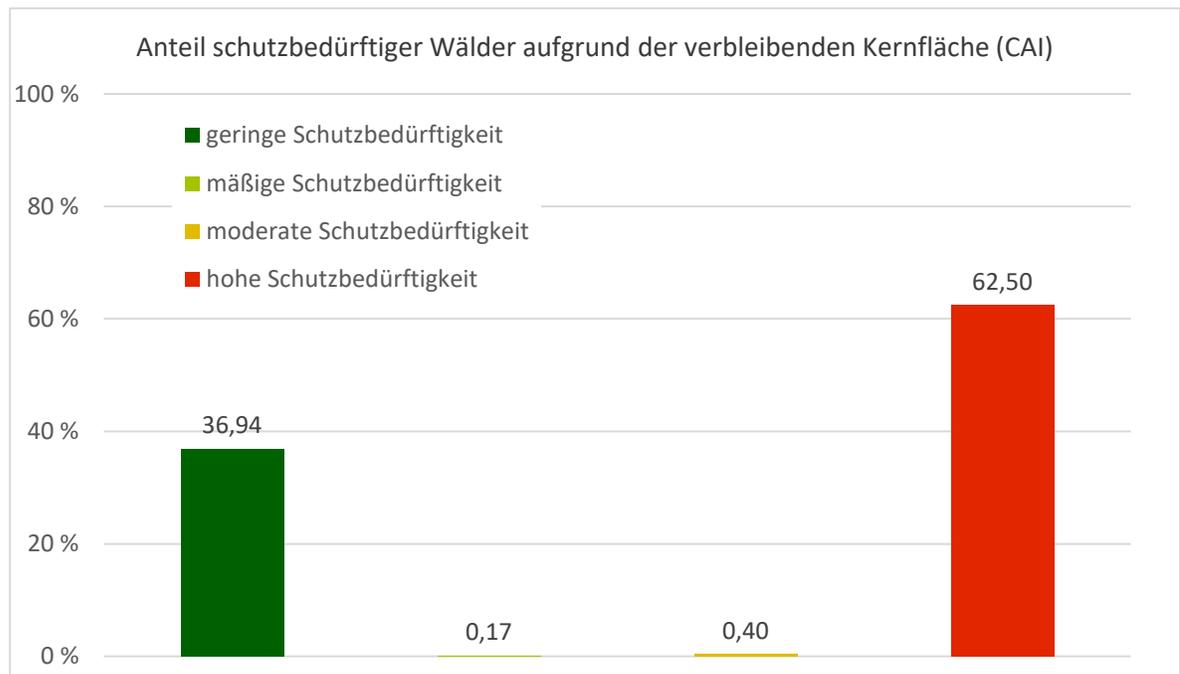


Karte 3: Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand des Kernflächenindex (CAI)  
(eigene Berechnung u. Darstellung, Datengrundlage IT.NRW 2020a u. b)

Die Störwirkungen, d. h. Verlärmung von bisher ungestörten Waldbereichen, durch Verkehrsstrassen und Nutzungsintensivierung der Landschaft führen zum Verlust und zur Schrumpfung von Habitaten und Gebieten der naturbezogenen Erholung (s. Kap. 5.1). Je größer der Verlust an ungestörter Kernfläche, desto schutzbedürftiger ist der Wald.

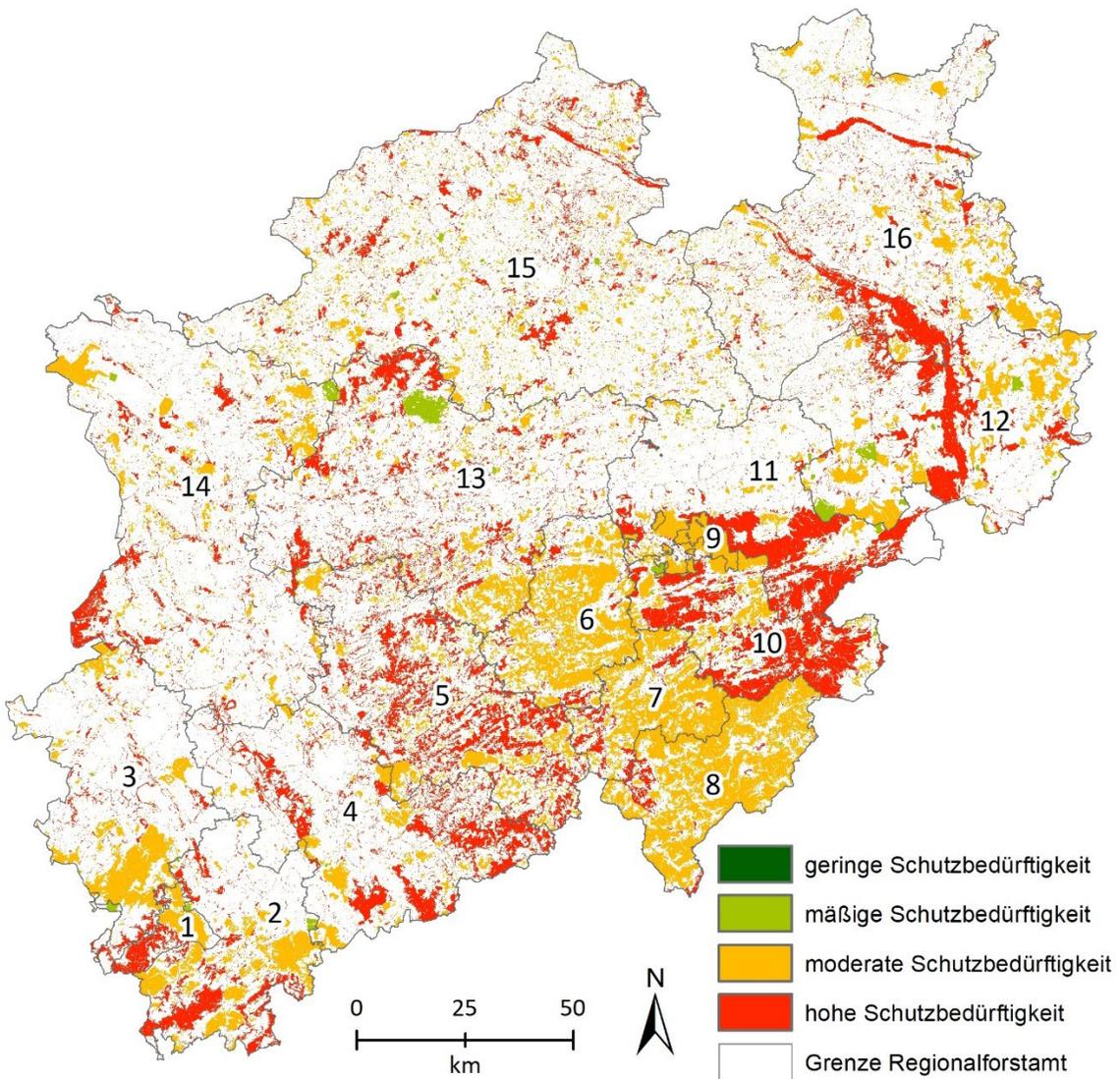
Unter Berücksichtigung der Randzonen wird deutlich, wie gravierend die Zerschneidung der Wälder und deren Verlärmung durch angrenzende Nutzungen in NRW ausfallen (s. Karte 3). Besonders auffällig ist hier das gesamte Sauerland (Nr. 6, 7 u. 10). Die zuvor aufgrund ihrer Größe als weniger schutzbedürftig eingestuften großen Wälder weisen weniger als 25 % verbleibende Kernfläche auf. Lärm durch Straßen und angrenzende Nutzungen reichen weit in den Wald hinein und so weisen 62,5 % der Waldflächen in NRW nur einen Anteil von weniger als 50 % ungestörten Innenbereich auf (s. Abb. 17).

*Abbildung 17: Anteil schutzbedürftiger Wälder aufgrund der verbleibende Kernfläche (CAI)*



(eigene Berechnung u. Darstellung)

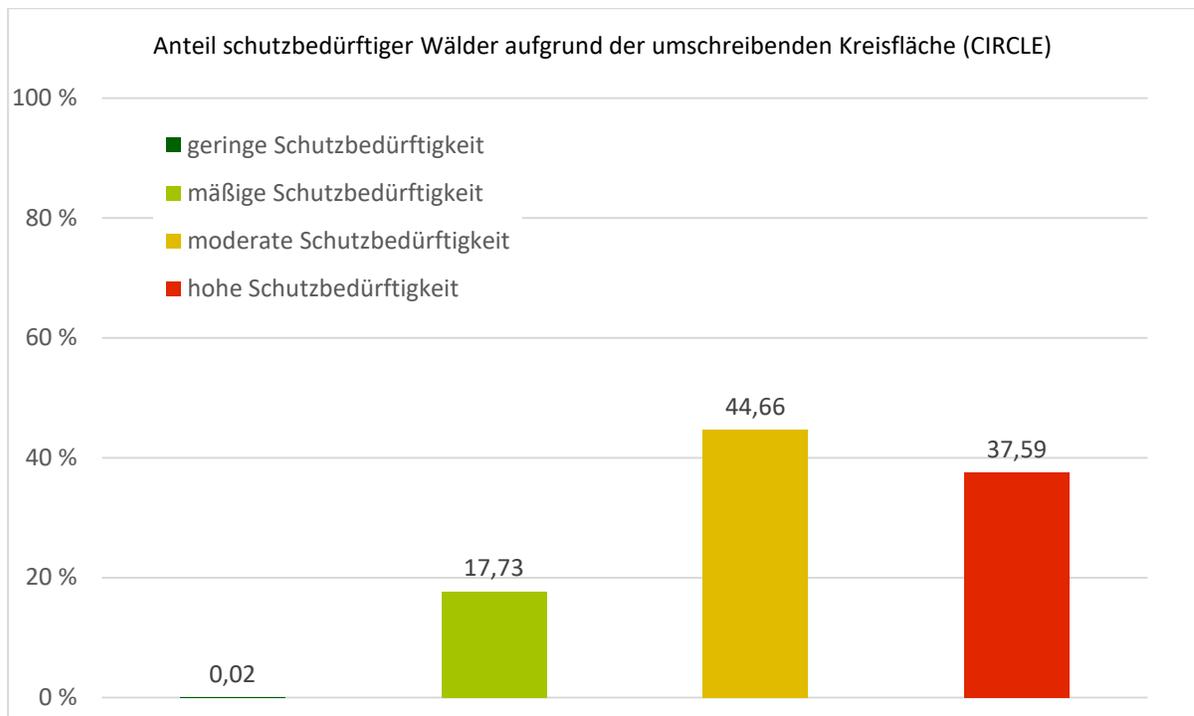
## Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand der umschreibenden Kreisfläche (CIRCLE)



*Karte 4: Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand der Form (CIRCLE)  
(eigene Berechnung u. Darstellung, Datengrundlage IT.NRW 2020a u. b)*

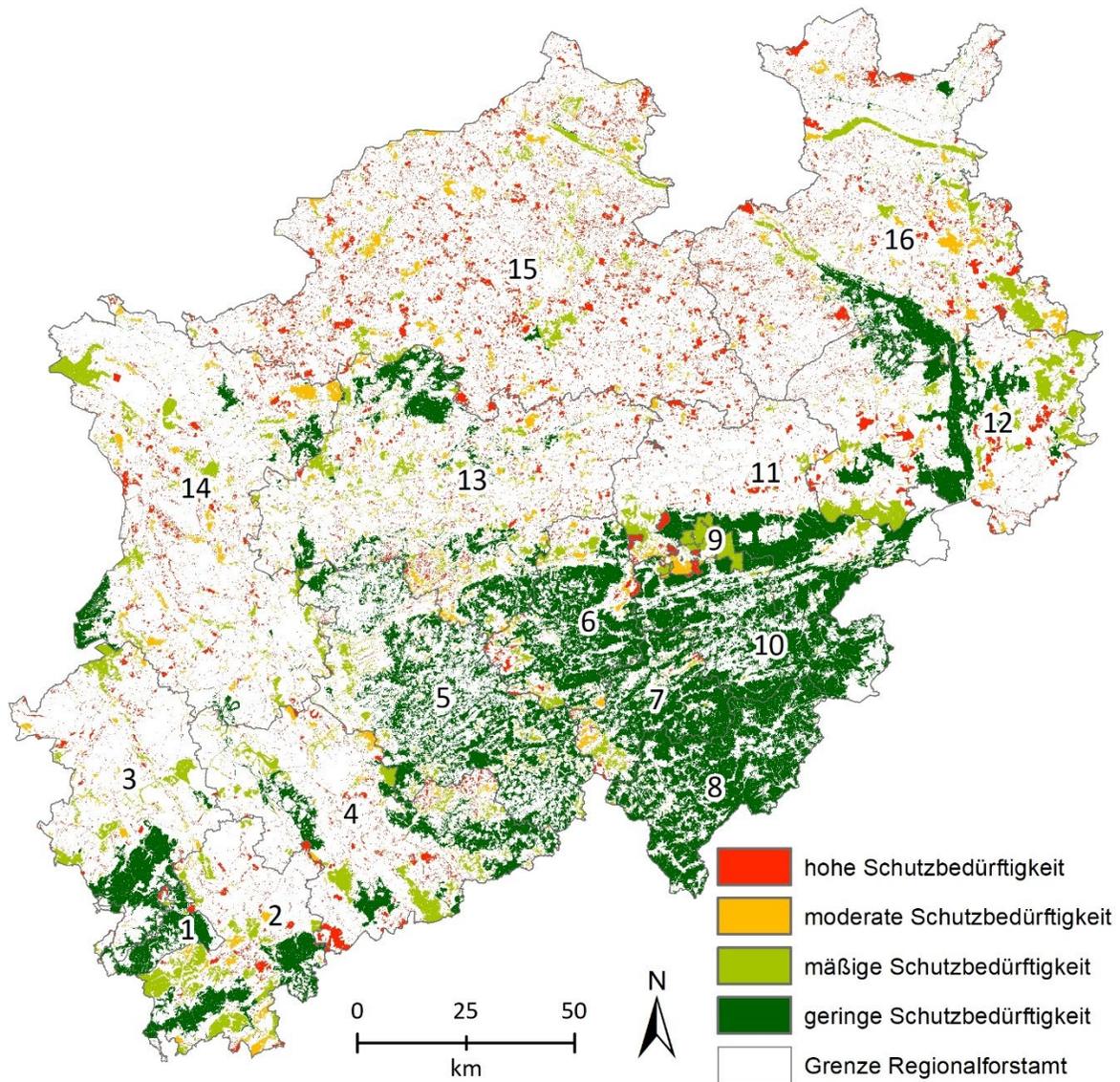
Neben der Flächengröße spielt auch die Form eine entscheidende Rolle für die Funktionserfüllung. Schmale, längliche Wälder mit potenziell höheren Randzonen und geringerer Habitatfläche sind gegenüber kompakten, kreisförmigen Wäldern deutlich schutzbedürftiger. Waldstreifen entlang von Straßen weisen oftmals längliche und schmale Formen auf. Diese Flächen sind für die Funktionserfüllung in Bezug auf Sicht-, Lärm- und Immissionsschutz von erheblicher Bedeutung und daher besonders zu schützen (s. Kap. 2.2.2). Bei der Bewertung der Form fällt auf, dass die meisten Wälder von der kompakten Idealform abweichen (s. Abb. 18). Hier fällt auf, dass vor allem kleinere Wälder deutlich kompaktere Formen aufweisen als große (s. Karte 4).

*Abbildung 18: Anteil schutzbedürftiger Wälder aufgrund der umschreibenden Kreisfläche (CIRCLE)*



(eigene Berechnung u. Darstellung)

Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder  
anhand des Ähnlichkeitsindex (SIMI)

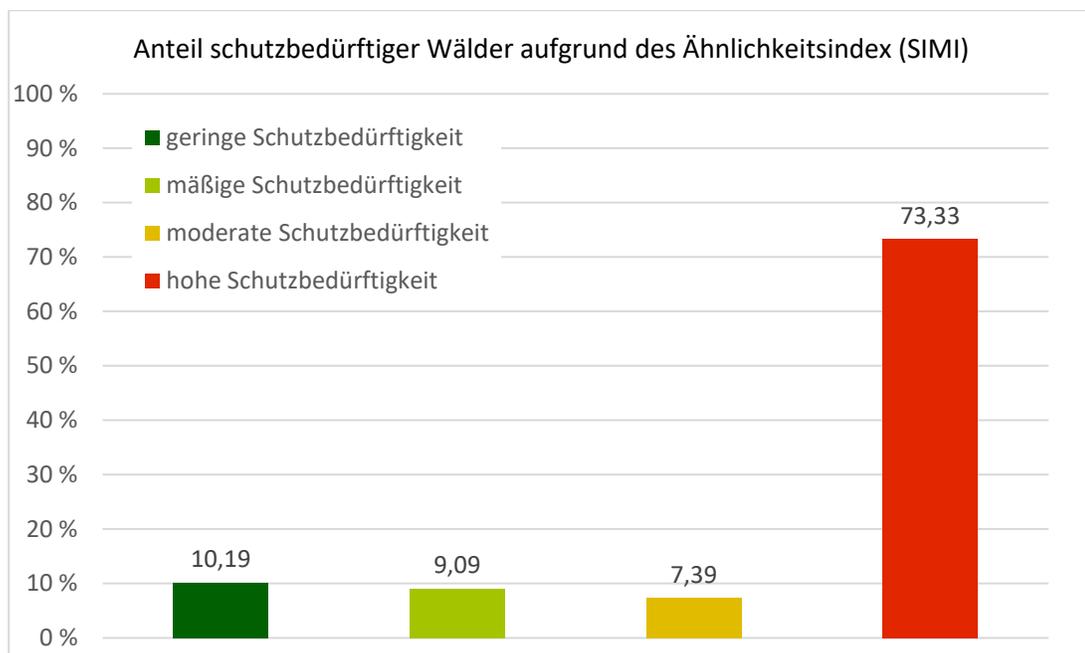


*Karte 5: Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand des Ähnlichkeitsindex (SIMI)  
(eigene Berechnung u. Darstellung, Datengrundlage IT.NRW 2020a u. b)*

In waldarmen Gebieten, in denen Wälder häufig nur kleinflächig und inselartig in überwiegend anthropogen genutzten Landschaftsbereichen liegen, haben Wälder generell einen hohen Stellenwert für den Biotopverbund, den Arten- und Biotopschutz, die Regulationsfunktionen im Naturhaushalt und die landschaftsorientierte Erholung sowie Landschaftsbildfunktionen (s. Kap. 2.2.2). Die südwestlich gelegenen Forstämter (Nr. 6, 7, 8, 10, 11) sowie der Arnsberger Wald (Nr. 9) und der Nationalpark Eifel (Nr. 1) zeichnen sich durch einen hohen Natürlichkeitsgrad aus (s. Karte 5). Die Waldflächen befinden sich in einer ihnen ähnlichen Umgebung. Dagegen sind die Waldflächen im Niederrhein (Nr. 14), im Ruhrgebiet (Nr. 13) und im Münsterland (Nr. 15) deutlich kleiner und von stark anthropogen geprägten Nutzungen umgeben (s. Karte 5). Kleine Restwaldflächen, umgeben von stark anthropogen geprägten Nutzungen, sind aufgrund der wichtigen Ausgleichs- und Immissionsschutzfunktionen besonders schützenswert (s. Kap. 2.2.2). Abbildung 19 verdeutlicht mit einem hohen Anteil von 73,33 %, wie hoch die Fragmentierung und Isolierung der Wälder in NRW ist.

