



UFZ-Bericht

Nr. 32/1999

Landschaftsbewertung und -optimierung

Ein integratives Konzept zur Landschafts-
entwicklung

Ralf Grabaum, Burghard C. Meyer & H. Mühle

UFZ-Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH

Projektbereich Naturnahe Landschaften und
Ländliche Räume

**Landschaftsbewertung und -optimierung -
Ein integratives Konzept zur Landschaftsentwicklung**

Ralf Grabaum, Burghard C. Meyer & H. Mühle

Archiv

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
2.	Aufgaben und Ziele	6
2.1	<i>Landschaftsbewertung und -optimierung - Teil eines Verbundprojektes am UFZ</i>	6
2.2	<i>Lösungsansätze</i>	8
3.	Der Untersuchungsraum	13
3.1	<i>Auswahlkriterien für die Wahl des Untersuchungsraumes</i>	13
3.2	<i>Beschreibung der Datengrundlagen</i>	14
3.3	<i>Allgemeine Beschreibung des Untersuchungsraumes</i>	15
3.3.1	<i>Relief</i>	15
3.3.2	<i>Klima und Wasserhaushalt</i>	16
3.3.3	<i>Boden</i>	17
3.4	<i>Aktuelle Landnutzung und Biotoptypenausstattung</i>	20
4.	Untersuchungsmethoden	25
4.1	<i>Vorgehensweise und Hilfsmittel</i>	25
4.2	<i>Zieldefinition</i>	26
4.3	<i>Geoökologische Bewertung des Ist-Zustandes</i>	27
4.4	<i>Definition von Szenarien für zukünftige Landnutzungsoptionen</i>	28
4.4.1	<i>Bedeutung von Szenarien im Rahmen der Methodik</i>	28
4.4.2	<i>Das Realszenario (Szenario 1)</i>	30
4.4.3	<i>Das Getreideszenario (Szenario 2)</i>	30
4.4.4	<i>Das Szenario Fruchtartendiversität (Szenario 3)</i>	31
4.4.5	<i>Die Naturschutzszenarien (Szenarien 4 bis 6)</i>	31
4.5	<i>Landschaftsoptimierung</i>	32

4.6	<i>Kulturlandschaftliche Information</i>	35
4.7	<i>Geoökologische Bewertung des Zielzustandes</i>	36
5.	Bewertung der ausgewählten Funktionen	37
5.1	<i>Bewertung der Bodenerosion durch Wasser</i>	38
5.1.1	<i>Bewertungsmethode</i>	38
5.1.2	<i>Bewertungsvorschrift</i>	41
5.1.3	<i>Varianten der Erosionsbewertung</i>	42
5.1.4	<i>Auswertung der Ergebnisse</i>	44
5.2	<i>Bewertung der Bodenerosion durch Wind</i>	46
5.3	<i>Bewertung der Grundwasserneubildung</i>	51
5.4	<i>Bewertung der Abflussregulation (Retentionsvermögen)</i>	55
5.5	<i>Einschätzung der Produktionsfunktion</i>	59
5.6	<i>Zusammenfassung</i>	61
6.	Ergebnisse der Landschaftsbewertung und -optimierung in den Szenarien	63
6.1	<i>Optimierungsziele und Restriktionen für die Naturschutzszenarien</i>	63
6.1.1.	<i>Optimierungsziele und präzisiertes Leitbild</i>	63
6.1.2	<i>Restriktionen</i>	65
6.2	<i>Optimierungsergebnisse</i>	66
6.3	<i>Szenarien für zukünftige Landnutzung</i>	73
6.3.1	<i>Das Realszenario (Szenario 1)</i>	73
6.3.2	<i>Das Getreide-Szenario (Szenario 2)</i>	73
6.3.3	<i>Das Szenario Fruchtartendiversität (Szenario 3)</i>	74
6.3.4	<i>Die Naturschutz-Szenarien (Szenarien 4 - 6)</i>	75
6.4	<i>Zusammenfassung</i>	76
7.	Landschaftsplanerische Entwurf und Berücksichtigung kulturlandschaftlicher Funktionen	78

7.1	<i>Kulturlandschaftselemente und Informationsebenen</i>	78
7.2	<i>Umsetzung im landschaftsplanerischen Entwurf</i>	82
8.	Bewertung des landschaftsplanerischen Entwurfs	86
8.1	<i>Wassererosion</i>	86
8.2	<i>Winderosion</i>	88
8.3	<i>Abflussregulationsfunktion</i>	90
8.4	<i>Produktionsfunktion</i>	91
8.5	<i>Zusammenfassung</i>	94
9.	Diskussion und Ausblick	95
	Literatur	100
	Tabellenverzeichnis	
	Abbildungsverzeichnis	

1. Einleitung

Umweltverträgliche Landnutzung, Landnutzungsänderungen zum Schutz der biologischen Vielfalt und zum Schutz der Ressourcen Boden, Wasser und Atmosphäre, Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes, Biotopverbund, Verflechtung ökologischer mit ökonomischen und sozialen Fragen - das sind Themen, die die Wissenschaft, die Öffentlichkeit und auch die Politik in den vergangenen Jahren zunehmend beschäftigt haben. Der Hintergrund dafür ist die Besorgnis über auftretende Umweltschäden teils drastischer, teils schleichender Art, bedingt durch den allzu sorglosen Umgang mit der Natur, die sowohl die abiotischen Ressourcen als auch die Biodiversität und die menschliche Gesundheit gefährden. Diese Probleme betreffen nicht nur Deutschland oder Zentraleuropa, sondern gelten, wenn auch modifiziert, weltweit. Aus diesem Grund fand im Jahr 1992 die UN-Konferenz in Rio de Janeiro statt; das programmatische Kerndokument dieser Veranstaltung war die Agenda 21 (BMU 1993). Hier wurde der Versuch unternommen, für die ökologische, die ökonomische und die soziale Dimension der sogenannten Nachhaltigkeit (Zukunftsfähigkeit) Ziele zu entwickeln, deren mögliche und praktische Umsetzung weltweit auf grosses Interesse stösst.

Auf dem Prinzip der Nachhaltigkeit beruhende Konzepte werden auch als „integrative Ansätze“ bezeichnet, die sowohl auf globaler als auch auf nationaler oder regionaler Ebene am ehesten geeignet sind, die vielfältigen Interessen und die daraus resultierenden Konflikte zwischen den Akteuren einem Konsens zuzuführen. Es gibt in den letzten Jahren einen Trend, von den sektoralen Konzepten z.B. für den Naturschutz abzugehen und für die Landwirtschaft oder andere Bereiche über derartige integrative Konzepte nachzudenken. Diese umfassen größere räumliche Einheiten. Dabei wird es als zweckmässig erachtet, die Nachhaltigkeit der Landnutzung auf Grundlage eines gesellschaftlichen Diskurses zu bestimmen. So sind z.B. KIRCHNER-HESSLER et al. (1999) der Auffassung, dass Landschaften multifunktional betrachtet werden sollen, d.h. mit ihren Lebensraum-, Nutz-, Kultur- und Regelungsfunktionen, wobei diese Multifunktionalität aber nur im größeren räumlichen Maßstab zum Tragen kommt. Hier bleibt allerdings offen, welche konkrete Grösse der zu untersuchende Raum haben sollte. Die Autoren gehen davon aus, daß Managementkonzepte entstehen, die die Entscheidungsträger in bezug auf Handlungsempfehlungen für eine umweltschonende Landnutzung unterstützen. Die Umsetzung vor Ort kann nur als ein immer wieder neu zu ergreifender

Aushandlungsprozeß zwischen allen vor Ort Beteiligten stattfinden, daher ist die Formulierung anwendungsbezogener Ziele wichtig.

Vor dieser Umsetzung stehen allerdings sehr konkrete Aufgaben, wie die Ermittlung des Ist-Zustandes der verschiedenen Medien, einer Region, eines Landes und die Formulierung eines Leitbildes, das in zu erreichende Qualitätsziele untersetzt werden muss.

Über allgemein gefasste Ziele besteht sowohl national als auch international oft Konsens; schwieriger gestaltet sich die Operationalisierung dieser Ziele, die in vielen Fällen einer regionalisierten Betrachtung ganz bestimmter Kulturlandschaften/Regionen bedarf. Diese sind meist geprägt von einer typischen abiotischen und biotischen Ausstattung sowie von ökonomischen und sozialen Besonderheiten, die sowohl bei der Einschätzung des Ist-Zustandes als auch bei der Ableitung der Massnahmen berücksichtigt werden müssen. Hinzu kommt die Tatsache, dass Menschen dazu tendieren, lokal zu handeln und auch zu denken (WBGU 1993). Während bei globalen Problemen eher "globales Denken und regionales Handeln" gefordert wird, kann die Fokussierung der Akteure in Denken und Handeln auf ihre unmittelbare Umgebung sogar als Vorteil für regional orientierte Ansätze aufgefasst werden, da diese dann auch eine grössere Chance zur Umsetzung haben als allgemeiner formulierte Ziele.

Die Erarbeitung von Vorschlägen zur nachhaltigen Gestaltung von Kulturlandschaften, die auf regionalen Ansätzen aufbauen, ist eines der zentralen Forschungsthemen des UFZ Leipzig-Halle. Für offene Kulturlandschaften in Mitteleuropa wird in der Regel ein landschaftsbezogener und landnutzungsorientierter Forschungsansatz gewählt.

In ländlichen Räumen ist zu beobachten, dass eine intensive landwirtschaftliche Nutzung auf sogenannten „Gunststandorten“, die boden- und/oder klima- und wasserhaushaltsbedingt gute Voraussetzungen für eine effektive Produktion bieten, gegeben ist. Für die natürlichen Funktionen werden die Gefährdungspotentiale bestimmt, die es mit geeigneten Verfahren zu mindern gilt. Hier würde eine diversifizierte Landnutzung, verbunden mit dem stärkeren Anbau von Grünfütter, der Einrichtung von Grünland und dem Anbau relativ vieler unterschiedlicher Kulturen sicherlich gute Voraussetzungen bieten. Die ökonomischen Rahmenbedingungen des EU-Agrarmarktes führen jedoch zur Zeit auch auf solchen Standorten zu einer fortgesetzten

Konzentration auf wenige Frucht- oder Tierarten mit zu erwartenden Beeinträchtigungen verschiedener landschaftlicher und landschaftshaushaltlicher Funktionen. Diesen Änderungen sollte gegengesteuert werden, auch um der Forderung von PLACHTER u. WERNER (1998) nach neuen Methoden der Konsensfindung zwischen Naturschutz und Landwirtschaft gerecht zu werden.

Im folgenden wird daher ein Konzept für die neuartige Begründung eines landschaftsplanerischen Entwurfes, beruhend auf Landschaftsbewertung mit nachfolgender multikriterieller Optimierung, zur Neustrukturierung einer ausgeräumten Landschaft vorgestellt.

2. Aufgaben und Ziele

2.1 Landschaftsbewertung und -optimierung - Teil eines Verbundprojektes am UFZ

Eine der Beispielsregionen am UFZ stellt die 'Querfurter Platte', ein ländlicher Raum von ca. 20.000 ha im Land Sachsen-Anhalt, dar. Sie ist eine durch die Flurbereinigung bzw. die Industrialisierung der Landwirtschaft ausgeräumte, schwach reliefierte Landschaft, gekennzeichnet durch fruchtbare Löss-Schwarzerde-Böden (durchschnittliche Ackerzahl: 79), grosse Ackerschläge und eine sehr geringe Zahl strukturbildender Elemente wie z.B. Kleingehölze, Hecken, Ackerraine, Teiche oder andere Oberflächengewässer. An Wirtschaftswegen und Ortsverbindungsstrassen stehen teilweise noch lückenhafte bzw. rudimentäre Obstbaumreihen, die die bis in die fünfziger Jahre bestehende Struktur dieser Landschaft andeuten. Es herrschen Marktfruchtbetriebe vor, deren Fruchtfolgen aufgrund der ökonomischen Zwänge und technologischen Möglichkeiten zunehmend enger werden; nur wenige Fruchtarten sind in die Fruchtfolgen einbezogen.

Derartige Landschaften wurden unter dem Aspekt, dort eine stärkere Nachhaltigkeit, eine grössere Diversifizierung und die damit verbundene Zunahme an Arten bzw. die Entlastung des Landschaftshaushaltes zu etablieren, wissenschaftlich bisher kaum untersucht. Erheblich mehr Interesse wird Landschaften gewidmet, die stärker strukturiert sind, und an deren bereits vorhandene biotische Ausstattung bei Vorschlägen zur Vernetzung, Trittsteinbildung oder

Mosaikbildung (JEDICKE 1994; DFG - Sonderforschungsbereich 299) angeknüpft werden kann.

