

Master Thesis

im Rahmen des
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“
(UNIGIS MSc) am Zentrum für Geoinformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

**„Beschreibung des Landschaftsstruktur-
wandels am Beispiel der Sisting-Krekeler
Heide unter Anwendung von Landscape
Metrics (LM)“**

vorgelegt von

Dipl. Ing. Agrar Andreas Metzmacher
u1333, UNIGIS MSc Jahrgang 2007

Zur Erlangung des Grades
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Gutachter:
Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Hilden, 22.05.2009

Danksagung

Es liegen nunmehr etwas mehr als zwei Jahre UNIGIS-Studium hinter mir. Während dieser Zeit haben mich eine Reihe von Menschen begleitet, unterstützt und immer wieder motiviert das Studium abzuschließen.

Dem gesamten Team des UNIGIS-Lehrganges möchte ich für die kompetente und verlässliche Betreuung und die gute Atmosphäre während dieser Zeit danken.

Ein ganz herzliches Dankeschön geht an Jens Müller, der mit mir alle Hürden des Studiums gemeinsam gemeistert hat und zur jeder Tages- und Nachtzeit für ein Gespräch zu haben war. In diesen Diskussionen sind viele Anregungen ausgetauscht und Lösungsansätze erarbeitet worden.

Meinem Vater möchte ich ebenfalls danken. Ohne ihn wäre das Studium gar nicht möglich gewesen. Ein Dank geht auch an meinen Bruder, der immer ein offenes Ohr für mich hat. Danke, für die Durchsicht meiner Arbeit.

Ich möchte mich auch bei meinen Freunden für ihr Verständnis und aufmunternden Worte bedanken, die in der Vergangenheit des Öfteren ein Nein zu hören bekamen, als es um freizeitliche Aktivitäten ging.

Herzlichen Dank an die NRW-Stiftung und die Biologische Station im Kreis Euskirchen e.V. für die Bereitstellung von Daten über das Untersuchungsgebiet.

Ein riesiges Dankeschön geht an meine Frau und meine zwei Kinder. Meiner Frau, weil Sie mich mit all meinen Launen bei der Bearbeitung von Aufgaben und der Master Thesis ertragen hat, mich mit aufmunternden Worten motivierte und mir, so oft es ging, im Haushalt und bei der Kinderbetreuung den Rücken freigehalten hat. Meinem kleinen Sohn Kolja, weil er häufig ohne zu murren, auf mich verzichtet hat und mich immer wieder zum Lachen bringt.

Nachdem ich meinem Sohn vor fünf Jahren meine Diplomarbeit gewidmet habe, möchte ich diese Arbeit meiner Tochter Clara widmen, die im vergangenen September zur Welt gekommen ist. Sie hat zwar meinen ursprünglichen Zeitplan ein wenig auf den Kopf gestellt, mir dafür aber schon viele glückliche Momente geschenkt.

Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit

„Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden sind entsprechend gekennzeichnet.“

Hilden, den 22.05.2009 Andreas Metzmacher

Zusammenfassung

Die Beschreibung und Bewertung einer Landschaft mit Strukturmaßen bekommt eine zunehmende Anwendungsorientierung und damit eine wachsende Praxisrelevanz (Walz 2004). Unter anderem ermöglicht die Landschaftsstrukturanalyse den zeitlichen Vergleich mehrerer Zeitschnitte untereinander, wodurch ein Wandel im Erscheinungsbild einer Landschaft quantitativ erfasst werden kann. Darüber hinaus können strukturelle Eigenschaften einer Landschaft dazu genutzt werden, eine Landschaftsbewertung, z.B. hinsichtlich des Erhaltungszustandes wertvoller Flächen, durchzuführen und Monitoringaufgaben wahrzunehmen.

In der vorliegenden Arbeit wurde am Beispiel der Sistig-Krekeler Heide gezeigt, dass sich Landschaftsstrukturmaße dazu eignen, den Wandel der Landschaft quantitativ zu erfassen und zu beschreiben. Gleichzeitig wurde der Erhaltungszustand der NSG-Teilflächen, die sich im Untersuchungsgebiet befinden, ermittelt. Dazu wurden die Ergebnisse der Landschaftsstrukturanalyse mit weiteren naturschutzfachlichen Daten in Verbindung gesetzt. Als Grundlage der Erfassung der Landschaftsbedeckung dienten die Preußische Landaufnahme von TRANCHOT und von MÜFFLING um 1810 im Maßstab 1:25.000 und Luftbildkarten im Maßstab 1:5.000 der Jahre 1982 und 2008. Weitere naturschutzfachliche Daten wurden der Landschaftsinformationssammlung der Landesanstalt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes NRW (LANUV) entnommen und Bezug zur Arbeit von KAM et al. 2004 und dem Bericht zum Geo Tag der Artenvielfalt 2003 in der Sistig-Krekeler Heide (vgl. USL 2003) hergestellt.

Der Strukturwandel im Untersuchungsgebiet wurde anhand der Parameter Fläche, durchschnittliche Flächengröße, Mean Shape Index und Grenzliniensumme auf Klassenebene und Grenzliniendichte auf Landschaftsebene erfasst. Zur Beschreibung des Erhaltungszustandes der NSG-Teilflächen kamen darüber hinaus der Proximity-Index und die Core-Area-Analyse zum Einsatz.

Im Ergebnis konnte mit Hilfe der Flächenanalyse der generelle Trend der Entwicklung in deutschen Mittelgebirgsregionen, die um 1800 von Heiden bzw. Ödland und Ackerbau dominiert waren, hin zu einer Landschaft die im Wesentlichen durch Grünland- und Forstwirtschaft geprägt ist, aufgezeigt werden. Mit Hilfe der Maße Mean Shape Index und Grenzliniensumme und -dichte wurden Aussagen über den Strukturreichtum und die Formkomplexität im Untersuchungsraum abgeleitet. Dabei wurde festgestellt, dass die Strukturvielfalt und die Verzahnung einzelner Lebensräume

im Naturschutzgebiet deutlich höher ist als im restlichen Teil des Gebietes. Die Nachbarschaftsanalyse der Klassen Gebüsch und Hecken zeigte, dass aufgrund von Naturschutzmaßnahmen verbuschte Bereiche rückläufig sind. Schließlich konnte mit der Core-Area-Analyse gezeigt werden, dass durch Vertragsnaturschutzmaßnahmen Heideflächen im Vergleich zu 1982 im Naturschutzgebiet um mehr als 600 % zugenommen haben. In Verbindung mit weiteren Naturschutzfachdaten ließ sich der Erhaltungszustand der NSG-Teilflächen beschreiben und die Wirksamkeit von Naturschutzmaßnahmen, insbesondere des Vertragsnaturschutzes nach dem Kulturlandschaftsprogramm NRW darstellen.

Abstract

The description and appraisal of the landscape with landscape metrics gets a increasing orientation of appliance and therefore a growing practical relevance (Walz 2004). Inter alia the landscape structure analysis makes the intertemporal comparison of diverse points in times among each other possible and that way to capture quantitative the change of the appearance of the landscape. Further more the structural characteristics of the landscape may be used to operate an appraisal of the landscape, e.g. concerning the condition of valuable areas, and to accomplish monitoring tasks.

Within this thesis using the example of the Sistig-Krekeler Heide it was showed, that the landscape metrics are suitable for capturing and describing quantitative the change of the appearance of the landscape. Simultaneous the condition of the npa-subareas were identified, which are located in the study-area. In this context the results of the landscape structure analysis were combined with additional environmental data. The Preußische from TRANCHOT and from v. MÜFFLING around 1810 with a measurement of 1:25.000 and the orthophotos from 1982 and 2008 conducted as basis for the capture of the landscaped natural cover. Additional environmental data were taken from the “Landschaftsinformationssammlung” of the Landesanstalt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes NRW (LANUV) and a relationship to the work of KAM ET AL. 2004 and to the bulletin of the “Geo Tag der Artenvielfalt 2003” in the Sistig-Krekeler Heide was established (USL 2003).

The structure in change within the study-area was captured on the basis of the parameters Area, Mean Patch Size, Mean Shape Index and Total Edge on class-level

and Edge Density on landscape-level. For the description of the condition of the npa-subareas in addition the Proximity-Index and the core-area-analysis were used.

On the basis of the area-analysis in conclusion the general trend of the development in low mountain range about 1800 from a landscape dominated by heathland respectively wasteland and farmland to a landscape, which is predominated by pasture and forestry, was depicted. Via the metrics Mean Shape Index and the Total Edge and Edge Density conclusions about the vegetation structure and form complexity in the study-area were derived. In this process it was detected that the vegetation structure and the linkage of particular biotopes is much higher than the remaining part of the study-area. The neighbourhood-analysis of the classes “shrubbery” and “hedges” shows that because of nature conservation activities the shrubbery area is declining. Finally on the basis of the core-area-analysis it could be showed that within the conservation area as a result of contractual nature conservation activities (Vertragsnaturschutz) heathland areas inclined more than 600 % in comparison to the year 1982. In connection with additional environmental data the condition of the npa-subareas could be described and the affectivity of nature conservation activities, especially of the contractual nature conservation according to the “Kulturlandschaftsprogramm NRW” could be depicted.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	I
Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit	II
Zusammenfassung.....	III
Abstract	IV
Inhaltsverzeichnis.....	VI
Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis.....	X
Abkürzungsverzeichnis	XI
Einleitung	1
1.1 Zielsetzung und Methoden.....	1
1.2 Gebietsbeschreibung und geographische Lage	2
1.3 Historische Entwicklung	3
1.4 Aufbau der Arbeit	6
2. Landschaftsstruktur, Landschaftsökologie und Landschafts(struktur)maße -	
Theoretischer Hintergrund	7
2.1 Beziehung zwischen der Struktur und der Funktion einer Landschaft	9
2.2 Landschaftsstrukturmaße (Landscape Metrics)	10
2.3 Anforderung an Landschaftsstrukturmaße, Auswahl und Grenzen	12
2.4 Anwendungsbeispiele aus der Praxis	14
3. Material und Methoden	16
3.1 Datengrundlagen	16
3.1.1 Luftbildkarten, Deutsche Grundkarte und TRANCHOTKARTE aus dem.....	16
Kartenwerk Historika25	16
3.1.2 Deutsche Grundkarte.....	17
3.1.3 TRANCHOTKARTE um 1810	17
3.2 Abgrenzung der Landbedeckungsklassen	18
3.3 GIS, Landbedeckungskartierung und Analyse.....	21
4. Ergebnisse	27
4.1 Landbedeckung um 1810	27
4.2 Landbedeckung 1982 und 2008	29
4.2.1 Mean Patch Size (MPS)	33
4.2.2 Mean Shape Index (MSI)	34

4.2.3 Grenzlinienlänge	37
4.3 Landbedeckung im Naturschutzgebiet	39
4.3.1 Grenzlinienlänge	41
4.3.2 Shape-Index und Proximity-Index	43
4.3.3 Core Area	47
5. Diskussion	51
5.1 Methodenkritik	51
5.2 Interpretation der Ergebnisse	52
6. Fazit und Ausblick	58
Literaturverzeichnis.....	60

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Karte des Untersuchungsgebietes mit Abgrenzung der NSG-Teilflächen (Datengrundlage: Luftbildkarte 2008; Quelle: GEObasis NRW).....	2
Abb. 1.2: TRANCHOTKARTE um 1810 mit Abgrenzung des Untersuchungsgebietes (Historika 25; Quelle: GEObasis NRW).....	5
Abb 2.1: Ebenen der Landschaftsstruktur nach WALZ 2004: 22 (in Anlehnung an JEDICKE 2001)	8
Abb. 3.1: Luftbildkarte von 1982 (Aufnahmedatum: 13.05.1982; Quelle: GEObasis.NRW).....	16
Abb. 3.2: Luftbildkarte des Untersuchungsgebietes 2008 (Quelle: GEObasis.NRW)...	17
Abb. 3.3: Ausschnitt aus der TRANCHOTKARTE um 1810 (Historika25; Quelle: GEObasis.NRW).....	18
Abb. 3.4: Schrägluftbild der Sistig-Krekeler Heide von 1975 (Quelle: Prof. Dr. W. Schumacher),.....	20
Abb. 3.5: Blick in die Sistig-Krekeler Heide in Richtung Westen 1988 (Quelle Prof. Dr. W. Schumacher).....	21
Abb. 4.1: Darstellung der Landbedeckung im Untersuchungsgebiet um 1810.....	28
Abb. 4.2: Flächenanteil der Landbedeckungsklassen im Untersuchungsgebiet um 1810	28
Abb. 4.3: Darstellung der Landbedeckung im Untersuchungsgebiet 1982.....	31
Abb. 4.4: Darstellung der Landbedeckung im Untersuchungsgebiet 2008.....	31
Abb. 4.5: Flächenanteile der Landbedeckungsklassen 1982 und 2008 im Vergleich ...	33
Abb. 4.6: Durchschnittliche Patchgrößen der Landbedeckungsklassen 1982 und 2008 im Vergleich.....	33
Abb. 4.7: MSI für die einzelnen Landbedeckungsklassen im Untersuchungsgebiet 1982 und 2008 im Vergleich.....	34
Abb. 4.8: Darstellung des Shape-Index auf Patch-Ebene 1982.....	36
Abb. 4.9: Darstellung des Shape-Index auf Patch-Ebene 2008.....	36
Abb. 4.10: Grenzlinienlänge der einzelnen Landbedeckungsklassen im Untersuchungsgebiet 1982 und 2008 im Vergleich.....	37
Abb. 4.11: Darstellung der Landbedeckung im NSG 1982.....	39
Abb. 4.12: Darstellung der Landbedeckung im NSG 2008.....	40

Abb. 4.13: Flächenanteile der einzelnen Landbedeckungsklassen im NSG 1982 und 2008 im Vergleich.....	40
Abb. 4.14: Grenzlinienlänge der einzelnen Landbedeckungsklassen im NSG 1982 und 2008 im Vergleich.....	42
Abb. 4.15: Nachbarschaftsanalyse anhand des Proximity Index PX_{fg} 1982	45
Abb. 4.16: Nachbarschaftsanalyse anhand des Proximity Index PX_{fg} 2008	46
Abb. 4.17: Gegenüberstellung der Gesamtfläche und verbleibender Core Area bei einem Randeffekt von 5 m	48
Abb. 4.18: Verbleibende Core Area der Klassen Grünland und Heide 1982.....	49
Abb. 4.19: Verbleibende Core Area der Klassen Grünland und Heide 2008.....	50

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1: Interpretationsschlüssel zur Auswertung der Luftbildkarten 1982 und 2008.....	19
Tab. 4.1: Ergebnisse der Flächenanalyse für die Landbedeckungsklassen im Untersuchungsgebiet 1982 und 2008.....	29
Tab. 4.2: Gegenüberstellung der Ergebnisse der Grenzlinienanalyse auf Landschaftsebene 1982 und 2008.....	38
Tab. 4.3: Gegenüberstellung der Ergebnisse der Flächenanalyse der Landbedeckungsklassen Grünland, Heide, Brache, Gebüsch und Hecken im NSG 1982 und 2008.....	41
Tab. 4.4: Gegenüberstellung der Ergebnisse der Grenzlinienanalyse auf Landschaftsebene im NSG 1982 und 2008.....	42
Tab. 4.5: Ergebnisse der Shape-Index Berechnung 1982 und 2008.....	43
Tab. 4.6: Ergebnisse der Nachbarschaftsanalyse 1982 und 2008.....	44
Tab. 4.7: Ergebnisse der Core Area Analyse 1982 und 2008.....	47

Abkürzungsverzeichnis

B (Bois)	Wald
Br (Bryères)	Heide
CAI	Core Area Index
ED	Edge Density
FFH	Flora-Fauna-Habitat
FRACT	Fractale Dimension
GIS/GI-System	Geographisches Informationssystem
MVP	Minimum Viable Population Size
MPE	Mean Patch Edge
MPS	Mean Patch Size
MSI	Mean Shape Index
NCA	Number of Core Areas
NP	Number of Patches
NPA	Nature Protection Area
NSG	Naturschutzgebiet
P (Prés)	Grünland
PB	Proximity-Buffer
PD	Patch Density
SHAPE	Shape-Index
T (Terres labourables)	Ackerland
TCCA	Total Class Core Area
TE	Total Edge (Grenzliniensumme)
TWF	TIFF World File
WMS	Web Map Service

Einleitung

Das Erscheinungsbild einer Landschaft wird im Wesentlichen von der Zusammensetzung der darin vorkommenden Landschaftselemente (Patches) und deren Anordnung zueinander geprägt und ist das Ergebnis von räumlichen und zeitlichen Wechselwirkungen zwischen Geofaktoren einschließlich Klima sowie anthropogen bedingter Landnutzungen (vgl. Lutze et al. 2004: 1). Die sich daraus ergebende spezifische Struktur einer Landschaft kann mit so genannten Landschaftsstrukturmaßen identifiziert und beschrieben werden. Die Strukturmaße gehen auf ein relativ junges Arbeitsfeld der Landschaftsökologie, der so genannten "landscape metrics" zurück, das sich in den 1980ern in Nordamerika entwickelte. Bei diesem Ansatz stehen die räumliche Struktur eines Landschaftsausschnitts und deren quantitative Erfassung im Vordergrund. Dazu wurde in den vergangenen Jahrzehnten eine Vielzahl unterschiedlicher Maße entwickelt, die mittlerweile auch in Europa eine große Rolle bei der Erfassung, Quantifizierung und Darstellung von Raumstrukturen zur Beschreibung räumlich dynamischer Prozesse spielen. Auf Grund des explizit räumlichen Bezugs kommen bei der Analyse der Landschaftsstruktur verstärkt Geographische Informationssysteme und Methoden der Fernerkundung zum Einsatz.

1.1 Zielsetzung und Methoden

Ziele dieser Arbeit sind zum einen die quantitative Erfassung und Beschreibung des Landschaftsstrukturwandels in einem ca. 4,3 km² großen Ausschnitt der Sistig-Krekeler Heide im Kreis Euskirchen (NRW) mit einem Set an Landschaftsstrukturmaßen. Zum anderen wird der Erhaltungszustand (weniger Störung durch Verbrachung und Verbuschung) für wesentliche Teilflächen des überregional bedeutenden Naturschutzgebietes Sistig-Krekeler Heide anhand ausgewählter Strukturmaße unter Berücksichtigung naturschutzfachlicher Informationen abgeleitet. Anschließend werden Rückschlüsse auf die Wirkung von Naturschutzmaßnahmen, insbesondere des Vertragsnaturschutzes gezogen.

Zur Ableitung der Landbedeckungsklassen stehen die Preußische Landaufnahme von TRANCHOT und von MÜFFLING um 1810 (Maßstab 1:25.000; im Folgenden TANCHOTKARTE) und Luftbildkarten im Maßstab 1:5.000 der Jahre 1982 und 2008 zur Verfügung. Zur Abgrenzung und Zuordnung der Landschaftselemente aus den

Luftbildkarten wurde ein Interpretationsschlüssel erstellt und Expertenwissen eingebunden. Die Digitalisierung der einzelnen Landschaftselemente erfolgte mit der Software ArcGis 9.2 von ESRI. Die Analyse der Landschaftsstruktur wurde mit der ArcGis Extension V-Late durchgeführt.

1.2 Gebietsbeschreibung und geographische Lage

In der Westeifel erstreckt sich auf dem Gemeindegebiet von Kall im Kreis Euskirchen (NRW) das rund 188 ha große Naturschutzgebiet „Sistig-Krekeler Heide“, dessen Teilflächen sich zwischen den Ortschaften Krekel, Sistig und Benenberg erstrecken. Hier befindet sich auch das etwa 4,3 km² große Untersuchungsgebiet, das weite Teile (ca. 106 ha) des heutigen Naturschutzgebiets (NSG) umfasst (vgl. Abb.1.1). Gleichzeitig ist das NSG Bestandteil des Flora-Fauna-Habitat-Gebietes (FFH-Gebiet) DE-5505-301 „Wiesen, Borstgrasrasen und Heiden bei Sistig“. Das Gebiet liegt in einer flachwelligen Hochfläche mit Höhen um 600 m ü. NN.. Das subatlantische Klima ist kühl und feucht. Die Jahresmitteltemperatur liegt bei 6,8 °C. Im langjährigen Mittel fallen pro Jahr durchschnittlich 950 mm Niederschlag (NRW-STIFTUNG 2006, W. SCHUMACHER 2004).

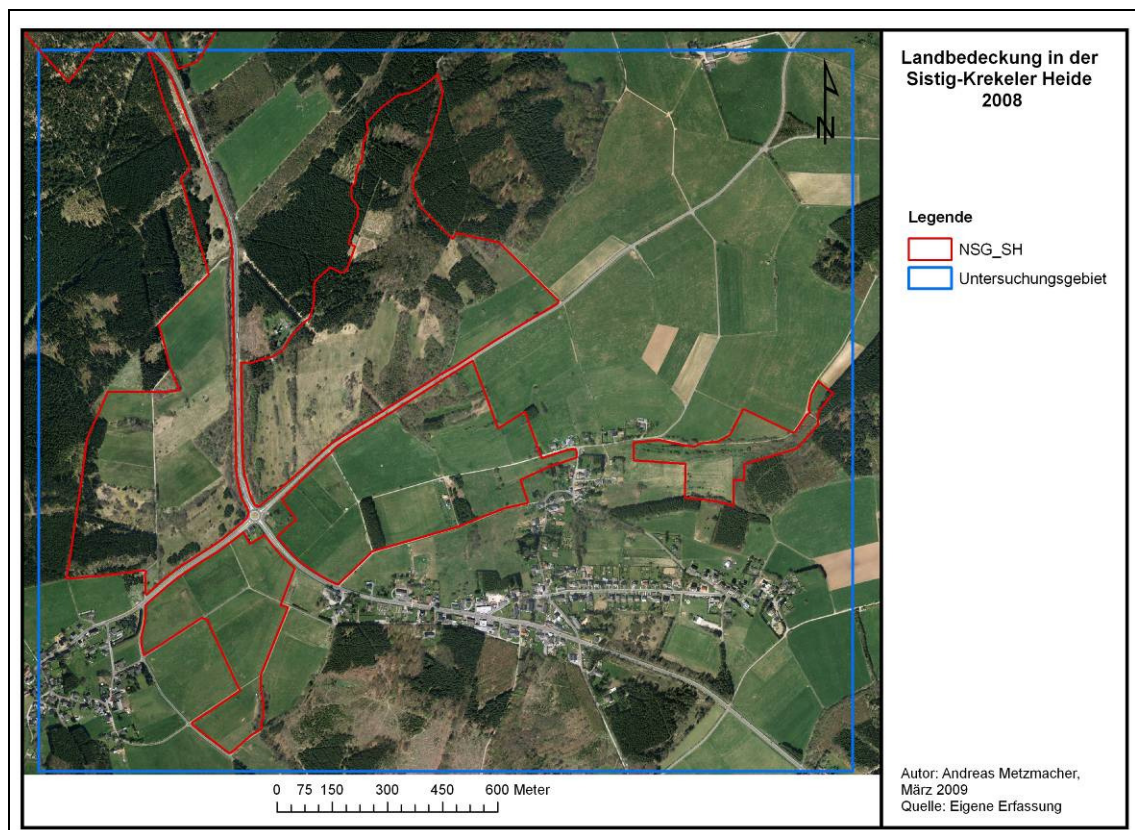


Abb. 1.1: Karte des Untersuchungsgebietes mit Abgrenzung der NSG-Teilflächen (Datengrundlage: Luftbildkarte 2008; Quelle: GEObasis NRW)

Geologisch gesehen besteht das Untersuchungsgebiet hauptsächlich aus unterdevonischem Untergrund (rote und grüne Klerfer Schichten und Ems-Quarzit) sowie Resten von tertiären Graulehmen und stellenweise eingestreuten diluvialen Fließerden. Aus diesem Untergrund haben sich überwiegend nährstoffarme und saure Böden entwickelt. Bedingt durch tertiäre Tone neigen diese z.T. zur Staunässe, so dass sie als Pseudogleye und pseudovergleyte Braunerden anzusprechen sind. Etwas nährstoffreichere Böden haben sich nur dort entwickeln können, wo es zu eiszeitlichen Lösanwehungen kam (vgl. NRW-STIFTUNG 2006, W. SCHUMACHER 2004).

Heute ist das Landschaftsbild der Sestig-Krekeler Heide vor allem von extensivem Grünland (vor allem artenreiche Gold- und Glatthaferwiesen, Feuchtgrünland und Bärwurzweiden) dominiert. Im Nordosten findet man daneben eingestreut einige Ackerflächen. Von den ehemals landschaftsprägenden Heiden sind nur noch Reste, vor allem innerhalb des Naturschutzgebietes, übergeblieben. Im Norden, Westen und Süden wird das Untersuchungsgebiet überwiegend von Waldgebieten begrenzt.

1.3 Historische Entwicklung

Wie der überwiegende Teil Mitteleuropas so ist auch die Sestig-Krekeler Heide durch den Menschen beeinflusst, d.h. es handelt sich um eine anthropogen bedingte Kulturlandschaft. Die Besiedlung der Eifel durch den Menschen geht bis in die Steinzeit zurück (vgl. MAUL 1997). Dies belegen Knochenfunde in der Buchenlochhöhle bei Geroldstein (ca. 60.000 v. Chr.). Da der Mensch damals als Jäger und Sammler die Eifel durchstreifte, dürfte der Einfluss auf das Landschaftsbild marginal gewesen sein (vgl. MAUL 1997). Erst mit der Sesshaftwerdung der Menschen im Neolithikum (ca. 5.000 v. Chr.) sind erste Einflüsse anhand pollenanalytischer Untersuchungen in den Sedimenten der Mare der Vulkaneifel nachgewiesen (vgl. SCHWIND 1984). Deutliche Spuren menschlichen Wirkens haben die Römer hinterlassen, die vor allem bereits vorhandene Siedlungsplätze zur Ansiedlung nutzten, aber auch neue Ortschaften wie Marmagen (Marcomagus), an der Römerstraße Trier – Köln (Agrippa-Straße) gelegen, gründeten. Auch an dem von Marmagen nur 5 km entfernten Untersuchungsgebiet verlief eine Römerstraße von Belgien kommend nach Dahlem (vgl. MAUL 1997).