Auffällig ist der Arnsberger Wald (Nr. 9), hier wird die Problematik des Indikators SIMI deutlich (s. Kap. 5.1 u. 5.3). Aufgrund der geringen Größe des Forstamtes und des angegebenen Suchradius von 5.000 m wird fälschlicherweise angenommen, dass die Waldflächen geringere Ähnlichkeiten haben, obwohl hinter der Grenze des Forstamtes weitere Wälder liegen bzw. die Waldfläche an der Forstamtsgrenze nicht aufhört. Bei der Interpretation der Karten und Ergebnisse muss diese Einschränkung berücksichtigt werden.

*Abbildung 19: Anteil schutzbedürftiger Wälder aufgrund des Ähnlichkeitsindex (SIMI)*



(eigene Berechnung u. Darstellung)

### Gesamtbewertung der Fläche, Form und Nachbarschaft

Anhand der Gesamtbewertung der Fläche, Form und Nachbarschaft kann die Schutzbedürftigkeit der Wälder aufgrund der räumlichen Struktur bestimmt werden. Durch die Kombination aus Fläche und Form können schmale langgestreckte Wälder mit einer höheren Schutzbedürftigkeit als kompaktere Wälder gleicher Größe bewertet werden. Hinzu kommt die Berücksichtigung der Randzonen und Lärmeinwirkungen durch angrenzende Flächen. Zudem weisen Wälder mit geringerem Kontrast zu angrenzenden Landnutzungen und geringeren Randzonen eine geringere Schutzbedürftigkeit auf als Wälder mit hohen Lärmeinwirkungen durch angrenzenden Landnutzungen. Durch Hinzunahme der Distanz zwischen den Wäldern werden Waldflächen, die weit auseinander liegen und isoliert sind, mit einer höheren Schutzbedürftigkeit bewertet als nahe zusammenliegende Wälder. Eine geringe Flächengröße und hohe Isolation in Verbindung mit einem hohen Störungspotenzial führen zu einer insgesamt höheren Schutzbedürftigkeit.

Für die Gesamtbewertung mittels der CP-Methode wurden für die einzelnen Bewertungskriterien relative Gewichte bestimmt, da sich deren Bedeutung für die Bestimmung der Schutzbedürftigkeit unterscheidet. Für die Kriteriengewichtung wurden vier Experten der Forst- und Umweltplanung befragt (s. Kap. 4.3, Anhang 9.3 u. 9.4). Diese haben die Hauptkriterien in folgender Reihenfolge gewichtet:

*Tabelle 20: Bedeutung der Hauptkriterien Fläche, Form Nachbarschaft in Bezug auf die Schutzbedürftigkeit von Wäldern durch Experten der Forst- und Umweltplanung*

	Experte 1	Experte 2	Experte 3	Experte 4	Rang
Fläche	1	3	1	1	1
Form	3	2	3	3	3
Nachbarschaft	2	1	2	2	2

(eigene Darstellung, s. Anhang 9.4)

Aus den gemittelten Gewichtungen der Experten ergibt sich die Fläche als wichtigstes Kriterium für die Bewertung der Schutzwürdigkeit. Für viele Prozesse und Funktionen ist eine Mindestgröße erforderlich (s. Kap. 2.2.2). Großflächige Wälder sind zu erhalten und eine Flächenabnahme und weitere Zerschneidung zu vermeiden (vgl. Interview Experte 3, s. Anhang 9.4).

Der Nachbarschaft wird insgesamt eine mittlere Wertigkeit zugesprochen, da diese häufig von entscheidender Bedeutung in Bezug auf Leistungen ist, die die Wälder für Naturhaushalt oder Gesellschaft erfüllen kann (vgl. Interview Experte 2, s. Anhang 9.4). Angrenzende Nutzungen üben maßgeblichen Einfluss auf ruhige Bereiche aus und die

Nachbarschaftsbeziehungen sind bestimmend für die Isolation und den Stellenwert der einzelnen Waldflächen in der Landschaft. Kleine, isolierte Wälder weisen einen höheren Schutzwert gegenüber großen Wäldern umgeben von weiteren großen Wäldern (Interview Experte 1, s. Anhang 9.4).

Für die Ermittlung der relativen Gewichte der einzelnen Bewertungskriterien wurde die Methode des paarweisen Vergleichs angewendet (s. Kap. 2.3.3). Die letztendlichen Kriteriengewichtungen sind in Tabelle 20 aufgeführt. Unter allen Kriterien haben AREA und CAI die höchste Gewichtung von 37 % und 44 %, denn wenn ein Wald und der ungestörte Waldinnenbereich zu klein sind, können Wälder viele der wichtigen Funktion nicht erfüllen und Habitatflächen sowie Erholungsräume nehmen ab (s. Kap. 2.2.2 u. 5.1). Auf der anderen Seite ist CIRCLE von geringer Bedeutung für die Schutzbedürftigkeit, da die Form nur zu einem negativen Effekt beiträgt, wenn diese extrem lang und schmal ist. Aus diesem Grund ist SIMI höher gewichtet als CIRCLE.

*Tabelle 20: Kriteriengewichtung auf Patchebene basierend auf dem paarweisen Vergleich nach Saaty 1990*

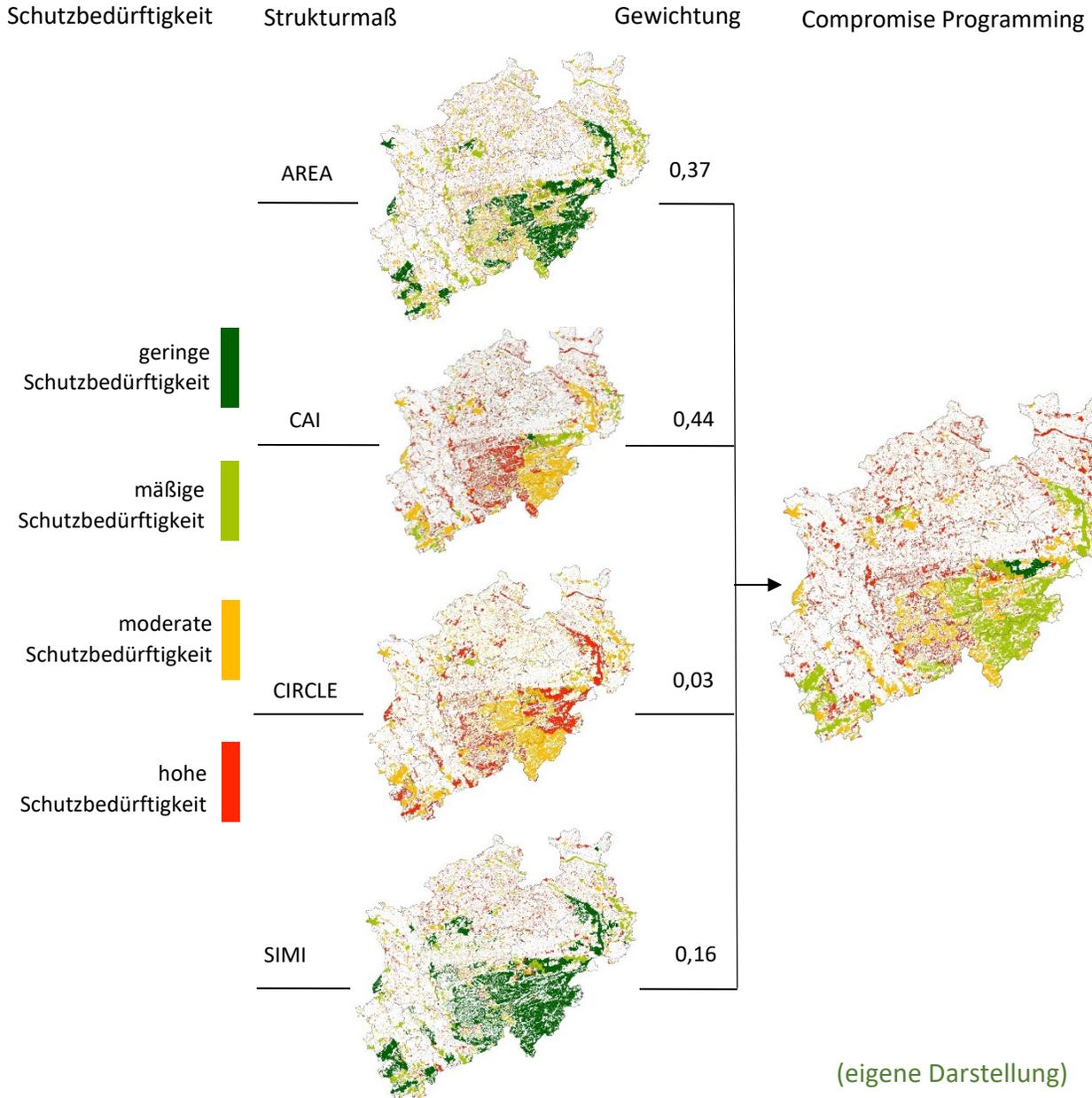
	AREA	CAI	CIRCLE	SIMI	Gewichtung
AREA	1	1/3	8	5	0,37
CAI	3	1	8	5	0,44
CIRCLE	1/8	1/8	1	1/5	0,03
SIMI	1/5	1/5	5	1	0,16
CR = 0,08					$\Sigma = 1$

(eigene Berechnung u. Darstellung)

Um die Konsistenz des paarweisen Vergleichs zu überprüfen, wurde CR bestimmt (s. Kap. 2.3.3). Bei insgesamt vier Bewertungskriterien wurde für RI ein Wert von 0,89 zugrunde gelegt (vgl. Saaty 2008: 157; s. Kap. 2.3.3). Mit CR = 0,08 werden die Konsistenzanforderungen ( $CR < 0,1$ ) nach Saaty (1990) erfüllt. Trotz erfüllter Konsistenzanforderungen muss bei der Gewichtung beachtet werden, dass eine Bewertung immer einen subjektiven Charakter aufweist. Durch Hinzunahme von Expertenmeinungen kann die Objektivität des Bewertungsverfahrens zwar deutlich erhöht werden, sie unterliegt aber dennoch immer einem gewissen Grad an Subjektivität.

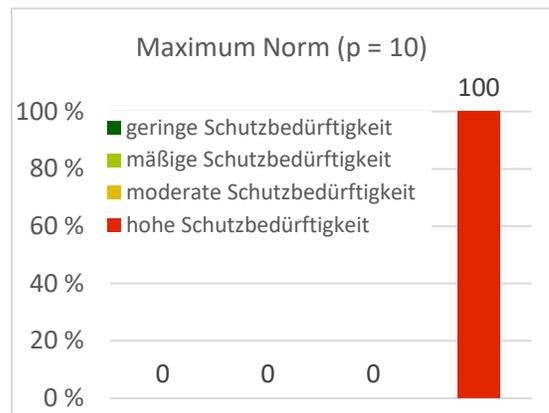
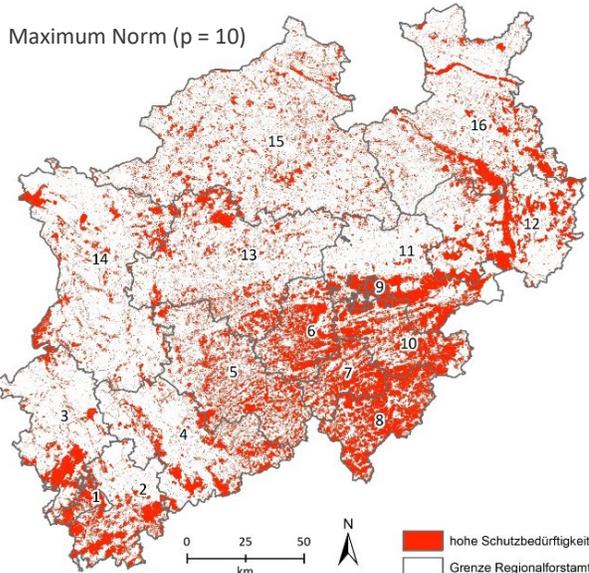
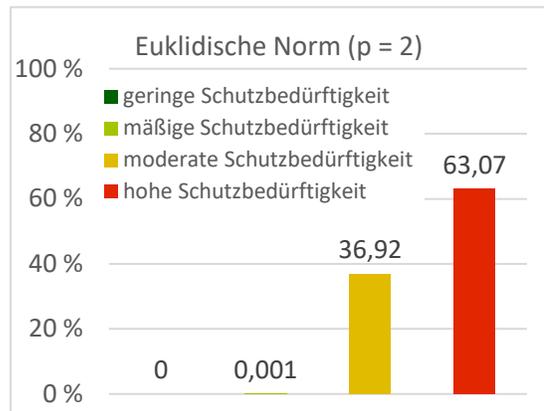
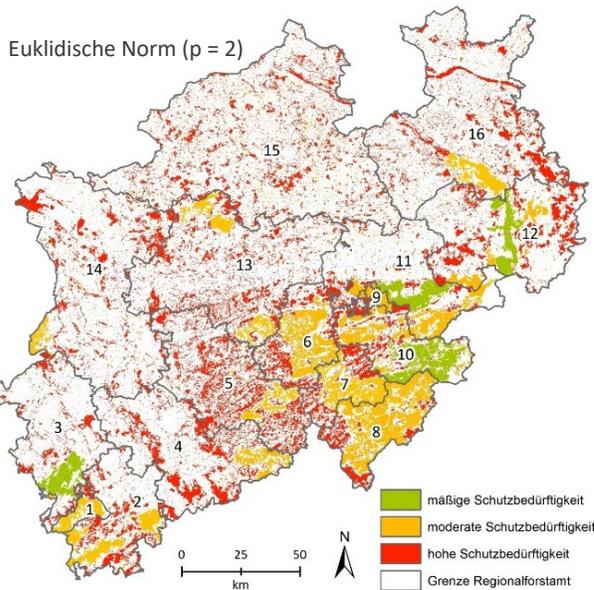
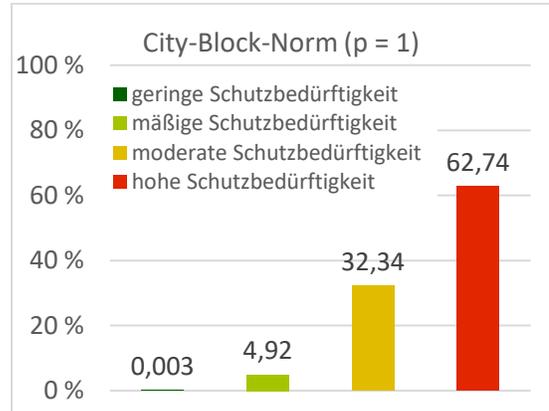
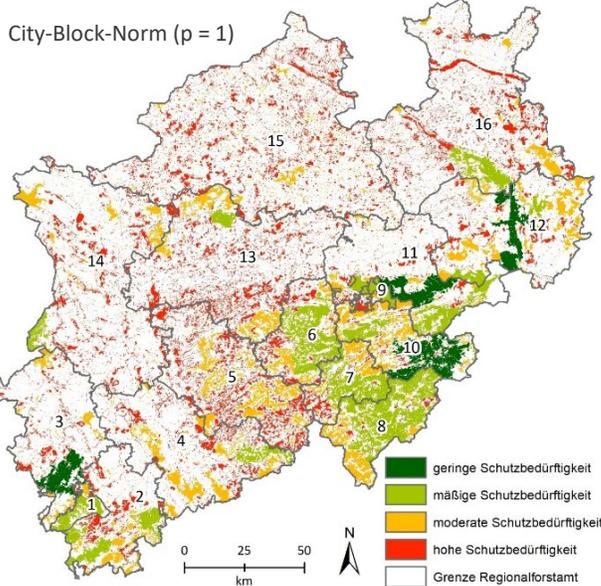
Die Bewertungskriterien für jede einzelne Waldfläche wurden aufsummiert, gewichtet und in einer Gesamtbewertung zusammengeführt. Abbildung 20 zeigt eine schematische Übersicht der Gesamtbewertung mittel der CP-Methode. Die Bewertungskriterien für jede einzelne Waldfläche wurden aufsummiert, gewichtet und in einer Gesamtbewertung zusammengeführt (s. Abb. 21).

Abbildung 20: Schematische Übersicht der Gesamtbewertung



Die Bewertungskriterien wurden aufsummiert, gewichtet und in einer Gesamtbewertung zusammengeführt (s. Abb. 21). Eine hohe Schutzbedürftigkeit ergibt sich, wenn alle Indikatoren maximal vom Idealwert abweichen. Dadurch, dass die Flächengröße und Kernfläche höher gewichtet wurden, haben diese einen spürbaren Effekt auf das Ergebnis. Bei der City-Block-Norm, in der sich Werte ausgleichen können (s. Kap. 2.3.3), zeigt sich, dass 62,74 % des Waldes in NRW aufgrund räumlicher Gegebenheiten besonders schutzbedürftig sind (s. Abb. 21). Bei der Betrachtung der einzelnen Kriterien wird deutlich, dass geringe Flächengrößen, geringe Anteile an verbleibender Kernfläche und ein hoher Grad an Isolation zu einer hohen Schutzbedürftigkeit führen. Nur der Arnsberger Wald (Nr. 9), Teile des Sauerlandes (Nr. 6, 7, 8, 10), der Nationalpark Eifel (Nr. 1) sowie der Hochstift (Nr. 12) verfügen über Wälder die aufgrund räumlicher Gegebenheiten weniger schutzbedürftig sind.

Abbildung 21: Ergebnis der Gesamtbewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder auf Patchebene nach drei Szenarien (eigene Darstellung, Datengrundlage IT.NRW 2020a u. b)



Diese liegen in allen drei Hauptkriterien den Idealwerten der einzelnen Bewertungskriterien sehr nahe. Dies trifft mit 0,003 % sowie 4,92 % nur bei einem sehr geringen Anteil der Wälder zu (s. Abb. 21). Bei einer geringeren Kompensation fallen die Extremwerte noch deutlicher ins Gewicht. Die Maximum Norm sowie Euklidische Norm mit keiner oder nur teilweiser Kompensation zeigen diesen Effekt (s. Abb. 21). Hier wird die Schutzbedürftigkeit der Wälder deutlich überschätzt. Angesichts dessen ist es fraglich, politische Implikationen sowohl nach der Euklidischen als auch nach der Maximum Norm abzuleiten.