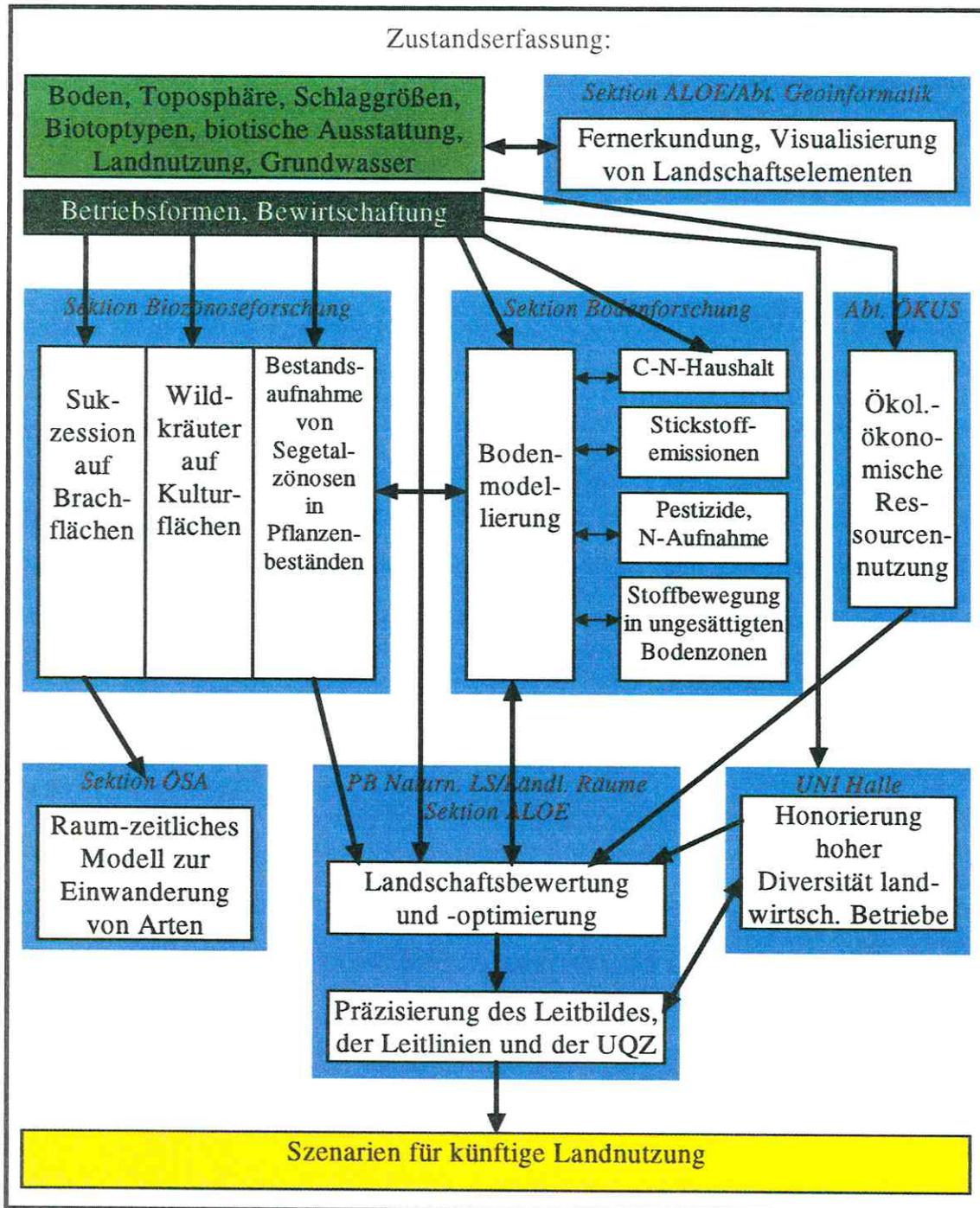


Abb. 1: Projektstruktur Verbundprojekt

Gemäss dem Motto des Naturschutzjahres 1995 „Naturschutz auch ausserhalb von Schutzgebieten“ wurde die Querfurter Platte von den Bearbeitern bewusst ausgewählt, um Konzepte

für eine dauerhaft umweltgerechte Landbewirtschaftung auch für intensiv genutzte ländliche Räume zu entwickeln. In dem Verbundprojekt des UFZ mit dem Titel „Einfluss der Landnutzung auf Landschaftshaushalt und Biodiversität in agrarisch dominierten Räumen“ wird geprüft, in welchem Masse eine höhere biologische Diversität mit einem stärkeren Schutz der abiotischen Ressourcen Boden, Atmosphäre und Grundwasser verbunden werden kann, um zu einer dauerhaft umweltgerechten Landbewirtschaftung beizutragen. Die ökonomischen Folgen einer neuen Landschaftsstrukturierung werden anhand von vorgeschlagenen Szenarien bestimmt.

Die Struktur dieses Projektes ist in Abb. 1 dargestellt. Aus diesem Schema gehen sowohl der Ablauf des Projektes von der Zustandserfassung des untersuchten Gebietes bis zu den Szenarien für eine künftige (nachhaltige) Landnutzung als auch die integrierten Themen bzw. Teilprojekte und die beteiligten Sektionen bzw. Arbeitsgruppen oder auswärtige Einrichtungen hervor. Die relativ eigenständigen Themen interagieren miteinander. Dabei spielt das Teilprojekt „Landschaftsbewertung und -optimierung“ eine zentrale Rolle, da es die Resultate aus den anderen Teilprojekten integriert. Umgekehrt werden die Ergebnisse den Projektteilnehmern zur Verfügung gestellt, die damit entweder ihre eigenen Ergebnisse validieren (Fernerkundung) oder den Stoffhaushalt bei ausgewählten Landnutzungsszenarien quantifizieren können (Bodenmodellierung). Im speziellen Fall des Teilprojektes „Honorierung hoher Diversität landwirtschaftlicher Betriebe“ sind die Bearbeiter auf die Szenarien aus der Landschaftsbewertung unmittelbar angewiesen, um die ökonomischen Folgen einer geänderten Landnutzung (Verkleinerung von Schlägen, Anlage von Feldwegen, Hecken, Wäldern, Umwidmung von Ackerland in Grünland, höherer Anteil an Vorgewende am Ackerland, längere Wegezeiten) zu bestimmen.

Das Teilprojekt „Landschaftsbewertung und -optimierung“ wird im folgenden wegen seiner grossen Bedeutung für das Gesamtprojekt und der Möglichkeit, konkrete Handlungsoptionen für die Praxis bereitzustellen, detailliert vorgestellt.

2.2 *Lösungsansätze*

Im Teilprojekt „Landschaftsbewertung und -optimierung“ stehen die Landschaft und deren Funktionen (De GROOT 1992) im Mittelpunkt der Betrachtungen. Deren aktueller Status

sowie die Veränderungen bei modifizierter Landnutzung sollen ermittelt und bewertet werden. Auf dieser Basis sind Vorschläge für eine verbesserte Landschaftsstruktur mit Hilfe der Landschaftsoptimierung in Form von Szenarien zu treffen, wobei in folgenden Stufen vorgegangen wird:

- Definition eines vorläufigen Leitbildes für den Untersuchungsraum;
- Landschaftsanalyse;
- Definition von Szenarien;
- Ermittlung von Landnutzungsoptionen basierend auf geökologischen und kulturlandschaftlichen Funktionen und Funktionsbewertungen;
- Auswirkungen der Umsetzung dieser Optionen auf landschaftsökologische Funktionen;
- Präzisierung des Leitbildes unter Zuhilfenahme weiterer Projektergebnisse;
- Kooperation mit Praxispartnern - Optionen als Angebot für die örtliche Planung.

„Leitbilder sind geeignet, komplexe Zielvorstellungen zu vereinfachen und allgemeinverständlich darzustellen“ (BASTIAN 1999). Sie müssen sich auf die jeweiligen Landschaftsstrukturen und die Leistungsfähigkeit, Belastbarkeit bzw. ökologische Tragfähigkeit des Landschaftshaushaltes beziehen und daraus bestimmte Anforderungen ableiten. BASTIAN (1999) geht bei der **Definition eines Leitbildes** zunächst von der räumlichen Bezugseinheit aus, wählt dann die Landschaftsfunktionen aus, die bei der Formulierung landschaftlicher Leitbilder berücksichtigt werden sollen und legt die Kriterien und Verfahren zur Bestimmung der Landschaftsfunktionen fest. Nach der anschließenden Analyse der Ausprägung der ausgewählten Landschaftsfunktionen werden mit Hilfe der Interferenzanalyse diejenigen Naturräume ermittelt, in denen einzelne oder mehrere Landschaftsfunktionen besonders deutlich ausgeprägt sind. Es erfolgen die Feststellung von Beeinträchtigungen und Konflikten zwischen Funktionen bzw. Schutzgütern und die Erarbeitung eines landschaftsökologischen Entwicklungskonzeptes. Hier werden Szenarien, die gesellschaftliche Präferenzen widerspiegeln, aufgezeigt, und es wird verbal umrissen, welcher Landschaftscharakter angestrebt wird. Die Abwägung der Handlungsalternativen wird durch Expertenwissen unterstützt und die Räume werden einer Typisierung zugeführt.

In der vorliegenden Arbeit wird zunächst ähnlich vorgegangen. Es wird ein vorläufiges Leitbild für die Querfurter Platte formuliert, das auf das Gesetz über den Landesentwicklungsplan

des Landes SACHSEN-ANHALT (LEP-LSA, 1999), die regionalen Entwicklungsprogramme für die Regierungsbezirke des Landes SACHSEN-ANHALT (1996) und auf das Landschaftsprogramm des Landes SACHSEN-ANHALT (1994) zurückgreift. Im LEP-LSA (1999) wird vom ländlichen Raum erwartet, dass er...“als eigenständiger Lebens- und Wirtschaftsraum zusammen mit den Verdichtungsräumen zu einer ausgewogenen Entwicklung des Landes“ beiträgt. Teile der Querfurter Platte zählen zu den Vorbehaltsgebieten für Landwirtschaft, aus denen seitens der Träger der Regionalplanung die Vorranggebiete für Landwirtschaft kleinräumig festzustellen sind. Diese werden wie folgt charakterisiert: „Vorranggebiete für Landwirtschaft sind aufgrund der Bodenfruchtbarkeit, der Standortcharakteristik oder Tradition und Erfahrungen auf dem Gebiet der Tierzucht und des Ackerbaus sowie wegen der Standortgunst für Sonderkulturen besonders für eine landwirtschaftliche Nutzung geeignet, so dass in ihnen die Landwirtschaft als Wirtschaftsfaktor, Nahrungsproduzent und Erhalter der Kulturlandschaft die prioritäre Raumfunktion und -nutzung darstellt.“

Im Landschaftsprogramm des Landes SACHSEN-ANHALT (1994) wird konkret auf verschiedene Regionen eingegangen. Hier heisst es, dass die Querfurter Platte eine Kulturlandschaft ist,...“die vorrangig der ökologisch orientierten intensiven Landwirtschaft dienen soll. Ihre Ackerlandschaften sind Offenlandschaften. Die Lössböden sollen durch zweckmässige Schlaggestaltung und in die Nutzung integrierte Schutzmassnahmen, wie möglichst lang andauernde Vegetationsbedeckung des Bodens durch die Kulturen, gegen die Wasser- und Winderosionsanfälligkeit geschützt werden. Der überhöhte Hackfruchtanteil muss eingeschränkt werden.“ Im Landschaftsprogramm wird auch auf die Erhaltung bzw. Erweiterung von Grünlandstandorten und Gewässerschonstreifen in und an den Bachtälchen, von Flurgehölzen und Obstbaumreihen (letztere mit einer Dichte von 2,5 ha/100 ha LN), von Streuobstwiesen und Restwäldern eingegangen. Auch die Grundwasserneubildung wird erwähnt: „Wegen der geringen und nur sporadischen Grundwasserneubildung in den tiefgründigen Lössböden muss im Interesse der Trinkwasserversorgung jedweder Nährstoffaustrag aus den landwirtschaftlich genutzten Böden vermieden werden.“ Im regionalen Entwicklungsprogramm, das im Januar 1996 veröffentlicht wurde (SACHSEN-ANHALT 1996), zählt die Querfurter Platte zu den Vorranggebieten für Landwirtschaft in Sachsen-Anhalt, wobei auf den Schutz und die Erhaltung des Bodens als dem bedeutendsten Produktionsfaktor vor allem in Gebieten mit landwirtschaftlich gut geeigneten Böden hingewiesen wird.