Nach dem Zusammenbruch des weströmischen Reichs und der einsetzenden Völkerwanderungszeit vor ca. 1.600 Jahren verödeten weite Teile des Wirtschaftslandes, so dass sich der Wald in der Eifel wieder regenerieren konnte (vgl. PAFFEN 1940, SCHWIND 1984). Eine deutliche Wiederbesiedlung der Region setzte erst

wieder mit den Franken im 7. und 8. Jahrhundert n. Chr. ein. Rodungstätigkeiten bis ins 11. Jahrhundert führten zur Schaffung weiterer Wirtschaftsflächen (vgl. SCHWIND 1984). Im ausgehenden 13. Jahrhundert verödeten zunächst viele landwirtschaftliche Nutzflächen. Ursachen dafür waren unter anderem der Zustrom der Bevölkerung in die „Eifelstädte“, geringe landwirtschaftliche Produktivität und Pestepidemien (vgl. SCHWIND 1984). In den folgenden Jahrhunderten sorgten unterschiedliche Bewirtschaftungsformen (Waldweide, Rottwirtschaft, Brennholz-, Bauholz-, später Holzkohलगewinnung) für den Erhalt bzw. die Ausdehnung der Heide- und Ödlandflächen.

Von landschaftsprägender Bedeutung waren vor allem die Schafhaltung (Hutungen) und die so genannte Schiffelkultur. Dabei handelt es sich um eine besondere Form der Brandkultur bzw. Feld-Heide-Wechselwirtschaft, die seit dem 14. Jahrhundert in der Eifel bekannt ist. Hierbei wurde die gesamte Gras- und Heidenarbe abgeplaggt und den Sommer über getrocknet. Mit Reisig vermischt, verbrannte man das Material und brachte die Asche als Dünger auf die abgeplaggtten Parzellen aus. Dann wurde zwei bis drei Jahre lang Getreide in der Fruchtfolge Roggen, Hafer und Buchweizen angebaut, worauf wieder eine längere Brachephase (15 bis 20 Jahre) für die notwendige Erholung hinsichtlich der Bodenfruchtbarkeit sorgte (vgl. NRW-STIFTUNG 2006, MAUL 1997, SCHWIND 1984).

Betrachtet man die heutigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sowie Klima und Böden, kommen für die Nutzung der Flächen in der Regel nur Grünlandwirtschaft (Beweidung und Mahd) und Forstwirtschaft in Frage. Wie zuvor dargelegt, dominierte bis in das 19. Jahrhundert die Schiffelwirtschaft und Schafhaltung – Heide- bzw. Ödlandflächen hatten hier zu Beginn des Jahrhunderts ihre größte Ausdehnung wie Abbildung 2.1 verdeutlicht (vgl. PAFFEN 1940). Dabei steht Br (Bryères) für Heide, B (Bois) für Wald, T (Terres labourables) für Ackerland und P (Prés) für Wiesen und Weiden.

Bei der Interpretation des Begriffes „Heide“ gibt es gewisse Schwierigkeiten auf die auch PAFFEN (1940) hinweist. In der TRANCHOTKARTE wurde der Begriff „Heide“ für Schiffelland, Wildland, Ödland und Hutungen verwendet. Auch die pflanzensoziologische Interpretation bereitet Schwierigkeiten, da auch Kalkmagerrasen als „Heide“ aufgefasst wurden.

Etwa 1830 begannen die Preußen erste Versuche das Ödland mit Nadelgehölzen aufzuforsten, so dass Heiden, Magerwiesen und -weiden nach und nach zu Gunsten von

Nadelforsten zurückgedrängt wurden. Der Prozess dauerte bis in die 70er Jahre des vergangenen Jahrhunderts. Fettwiesen und -weiden haben im Gebiet immer eine untergeordnete Rolle gespielt. Ackerbau war hingegen bis etwa 1940 stets von Bedeutung. In der NS-Zeit wurden im Rahmen des Reichsarbeitsdienstes sogar großflächig Entwässerungsgräben gezogen, um mehr Ackerland gewinnen zu können. Spuren dieser Entwässerungsmaßnahmen kann man heute noch im Gebiet nachweisen (vgl. NRW-STIFTUNG 2006).



Abb. 1.2: TRANCHOTKARTE um 1810 mit Abgrenzung des Untersuchungsgebietes (Historika 25; Quelle: GEObasis NRW)

1.4 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn (Kap. 2) wird der theoretische Hintergrund der Arbeit erläutert und dargelegt, was unter Landschaftsstruktur zu verstehen ist. Dabei werden Zusammenhänge aufgezeigt, die zwischen Landschaftsstruktur und ökologischen Prozessen (Funktionen) bestehen können. Im Anschluss wird ein Überblick über die Landschaftsstrukturmaße gegeben und auf deren Anforderungen bei der Verwendung und deren Grenzen eingegangen. Zum Abschluss des Kapitels werden einige Anwendungsbeispiele aus der Praxis aufgeführt.

Im darauf folgenden Kapitel (Kap. 3) werden die Datengrundlagen zur Erstellung der Landbedeckungskarten für die Zeitpunkte um 1810, 1982 und 2008 dargestellt und auf die angewandten Methoden eingegangen sowie die eingesetzten Landschaftsstrukturmaße beschrieben.

In Kapitel 4 werden die Ergebnisse der Landschaftsstrukturanalyse zu den Zeitpunkten um 1810, 1982 und 2008 sowohl für das gesamte Untersuchungsgebiet, als auch für die NSG-Teilflächen dargestellt.

In der Diskussion (Kap. 5) werden die Probleme bei der Bearbeitung (Methodenkritik) besprochen. Im Anschluss folgt die Interpretation der Ergebnisse, bevor in Kapitel 6 ein Gesamtfazit gezogen und ein Ausblick auf mögliche Schritte zur Fortsetzung der Arbeit gegeben wird.

2. Landschaftsstruktur, Landschaftsökologie und Landschafts(struktur)maße – Theoretischer Hintergrund

Zur Beantwortung der Frage „Was ist Landschaft?“ existieren einige Definitionen, deren Unterschiede häufig auf der Betrachtung aus maßstäblich unterschiedlichen Blickwinkeln basieren (vgl. MCGARIGAL 2002). Für die Definition des Begriffs Landschaft ist auf der einen Seite eine anthropogen zentrierte und größenabhängige Auffassung des Landschaftsbegriffs maßgebend. Auf der anderen Seite spielt der Blickwinkel des betrachteten Individuums die entscheidende Rolle bei der Definition, wobei die Größenordnung flexibel ist (vgl. PETSCHACHER 2005).

LESER (2001: 25) definiert die Landschaft beispielsweise umfassend als Landschaftsökosystem, welches als „hochkomplexes Wirkungsgefüge von physiogenen, biotischen und anthropogenen Faktoren, die mit direkten und indirekten Beziehungen einen übergeordneten Funktionszusammenhang bilden“.

Unabhängig der maßstäblichen Betrachtungsweise, besteht jede Landschaft aus unterschiedlichen Bestandteilen, die in einer gewissen Anordnung zueinander stehen (vgl. HERBST 2007). Aus dieser spezifischen Anordnung der einzelnen Elemente ergibt sich ein für eine bestimmte Landschaft charakteristisches Gefüge oder Mosaik, das als Struktur einer Landschaft bezeichnet werden kann (vgl. FORMAN 1995).

WALZ (2004: 21f) nennt zwei Eigenschaften, die im Wesentlichen die spezifische Landschaftsstruktur beschreiben. Demnach machen „Zusammensetzung und Anordnung einzelner Landschaftselemente das charakteristische Gepräge einer Landschaft aus, durch das sie identifiziert und beschrieben werden können“. Zusammensetzung oder Komposition definiert dabei die Art und Anzahl der Landschaftselemente, die Anordnung oder Konfiguration beschreibt deren Größe und Lage im Raum zueinander. Landschaftselemente stellen dabei die kleinsten, weitgehend als homogen betrachteten Elemente einer Landschaft dar. Je nach Fragestellung und Betrachtungsmaßstab können diese beispielsweise Biototypen, Landnutzungsklassen oder strukturgebende Bestandteile wie Hecken und Gewässer darstellen. In der Literatur wird für den Begriff Landschaftselement häufig der Begriff Patch verwendet (vgl. LANG & BLASCHKE 2007; WALZ 2001: 14 u.a.). Andere Begriffe sind Ökotop, Landschaftszelle oder auch Fließe. Im Folgenden wird der Begriff Patch gebraucht.

Das heutige Landschaftsbild entspricht in weiten Teilen nicht mehr einer Naturlandschaft. Vielmehr ist es das „Ergebnis der Wechselwirkungen zwischen den Geofaktoren einschließlich Klima sowie der anthropogen bedingten Landnutzung [...]“ (LUTZE et al. 2004: 1). Daher kann man an der aktuellen Landschaftsstruktur sowohl die naturräumlichen Grundbedingungen und Prozesse, als auch die Nutzungsgeschichte ablesen.

Bei der Analyse der Landschaftsstruktur sind demnach zwei Ebenen zu betrachten. LUTZE et al (2004: 3f) bezeichnet diese als geomorphologisch-naturräumliche Vorprägung und als historischen und aktuellen Nutzungseinfluss. Dabei bildet die geomorphologisch-naturräumliche Vorprägung eine Art abiotischen Rahmen für die biotischen Ausstattungs- (u.a. Arten und Ökosysteme) und Nutzungspotenziale (z.B. landwirtschaftlich oder forstwirtschaftlich). Die Inanspruchnahme der Landschaft durch den Menschen (z.B. Siedlungstätigkeiten, Landnutzung) in der Vergangenheit und aktuell, haben die geomorphologisch-naturräumlichen Potenziale überprägt.

WALZ (2004: 21f) unterteilt die Landschaft ebenfalls in zwei Komponenten, die Primäre und Sekundäre Landschaftsstruktur. Die Primäre Landschaftsstruktur oder „Naturräumliche Vielfalt“ bezeichnet dabei die strukturellen Komponenten, welche die Geodiversität und Biodiversität einer Landschaft bestimmen. Wesentliche Bestandteile sind das Relief (Morphologie), die Bodenform und die natürliche Gewässerdichte. Die anthropogen bedingte Sekundäre Landschaftsstruktur oder „Kulturlandschaftliche Vielfalt“ baut auf der Primären Landschaftsstruktur auf und ist von linearen Elementen geprägt. Hierzu zählen nicht nur das Verkehrsnetz und Hochspannungsleitungen, auch jede Nutzungsgrenze zwischen zwei aneinandergrenzenden Nutzungen kann als solche aufgefasst werden. Solche Bereiche werden in der Ökologie als Ökotone bezeichnet, die häufig eine hohe Vielfalt aufweisen. „Während von linearen Infrastruktureinrichtungen häufig Störungen ausgehen, sind Ökotone in der Regel als positiv zu werten“ (WALZ 2004: 22).

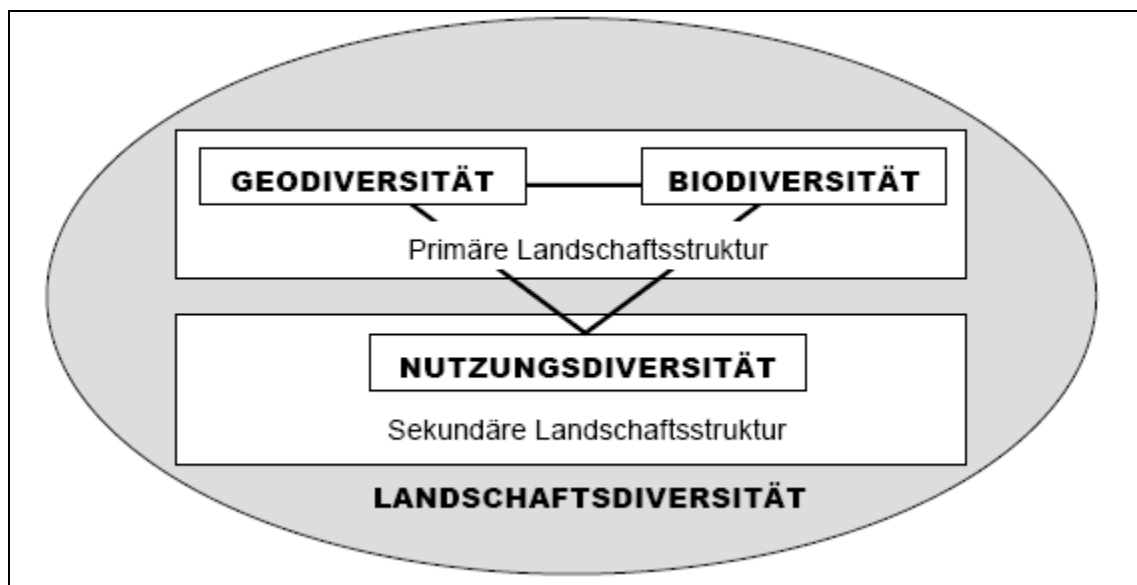


Abb. 2.1: Ebenen der Landschaftsstruktur nach WALZ 2004: 22 (in Anlehnung an JEDICKE 2001)

Abbildung 2.1 zeigt den Zusammenhang zwischen den Ebenen der Landschaftsstruktur: Aus dem Vergleich der heutigen Nutzung in ihrer strukturellen Anordnung mit der Vielfalt der standörtlichen Voraussetzung kann man anhand der aktuellen Landschaftsstruktur den anthropogenen Einfluss charakterisieren (vgl. WALZ 2004: 22).

2.1 Beziehung zwischen der Struktur und der Funktion einer Landschaft

Zwischen der Landschaftsstruktur und ökologischen Prozessen innerhalb einer Landschaft bestehen enge Beziehungen (vgl. WALZ 2004: 21, FORMAN 1995, LANG et al. 2003: 304). Im nordamerikanischen Ansatz der landscape ecology wird Landschaft unter den drei Aspekten Struktur, Funktion und Wandel betrachtet (vgl. TURNER & GARDNER 1991). Unter Struktur ist dabei die Größe, Form, Anzahl und Verteilung der Patches zu verstehen. Die Funktion beschreibt die Wechselwirkungen zwischen den räumlichen Elementen in Form von Energiefluss, Materialien und Organismen. Der Wandel bezieht sich dabei auf die Änderung der Struktur und Funktion der Landschaft über die Zeit (vgl. WALZ 2004: 21).

Damit der Landschaftsstrukturwandel beschrieben werden kann und eine Landschaftsstrukturanalyse unter dem Gesichtspunkt Erhaltungszustand im Sinne eines funktionierenden Lebensraumes für Flora und Fauna zielführend ist (Bewertung der Landschaftsfunktionen), muss a) die Landschaftsstruktur zu mindestens an zwei Zeitpunkten durchgeführt werden (TURNER 1989: 174) und b) Zusammenhänge zwischen Funktion und strukturellen Eigenschaften und die Qualität einer Landschaft im Hinblick auf bestimmte Funktionen bekannt sein (vgl. HERBST 2007). Im Folgenden werden einige dieser Zusammenhänge aufgezeigt.

Eine Landschaft unterliegt dem ständigen Wandel. Durch natürliche Dynamik kann sich das Landschaftsgefüge, beispielsweise durch Wald- und Buschbrände, Überschwemmungen oder Hangrutschungen ändern. Aber gerade durch den menschlichen Eingriff, unterliegt die Landschaft einem immer schnelleren Wandel – positiv, wie negativ. Denn viele der heutigen aus naturschutzfachlicher Sicht wertvollen Lebensräume, wie Magerwiesen, Heiden oder Kalkmagerrasen sind anthropogen entstanden und können nur durch entsprechende Nutzung bewahrt werden. Eine Störung oder gar Zerstörung dieser Strukturen führt zur Bedrohung von Lebensräumen und daran gebundene Arten.

Aus der Anzahl, Größe und Entfernung gleicher Biotope lassen sich Rückschlüsse auf die Vernetzung von Lebensräumen und damit die Vitalität von Tierpopulationen ziehen. Dabei bestimmt das Mosaik aus unterschiedlichen Landnutzungstypen den übergeordneten Aspekt der Artenvielfalt. Je höher die Varianz an Standortbedingungen und Strukturvielfalt innerhalb eines Ökosystems, umso größer ist die Möglichkeit für verschiedene Pflanzen- und Tierarten, diese Standorte zu besiedeln (BASTIAN & SCHREIBER 1994: zitiert aus HERBST 2007: 7).

Infrastruktureinrichtungen, wie Straßen, Bahngleise etc. besitzen eine Trenn- oder Barrierewirkung und können zusammenhängende Lebensräume zerschneiden (vgl. LANG & BLASCHKE 2007). Hingegen dienen natürliche lineare Strukturen wie Hecken,

Feldgehölze oder naturnahe Fließgewässer der Vernetzung und dem Austausch von Organismen.

Diese Zusammenhänge sind zwar häufig bekannt, lassen sich aber bisher kaum quantifizieren oder kausalanalytisch nachweisen (vgl. WALZ 2004:15). Es lassen sich zwar über die Analyse der Landschaftsstruktur allgemeine Rückschlüsse auf gewisse Funktionen ziehen, es kommt aber dabei darauf an, durch quantitative Aussagen zur Struktur zu quantitativen Bewertungsaussagen über ökologische Sachverhalte zu kommen. Daher muss bei einer Landschaftsstrukturanalyse immer bedacht werden, inwieweit quantitative Analyseergebnisse qualitative Aussagen zulassen. Für eine aussagekräftige Strukturanalyse ist daher die thematische Einbindung und passende Zuweisung von strukturellen Parametern zur Fragestellung ein entscheidendes Kriterium (vgl. HERBST 2007).

Grundlage für eine quantitative Erfassung der Landschaftsstruktur ist das aus dem amerikanischen Ansatz stammende „*patch-corridor-matrix*“-Modell nach FORMAN (1995). Hier geht man davon aus, dass es in einer Landschaft einen vorwiegend vertretenen, relativ homogenen Oberflächentyp gibt (Matrix), welche Patches und Korridore verschiedenen Typs einschließt. Unter einer Matrix kann man sich beispielsweise einen von Wald dominierten Landschaftsausschnitt vorstellen, in den lappenartig Rodungsinseln eingebunden sind (vgl. LANG & BLASCHKE 2007). In den europäischen Kulturlandschaften mit einer langen Nutzungsgeschichte fällt es häufig schwer, diese Matrix wieder zu finden. Es ist vielmehr davon auszugehen, dass diese aus einem Mosaik aus flächenhaften und linearen Elementen besteht, die in enger Wechselwirkung zueinander stehen (vgl. WALZ 2006).

Aufgrund des Bestrebens den Landschaftsstrukturwandel und damit einhergehende Einflüsse auf Prozesse und Veränderungen der Lebensbedingungen von Tier- und Pflanzenarten quantitativ darstellen zu können, wurde eine Vielzahl von landscape metrics bzw. Landschaftsstrukturmaßen entwickelt. Diese Entwicklungen wurden durch jüngste Fortschritte im Bereich des „computer processings“ und der geografischen Informationstechnologien ermöglicht (vgl. MCGARIGAL 2002).

2.2 Landschaftsstrukturmaße (Landscape Metrics)

Zur Quantifizierung räumlicher Muster von Landschaften existiert eine Vielzahl quantitativer Maßzahlen, die aus dem nordamerikanischen Ansatz der quantitativen Landschaftsökologie hervorgingen. Einen Überblick über die Indizes findet man beispielsweise bei MCGARIGAL & MARKS (1995) oder GUSTAFSON (1998). Darüber hinaus wurde nach eingehender Literaturrecherche zu publizierten Maßzahlen eine Online-Datenbank mit dem Namen IDEFIX (Indicator Database for Scientific Exchange) von einem Forscherteam aus Salzburg entwickelt (vgl. KLUG et al. 2003). Neben dem Namen und der mathematischen Formel der Maßzahlen wird hier auch Bezug auf den Anwendungskontext, Datenspezifizierung sowie auf Hinweise zu bereits vorliegenden

Evaluierungsergebnissen und die kritische Auseinandersetzung mit der jeweiligen Maßzahl genommen (vgl. KLUG et al. 2003).

Wie weiter oben erwähnt, handelt es sich bei Landschaftsstrukturmaßen um mathematische Formeln. Mit Hilfe dieser Algorithmen kann man räumliche Muster von Landschaften quantifizieren (vgl. WALZ 2004: 15). Diese lassen sich auf verschiedenen Ebenen berechnen. Das bedeutet aber auch, dass dieselben Maße auf unterschiedlichen Ebenen ganz unterschiedliche Sachverhalte im Landschaftsgefüge beschreiben und somit unterschiedliche Aussagen haben.

Patch-Indizes:

Mit Hilfe dieser Maßzahlen können einzelne Patches untersucht werden. Sie beziehen sich in der Regel auf Gestaltparameter wie Form, Größe oder Kernflächenanteil. So ist beispielsweise die Größe eines Patches für Tierarten entscheidend, die auf eine Mindestgröße ihres Lebensraumes angewiesen sind. Daneben gibt es Arten, die Randbereiche von Patches auf Grund möglicher Störungen meiden und Innenbereiche bevorzugen. Dem gegenüber stehen Arten wie z.B. der Rotmilan (*Milvus milvus*), der den Waldrand dem dichten Inneren des Waldes vorzieht (vgl. LANG & BLASCHKE 2007). Auch Lagebeziehungen einzelner Patches zueinander können mit diesen Indizes beschrieben werden. „So berücksichtigt beispielsweise der Proximity-Index als Nachbarschaftsmaß sowohl die Distanz zum nächstliegenden Patch derselben Klasse, als auch dessen Größe“ (WALZ 2004: 16).

Landscape-Indizes:

Während man mit den Patch-Indizes Eigenschaften einzelner Patches beschreiben kann, lassen sich mit den Landscape-Indizes die strukturellen Eigenschaften einer gesamten Untersuchungslandschaft mit einem Wert wiedergeben (vgl. LANG & BLASCHKE 2007). Sie entstehen durch Mittelwertbildung oder sind relative Anteile an Maximalwerten (vgl. WALZ 2004: 16). Die Mittelwertberechnungen sind teilweise gewichtet, um den Einfluss großer Patches zu berücksichtigen.

Zu den Landscape-Indizes gehören auch die Diversitätsmaße. Grundlegende Diversitätsmaße sind Fülle, Diversität, Dominanz und Gleichverteilung (vgl. LANG & BLASCHKE 2007). Das Hauptaugenmerk der Anwendung liegt in der Auswertung der Vielfalt der Nutzungseinheiten des Landschaftsausschnittes, ihrer Verteilung und der Anordnung linienhafter Elemente.

Class Indizes:

Sie sind klassenbezogen, d.h. sie berechnen Eigenschaften für alle Patches einer Klasse. Dabei handelt es sich wiederum um Mittelwertbildungen, z.T. gewichtet, oder Summen der ermittelten Patch-Indizes (vgl. WALZ 2004: 17). Im Hauptinteresse der Anwendung stehen in der Regel die Anzahl und Verteilung der Patches einer Klasse. Ein

Anwendungsfeld für die Class-Indizes ist die Habitatfragmentierung (Zerschneidung), bei der größere zusammenhängende Lebensräume in kleinere, z.T. isolierte Teilflächen zerschnitten werden. Dies führt unter anderem zum Verlust von Lebensräumen von Arten, die auf größere unzerschnittene Lebensräume angewiesen sind.

Nach WALZ (2004: 17) lassen sich Landschaftsstrukturmaße wie folgt unterteilen:

1. Maße für einzelne Patches

- Formmaße
- Kantenmaße
- Lagebeziehungsmaße
- Kernflächenmaße
- Abstandsflächenmaße
- Kontrastmaße

2. Maße für Landschaftsmosaik

- Grenz-(Kanten-)Maße
- Diversitätsmaße
- Verteilungsmaße

2.3 Anforderung an Landschaftsstrukturmaße, Auswahl und Grenzen

Landschaftsstrukturmaße müssen im Hinblick auf die Beschreibung der Landschaftsstruktur einigen Anforderungen gerecht werden. Im Folgenden sind nach WALZ (1999: 5) und SYRBE (1999: 150) einige dieser Anforderungen aufgelistet.

- einfache (geringer Aufwand) und sichere (niedrige Fehlerquoten, Eindeutigkeit) Erfassbarkeit, z.B. aufgrund kartographischer Unterlagen oder Fernerkundungsdaten,
- hohe Stabilität gegenüber technisch, zeitlich oder bearbeiterspezifischen bedingten Variation der Daten,
- Orientierung an ökologischen Steuergrößen des Naturhaushalts,
- spezifische Sensibilität gegenüber charakteristischen Landschaftsentwicklungen,
- räumliche Übersicht und Vergleichbarkeit,
- möglicher Ausgleich bzw. die Unempfindlichkeit gegenüber temporären, zyklischen oder singulären Veränderungen in der Landschaft, gleiche Strukturen in der Landschaft mit identischen Werten beschreiben,
- unabhängig und unkorreliert von anderen Indizes sein und

- skaleninvariant sein, d.h. sie sollten unabhängig von der absoluten Fläche des Untersuchungsgebietes sein.

„Da die volle Befriedigung einzelner Forderungen eine Verletzung anderer zur Folge haben kann, gibt es in diesem Sinne keine „optimalen“ Strukturindikatoren“ (SYRBE 1999: 150).

Allgemein sind Indizes kritisch zu betrachten, weil sie sehr datenabhängig sowie unsensibel gegenüber unterschiedlichen räumlichen Anordnungen bei gleich bleibender Anzahl von Patches reagieren (vgl. BLASCHKE 2000).