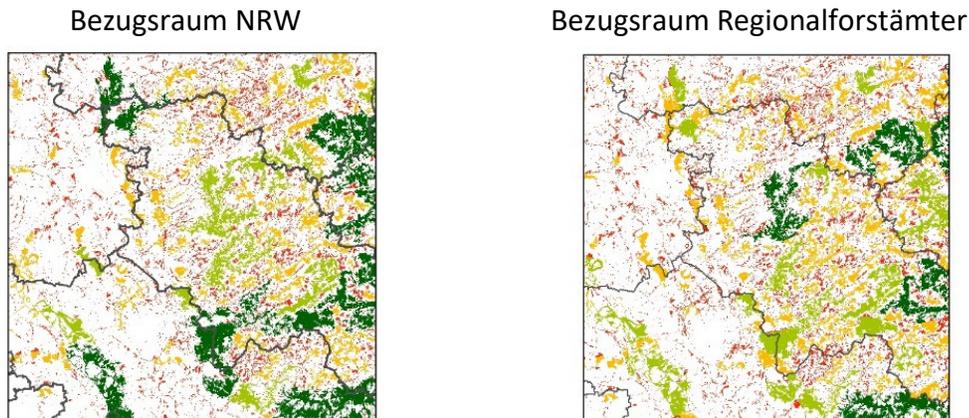
Mit der City-Block-Norm wird hier eine Kompromisslösung zwischen den unterschiedlichen räumlichen Gegebenheiten geschaffen, die die Schutzbedürftigkeit der Wälder am besten widerspiegelt. Die einzelnen Kriterien zur Fläche, Form und Nachbarschaft können sich je nach Gewichtung gegenseitig ausgleichen und dennoch können besonders zu schützende kleine Waldflächen mit einem hohen Isolierungsgrad und hohen negativen Einwirkungen durch angrenzende Nutzungen identifiziert werden. Diese Waldflächen gilt es vor weiteren Beeinträchtigungen zu schützen, um das Potenzial der Multifunktionalität zu bewahren.

### **Gesamtbewertung für NRW ohne Unterteilung in die Gebiete der Forstämter**

Bei der Betrachtung der Ergebniskarten der einzelnen Bewertungskriterien fällt auf, dass Flächen an Forstamtsgrenzen oft eine höhere Schutzbedürftigkeit aufweisen. Besonders bei der Bewertung der Flächengröße wird deutlich, dass Wälder an den Grenzen der Bezugsräume, d. h. den Grenzen der Regionalforstämter, willkürlich abgeschnitten werden. Um diesen Effekt zu untersuchen, wurden die Strukturmaße für ganz NRW als Bezugsraum, ohne die Unterteilung in die 16 Regionalforstämter, berechnet. Hierzu wurde ein 25 m x 25 m Raster verwendet, da bei einer feineren Auflösung ein großer Datensatz, wie gesamt NRW die maximale Leistung von FRAGSTATS übersteigt (s. Kap. 2.1.1). Ergebnisse zwischen den unterschiedlichen Rasterauflösungen sind dennoch vergleichbar, denn die Unterschiede zwischen der 15 m und der 25 m Auflösung sind, wie in Kapitel 5.3 erläutert, nur marginal.

Abbildung 22 verdeutlicht die Auswirkungen von festen Grenzen des Bezugsraums, bei einer Berechnung für NRW, ohne die Unterteilung in die 16 Regionalforstämter. Es zeigt sich, dass Wälder, die nicht durch die Grenze des Forstamtes zerschnitten wurden, nun größer sind und dementsprechend eine geringere Schutzbedürftigkeit zugewiesen bekommen. Das Strukturmaß AREA ist eine Primärmessung und viele Strukturmaße bauen auf dieser Maßzahl auf. Unterschiedliche Flächengrößen, aufgrund von Bezugseinheiten, als Grundlage können so zu anderen Ergebnissen führen. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass Waldflächen an den Grenzen des Forstamtes abgeschnitten werden, in der Realität jedoch über diese Grenzen hinaus bestehen.

*Abbildung 22: Vergleich der Flächenberechnung zwischen den Gebieten der Regionalforstämter und ganz NRW als Bezugseinheiten für die Berechnung der Strukturmaße*

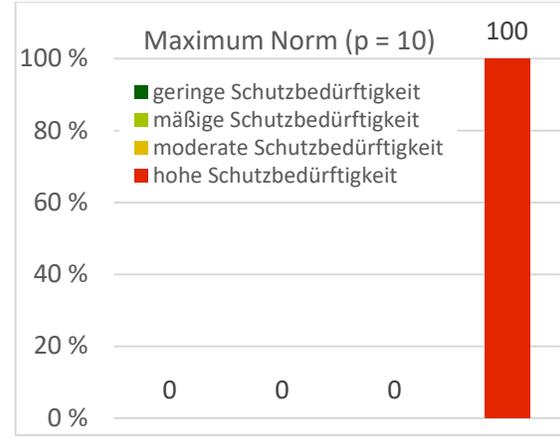
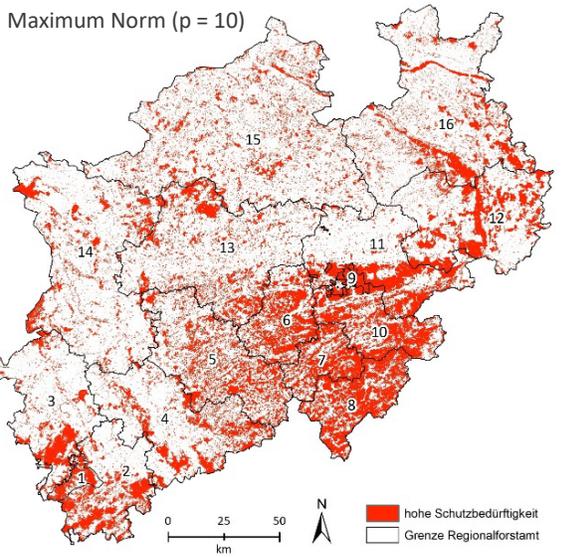
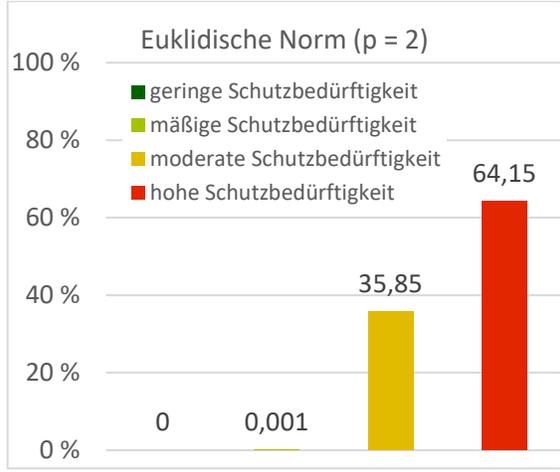
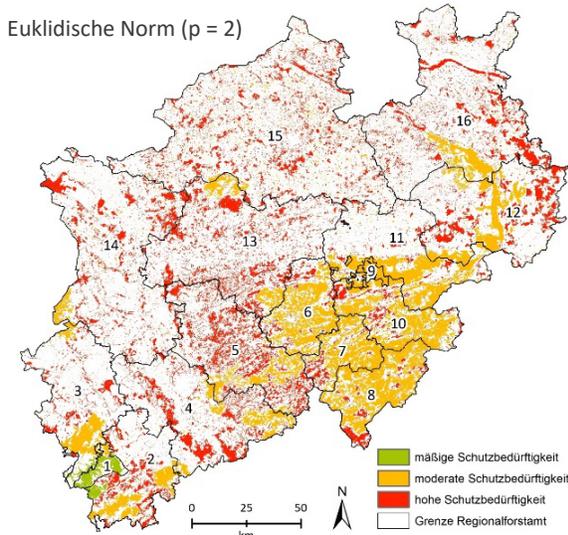
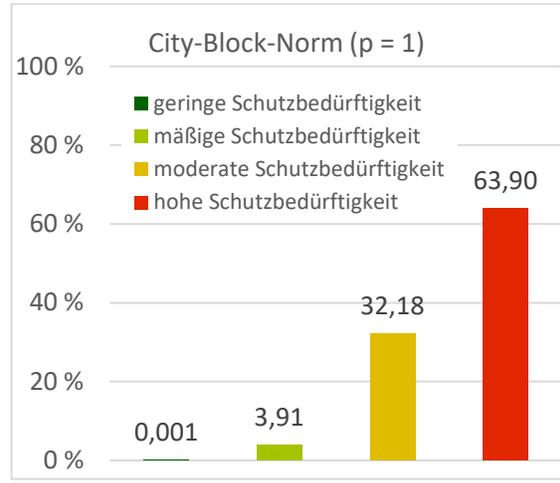
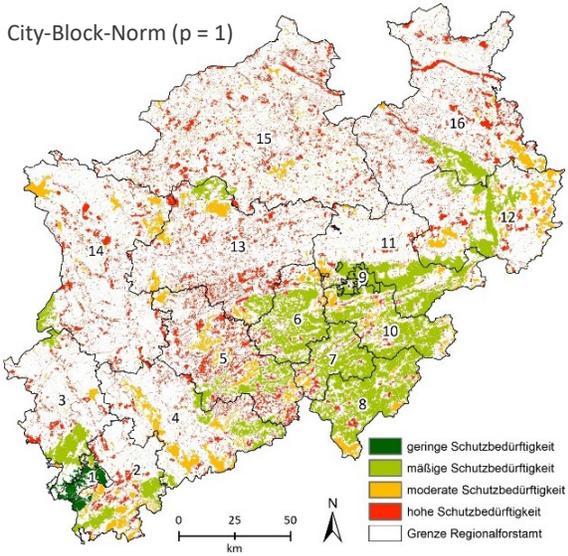


*(eigene Berechnung u. Darstellung, Datengrundlage IT.NRW 2020a u. b)*

Wie in Kapitel 5.3 beschrieben, hat sich bei den Ergebnissen des Strukturmaßes SIMI gezeigt, dass kleine Bezugsräume zu verfälschten Ergebnissen führen können. Auffällig ist der Arnsberger Wald. Hier wird die Problematik des Strukturmaßes SIMI deutlich. Aufgrund der geringen Größe des Forstamtes fällt das durchsuchbare Gebiet deutlich geringer aus als der festgelegte Suchradius von 5.000 m. Daher ist bei Flächen an der Grenze vom Bezugsraum zu berücksichtigen, dass Berechnungsergebnisse im Vergleich zu Wäldern im Inneren der Landschaft verfälscht sein können. Dies gilt auch für Randeffekte, bei Kernflächen- und Kontrastmaßen. Für die Unterteilung in die Gebiete der Regionalforstämter sollten deshalb die Flächen außerhalb der Grenzen miteinbezogen werden bzw. bei der Interpretation der Detailkarten beachtet werden. Mittels der ATKIS-Datengrundlage könnten so auch Flächen außerhalb NRWs in den angrenzenden Bundesländern berücksichtigt werden. Hier ist es jedoch bei Grenzen zu Nachbarstaaten mit unterschiedlichen Daten Nomenklaturen deutlich schwieriger, geeignete Daten für die Berechnung und Bewertung der Schutzbedürftigkeit zu gewinnen.

Das Gesamtergebnis für die Berechnungen für ganz NRW, ohne die Unterteilung in die Regionalforstämter, zeigt ein sehr ähnliches Bild wie die zuvor erläuterte Berechnung auf Patchebene. Auch bei der City-Block-Norm sind hier die Werte für besonders schutzbedürftige Wälder mit 63,9 % sehr hoch (s. Abb. 23). Ein detaillierter Vergleich der Ergebniskarten zeigt, dass einzelne Wälder, die nun nicht durch die Grenze der Forstämter zerschnitten werden, sowohl höhere als auch niedrigere Schutzbedürftigkeit als zuvor aufweisen. Hier gilt es, zwischen den oben genannten Einschränkungen und dem Detaillierungsgrad der Datengrundlage bzw. des Grundlagenrasters abzuwägen.

Abbildung 23: Ergebnis der Gesamtbewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder auf Patchebene nach drei Szenarien für NRW ohne Unterteilung in Gebiete der Forstämter (eigene Berechnung u. Darstellung, Datengrundlage IT.NRW 2020a u. b)



## 6.2 Klassenebene

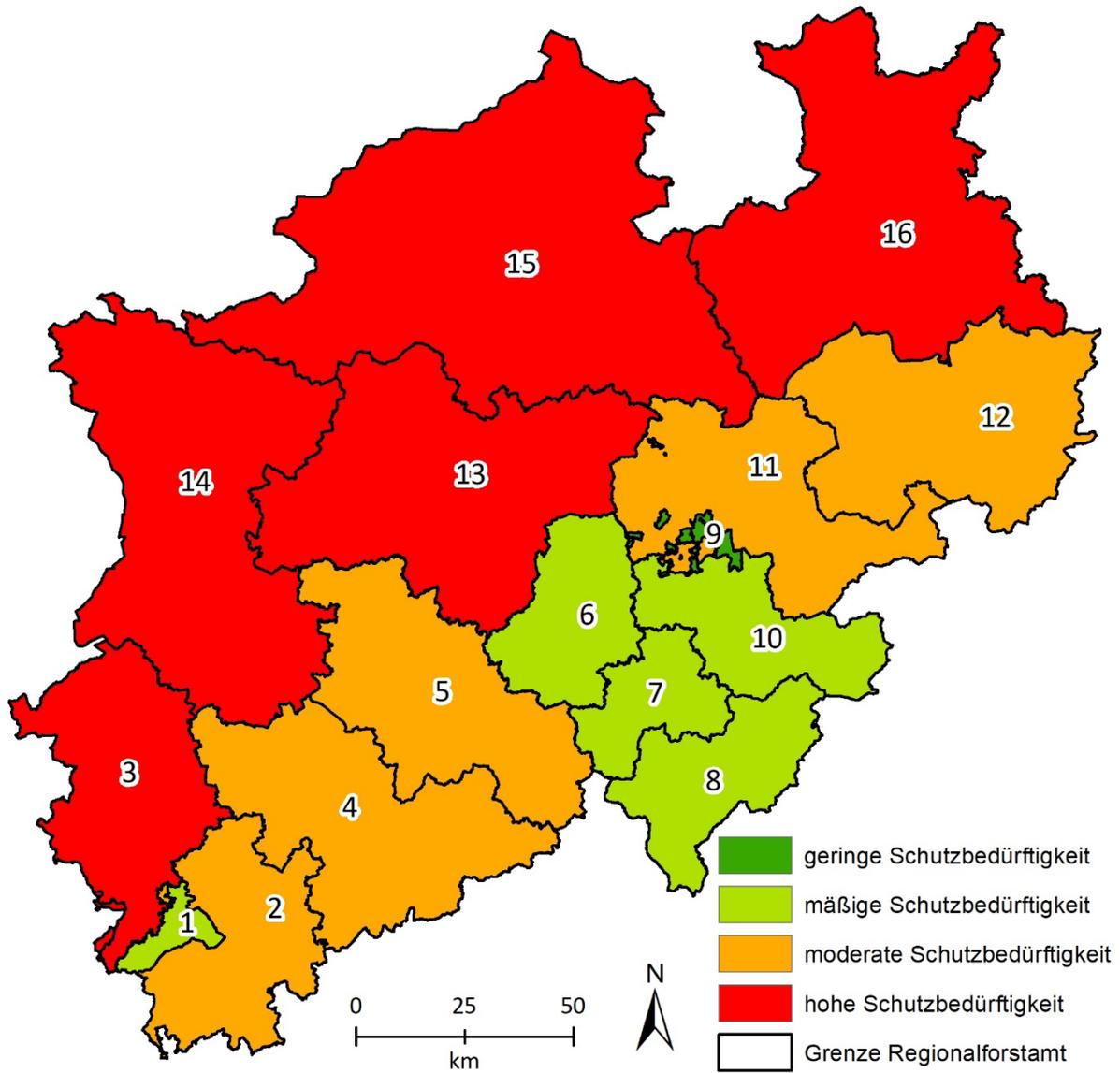
Auf Klassenebene sind insgesamt fünf Strukturmaße für die Bewertung der Schutzbedürftigkeit geeignet (s. Kap. 5.4.2). Wie zuvor auf Patchebene wurden auch hier Grenzwerte gebildet, die die unterschiedlichen Stufen der Schutzbedürftigkeit widerspiegeln (s. Tab. 21). Bei den Maßzahlen auf Klassenebene handelt es sich um relative Maße, die in gleiche Intervalle eingeteilt wurden. Besonders schützenswert sind Gebiete mit einem geringen Waldanteil und Gebiete, deren Waldflächen insgesamt geringe ungestörte Kernflächen aufweisen. Zudem sind Waldlandschaften, die von der kompakten Idealform abweichen und einen hohen Zerschneidungsgrad sowie hohe Randkontraste zu angrenzenden Nutzungen aufweisen, insgesamt schutzbedürftiger, um das Potenzial der Multifunktionalität zu erhalten. Die Ergebniskarten der Bewertung der räumlichen Strukturen der einzelnen Waldflächen werden im Folgenden nach den einzelnen Kriterien aufgeführt und erläutert. Anschließend wird, wie auf Patchebene, das Gesamtergebnis der Bewertung präsentiert.

*Tabelle 21: Eignungswerte für die Schutzbedürftigkeit der Wälder nach den Bewertungskriterien auf Klassenebene*

Kriterium	Strukturmaß	hohe Schutzbedürftigkeit ( $> 0,75 - 1$ )	moderate Schutzbedürftigkeit ( $> 0,5 - 0,75$ )	mäßige Schutzbedürftigkeit ( $> 0,25 - 0,5$ )	geringe Schutzbedürftigkeit ( $0 \leq 0,25$ )
Fläche	Anteil einer Klasse (PLAND)	$0 \leq 25 \%$	$> 25 - 50 \%$	$> 50 - 75 \%$	$>75 - 100 \%$
	Anteil der Kernfläche einer Klasse (CPLAND)	$0 \leq 25 \%$	$> 25 - 50 \%$	$> 50 - 75 \%$	$>75 - 100 \%$
Form	Flächengewichtete Umschreibende Kreisfläche (CIRCLE_AM)	$> 0,75 - 1$	$> 0,5 - 0,75$	$> 0,25 - 0,5$	$0 \leq 0,25$
Nachbarschaft	Zerschneidungsindex (DIVISION)	$> 0,75 - 1$	$> 0,5 - 0,75$	$> 0,25 - 0,5$	$0 \leq 0,25$
	Flächengewichtete Randkontrastdichte (CWED)	$> 40$	$> 25 - 40$	$> 10 - 25$	$0 \leq 10$

(eigene Darstellung)