Die LANDGESELLSCHAFT SACHSEN-ANHALT MBH wurde mit der Agrarstrukturellen Vorplanung (AVP) für Teile der Querfurter Platte im Rahmen der Planungen für die neuen Infrastrukturprojekte (ICE, Autobahn) beauftragt. Sie legt diese im Jahre 1995 vor. Die Empfehlungen werden für manche Massnahmen gemeinschaftlich erteilt. So wird z.B. der Neubau von Wegen in den Gemarkungen Bad Lauchstädt, Großgräfendorf und Schafstädt empfohlen. In Barnstädt soll eine stark befahrene Bundesstrasse vom landwirtschaftlichen Verkehr entlastet werden, und für Barnstädt und Göhrendorf wird ein wichtiger Verbindungsweg zur Feldflur nach Langeneichstädt empfohlen. Für die Gemeinden Barnstädt und Nemsdorf/Göhrendorf werden flächenhafte Aufforstungen von ca. 62 ha und die Anlage linienförmiger Gehölzstreifen von insgesamt 37,1 ha vorgeschlagen. Es fehlt jedoch die auf einer Bewertung der potentiellen Gefährdung wichtiger Landschaftsfunktionen beruhende Begründung der empfohlenen Massnahmen. Gleichwohl stellt die agrarstrukturelle Vorplanung ein wichtiges Instrumentarium für die Einschätzung des gesamten betrachteten Raumes und somit für die **Landschaftsanalyse** dar. Die in der Vorplanung entstandene Lücke soll durch die Ergebnisse des hier vorgestellten Projektes gefüllt werden, und die in der AVP allgemein gehaltenen Leitbilder sind lokal zu spezifizieren und wissenschaftlich gut begründet zu untersetzen.

Szenarien bieten die Möglichkeit, den Einfluss unterschiedlicher Landnutzungsänderungen auf Landschaftshaushalt und Produktivität eines Untersuchungsraumes abzuschätzen. Im vorgestellten Beispiel ist für die Szenarien zunächst die Festlegung von Flächenanteilen für die Anlage von naturnäheren Strukturen notwendig. Insgesamt werden sechs Szenarien vorgestellt. In drei dieser Szenarien werden lediglich die ackerbaulichen Massnahmen verändert und der Einfluss auf die Landschaftsfunktionen mittels Bewertung erläutert, und in drei weiteren wird eine Erhöhung des Anteils an naturnäheren Strukturen angenommen, wobei sowohl Bewertung und als auch Optimierung eingesetzt werden. Bei diesen Szenarien wird von dem Vorschlag von HEYDEMANN (1981, 1983) ausgegangen, ca. 15% der Fläche aus der Nutzung herauszunehmen und für Zwecke des Natur- und Umweltschutzes zur Verfügung zu stellen. Diese Fläche wurde in weiteren Szenarien halbiert bzw. verdoppelt. Die Auswirkungen können in Kartenform für das Beispielgebiet geeignet dargestellt werden.

Für die **Ermittlung von Landnutzungsoptionen** wurde mit Hilfe bewertender Verfahren zunächst die (potentielle) Gefährdung wichtiger landschaftshaushaltlicher und kulturland-

schaftlicher Funktionen ermittelt, um darauf aufbauend funktionsbezogene Ziele ermitteln und quantifizieren zu können. Die Landschaftsoptimierung baut auf der Bewertung auf; es ist möglich, **eine** bestimmte Funktion als Ziel zu behandeln, oder die wichtigsten Funktionen in einer Kompromisslösung zusammenzufassen. Dies wird als entscheidender neuer Schritt für die Gestaltung einer Landschaft angesehen.

Im Projekt soll geklärt werden

- welche Landnutzungsänderungen vorzuschlagen sind, wenn die in ausgeräumten Agrarlandschaften besonders wichtigen Funktionen "Schutz vor Bodenerosion durch Wasser und Wind", "Erhöhung der Retention des Bodens" und "Produktivität" in die Bewertung und Optimierung einbezogen werden, und Flächen von 7.5%, 15% bzw. 30% des Ackerlandes für naturnähere Strukturen vorgesehen sind;
- welchen Einfluss eine Strukturierung der Landschaft auf die genannten Funktionen hat.

Zur detaillierten Aufnahme von Bodeneigenschaften, der Biotoptypenausstattung und der aktuellen Landnutzung wurde ein Kerngebiet auf der Querfurter Platte von ca. 4200 ha ausgewählt. Die benötigten Datenebenen wurden in ein Geographisches Informationssystem (GIS) aufgenommen, das die Grundlage für die Datenverarbeitung und den Ausdruck der verschiedenen Szenarien bildet.

Es wurde bereits erläutert, dass die untersuchte Region arm an strukturbildenden Elementen ist. Lediglich ca. 1% der Gesamtfläche sind mit Kleingehölzen, Sträuchern oder auch mit Grünland bestanden. Daher scheint es realistisch zu sein, das Szenario mit 7,5% der umzuwandelnden Ackerfläche als Grundlage für die weiteren Betrachtungen in diesem Bericht zu nehmen. An dieser Stelle soll das Bemühen des Landwirtschaftsbetriebes, dessen Flächen zum Testgebiet gehören, um den Schutz der Böden und um Erhöhung der biologischen Vielfalt in den 80er Jahren erwähnt werden. In diesen Jahren wurde eine Reihe von Windschutzhecken angelegt, die bereits eine gewisse Strukturierung der Landschaft unterstützen, die jedoch für die verbesserte Erfüllung der erwähnten Landschaftsfunktionen noch nicht ausreichen.

3. Der Untersuchungsraum

3.1 Auswahlkriterien für die Wahl des Untersuchungsraumes

Der Untersuchungsraum für das bearbeitete Teilprojekt liegt in der Querfurter Platte, welche auch den Untersuchungsraum für das Gesamtprojekt sowie für weitere Forschungsprojekte des UFZ bildet (siehe Kap. 2.1). Er ist ca. 42 qkm gross und umfasst Teile der Gemarkungen folgender Gemeinden (Tab.1):

Tab. 1: Flächenanteil der Gemeinden am Untersuchungsraum

Gemeinde	Fläche in ha	Flächenanteil am Untersuchungsraum in %
Barnstädt	1841	43,42
Nemsdorf-Göhrendorf	1711	40,35
Obhausen	536	12,64
Querfurt	38	0,90
Schmon	15	0,35
Grockstädt	78	1,85
Reinsdorf	3	0,07
Steigra	2	0,04
Langeneichstädt	16	0,38
gesamt	4240	100,00

Die Gemeinden Barnstädt, Nemsdorf-Göhrendorf und Obhausen sind in der Verwaltungsgemeinschaft Wein-Weida Land zusammengeschlossen. Der Untersuchungsraum wurde primär entlang der Grenze der Verwaltungsgemeinschaft abgrenzt. Nachrangig wurden aus Praktikabilitätsgründen Landstrassen und Schlaggrenzen des Agrarunternehmens als Abgrenzung gewählt. Für die Auswahl des Untersuchungsraumes spielten folgende inhaltliche Kriterien eine Rolle:

- ein kooperationswilliges Agrarunternehmen, welches den grössten Teil der Fläche bewirtschaftet,
- gesprächsbereite Gemeinden,
- ein teilweise vorhandener Datenpool.

3.2 Beschreibung der Datengrundlagen

Die Bearbeitung eines derart umfangreichen Projektes erfordert eine grosse Anzahl von Basisdaten, die zu Beginn beschafft oder erhoben werden müssen. In Tab. 2 werden diese Datengrundlagen und die zugehörigen Quellen aufgelistet.

Tab. 2: Datengrundlagen für das Projekt

Inhalt	Masstab	Träger	Quelle
Biotypenkartierung	1:10000	analog, digitalisiert	MEYER (1997b)
CIR-Luftbilder	ca. 1:12000	analog	Landesvermessungsamt
Biotypenkartierung Sachsen-Anhalt	1:10000	digital	Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt
Topographische Karte TK 10	1:10000	analog,	Landesvermessungsamt
Topographische Karte TK25	1:25000	analog	Landesvermessungsamt
MMK	1:100000	digital	Geolog. Landesamt
Bodenkarte	1:50000	digital	ALTERMANN u. KÜHN (1995)
Reichsbodenschätzung	1:10000	analog, digitalisiert	Bibliothek
Hydrogeologische Grundkarte	1:50000	analog	Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt
Hydrogeologische Karte der Grundwassergefährdung	1:50000	analog	Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt
Karte der hydrogeologischen Kennwerte	1:50000	analog	Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt
Betriebsdaten Barnstädt 1991-1996	schlagbezogen	digital (Datenbank)	BÖNING (1997)
Schlagkarte Barnstädt	1:100000	digital	Landratsamt Merseburg-Querfurt
Flurstückskarte Barnstädt	1:100000	digital	Landratsamt Merseburg-Querfurt
Landschaftsplan VG Wein-Weida Land	1:10000	analog	VG Wein-Weida Land
Agrarstrukturelle Vorplanung	1:100000	analog	Landgesellschaft Sachsen-Anhalt (1995)
Niederschläge	1:200000	digital (Rasterdaten)	DWD Offenbach
Niederschläge Wetterstation Querfurt		analog (Punktdaten)	ALTERMANN et al. (1995)
R-Faktor	1:1000000	analog	SAUERBORN (1993)
Verdunstung		analog	DAMMANN (1965)
Digitales Geländemodell	1:10000	digital erstellt	

Die verwendeten Quellen werden in den jeweiligen Abbildungen nicht zusätzlich erwähnt. Im Rahmen des Gesamtprojektes wurden die Daten erfasst und einheitlich auf einer Workstation verwaltet.

3.3 *Allgemeine Beschreibung des Untersuchungsraumes*

3.3.1 *Relief*

Das Untersuchungsgebiet liegt am westlichen Rand der Querfurter Platte. Diese ist gekennzeichnet durch Gesteine des Muschelkalks im Untergrund und einer meist mächtigen Lössbedeckung. „Diese sehr schwach geneigten Gesteine des Tafelstockwerkes führen zu einem wenig bewegten Relief. Täler sind auf der Querfurter Platte meist muldenförmig. Ein weiterer Grund für die meist sanften Reliefformen ist die Bedeckung des präpleistozänen Reliefs mit Löss.“ (ALTERMANN 1995). Das Testgebiet ist im östlichen Teil gering, im südwestlichen Teil sowie im Bereich des Weidenbaches dagegen etwas stärker reliefiert. Die minimale Höhe liegt bei 160 m ü. NN, die maximale Höhe bei 244 m ü. NN.

Auf Datengrundlage der topographischen Karten TK10 wurde ein digitales Geländemodell (DGM) erstellt. Grundlage dieses Modells waren mittlere Höhenwerte von 50x50-m-Rasterzellen mit 0,5 m Höhengenaugigkeit. Dabei wurden für das Testgebiet insgesamt 20973 Rasterzellen verwendet.

Von besonderer Bedeutung für die Bewertung geoökologischer Funktionen ist die Kenntnis der Hangneigungen. Dabei ist festzustellen, dass lediglich 8 % der Fläche Hangneigungen von mehr als 2° aufweisen (Tab. 3). Diese Flächen liegen zum grössten Teil im Bereich des Grabensystems Weidenbach.

Anhand der Verteilung der Hangneigungen wird einerseits der Charakter der Landschaft als „Platte“ deutlich, andererseits sind für die geoökologische Bewertung die Flächen mit weniger als 2° Hangneigung nicht zu vernachlässigen, weil die grossräumige Schlagaufteilung des Untersuchungsraumes sehr grosse erosive Hanglängen auf Ackerflächen nach sich zieht. Die hier detailliert dargestellten Hangneigungen werden in Klassen eingeteilt und in dieser Form für

die Bewertung der Bodenerosion benötigt. Für andere Bewertungen sind gröbere Klasseneinteilungen hinreichend (s. Kap. 5).