MCGARIGAL (2002) weist darauf hin, dass bei der Berechnung von Landschaftsmaßen der Betrachtungsmaßstab immer genau festgelegt werden muss, da eine Landschaft eine ganze Hierarchie an Patch-Mosaiken enthält, die sich je nach Betrachtungsmaßstab ändern. Grenzen der Elemente und somit die Berechnung von Landschaftsmaßen und deren Vergleich gewinnen daher erst an Bedeutung, wenn sie auf einen bestimmten Maßstab bezogen werden.

Aufgrund der Vielzahl an verschiedenen Landschaftsstrukturmaßen ist die Suche nach einigen, die für eine bestimmte Fragestellung am aussagekräftigsten sind, von großer Bedeutung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass einige der Landschaftsstrukturmaße dimensionslos sind, andere in Prozent angegeben und wieder andere Maße mit Einheiten ausgegeben (z.B. Meter pro Hektar) werden. „Es kann daher sein, dass die Absolutwerte der Strukturmaße allein nicht aussagekräftig sind, sondern eher als Vergleichsmaße dienen. Viele der LSM korrelieren in ihren Aussagen sehr stark miteinander. Das bedeutet, sie machen vergleichbare Aussagen, wie z.B. NP und PD, SHAPE und FRACT“ (HERBST 2007: 14).

Die Auswahl und Interpretation der Landschaftsstrukturmaße muss immer im Hinblick auf deren ökologische Bedeutsamkeit sowie deren Aussagekraft bezüglich der jeweiligen Fragestellung überprüft werden (vgl. Walz 2001: 140f). Zumeist reicht es aus, ein relativ kleines Set an Landschaftsstrukturmaßen zu verwenden, um die wichtigsten Struktureigenschaften einer Landschaft zu beschreiben. (vgl. LANG & BLASCHKE 2007, WALZ 2004: 17).

Auch die Auswahl geeigneter Fernerkundungsdaten spielt eine wichtige Rolle. Dabei haben vor allem Maßstab und Qualität der Daten einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Ausprägung und Interpretierbarkeit der Landschaftsstrukturmaße (vgl. HEROLD & MENZ 2001: 381). Die räumliche Auflösung der Daten wird durch die kleinste kartierbare Einheit vorgegeben und bezieht sich auf die kleinste kartierte Einheit oder Pixel. Bei einer zu geringen räumlichen Auflösung kommt es zum Verlust von Strukturinformation und zur Aggregation von Patches. Dadurch wird eine Landschaftshomogenität suggeriert, die nicht dem realen Landschaftsbild entspricht.

Daneben spielt die inhaltliche Tiefe der Klasseneinteilung des Phänomens eine entscheidende Rolle (vgl. LANG & BLASCHKE 2007). Hier spricht man auch von der thematischen Auflösung, die im Wesentlichen durch die spektrale Auflösung bestimmt wird. Von ihr ist es abhängig, ob eine Ableitung der gewünschten Patchklassen möglich ist. Sie hat daher entscheidenden Einfluss auf die Landschaftsstrukturmaße. „Bei zu geringer thematischer Auflösung könnte die Landschaft zu homogen wiedergegeben werden“ (vgl. HEROLD & MENZ 2001: 382)

Zur Analyse der Landschaftsstruktur ist es notwendig, ein geeignetes Untersuchungsgebiet abzugrenzen. Die Abgrenzung des Untersuchungsraumes erfolgt nutzerspezifisch. Die Entscheidung beeinflusst aber die Ergebnisse von Landschaftsstrukturmaßen, da sie auf Klassen- und Landschaftsebene oftmals sensibel auf die Größe und die Abgrenzung des Untersuchungsraumes reagieren (vgl. LIPP 2006: 26, zitiert aus HERBST 2007: 14). Möglichkeiten der Diskretisierung stellen beispielsweise administrative Einheiten dar. Allerdings bleibt dabei häufig eine naturräumliche Ausstattung unberücksichtigt. Naturraumeinheiten sind daher eher zu empfehlen, wobei nicht immer die nötige Datenlage vorhanden ist (vgl. HERBST 2007). Die Wahl des Untersuchungsraumes ist allerdings vom Verwendungszweck sowie von der Datenquelle abhängig, weshalb keine allgemeingültige Gliederung der Bezugsräume existiert (vgl. WALZ 1999: 5f).

Nach diesen Ausführungen wird deutlich, dass man bei der Durchführung einer Landschaftsstrukturanalyse einige Vorüberlegungen über die Auswahl von geeigneten Landschaftsstrukturmaßen, der Datengrundlage und des Untersuchungsgebietes in Abhängigkeit der Fragestellung treffen muss. Viele Autoren warnen daher vor einem unreflektierten Einsatz von Landschaftsstrukturmaßen (u.a. MCGARIGAL & MARKS 1995, WALZ 2001: 140f)

2.4 Anwendungsbeispiele aus der Praxis

Im zunehmenden Maße werden Landschaftsstrukturmaße eingesetzt, um den ökologisch relevanten Zustand einer Landschaft oder spezifische Umweltgüter zu charakterisieren (vgl. Walz 2004: 23). Auch zur Beschreibung des Strukturwandels einer Landschaft findet dieser Ansatz Anwendung. So ging es beispielsweise in der Arbeit von v. SCHNAKENBURG & SCHMIEDER (2008) darum, die Anwendung von Landschaftsstrukturmaßen zur Beschreibung des Landschaftswandels am Raichberg (Schwäbische Alb) zu überprüfen. Im Ergebnis konnte gezeigt werden, dass die eingesetzte Methode sehr gut zum Vergleich der Landschaftsstruktur zweier Zeitpunkte auch im größeren Maßstab geeignet ist. PETSCHACHER (2005) untersuchte mit Hilfe eines Sets von Landschaftsstrukturmaßen die Degradierung inneralpiner Trockenrasen durch fortschreitende Verbuschung am Beispiel des Natura-2000-Gebietes „Flisser Sonnenhänge“ im Tiroler Oberland. Zielsetzung war die Entwicklung einer kostengünstigen, effizienten, objektiven und standardisierten Methode der

Gebietsbeobachtung und -charakterisierung im Rahmen der FFH-Berichtspflicht. Die zunehmende Verbuschung wurde im Vergleich zwischen zwei Zeitpunkten (1971 und 2001) anhand der Landschaftsstrukturmaße Fläche, Form-Maße, Core Area und Proximity Index charakterisiert. Dabei konnte festgestellt werden, dass sich vor allem Core Area und Proximity Index sehr gut zum Monitoring verbrachender Kulturlandschaftsflächen eignen. Im Rahmen des Projekt „Landschaftsökologische Strukturmerkmale als Indikatoren der Nachhaltigkeit (SINUS)“ wurde eine Reihe von verlässlichen Indikatoren für die Bewertung und langfristige Beobachtung der Nutzung von Kulturlandschaften entwickelt (vgl. WRBKA 2003). Projektergebnisse waren unter anderem die Erstellung einer digitalen raumbezogenen Datenbasis und thematische Karten zur Landschaftsstruktur, Hemerobie (Natürlichkeitsgrad), Landnutzung etc. aus 140 Testquadranten in ganz Österreich (Erhebungsmaßstab 1:10.000). Weitere Beispiele für die Anwendung von Landschaftsstrukturmaßen geben u.a. HERZOG et al. (1999) und LAUSCH (2000). Im Rahmen des EU-Projektes Spatial Indicators for European Nature Conservation (SPIN) hat man das Potenzial der Landschaftsstrukturindizes für Monitoringaufgaben im Rahmen der FFH-Berichtspflicht für Schutzgebiete des Natura-2000-Netzwerkes erforscht (vgl. LANG et al. 2002).

3. Material und Methoden

3.1 Datengrundlagen

Für die Berechnung der Landschaftsmaße mussten zunächst drei Landbedeckungskarten digitalisiert werden. Hierfür standen verschiedene Grundlagen zur Verfügung.

3.1.1 Luftbildkarten, Deutsche Grundkarte und TRANCHOTKARTE aus dem Kartenwerk Historika25

Wichtigste Grundlage zur Kartierung der Landschaftspatches stellen in dieser Arbeit die Luftbildkarten der Jahre 1982 und 2008 dar. Alle Kartengrundlagen wurden dankenswerter Weise vom Landesvermessungsamt NRW, heute Bezirksregierung Köln, Abteilung 7 (GEObasis.NRW) für die Bearbeitung der Arbeit zur Verfügung gestellt. Für das Jahr 1982 lag eine panchromatische Luftbildkarte im Maßstab 1:5000 vor. Die räumliche Auflösung der Luftbildkarte beträgt 0,4 m.



Abb. 3.1: Luftbildkarte von 1982 (Aufnahmedatum: 13.05.1982; Quelle: GEObasis.NRW)

Für das Jahr 2008 konnte die Landbedeckungskarte auf der Grundlage einer farbigen Luftbildkarte mit einer Bodenauflösung von 0,1 m erstellt werden. Die Bilder wurden am 06. Mai 2008 aufgenommen.



Abb. 3.2: Luftbildkarte des Untersuchungsgebietes 2008 (Quelle: GEObasis.NRW)

3.1.2 Deutsche Grundkarte

Die Deutsche Grundkarte (Maßstab 1:5.000) wurde als WMS-Layer (Web Map Service) in das Projekt eingebunden, um hin und wieder den Verlauf der Verkehrsinfrastruktur bei verdeckter Wegführung abzuklären bzw. den Verlauf der Fließgewässer zu ermitteln.

3.1.3 TRANCHOTKARTE um 1810

Für die Erfassung der Landbedeckung um 1810, wurde das entsprechende Teilstück der TRANCHOTKARTE (Maßstab 1:25.000) des digitalen historischen Kartenwerks Historika25 verwendet. Dazu wurde ein identischer Ausschnitt der digitalen Topografischen Karte von 1998 (ebenfalls aus dem Kartenwerk) in das GIS-Projekt (Geographisches Informationssystem) überführt und anhand eines georeferenzierten

Messtischblattes (WMS-Layer) über geeignete Passpunkte georeferenziert. Anschließend wurde die Karte inklusive TFW-File (TIFF World File) exportiert. Der erzeugte TFW-File diente anschließend zur Referenzierung des entsprechenden TRANCHOTKARTEN-Ausschnittes. Das erzielte Ergebnis erschien dem Bearbeiter ausreichend und wurde zur weiteren Bearbeitung verwendet.



Abb. 3.3: Ausschnitt aus der TRANCHOTKARTE um 1810 (Quelle: Historika25, GEObasis.NRW)

3.2 Abgrenzung der Landbedeckungsklassen

Die Erfassung der Landbedeckungsklassen erfolgte über die Auswertung der Luftbildkarten von 1982 und 2008 über visuelle Auswertung der digitalen Luftbildkarten direkt am Bildschirm. Die Abgrenzung der Landbedeckungsklassen erfolgte anhand der Farbgebung, Form, Struktur und Textur. Weitere Hilfsmittel zur Abgrenzung waren die Naturschutzfachinformationen (Landschaftsinformationssammlung) des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), die ebenfalls als Layer in das Projekt eingebunden wurden. Zur Einordnung der einzelnen erkennbaren Objekte in den Luftbildkarten wurde ein Interpretationsschlüssel abgeleitet (vgl. Tab. 3.1).

Tab.: 3.1 Interpretationsschlüssel zur Auswertung der Luftbildkarten 1982 und 2008

Erkennbarkeit im Luftbild		
Landbedeckung	06.05.2008	13.05.1982
Wald	blumenkohlartige Textur	blumenkohlartige Textur
Nadelwald	Dunkelgrün, feine Textur	dunkler Grauton; im Vergleich zu Laubwald, feine Textur
Laubwald	unbelaubt, daher grau/braun, gröbere Textur, z.T. Laubentwicklung erkennbar	heller Grauton; im Vergleich zu Laubwald, grobe Textur
Mischwald	keine eindeutige Dominanz von Nadel- oder Laubbäumen feststellbar	keine eindeutige Dominanz von Nadel- oder Laubbäumen feststellbar
Gehölz	einzelnd od. mehrere Gehölze (Sträucher/Bäume) im direkten räumlichen Zusammenhang	einzelnd od. mehrere Gehölze (Sträucher/Bäume) im direkten räumlichen Zusammenhang
Hecken	linienhafte Anordnung von Gebüsch u./o. Bäumen (s. auch Wald)	linienhafte Anordnung von Gebüsch u./o. Bäumen (s. auch Wald)
Gebüsch	geklumpte Anordnung von Gehölzen (Sträucher u./o. Bäume, kompakt (s. auch Wald) od. Einzelgebüsch	geklumpte Anordnung von Gehölzen (Sträucher u./o. Bäume, kompakt (s. auch Wald) od. Einzelgebüsch
Grünland	Wiesen häufig mit grobstreifiger Textur, dunkelgrün.	Wiesen häufig mit grobstreifiger Textur, dunkelgrauer Farbton
	Weiden: z.T. Zäunung erkennbar, durch zusätzlicher Mahd oder Wiesenschleppen, z.T. streifige Textur, in der Regel fleckiger als Wiesen, dunkelgrün	Weiden: z.T. Zäunung erkennbar, durch zusätzliche Mahd oder Wiesenschleppen, z.T. streifige Textur, fleckiger als Wiesen, dunkelgrauer Farbton
Brache	helles gelb/beige, häufig Randlagen, raue Textur, Gebüsch, fehlende Anzeichen einer landwirtschaftlichen Nutzung	heller als Grünland, Textur rau, körnig, fleckiger als Grünland, z.T stark verbuscht und teilweise aufgeforstet (ehem. Heiden und Feuchtgrünland), fehlende Anzeichen einer landwirtschaftlichen Nutzung
Heide (Klasse Nardo-Callunetea, vor allem aus der Ordnung Nardetalia)	helles Grün bis gelblich/gräulicher Farbton, fleckiger als Grünland, oft mit Gebüsch bestanden, rauere Textur, z.T. mit streifiger Textur (Hinweis auf Bewirtschaftung)	ähnlich Brache, zur Differenzierung wurden weitere Quellen (Luftbilder und mdl. Aussagen von Herrn Prof. Dr. Schumacher) herangezogen, da auf dem Luftbild nicht immer deutlich unterscheidbar
Acker	grün bis braun in unterschiedlichen Abstufungen, deutliche Fahrspuren, streifige Textur	helle Grautöne, mit feinstreifiger Textur
Siedlung	Gebäude und umgebende Grünflächen	Gebäude und umgebende Grünflächen
Verkehrsfläche	linienhafte Strukturen, grau bis weiß	linienhafte Strukturen, grau bis weiß
Straßen	grau bis hellgrau	grau bis hellgrau
Wirtschafts-/Wanderwege	eher weiß, Fahrspuren bei unbefestigten Wegen, schmale Schneisen im Wald	eher weiß, Fahrspuren bei unbefestigten Wegen, schmale Schneisen im Wald
Fließgewässer	linienhafter Verlauf, z.T. in Begleitung von Gehölzstrukturen, zu Hilfenahme topographischer Karten bei unklarem Verlauf	linienhafter Verlauf, z.T. in Begleitung von Gehölzstrukturen, zu Hilfenahme topographischer Karten bei unklarem Verlauf

Die Zuordnung und Abgrenzung der Landbedeckungsklassen wurden zumindest für 2008 durch eine Geländebegehung am 27. Februar 2009 stichprobenartig verifiziert. Für die Kartierung des Jahres 1982 ist dies nicht möglich. Um dennoch möglichst viele Fehlklassifizierungen zu vermeiden, wurden Gespräche mit Herrn Prof. Dr. Wolfgang Schumacher (Universität Bonn, Institut für Nutzpflanzenkunde und Ressourcenschutz, Fachbereich Ökologie der Kulturlandschaft) geführt. Er ist seit mehreren Jahrzehnten ein ausgesprochener Kenner der Sisitig-Krekeler Heide und stellte darüber hinaus dem Bearbeiter einige Schrägluftbilder, unter anderem aus den Jahren 1975 und 1988 zur Verfügung.



Abb. 3.4: Schrägluftbild der Sisitig-Krekeler Heide von 1975. Deutlich sind die hellbraunen-beigen Bracheflächen, die z.T. deutlich verbuscht sind, zu erkennen, ebenso Nadelholzaufforstungen am linken Bildrand. (Quelle: Prof. Dr. W. Schumacher)



Abb. 3.5: Blick in die Sistig-Krekeler Heide in Richtung Westen 1988 (Quelle Prof. Dr. W. Schumacher)

Es ist dennoch nicht auszuschließen, dass die Kartierungen Fehler aufweisen. Mögliche Fehlerquellen sind die Abgrenzung bei unscharfer Wald-Offenlandgrenze, die genaue Abgrenzung der Siedlungsflächen, da nicht nur Gebäude, sondern auch Hof- und Gartenflächen zu dieser Klasse zählen und die genaue Abgrenzung von Gewässerläufen.

Die Landbedeckungsklassen um 1810 wurden aus der TRANCHOTKARTE abgeleitet.

3.3 GIS, Landbedeckungskartierung und Analyse

Methoden moderner GI-Systeme (Geographische Informationssysteme) und die Verfügbarkeit digitaler Geodaten, sowie hohe Speicherkapazitäten und Rechengeschwindigkeiten ermöglichen es heute, komplexe räumlich-statistische Analysen durchzuführen (vgl. WALZ 2004: 18). Seit den 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts entsteht im zunehmenden Maße ein Methodengerüst zur Durchführung strukturbeschreibender Landschaftsanalysen (vgl. LANG & BLASCHKE 2007), das heute in eigenen Softwareprodukten oder Extension für GI-Systeme Einzug gehalten hat. Das Softwareprodukt FRAGSTATS (MCGARIGAL & MARKS 1995) ist wohl nach wie vor das Standardprodukt zur quantitativen Landschaftsstrukturanalyse und bietet mehrere hundert Landschaftsstrukturmaße zur Auswahl. In dieser Arbeit wurde die Analyse mit der ArcGis-Extension V-Late (Vector-based Landscape Analysis Tools Extension) durchgeführt. Die Extension bietet ein spezifisches Set an Maßzahlen zur quantitativen

Strukturbeschreibung, das die grundlegenden Kategorien Fläche, Form, Randliniendichte (Edge Density), Kernfläche (Core Area), Nähe und Eingebundenheit, Diversität sowie Zerschneidung berücksichtigt. Ein Vorteil gegenüber anderen Produkten besteht darin, dass Berechnungen auf Polygon-Datensätze direkt durchgeführt werden können. Arbeitstechnische Schwierigkeiten wie Konvertierung von Vektor- in Rasterdaten oder Schnittstellenprobleme bei stand-alone Produkten können so vermieden werden (vgl. LANG et al. 2004: 35 f).

Für die Berechnung der Landschaftsstrukturmaße musste zunächst die Datenbasis geschaffen werden. Anhand der Luftbildkarten konnten 13 Landbedeckungsklassen abgeleitet werden (vgl. Tab. 3.1). Die Abgrenzung erfolgte manuell durch Digitalisierung der einzelnen Patches im Maßstab 1:5.000 am Bildschirm. Dazu wurde die Software ArcGis 9.2 von ESRI verwendet. Abweichungen im Digitalisierungsmaßstab wurden ausnahmsweise nur zur Kartierung kleinerer Gebüsche in Kauf genommen, damit möglichst alle Gebüschsstrukturen erfasst werden konnten. Hier erfolgte die Erfassung z.T. mit den Advanced Editing Tools (Circle Tool). Weitere Auswertungen und die Erstellung von Tabellen und Grafiken wurden mit Microsoft Office 2003 Excel durchgeführt.

Zur Beschreibung des Landschaftsstrukturwandels wurden Landschaftsstrukturmaße aus den Kategorien Fläche, Form und Randliniendichte herangezogen. Neben der Beschreibung des Strukturwandels im Untersuchungsgebiet wird im weiteren Verlauf der Arbeit auch auf den Erhaltungszustand (Beeinträchtigung durch Verbrachung und Verbuschung) der NSG-Flächen eingegangen. Für die Beschreibung des Zustandes der Kernflächen des NSG Sistig-Krekler Heide sind vor allem solche Maßzahlen von Interesse, mit denen sich negative, wie positive Veränderungen im Gebiet aufzeigen lassen. Negative Entwicklungen stellen vor allem Nutzungsintensivierung, die Aufgabe der extensiven landwirtschaftlichen Nutzung und Aufforstung dar (vgl. LANUV, MERTZ 2004, MUNLV 2004 u.a.). Eine mögliche Nutzungsintensivierung lässt sich anhand quantitativer Maßzahlen nicht nachweisen. Von der Nordrhein-Westfalen-Stiftung und der Biologischen Station im Kreis Euskirchen e.V. wurden Pachtverträge und Verträge zum Kulturlandschaftsprogramm NRW für Flächen innerhalb des NSG zur Verfügung gestellt. Sie geben Aufschluss über die Bewirtschaftungsintensität auf den Naturschutzflächen (vgl. NRW-STIFTUNG 2006).

Die Nutzungsauffassung der Grünland- und Heideflächen ist durch die Sukzessionsfolge Verbrachung, vermehrtes Aufkommen von Gehölzen (Verbuschung) und Wald gekennzeichnet. Folgende Parameter wurden ausgewählt, die nach

Auffassung des Bearbeiters den Wandel des Erhaltungszustands der Landbedeckungsklassen Heide und Grünland hinsichtlich der Beeinträchtigung durch Verbrachung und Verbuschung zu den Zeitpunkten 1982 und 2008 ausreichend genau wiedergeben:

- Flächenanalyse (Zu- bzw. Abnahme der Fläche, NP, Mean Patch Size)
- Formanalyse (Mean Shape Index)
- Analyse der Randliniendichte (Edge Density und Total Edge)
- Nachbarschaftsanalyse (Proximity-Index)
- Kernflächenanalyse (Core Area)

Flächenanalyse

Die Flächengröße ist ein Maß zur Beschreibung der Zusammensetzung einer Landschaft und lässt sich relativ leicht mit Hilfe eines GI-Systems berechnen. Viele weitere Maßzahlen bauen auf der Flächengröße auf. Das einfachste Maß zur Beschreibung der Zusammensetzung ist der Flächenanteil, den einzelne Klassen an der Gesamtlandschaft einnehmen. In der vorliegenden Arbeit wurden der Flächenanteil, Anzahl Flächen und die durchschnittliche Flächengröße (Mean Patch Size) herangezogen, um die Zusammensetzung der Landschaft zu charakterisieren.

Die Flächengröße spielt auch unter ökologischen Gesichtspunkten eine große Rolle. So muss beispielsweise für die Beherbergung einer Mindestanzahl an Individuen, die den Fortbestand einer Art garantiert (Minimum Viable Population Size, MVP), eine ausreichend große Fläche (Mindestfläche) vorhanden sein, die je nach betrachteter Art variiert (vgl. LANG & BLASCHKE 2007). Sind Populationen miteinander vernetzt, reicht eine geringere Individuenanzahl als MVP aus.

Darüber hinaus beherbergen große Flächen potenziell mehr Arten als kleine Flächen. Dies liegt im unterschiedlichen Flächenanspruch einzelner Arten (Minimumareal) begründet. Die Beziehung zwischen Artenanzahl und Flächengröße lässt sich über so genannte Art-Areal-Kurven aufzeigen. Dabei wird in einem Diagramm die Artenzahl gegenüber der Fläche aufgetragen. Mit zunehmender Fläche steigt zunächst die Artenanzahl steil an. Ab einem bestimmten Punkt, dem so genannten Minimum Area Point, kommt es zu keinem nennenswerten Anstieg des Kurvenverlaufs, d.h. hier wird ein quasi stabiler Artenpool erreicht. Auch wenn man die Fläche vergrößert, ist mit keinem weitem Anstieg der Artenanzahl zu rechnen. Das Minimumareal, das alle wesentlichen Arten einer Wiese (Flora) enthält, liegt beispielsweise zwischen 5 und

10 m², für Trockenrasen und Halbtrockenrasen bei 10 bis 50 m² (vgl. DIERBEN 1990: 10 ff; zitiert aus dem Skript zur Vorlesung Geobotanik, Universität Bonn 2002).

Formanalyse

Formmaße beschreiben die Formkomplexität der einzelnen Patches. In der Ökologie ist diese Information von Bedeutung, da sie ebenso wie die Größe von Flächeneinheiten, einen entscheidenden Einfluss auf die Ausbreitung von Arten und die Stabilität von Artengemeinschaften hat (vgl. FORMAN 1995). Darüber hinaus gibt die Form von Patches einen Hinweis auf den Grad des anthropogenen Einflusses. Studien zeigen, dass eine vom Menschen gestaltete Kulturlandschaft generell einfachere Formen aufweist als natürliche bzw. naturnahe Ökosysteme (vgl. TURNER 1989). Ein häufig gebrauchtes Maß zur Formbeschreibung ist der Shape-Index, der auch in dieser Arbeit eingesetzt wird. Dabei handelt es sich um ein standardisiertes Maß, das das Verhältnis von Umfang zur Fläche im Vergleich zu einem Kreis beschreibt. Je höher der Wert, desto weiter ist die Form des betrachteten Patches von der Form eines Kreises entfernt (vgl. LANG & BLASCHKE 2007). Unter dem Aspekt der Naturnähe kann man davon ausgehen, dass kompakte Formen eher anthropogen bedingt sind, als solche, die einen hohen Shape-Index aufweisen.

Analyse der Randliniendichte

Randlinien sind die Grenzen von Patches. Daher wird im Folgenden immer der Begriff Grenzlinie verwendet. Maße zur Beschreibung der Grenzlinien sind Grenzliniendichte (Edge Density: ED), Grenzliniensumme (Total Edge: TE) und Mittlere Randlinienlänge (Mean Patch Edge: MPE). Mit Hilfe von ED und TE kann man Aussagen über die Verzahnung und Komplexität einzelner Teillebensräume treffen. Je größer die Grenzliniendichte bzw. Grenzliniensumme, desto höherwertiger ist die Struktur des betrachteten Landschaftsausschnitts (vgl. LANG & BLASCHKE 2007). Bei der Beurteilung der Grenzliniensumme bzw. der -dichte muss aber zwingend auf die Qualität der Grenzlinie geachtet werden, denn anthropogene Strukturen wie Straßen können beispielsweise die Grenzliniendichte der Landschaft „künstlich“ erhöhen. In der Arbeit wird zur Beschreibung der Strukturvielfalt auf Klassenebene die Grenzliniensumme, auf Landschaftsebene die Grenzliniendichte eingesetzt.