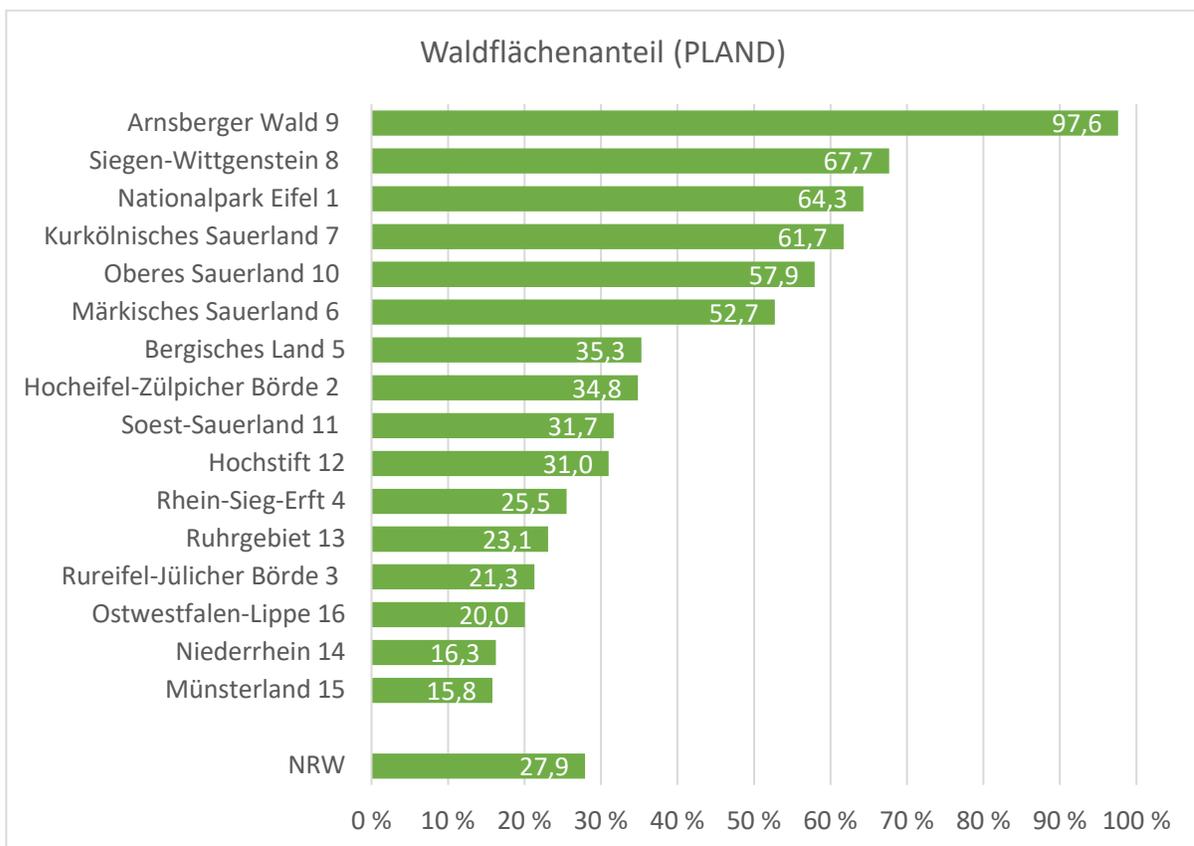
Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand des Waldflächenanteils (PLAND)



Karte 6: Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand des Waldflächenanteils (PLAND) (eigene Berechnung u. Darstellung, Datengrundlage IT.NRW 2020a u. b)

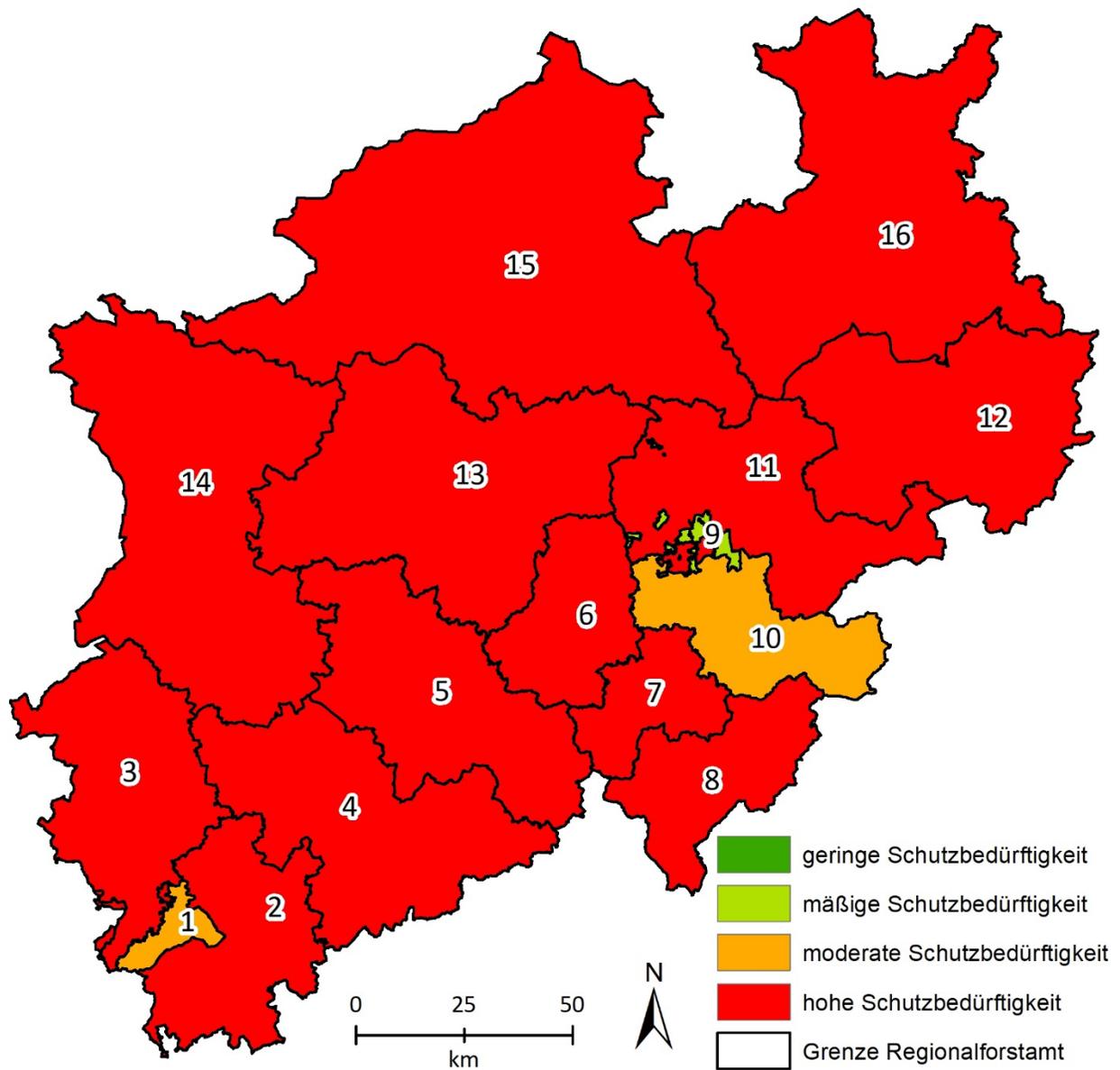
Zum Erhalt der Wälder und deren Multifunktionalität besteht besonderer Handlungsbedarf in waldarmen Gebieten (s. Kap. 2.2). Die Bewertung anhand des Waldflächenanteils zeigt, dass vor allem der nördliche Teil NRWs geringe Waldanteile aufweist (s. Karte 6). So fallen Ostwestfalen-Lippe (Nr. 16), der Niederrhein (Nr. 14) und das Münsterland (Nr. 15) unter die 20 %-Grenze für waldarme Gebiete (s. Abb. 24). In diesen Forstämtern gilt es, vorhandene Waldflächen zu erhalten und wo möglich auszubauen. Der Waldflächenanteil für gesamt NRW mit 27,9 % ist im Vergleich zu den einzelnen Forstämtern eher gering. Überdurchschnittlich waldreich sind der Nationalpark Eifel (Nr. 1) sowie das Sauer- und Siegerland (Nr. 6, 7, 8 u. 10). Der Arnsberger Wald (Nr. 9) hat den höchsten Waldanteil mit 97,6 %.

Abbildung 24: Waldflächenanteil (PLAND) der Regionalforstämter



(eigene Berechnung u. Darstellung)

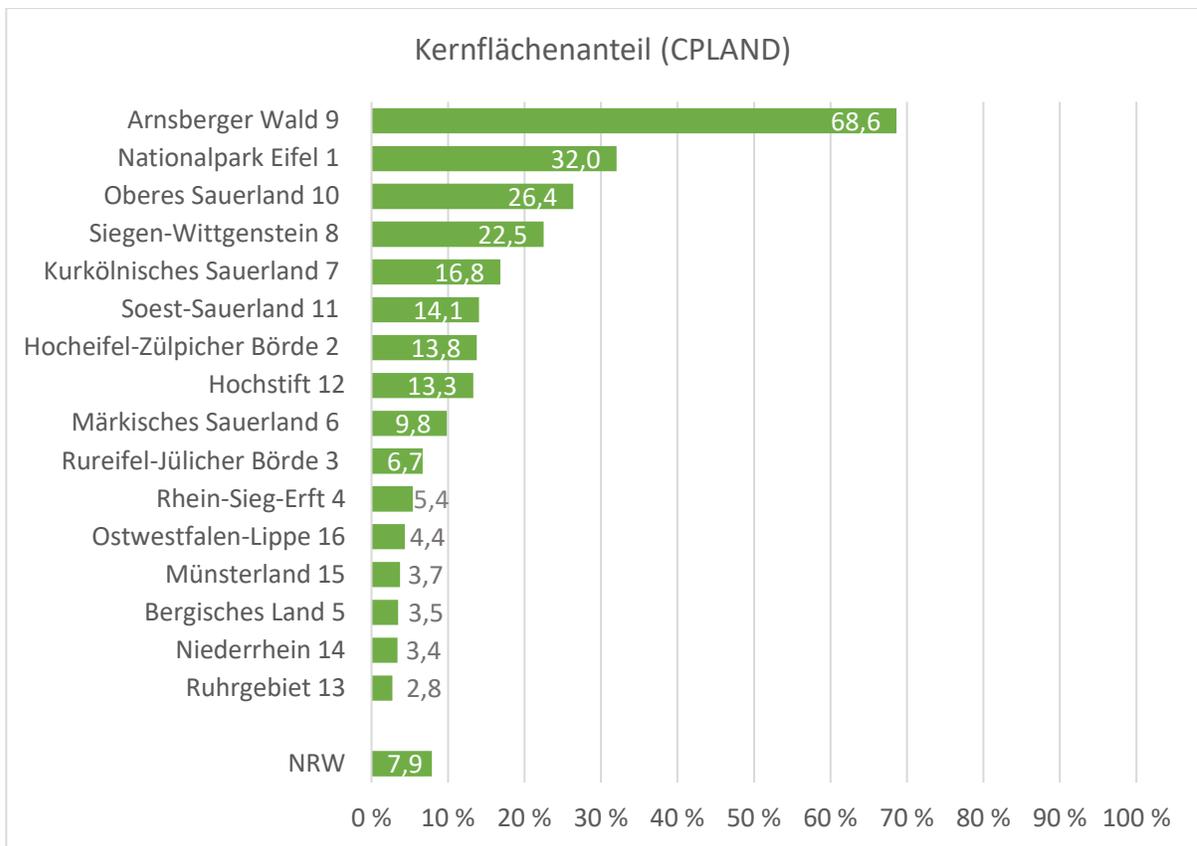
## Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand des Kernflächenanteils (CPLAND)



Karte 7: Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand des Kernflächenanteils (CPLAND) (eigene Berechnung u. Darstellung, Datengrundlage IT.NRW 2020a u. b)

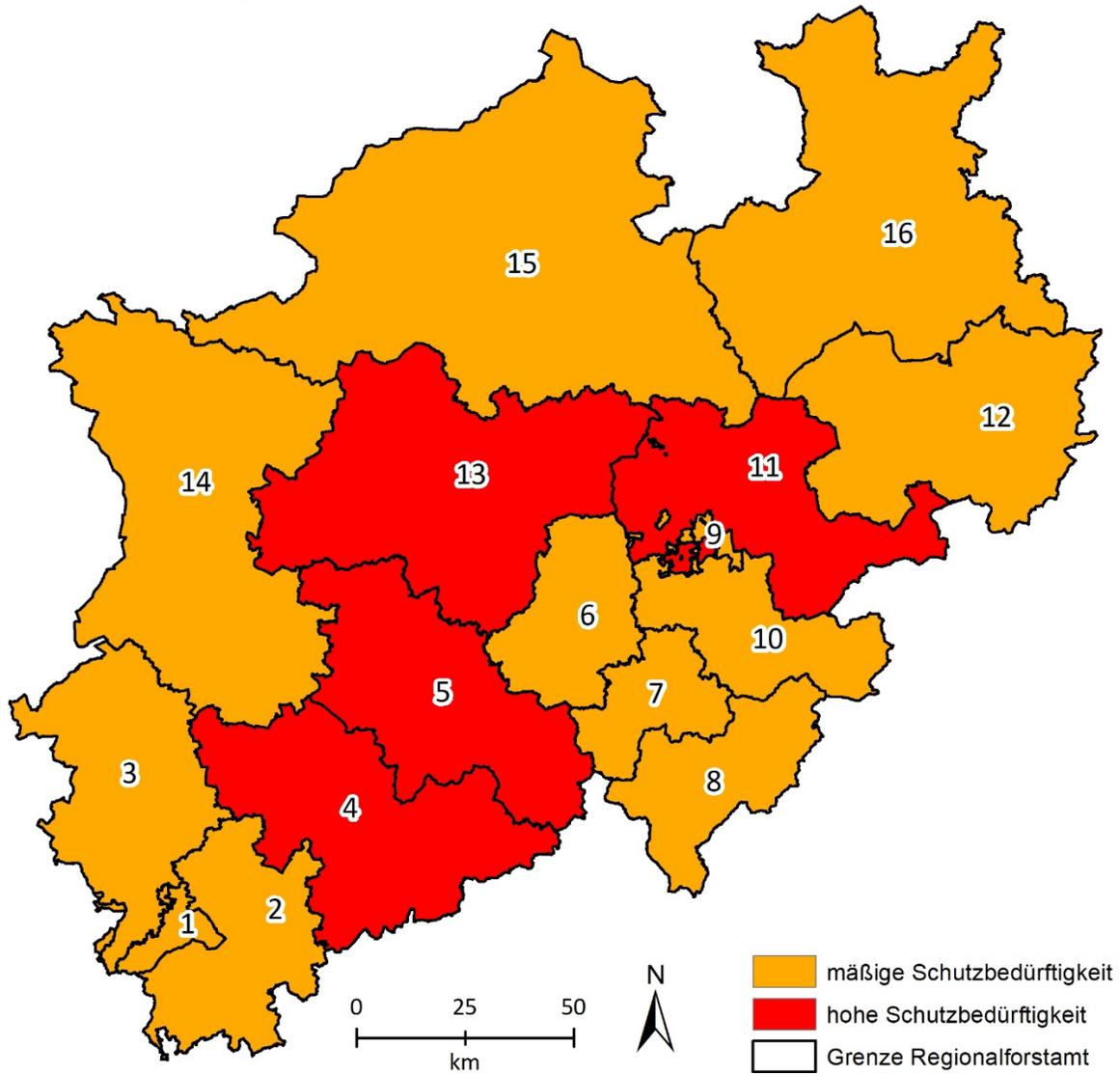
Unter Berücksichtigung der Randzonen wird deutlich, wie gravierend die Effekte der Verlärmung von bisher ungestörten Waldinnenbereichen sind. Nur der Arnberger Wald (Nr. 9) weist einen vergleichsweise hohen Kernflächenanteil von 68,6 % auf (s. Abb. 25). Der Nationalpark Eifel (Nr. 1) und das Obere Sauerland (Nr. 10) verfügen über große zusammenhängende Wälder (s. Kap. 6.1), die insgesamt nur moderat von den Randeffekten beeinträchtigt werden (s. Karte 7). Alle anderen Waldgebiete der Regionalforstämter sind stark durch Verlärmung beeinträchtigt. Dicht besiedelte Gebiete der Regionalforstämter mit einer hohen Straßendichte, wie das Ruhrgebiet (Nr. 13), der Niederrhein (Nr. 14) und das Bergische Land (Nr. 5), verzeichnen die größten Verluste von ungestörten Innenbereichen mit weniger als 3,5 % verbleibender Kernfläche an der gesamten Waldlandschaft (s. Abb. 25).

Abbildung 25: Kernflächenanteil (PLAND) der Regionalforstämter



(eigene Berechnung u. Darstellung)

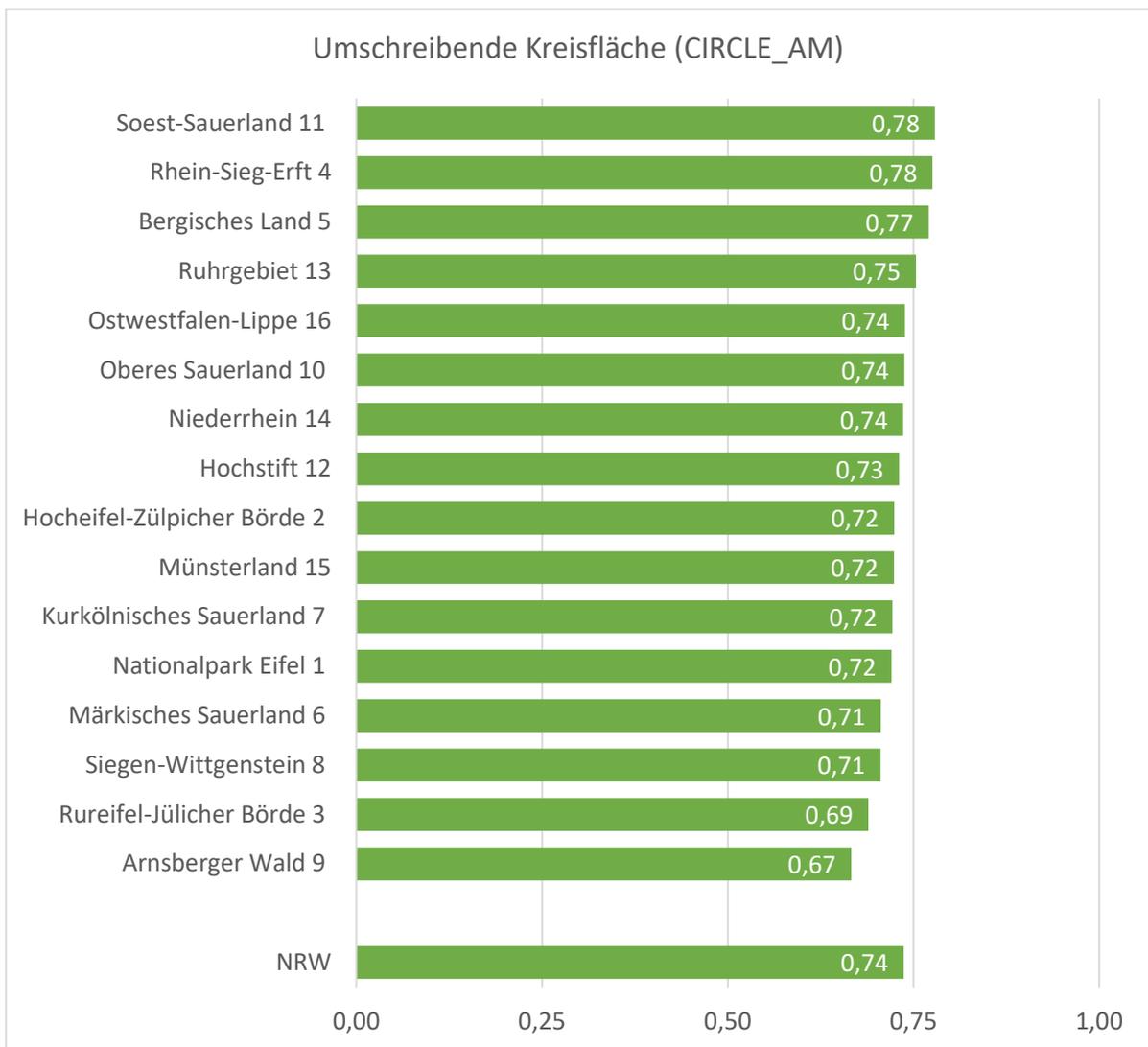
Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand  
der flächengewichteten umschreibenden Kreisfläche (CIRCLE\_AM)