Tab. 3: Hangneigung im Untersuchungsraum

Hangneigung in °	Hangneigungs- klasse	Flächenanteil in ha	Flächenanteil in %
0.0 - 0.5	1	806	19,0
0.5 - 1.0	2	1519	35,8
1.0 - 1.5	3	1186	28,0
1.5 - 2.0	4	392	9,3
2.0 - 2.5	5	150	3,6
2.5 - 3.0	6	63	1,5
3.0 - 3.5	7	40	0,9
3.5 - 4.0	8	24	0,6
4.0 - 4.5	9	18	0,4
4.5 - 5.0	10	10	0,2
5.0 - 7.0	11	31	0,7

3.3.2 Klima und Wasserhaushalt

Das Untersuchungsgebiet liegt im Mitteldeutschen Trockengebiet. Die dafür gültigen klimatischen Bedingungen sind u.a. bei SCHUMANN & MÜLLER (1995) beschrieben. Der Agrarmeteorologische Dienst ermittelte für Querfurt einen mittleren jährlichen Niederschlag von 488 mm, der Deutsche Wetterdienst (DWD, Agrarmeteorologische Beratungs- und Forschungsstelle Halle) gibt für Nemsdorf einen durchschnittlichen Wert von 520 mm an. Dabei sind in den Monaten Mai bis August die höchsten Niederschläge mit 52-67 mm pro Monat gemessen worden. Für den Untersuchungsraum liegen zusätzlich DWD-Daten nach MÜLLER-WESTERMEIER (1995) im Quadratkilometer-Raster für die monatliche Niederschlagsverteilung vor, in deren Berechnung der Höheneinfluss einbezogen wurde. Der jährliche Niederschlag wird hier mit durchschnittlich 511 mm für das nördliche Testgebiet und mit bis zu 566 mm im südwestlichen Testgebiet etwas höher angegeben. Die durchschnittliche Jahresmitteltemperatur beträgt an der für die Querfurter Platte repräsentativen Station Bad Lauchstädt 8,8 °C (Tab. 4). Die klimatische Wasserbilanz ist ausgeglichen mit defizitären Perioden im Spätfrühling und Sommer.

Tab. 4: Mittlere Monats- und Jahresmittel von Lufttemperatur (° C), Niederschlagshöhe (mm) und realer Verdunstung (mm) nach ALTERMANN et al. (1995) nach Angaben des DWD, Agrarmeteorologische Beratungs- und Forschungsstelle Halle

	Station	Jan	Feb	Mä	Ap	Ma	Jun	Jul	Au	Sep	Okt	No	De	Jahr
Temperatur	Bad Lauchstädt	0,3	0,4	3,7	8,2	12,8	16,6	17,8	17,4	14,0	9,4	4,6	1,3	8,8
Niederschlag	Bad Lauchstädt	26	22	31	38	51	64	61	62	35	39	31	28	488
Niederschlag	Nemsdorf	32	28	35	39	52	67	58	62	41	38	35	33	520
reale Verdunstung	Halle	12	12	24	40	72	74	71	60	39	21	18	14	460

Im Rahmen des Verbundprojektes (Kap 1.2) werden in einem weiteren Teilprojekt Simulationen zur Ermittlung der C- und N-Dynamik des Bodens durchgeführt (FRANKO et al. 1995). Probleme des Grundwasserschutzes werden in dem Teilprojekt „Ökologisch-ökonomische Ressourcennutzung“ behandelt. Dafür standen im Projekt sowohl strukturelle Daten zu Trinkwasserschutzgebieten, Grundwasserleitern sowie Grundwasserflurabstand als auch qualitative Daten zu Wasserqualitäten zur Verfügung (entsprechend dem Netz von Messbrunnen in der Region). Für den Untersuchungsraum ist insgesamt mit einem differenzierten Geschütztheitsgrad des Grundwassers, der bestimmt wird durch sehr unterschiedliche Grundwasserflurabstände (zwischen 7 und 30 Meter) und Deckschichten, sowie mit einer differenzierten Grundwasserbelastung zu rechnen (KLAUER, HORSCH, GEYLER, MEYER 1999). Informationen zum Wasserhaushalt sind für die Einschätzung der Grundwasserneubildung und des Retentionsvermögens notwendig.

3.3.3 Boden

Der Untersuchungsraum liegt in der Bodengrosslandschaft der Lössböden. Typischer Boden ist eine Löss-Schwarzerde mit einem 50-60 cm mächtigen Humushorizont. Durch Erosion sind die Übergänge zu erodierten Tschernosemen und Pararendzinen fließend (ALTERMANN et al. 1995). Im südlichen Randgebiet der Querfurter Platte sind auf Löss keine Schwarzerden, sondern Fahlerden entwickelt. Insgesamt werden von BERKNER, SCHRÖDER, LÖWA (1993) 40 % der Böden der Querfurter Platte als mässig bis stark

erosionsgeschädigt eingeordnet. Die flachwellige Morphologie der Landschaft führt zu vielfältigen Akkumulations- und Erosionsprozessen (SCHRÖDER & LÖWA 1991).

Als Ausgangspunkt für die Bewertung wurden die Daten der Bodenschätzungskarten (die die zusammengefasste bodenartige Information der Reichsbodenschätzung enthalten) gewählt, da diese die massstäblich beste Auflösung bodenkundlicher Information für die Querfurter Platte darstellen. Die Werte wurden digitalisiert und umfassen für Ackerböden die Informationen Bodenart (Tab. 5), Zustandsstufe (Tab. 6) und geologische Entstehung (Tab. 7). In Tab. 7 sind 2,4 ha aus der Grünlandschätzung nicht berücksichtigt. Dort werden keine Angaben über die geologische Entstehung gemacht.

Tab. 5: Bodenarten im Untersuchungsraum

Bodenart	Klasse	Anteil (in ha)	Anteil (in %)
Lehmiger Sand	IS	0,9	0,0
Stark Lehmiger Sand	SL	3,5	0,1
Sandiger Lehm	sL	117,1	2,8
Lehm	L	3977,8	93,8
Schwerer Lehm	LT	4,2	0,1
keine Angaben	NU	136,3	3,2

Angesichts der Tatsache, dass die Ersterfassung der Reichsbodenschätzung aus dem Jahr 1936 stammt und der Stand der Datenfortführung in den 50er und 60er Jahren unklar ist, ist davon auszugehen, dass sich durch die Nutzung, durch morphologische Prozesse und aufgrund von Meliorationen Bodenarten und Zustandsstufen im Vergleich zum Erfassungszeitpunkt verändert haben. Diese Annahmen können in dieser Untersuchung jedoch nicht berücksichtigt werden. Dennoch ist nach ALTERMANN (1995) die Reichsbodenschätzung wegen der guten Auflösung der bodenkundlichen Information zu bevorzugen.

Aus der Reichsbodenschätzung lassen sich weitere Daten ableiten, die für die Modelle zur geoökologischen Bewertung notwendig sind. Dazu gehören die Bodenzahlen, die nutzbare Feldkapazität oder die Infiltrationskapazität (s. Kap. 5).

Im Untersuchungsraum sowie in der gesamten Querfurter Platte wurden in der Vergangenheit vielfältige Untersuchungen zum Boden durchgeführt. Weitergehende Informationen finden sich z.B. bei ALTERMANN & MANIA (1998), ALTERMANN & KÜHN (1995) sowie ALTERMANN & SCHRÖDER (1992).

Tab. 6: Zustandsstufen der Bodenarten im Untersuchungsraum

Bodenart	Zustandsstufe	Grösse (ha)	Anteil an Bodenart (%)	Anteil am Testraum (%)
IS	4	0,9	100	0,0
SL	3	2,0	58,4	0,1
	4	1,0	27,5	0,0
	6	0,5	14,1	0,0
sL	1	36,9	31,5	0,9
	2	43,6	37,3	1,0
	3	28,6	24,4	0,7
	4	8,0	6,8	0,2
L	1	1891,1	47,5	44,6
	2	1486,1	37,3	35,1
	3	293,6	7,4	6,9
	4	267,8	6,7	6,3
	5	24,3	0,6	0,6
	6	10,5	0,3	0,3
	7	6,1	0,2	0,1
LT	3	0,4	10,1	0,0
	4	2,1	48,8	0,1
	5	1,7	41,1	0,0
NU		136,3	100	3,2

Tab. 7: Geologische Einordnung nach Bodenschätzungskarten

Geologische Entstehung	Flächenanteil (ha)	Flächenanteil (%)
Alluvial	52,6	1,2
Diluvial	1,4	0,1
Loess	3550,7	83,7
LoeD	139,3	3,3
LoeV	276,1	6,5
V.	27,3	0,6
Vg	53,7	1,2
keine Angabe	136,3	3,2

Insgesamt bietet der Boden einen hochwertigen Standort für die Landwirtschaft, was sich auch in den durchschnittlich sehr hohen Bodenzahlen widerspiegelt (s. Kap. 5.1). Daraus ergibt sich für den Hauptnutzer, die Landwirtschaft, die Verpflichtung, sorgsam mit dem Umweltmedium Boden umzugehen (siehe auch DIEMANN & BÖNING 1995).

3.4 Aktuelle Landnutzung und Biotoptypenausstattung

Die Landschaft ist geprägt von grossflächigen Ackerschlägen und grosser Strukturarmut (offene Agrarlandschaft). Waldgebiete kommen nicht vor. Eine von MEYER (1997b) durchgeführte Biotoptypenkartierung ergibt für die flächenhaften Biotoptypen das in Abb.2 dargestellte Bild. Grundlage dieser Kartierung waren die topographische Karte TK10 sowie CIR-Luftbilder der Region aus dem Jahr 1992. In Tab. 8 sind die Flächenanteile der Biotoptypen dargestellt.

Tab. 8: Flächen und Anteile der Biotoptypen im Untersuchungsraum

Element	Fläche (ha)	Anteil in %
Acker	3629	85,6
Hopfenanbau	24	0,6
bebaute Fläche	208	4,9
Verkehrsfläche	287	6,7
Grünflächen im Ort	13	0,3
krautige Vegetation	11	0,3
Gebüsch/Gehölz	18	0,4
vegetationsfreie Fläche	22	0,5
Gewässerflächen	28	0,7
gesamt	4240	100,0

Mit fast 86 % wird dabei der dominierende Anteil von Ackerflächen deutlich, dagegen findet man nur ca. 40 ha naturnähere Flächen (ca. 1%), Unter diesem Begriff werden hier Gehölze und Gebüsche sowie Grünland und Sukzessionsflächen verstanden. (Die Flächenbilanz linearer Elemente ist in dieser Tabelle nicht berücksichtigt).

Lineare Biotoptypen sollen wesentlich das Bild dieser Agrarlandschaft prägen. Trotz einiger Anpflanzungen von Hecken und Baumreihen in den 80-er Jahren sind die vorhandenen linearen Strukturen ihrer Länge nach gering (Tab. 9). Gerade im Hinblick auf das Ziel der

Erhöhung der Biodiversität spielen diese Strukturen jedoch eine wesentliche Rolle. Das Landschaftsbild prägend sind besonders Kirschbaumreihen, die für das trockene und warme Klima der Querfurter Platte gut geeignet sind. Der Erhaltungszustand der Baumreihen wird aufgrund ihres hohen Alters als besonders schlecht und lückig eingestuft (MEYER 1997b)