Nachbarschaftsanalyse

In einem Landschaftsausschnitt können Patches gleich verteilt oder gehäuft auftreten. Die Lagebeziehung einzelner Patches zueinander kann durch distanzbasierte Nachbarschaftsmaße beschrieben werden. In dieser Arbeit wird der Proximity-Index (PX) verwendet, der konzeptionell auf die Idee der „Interaktion zwischen Patches“ von WHITKOMP in den 1980er Jahren zurückzuführen ist. Anhand dieser Maßzahl soll die Verbuschung der NSG-Flächen als Folge der Nutzungsauffassung und anschließender Verbrachung beschrieben werden. Neben der Distanz (Edge to Edge) zum benachbarten Patch derselben Klasse wird bei der Berechnung des PX die Patchgröße einbezogen (flächengewichtetes Distanzmaß). Welche nächstgelegenen Patches in die Berechnung des PX einbezogen werden, wird vom Bearbeiter über den Proximity-Buffer bestimmt (vgl. LANG & BLASCHKE 2007). Die Größe dieses Buffers repräsentiert den Aktionsradius des Organismus von Relevanz. In der vorliegenden Arbeit wird ein Buffer von 5 m gewählt. PX als flächengewichtetes Distanzmaß nimmt einen hohen Wert an, „wenn ein Patch von einem großen und/oder nahe gelegenen Patches umgeben ist. Er nimmt bei kleiner werdenden Flächen und größeren Abständen ab“ (LANG & BLASCHKE 2007). PX kann in verschiedenen Variationen berechnet werden. In V-Late sind folgende implementiert und werden in der vorliegenden Arbeit berechnet:

- „PX92: Berücksichtigt werden die Distanz zum nächstgelegenen Nachbarpatch und die Fläche des Zielpatches
- PX94: Berücksichtigt alle Patches innerhalb des PB (Proximity Buffer) und darin die Verhältnisse zum jeweils nächstgelegenen Patch aufsummiert.
- PXfg: Berücksichtigt ebenfalls alle Patches innerhalb PB, jedoch werden alle Flächen-Entfernungsverhältnisse auf das Fokalpatch bezogen aufsummiert.“ (PETSCHACHER 2005: 34)

Kernflächenanalyse

Mit Hilfe der Kernflächenanalyse ermittelt man die Innenfläche (Kernfläche) eines Patches unter Abzug der Randbereiche, die unter dem Einfluss so genannten Edge Effects stehen und daher andere Lebensbedingungen als das „Innere“ aufweisen (vgl. LANG & BLASCHKE 2007). Die Kernfläche (Core Area) wird häufig mit dem effektiv nutzbaren Lebensraum betrachteter Tier- und Pflanzenarten gleichgesetzt. Kernflächen werden durch den Abzug eines nach innen gerichteten (negativen) Buffers erzeugt. Da

die Grenze parallel zur Patchgrenze verläuft und beispielsweise keine Exposition oder Windeinflüsse berücksichtigt, stellt sie nur eine Annäherung an den realen Randeffekt dar. Wie weit die äußeren Effekte in die Fläche einstrahlen, ist abhängig von der Fragestellung. Für die vorliegende Arbeit wird ein Randeffekt von 5 m angenommen. Die verbleibende Kernfläche ist dabei stark abhängig von den geometrischen Eigenschaften der Ausgangsfläche. Beispielsweise weisen lang gestreckte oder zerlappte Patches prozentual geringere Kernflächen auf als kompakte Formen gleicher Flächengröße (vgl. LANG & BLASCHKE 2007). Aus naturschutzfachlicher Sicht sind besonders die Landbedeckungsklassen Heide und Grünland von Bedeutung und werden hinsichtlich der verbleibenden Kernflächen beschrieben.

4. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Strukturwandels im Untersuchungsgebiet dargestellt. Zunächst wird die Landbedeckung um 1810 (TRANCHOTKARTE) beschrieben. Anhand der abgeleiteten Landbedeckungskarte soll hier lediglich ein Eindruck von der Verteilung und Größe der jeweiligen Landbedeckungsklasse gegeben werden. Anschließend wird der Landschaftsstrukturwandel in den Jahren 1982 und 2008 unter Verwendung der Landschaftsstrukturmaße Flächengröße, Mean Patch Size (MPS), Mean Shape Index (MSI) sowie Grenzliniensumme und -dichte beschrieben. Zum Abschluss wird anhand ausgewählter Indizes (vgl. Kap. 3.3) und unter zu Hilfenahme weiterer naturschutzfachlich relevanter Informationen die Entwicklung und damit der Erhaltungszustand der NSG-Flächen der Sistig-Krekeler Heide abgeleitet.

Als Ergebnis der Auswertung der TRANCHOTKARTE und der Luftbildkarten von 1982 und 2008 sind drei Landbedeckungskarten entstanden.

4.1 Landbedeckung um 1810

Die erste Landbedeckungskarte (Abb. 4.1) zeigt den Zustand der Landschaft um das Jahr 1810. Es wird deutlich, dass es sich hier um einen Landschaftsausschnitt handelt, der im Wesentlichen von „Heide“ (48,8 % bzw. 213,8 ha; NP: 36) und Ackerland (29,1 % bzw. 127,28 ha; NP: 21) dominiert wurde (vgl. Abb. 3.2). Maximale Patch-Größen betragen für die Klasse Acker 17,28 ha, für die Klasse Heide sogar 26,00 ha. Der Waldanteil im Untersuchungsgebiet liegt lediglich bei 12,5 %. Dies entspricht einer Fläche von rund 55 ha (vgl. Abb. 4.2). Die durchschnittliche Größe (MPS) der 10 Wald-Patches liegt bei 5,47 ha, wobei das größte Waldgebiet eine Fläche von 22,36 ha einnimmt.

Grünland gab es bis auf wenige Ausnahmen nur in Siedlungsnähe (vgl. Abb. 4.1). Anfang des 19. Jahrhunderts lag der Flächenanteil für die Klasse Grünland nur bei 7,1 % (31,13 ha) bei einer MPS von 2,59 ha (NP: 12).

Die relativ großen „Heide-“ und Ackerflächen (MPS rund 6 ha) werden von einem Netz aus Feldwegen mit einem Flächenanteil von rund 0,8 % durchzogen (vgl. Abb. 4.1). Dies entspricht einem Absolutwert von 3,40 ha (NP: 62). Bei den im Süden des Untersuchungsgebiet liegenden Siedlungen Benenberg, Krekel und Rüth handelt es sich noch um kleinere Weiler, die insgesamt eine Fläche von 3,18 ha einnehmen (Flächenanteil 0,73 %; NP: 12). Die durchschnittliche Flächengröße beträgt 0,27 ha, die

Ergebnisse

maximale Patchgröße 0,44 ha. Die Fließgewässer (Graben und Bäche) nehmen einen Flächenanteil von 0,82 % (3,59 ha) ein.

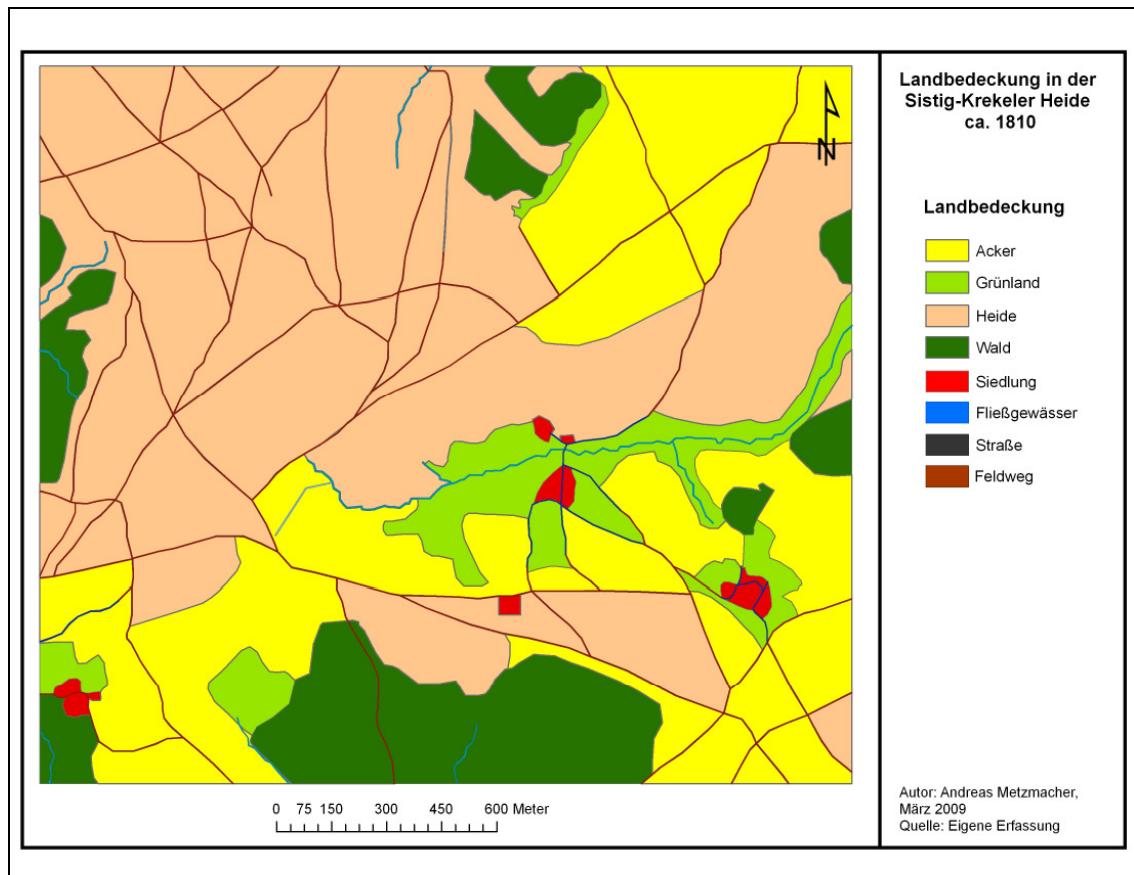


Abb. 4.1: Darstellung der Landbedeckung im Untersuchungsgebiet um 1810

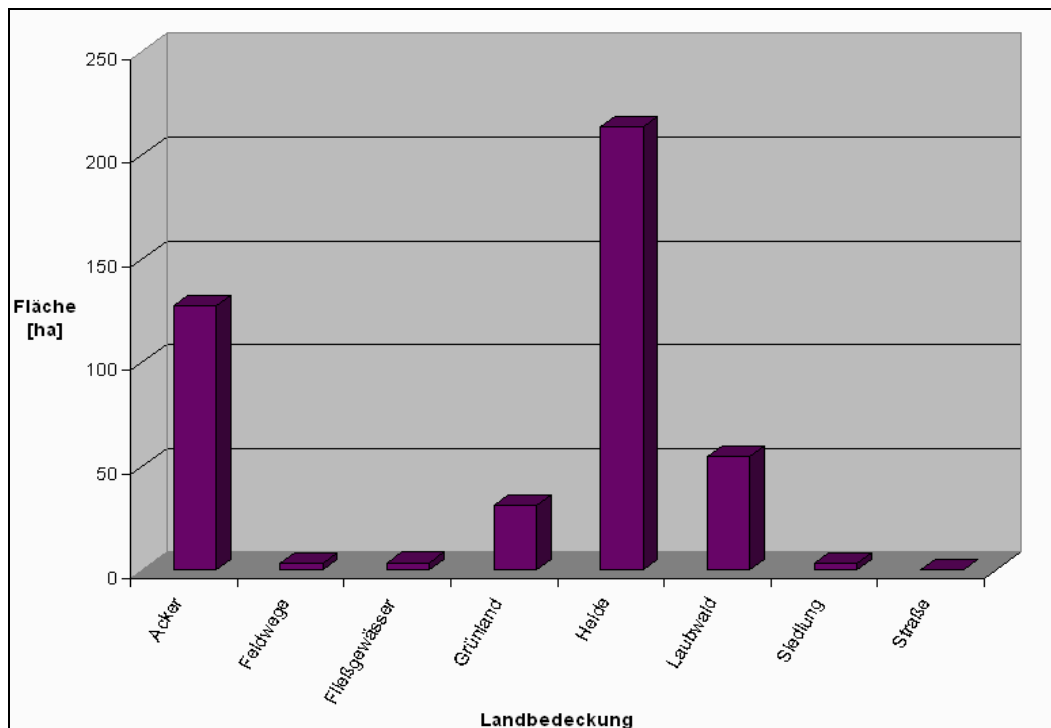


Abb. 4.2: Flächenanteil der Landbedeckungsklassen im Untersuchungsgebiet um 1810

4.2 Landbedeckung 1982 und 2008

Aus den Abbildungen 4.3 und 4.4 wird deutlich, dass sich das Landschaftsbild im Vergleich zu Beginn des 19. Jahrhunderts stark gewandelt hat. Aber auch zwischen den Jahren 1982 und 2008 hat sich die Zusammensetzung und Anordnung der Patches verändert, wie im Folgenden dargelegt wird.

War die Landschaft zu Beginn des 19. Jahrhunderts noch von Heide und Ackerland dominiert, stellt sich 1982 und 2008 das Bild anders dar. Insbesondere die ausgedehnten Heide- und Ackerflächen sind überwiegend zu Gunsten von Grünland und Wald, vor allem Nadelwald, verschwunden. Die Siedlungsflächen der ehemaligen kleinen Weiler Benenberg, Krekel und Rüth haben einen deutlichen Flächenzuwachs erfahren. Einen Überblick über die Zusammensetzung der Landschaft zu den Zeitpunkten 1982 und 2008 geben die Abbildungen 4.3 bis 4.5 sowie Tabelle 4.1.

Tab. 4.1: Ergebnisse der Flächenanalyse für die Landbedeckungsklassen im Untersuchungsgebiet 1982 und 2008

Class	NP		Flächen [ha]		Standardabweichung		Flächenanteil [%]		absoluter Flächenzuwachs/-abnahme	relativer Flächenzuwachs/-abnahme
	1982	2008	1982	2008	1982	2008	1982	2008		
Acker	43	6	57,37	5,73	14572,84	3174,45	13,1	1,3	-51,64	-90,0
Brache	45	13	20,12	1,28	8310,35	712,37	4,6	0,3	-18,85	-93,7
Fließgewässer	8	8	0,53	0,56	607,89	611,79	0,1	0,1	0,03	5,7
Gebüsch	659	204	5,07	4,34	298,58	333,42	1,2	1,0	-0,73	-14,3
Grünland	88	83	150,19	194,91	17114,04	21446,98	34,3	44,6	44,72	29,8
Hecken	23	28	1,14	1,80	597,27	519,21	0,3	0,4	0,65	56,9
Heide	8	11	1,14	8,31	1732,56	8113,17	0,3	1,9	7,17	631,4
Laubwald	45	59	25,39	58,67	11389,14	20757,85	5,8	13,4	33,29	131,1
Mischwald	9	4	5,84	6,31	7262,55	10162,18	1,3	1,4	0,47	8,0
Nadelwald	100	84	122,90	95,27	26702,64	38402,78	28,1	21,8	-27,63	-22,5
Rodung/ Windwurf	20	25	3,19	12,47	1617,54	7362,66	0,7	2,9	9,28	290,8
Siedlung	49	49	26,65	30,88	5308,50	5751,31	6,1	7,1	4,23	15,9
Sonderkultur	1	2	0,14	0,68	0,00	187,37	0,0	0,2	0,55	400,1
Straßen	28	24	7,96	7,89	4712,91	3495,9	1,8	1,8	-0,07	-0,9
Wander- /Wirtschafts- wege	123	95	9,86	8,38	589,49	627,05	2,3	1,9	-1,47	-14,9
Summe	1249	695	437,49	437,49			100,0	100,0		

Nahmen Heideflächen um 1810 noch fast die Hälfte des Untersuchungsgebietes ein, beträgt der Flächenanteil 1982 nur noch 0,3 % (1,14 ha). Die verbleibenden acht kleinen Heideflächen (MPS: 0,14 ha) konzentrieren sich im NSG Sistig-Krekeler Heide. 2008 wurden 8,31 ha Heideflächen kartiert. Dies entspricht einer relativen Zunahme gegenüber 1982 um mehr als 600 % (vgl. Tab. 4.1).

Anzahl und Flächenanteil der Landbedeckungsklasse Acker sind im Untersuchungsgebiet ebenfalls stark rückläufig. Nahmen Ackerflächen um 1810 noch einen Flächenanteil von 29,1 % ein, bedecken sie 1982, überwiegend im Osten gelegen, nur noch 13,1 % (57,37 ha) des Untersuchungsgebietes (NP: 43). Bis zum Jahr 2008 hat die Anzahl der Ackerflächen weiter abgenommen (NP: 6). Diese nehmen nur noch einen Flächenanteil von 1,3 % (5,73 ha) ein (vgl. Abb. 4.5 und Tab. 4.1).

Dagegen haben Grünland- und Waldflächen deutlich zugenommen. Sie prägen heute in weiten Teilen das Erscheinungsbild der Landschaft. Lag der Flächenanteil für die Landbedeckungsklasse Grünland um 1810 noch bei 7,1 %, steigerte sich dieser 1982 um 27,2 % auf 34,3 % (150,19 ha). 2008 lag der Anteil sogar bei 44,5 % (194,91 ha). Dies entspricht einer prozentualen Steigerung bis 2008 um mehr als das Siebenfache. Ähnliches gilt für die durchschnittliche Flächengröße, die sich nahezu verzehnfachte (vgl. Abb. 3.5). Im gleichen Zeitraum stieg der Waldanteil von 12,5 % (54,71 ha) auf 36,63 % (160,26 ha). 1982 liegt der Anteil mit 35,2 % (154,13 ha) geringfügig unter dem Anteil von 2008. 1982 und 2008 setzt sich die Klasse „Wald“ aus den Klassen Laub-, Misch- und Nadelwald zusammen. Besonders auffällig ist dabei der hohe Flächenanteil an Nadelwald, der 1982 mehr als ein Viertel des Untersuchungsgebietes einnimmt (vgl. Abb. 4.5 und Tab. 4.1). Größere unzerschnittene Nadelwaldflächen befinden sich im Westen des Untersuchungsgebietes, stark durch Wege erschlossene Nadelwaldparzellen vor allem im Norden (vgl. Abb. 4.3). Allerdings hat sich 2008 der Anteil der Nadelwaldflächen um 6,3 % auf 21,8 % (95,27 ha) vor allem zu Gunsten der Klassen Laubwald (absoluter Flächenzuwachs: 33,29 ha) und Rodung/Windwurf (absoluter Flächenzuwachs: 9,28 ha) verringert (vgl. Tab. 3.1). Der kartierte Flächenanteil der Klasse Laubwald hat sich im Vergleich zu 1982 damit mehr als verdoppelt (vgl. Abb. 4.5). Die als Mischwald kartierten Flächen sind mit einem Flächenanteil von rund 6 % zu beiden betrachteten Zeitpunkten annähernd gleich geblieben (vgl. Abb. 4.5). Allerdings haben sich räumliche Verschiebungen ergeben (vgl. Abb. 4.3 und 4.4). Einige der Flächen wurden durch Umbau in Laub- bzw. Nadelwald umgewandelt. Dafür entstand unter anderem im Westen des Untersuchungsgebietes eine große Mischwaldfläche (vgl. Abb. 4.3 und 4.4).

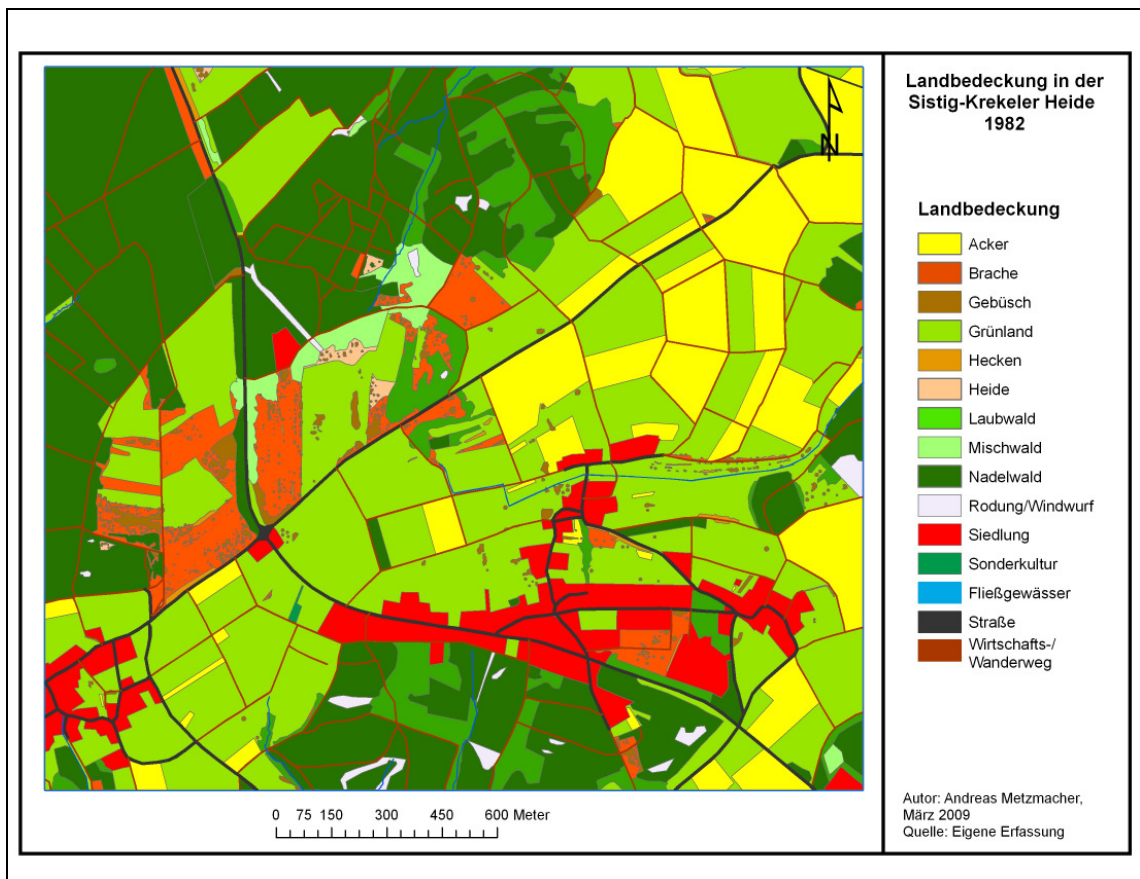


Abb. 4.3: Darstellung der Landbedeckung im Untersuchungsgebiet 1982

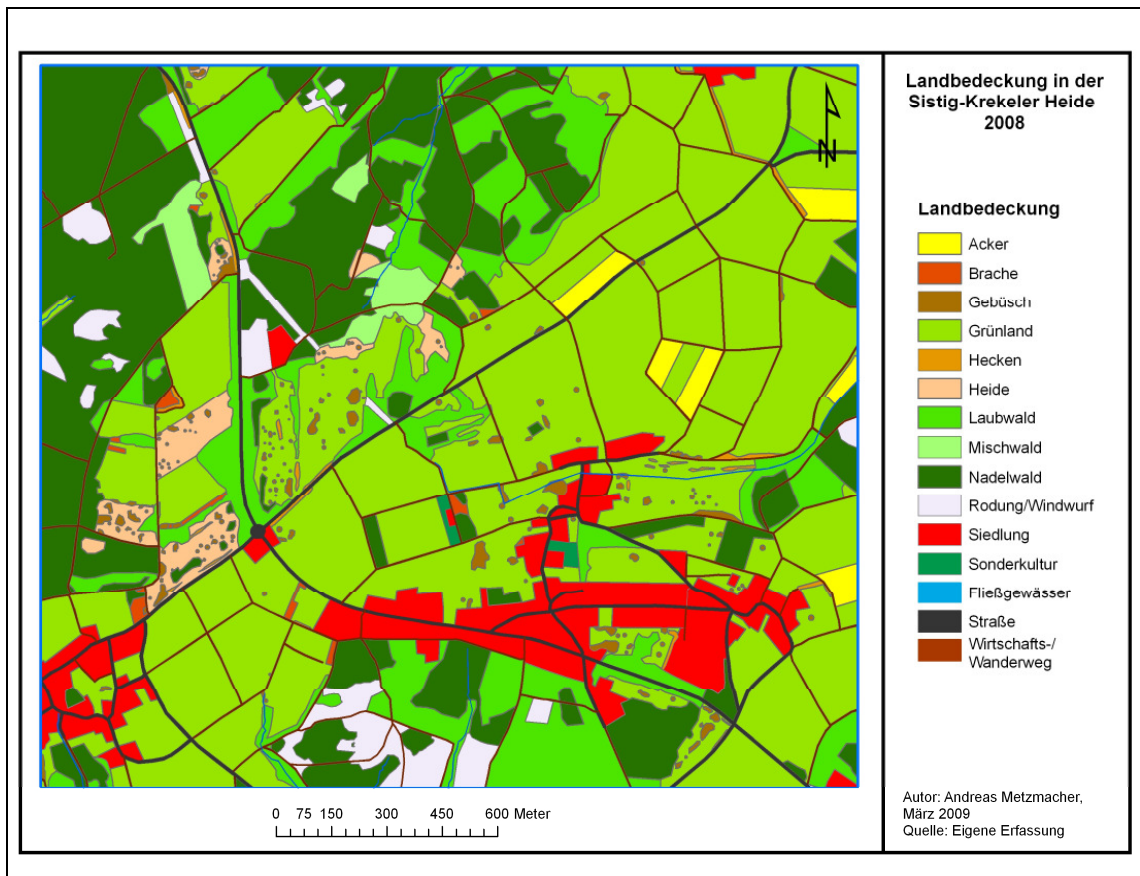


Abb. 4.4: Darstellung der Landbedeckung im Untersuchungsgebiet 2008

Neben Heckenstrukturen, die einen Flächenzuwachs von 0,65 ha zu verzeichnen haben, weisen die Landbedeckungsklassen Brache und Gebüsch einen deutlichen Rückgang auf (vgl. Abb. 4.5 u. Tab. 4.1). Für den Zeitpunkt 1982 wurden noch 45 Brachflächen kartiert, die einen Flächenanteil von 4,6 % (20,12 ha) einnehmen. Größere Flächen dieser Klasse befinden sich überwiegend im Bereich der Naturschutzgebietsgrenzen, aber auch in der Ortslage von Krekel (vgl. Abb. 4.3). 2008 konnten nur noch 13 relativ kleine Bracheflächen mit einer Gesamtgröße von 1,28 ha (0,3 % des Untersuchungsgebietes) kartiert werden (vgl. Abb. 4.4). Dies entspricht einer relativen Abnahme von mehr als 93 % (vgl. Tab. 4.1). Der Rückgang der Klasse Gebüsch wird besonders anhand der Anzahl kartierter Patches deutlich. Wurden 1982 noch 659 Gebüsch-Patches erfasst, konnten 2008 nur noch 204 Patches nachgewiesen werden. Gleichzeitig hat die Flächenanteil 2008 gegenüber 1982 um 14,3 % abgenommen (vgl. Tab. 4.1). Gebüschstrukturen konzentrieren sich vor allem in den NSG-Teilflächen.