*Karte 8: Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand der flächengewichteten umschreibenden Kreisfläche (CIRCLE\_AM) (eigene Berechnung u. Darstellung, Datengrundlage IT.NRW 2020a u. b)*

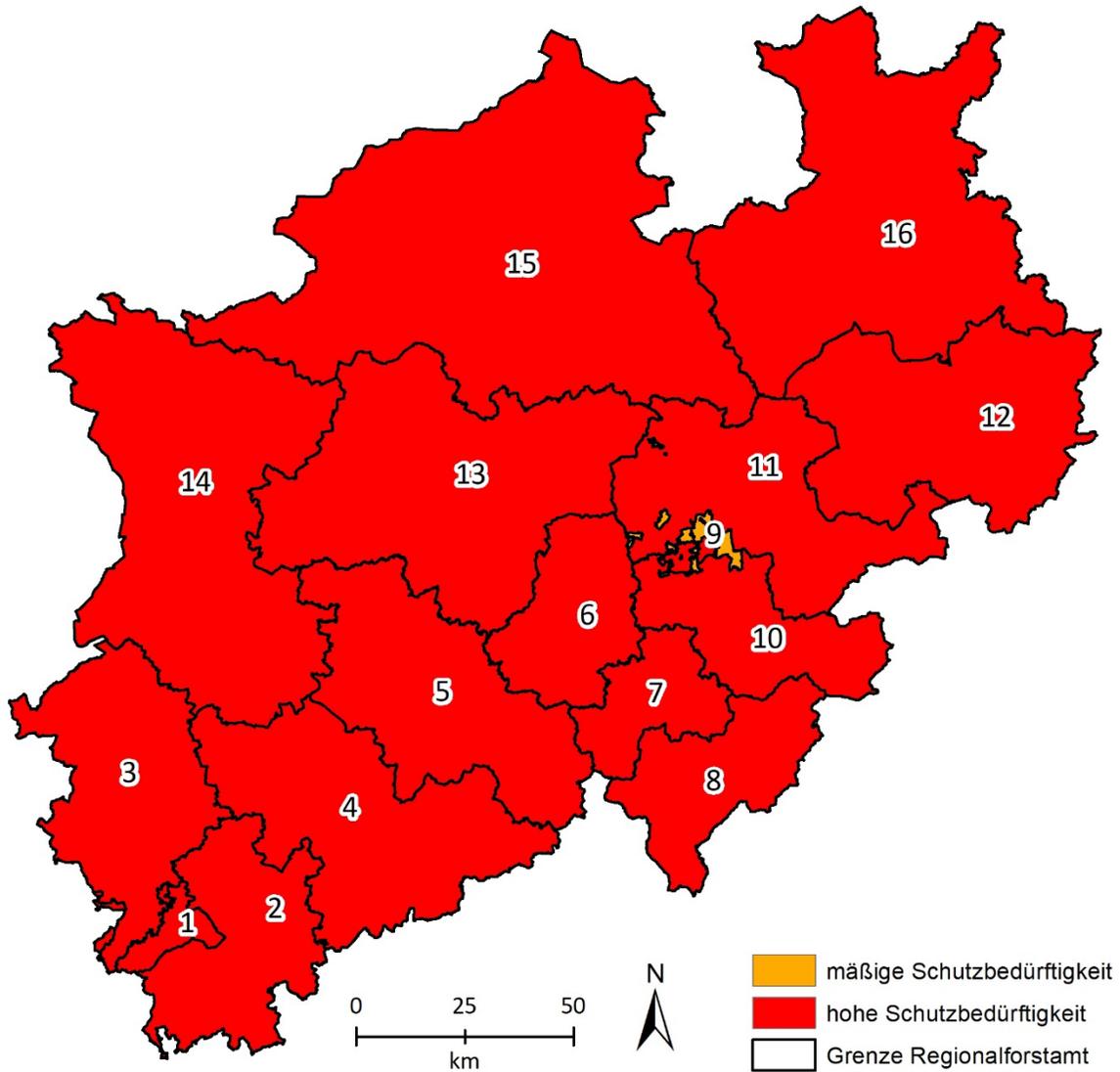
Schmale und langgestreckte Wälder weisen potenziell höhere Randzonen und geringere Habitatfläche im Vergleich zu kompakten Wäldern auf. Entlang von Straßen erfüllen schmale Waldflächen wichtige Ausgleichs- und Immissionschutzfunktionen und sind für die Gewährleistung der Funktionserfüllung besonders zu schützen. Die Waldlandschaft in fast allen Forstämtern weicht von der idealen kompakten Form stark ab (s. Karte 8). Eher naturbelassene große Waldlandschaften im Arnsberger Wald (Nr. 9) dem Sauer- und Siegerland (Nr. 6, 7, 8 u. 10) und dem Nationalpark Eifel (Nr. 1) weisen im Vergleich zu den anderen Forstämtern kompaktere Formen auf (s. Abb. 26). Der Großteil der Waldlandschaften ist jedoch aufgrund schmäler und länglicher Formen besonders schutzbedürftig, da weitere negative Veränderungen der Form zu einer weiteren Abnahme des Potenzials der Funktionserfüllung führen würde.

Abbildung 26: Umschreibende Kreisfläche (CIRCLE) der Regionalforstämter



(eigene Berechnung u. Darstellung)

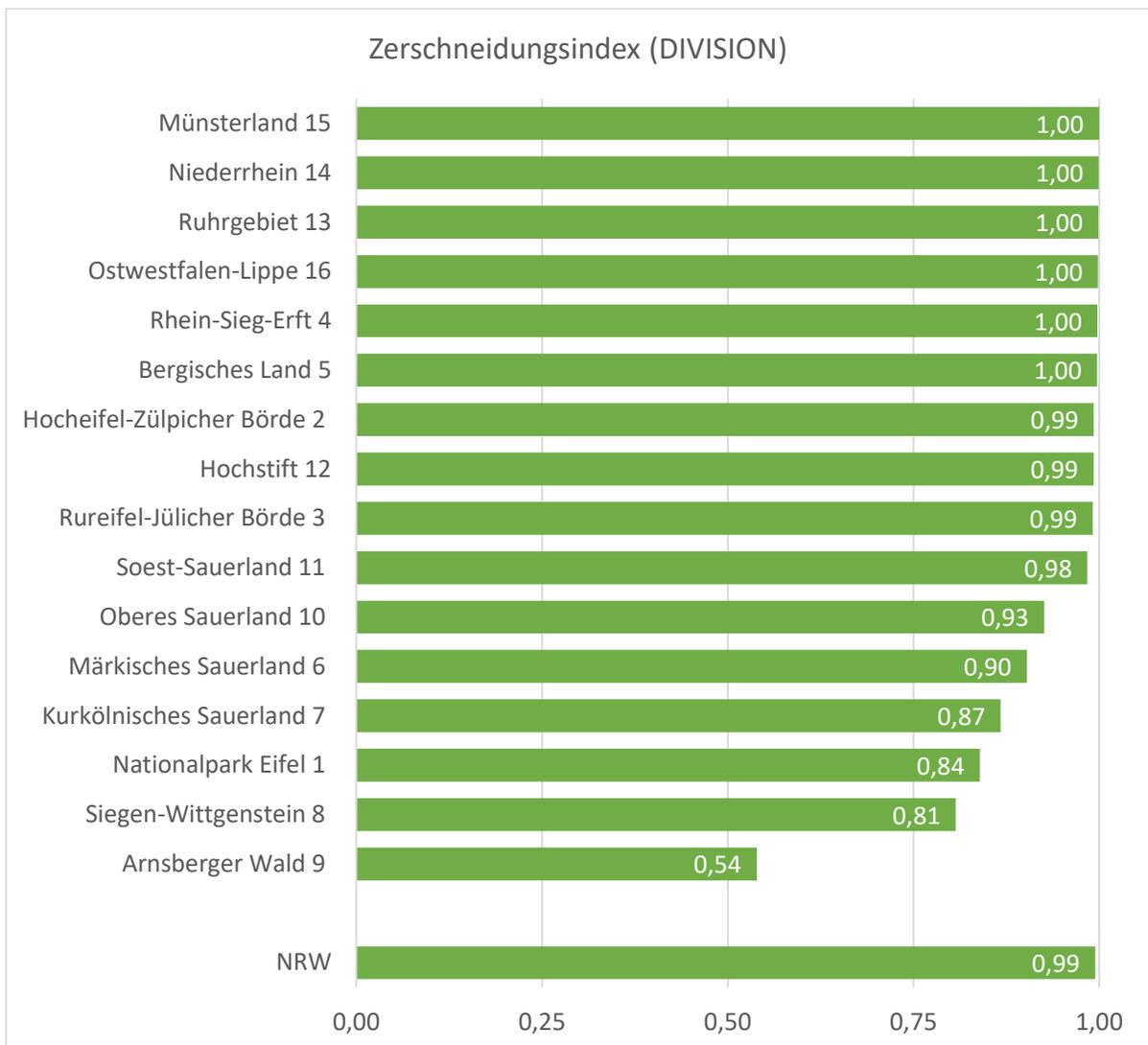
Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder  
anhand des Zerschneidungsindex (DIVISION)



*Karte 9: Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand des Zerschneidungsindex (DIVISION) (eigene Berechnung u. Darstellung, Datengrundlage IT.NRW 2020a u. b)*

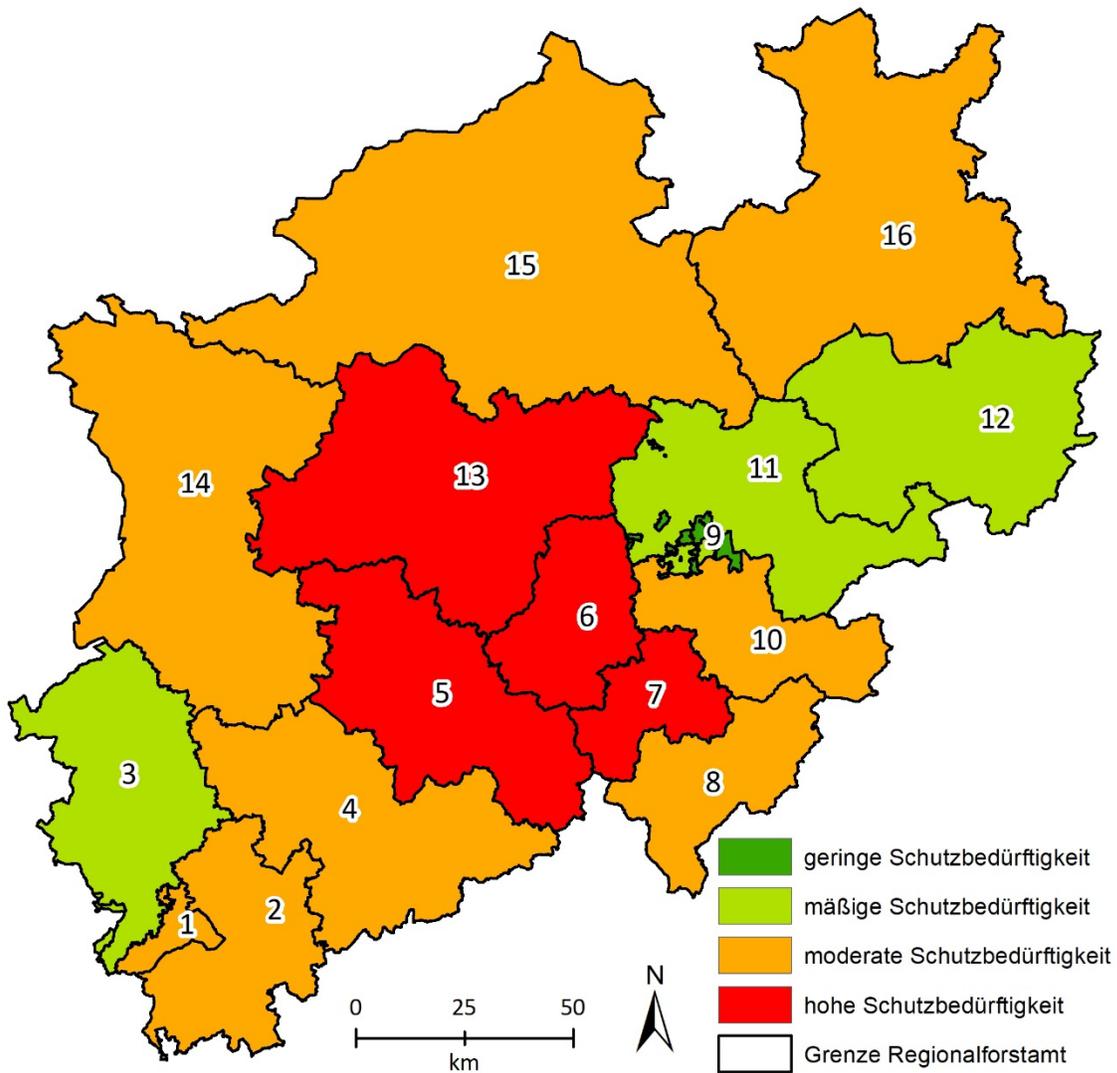
Große noch verbleibende Waldflächen stellen eine wichtige Ressource für den Naturhaushalt und die Gesellschaft dar. Ein hoher Zerschneidungsgrad geht einher mit einer Abnahme von Habitatflächen und Erholungsräumen. Eine weitere Zerschneidung der Wälder ist zu verhindern und die verbleibenden Restwaldflächen sind zu erhalten (s. Kap. 2.2.2). Karte 9 zeigt, dass alle Forstämter einen hohen Zerschneidungsgrad aufweisen. Der Anteil des Waldes am Forstamtsgebiet nimmt ab und die Wälder werden in kleinere Flächen unterteilt. NRW ist ein sehr dicht besiedeltes Bundesland mit einer hohen Verkehrsdichte und so weisen fast alle Forstämter höchste Zerschneidungswerte auf (s. Abb. 27).

Abbildung 27: Zerschneidungsindex (DIVISION) der Regionalforstämter



(eigene Berechnung u. Darstellung)

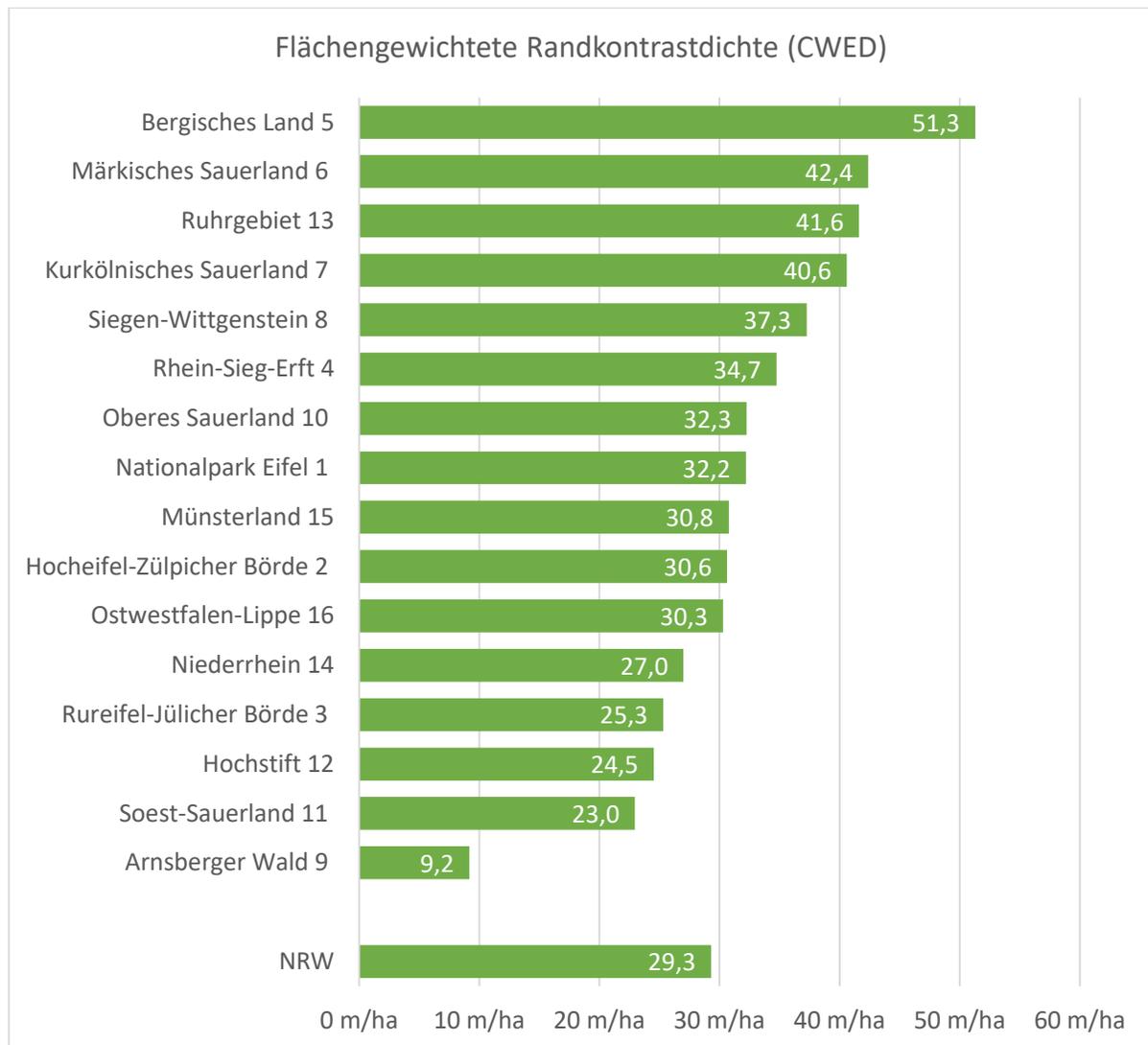
Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder  
anhand der flächengewichteten Randkontrastdichte (CWED)



Karte 10: Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand der flächengewichteten Randkontrastdichte (CWED) (eigene Berechnung u. Darstellung, Datengrundlage IT.NRW 2020a u. b)

Neben der Zerschneidung der Waldlandschaft gibt der Randkontrast Aufschluss über die direkte Nachbarschaft von Wäldern und potenzielle negative Einwirkungen. Karte 10 zeigt, dass nur der Arnsberger Wald (Nr. 9) geringe Kontrastwerte innerhalb der Waldlandschaft aufweist. Dies ist jedoch sicherlich darauf zurückzuführen, dass Nutzungen außerhalb der Grenze des Forstamtes nicht mitberücksichtigt werden (s. Kap. 5.3). Waldlandschaften mit zunehmender Waldrandlänge und/oder ansteigendem Randkontrast zu angrenzenden Nutzungen sind durch negative Randeffekte deutlich schwerer betroffen. Besonders Wälder im Ruhrgebiet (Nr. 13), im Bergischen Land (Nr. 5) und in Teilen des Sauerlands (Nr. 6 u. 7) sind von hohen Kontrasten zu angrenzenden Nutzungen geprägt (s. Abb. 28). Diese Waldlandschaften sind vor einer weiteren Zunahme der Randeffekte durch angrenzende Nutzungen zu schützen, um deren Multifunktionalität sicherstellen zu können.