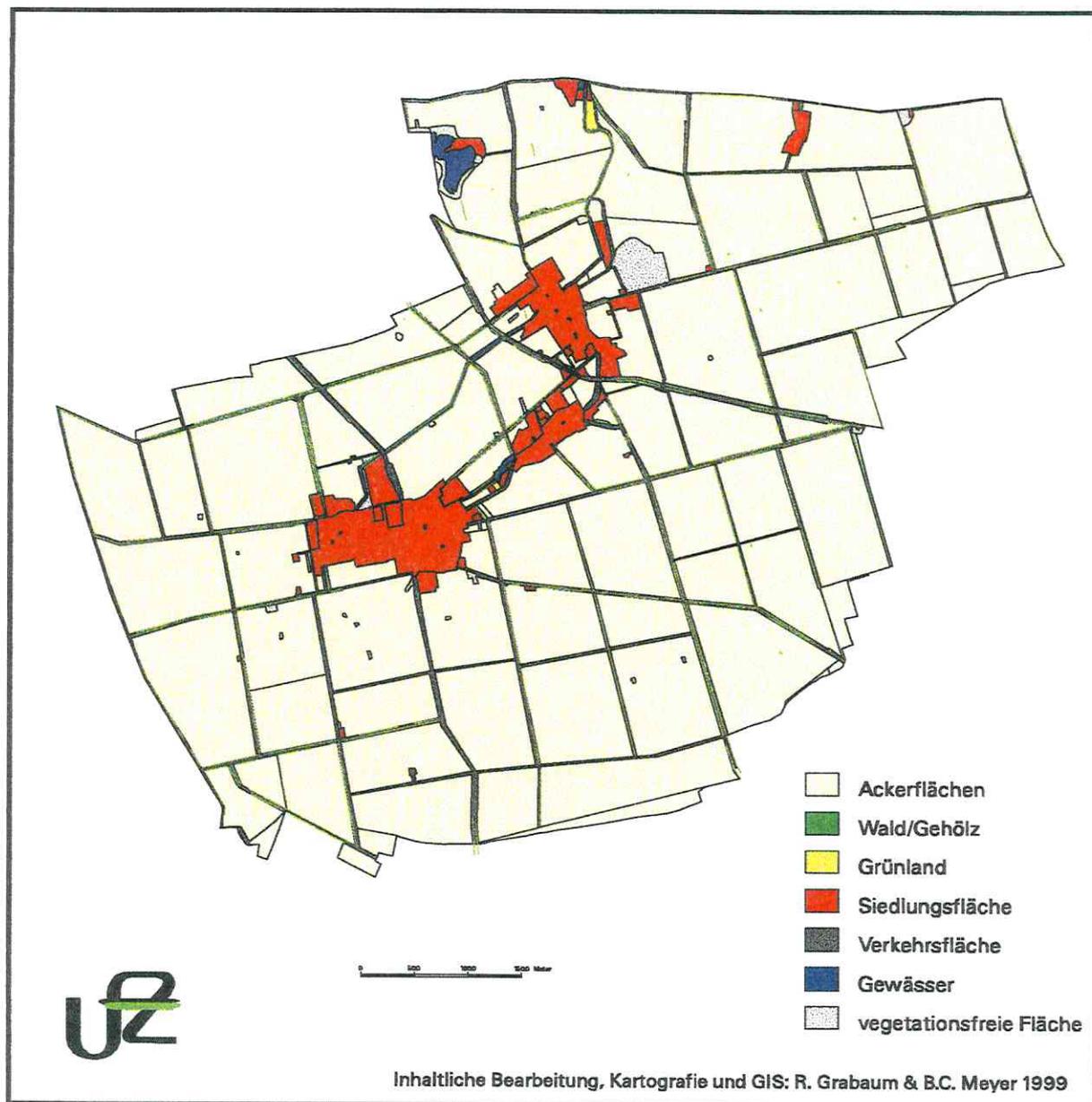


Abb. 2: Biototypen im Untersuchungsraum

Tab. 9: Linienhafte Biotoptypen im Untersuchungsraum (Einordnung in Anlehnung an SACHSEN-ANHALT 1992)

Element	Ausprägung	Anzahl	Länge in m	Anteil an linearer Struktur in %	lineare/Punktstruktur pro ha Offenland (m/Anzahl)
Baumreihe lückig	Obstbäume	95	28436	31,5	7,7 m
Baumreihe lückig	Laubbäume	1	184	0,2	0,05 m
Baumreihe geschlossen	Obstbäume	48	25176	27,8	6,8 m
Baumreihe geschlossen	Laubbäume	15	5139	5,7	1,4 m
Gehölzreihe	nicht standortgerecht	2	1108	1,2	0,3 m
Hecke lückig	mit Bäumen	20	5501	6,1	1,5 m
Hecke lückig	ohne Bäume	12	6117	6,7	1,7 m
Hecke geschlossen	mit Bäumen	32	18640	20,6	5 m
Hecke geschlossen	ohne Bäume	1	53	0,1	0,02 m
Einzelbaum	Laubbaum/ Obstbaum	11	-		0,003
Gebüsch	mit Bäumen	3	-		0,003
Gebüsch	ohne Bäume	9	-		
lineare Strukturen gesamt		226	90354		24,4 m

Bei einer angenommenen durchschnittlichen Breite der Grundflächen von 2 bis 5 Metern für Baumreihen und Hecken ergibt sich für den Untersuchungsraum eine Dichte von 0,87 ha lineare Strukturen pro 100 ha Ackerland. Dies entspricht ca. 35 % der im Landschaftsprogramm SACHSEN-ANHALT (1994) geforderten Dichte. Da keine exakten Daten über die Breite und Flächenausdehnung der linearen Elemente vorliegen, wird dieser Betrag bei den für die Optimierung notwendigen Kalkulationen nicht weiter einbezogen. Die linearen Elemente werden in ihrer Wirkung auf geökologische Funktionen gleichwohl berücksichtigt.

Das Untersuchungsgebiet ist gewässerarm (Tab. 10). Den Hauptanteil an Gewässern trägt eine ehemalige 11,7 ha grosse Kiesgrube im Norden, die auch für die regionale Erholung eine Bedeutung hat. Die Bachläufe sind durchgängig begradigt.

Tab. 10: Gewässer im Untersuchungsraum

Element	Anzahl	Fläche/Länge
See	1	11,68 ha
Teiche in Ortschaften	16	9,27 ha
Bachlauf (begradigt)/Graben	3	10855 m

Das öffentliche Strassennetz ist relativ gut entwickelt. Auch eine selten genutzte Eisenbahnlinie kreuzt den Untersuchungsraum. Die zur Erschliessung der Landwirtschaftsflächen notwendigen befestigten landwirtschaftlichen Wege sind allerdings mit 38 km Weglänge (10,6 m/ha) vergleichsweise kurz, was mit der Grösse der Schläge zu erklären ist (Tab. 11).

Tab. 11: Verkehrsinfrastruktur im Untersuchungsraum

Typ	Länge gesamt (in m)
Bundesstrasse	5404
Staatsstrassen und Landstrassen	16284
Nebenstrassen und Wege in Ortschaften	23171
befestigte landwirtschaftliche Wege	38394
unbefestigte landwirtschaftliche Wege	37537
Eisenbahn	4409

Wie in Tab. 8 bereits gezeigt wurde, dominiert die landwirtschaftliche Nutzung im Untersuchungsraum. Die landwirtschaftliche Nutzfläche ist in 95 Schläge gegliedert, von denen das im Testgebiet ansässige Agrarunternehmen 72 Schläge bewirtschaftet (1996). Die durchschnittliche Schlaggrösse von 38,5 ha ist als sehr hoch anzusehen, wobei 1996 der grösste zusammenhängend bewirtschaftete Schlag 110 ha umfasste.

Für die vom Unternehmen angebauten Fruchtfolgen ergaben sich in den Jahren 1992 bis 1996 folgende Veränderungen: (Tab. 12; KNISS 1998)

Tab. 12: Anteil der vom Agrarunternehmen im Untersuchungsraum angebauten Fruchtarten in den Jahren 1991 bis 1996

Fruchtarten	Anteil (in %) 1990/91	Anteil (in %) 1991/92	Anteil (in %) 1992/93	Anteil (in %) 1993/94	Anteil (in %) 1994/95	Anteil (in %) 1995/96	durchschn. Anteil (in %)
Winterweizen	35	40	44	38	46	42	41
Wintergerste	9	12	14	17	20	14	14
Winterroggen	-	3	-	-	-	-	0
Sommergerste	9	4	-	5	-	-	3
Winterraps	4	2	-	2	3	3	2
Silomais	12	11	10	15	16	12	13
Zuckerrübe	19	20	16	9	6	19	15
Kartoffeln	2	3	-	-	-	-	1
Sonnenblumen	-	-	-	5	-	-	1
Luzerne	7	4	4	4	-	-	3
Gras	-	-	6	-	6	8	3
Erbsen	-	-	4	5	3	2	3
Brache	-	-	2	-	-	-	0
keine Angaben	3	1	-	-	-	-	1

4. Untersuchungsmethoden

4.1 Vorgehensweise und GIS

Das Kernstück zur Erfüllung der Forschungsziele ist die Methodik der multifunktionalen Landschaftsbewertung und -optimierung nach GRABAUM & MEYER (1997, 1998). Diese Methodik wurde für die Anwendung im Projekt entsprechend erweitert (Abb. 3).

Die Möglichkeit der Kopplung von landschaftselementebezogenen Bewertungen mit der Methode der multikriteriellen Optimierung wurde von KOCH et al. (1989) beschrieben und von GRABAUM (1996) als rechnergestütztes Gesamtverfahren konzipiert.

Wesentliches Hilfsmittel bei der Bearbeitung des Projektes ist ein Geographisches Informationssystem (GIS) für das Untersuchungsgebiet. Dieses dient der Datenakquisition, der Weiterverarbeitung von Daten, der Durchführung der geoökologischen Bewertung, der Darstellung von Szenarien sowie der Präsentation der Optimierungsergebnisse. Über Editierfunktionen lassen sich kulturlandschaftliche und weitere nutzungsabhängige und umsetzungsrelevante Inhalte (wie Grundstücksgrenzen, Wege- und Sichtbeziehungen etc.) in die Methodik des Projektes integrieren. Eine Neubewertung geoökologischer Funktionen ist anschliessend möglich. Direkte Vergleichsmöglichkeiten von aktuellem Zustand und Nutzungsoptionen sind damit visuell (kartographisch) und statistisch gegeben. Im Rahmen des Projektes wurde das GIS ARC/INFO der Firma ESRI (1992) verwendet.

Die Leitbilder, Zielfestlegungen sowie eine Auswahl der zu berücksichtigenden geoökologischen Funktionen wurden in internen Fachgesprächen diskutiert. Dazu wurden im Verlauf des Projektes mehrere Workshops durchgeführt. Ausserdem konnte auf regionales Fachwissen zurückgegriffen werden, welches bei den Projektteilnehmern aufgrund langjähriger Forschung und bei den Praxispartnern durch grosse Erfahrungen im Untersuchungsraum vorhanden ist. Eine weitere Grundlage bildeten vorhandene Pläne (Landesentwicklungsplan (SACHSEN-ANHALT 1999), Agrarstrukturelle Vorplanung (LANDGESELLSCHAFT SACHSEN-ANHALT mbH 1995), Landschaftsplan der Verwaltungsgemeinschaft Wein-Weida Land 1995).

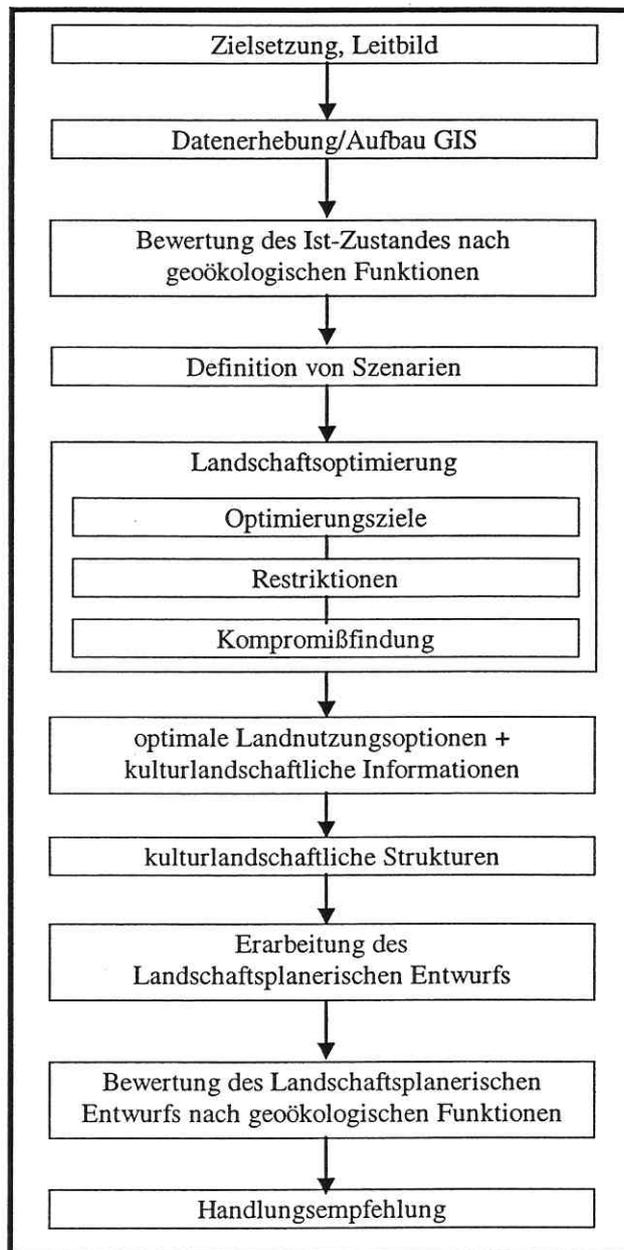


Abb. 3: Vorgehensweise zur Erarbeitung umsetzungsfähiger Handlungsempfehlungen auf der Grundlage der geoökologischen Bewertung und multikriterieller Landschaftsoptimierung

4.2 Zieldefinition

Die Funktionsauswahl ist abhängig vom Untersuchungsraum und den relevanten Fragestellungen und erfolgt nach einer ersten Landschaftsanalyse. Den theoretischen Rahmen bilden die Naturfunktionen nach DE GROOT (1992), der zwischen Regulations-, Träger-, Informations- und Produktionsfunktionen unterscheidet. Eine Integration möglichst vieler funktionaler Betrachtungsebenen spiegelt zwar theoretisch am besten die Multifunktionalität

der Landschaft wider; aus Gründen der Praktikabilität ist davon jedoch abzuraten. Es ist zu bedenken, dass sich durch eine zu grosse Funktionsanzahl Übersichtlichkeit und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse vermindern (was durch Wirkungsüberschneidungen ähnlich wirkender Funktionen zu erklären ist). Die Auswahl der geoökologischen Funktionen (Ziele für die Optimierung) sollte sich deshalb auf die wichtigsten fokussieren.