Die Siedlungen Krekel, Benenberg und Rüth, um 1810 noch kleine Weiler, nehmen 1982 einen Flächenanteil am Untersuchungsgebiet von 6,1 % (26,55 ha) ein. 2008 ist der Anteil nochmals um 0,97 % auf 30,08 ha gestiegen. Im Vergleich zu 1810 hat sich demnach die Siedlungsfläche nahezu verzehnfacht. Die als Straße kartierten Flächen sind mit einem Flächenanteil von rund 1,8 % zu beiden betrachteten Zeitpunkten annähernd gleich geblieben (vgl. Abb. 4.5). Der Anteil der Wirtschafts- und Wanderwege hat hingegen um ca. 15 % abgenommen. Die Klasse Sonderkultur spielt im Untersuchungsgebiet eine untergeordnete Rolle.

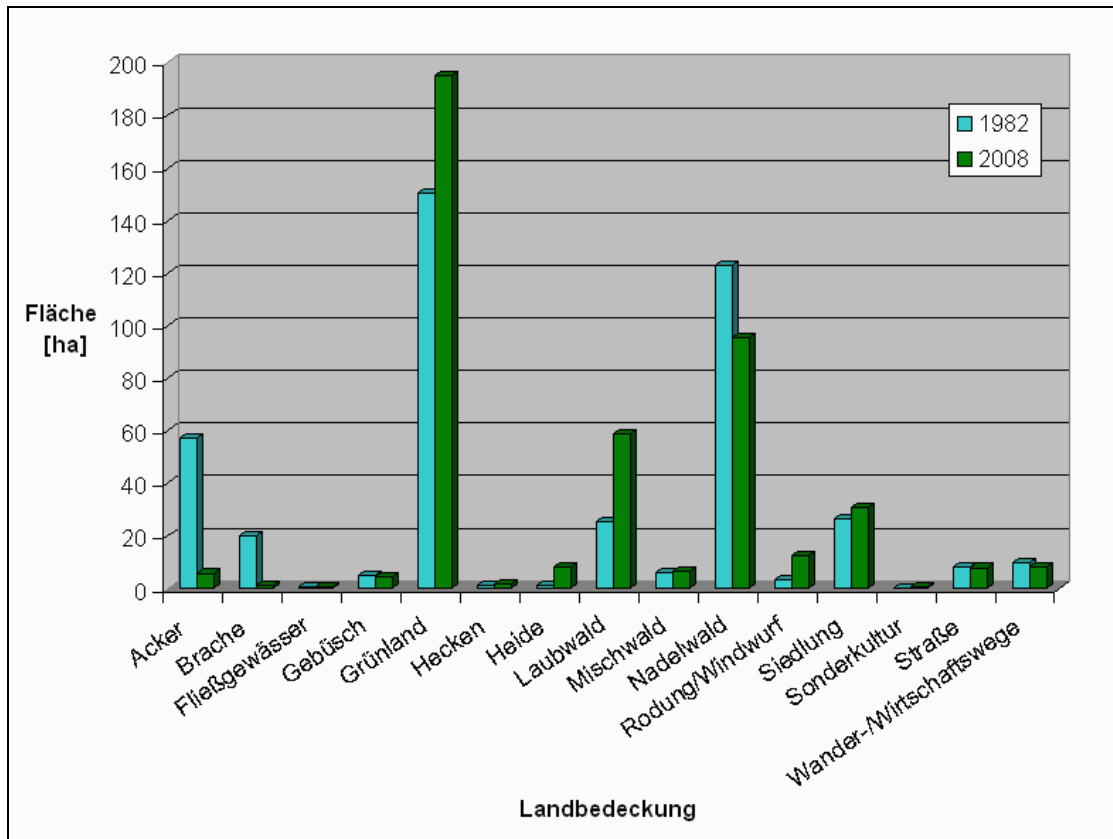


Abb. 4.5: Flächenanteile der Landbedeckungsklassen 1982 und 2008 im Vergleich

4.2.1 Mean Patch Size (MPS)

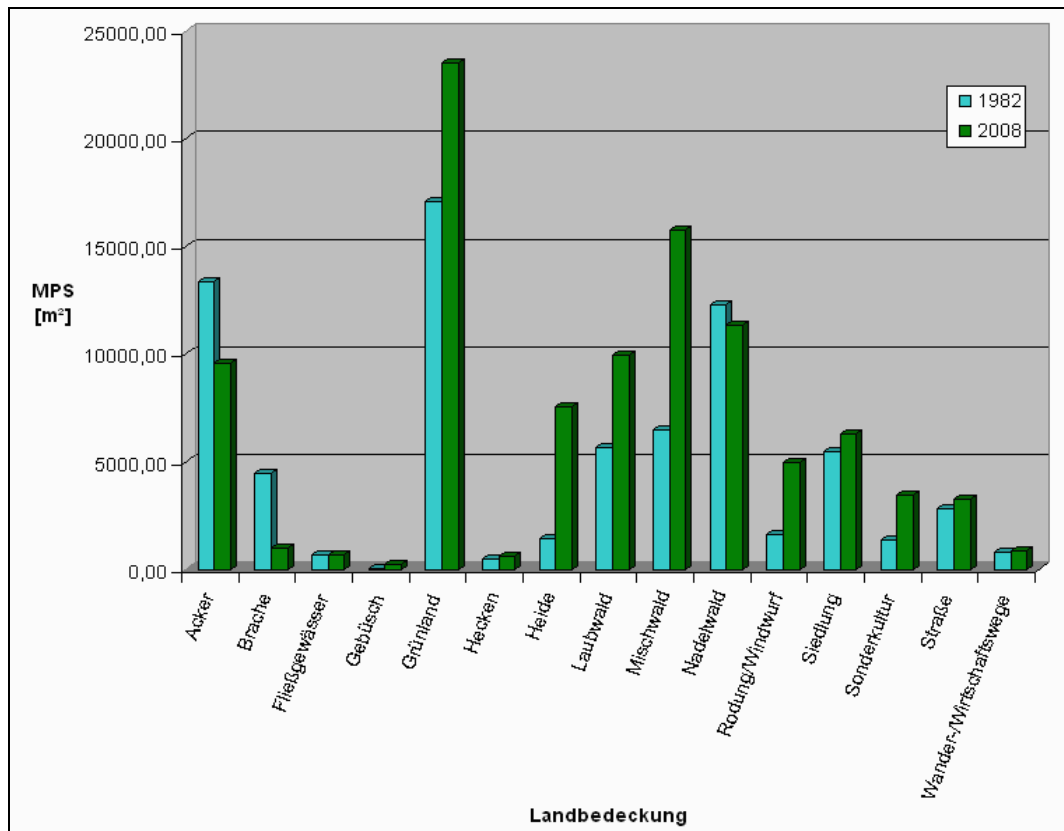


Abb. 4.6: Durchschnittliche Patchgrößen der Landbedeckungsklassen 1982 und 2008 im Vergleich

Ergebnisse

Der Index MPS gibt die durchschnittliche Patchgröße auf Klassenebene wieder und verfeinert die Aussage des Parameters Flächengröße der einzelnen Landbedeckungsklassen. Besonders deutlich ist der Strukturwandel bei den mittleren Patchgrößen der Klassen Heide, Mischwald, Rodung/Windwurf und Brache erkennbar (vgl. Abb.4.6). Die MPS der Heideflächen hat beispielsweise im Vergleich zu 1982 (0,14 ha) um das Fünffache auf ca. 0,7 ha zugenommen. Auch die durchschnittliche Patchgröße der Mischwaldflächen hat sich von 0,65 ha 1982 auf 1,57 ha 2008 mehr als verdoppelt. Bracheflächen sind 2008 mit einem MPS von 0,1 ha hingegen im Durchschnitt um 0,34 ha deutlich kleiner als noch 1982 (0,44 ha). Bemerkenswert, wenn auch nicht auf den ersten Blick erkennbar, ist die Veränderung der durchschnittlichen Flächengröße der Klasse Gebüsch. Diese stieg von 76,91 m² im Jahr 1982 auf durchschnittlich 212,82 m² im Jahre 2008 und hat sich damit fast verdreifacht. Geringfügiger fallen die Veränderungen beispielsweise für die Klassen Grünland und Acker aus. Während die durchschnittliche Flächengröße der Klasse Acker um 0,32 ha abnahm, hat die MPS für Grünland im gleichen Zeitraum um 0,67 ha zugenommen.

4.2.2 Mean Shape Index (MSI)

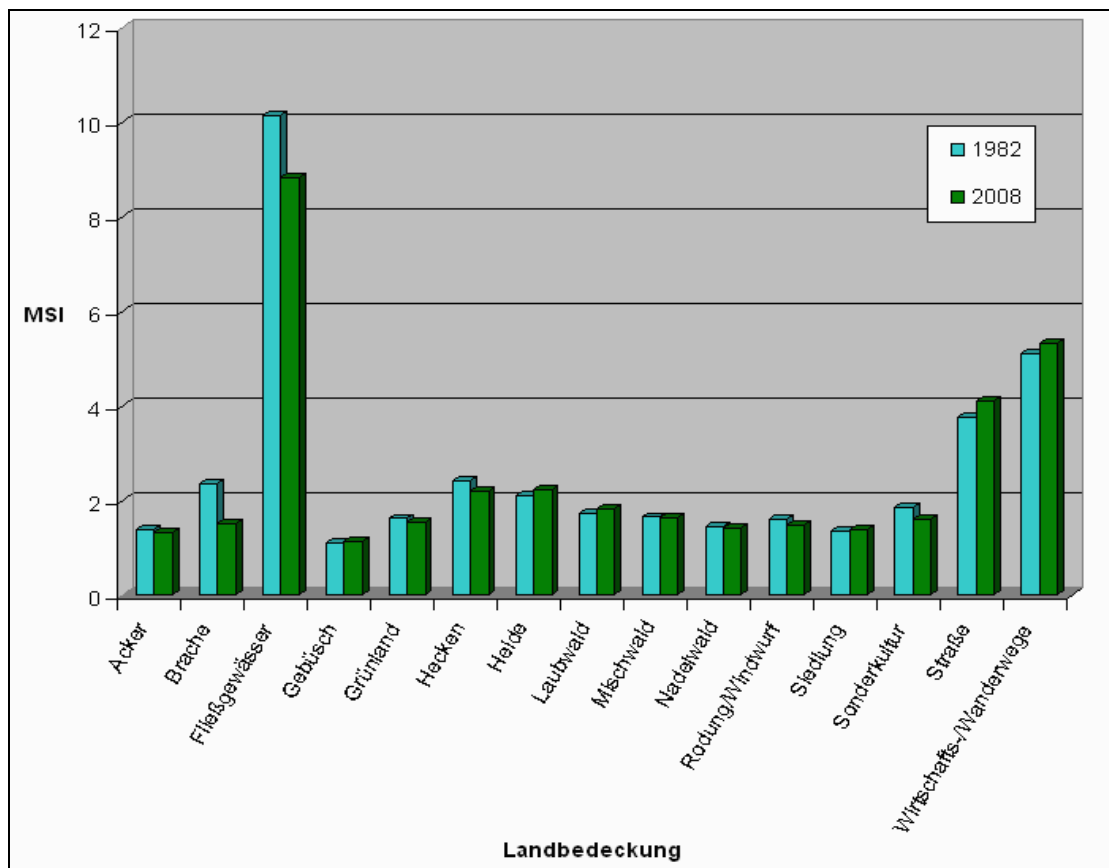


Abb. 4.7: MSI für die einzelnen Landbedeckungsklassen im Untersuchungsgebiet 1982 und 2008 im Vergleich

Abb. 4.7 gibt einen Überblick über den MSI der einzelnen Landbedeckungsklassen für die Jahre 1982 und 2008. Am niedrigsten sind die Werte für die Gebüschflächen sowohl 1982 (MSI: 1,09) als auch 2008 (MSI: 1,2), gefolgt von Siedlungsflächen. Der Formindex für die Flächen der Landbedeckungsklassen Acker, Nadelwald, Rodung und Siedlung liegt mit Werten unterhalb von 1,6 zu beiden Zeitpunkten ebenfalls relativ niedrig. Die Flächen dieser Klasse können daher als kompakt angesehen werden (vgl. Abb. 4.7). Für Bracheflächen nimmt der Formindex im Vergleich zu 1982 (MSI: 2,35) deutlich ab (MSI:1,52). Höhere Werte für den MSI weisen hingegen Hecken-, Heide-, Laub- und Mischwaldflächen auf, wobei diese gegenüber 1982, mit Ausnahme der Heckenflächen, noch geringfügig angestiegen sind. Am höchsten sind die Werte für Verkehrswege (Straßen, Wirtschafts- und Wanderwege) und Fließgewässer. Während der Wert für den Formindex für Fließgewässer gegenüber 1982 von 10,13 auf 8,85 abgenommen hat, sind die Werte für Verkehrswegeflächen im gleichen Zeitraum von 3,75 bzw. 5,1 auf 4,1 bzw. 5,32 angestiegen. Die beiden folgenden Abbildungen verdeutlichen noch einmal die dargelegten Ergebnisse. Hier wird auf Patch-Ebene im Vergleich der Abbildungen 4.8 und 4.9 ebenfalls deutlich, dass der weitaus überwiegende Teil der Gebüsch-, Acker- und Nadelwaldflächen, aber auch viele der Grünlandflächen im Gegensatz zu Heide-, Hecken, Laub- und Mischwaldflächen einen niedrigen Shape-Index aufweisen. Stärker zerlappte Flächen findet man vor allem im Naturschutzgebiet.

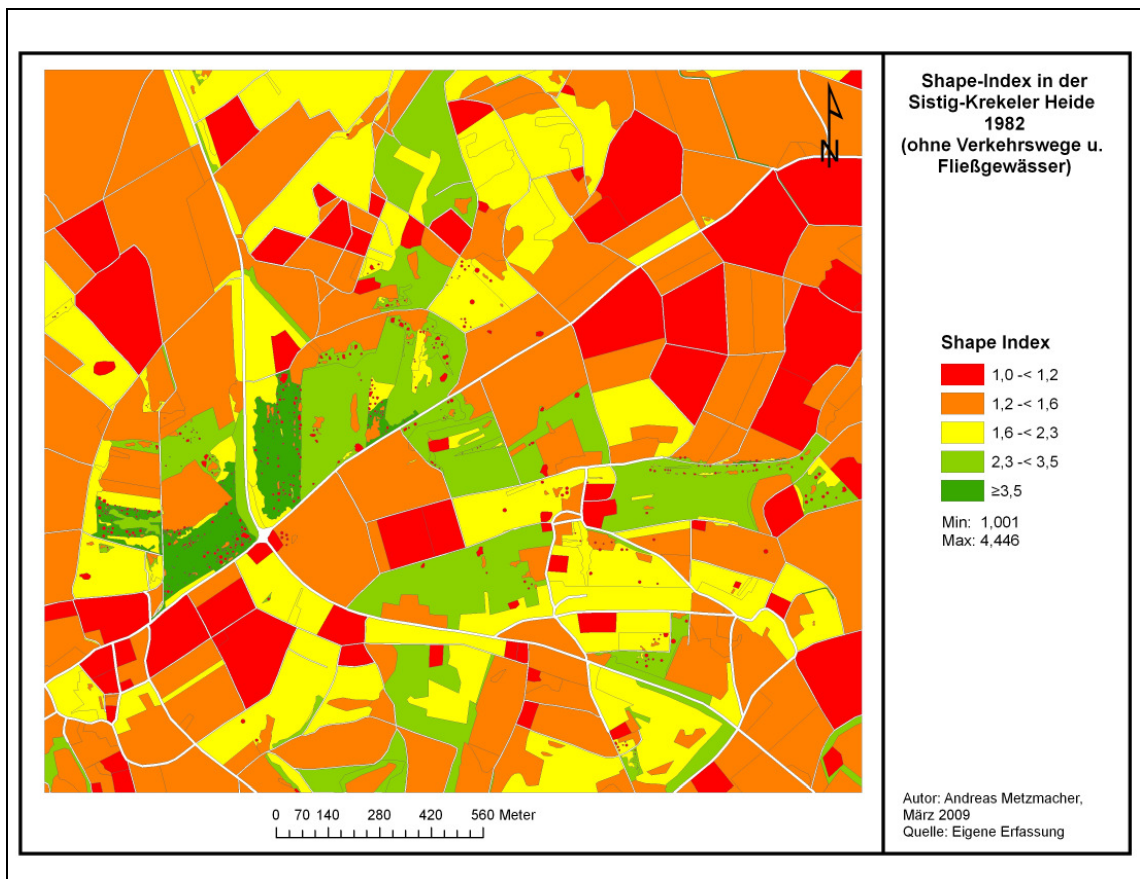


Abb. 4.8: Darstellung des Shape-Index auf Patch-Ebene 2008

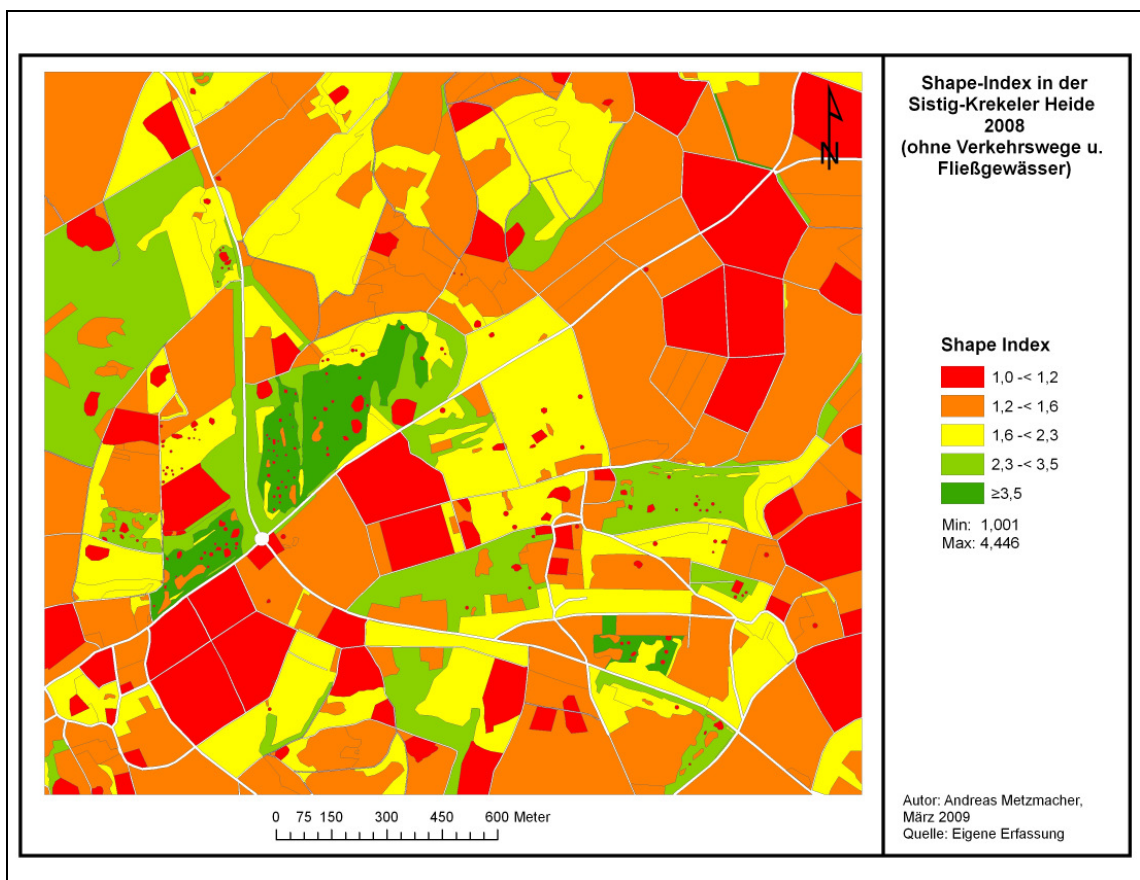


Abb. 4.9: Darstellung des Shape-Index auf Patch-Ebene 2008

4.2.3 Grenzlängenlänge

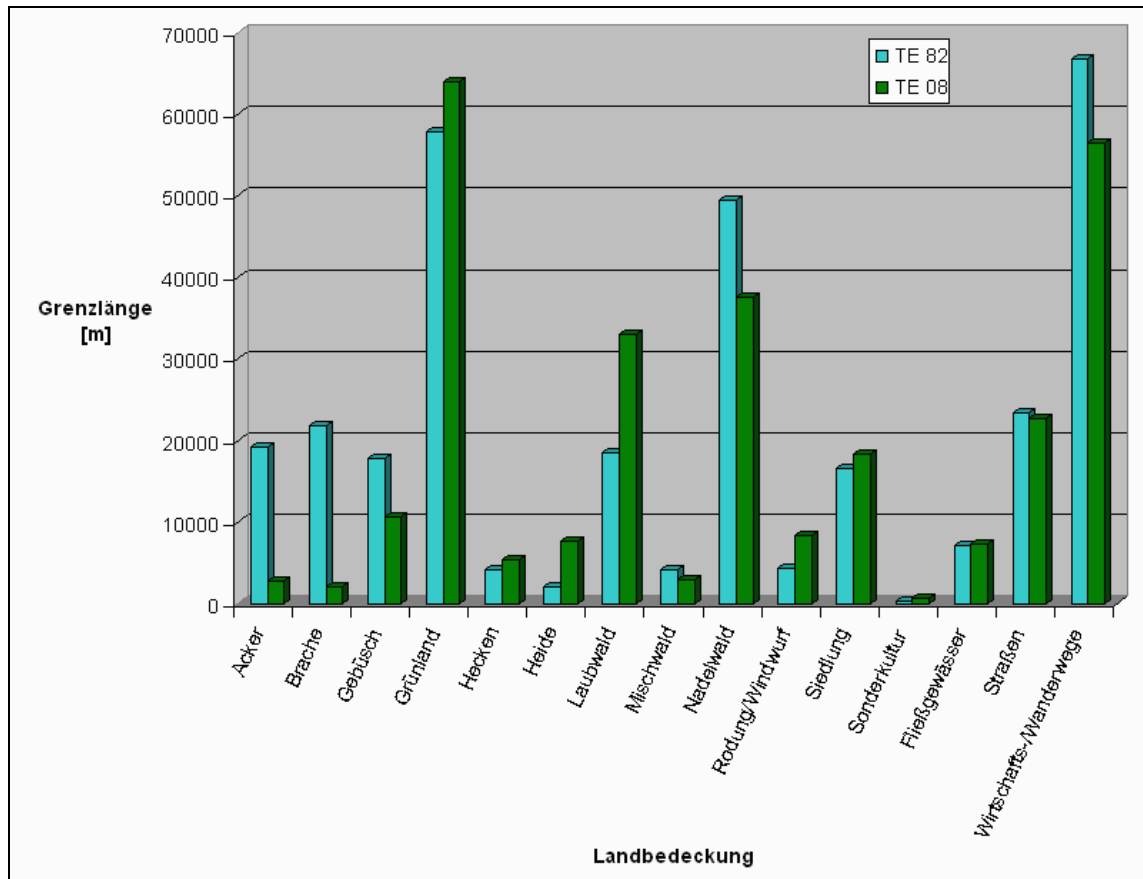


Abb. 4.10: Grenzlängenlänge der einzelnen Landbedeckungsklassen im Untersuchungsgebiet 1982 und 2008 im Vergleich

Abbildung 4.10 gibt die Grenzlängensumme (TE) der kartierten Flächen der Landbedeckungsklassen 1982 und 2008 wieder. Die höchste Grenzlängensumme weist 1982 die Klasse Wirtschafts-/Wanderwege mit 66.800 m auf, gefolgt von den Landbedeckungsklassen Grünland (57.801 m), Nadelwald (49.465 m) und Straßen (23.317 m). 2008 besitzt die Klasse Grünland die größte Grenzlängensumme, gefolgt von den Klassen Wirtschafts-/Wanderwege sowie Nadel- und Laubwald. Am niedrigsten ist die Grenzlängensumme der Klasse Sonderkultur.