*Abbildung 28: Flächengewichtete Randkontrastdichte (CWED) der Regionalforstämter*



(eigene Berechnung u. Darstellung)

### Gesamtbewertung der Fläche, Form und Nachbarschaft

Wie auf Patchebene wurden die einzelnen Strukturmaße gewichtet und in einer Gesamtbewertung zusammengeführt. Hierzu wurde auf die Expertenmeinungen zurückgegriffen und dem Kriterium der Fläche die höchste Wichtigkeit in ihrem Einfluss auf die Multifunktionalität zugesprochen (s. Kap. 6.1). Dabei wird der Kernflächenanteil zur Berücksichtigung der Randeffekte und der Verlärmung ungestörter Bereiche mit 42 % als wichtigstes Kriterium gewertet. Der Flächenanteil sowie der Zerschneidungsgrad haben großen Einfluss auf die Prozesse und die Funktionserfüllung von Wäldern (s. Kap. 2.2.2). Mit zunehmender Zerschneidung nimmt auch die Flächengröße ab, weswegen AREA und DIVISION ähnlich gewichtet wurden (s. Kap. 5). Die Form ist wie auf Patchebene von nachrangiger Bedeutung für die Bewertung der Schutzbedürftigkeit. Die letztendliche Kriteriengewichtung ist in Tabelle 22 aufgeführt.

*Tabelle 22: Kriteriengewichtung auf Klassenebene basierend auf dem paarweisen Vergleich nach Saaty 1990*

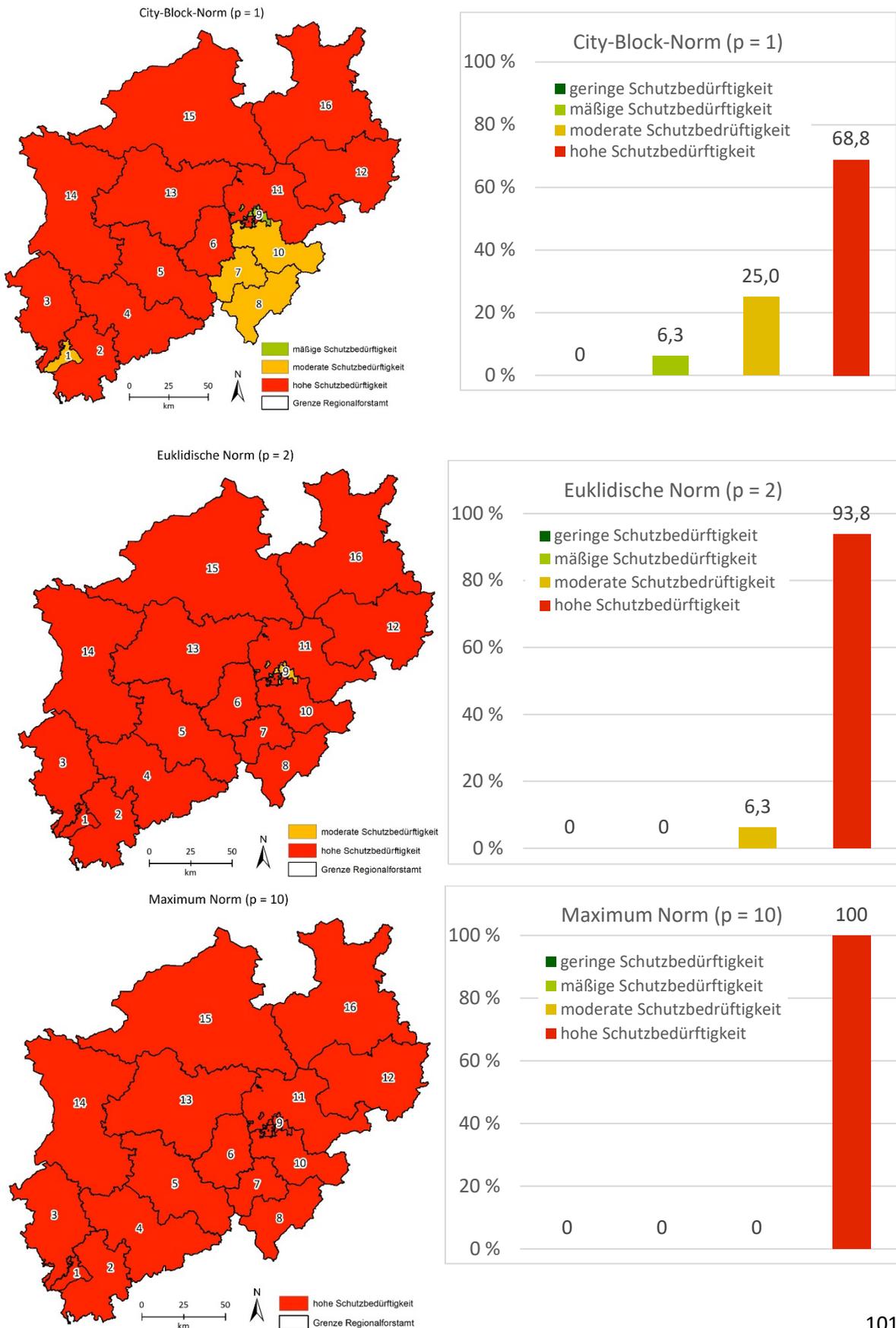
	PLAND	CPLAND	CIRCLE_AM	DIVISION	CWED	Gewichtung
PLAND	1	1/3	6	1	3	0,25
CPLAND	3	1	7	3	5	0,42
CIRCLE_AM	1/6	1/7	1	1/5	1/3	0,03
DIVISION	1	1/3	5	1	3	0,21
CWED	1/3	1/5	3	1/3	1	0,10
CR = 0,06						$\Sigma = 1$

(eigene Berechnung u. Darstellung)

Für die Überprüfung der Konsistenz der Gewichtung der Bewertungskriterien wurde für RI ein Wert von 1,11 zugrunde gelegt (vgl. Saaty 2008: 157; s. Kap. 2.3.3). Mit CR = 0,06 werden die Konsistenzanforderungen ( $CR < 0,1$ ) nach Saaty (1990) erfüllt. Die Bewertungskriterien für jede einzelne Waldfläche wurden aufsummiert, gewichtet und in einer Gesamtbewertung zusammengeführt. Eine hohe Schutzbedürftigkeit ergibt sich, wenn alle Indikatoren maximal vom Idealwert abweichen. So führen ein geringer Waldanteil sowie Kernflächenanteil in Kombination mit einem hohen Zerschneidungs- und Kontrastgrad zu einer Abnahme der potenziellen Funktionserfüllung der Wälder und somit zu einer erhöhten Schutzbedürftigkeit.

Wie zuvor auf Patchebene erweist sich die City-Block-Norm als geeignetstes Szenario für die Gesamtbewertung der Schutzbedürftigkeit. Geringe Flächen- und Kernflächenanteile sowie ein hoher Zerschneidungsgrad können so teilweise durch geringere Randkontraste und eine kompaktere Form der Waldlandschaft ausgeglichen werden. Bei der Euklidischen und Maximum Norm fallen die hohen Schutzbedürftigkeitswerte des Kriteriums Fläche sehr stark ins Gewicht. Dies führt zu einer Überschätzung der Schutzbedürftigkeit mit 93,8 % und 100 % hoher Schutzbedürftigkeit der Waldlandschaften in den Forstämtern NRW (s. Abb. 29).

Abbildung 29: Ergebnis der Gesamtbewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder auf Klassenebene nach drei Szenarien (eigene Berechnung u. Darstellung, Datengrundlage IT.NRW 2020a u. b)





## 7 Schlussfolgerung und weiterer Forschungsbedarf

Durch die Analyse der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand der räumlichen Struktur wurden geeignete Strukturmaße identifiziert, die als Beitrag zur Sicherung der Multifunktionalität der Wälder verwendet werden können. Die Integration der Strukturmaße in das entwickelte Bewertungsverfahren ermöglicht es Defizite im Waldzustand aufzuzeigen.

Die Umsetzbarkeit des Bewertungsverfahrens hängt dabei vom Vorhandensein geeigneter Strukturmaße als Bewertungskriterien ab. Obwohl es sich in dieser Arbeit nicht um ein vollständiges oder umfassendes Set von Strukturmaßen handelt, wurde das vorgestellte Set im Hinblick auf die Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder konzipiert. Dieses hat sich im Rahmen des entwickelten Bewertungsverfahrens bewährt. Die ausgewählten Maßzahlen sind unabhängig voneinander, obwohl einige Strukturmaße innerhalb der Hauptkriterien Fläche, Form und Nachbarschaft ähnliche Informationen vermitteln (s. Kap. 5.4). Dennoch bietet jedes einzelne Maß unterschiedliche Informationen, obwohl dieser Unterschied in einigen Fällen subtil ist. Das vorgestellte Set an Strukturmaßen ist nicht als abgeschlossene Liste zu verstehen, sondern kann und sollte einhergehend mit aktuellen Diskursen und Herausforderungen sowie wissenschaftlichen Erkenntnissen weiterentwickelt werden. Die ausgewählten und im Bewertungsverfahren implementierten Strukturmaße liefern einen ersten Baustein zur Berücksichtigung und Erfassung der räumlichen Struktur von Wäldern bei der Planung und Bewertung der Schutzbedürftigkeit zur Sicherstellung der Multifunktionalität von Wäldern.

Der Versuch, standardisierte Bewertungsmethoden zu entwickeln, ist trotz des Bedarfs der Vereinheitlichung und Reduzierung der Komplexität auch kritisch zu betrachten. Ökologische Phänomene können in Bewertungsverfahren immer nur unvollständig erfasst werden, da die Realität oftmals viel komplexer ist als ihre Abbildung. Daten und Ergebnisse benötigen immer auch eine Verifikation durch bspw. ortskundige Förster und Fachleute. So sind Daten, die in Form von Zahlenwerten als Ergebnis vorliegen, zum Teil schwer verständlich und ihre Auswertung benötigt eine gewisse Expertise. Eine grafische Aufbereitung der mehrdimensionalen Bewertung und Ergebnisse konnte hier zur Reduktion der Komplexität beitragen. Dadurch wird die Bewertung der Schutzbedürftigkeit der Wälder anhand der räumlichen Struktur greifbar und Problembereiche werden sichtbar (s. Kap. 6).

Die Analyse der technischen Aspekte hat gezeigt, dass man auf eine möglichst präzise und genaue Erfassung der räumlichen Gegebenheiten angewiesen ist. Die Bereitstellung von Daten in digitaler Form ist noch immer nicht ganz einfach. Das ATKIS Basis-DLM mit einer detaillierten Klassenunterteilung hat sich in diesem Fall als geeignete Datengrundlage erwiesen. ATKIS stellt eine deutschlandweite Datengrundlage dar, die eine objektspezifische

Zusammenstellung der Eingangsdaten zur Berechnung der Strukturmaße ermöglicht (s. Kap. 2.1.2). Somit könnte eine deutschlandweite Analyse der Schutzbedürftigkeit von Wäldern anhand der räumlichen Struktur durchgeführt werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass in Zukunft der Umfang und die Qualität digital verfügbarer Daten weiter zunehmen werden. So kann die Analyse mit einer noch besseren Aktualität der freiraumbezogenen Daten durchgeführt werden und zu realitätsnahen Ergebnissen führen.

Für die Verarbeitung der Daten und Berechnung der Strukturmaße in FRAGSTATS hat sich eine hohe Rasterauflösung von mindestens 15 m x 15 m als geeignet erwiesen, um die Wälder möglichst genau abbilden zu können (s. Kap. 5.3). Für Bezugseinheiten in der Größe der Regionalforstämter NRW ist eine solche Auflösung mit FRAGSTATS gut zu handhaben. Bei einer größeren Landschaft, wie gesamt NRW, stößt das Programm jedoch an seine Grenzen (s. Kap. 2.1.1 u. 5.3). Hier muss bei der Berechnung der Strukturmaße zwischen der Größe des Bezugsraums und der Rasterauflösung abgewogen werden. Für die Planung und forstpolitische Entscheidungen sind regionalisierte Aussagen, zugeschnitten auf die Regionalforstamtsregionen als administrative Grenzen, sinnvoll. Hier muss bei der Interpretation der Bewertungsergebnisse darauf geachtet werden, dass Waldflächen an den Grenzen abgeschnitten und Flächen außerhalb der Grenze nicht miteinbezogen werden. Weiterführend könnte dieser Effekt durch das Generieren von Landschaftsgrenzen, die angrenzende Flächen in einem festgelegten Buffer zur Grenze beinhalten, im Bewertungsverfahren berücksichtigt werden. Hierzu werden im Fall von NRW aber auch Daten aus angrenzenden Nachbarstaaten, wie den Niederlanden und Belgien, benötigt. Die Integration solcher Daten in das Bewertungsverfahren wird mangels einheitlicher Datengrundlage erschwert. Die europaweiten CORINE-Daten könnten hier verwendet werden, dabei müssen jedoch Abstriche in der Detaillierung der Datenklassifizierung in Kauf genommen werden. Durch Hinzunahme der Grenzbereiche könnte sich die Genauigkeit der Ergebnisse für die Strukturmaße und die Bewertung der Schutzbedürftigkeit erhöhen. Bei der Weiterentwicklung des Bewertungsverfahrens ist dies zu untersuchen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein möglichst objektives Bewertungsverfahren entwickelt, um Bemühungen zum Schutz der Wälder und ihre Multifunktionalität zu unterstützen. Es gilt bei Bewertungsverfahren jedoch zu berücksichtigen, dass jede Bewertung zu einem gewissen Grad immer subjektiv ist. Durch Hinzunahme von Expertenmeinungen zur Gewichtung der Bewertungskriterien (s. Kap. 6.1) kann die Objektivität des Verfahrens erhöht werden. Hier gilt es zur weiteren Verbesserung des Verfahrens die Expertenmeinungen mit weiteren zu vergleichen und zu ergänzen. Denn es hat sich gezeigt, dass sich die befragten Experten nicht vollständig einig waren, was die Gewichtung der Hauptkriterien angeht (s. Kap. 6.1). Zudem kam in der Analyse zum Ausdruck, dass die hohe Gewichtung der flächenbezogenen Kriterien das Gesamtergebnis stark beeinflusst. Durch den Vergleich von unterschiedlichen Gewichtungsvarianten könnte das Bewertungsverfahren zukünftig noch weiter optimiert und

untersucht werden, wie sich das Gesamtergebnis durch unterschiedliche Gewichtungen verändert. Hier ist zukünftig durch weitere Expertenmeinungen zu überprüfen, inwiefern die einzelnen Gewichtungen akkurat sind.

Bei der Verwendung der funktionellen Strukturmaße, die eine zusätzliche Parametrisierung erfordern, in diesem Fall der Ähnlichkeitsindex sowie Kernflächen- und Kontrastmaße, ist zudem zu beachten, dass Veränderungen der zu bestimmenden Parameter, wie dem Suchradius sowie den Rand- und Kontrasteffekten, zu anderen Ergebnissen führen können. Die gewählten Parameter, wie die Hemerobiestufen, die TA Lärm Grenzwerte und einem Suchradius von 5.000 m, haben hier plausible Ergebnisse geliefert. Die Auswahl der Parameter ist mit weiteren Untersuchungen und Experten abzugleichen. Es ist außerdem zu untersuchen, wie die Gesamtbewertung durch veränderte Parameter beeinflusst bzw. optimiert werden kann.

Zudem gilt es, durch die Anwendung des Bewertungsverfahrens auf weitere Landschaften mit unterschiedlichen Waldstrukturen zu überprüfen, ob NRWs Wälder wirklich so schutzbedürftig sind, wie in der City-Block-Norm in Kapitel 6.1 angenommen. NRW ist ein sehr dicht besiedeltes Bundesland mit einer hohen Verkehrsdichte und einer sehr heterogenen Waldlandschaft. Hier bietet sich ein Vergleich mit deutlich größeren und zusammenhängenden Waldlandschaften an, um die Praktikabilität und Plausibilität des Verfahrens sowie die Aussagekraft der Ergebnisse zu überprüfen. Darüber hinaus sollte man darauf achten, Landschaftsunterschiede im Hinblick auf die verwendeten Messskalen, die Messziele und die Gesamtgröße der betreffenden Wälder zu interpretieren. Während bspw. eine Differenz von zwei Einheiten auf einer Messskala von null bis zehn wichtig sein kann, kann die gleiche Differenz auf einer Skala von eins bis 100 nicht signifikant sein. Hier gilt es, die Einteilung in die generierten Stufen der Schutzbedürftigkeit (s. Kap. 6.1 u. 6.2) für die jeweiligen Kriterien durch die Anwendung des Bewertungsverfahrens auf unterschiedliche Landschaften zu überprüfen.

Darüber hinaus gilt es zu berücksichtigen, dass das entwickelte Bewertungsverfahren für die Erfassung der Schutzbedürftigkeit von Wäldern aufgrund der räumlichen Struktur zur Sicherung der Multifunktionalität der Wälder entwickelt wurde. So werden Problem- oder Gefährdungsbereiche der Waldlandschaft identifiziert, die aufgrund der räumlichen Struktur ihre Funktionen nicht mehr in vollem Maße erfüllen können. Diese sind besonders schützenswert, um das Potenzial der Multifunktionalität von Wäldern zu erhalten. Hierbei beschränkt sich das Verfahren auf die räumliche Struktur. Die Fläche, Form und Nachbarschaft als räumliche Gegebenheiten sind dabei aber nur ein Teilaspekt eines umfassenden Schutzes von Wäldern und deren Multifunktionalität. Das Bewertungsverfahren bietet hier die Möglichkeit, mittels der CP-Methode weitere Kriterien für den Prozess- und Funktionsschutz einzubeziehen und das Verfahren mit

unterschiedlichen Daten zu erweitern. Weitere Aspekte, wie die Baumartenzusammensetzung, die Bestockung, die Bodenverhältnisse und das Relief, sind ebenso ausschlaggebend für die Funktionserfüllung der Wälder und könnten in einer Erweiterung des vorgestellten Bewertungsverfahrens berücksichtigt werden, um so die Schutzwürdigkeit der Wälder noch umfassender bewerten zu können.

Die besprochenen Einschränkungen und Grenzen der Datengrundlage sowie der Bewertung anhand von Strukturmaßen verdeutlichen, dass das vorliegende Bewertungsverfahren einer weiteren Testung, Kalibrierung und Optimierung bedarf, bis es routinemäßig in der Praxis eingesetzt werden könnte. Es zeigt jedoch die Potenziale der Strukturmaße zur Erfassung der räumlichen Struktur von Wäldern und deren Einsatz in Bewertungsverfahren als Entscheidungshilfe für die forstliche Fachplanung auf. Die vorgeschlagene Methode kann als wissenschaftlicher Rahmen für forstpolitische Entscheidungen und Planung im Umgang mit Wäldern zum Schutz auf einer frühen Planungsphase und zur Sicherstellung einer nachhaltigen Waldentwicklung beitragen. Durch die Priorisierung von Flächen kann die räumliche Planung und somit die Entwicklung von Handlungsplänen und Maßnahmen unterstützt werden. Mit dieser Arbeit konnte somit ein Beitrag zur fortlaufenden Verfahrens- und Methodenentwicklung der forstlichen Fachplanung und zum Schutz der Wälder und deren vielfältigen Funktionen geleistet werden.