4.3 Geoökologische Bewertung des Ist-Zustandes

Die geoökologische Bewertung basiert im wesentlichen auf Verfahren, die in der „Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes“ (MARKS et al. 1989) dargelegt sind, sowie weiterhin, in der Literatur beschriebener validierter Verfahren. Diese können unter Beachtung der Verfahrensgrenzen im Untersuchungsraum plausibel angewendet werden, da sie auf teilweise langjährigen Tests beruhen. Landschaftsökologische Bewertungen werden im GIS durch Verknüpfung der entsprechenden Datenebenen mit nachvollziehbaren Regeln durchgeführt. Abb. 4 zeigt als Beispiel die Verknüpfung verschiedener (Primär-)Datenebenen bei der Bewertung des langjährigen mittleren Bodenabtrags durch Wasser nach SCHWERTMANN, VOGL & KAINZ (1987).

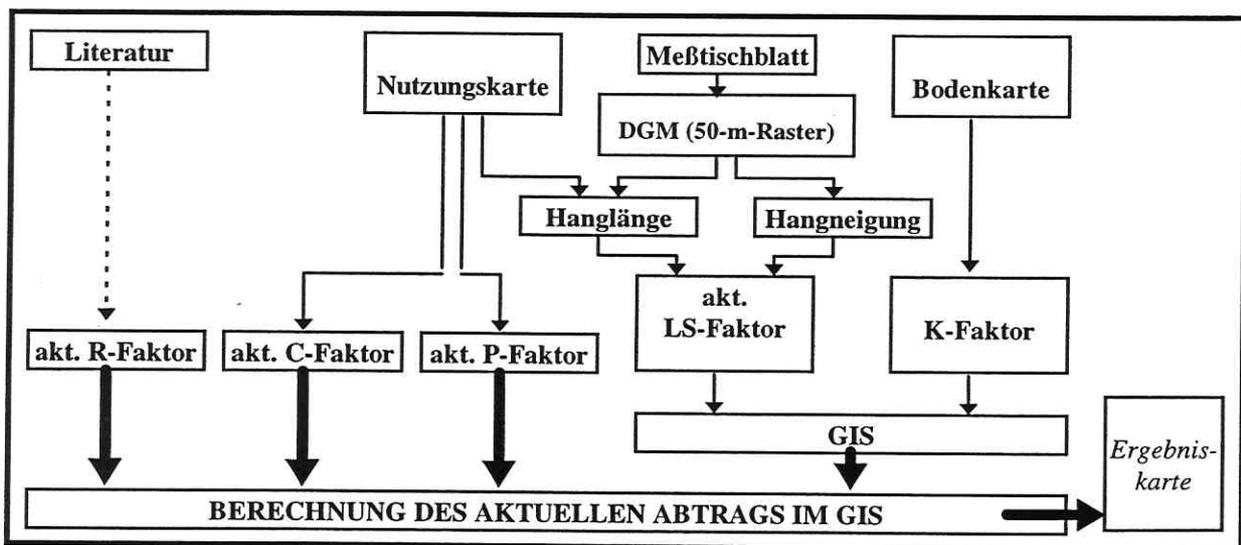


Abb. 4: Verknüpfung der Primärdatenebenen im GIS zur Bewertung der Bodenerosionsgefährdung nach SCHWERTMANN et al. (1987).

Alle ausgewählten Verfahren werden in den Kapiteln 5 und 6 genauer beschrieben. Die Ergebnisse der Bewertungen werden in ordinalen Klassen dargestellt (häufig in 3 oder 5 Stufen).

Diese Darstellung ist für die Weiterverwendung der Ergebnisse in der Optimierung notwendig (s. Kap. 4.5).

Wesentliche Grundlage für derartige Verfahren ist die Landschaftsanalyse, um zu den notwendigen Basisdaten zu gelangen. Hier wird besonders bei der Generierung von Daten auf die Geoökologische Kartieranleitung (LESER et al. 1988) bzw. auf HENNINGS (1994) zurückgegriffen. Von grundlegender Bedeutung erweist sich beim vorgestellten Verfahren die Möglichkeit, Bewertungsdaten mit Hilfe des GIS direkt weiterzubearbeiten (z.B. als Vorgabe für die Optimierung).

4.4 *Definition von Szenarien für zukünftige Landnutzungsoptionen*

4.4.1. *Bedeutung von Szenarien im Rahmen der Methodik*

Ein Szenario ist eine (in der öffentlichen und industriellen Planung) hypothetische Aufeinanderfolge von Ereignissen, die zur Beachtung kausaler Zusammenhänge konstruiert wird (DUDEN-Das Fremdwörterbuch 1990). Szenarien grenzen den Handlungsspielraum des Verfahrens ab und geben Aufschluss über die Entwicklungsmöglichkeiten unter festgelegten Grundannahmen. Damit sind sie für die Präzisierung des vorläufigen Leitbildes notwendig. Szenarien werden im Verfahren an verschiedenen Stellen verwendet.

- Im Rahmen der geoökologischen Bewertung können Szenarien einen Überblick über die Auswirkungen der Änderung einzelner Parameter (Grundannahmen) auf das Bewertungsergebnis und damit Hinweise über zu beachtende Grenzen bei den Optimierungsrestriktionen geben (s. Kap. 5.1.2). Szenarien dieses Typs werden im weiteren als Varianten bezeichnet.
- Im Rahmen der Landschaftsoptimierung können Szenarien durch Änderung der Gewichtung einzelner Teilfunktionen definiert werden. (Kap. 4.5)
- Im Rahmen der Beschreibung künftiger Landnutzungsoptionen können in Szenarien die Auswirkungen der Änderung von Flächennutzungsanteilen auf die Zielfunktionen formuliert werden (s. Kap. 4.4.2 ff).

Die Szenarien für zukünftige Landnutzungen als Handlungsempfehlungen sind das Ergebnis der von uns angewendeten Methode (Abb. 3). Zur Beschreibung einer zukünftigen

Landnutzung im Rahmen der Präzisierung des Leitbildes sowie zur Darstellung der Nutzungsänderungen und ihrer Auswirkungen auf die (landschaftsökologischen) Funktionen werden verschiedene Szenarien gerechnet. Szenarien werden zielorientiert definiert und richten sich nach einem Leitbild. In diesen Szenarien ist jeweils ein unterschiedlicher Grad an Landnutzungsänderungen implementiert. Während der Zielfestlegung und Problemanalyse wird anfänglich bestimmt, ob eine Optimierung stattfindet oder ob die Änderung der Landnutzung mit anderen Methoden beschreibbar ist. Für die Optimierung bedeutet dies, dass für jede flächenhaft beschreibbare Funktion, aufbauend auf der bewertenden Analyse, ein Ziel festgelegt wird, welches mit einer Landnutzungsänderung erreicht werden soll (Beispiel: Verringerung der Erosion um mindestens 30 %).

Wird für die Ermittlung von Landnutzungsoptionen die Optimierung verwendet, so ist eine Formulierung derartiger funktionsbezogener Ziele notwendig. Zum Erreichen der Ziele ist die Definition von Restriktionen erforderlich. Dazu zählen insbesondere zukünftige Flächenanteile der betrachteten Landnutzungselemente. Die Flächenanteile werden nicht exakt, sondern innerhalb bestimmter Grenzen festgelegt (Beispiel: Zuwachs an Waldfläche zwischen 6 und 8 % der zu optimierenden Fläche). Die Zielerfüllung lässt sich nach jedem Optimierungslauf überprüfen. Sollte diese nicht ausreichend sein, lässt sich jederzeit ein neuer Optimierungslauf mit veränderten Flächenanteilen starten. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass schon in der Zielstellung von einem bestimmten Flächenanteil ausgegangen werden muss, der dem vorangestellten Leitbild entspricht (Zu hohe Anteile von Wald entsprechen z.B. nicht mehr dem Leitbild der offenen Agrarlandschaft). So müssen für die Erreichung der (geoökologischen) Ziele Kompromisse gesucht werden.

Zusätzlich werden Festlegungen über Flächenausschluss bzw. Nutzungsausschluss für bestimmte Flächen getroffen. Das so entwickelte Szenario mit Vorstellungen über Ziele künftiger Landnutzungsänderungen gibt den Rahmen für die Landschaftsoptimierung. Das Szenario entspricht damit einer ersten Präzisierung des Leitbildes.

Die im Rahmen des Projektes für den Untersuchungsraum entworfenen sechs Szenarien werden im folgenden vorgestellt.

4.4.2 Das Realszenario (Fruchtfolgeszenario 1)

Es erfolgt keine Änderung der Landnutzung. Der Anteil für naturnähere Strukturen bleibt konstant bei ca. 1 %. Die auf den Ackerflächen angebauten Fruchtfolgen entsprechen mittelfristig weiterhin dem Durchschnitt der angebauten Fruchtarten von 1996 (Fruchtfolgeszenario 1). Das Verhältnis von Blattfrucht zu Halmfrucht beträgt 33 : 67 Prozent. Insgesamt werden 7 Fruchtarten angebaut.

Fruchtarten

Wintergetreide	56 %
Raps	3 %
Mais	12 %
Hackfrüchte	19 %
Erbsen	2 %
Luzerne u. Gras	8 %

Diese Orientierung des Anbaus auf wenige Fruchtarten erweist sich aus ökologischer Sicht als problematisch, da die Vielfalt an Kulturpflanzenarten, die wiederum von speziellen Wildkräutern begleitet werden, gering ist.

4.4.3 Das Getreide-Szenario (Fruchtfolgeszenario 2)

Das Verhältnis von Ackerflächen zu naturnäheren Strukturen ändert sich nicht. Der Anteil an naturnäheren Strukturen bleibt konstant bei ca. 1 %. Die auf den Ackerflächen angebauten Fruchtfolgen entsprechen einer Erhöhung des Halmfruchtanteils auf 95 % (Fruchtfolgeszenario 2). Insgesamt werden nur wenige Fruchtarten angebaut.

Fruchtarten

Getreide	90 - 100 %
Blattfrüchte	0 - 10 %

Eine derartige Fruchtartenzusammensetzung steigert das ökonomische Ergebnis, da mit Halmfrüchten (insbesondere Winterweizen) gute Erlöse zu erzielen sind. Aus Sicht der Fruchtarten-

diversität stellt dieses Szenario jedoch eine deutliche Verschlechterung gegenüber dem Ist-Zustand dar. Mit dem Verlust der Fruchtartendiversität geht insgesamt auch die Biodiversität weiter zurück. Die Bestände werden für Krankheiten anfälliger, was sich wiederum ertragsmindernd auswirken würde.

4.4.4 Das Szenario Fruchtartendiversität (Fruchtfolgeszenario 3)

Das Verhältnis von Ackerflächen und naturnäheren Strukturen ändert sich nicht. Der Anteil an naturnäheren Strukturen bleibt konstant bei ca. 1 %. Die auf den Ackerflächen angebauten Fruchtfolgen entsprechen einer Verringerung des Halmfruchtanteils. Es wird eine grössere Diversität innerhalb des Blattfruchtanteils erreicht, da zusätzliche Kulturen wie Sonnenblumen, Gemüsekulturen oder Gras angebaut werden.