Deutliche Abnahmen hinsichtlich der Grenzlängensumme der kartierten Einheiten gegenüber 1982 sind bei den Klassen Acker und Brache zu verzeichnen. Bei der Klasse Brache hat sich z.B. die Grenzlängensumme von rund 21.747 m im Jahr 1982 um 19.651 m auf 2.097 m im Jahr 2008 verringert. Dies entspricht einer Abnahme um mehr als das Zehnfache. Die Grenzlängensumme der Klassen Gebüsch, Misch-, Nadelwald und Wirtschafts-/Wanderwege sind ebenfalls rückläufig, die der Landbedeckungsklasse Straße ist zu beiden Zeitpunkten nahezu gleich geblieben, weist aber einen leichten Rückgang auf. Zunahmen gegenüber 1982 verzeichnen die Klassen Heide, Hecken und Laubwald sowie Rodung/Windwurf und Siedlung. Beispielsweise hat sich die

Ergebnisse

Grenzlinienlänge der Klasse Heide im Vergleich zu 1982 mehr als verdreifacht (1982: 2.101 m; 2008 7.601 m).

Tabelle 4.2 gibt das Ergebnis der Grenzlinienlänge auf Landschaftsniveau für die Jahre 1982 und 2008 wieder.

Tab. 4.2: Gegenüberstellung der Ergebnisse der Grenzlinienanalyse auf Landschaftsebene 1982 und 2008

	Edge Density (ED):	Total Edge (TE):	Mean Patch Edge (MPE):
1982	715,31	312992,95	250,59
2008	638,70	279422,37	402,05

1982 liegt die Edge Density mit 715,31 m/ha über dem Wert von 2008 (638,7 m/ha). Auch die Gesamtgrenzlängelage der kartierten Patches ist rückläufig. Dafür hat die durchschnittliche Grenzlänge pro Patch zugenommen.

4.3 Landbedeckung im Naturschutzgebiet

Nachdem die Ergebnisse für den gesamten Landschaftsausschnitt dargelegt wurden, wird im Folgenden auf die Resultate der Strukturanalyse im Naturschutzgebiet eingegangen. Der Schwerpunkt der Analyse liegt hier auf der Ableitung des Erhaltungszustandes der Flächen innerhalb des NSG, der anhand der Landschaftsstrukturmaße Fläche, Grenzlinienlänge, Mean Shape Index, Core Area und Proximity-Index unter Berücksichtigung ausgewählter Landbedeckungsklassen betrachtet wird.

Die beiden Abbildungen 4.11 und 4.12 zeigen die Zusammensetzung der Landschaft innerhalb der heutigen Naturschutzgebietsgrenze im Untersuchungsgebiet. Zu beiden betrachteten Zeitpunkten stellen Grünlandflächen den weitaus größten Flächenanteil (vgl. Abb. 4.12) im Naturschutzgebiet, der gegenüber 1982 sogar noch um rund 4 ha auf 57,66 ha gestiegen ist. Der Anteil der Heideflächen hat ebenfalls zugenommen und ist zwischen den Jahren 1982 und 2008 um das Siebenfache auf fast 8 ha angestiegen. Bei der Landbedeckungsklasse Laubwald ist im selben Zeitraum auch ein deutlicher Zuwachs von 5,44 ha um 11,09 ha auf 16,53 ha zu verzeichnen. Im Gegensatz dazu ist die Entwicklung des Flächenanteils in der Klasse Nadelwald leicht rückläufig.

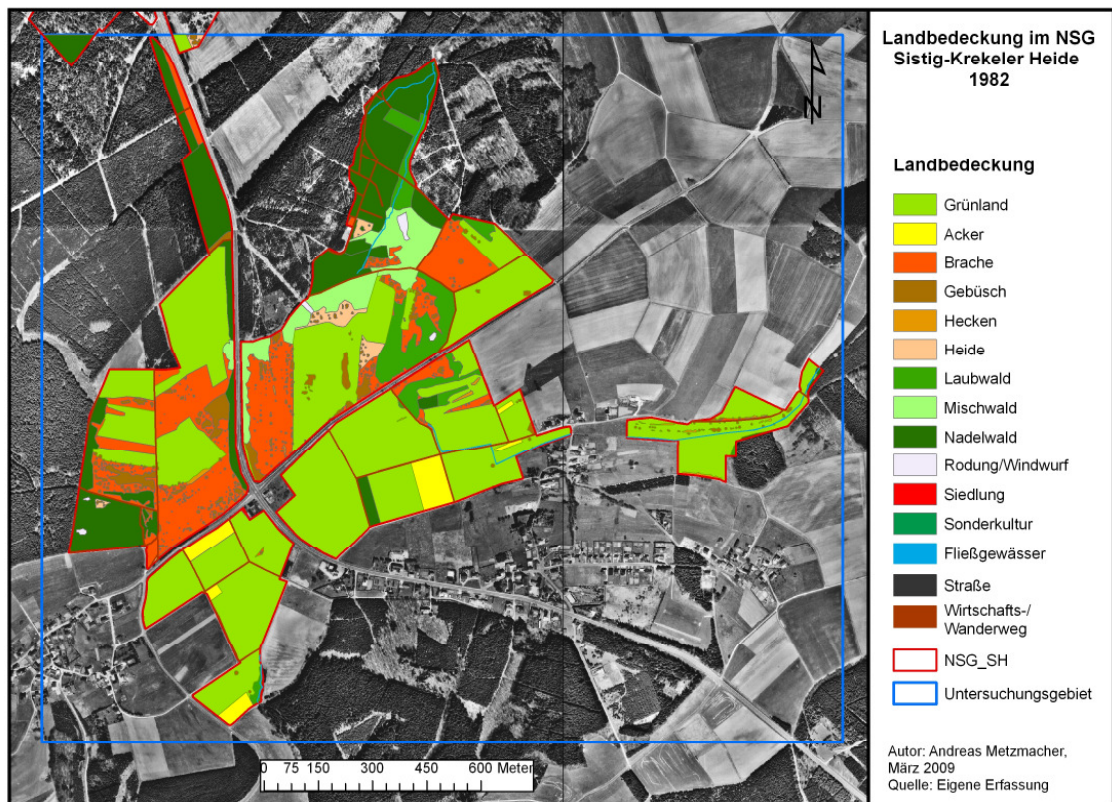


Abb. 4.11: Darstellung der Landbedeckung im NSG 1982

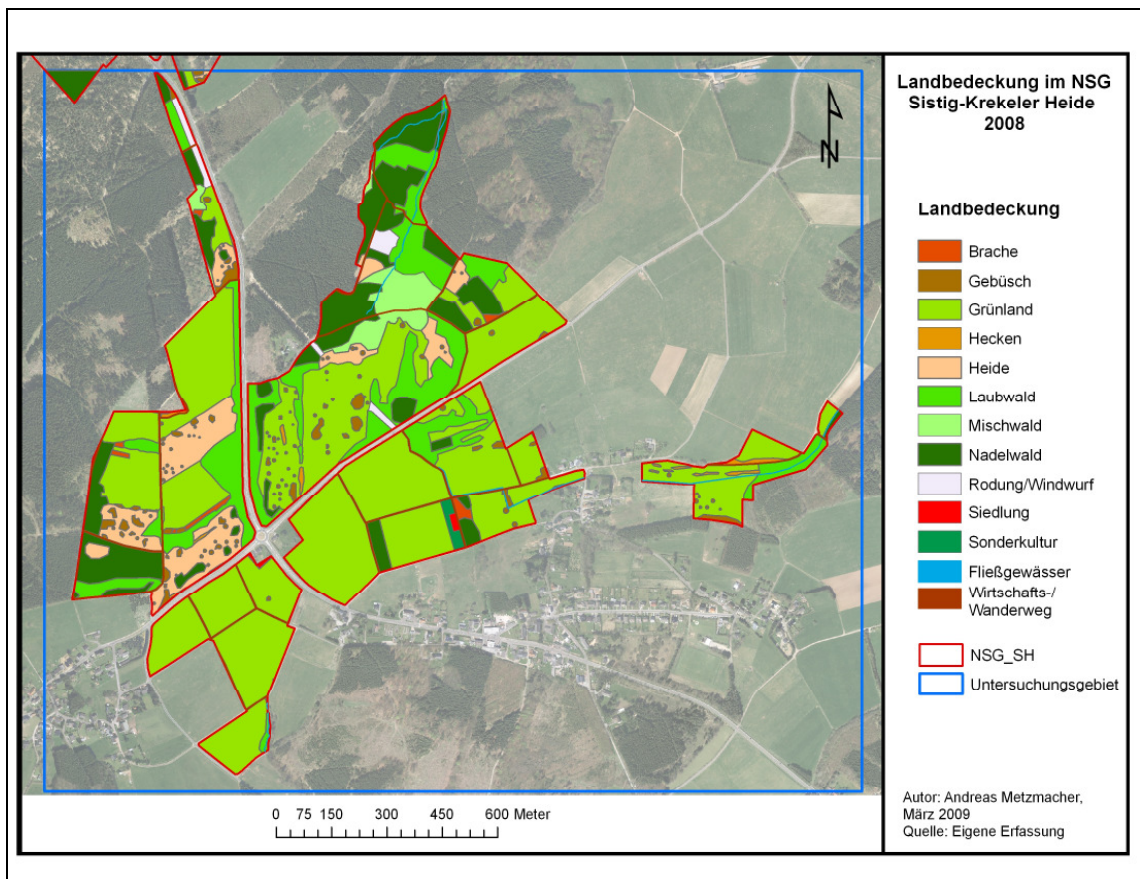


Abb. 4.12: Darstellung der Landbedeckung im NSG 2008

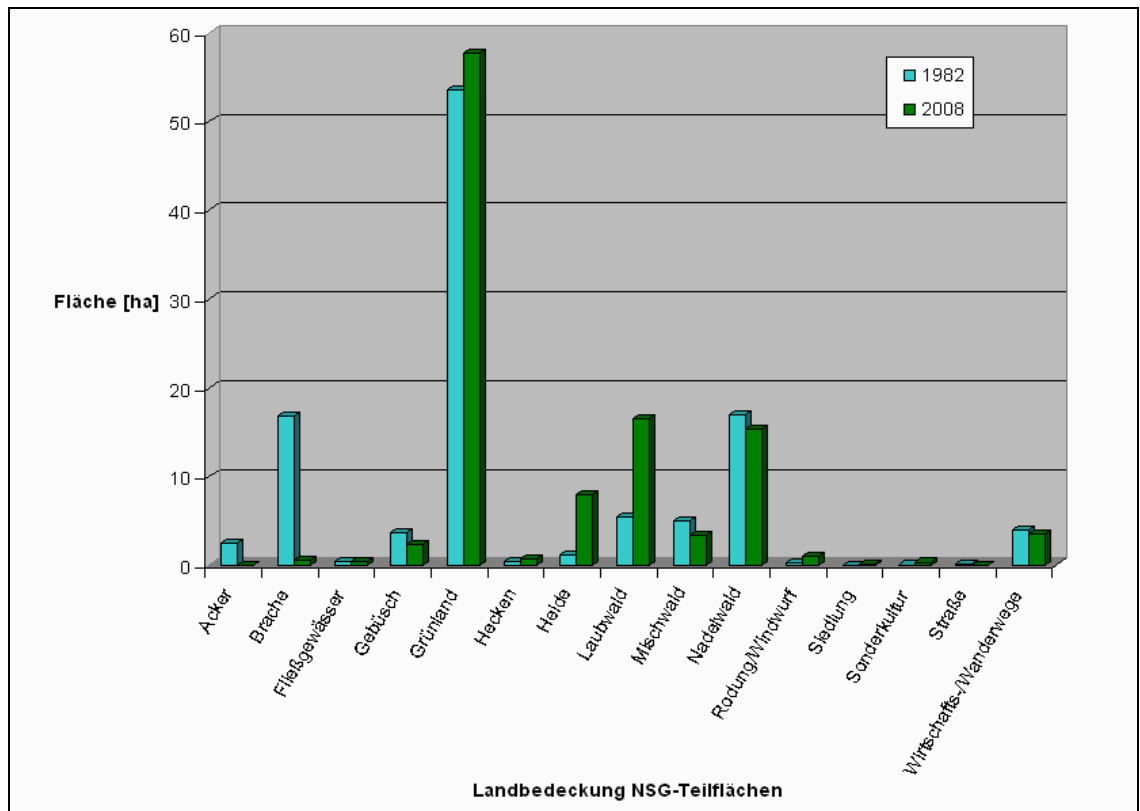


Abb. 4.13: Flächenanteile der einzelnen Landbedeckungsklassen im NSG 1982 und 2008 im Vergleich

Ergebnisse

Im direkten Zusammenhang mit dem Erhaltungszustand der aus naturschutzfachlicher Sicht interessanten Heide- und Grünlandflächen steht vor allem die Entwicklung der Klassen Brache, Gebüsch und Hecken (vgl. Kap. 3.3). Tabelle 4.3 gibt die Ergebnisse der Flächenanalyse der fünf Landbedeckungsklassen im Detail wieder.

Wie die Tabelle zeigt, kam es vom Jahr 1982 bis zum Jahr 2008 zu einem deutlichen Rückgang des Flächenanteils der Klassen Brache (96,7 %) und Gebüsch (36,1 %). Auch die Anzahl kartierter Patches hat stark abgenommen. Im Gegensatz dazu hat sich die durchschnittliche Patchgröße der Klasse Gebüsch mehr als verdoppelt. Der Flächenanteil und die durchschnittliche Patchgröße der Klasse Hecken sind deutlich angestiegen, obwohl nur zwei weitere Patches gegenüber 1982 kartiert werden konnten. Bemerkenswert ist auch die deutliche Zunahme des MPS der Klasse Heide.

Tab. 4.3: Gegenüberstellung der Ergebnisse der Flächenanalyse der Landbedeckungsklassen Grünland, Heide, Brache, Gebüsch und Hecken im NSG 1982 und 2008

Flächengröße [m ²]	Grünland		Heide		Brache		Gebüsch		Hecken	
	1982	2008	1982	2008	1982	2008	1982	2008	1982	2008
CA	536060	576617	11247	79629	167541	5707	36109	23249	3707	6721
Min	729	1042	62	362	8	45	1	10	36	12
Max	59479	89412	5242	22762	36352	1746	4359	1691	777	1513
MPS	19145	19398	1406	6636	5077	634	67	166	232	373
PSSD	16873	0	1742	7691	9244	571	299	262	227	354
NP	28	29	8	11	33	9	542	140	16	18
relative Zu- bzw. Abnahme	7,6		608,0		-96,6		-36,6		81,3	

4.3.1 Grenzlinienlänge

Die folgende Abbildung stellt die Untersuchung zur Grenzlinienlänge der Landbedeckungsklassen 1982 und 2008 in den erfassten Teilen des Naturschutzgebietes Sisitg-Krekeler Heide dar. In weiten Teilen sind die Ergebnisse mit denen des Gesamtgebietes in ihrer Tendenz vergleichbar (vgl. Kap. 4.2.3). Allerdings wird der Rückgang der Grenzlinienlänge der Klassen Brache und Gebüsch, die beide ihren Verbreitungsschwerpunkt im NSG haben, noch deutlicher. Ackerflächen, aber auch Straßen kommen im NSG 2008 nicht mehr vor.

Ergebnisse

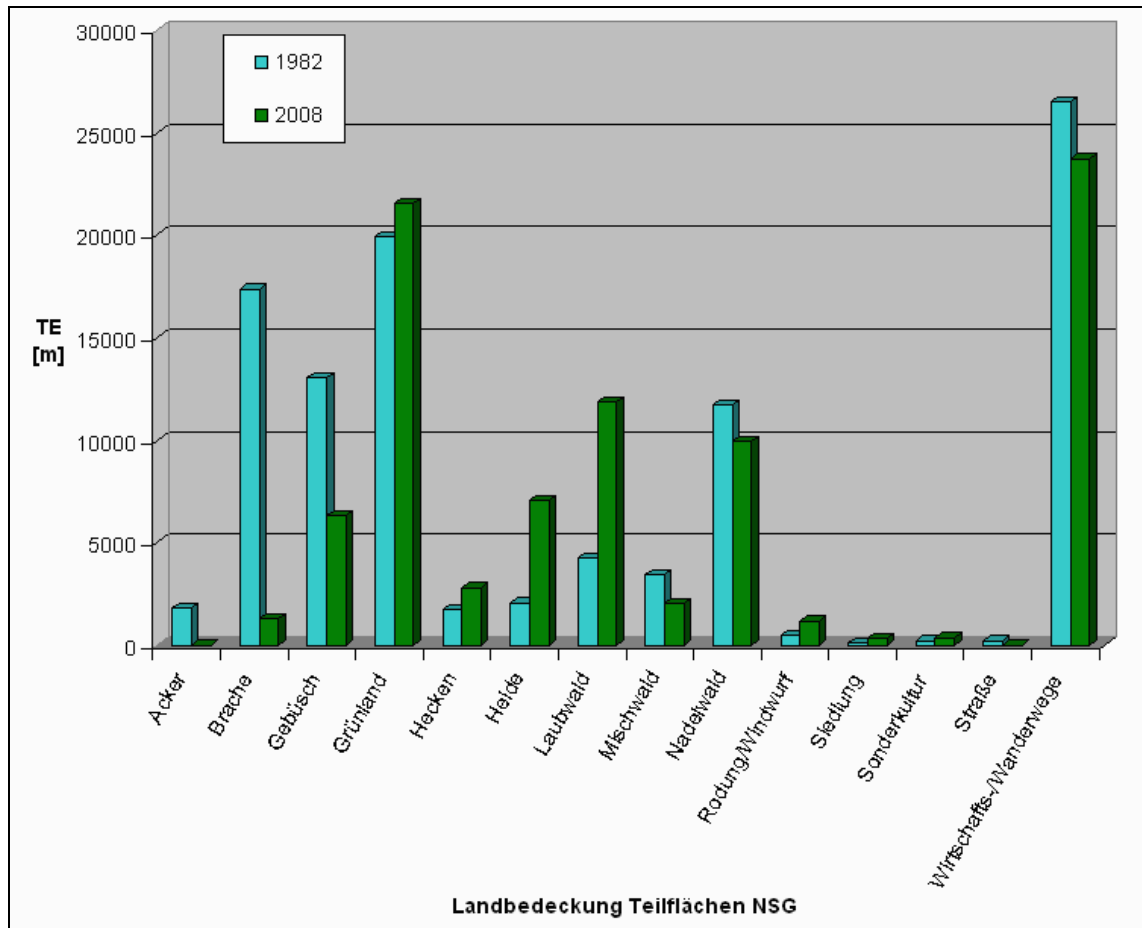


Abb. 4.14: Grenzlinienlänge der einzelnen Landbedeckungsklassen im NSG 1982 und 2008 im Vergleich

Vergleicht man die Ergebnisse der Grenzlinienanalyse der NSG-Teilflächen mit denen des gesamten Untersuchungsgebiets, ist festzustellen, dass, wie im gesamten Untersuchungsgebiet, die Edge Density und die Total Edge im NSG gegenüber 1982 abnehmen und die durchschnittliche Grenzlinienlänge pro Patch ansteigt. Allerdings ist die Grenzliniendichte im NSG im Vergleich zum Untersuchungsgebiet zu beiden betrachteten Zeitpunkten wesentlich höher, die mittlere Grenzlinienlänge hingegen geringer (vgl. Tab. 4.2 und 4.4).

Tab. 4.4: Gegenüberstellung der Ergebnisse der Grenzlinienanalyse auf Landschaftsebene im NSG 1982 und 2008

	Edge Density (ED):	Total Edge (TE):	Mean Patch Edge (MPE):
1982	985,94	108160,16	146,16
2008	852,68	93723,44	316,63

4.3.2 Shape-Index und Proximity-Index

Eine der Hauptgefährdungsursachen für Heide- und artenreiche Grünlandflächen stellt die Nutzungsaufgabe dar. Folgen der Nutzungsaufgaben sind Verfilzung der Grasnarbe und Aufkommen von Gehölzen (vgl. Kap. 3.3). Im Folgenden wird anhand der Indizes Shape-Index und Proximity-Index die Entwicklung der Gehölzflächen (Gebüsch und Hecken) betrachtet.

Shape-Index

Tab. 4.5: Ergebnisse der Shape-Index Berechnung 1982 und 2008

Shape-Index	Gebüsch		Hecken	
	1982	2008	1982	2008
MSI	1,089	1,109	2,101	2,722
Min	1,001	1,001	1,407	1,429
Max	2,398	2,007	4,681	6,589
Standardabweichung	0,188	0,197	0,757	1,332

Der Shape-Index für beide Landbedeckungsklassen liegt 2008 höher als noch 1982. Allerdings fällt die Änderung bei der Klasse Gebüsch nur geringfügig aus. Der niedrige Shape-Index dieser Klasse lässt sich vor allem durch die überwiegend kompakten, kreisähnlichen Gebüsch-Patches erklären. Der Mean Shape Index der Klasse Hecken fällt in beiden Jahren aufgrund der lang gestreckten Form der einzelnen Hecken-Patches generell höher aus. Die Steigerung der Komplexität der Heckenstrukturen lässt sich vor allem durch die Integration von Gebüsch in bestehende Hecken und durch Entstehung neuer Hecken durch Zusammenwachsen von Gebüsch erklären.

Proximity-Index**Tab. 4.6: Ergebnisse der Nachbarschaftsanalyse
1982 und 2008**

MEAN	1982	2008
PXfg	3860,476	12,67
PX92	256,159	19,875
PX94	1577,361	51,307

Tabelle 4.6 fasst die Ergebnisse der Nachbarschaftsanalyse zusammen. Sämtliche Berechnungen für den Proximity-Index liegen 1982 deutlich höher als 2008. Dies spricht tendenziell dafür, dass 1982 benachbarte Patches näher zusammen liegen, und deutet gleichzeitig auch auf größere Flächen hin. Dies trifft vor allem auf den westlichen Bereich des Naturschutzgebietes zu, wie in den beiden Abbildungen 4.15 und 4.16 deutlich wird. Stärker verbuschte Flächen mit relativ kleinen Gebüschern liegen 1982 auch im südlichen Bereich der westlichen Fläche. 2008 sind einige Gebüsche zu größeren Einheiten zusammengewachsen, wurden in Heckenstrukturen integriert oder haben sich zu Wald entwickelt. Viele der kleinen Gebüsche konnten gegenüber 1982 nicht mehr kartiert werden.