## 8 Quellenverzeichnis

- Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) 2008: Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok). Erläuterungen zum ATKIS Basis-DLM. 6.0. Auflage. Abgerufen von [https://www.ldbv.bayern.de/file/pdf/8480/Erlaeuterungen%20zum%20ATKIS%20Basis-DLM%206\\_0.pdf](https://www.ldbv.bayern.de/file/pdf/8480/Erlaeuterungen%20zum%20ATKIS%20Basis-DLM%206_0.pdf) (zugegriffen am 03.06.2020)
- Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) 2018: Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDOK). ATKIS-Katalogwerke. ATKIS-Objektartenkatalog Basis-DLM. Version 7.1 rc.1. Stand 31.07.2018. Abgerufen von <http://www.adv-online.de/icc/extdeu/nav/a63/binarywriterservlet?imgUid=9201016e-7efa-8461-e336-b6951fa2e0c9&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111> (zugegriffen am 03.06.2020)
- Baker, William L.; Cai, Yunming 1992: The r.le programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system. In: *Landscape Ecology*, Jg. 7, H. 4: 291–302
- Baskent, Emin Z.; Jordan, Glen A. 1995: Characterizing spatial structure of forest landscapes. In: *Canadian Journal of Forest Research*, Jg. 25, H. 11: 1830–1849.
- Bastian, Olaf 1997: Gedanken zur Bewertung von Landschaftsfunktionen - unter besonderer Berücksichtigung der Habitatfunktion. In: Toepfer, Alfred (Hg.): *Bewerten im Naturschutz*. NNA Berichte. Schneverdingen, 106–125
- Bezirksregierung Köln 2017: Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS): Digitale Landschaftsmodelle. Abgerufen von [https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk\\_internet/publikationen/abteilung07/pub\\_geobasis\\_atkis.pdf](https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/publikationen/abteilung07/pub_geobasis_atkis.pdf) (zugegriffen am 03.06.2020)
- Bezirksregierung Köln 2020: Geobasis NRW. Digitales Landschaftsmodell 50. Abgerufen von [https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk\\_internet/geobasis/landschaftsmodelle/dlm\\_50/index.html](https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/landschaftsmodelle/dlm_50/index.html) (zugegriffen am 03.06.2020)
- Blaschke, Thomas 2000: Die Vernetzung von Landschaftselementen: Die Rolle von GIS in der Landschaftsplanung. In: *Geo-Informationen-Systeme*, Jg. 13, H. 6: 17–26
- Blume, H.-P.; Sukopp, H. 1976: Ökologische Bedeutung anthropogener Bodenveränderungen. – *Schriftenreihe für Vegetationskunde*, H. 10: 75–89.
- Botequilha Leitão, André; Ahern, Jack 2002: Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. In: *Landscape and Urban Planning*, Jg. 59, H. 2: 65–93
- Brunelli, Matteo 2015: *Introduction to the analytic hierarchy process*. Cham, s.l.: Springer International Publishing
- Bühl, Achim 2016: *SPSS 23: Einführung in die moderne Datenanalyse*. 15., aktualisierte Auflage. Hallbergmoos: Pearson Deutschland GmbH
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) 2017: INSPIRE - Grenzen aufheben mit INSPIRE. Geodaten aus ganz Europa nutzen. Frankfurt am Main. Abgerufen von [https://www.gdi-de.org/SharedDocs/Downloads/DE/GDI-DE/Flyer-Broschueren/InfoFlyer-INSPIRE.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.gdi-de.org/SharedDocs/Downloads/DE/GDI-DE/Flyer-Broschueren/InfoFlyer-INSPIRE.pdf?__blob=publicationFile) (zugegriffen am 03.06.2020)
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) 2019a: GDI-DE, Geodateninfrastruktur Deutschland: Auftrag GDI-DE. Abgerufen von [https://www.gdi-de.org/DE/GDI-DE/Organisation/Auftrag\\_GDI-DE/auftrag\\_gdi\\_de.html%3bjsessionid=E815FE2C18A1FC002C0EF6DE78DEBF49?lang=de](https://www.gdi-de.org/DE/GDI-DE/Organisation/Auftrag_GDI-DE/auftrag_gdi_de.html%3bjsessionid=E815FE2C18A1FC002C0EF6DE78DEBF49?lang=de) (zugegriffen am 02.06.2020)
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) 2019b: Vektordaten Deutschland - Digitale Landschaftsmodelle. Abgerufen von [https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/digitale-landschaftsmodelle.html?\\_\\_store=default](https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/digitale-landschaftsmodelle.html?__store=default) (zugegriffen am 02.06.2020)
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) 2019c: Digitales Landabdeckungsmodell für Deutschland, Stand 2018 (LBM-DE2018). Abgerufen von <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/digitale->

- landschaftsmodelle/digitales-landbedeckungsmodell-fur-deutschland-stand-2018-lbm-de2018.html  
(zugegriffen am 23.06.2020)
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) 2020: Dokumentation Digitales Basis-Landschaftsmodell. Basis-DLM. Frankfurt am Main. Abgerufen von [https://sg.geodatenzentrum.de/web\\_public/gdz/dokumentation/deu/basis-dlm.pdf](https://sg.geodatenzentrum.de/web_public/gdz/dokumentation/deu/basis-dlm.pdf) (zugegriffen am 03.06.2020)
- Bundesamt für Naturschutz (BfN) 2002: Nachhaltige Forstwirtschaft in Deutschland im Spiegel des ganzheitlichen Ansatzes der Biodiversitätskonvention. Bundesamt für Naturschutz (BfN) - Skripten 62. Bonn: Bundesamt für Naturschutz (BfN)
- Bundesamt für Naturschutz (BfN) 2016: Daten zur Natur 2016. Bonn: Bundesamt für Naturschutz (BfN)
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) 2014: Der Wald in Deutschland – ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Berlin
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) 2016: Forstliches Umweltmonitoring in Deutschland: Durchführungskonzept Forstliches Umweltmonitoring. Berlin
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) 2017: Waldbericht der Bundesregierung 2017 - Kurzfassung. Berlin
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) 2003: Nationales Waldprogramm Deutschland, 2. Phase, Vom Nationalen Forstprogramm zum Nationalen Waldprogramm. Bonn
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) 2011: Waldstrategie 2020: Nachhaltige Waldbewirtschaftung - eine gesellschaftliche Chance und Herausforderung. Bonn
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2020: Struktur der Flächennutzung. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/struktur-der-flaechennutzung#die-wichtigsten-flaechennutzungen> (zuletzt aktualisiert am 05.06.2019, zugegriffen am 06.06.2020)
- Burkhardt, Rüdiger; Baier, Hermann; Bendzko, Udo 2004: Empfehlungen zur Umsetzung des § 3 BNatSchG "Biotopverbund": Ergebnisse des Arbeitskreises "Länderübergreifender Biotopverbund" der Länderfachbehörden mit dem BfN. Naturschutz und biologische Vielfalt, Bd. 2. Bonn-Bad Godesberg
- Copernicus - Europe's eyes on Earth 2020: CORINE Land Cover: Land Monitoring Service. Abgerufen von <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (zuletzt aktualisiert am 23.06.2020, zugegriffen am 23.06.2020)
- Dale, Virginia H.; Brown, Sandra; Haeuber, Richard A.; Hobbs, N. T.; Huntly, N.; Naiman, R. J.; Riebsame, W. E.; Turner, Monica G.; Valone, Thomas J. 2000: Ecological Principles and Guidelines for Managing the Use of Land. In: Ecological Applications, Jg. 10, H. 3: 639–670
- Dramstad, Wenche E. 2009: Spatial metrics – useful indicators for society or mainly fun tools for landscape ecologists? In: Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography, Jg. 63, H. 4: 246–254
- Environmental Systems Research Institute (Esri) 2016: ArcMap. Geographische Datenformate. Abgerufen von <https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/manage-data/datatypes/about-geographic-data-formats.htm> (zugegriffen am 02.06.2020)
- Esswein, Heide 2007: Der Landschaftszerschneidungsgrad als Indikator für Biodiversität? In: Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Hg.): Treffpunkt Biologische Vielfalt VII: Interdisziplinärer Forschungsaustausch im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt. Bundesamt für Naturschutz (BfN) - Skripten 207, 157–164
- Europäische Kommission 2010: Grünbuch: Waldschutz und Waldinformation: Vorbereitung der Wälder auf den Klimawandel. Brüssel
- Gläser, Jochen; Laudel, Grit 2010: Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen. Lehrbuch. 4. Auflage. Wiesbaden: Springer VS

- Götzl Martin; Schwaiger, Elisabeth; Schwarzl, Bernhard; Sonderegger, Gabriele 2015: Ökosystemleistungen des Waldes: Erstellung eines Inventars für Österreich. Wien: Umweltbundesamt Österreich
- Gustafson, Eric J.; Parker, George R. 1992: Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. In: *Landscape Ecology*, Jg. 7, H. 2: 101–110
- Hänel, Kersten 2007: Methodische Grundlagen zur Bewahrung und Wiederherstellung großräumig funktionsfähiger ökologischer Beziehungen in der räumlichen Umweltplanung: Lebensraumnetzwerke für Deutschland. Dissertation. Kassel
- IT.NRW 2020a „Datenlizenz Deutschland – Zero – Version 2.0“, Lizenztext unter <https://www.govdata.de/dl-de/zero-2-0>, Datensatz Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM) <https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geobasis/lm/basis-dlm/>
- IT.NRW 2020b „Datenlizenz Deutschland – Zero – Version 2.0“, Lizenztext unter <https://www.govdata.de/dl-de/zero-2-0>, Datensatz Forstamtsgrenzen in NRW [https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/umwelt\\_klima/wald\\_forst/wald/](https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/umwelt_klima/wald_forst/wald/)
- Jaeger, Jochen A. G. 2000: Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. In: *Landscape Ecology*, Jg. 15, H. 2: 115–130
- Jay, Marion; Selter, Andy; Wurster, Matthias; Schraml, Ulrich 2016: Urbaner Wald, urbane Lebensqualität. Die vielfältigen Ökosystemleistungen urbaner Wälder sichtbar machen: Ein Handlungsleitfaden. Arbeitsbericht 01/2016: Professur für Forst- und Umweltpolitik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
- Kaiser, Robert 2014: Qualitative Experteninterviews: Konzeptionelle Grundlagen und praktische Durchführung. Lehrbuch. Wiesbaden: Springer VS
- Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen (NRW) 2018a: Waldfunktionen Nordrhein-Westfalen: Grundsätze und Verfahren zur Ermittlung der Waldfunktionen. Münster
- Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen (NRW) 2018b: Forstlicher Fachbeitrag für die Fortschreibung des Regionalplanes der Bezirksregierung Köln. Münster
- Lang, Stefan; Blaschke, Thomas 2007: Landschaftsanalyse mit GIS. UTB Geowissenschaften, Biologie, Ökologie, Agrar- und Forstwissenschaften, Bd. 8347. 1. Aufl. Stuttgart: Ulmer
- Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) 2018: Monitor der Siedlungs- und Freiraumentwicklung (IÖR-Monitor): Flächenschema. Abgerufen von [https://www.ioer-monitor.de/fileadmin/user\\_upload/monitor/DFNS/2011\\_3\\_DFNS/Buchbeitraege/IOER\\_Schrift\\_58\\_DFNS\\_III\\_S\\_163-170\\_PDFA.pdf](https://www.ioer-monitor.de/fileadmin/user_upload/monitor/DFNS/2011_3_DFNS/Buchbeitraege/IOER_Schrift_58_DFNS_III_S_163-170_PDFA.pdf) (zugegriffen am 23.06.2020)
- Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) 2019: Monitor der Siedlungs- und Freiraumentwicklung IÖR-Monitor: Anteil Wald- und Gehölzflächen an Gebietsfläche (2019). Abgerufen von [https://monitor.ioer.de/?raeumliche\\_gliederung=gebiete&opacity=0.8&zoom=6&lat=51.33061163769853&lng=10.458984375000002&glattung=0&ind=F07RG&baselayer=topplus&time=2019&raumgl=g50&klassenanzahl=7&klassifizierung=haeufigkeit&darstellung=auto&ags\\_array=&](https://monitor.ioer.de/?raeumliche_gliederung=gebiete&opacity=0.8&zoom=6&lat=51.33061163769853&lng=10.458984375000002&glattung=0&ind=F07RG&baselayer=topplus&time=2019&raumgl=g50&klassenanzahl=7&klassifizierung=haeufigkeit&darstellung=auto&ags_array=&) (zugegriffen am 28.02.2020)
- León, C. D. 2005: Umweltindikatoren: Schlüssel zu einer nachhaltigen Entwicklung? In: Ahlheim, Michael; Böcker, Reinhard (Hg.): Umweltindikatoren - Mythos oder Wirklichkeit? Was wissen wir wirklich über unsere Umwelt? Dokumentation der 35. Hohenheimer Umwelttagung - gemeinsam ausgerichtet von der Universität Hohenheim, Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie, und der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg - vom 30. Januar 2004 in Stuttgart-Hohenheim. Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg, Bd. 39. Stuttgart: Wiss. Verl.-Ges, 45–62
- Mandelbrot, Benoit B. 1984: The Fractal Geometry of Nature. In: *The American Mathematical Monthly*, Jg. 91, H. 9: 594
- Marks, Robert 1989: Die ökologische Karte 1:25.000 und die Bewertungsanleitung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes - wissenschaftliche und praktische Probleme. In: Marks, Robert; Müller, Manfred J.; Leser, Hartmut; Klink, Hans-Jürgen (Hg.): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes: (BA LVL). Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 229. Trier, 19–46

- McGarigal, Kevin; Marks, Barbara 1995: FRAGSTATS v2: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Abgerufen von <https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html> (zugegriffen am 04.02.2020)
- McGarigal, Kevin 2000: UMass Landscape Ecology Lab: FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Abgerufen von [https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/faq/fragstats\\_faq.html#Q6](https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/faq/fragstats_faq.html#Q6) (zugegriffen am 26.06.2020)
- McGarigal, Kevin; Cushman, Sam; Ene, Eduard 2012: FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Abgerufen von <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html> (zugegriffen am 04.02.2020)
- McGarigal, Kevin 2015: FRAGSTATS Help. Amherst: University of Massachusetts
- Mieg, Harald A.; Brunner, Beate 2001: Experteninterviews: eine Einführung und Anleitung. ETH Zürich. Abgerufen von <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/145320> (zugegriffen am 08.02.2020)
- Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (MLUL BB) 2018: Kartierung der Waldfunktionen im Land Brandenburg: Anleitung. Potsdam
- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MULNV NRW) 2020: Naturschutz - Forstverwaltung. Abgerufen von <https://www.umwelt.nrw.de/naturschutz/wer-macht-was/forstverwaltung/> (zugegriffen am 23.06.2020)
- Oehmichen, Katja; Köhl, Michael 2006: Weiterentwicklung von Indikatoren zur Erfassung der Fragmentierung von Wäldern unter Berücksichtigung der Datenverfügbarkeit: Arbeitsbericht des Instituts für Weltforstwirtschaft 2006/2. Hamburg: Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft
- Plachter, Harald 1989: Zur biologischen Schnellansprache und Bewertung von Gebieten. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, Nr. 29. Bonn-Bad Godesberg, 107-135
- Plachter, Harald 1992: Grundzüge der naturschutzfachlichen Bewertung. Veröffentlichungen Naturschutz und Landschaftspflege Baden-Württemberg. Karlsruhe, 9-48
- Projektgruppe Waldfunktionenkartierung der AG Forsteinrichtung 2015: Leitfaden für Kartierung der Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes: Waldfunktionskartierung (WFK). Freiburg
- Riedel, Thomas; Hennig, Petra; Kroiher, Franz; Polley, Heino; Schmitz, Friedrich; Schwitzgebel, Frank 2017: Die dritte Bundeswaldinventur. BWI 2012. Inventur- und Auswertungsmethoden. Abgerufen von [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ForstlichesUmweltmonitoring.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ForstlichesUmweltmonitoring.pdf?__blob=publicationFile&v=4) (zugegriffen am 01.01.2020)
- Riss, Wulf 1988: Konzepte zum Biotopverbund im Arten- und Biotopschutzprogramm Bayern. In: Schreiner, Johann (Hg.): Biotopverbund in der Landschaft: Symposium, 3.-5. November 1986 in Laufen a.d. Salzach. Laufener Seminarbeiträge, Bd. 86,10. Laufen/Salzach, 102–115
- Roth, Mechthild; Waterstraat, Arno; Klenke, Reinhard 2006: Ökologische und evolutionsbiologische Wirkungen der Segmentierung in Landschaften und der Zerschneidung in Habitaten. In: Baier, Hermann; Klenke, Reinhard (Hg.): Freiraum und Naturschutz: Die Wirkungen von Störungen und Zerschneidungen in der Landschaft. Berlin: Springer, 143–150
- Saaty, Thomas L. 1990: How to make a decision: The analytic hierarchy process. In: European Journal of Operational Research, Jg. 48, H. 1: 9–26
- Saaty, Thomas L. 2006: Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process, Bd. vol. 6. 2. ed., 2. pr. Pittsburgh: RWS Publ
- Saaty, Thomas L. 2008: Decision making with the analytic hierarchy process. In: International Journal of Services Sciences, Jg. 1, H. 1: 83–98
- Saaty, Thomas L.; Peniwati, Kirti 2008: Group decision making: Drawing out and reconciling differences: Drawing out and reconciling differences. Pittsburgh: RWS Publications
- Schaefer, Mathias; Thinh, Nguyen Xuan 2019: Evaluation of Land Cover Change and Agricultural Protection Sites: A GIS and Remote Sensing Approach for Ho Chi Minh City, Vietnam. In: Heliyon, Jg. 5, H. 5