Fruchtarten

Getreide	30 - 40 %
Hackfrüchte u. Mais	30 - 40 %
Luzerne u. Gras	5 - 15 %
Raps	5 - 15 %
weitere Kulturen	10 - 20 %

Aufgrund der höheren Fruchtartendiversität wird insgesamt die Biodiversität verbessert. Diese Fruchtfolge ist zwar kurzfristig gesehen ökonomisch nicht optimal, sichert aber langfristig sowohl die Quantität als auch die Qualität der Produkte (geringere Krankheitsanfälligkeit, dadurch weniger Einsatz von Pestiziden, höhere Erträge) und ist ökologisch nachhaltiger.

4.4.5 Naturschutzszenarien (Szenarien 4 bis 6)

Der Begriff Naturschutzszenarien an dieser Stelle ist plakativ gewählt und soll ausdrücken, dass sich im Beispielsraum die Flächen für naturnähere Strukturen erhöhen. Diese werden in Grünland oder Gehölze/Wald eingeteilt. Je nach Flächenanteil werden drei verschiedene Teilszenarien unterschieden.

a) *Szenario 4*

Der Grünland- und Gehölz/Waldanteil wird im Untersuchungsraum auf 15 % erhöht. Dieser Wert wurde an HEYDEMANN (1981, 1983) angelehnt, welcher vorschlug, die Naturschutzflächen in Deutschland insgesamt auf 15 % zu erweitern. Mit dem gewählten Szenario sollen die Auswirkungen dieser Änderungen regional untersucht werden.

b) *Szenario 5*

Der Anteil von Grünland- und Gehölz/Wald beträgt 7,5 %. Dieser Wert bedeutet eine Halbierung des von HEYDEMANN (1981, 1983) genannten Anteils naturnäherer Strukturen.

c) *Szenario 6*

Der Anteil von Grünland- und Gehölz/Wald beträgt 30 %. Dieser Wert bedeutet eine Verdopplung des von HEYDEMANN (1981, 1983) genannten Anteils naturnäherer Strukturen.

Bei allen Szenarien wird für die verbleibende Ackerfläche von einer Fruchtfolge entsprechend Fruchtfolgeszenario 1 ausgegangen. Damit bleiben die Naturschutzszenarien mit dem aktuellen Szenario vergleichbar.

4.5 *Landschaftsoptimierung*

Ziel der Optimierung ist ein auf den Szenarien aufbauendes Muster von Landnutzungsoptionen, die die vorher bewerteten Funktionen in 'optimaler' Weise erfüllen. Optimiert werden können nur Landnutzungsszenarien, deren Flächenverteilung sich gegenüber dem aktuellen Zustand ändert.

Optimierung ist ein Teilgebiet der numerischen Mathematik, welches die optimale Festlegung von Größen, Eigenschaften, zeitlichen Abläufen von Komponenten eines Systems unter gleichzeitiger Berücksichtigung von Nebenbedingungen (Restriktionen) beinhaltet. Das mathematische Verfahren der multikriteriellen Optimierung bestimmt zwischen mehreren - oft gegensätzlichen - Zielfunktionen ein Ergebnis, welches als „optimaler Kompromiss“

angesehen werden kann. Das Verfahren basiert auf einer Methodik, die von GRABAUM (1996) entwickelt wurde. Es handelt sich dabei nicht um eine Optimierung im klassischen Sinne (Maximierung bzw. Minimierung eines Zieles), da diese dem angestrebten Ziel der Mehrfachnutzung einer Landschaft nicht entsprechen würde. Ziel der multikriteriellen Optimierung ist es vielmehr, einen Kompromiss zwischen den oft gegensätzlich wirkenden Funktionen der Landschaft zu finden. Optimalität definiert sich damit als Optimierung aller erreichbaren Ziele, welches mit der Maximierung eines Zieles nur in Ausnahmefällen erreicht werden kann. Diese Herangehensweise wird als Kompromissfindung zwischen den Zielen bezeichnet, die entsprechende Optimierungsmethode als Kompromissoptimierung bzw. auch als Vektor- oder Pareto-Optimierung.

Optimiert wird dabei die Belegung von einzelnen Arealen mit Landschaftselementen. Diese Areale entstehen im GIS durch Verschneidung der einzelnen Bewertungsebenen zur kleinsten gemeinsamen Geometrie (kgG). Die für die Zielfunktionen notwendigen Zielfunktionskoeffizienten erhält man durch Übernahme der einzelnen Bewertungsergebnisse (Bewertungsklassen der einzelnen Untersuchungsziele), die für den gesamten Variablensatz ermittelt werden müssen. Die Variablenanzahl entspricht dem Produkt der Anzahl der bewerteten Landschaftselemente und der Anzahl der Areale. Das bedeutet, dass jedes Landschaftselement auf jeder Fläche betrachtet wird. Dieses kann die Fläche vollständig oder zusammen mit anderen Landschaftselementen belegen. Abb. 5 zeigt eine fiktive Variablenbelegung. Dabei wird Fläche 1 vollständig von Element B belegt, Fläche 3 vollständig von Element C und Fläche 2 von Element A mit 5 ha und von Element B mit 11 ha.

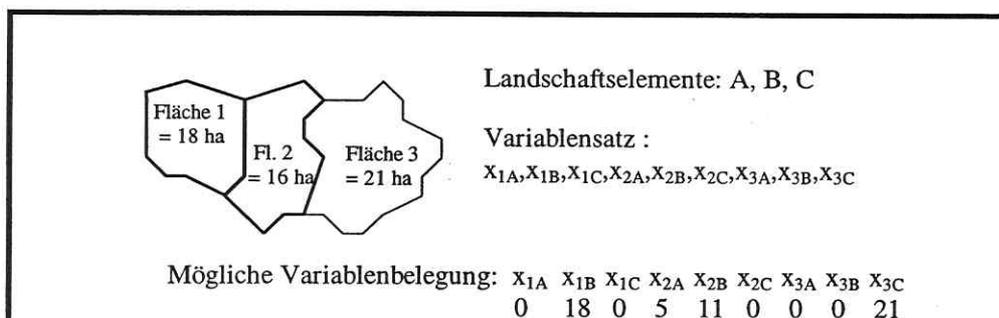


Abb. 5: Darstellung des Variablensatzes und einer fiktiven Lösung (Variablenbelegung)

Als Nebenbedingungen werden Gleichrestriktionen (Flächengrößen der Areale) und Ungleichrestriktionen (Größenordnungen der einzelnen Elemente) linearen Typs verwendet. Weitere lineare Nebenbedingungen sind optional möglich. Das Optimierungsproblem ist damit linear. Anwendungen zur Lösung linearer Optimierungsprobleme werden häufig als „Linear Programming“ bezeichnet (WERNER 1993). Der Optimalitätsbegriff ist hierbei folgendermassen definiert: Eine Lösung (Variablenbelegung) ist optimal, wenn sich kein Ziel mehr verbessern lässt, ohne dass sich mindestens ein anderes Ziel verschlechtert. Man spricht von PARETO-Optimalität (WIERZBICKI 1979; DEWESS 1985). Dabei werden die Zielfunktionswerte als Kriterium genutzt. Diese berechnet man aus der Summe der Produkte der in der Lösung ermittelten Flächen (Flächengröße der Variablen mit Werten grösser Null in Abb. 5) mit den zugehörigen Zielfunktions-Koeffizienten.

In Abbildung 6 ist die mathematische Problemformulierung der multikriteriellen Landschaftsoptimierung dargestellt.

n - Anzahl der Variablen	
n = np * ne (Anzahl der Polygone np * Anzahl der Klassen der Landschaftselemente ne);	
x - Vektor der Variablen; $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$	
m - Anzahl der Zielfunktionen	
Q - Matrix der Zielfunktionen; $\mathbf{Q} = (\mathbf{q}^1, \dots, \mathbf{q}^m)^T$, where $\mathbf{q}^i = (q^i_1, \dots, q^i_n)$, $i=1, \dots, m$	
$\mathbf{Qx} = \text{Max!}$	
Restriktionen:	1. $\mathbf{x} \geq \mathbf{0}$
	2. $\sum_{j=1}^{np} x_{ij} \leq b_i$ für $i=1, \dots, ne$ (Beschränkung der Landschaftselementeklasse i)
	3. $\sum_{i=1}^{ne} x_{ij} = b_j$ für $j=1, \dots, np$ (Flächengröße des Bewertungsareals j)
Kurzschreibweise:	$\mathbf{Ax} \leq \mathbf{b}$ $\mathbf{x} \geq \mathbf{0}$
	wobei A (0,1)-Matrix. (Es wird nur angezeigt, ob die Variable in der Restriktion aktiv wird (1) oder nicht (0)).

Abb. 6: Mathematische Formulierung des Optimierungsmodells

Zur Lösung multikriterieller Optimierungsaufgaben gibt es unterschiedliche Verfahren (z.B. statistische Verfahren (CHANGKONG & HAYMES 1983), Simplexverfahren (FALKENHAGEN 1989), Referenzpunktverfahren (WIERZBICKI 1979)). Die hier verwen-

de Methode beruht auf einem spieltheoretischen Kompromiss und wurde von DEWESS (1985) entwickelt. Dabei wird die größte relative Abweichung der Zielerfüllungen von ihrem Maximalwert minimiert. Bei der Anwendung erhält man notwendigerweise auch die Maximalwerte der einzelnen untersuchten Ziele (ohne Berücksichtigung der übrigen) und kann damit Risiken monofunktional genutzter Landschaften dadurch aufzeigen, dass die Minderung anderer Ziele vergleichbar wird.

Eine Besonderheit des Verfahrens besteht darin, dass durch eine variable Gewichtung der einzelnen Ziele beliebig viele Lösungen aus der unendlichen Lösungsmenge berechnet werden können. Der Nutzer kann somit anhand seiner Vorstellungen (d.h. nach der „Präferenzstruktur des Entscheiders“, GNAUCK 1996) die Gewichte festlegen und nach der Berechnung über die Güte der Lösungen entscheiden bzw. einen neuen Rechnungslauf durchführen (interaktiver Dialog). Die dabei ermittelten unterschiedlichen Lösungen können als Szenarien betrachtet werden, die sich auf die unterschiedliche Bedeutung der einzelnen Teilziele beziehen. Hier sei jedoch darauf hingewiesen, dass eine Begründung für eine speziell gewählte Wichtung rein auf fachlicher Basis schwer zu treffen ist. Es gibt Untersuchungen und Verfahren, die Begründung der Auswahl entsprechender Gewichte zu objektivieren. Diese sind allerdings sehr komplex und oftmals für den Anwender nicht zu durchschauen (NIEMANN 1982). Deshalb sind sie im Projekt auch nicht berücksichtigt worden.

4.6 Kulturlandschaftliche Information

Die mit der Optimierung erzielten Ergebnisse stellen sogenannte Landnutzungsoptionen dar, sie lassen sich jedoch in dieser Form nicht immer praktikabel umsetzen. Das hat seine Ursache darin, dass hinter den bei der Optimierung entstandenen Flächennutzungen die Areale der kleinsten gemeinsamen Geometrie stehen, deren Anzahl von den verwendeten Datenebenen und der Anzahl der einbezogenen Bewertungsebenen abhängt. Dabei entstehen besonders bei der gleichzeitigen Verwendung von Raster- und Vektorinformationen sehr kleine und praktisch nicht bewirtschaftungsfähige Areale. Bei der ausschliesslichen Nutzung von Rasterinformationen muss das Optimierungsergebnis sowieso an die vektoriell abgegrenzte Flächennutzung angepasst werden. Ausserdem wurden im Beispiel wesentliche planerische Gesichtspunkte wie Sichtbeziehungen, lineare Strukturen, Eigentumsverhältnisse u.a. nicht berücksichtigt. Dies führt dann zwar zu den theoretisch besten

Landnutzungsoptionen bezüglich der Verbesserung der durch die Leitbildentwicklung definierten (Regulations)-Funktionen, hemmt allerdings die praktische Umsetzung. Damit ergibt sich die Notwendigkeit einer Weiterbearbeitung. Da diese Bearbeitung landschaftsplanerische Elemente beinhaltet, wurden die Ergebnisse als „landschaftsplanerischer Entwurf“ bezeichnet. Dieser könnte als Grundlage für eine rechtlich verbindliche Planungsebene, wie z.B. die Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung (AEP) oder die örtliche Landschaftsplanung, erarbeitet werden. Im Beispiel der ausgeräumten Agrarlandschaft sind wesentliche Aufgaben bei der Erarbeitung dieses Entwurfes

- die Integration linearer Strukturen (Baumreihen, Hecken, Gehölze, Gewässerrandstreifen);
- die Integration der bestehenden Eigentumsverhältnisse und Parzellengrenzen sowie von neuen Wegen;
- die Überarbeitung der Optimierungsergebnisse unter Berücksichtigung landschaftlicher Gegebenheiten (z.B. Hochspannungsleitungen etc.);
- die Anpassung von Nutzungen auf Kleinst- und Splitterflächen an die Umgebungsnutzung (z.B. Umwandlung einer Ackerinsel im Wald in Wald).