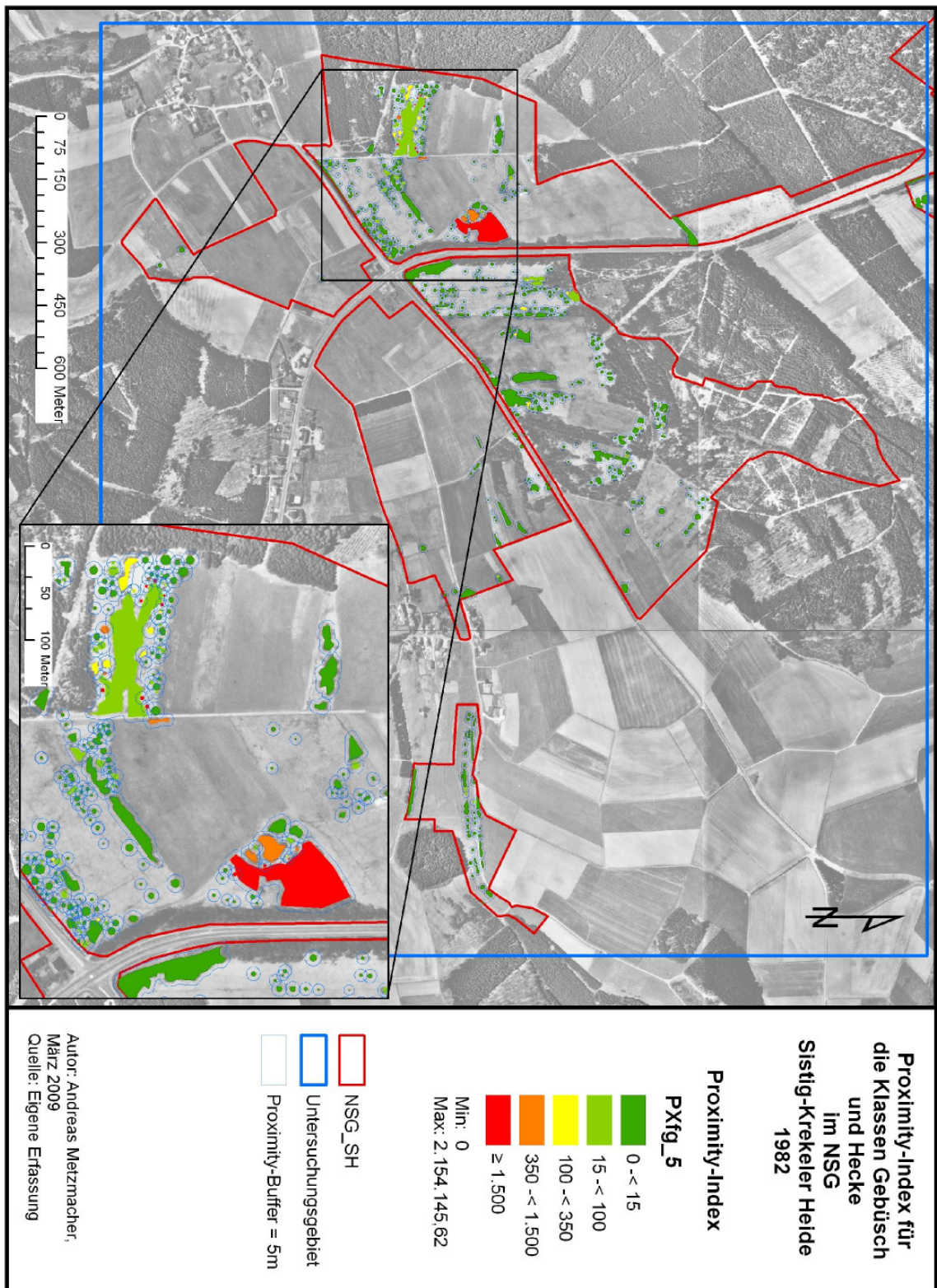


Abb. 4.15: Nachbarschaftsanalyse anhand des Proximity Index PX_{fg} 1982

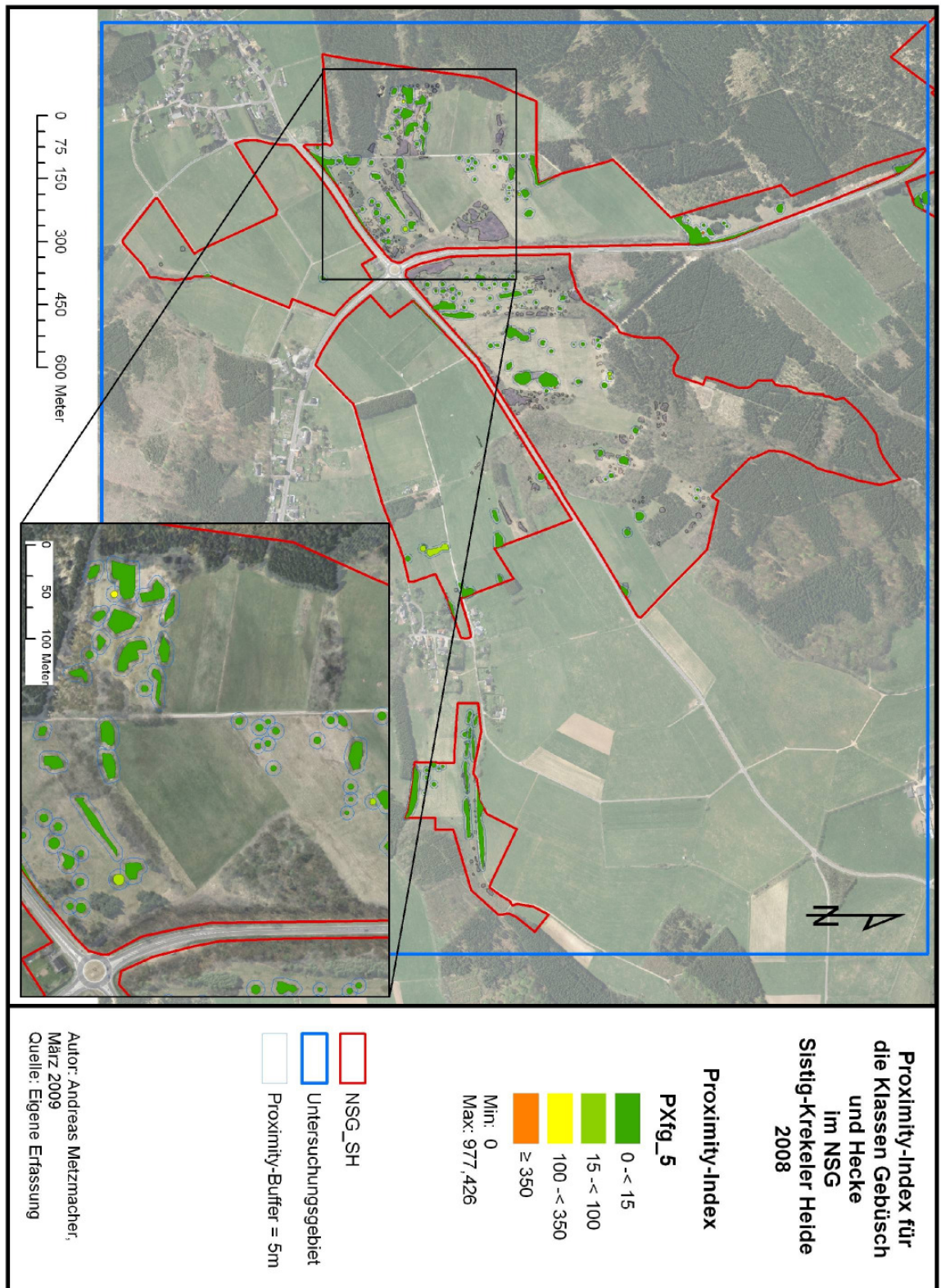


Abb. 4.16: Nachbarschaftsanalyse anhand des Proximity Index PX_{fg} 2008

4.3.3 Core Area

Tab. 4.7: Ergebnisse der Core Area Analyse 1982 und 2008

Class	1982		2008	
	Grünland	Heide	Grünland	Heide
NCA	32	21	34	24
CA [ha]	53,6	1,12	57,66	7,96
TCCA [ha]	43,96	0,30	47,01	4,49
CAI [%]	82,02	26,6	81,58	56,41

Die Tabelle 4.7 gibt die Ergebnisse der Kernflächenanalyse für die Landbedeckungsklassen Grünland und Heide im Naturschutzgebiet Sistig-Krekeler Heide in den Jahren 1982 und 2008 wieder. Für die Berechnung wurde ein Randeffekt von 5 m angenommen. Ermittelt wurden die Anzahl der Kernflächen (NCA), die Gesamtfläche der Kernflächen bezogen auf die jeweilige Klasse (TCCA) sowie der Core Area Index (CAI). Den Verlust an effektiven Lebensraum ermittelt man, indem man CAI von 100 subtrahiert.

In beiden Klassen hat die Anzahl der verbleibenden Kernflächen geringfügig zugenommen. Während die Ausgangsfläche zur Berechnung der Kernflächen für die Klasse Grünland in beiden Jahren relativ ähnlich ist, sind bei der Klasse Heide deutliche Unterschiede festzustellen. 1982 wurden nur 1,12 ha in die Berechnung einbezogen. 2008 sind es rund 8 ha (vgl. Abb. 4.17). 1982 standen für Arten der Heiden effektiv nur noch 0,3 ha Fläche zur Verfügung. Dies entspricht einer Abnahme der Heideflächen um ca. 73 %. Im Vergleich dazu standen im Jahr 2008 für diese Arten 4,49 ha Fläche zur Verfügung. Die Abnahme der effektiv nutzbaren Fläche durch die Auswirkungen des Randeffektes beträgt noch rund 44 %. Für die Klasse Grünland sind die berechneten Werte im Verhältnis mehr oder weniger gleich geblieben, obwohl 2008 rund 4 ha Grünland hinzugekommen sind (vgl. Abb. 4.17 und Tab 4.7).

Ergebnisse

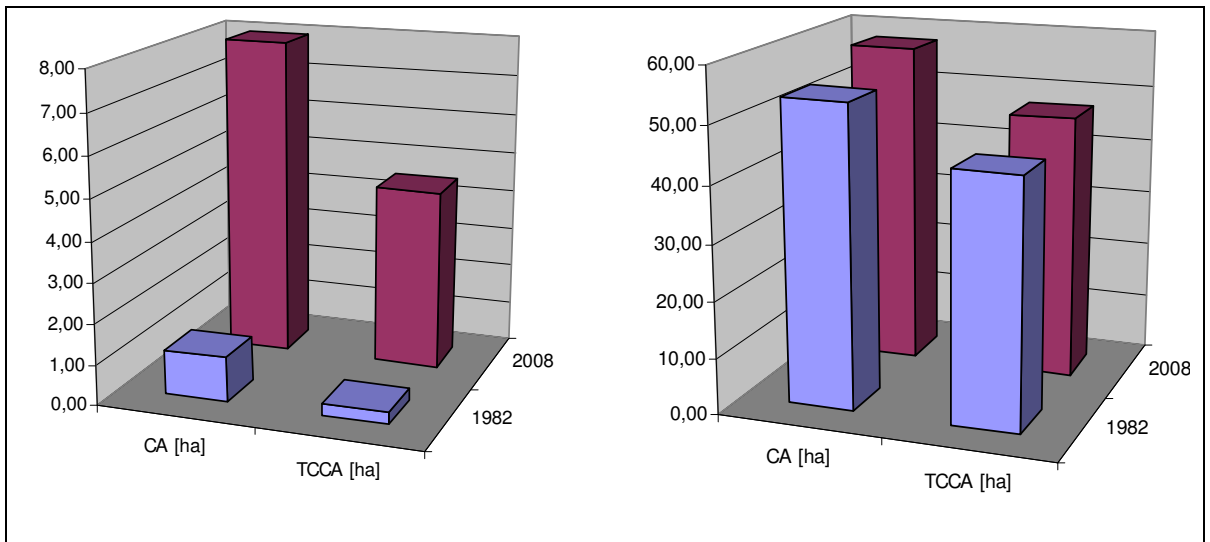


Abb. 4.17: Gegenüberstellung der Gesamtfläche und verbleibender Core Area bei einem Randeffect von 5 m

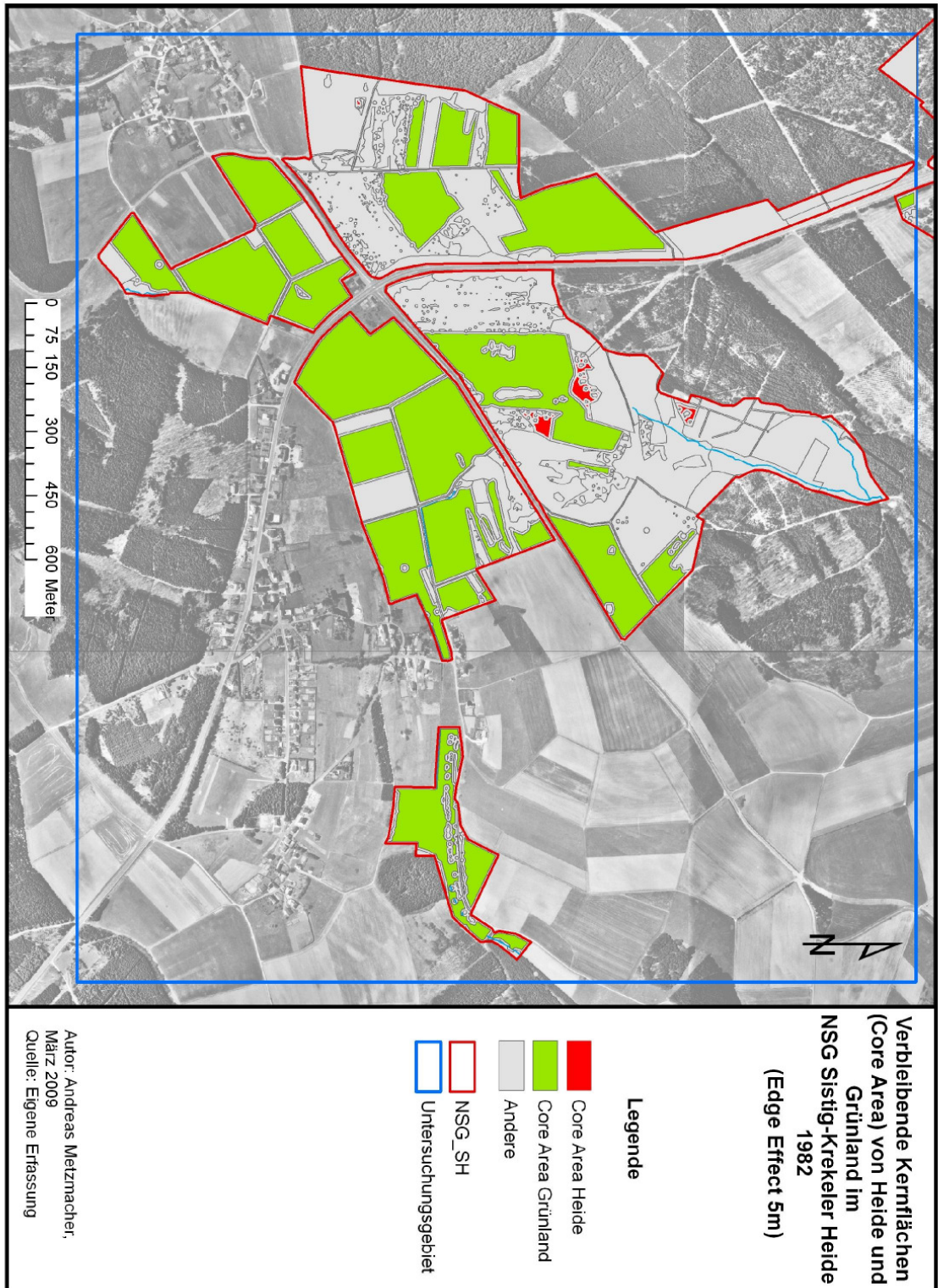


Abb. 4.18: Verbleibende Core Area der Klassen Grünland und Heide 1982

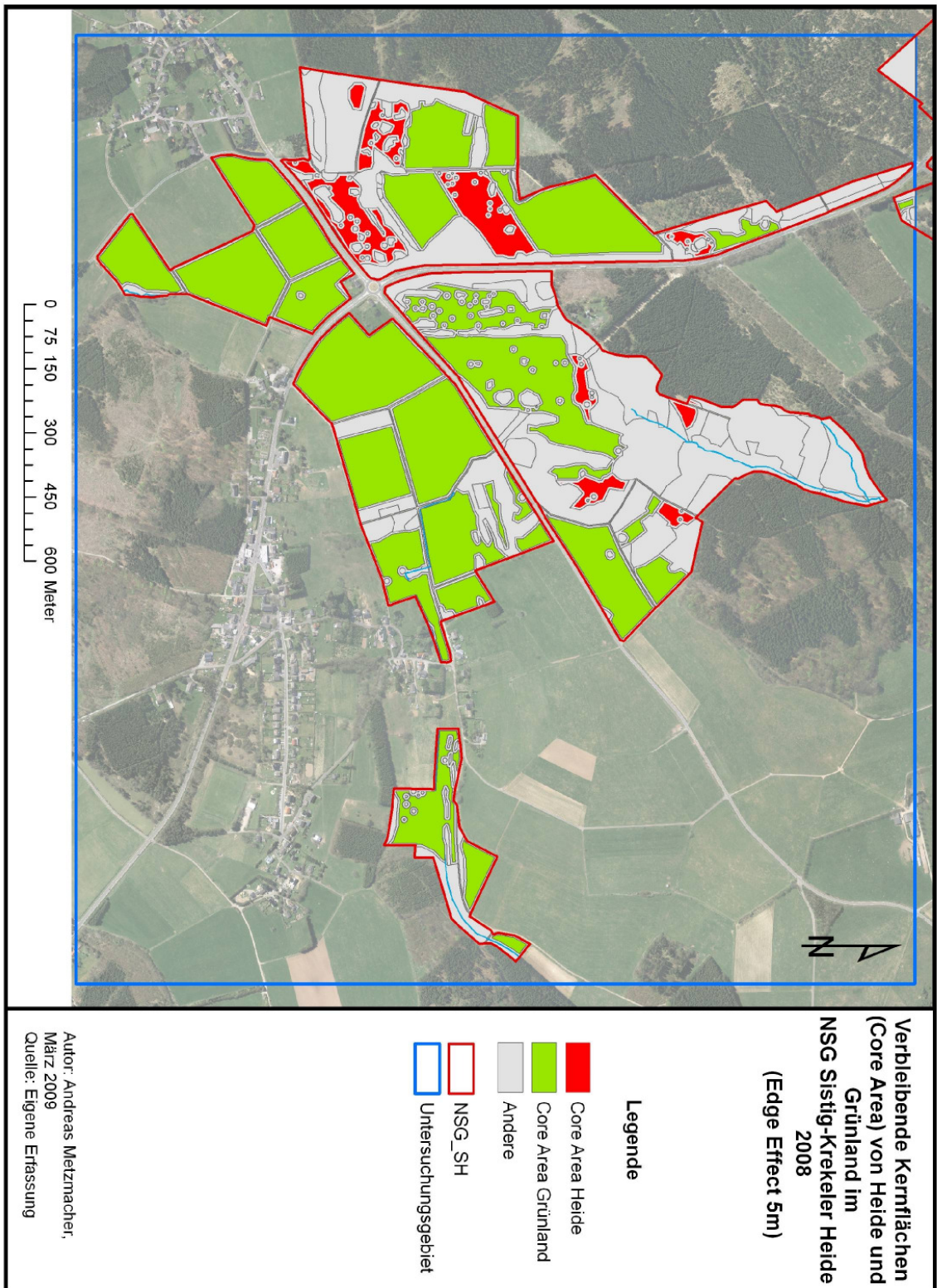


Abb. 4.19: Verbleibende Core Area der Klassen Grünland und Heide 2008

5. Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurde der Landschaftsstrukturwandel auf einem ca. 4,3 km² großen Ausschnitt der Sistig-Krekeler Heide untersucht und mit Hilfe von Landschaftsstrukturmaßen quantitativ beschrieben. Bevor die Ergebnisse diskutiert werden, wird im Folgenden auf Schwierigkeiten und mögliche Fehlerquellen bei der Bearbeitung eingegangen.

5.1 Methodenkritik

Für die Erstellung der Landbedeckungskarten zu den Zeitpunkten um 1810, 1982 und 2008 wurden unterschiedliche Datengrundlagen verwendet. Insbesondere das abgeleitete Ergebnis (Landbedeckungskarte) aus der TRANCHOTKARTE um 1810 ist aufgrund des kleineren Maßstabs und damit einhergehenden niedrigeren Informationsgehalt nur sehr bedingt mit den Luftbildkarten (Maßstab 1:5.000) zu vergleichen. Auch der Begriff „Heide“ bereitet bei der Interpretation gewisse Schwierigkeiten (vgl. Kap. 1.3). Es ist möglich, dass einige Bereiche, die in der TRANCHOTKARTE als „Heide“ kartiert und als solche in der vorliegenden Arbeit digitalisiert wurden, um 1810 beispielsweise Schiffelland oder Hutungen gewesen sein könnten. Daher wurde anhand der abgeleiteten Landbedeckungskarte lediglich ein Eindruck von der Verteilung und Größe der jeweiligen Landbedeckungsklasse gegeben.

Zur Abgrenzung und Klassifizierung der Patches aus den Luftbildkarten wurde ein Interpretationsschlüssel abgeleitet. Die Abgrenzung und Zuordnung der einzelnen Patches erfolgte subjektiv nach vorgegeben Maßgaben des Interpretationsschlüssels. Schwierigkeiten bei der Zuordnung einzelner Elemente wurden erkannt und mit einem Experten weitgehend diskutiert, um mögliche Fehler zu vermeiden (vgl. Kap. 3.2). Es ist dennoch nicht auszuschließen, dass es hin und wieder zu Fehlern bei der Zuordnung zu einzelnen Landbedeckungsklassen gekommen sein könnte (vgl. Kap. 3.2). Darüber hinaus beeinflussen die Abweichung des Digitalisierungsmaßstabs und die Verwendung der Advanced Edeting Tools (Circle Tool, Kreis) zur Erfassung kleinerer Gebüschstrukturen die Indizes Grenzlänge und Shape-Index für diese Klasse.

Generell stellt die Abgrenzung von Landschaftsobjekten ein Problem dar. Zum einen gibt es in der Landschaft selten scharfe Grenzen zwischen einzelnen Patches. Es liegen vielmehr allmähliche Übergänge vor. Zum anderen erfolgt die Grenzziehung sehr subjektiv durch den jeweiligen Bearbeiter. In der Summe können auf diese Weise

erhebliche Flächendifferenzen auftreten, die die Indizes maßgeblich beeinflussen (vgl. Blaschke 1999: 17).

Des Weiteren kann die Auswahl des Untersuchungsgebiets Einfluss auf Aussagen haben, die über einen Landschaftsausschnitt getroffen werden. In der vorliegenden Arbeit wurde, wie durchaus üblich, ein rechteckiger Ausschnitt einer Landschaft ausgewählt, um ein handhabbares Untersuchungsgebiet abzugrenzen. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss man allerdings berücksichtigen, dass Artefakte, die am Rand durch „Zerschneidung“ des Untersuchungsgebietsgrenze entstanden sind, unter Umständen Einfluss auf die angewandten Indizes, z.B. den MSI, haben können (vgl. LANG & BLASCHKE 2007).

5.2 Interpretation der Ergebnisse

Um 1810 war die Landschaft noch von Äckern (Flächenanteil: 29,9 %, NP: 21) und ausgedehnten „Heideflächen“ (Flächenanteil: 48,87 %, NP: 36) dominiert (vgl. Kap. 4.1). Dies ist vor allem auf die Schafhaltung und Schifferkultur und das über Jahrhunderte Übernutzen des Waldes (Waldweide, Bau- und Brennholz- und späterer Holzkohlegewinnung) zurückzuführen (vgl. Kap. 1.3). Der Flächenanteil für die Klasse Wald betrug damals lediglich 12,5 % (NP: 5). Grünland gab es nur in Siedlungsnähe (Flächenanteil: 7,1 %). Siedlungsstrukturen und Verkehrsinfrastruktur spielten damals im Untersuchungsgebiet eine eher untergeordnete Rolle.

1982 hat sich das Landschaftsbild völlig gewandelt. Wie die Flächenanalyse zeigt, wurde das Untersuchungsgebiet 1982 vor allem von Grünland (Flächenanteil: 34 %) und Waldflächen (Flächenanteil 36,6 %), insbesondere Nadelwald (28,1 %) geprägt. „Heide“- und Ackerflächen sind stark rückläufig. So waren nur noch 0,3 % des Untersuchungsgebietes mit Heide bedeckt. Ackerflächen nahmen noch 13,1 % des Untersuchungsgebietes ein. Die Zunahme des Waldanteils ist vor allem auf die Aufforstung landwirtschaftlich unrentabler Standorte zurückzuführen. Bereits um 1830 haben die Preußen begonnen, „Ödland“ mit Nadelgehölzen (vorwiegend Fichte) aufzuforsten (vgl. NRW-STIFTUNG 2006). Aber auch die Aufgabe der Schafhaltung (Hutehaltung) führte dazu, dass ehemalige „Heide“- und Grünlandflächen verbuschten und sich auf einigen Flächen wieder Wald etablieren konnte. Ackerbau, der noch bis zu Beginn der 1940er im Untersuchungsgebiet von Bedeutung war, ging vor allem deutlich zu Gunsten der Grünlandwirtschaft zurück, die unter den heutigen

Rahmenbedingungen (klimatisch, edaphisch und wirtschaftlich) als geeignete landwirtschaftliche Nutzungsform gilt (NRW-Stiftung 2006).

Die Nutzungsaufgabe landwirtschaftlich unrentabler Standorte spiegelt sich 1982 auch in der Anzahl kartierter Bracheflächen wieder. Insgesamt konnten 45 Flächen dieser Klasse zugeordnet werden (Flächenanteil 4,6 %). Dabei ist zu beobachten, dass sich der überwiegende Teil dieser Flächen mit einer MPS von 0,45 ha im heutigen NSG Sistig-Krekeler Heide befindet. Im Zuge der Nutzungsaufgabe sind diese Flächen in der Regel durch stark verbuschte Bereiche gekennzeichnet. Insgesamt nahmen Gebüschstrukturen 1982 im Untersuchungsgebiet eine Fläche von 4,34 ha ein. Von den 652 kartierten Gebüsch-Patches lagen alleine 542 in den erfassten Teilflächen des Naturschutzgebietes.

Verkehrsflächen (Straßen und Wirtschafts-/Wanderwege) und die einstmaligen kleinen Siedlungsbereiche der Ortschaften Krekel, Benenberg und Rüth haben sich stark ausgedehnt.

2008 ist die Anzahl der Ackerflächen weiter gesunken. Grünland nimmt hier nahezu die Hälfte der Fläche des Untersuchungsgebietes ein (44,6 %). Auch der Anteil an Waldflächen hat weiter zugenommen. Allerdings ist der Nadelwaldanteil im Wesentlichen zu Gunsten der Landbedeckungsklasse Laubwald um 6,8 % gesunken, dessen Flächenanteil im gleichen Zeitraum um 7,6 % angestiegen ist. Diese Entwicklung lässt sich unter anderem durch ein Umdenken in der Forstwirtschaft begründen. Vor allem die Umwandlung von Nadelwaldflächen, insbesondere im Norden und Süden des Untersuchungsgebietes und das „Durchwachsen“ von ehemaligen größeren Gehölzflächen, z.B. im Osten entlang des Fischbaches (vgl. Abb. 4.3 und 4.4 in Kap.4.2) haben zu dieser Zunahme geführt. Der Anstieg des Flächenanteils in der Klasse Rodung/Windwurf ist vor allem durch den Sturm „Kyrill“ im Frühjahr 2007, aber auch auf die Freistellung ehemaliger Heideflächen im Rahmen der Entwicklung von Natura-2000-Gebieten zurückzuführen (Regionalforstamt Hocheifel-Zülpicher Börde mdl.).

Weitere Naturschutzbestrebungen, unter anderem der Nordrhein-Westfalen-Stiftung (vgl. NRW-STIFTUNG 2006), führten zu einem starken Rückgang der Brachflächen gegenüber 1982 im Untersuchungsgebiet (Flächenanteil 2008: 0,3 %, MPS: 0,09 ha). Gleichzeitig ist auch ein deutliche Abnahme der kartierten Gebüschstrukturen zu verzeichnen (NP: 204). Dieser Rückgang ist zum einen auf das Zusammenwachsen von Gebüsch (MPS 1982: 76,9 m²; 2008: 212,9 m²) und die Integration von Gebüsch in Heckenstrukturen zurückzuführen, wie auch die Ergebnisse der Formanalyse zeigen

(vgl. Kap. 4.3.2). Zum anderen haben die Wiederaufnahme einer extensiven landwirtschaftlichen Nutzung (Beweidung und Mahd) und flankierende Maßnahmen dazu geführt, dass auf weiten Teilen der Naturschutzflächen Gebüschstrukturen zurückgedrängt und beseitigt werden konnten (vgl. NRW-STIFTUNG 2006). Gleichzeitig konnten auf diese Weise wieder wertvolle Heidebereiche und Grünlandflächen restituiert werden, so dass 2008 wieder rund 8,3 ha des Untersuchungsgebietes von Heideflächen (überwiegend Feuchtheide) bedeckt waren (MPS: 0,75 ha). Dies entspricht einer relativen Zunahme gegenüber 1982 um mehr als 600 %.