- Spieß, Florian; Thinh, Nguyen Xuan; Wieland, Ralf 2015: Multikriterielle Fuzzy-Bewertung der Eignung von Standorten für die Wohnbebauung am Beispiel der Stadt Dortmund. In: Thinh, Nguyen Xuan (Hg.): *Modelling and simulation of ecosystems: Workshop KÖlpinsee 2014*. Berlin: Rhombos-Verlag, 155–170
- Stein, Christian 2011: *Hemerobie als Indikator zur Landschaftsbewertung - eine GIS-gestützte Analyse für den Freistaat Sachsen*. Philipps Universität Marburg, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung
- Turner, Monica G. 1989: *Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process*. In: *Annual Review of Ecology and Systematics*, Jg. 20, H. 1: 171–197
- Umweltbundesamt (UBA) 2008: *Der "gute ökologische Zustand" naturnaher terrestrische Ökosysteme - ein Indikator für Biodiversität? Tagungsband zum Workshop in Dessau 19./20.09.2007*. Dessau-Roßlau
- Umweltbundesamt (UBA) 2015: *Durch Umweltschutz die biologische Vielfalt erhalten*. Ein Themenheft des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau
- Umweltbundesamt (UBA) 2019: *CORINE Land Cover - CLC: Europaweit harmonisierte Landbedeckungs- und Landnutzungsdaten*. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/flaechensparen-boeden-landschaften-erhalten/corine-land-cover-clc> (zuletzt aktualisiert am 17.05.2019, zugegriffen am 03.06.2020)
- Uuemaa, Evelin; Antrop, Marc; Roosaare, Jüri; Marja, Riho; Mander, Ülo 2009: *Landscape Metrics and Indices: An Overview of Their Use in Landscape Research*. In: *Living Reviews in Landscape Research*, Jg. 3, H. 1: 1–28
- Walz, Ulrich; Schauer, Peter 2009: *Unzerschnittene Freiräume als Schutzgut? Landschaftszerschneidung in Deutschland mit besonderem Fokus auf Sachsen*. In: Siedentop, Stefan; Egermann, Markus (Hg.): *Freiraumschutz und Freiraumentwicklung durch Raumordnungsplanung: Bilanz, aktuelle Herausforderungen und methodisch-instrumentelle Perspektiven*. Arbeitsmaterial der ARL, Bd. 349. Hannover: Verl. der ARL, 46–70
- Walz, Ulrich; Krüger, Tobias; Schumacher, Ulrich 2011: *Landschaftszerschneidung und Waldfragmentierung - Neue Indikatoren des IÖR-Monitors*. In: Meinel, Gotthard; Schumacher, Ulrich (Hg.): *Flächennutzungsmonitoring III: Erhebung - Analyse - Bewertung*. IÖR-Schriften, Bd. 58. Berlin: Rhombos, 163–170
- Walz, Ulrich 2012: *Landschaftsstrukturmaße und Indikatorensysteme zur Erfassung und Bewertung des Landschaftswandels und seiner Umweltauswirkungen - unter besonderer Berücksichtigung der biologischen Vielfalt*. Habilitation. Rostock
- Walz, Ulrich; Krüger, Tobias; Schumacher, Ulrich 2013: *Fragmentierung von Wäldern in Deutschland - neue Indikatoren zur Flächennutzung*. In: *Natur und Landschaft*, Jg. 88, H. 3: 118–127
- Walz, Ulrich; Stein, Christian 2017: *Indikatoren für ein räumliches Monitoring des Landschaftswandels*. In: Wende, Wolfgang; Walz, Ulrich (Hg.): *Die räumliche Wirkung der Landschaftsplanung: Evaluation, Indikatoren und Trends*. Wiesbaden: Springer Spektrum, 57–75
- Winkel, Georg 2006: *Waldnaturschutzpolitik in Deutschland: Bestandsaufnahme, Analyse und Entwurf einer Story-Line*. Inaugural-Dissertation. Freiburg
- Zeleny, Milan 1976: *Multiple Criteria Decision Making* Kyoto 1975. Berlin: Springer

## 8.1 Rechtsquellen

### **BWaldG**

Bundeswaldgesetz vom 2. Mai 1975 (BGBl. I S. 1037), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 17. Januar 2017 (BGBl. I S. 75) geändert worden ist

### **BNatSchG**

Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. März 2020 (BGBl. I S. 440) geändert worden ist

### **LFoG NRW**

Landesforstgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen, Neufassung vom 24.04.1980

### **LEP NRW**

Verordnung über den Landesentwicklungsplan Nordrhein-Westfalen vom 15. Dezember 2016

## 8.2 Interviewquellen

Interview mit **Experte 1**, Referat III-3 Forstpolitik, Forsthoheit, Naturschutz im Wald im Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW, am 29.04.2020

Interview mit **Experte 2**, Regionalforstamt Münsterland, Landesbetrieb Wald und Holz NRW, am 28.04.2020

Interview mit **Experte 3**, Landesbetrieb Wald und Holz NRW, Zentrum für Wald und Holzwirtschaft, Team Waldplanung, am 29.04.2020

Interview mit **Experte 4**, Landschaftsökologie, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fakultät Landbau, Umwelt, Chemie, am 05.05.2020



# 9 Anhang

## 9.1 ATKIS-Objektarten im Basis-DLM

*ATKIS-Objektarten im Basis-DLM (Quelle [www.atkis.de](http://www.atkis.de))*

<b>Objektbereich 2000 Siedlung</b>	
<b>Objektgruppe 2100 Baulich geprägte Flächen</b>	
2101 Ortslage	2126 Kraftwerk
2102 Wohnplatz	2127 Umspannstation
2111 Wohnbaufläche	2128 Förderanlage
2112 Industrie- und Gewerbefläche	2129 Kläranlage, Klärwerk
2113 Fläche gemischter Nutzung	2131 Ausstellungs- /Messegelände
2114 Fläche besonderer funktionaler Prägung	2132 Gärtnerei
2121 Bergbaubetrieb	2133 Heizwerk
2122 Deponie	2134 Wasserwerk
2123 Raffinerie	2135 Abfallbehandlungsanlage
2124 Werft	
<b>Objektgruppe 2200 Siedlungsfreiflächen</b>	
2201 Sportanlage	2224 Schwimmbad
2202 Freizeitanlage	2225 Zoo
2211 Freilichttheater	2226 Freizeitpark
2212 Freilichtmuseum	2227 Grünanlage
2213 Friedhof	2228 Campingplatz
2221 Stadion	2229 Autokino
2222 Sportplatz	2230 Golfplatz
2223 Schießstand	
<b>Objektgruppe 2300 Bauwerke und sonstige Einrichtungen</b>	
2301 Tagebau	2325 Pumpe
2302 Halde	2326 Wasserrad
2304 Rieselfeld	2327 Windrad
2311 Gradierwerk	2328 Solarzellen
2313 Vorratsbehälter, Speicherbauwerk	2331 Archäologische Fundstätte
2314 Absetzbecken	2332 Denkmal
2315 Gebäude	2333 Bildstock, Wegekreuz, Gipfelkreuz
2316 Turm	2334 Meilenstein
2317 Schornstein	2342 Spielfeld, Spielfläche
2318 Durchfahrt	2343 Zuschauertribüne
2319 Brunnen	2344 Rennbahn, Laufbahn, Geläuf
2320 Stollenmundloch, Höhleneingang	2345 Schwimmbecken
2322 Hochofen	2346 Sprungschanze
2323 Dock	2351 Mauer, Wand
2324 Kran	2352 Zaun

<b>OBJEKTBEREICH 3000 VERKEHR</b>	
<b>Objektbereich 3100 Straßenverkehr</b>	
3101 Straße	3106 Fahrbahn
3102 Weg	3180 Netzknoten (komplex)
3103 Platz	3181 Nullpunkt
3104 Straße (komplex)	3182 Abschnitt
3105 Straßenkörper	3183 Ast
<b>Objektgruppe 3200 Schienenverkehr</b>	
3201 Schienenbahn	3204 Bahnkörper
3202 Seilbahn	3205 Bahnstrecke
3203 Schienenbahn (komplex)	
<b>Objektgruppe 3300 Flugverkehr</b>	
3301 Flughafen	3303 Rollbahn
3302 Flugplatz	3304 Vorfeld
<b>Objektgruppe 3400 Schiffsverkehr</b>	
3401 Hafen	3403 Schifffahrtslinie
3402 Hafenbecken	
<b>Objektgruppe 3500 Anlagen und Bauwerke für Verkehr, Transport und Kommunikation</b>	
3501 Bahnhofsanlage	3522 Kilometrierungs-, Stationierungspunkt
3502 Raststätte	3523 Schifffahrtszeichen
3503 Verkehrsknoten	3524 Gewässerachse
3511 Grenzübergang	3531 Freileitung
3512 Anlegestelle	3532 Rohrleitung
3513 Tunnel	3533 Förderband
3514 Brücke	3541 Mast
3515 Furt	3542 Radioteleskop
3517 Schutzgalerie	3543 Antenne
<b>OBJEKTBEREICH 4000 VEGETATION</b>	
<b>Objektgruppe 4100 Vegetationsflächen</b>	
4102 Grünland	4109 Sonderkultur
4103 Gartenland	4110 Brachland
4104 Heide	4111 Nasser Boden
4105 Moor, Moos	4120 vegetationslose Fläche
4106 Sumpf, Ried	4198 Schneise
4108 Gehölz	4199 Fläche z. Zt. unbestimmbar
<b>Objektgruppe 4200 Bäume und Büsche</b>	
4201 Baum	4203 Hecke, Knick
4202 Baumreihe	
<b>OBJEKTBEREICH 5000 GEWÄSSER</b>	
<b>Objektgruppe 5100 Wasserflächen</b>	
5101 Strom, Fluss, Bach	5105 Quelle
5102 Kanal (Schifffahrt)	5111 Meer
5103 Kanal (Wasserwirtschaft)	5112 Binnensee, Stausee, Teich
5104 Priel	5121 Watt
<b>Objektgruppe 5200 Besondere Objekte in Gewässern</b>	
5201 Sandbank	5203 Wasserfall
5202 Stromschnelle	

<b>Objektgruppe 5300 Einrichtungen und Bauwerke an Gewässern</b>	
5301 Durchlass	5311 Pegel
5302 Talsperre, Wehr	5312 Wasserspiegelhöhe
5303 Schleuse	5321 Uferbefestigung
5304 Schleusenkammer	
<b>OBJEKTBEREICH RELIEF</b>	
<b>Objektgruppe 6200 Besondere Geländeoberflächen</b>	
6201 Damm, Wall, Deich	6211 Felsen, Felsblock, Felsnadel
6205 Böschung, Kliff (komplex)	6215 Düne
6207 Stützmauer	6216 Böschungsfläche
6208 Einschnitt	6217 Geländekante
<b>OBJEKTBEREICH GEBIETE</b>	
<b>Objektgruppe 7100 Verwaltungsgebiete</b>	
7101 Verwaltungseinheit	7198 Gemeindename
7102 Sitz der Verwaltung	7199 Wohnplatzname
<b>Objektgruppe 7200 Geographische Gebietseinheiten</b>	
7201 Landschaft	7211 Insel
7202 Kleinräumiger Landschaftsteil	7299 Grenzen
7203 Gewinn	
<b>Objektgruppe 7300 Schutzgebiete</b>	
7301 Nationalpark	7306 Biosphärenreservat
7302 Naturschutzgebiet	7307 Vogelschutzgebiet
7303 Geschützter Landschaftsbestandteil	7308 Flora-Fauna-Habitat-Gebiet
7304 Landschaftsschutzgebiet	7311 Wasserschutzgebiet, Heilquellenschutzgebiet
7305 Naturpark	
<b>Objektgruppe 7400 Gefahrengebiete, sonstige Sperrgebiete</b>	
7401 Bodenbewegungsgebiet	7405 Testgelände
7402 Bruchfeld	7406 Polder
7403 Truppenübungsplatz	

## 9.2 CORINE Land Cover Nomenklatur der Bodenbedeckungen

CORINE Land Cover Nomenklatur der Bodenbedeckungen (Quelle IT.NRW 2020a)

Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	
1 Bebaute Flächen	11 Städtisch geprägte Flächen	111 Durchgängig städtische Prägung	
		112 Nicht durchgängig städtische Prägung	
	12 Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsflächen	121 Industrie- und Gewerbeflächen, öffentliche Einrichtungen	
		122 Straßen-, Eisenbahnnetze und funktionell zugeordnete Flächen	
		123 Hafengebiete	
		124 Flughäfen	
	13 Abbauflächen, Deponien und Baustellen	131 Abbauflächen	
		132 Deponien und Abraumhalden	
		133 Baustellen	
	14 Künstlich angelegte, nicht landwirtschaftlich genutzte Grünflächen	141 Städtische Grünflächen	
142 Sport- und Freizeitanlagen			
2 Landwirtschaftliche Flächen	21 Ackerflächen	211 Nicht bewässertes Ackerland	
		212 Regelmäßig bewässertes Ackerland	
		213 Reisfelder	
	22 Dauerkulturen	221 Weinbauflächen	
		222 Obst- und Beerenobstbestände	
		223 Olivenhaine	
	23 Grünland	231 Wiesen und Weiden	
	24 Landwirtschaftliche Flächen heterogener Struktur	241 Einjährige Kulturen in Verbindung mit Dauerkulturen	
		242 Komplexe Parzellenstrukturen	
		243 Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Bodenbedeckung von signifikanter Größe	
		244 Land- und forstwirtschaftliche Flächen	
	3 Wälder und naturnahe Flächen	31 Wälder 32 Strauch- und Krautvegetation 33 Offene Flächen ohne / mit geringer Vegetation	311 Laubwälder
			312 Nadelwälder
313 Mischwälder			
321 Natürliches Grünland			
322 Heiden und Moorheiden			
323 Hartlaubbewuchs			
324 Wald-Strauch-Übergangsstadien			
331 Strände, Dünen und Sandflächen			
332 Felsflächen ohne Vegetation			
333 Flächen mit spärlicher Vegetation			
334 Brandflächen			
335 Gletscher und Dauerschneegebiete			
4 Feuchtflächen	41 Feuchtflächen im Landesinneren	411 Sümpfe	
		412 Torfmoore	
	42 Feuchtflächen an der Küste	421 Salzwiesen	
		422 Salinen	
5 Wasserflächen	51 Wasserflächen im Landesinnern	511 Gewässerläufe	
		512 Wasserflächen	
	52 Meeresgewässer	521 Lagunen	
		522 Mündungsgebiete	
		523 Meere und Ozeane	

## 9.3 Interview Leitfäden

### 9.3.1 Interview mit Experte 1

#### **Leitfaden**

Interview mit Experte 1, Referat III-3 Forstpolitik, Forsthoheit, Naturschutz im Wald im Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, am 30.04.2020

#### Aufgabenbereich

Was sind Ihre aktuellen Aufgaben- und Zuständigkeitsbereiche im Referat III-3 des MULNV NRW?

#### Schutzwürdigkeit von Waldflächen

Warum sind Waldflächen Ihrer Meinung nach schützenswert?

Welche räumlichen Strukturen sind Ihrer Meinung nach ausschlaggebend für die Schutzwürdigkeit einer Waldfläche?

#### Landschaftsstrukturmaße

Welche Strukturmaße zur Erfassung der räumlichen Struktur von Waldflächen wenden Sie bereits zur Waldinventur und -monitoring an?

Welche Vor- und Nachteile sehen Sie beim Einsatz der Ihnen bekannten Strukturmaße für die Erfassung der Schutzwürdigkeit von Waldflächen?

#### Verwendung von ATKIS Daten

Inwieweit werden ATKIS Daten bereits zur Inventur und zum Monitoring von Waldflächen angewendet?

Welche Vor- und Nachteile sehen Sie in der Verwendung der ATKIS Daten zur Waldinventur und zum -monitoring?

#### Bedeutung räumlicher Strukturen

Welche räumlichen Strukturen sind Ihrer Meinung nach wichtig im Hinblick auf die Bewertung der Schutzwürdigkeit von Waldflächen?

Bitte bilden Sie eine Rangfolge von 1 am wichtigsten bis 3 weniger wichtig zwischen folgenden Kriterien: Fläche, Form, Nachbarschaft

## 9.3.2. Interview mit Experte 2

### **Leitfaden**

Interview mit Experte 2, Regionalforstamt Münsterland, Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, am 28.04.2020

#### Aufgabenbereich

Was sind Ihre aktuellen Aufgaben- und Zuständigkeitsbereiche beim Regionalforstamt Münsterland?

#### Schutzwürdigkeit von Waldflächen

Warum sind Waldflächen Ihrer Meinung nach schützenswert?

Welche räumlichen Strukturen sind Ihrer Meinung nach ausschlaggebend für die Schutzwürdigkeit einer Waldfläche?

#### Landschaftsstrukturmaße

Welche Strukturmaße zur Erfassung der räumlichen Struktur von Waldflächen wenden Sie bereits zur Waldinventur und -monitoring an?

Welche Vor- und Nachteile sehen Sie beim Einsatz der Ihnen bekannten Strukturmaße für die Erfassung der Schutzwürdigkeit von Waldflächen?

#### Verwendung von ATKIS Daten

Inwieweit werden ATKIS Daten bereits zur Inventur und zum Monitoring von Waldflächen angewendet?

Welche Vor- und Nachteile sehen Sie in der Verwendung der ATKIS Daten zur Waldinventur und zum -monitoring?

#### Bedeutung räumlicher Strukturen

Welche räumlichen Strukturen sind Ihrer Meinung nach wichtig im Hinblick auf die Bewertung der Schutzwürdigkeit von Waldflächen?

Bitte bilden Sie eine Rangfolge von 1 am wichtigsten bis 3 weniger wichtig zwischen folgenden Kriterien: Fläche, Form, Nachbarschaft

### 9.3.3. Interview mit Experte 3

#### **Leitfaden**

Interview mit Experte 3, Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, Zentrum für Wald und Holzwirtschaft, Team Waldplanung, am 29.04.2020

#### Aufgabenbereich

Was sind Ihre aktuellen Aufgaben- und Zuständigkeitsbereiche beim Zentrum für Wald und Holzwirtschaft?

#### Schutzwürdigkeit von Waldflächen

Warum sind Waldflächen Ihrer Meinung nach schützenswert?

Welche räumlichen Strukturen sind Ihrer Meinung nach ausschlaggebend für die Schutzwürdigkeit einer Waldfläche?

#### Landschaftsstrukturmaße

Welche Strukturmaße zur Erfassung der räumlichen Struktur von Waldflächen wenden Sie bereits zur Waldinventur und -monitoring an?

Welche Vor- und Nachteile sehen Sie beim Einsatz der Ihnen bekannten Strukturmaße für die Erfassung der Schutzwürdigkeit von Waldflächen?

#### Verwendung von ATKIS Daten

Inwieweit werden ATKIS Daten bereits zur Inventur und zum Monitoring von Waldflächen angewendet?

Welche Vor- und Nachteile sehen Sie in der Verwendung der ATKIS Daten zur Waldinventur und zum -monitoring?

#### Bedeutung räumlicher Strukturen

Welche räumlichen Strukturen sind Ihrer Meinung nach wichtig im Hinblick auf die Bewertung der Schutzwürdigkeit von Waldflächen?

Bitte bilden Sie eine Rangfolge von 1 am wichtigsten bis 3 weniger wichtig zwischen folgenden Kriterien: Fläche, Form, Nachbarschaft

## 9.3.4. Interview mit Experte 4

### **Leitfaden**

Interview mit Experte 4, Landschaftsökologie, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fakultät Landbau / Umwelt / Chemie, am 05.05.2020

#### Schutzwürdigkeit von Waldflächen

Warum sind Waldflächen Ihrer Meinung nach schützenswert?

Welche räumlichen Strukturen sind Ihrer Meinung nach ausschlaggebend für die Erfüllung der Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion einer Waldfläche?

#### Landschaftsstrukturmaße

Welche Strukturmaße sind Ihrer Meinung nach geeignet zur Erfassung der räumlichen Struktur von Waldflächen?

Welche Vor- und Nachteile sehen Sie beim Einsatz der Ihnen bekannten Strukturmaße für die Erfassung der räumlichen Struktur von Waldflächen?

#### Verwendung von ATKIS Daten

Welche Vor- und Nachteile sehen Sie in der Verwendung von ATKIS Daten zur Erfassung der räumlichen Struktur von Waldflächen?

#### Bedeutung räumlicher Strukturen

Welche räumlichen Strukturen sind Ihrer Meinung nach wichtig im Hinblick auf die Bewertung der Schutzwürdigkeit von Waldflächen?

Bitte bilden Sie eine Rangfolge von 1 am wichtigsten bis 3 weniger wichtig zwischen folgenden Kriterien: Fläche, Form, Nachbarschaft

## 9.4 Interviewtranskripte

Zur Wahrung der Privatsphäre der interviewten Personen wird darauf verzichtet, Transkripte der Gesprächsverläufe zu veröffentlichen (Anhangskapitel 9.4).

Sollte dennoch ein berechtigtes Interesse an der Sichtung des Materials bestehen, können die Transkripte gerne bei der Autorin ([antonia.pfeiffer@tu-dortmund.de](mailto:antonia.pfeiffer@tu-dortmund.de)) erfragt werden.