Zur Beschreibung des Landschaftsstrukturwandels im Untersuchungsgebiet wurden auch eine Form- und Grenzlinienanalyse durchgeführt. Wie in Kapitel 3.3 bereits dargelegt, gibt die Form von Patches einen Hinweis auf den anthropogenen Einfluss und damit auf die Naturnähe. Demnach kann man davon ausgehen, dass kompakte Formen eher anthropogen bedingt sind, als solche, die einen hohen Shape-Index aufweisen. Dies spiegelt sich auch in weiten Teilen der Ergebnisse der Formanalyse wieder. Anthropogen bedingte Strukturen wie Siedlungs-, Nadelforst und Ackerflächen weisen zu den Zeitpunkten 1982 und 2008 einen MSI kleiner 1,6 auf und sind als kompakt anzusehen bzw. weisen nur eine geringe Formkomplexität auf. Hinsichtlich ihrer Natürlichkeit sind sie daher als gering einzustufen. Dies lässt sich durch die Begrenzung bzw. Zerschneidung der Flächen von Verkehrswegen und kompakten Anlage von Siedlungsflächen begründen. Ähnliches gilt für viele Grünlandflächen. Nur dort, wo diese durch wenige Verkehrswege erschlossen sind und Übergänge zu anderen naturnahen Strukturen bestehen, nimmt die Formkomplexität zu. Dies ist vor allem im NSG zu beobachten (vgl. Abb. 4.8 in Kap. 4.3.2). Solche Grünlandflächen sind daher naturnäher einzustufen (vgl. Kap. 3.3). Dagegen erreichen die Landbedeckungsklassen Heide, Hecken, Laub- und Mischwald höhere MSI und können als naturnah bezeichnet werden. Die Abnahme des MSI für die Landbedeckungsklasse Brache gegenüber 1982 lässt sich vor allem dadurch begründen, dass es sich um relativ kompakte am Rand von Bewirtschaftungseinheiten gelegene Restflächen handelt, die von einer Bewirtschaftung ausgelassen werden.

Obwohl die Verkehrsflächen zu beiden betrachteten Zeitpunkten einen hohen Shape-Index aufweisen, sind diese keinesfalls als naturnah bezeichnen. Vielmehr ergibt sich der hohe Wert aus der lang gestreckten Form der Verkehrswege. Im Gegensatz dazu könnte man auf Grund des niedrigen MSI der Klasse Gebüsch auf naturferne Landschaftselemente schließen. Allerdings ergibt sich der niedrige Shape-Index aus der kreisähnlichen Form der Gebüschstrukturen, der zusätzlich durch die Erfassung kleiner

Gebüschstrukturen mit Hilfe des Circle Tools verstärkt wird. Dennoch ist eine leichte Zunahme des Shape-Index gegenüber 1982 zu verzeichnen. Dies ist auf das Zusammenwachsen von Gebüschstrukturen zurückzuführen.

In direktem Zusammenhang mit der Formbeschreibung steht die Grenzlinienlänge. Mit Hilfe der Grenzlinienanalyse kann man Aussagen über die Verzahnung und Komplexität einzelner Teillebensräume treffen. Je größer die Grenzliniendichte bzw. Grenzliniensumme, desto höherwertiger ist die Struktur des betrachteten Landschaftsausschnitts (vgl. LANG & BLASCHKE 2007). Dabei ist zwingend erforderlich, auf die Qualität der Grenzlinie zu achten (vgl. Kap. 3.3).

Wie die Grenzlinienanalyse auf Landschaftsebene gezeigt hat, ist die Grenzliniendichte 1982 höher als 2008. Die Abnahme der Grenzliniendichte bzw. -summe ist im Wesentlichen auf den Rückgang von Wirtschaftswegen im Wald und dem Verschwinden von Ackerflächen zurückzuführen, die 1982 teilweise direkt an Grünlandbestände angrenzten und zwischen 1982 und 2008 in Grünland umgewandelt wurden. Die zeigt sich auch in der Zunahme des MPS der Klasse Grünland gegenüber 1982.

Vergleicht man die Analyse auf Landschaftsebene mit den Ergebnissen der NSG-Teilflächen, ist auch hier ein Rückgang der Grenzliniendichte festzustellen. Allerdings liegt der Wert mit 985,94 m/ha (1982) bzw. 825,68 m/ha (2008) deutlich über dem des gesamten Untersuchungsgebietes (751,31 m/ha bzw. 638,70 m/ha). Daraus lässt sich ableiten, dass im Naturschutzgebiet höherwertige Strukturen vorliegen und die Teillebensräume enger miteinander verzahnt sind. Gleichzeitig bestimmen diese wesentlich den Strukturreichtum des gesamten Untersuchungsgebiets mit. Auf die Komplexität bzw. die komplizierten Grenzlinienverläufe weisen auch die Ergebnisse der Formanalyse hin (vgl. Kap. 4.3.2, insbesondere Abb. 4.8 und 4.9).

Überall dort, wo unterschiedliche Nutzungen aufeinander treffen, bilden sich Bereiche mit einer hohen Artenvielfalt aus, die in der Ökologie auch als Ökotope bezeichnet werden. Von diesen gehen im Gegensatz zu linearen Infrastruktureinrichtungen in der Regel positive Effekte aus (vgl. Walz 2004: 22). So bieten beispielsweise Feldgehölze wie Hecken und Gebüsch einer Vielzahl von Tieren Lebensraum oder dienen Vögeln oder räuberischen Kleinsäugetieren als Stützpunkt für Streifzüge in die angrenzenden Flächen (vgl. v. SCHNAKENBURG & SCHMIEDER 2008). Besonders die Zunahme der Grenzlinienlänge der Landbedeckungsklassen Grünland (vor allem im NSG), Heide, Hecken und Laubwald gegenüber 1982 wirkt sich positiv auf den Strukturreichtum und damit den Artenreichtum im Untersuchungsgebiet,

insbesondere auf den Naturschutzflächen, aus. Beispielsweise hat sich die Grenzlinienlänge der Klasse Heide im Vergleich zu 1982 mehr als verdreifacht (1982: 2.101 m; 2008 7.601 m), die der Hecken ist von 4.146 m auf 5.383 m gestiegen. Die Grenzlinienlänge der Klasse Gebüsch ist leicht rückläufig. Dafür steigt die mittlere Grenzlinienlänge pro Patch von ca. 26 m auf rund 52 m.

Generell ist anzumerken, dass ein hoher Anteil der Grenzliniendichte bzw. –summe im Untersuchungsgebiet von Verkehrswegen, insbesondere außerhalb des Naturschutzgebietes, herrührt. Daher wird die Grenzlinienqualität angrenzender Strukturen, wie Acker und Grünland bei gemeinsamer Grenze durch negative Randeffekte (u.a. Barrierewirkung) herabgesetzt.

Erhaltungszustand der NSG-Teilflächen und Wirksamkeit von Naturschutzmaßnahmen

Die Flächenanalyse hat gezeigt, dass die Teilflächen des NSG Sistig-Krekeler Heide im Untersuchungsgebiet zu beiden Zeitpunkten von Grünland dominiert wurden. Die Grünland und Heidefläche konnten in diesem Zeitraum um 4 ha bzw. 8 ha ausgedehnt werden (vgl. Kap. 4.3). Brachflächen gingen gegenüber 1982 hingegen deutlich um 96,7 % zurück. Dies ist, wie oben bereits erwähnt, auf die Wiederaufnahme einer extensiven Landnutzung (Vertragsnaturschutz nach Kulturlandschaftsprogramm NRW) und weiterer flankierende Naturschutzmaßnahmen, wie z.B. das Entfernen von Gehölzen zurückzuführen. Neben dem Entfernen von Gebüsch, erklärt sich der relative Rückgang (-35,6 %) an Gebüschstrukturen durch das Zusammenwachsen von einzelnen Gebüsch zu neuen Heckenstrukturen und die Integration in bestehende Hecken. Dies zeigt sich auch im relativen Flächenzuwachs der Klasse Hecken gegenüber 1982 (81,3 %) und dem Anstieg des MSI von rund 2,1 auf ca. 2,7.

Die Entwicklung von Verbuschung lässt sich auch gut mit dem Proximity-Index beschreiben (vgl. PETSCHACHER 2005). Wie Tabelle 4.6 (Kap. 4.3.2) zeigt, liegen die Werte für den Proximity-Index 1982 über denen von 2008. Dies bedeutet zum einen, dass 1982 die Patches um einiges näher zusammen liegen als 2008, zum anderen ist dies ein Hinweis auf größere Flächen, wie sie beispielsweise im westlichen Teilgebiet 1982 vorzufinden waren. 2008 existiert immer noch eine Vielzahl an Gebüsch- und Heckenstrukturen, die zur strukturellen Vielfalt und Verzahnung der unterschiedlichen Lebensräume im Naturschutzgebiet beitragen (vgl. LANUV).

Auch die Ergebnisse der Core-Area-Analyse deuten auf eine Verbesserung der Lebensraumsituation für spezifische Arten, insbesondere der Heiden hin. Nach Abzug

des Randeffektes von 5 m konnten 1982 ausgehend von 1,12 ha nur noch 0,3 ha als Kernfläche erfasst werden. Dies entspricht einem Rückgang von 73 %. Bei einer Ausgangsfläche von 7,96 ha, konnten 2008 4,49 ha als effektiver Lebensraum für typische Arten der Heiden ermittelt werden. Der Rückgang beläuft sich nur auf 44 % (vgl. Kap. 4.3.3). Der starke Rückgang 1982 ist unter anderem durch die Kleinflächigkeit und Verbuschung der „Rest“-Heideflächen zu erklären. Die Verbesserung der Situation gegenüber 1982 ergibt sich aus dem Vorhandensein größerer Flächen mit tendenziell geringer Verbuschung.

Für die Klasse Grünland sind die berechneten Werte im Verhältnis mehr oder weniger gleich geblieben. Durch die Wiederaufnahme der Bewirtschaftung konnte aber eine große Grünlandfläche im westlichen Bereich der östlichen Teilfläche des Naturschutzgebietes restituiert werden. Sie stellt heute wieder eine wertvolle und reich strukturierte Fläche dar.

Bringt man die Ergebnisse der Strukturanalyse mit anderen Untersuchungen in Verbindung, kann gezeigt werden, dass Naturschutzmaßnahmen und die Wiederaufnahme einer extensiven Landnutzung zu einer Verbesserung des Erhaltungszustandes und damit der Qualität der Lebensräume im Naturschutzgebiet geführt haben. Unter anderem untersuchte KAM et al. (2004) die Populationsentwicklung seltener und gefährdeter Farn- und Blütenpflanzen im NSG Sistig-Krekeler. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Populationen von gefährdeten Arten wie Mondraute (*Botrychium lunaria*, L.), Lungen-Enzian (*Gentiana pneumonanthe*, L.) oder Orchideen wie Geflecktes Kanbenkraut (*Dactylorhiza maculata*, L.) und Weiße Waldhyazinthe (*Platanthera bifolia*, L.) auf Grund der extensiven Landnutzung auf den Teilflächen des NSG im Untersuchungsgebiet zugenommen haben. Auch die Ergebnisse des Geo Tag der Artenvielfalt am 17. Juni 2003 sprechen für die hohe Qualität der Flächen (vgl. USL 2003). Kartierungen der LANUV im Rahmen der FFH-Berichtspflicht bestätigen den überwiegend guten Erhaltungszustand der Naturschutzgebietsflächen (vgl. LANUV).

6. Fazit und Ausblick

Maßzahlen, die die Landschaftsstruktur beschreiben, lassen in der Regel nur Vergleiche innerhalb des Untersuchungsgebiets zu. Vergleiche zu anderen Untersuchungen sind häufig nur bedingt möglich, da in der Regel keine unter identischen Bedingungen erhobenen Vergleichsdaten vorliegen. Am ehesten lassen sich noch die Flächenmaße miteinander vergleichen. So konnte der allgemeine Trend der Entwicklung in den Mittelgebirgsregionen hin zu einer von Grünland- und Forstwirtschaft geprägten Kulturlandschaft aufgezeigt werden. Die Flächenanalyse bzw. Flächenbilanzierung alleine reicht aber nicht aus, um den Strukturwandel quantitativ zu beschreiben. Strukturelle Veränderungen können hingegen mit Landschaftsstrukturmaßen quantitativ erfasst werden, die zwar im Gelände oder auf Luftbildern etc. visuell erkennbar sind, sich aber in der Auswertung der Flächenanalyse nicht oder nur unzureichend widerspiegeln.

Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass man mit Hilfe von Landschaftsstrukturmaßen den Landschaftsstrukturwandel in der Sistig-Krekeler Heide quantitativ erfassen und beschreiben kann. Gleichzeitig wurde der Erhaltungszustand für Teilflächen des NSG unter Berücksichtigung weiterer Naturschutzfachdaten abgeleitet und die Bedeutung von naturschutzfachlichen Maßnahmen und des Vertragsnaturschutzes dargestellt. So konnte beispielsweise mit den Maßen zur Form- und Grenzlinien-Analyse ein höheres Struktureichtum und eine bessere Verzahnung von Teillebensräumen im NSG im Vergleich zum gesamten Untersuchungsraum nachgewiesen werden. Des Weiteren ist die kompakte Form vieler landwirtschaftlichen Nutzflächen im Untersuchungsgebiet auf das Wegenetz zurückzuführen. Die Nachbarschaftsanalyse gibt neben den Ergebnissen der Flächenanalyse Aufschluss über die Gehölzentwicklung (Hecken und Gebüsch) im NSG. Die Core-Area-Analyse zeigt, dass 2008 weit mehr effektiver Lebensraum für heidespezifische Arten im NSG zur Verfügung steht als noch 1982 und daher eine potenziell höhere Artenanzahl beherbergen kann.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse bleibt zu berücksichtigen, dass eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus der TRANCHOTKARTE und den Luftbildkarten auf Grund der Auflösung und einhergehender Generalisierung nur beschränkt möglich ist. Die Ergebnisse und Beschreibung der Situation um 1810 reichen aber aus, um sich ein Bild der Landschaft zu diesem Zeitpunkt zu machen.

Im Allgemeinen stellt die Digitalisierung der Landbedeckungskarten eine Generalisierung der tatsächlichen Gegebenheiten dar. Feinräumige Strukturen und Verzahnungen konnten anhand des Ausgangsmaterials nicht oder nur teilweise erfasst werden. Erkannte Übergänge wurden als scharfe Grenzen subjektiv vom Bearbeiter gezogen. In diesem Zusammenhang kann zur Fortsetzung dieser Arbeit überprüft werden, ob sich die Maßzahlen bei einer Verschiebung der Grenzlinien um einige Meter signifikant ändern, d.h. sensitiv gegenüber einer Verschiebung reagieren. Darüber hinaus könnte man Differenzkarten anfertigen, um ggf. ein noch besseres Bild über die Veränderung der Landbedeckung zu den drei Zeitpunkten zu erhalten.

Des Weiteren zeigen die Ergebnisse der Landschaftsanalyse im Naturschutzgebiet, wie sich der Erhaltungszustand, insbesondere der Heideflächen gegenüber 1982 verbessert hat. Durch den Einsatz Geographischer Informationssysteme und dem Vorhandensein entsprechender Datengrundlagen (hoch auflösende Luftbildkarten oder Satellitenbilder) können schnell Ergebnisse (Landbedeckungskarte) generiert werden. So können ggf. signifikante Veränderungen in der Landschaftsstruktur erkannt (Monitoring) und entsprechende Maßnahmen abgeleitet werden.

Literaturverzeichnis

- BLASCHKE, T. (1999): Quantifizierung der Struktur einer Landschaft mit GIS: Potential und Problem. In: WALZ, U. (Hrsg.): Erfassung und Bewertung der Landschaftsstruktur. Auswertung mit GIS und Fernerkundung. IÖR-Schriften, 29. Dresden, 9-25.
- FORMAN, R.T.T. & M. GODRON 1986: Landscape Ecology. Cambridge
- FORMAN, R.T.T. 1995: Land mosaics, the ecology of landscape regions. Cambridge
- HERBST, H. 2007: Verwendbarkeit von Landschaftsstrukturmaßen als Bewertungsinstrument in der Landschaftsplanung. Das Beispiel Landschaftsrahmenplan Havelland. Diplomarbeit Technische Universität Berlin, Institut für Landschaftsarchitektur. Online: http://www.geoinformation.tu-berlin.de/fileadmin/user_upload/Redakteure/Diplomarbeit_Helge_Herbst/LSM_im_LR_P.pdf (20.12.2008)
- HEROLD, M & G. MENZ (2001): Remote Sensing and Landscape Metrics – Investigations of spatial structural analysis of urban regions. Erdkunde, 55 (4), 379-392.
- HERZOG, F. LAUSCH, A. & THULKE, H.-H. 1999: Das Monitoring von Landschaftsveränderungen mit Landschaftsstrukturmaßen - Fallstudie Espenhain. In WALZ, U. (Hrsg.): Erfassung und Bewertung der Landschaftsstruktur - Auswertung mit GIS und Fernerkundung. IÖR-Schriften 29. Dresden, 93-106.
- KAM, H., KÜHNE, C., LEX, C., METZMACHER, A. & SCHUMACHER, W.: 2006: Erfolgskontrolle des Vertragsnaturschutzes anhand der Populationsgrößen und -entwicklung seltener und gefährdeter Farn- und Blütenpflanzen. Abschlussbericht MUNLV.
- KLUG, H., LANGANKE, T. & LANG, S. 2003: Integration einer IDEFIX – Indikator-datenbank für landscape metrics in ArcGis 8.x. In: STROBL, S., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung, XV, Heidelberg. Online: http://www.geo.sbg.ac.at/larg/Abstract_IALE_Klug.pdf (am 28.12.2008)
- LANG, S., LANGANKE, T., BLASCHKE, T. & KLUG, H. 2002: Schritte zu einer zielgerichteten Strukturanalyse im Natura2000-Kontext mit GIS. In: STROBL, J., BLASCHKE, T., GRIESEBNER, G. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIV, Heidelberg, 302-307.

LANG, S., LANGANKE, T. & KLUG, H. 2003: Landscape Metrics – der nordamerikanische Ansatz der quantitativen Landscape Ecology. Online: <http://www.geo.sbg.ac.at/larg/> (am 28.12.2008)

LANG, S., KLUG H. & BLASCHKE, T. 2004: Software zur Analyse der Landschaftsstruktur. In: WALZ, U., G. LUTZE, A. SCHULTZ & SYRBE, R.-U. (Hrsg.): Landschaftsstruktur im Kontext von naturräumlicher Vorprägung und Nutzung – Datengrundlagen, Methoden und Anwendungen. IÖR-Schriften. Dresden, 43, 29 – 46.

LANG, S. & BLASCHKE, T. 2007: Landschaftsanalyse mit GIS. Stuttgart.

LAUSCH, A. 2000: Raum-zeitliches Monitoring von Landschaftsstrukturen in der Tagebauregion Südraum Leipzig mit Methoden der Fernerkundung und Geoinformation. Dissertation Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn. UFZ-Bericht.

LEHR- UND FORSCHUNGSSCHWERPUNKT "UMWELTVERTRÄGLICHE UND STANDORTGERECHTE LANDWIRTSCHAFT" USL (Hrsg.) 2003: Geo Tag der Artenvielfalt 17. Juni 2003 - Inventarisierung zur Erfassung der Biodiversität in der Sistig-Krekeler Heide. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn.

LESER, H. 2005: Landschaftsökologie. Ansatz, Modelle, Methodik, Anwendung. Stuttgart.

LUTZE, G. SCHULTZ, A. & KIESEL, J. 2004: Landschaftsstruktur im Kontext von naturräumlicher Vorprägung und Nutzung – ein systemanalytischer Ansatz. In: WALZ, U., LUTZE, G., SCHULTZ, A. & SYRBE, R.-U. (Hrsg.): Landschaftsstruktur im Kontext von naturräumlicher Vorprägung und Nutzung – Datengrundlagen, Methoden und Anwendungen. IÖR-Schriften. Dresden, 43, 1-12.

MAUL, M. 1997: Regenerierung, Entwicklung und Nutzung der Sistig-Krekeler Heide - historische, floristisch-pflanzensoziologische und standörtliche Analyse und ihre Darstellung mit ATLA*GIS. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Rheinisch Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

MCGARIGAL, K. & MARKS, B. J. 1995: FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structur. Dolores.

MCGARIGAL, K. 2002: Landscape pattern metrics. In A. H. El-Shaarawi and W. W. Piegorsch, eds. Encyclopedia of Environmentrics Volume 2. John Wiley & Sons, Sussex, England, 1135-1142.

MERTZ, PETER 2002: Pflanzenwelt Mitteleuropas und der Alpen. Erkennen - Bestimmen - Bewerten. Ein Handbuch für die vegetationskundliche Praxis. Hamburg.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW MUNLV (Hrsg.) 2004: Lebensräume und Arten der FFH-Richtlinie in Nordrhein-Westfalen. Beeinträchtigung, Erhaltungszustand und Entwicklungsmaßnahmen sowie Bewertung von Lebensraumtypen und Arten der FFH-Richtlinie in Nordrhein-Westfalen.

NRW-STIFTUNG 2006: NAFGI - Naturschutzfachliche Geoinformation. Online: <http://www.ikg.uni-bonn.de/nafgi/> (am 11.12.2008)

PAFFEN, K. 1940: Heidevegetation und Ödlandwirtschaft der Eifel. Beiträge zur Landeskunde der Rheinlande. Dritte Reihe. Heft 3. Bonn.

PETSCHACHER, U. 2005: „Verbuschung von Trockenrasen“ Quantifizierung des Erhaltungszustandes von Natura 2000 Habitaten mit "Landscape Metrics". Unveröffentlichte Masterarbeit im Rahmen des Universitätslehrgangs UNIGIS, Innsbruck.

UNIVERSITÄT BONN 2002: unveröffentlichtes Skript zur Vorlesung Geobotanik.

SCHNAKENBURG, V., P. & SCHMIEDER, K. 2007: Anwendung von Landschaftsstrukturmaßen zur Analyse des Landschaftswandels am Beispiel des Raichberges (Schw. Alb). Ber. Inst. Landschafts-Pflanzenökologie Universität Hohenheim Heft 17. Stuttgart, 205-220. Online: https://ecology.uni-hohenheim.de/fileadmin/einrichtungen/ecology/Dateien_Inst-Ber_17/14_NEU_Schmieder_Schnaken_205-220.pdf (10.12.2008)

SCHUMACHER, W. (Hrsg.) 2004: Exkursionsführer zur 54 Jahrestagung der Floristisch-Soziologischen Arbeitsgemeinschaft vom 10.-14. Juni 2004 in Nettersheim/Eifel. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Abteilung Geobotanik und Naturschutz. Bonn.

SCHWIND, W. 1984: Der Eifelwald im Wandel der Jahrhunderte. Düren.

SYRBE, R.-U. (1999): Indikatoren der Landschaftsstruktur zur Erfassung und Bewertung des Landschaftswandels auf der Grundlage geoökologischer Raumeinheiten. In: Steinhardt, U. & VOLK, M. (Hrsg.): Regionalisierung in der Landschaftsökologie. Forschung – Planung – Praxis. Leipzig, 149-161.

TURNER, M., GARDNER, R. H. (Hrsg.) 1991: Quantitative Methods in Landscape Ecology. Ecological Studies 82. New York.

TURNER, M.G. (1989): Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process. Annual Review of Ecology Systematics, 20, 171-197.

WALZ, U. (1999): Erfassung und Bewertung der Landschaftsstruktur. In: WALZ, U. (Hrsg.): Erfassung und Bewertung der Landschaftsstruktur. Auswertung mit GIS und Fernerkundung. IRÖ-Schriften, 29. Dresden, 1-8.

WALZ, U. 2001: Charakterisierung der Landschaftsstruktur mit Methoden der Satelliten-Fernerkundung und der Geoinformatik. Berlin.

WALZ, U. 2004: Landschaftsstrukturmaße – Indizes, Begriffe, Methoden. In: Walz, U., G. LUTZE, SCHULTZ, A. & SYRBE, R.-U. (Hrsg.): Landschaftsstruktur im Kontext von naturräumlicher Vorprägung und Nutzung – Datengrundlagen, Methoden und Anwendungen. IÖR Schriften. Dresden, 43, 15-27.

WALZ, U. 2006: Landschaftsstruktur – zwischen Theorie und Praxis. In: KLEINSCHMIT, B. & WALZ, U. (Hrsg.) 2006: Landschaftsstrukturmaße in der Umweltplanung - Beiträge zum Workshop der IALE-AG Strukturmaße. Berlin: TU Berlin, 4-17.

WRBKA, T. 2003: Landschaftsökologischen Strukturmerkmale als Indikatoren der Nachhaltigkeit (Spatial INdicators für Land Use sustainability). Endbericht zum Forschungsprojekt SINUS. Wien.

Digitale Daten

LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN
LANUV: Landschaftsinformationssammlung (LINFOS). WMS-Layer. Service Name
LINFOS NRW. Online: <http://www.gis2.nrw.de/wmsconnector/wms/linfos>
(Eingebunden am 12.12.2008)

LANDESVERMESSUNGSAMT NRW (BEZIRKSREGIERUNG KÖLN, ABTEILUNG 7
GEObasis.NRW) 2005: HistoriKa25 – Historische topographische Karten des heutigen
Nordrhein-Westfalens im Wandel der Zeit (Maßstab 1:25.000).

LANDESVERMESSUNGSAMT NRW (BEZIRKSREGIERUNG KÖLN, ABTEILUNG 7
GEObasis.NRW): Luftbildkarten 1987 und 2008 (Maßstab: 1:5.000).