Die im Rahmen des Projektes verwendeten Kriterien zur Umsetzung dieser Ziele werden in Kap. 7 erläutert.

4.7 Geoökologische Bewertung des Zielzustandes

Auf der Grundlage des landschaftsplanerischen Entwurfs wird anschliessend eine Neubewertung der gewählten Funktionen durchgeführt. Dabei werden die gleichen Funktionen untersucht wie vor der Optimierung. Diese Neubewertung ermöglicht einen Vergleich von Ist- und Zielzustand. Unter Zuhilfenahme dieses Vergleiches ist eine Akzeptanz des Zielzustandes durch die Praxis leichter erreichbar.

Aufgrund der Tatsache, dass die Ziele konträr sein können, werden einige Funktionen nicht mehr so gut erfüllt wie zum Ist-Zustand (z.B. Rückgang der Produktionsfunktion durch Massnahmen zur Verbesserung von Regulationsfunktionen und Biodiversität). Sollte eine Verschlechterung jedoch den gestellten Zielen sowie dem Leitbild widersprechen, muss der gesamte Prozess von Zielstellung, Bewertung und Optimierung überprüft werden.

5. Bewertung der ausgewählten Funktionen

Die Landschaftsanalyse und die Leitbildableitung sind Ausgangspunkt für die Auswahl der vorrangig betrachteten geökologischen Funktionen im Untersuchungsraum. Hierbei stehen zunächst Regulationsfunktionen der Landschaft im Vordergrund. Die durch jahrzehntelange Nutzung der Landschaft beeinträchtigten Regulationsfunktionen sollen so verbessert werden, dass sie den nachhaltigen Schutz der Umweltmedien besser gewährleisten können. Nachhaltigkeit hat jedoch auch eine ökonomische Komponente. Deshalb ist es notwendig, gerade auf diesem Gunststandort die ackerbauliche Nutzung als Produktionsfunktion zur langfristigen Sicherung einer hochwertigen und effizienten Nahrungsgüterproduktion in den Untersuchungen zu berücksichtigen.

Aufgrund der Offenheit der Landschaft und der Grossflächigkeit der ackerbaulich genutzten Flächen sowie klimatischer Bedingungen haben die Probleme der Erosion eine wesentliche Bedeutung, nicht zuletzt im Hinblick auf die langfristige Sicherung der Qualität des Umweltmediums Boden. Deshalb werden die potentielle Wasser- und Winderosion bewertet. Aufgrund der Lage im mitteldeutschen Trockengebiet verfügt der Untersuchungsraum über ein geringes Wasserdargebot. Deshalb werden die Funktionen Retentionsvermögen der Landschaft und Grundwasserneubildung bewertet.

Die zur Bewertung verwendeten Grunddaten sind mittelfristig konstant (Bodendaten, Klimadaten). Eine Ausnahme bildet die Flächennutzung. Dies gilt insbesondere für die auf den bewirtschafteten Flächen wechselnden Fruchtarten. Um das Leistungsvermögen des Landschaftshaushalts besser einschätzen zu können, ist auf möglichst langfristige Mittelwerte bei den Landnutzungen zurückgegriffen worden. Deshalb wurden durchschnittliche Fruchtfolgen-szenarien gewählt. Das aktuelle Szenario ergibt sich dabei aus der Annahme der durchschnittlichen Flächennutzung 1996.

Alle Bewertungen sind GIS-basiert. Die Vorzüge von GIS für derartige Bewertungen (Schnelligkeit, Komplexität, Übersicht) sind hinreichend beschrieben (MEYER & GRABAUM 1997, GRABAUM & MEYER 1997, BLASCHKE 1997, WALZ & SCHUHMACHER 1998).

5.1 Bewertung der Bodenerosion durch Wasser

5.1.1 Die Bewertungsmethode

Mit dieser Funktion wird das Ausmass der Bodenerosion durch oberflächlich abfließendes Niederschlagswasser bestimmt. Zur Bewertung des potentiellen Bodenabtrags durch Wasser wird das Verfahren der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) von SCHWERTMANN et al. (1987) angewendet, welche die an 10000 Messparzellenjahren in den USA validierte Universal Soil Loss Equation (USLE; WISCHMEYER & SMITH 1978) für mitteleuropäische Verhältnisse adaptierten. Dies geschah auf Testparzellen in Bayern unter Verwendung von Regensimulatoren. Die eingehenden Faktoren wurden dabei experimentell überprüft. SCHRÖDER, LÖWA & BERKNER (1993) bestätigten die generelle Anwendbarkeit für Mitteldeutschland. Trotz einer Reihe von Verfahren, die in den letzten Jahren entwickelt wurden, wie z.B. das Programm Erosion 2d/3d (SCHMIDT et al. 1996), erweist sich die ABAG in diesem Massstab (1:10000) aufgrund der Validität als unverzichtbar. Möglichkeiten und Probleme bei der GIS-basierten Anwendung der ABAG werden bei MEYER & GRABAUM (1996) beschrieben.

In der allgemeinen Bodenabtragungsgleichung wird die potentielle Bodenerosion (A) wie folgt bestimmt (siehe auch Abb.4):

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Der **R-Faktor (Regen- und Oberflächenabfluss-Faktor)** als Mass für die Erosionskraft der Niederschläge wurde SAUERBORN (1993) entnommen, die für Querfurt mit Hilfe einer Regression einen R-Faktor von 46 ermittelte. Der R-Faktor ist damit ein im Untersuchungsraum einheitlicher Faktor. Eine theoretische Erhöhung des R-Faktors infolge des Klimawandels ist in verschiedenen Varianten (70 bzw. 100, s. Tab. 16) mit berücksichtigt worden. Von SCHRÖDER (in ALTERMANN et al. 1995) wird ein R-Faktor von $R = 40$ angegeben.

Der **K-Faktor** als Ausdruck für den **bodenartbedingten Erosionswiderstand** (Tab. 13) wurde aus der Reichsbodenschätzung abgeleitet (SCHWERTMANN et al. 1987).

Tab. 13: K-Faktoren im Untersuchungsraum abgeleitet nach SCHWERTMANN et al. (1987)

K-Faktor	Fläche (ha)	Fläche (%)
0.15	2,5	0,1
0.2	50,6	1,2
0.25	0,7	0,1
0.3	3,9	0,1
0.35	11,6	0,3
0.4	30,7	0,7
0.5	116,2	2,8
0.55	3886,9	94,7

Der durchschnittliche K-Faktor im Untersuchungsgebiet beträgt 0,54 und ist damit relativ hoch. Das ist begründet durch den hohen Schluffanteil der Lössböden. Der K-Faktor wird von ALTERMANN et al. (1995) für die Querfurter Catena mit einem Wert von $K = 0,4-0,7$ angegeben.

Im **LS-Faktor** werden **Hanglängen (L)**- und **Hangneigungsfaktor (S)** verknüpft. Grundlage für die Ermittlung der LS-Faktoren sind ein digitales Geländemodell (DGM) und die Biotop-typenkarte. Aus dem DGM wurden die Hangneigungen berechnet (s. Tab. 3). Zur Bestimmung der Hanglänge wurden kleinste Einzugsgebiete aus den Höhen- und den Tiefenpunkten des digitalen Geländemodells abgeleitet und anschliessend mit der aktuellen Nutzung im GIS verschnitten. Unter Zuhilfenahme lokaler Maxima und Minima sowie der Hangneigungskarte konnten die Hanglängen dann an der Karte abgelesen und für jedes kleinste Einzugsgebiet ermittelt werden. Die Berechnung des LS-Faktors erfolgte anschliessend mit Hilfe der bei SCHWERTMANN et al. (1987) angegebenen LS-Nomogramme (siehe auch LANG 1997). Die Verteilung der LS-Faktoren im Untersuchungsraum ist in Abb. 7 dargestellt. Um die Wirkung einer Hanglängenverkürzung auf die potentielle Bodenerosion aufzuzeigen, wurde eine Variante gewählt, welche von einer theoretischen Hanglängenverkürzung auf einheitlich 50 Meter in allen Einzugsgebieten ausgeht. Die Neuberechnung der LS-Faktoren auf dieser Basis ist ebenfalls in Abb. 7 dargestellt und mit dem Wert LS50F beschrieben.

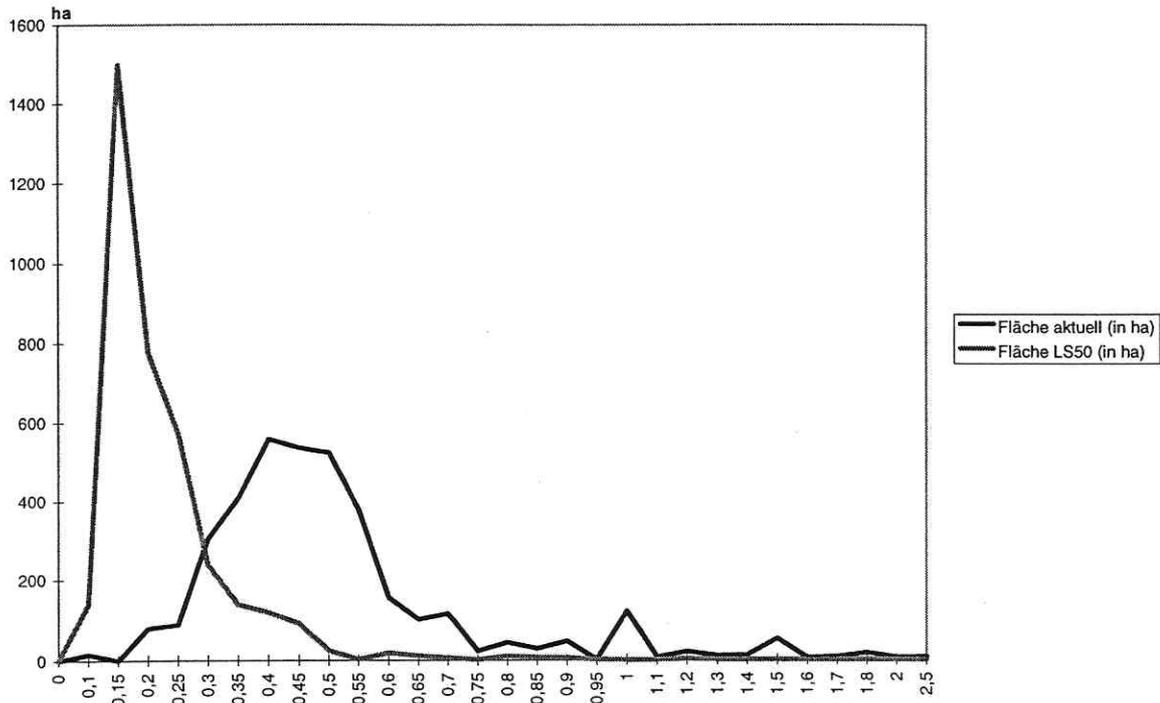


Abb. 7: Statistik der LS-Faktoren

Der durchschnittliche flächenbezogene LS-Faktor für die Ackerflächen im Untersuchungsraum beträgt 0,52. Hauptursache für diesen hohen Wert sind die grossen Hanglängen. Insgesamt gibt es Einzugsgebiete von 1118 ha mit Hanglängen von mehr als 500 Metern. Bei einer theoretischen Hanglängenverkürzung auf einheitlich 50 Meter reduziert sich der durchschnittliche LS-Faktor auf 0,22, was einer Verbesserung um 58 % entspricht.

Der **C-Faktor (Bodenbedeckungsfaktor)** lässt sich aus den angebauten Fruchtarten ableiten. Hierzu wurden Daten von BÖNING (1997) verwendet, der die Fruchtarten im Untersuchungsraum von 1990 bis 1996 erfasste. Es wurden einerseits schlaggenaue C-Faktoren ermittelt, wobei die von 1990 bis 1996 pro Ackerschlag angebauten Fruchtarten zugrunde liegen. Andererseits wurde ein Mittelwert der im Referenzjahr 1996 angebauten Fruchtarten (entsprechend der Flächengrösse) gebildet (Fruchtfolgeszenario 1). Zur Erweiterung der Untersuchungen wurden die C-Faktoren für die Fruchtfolgeszenarien 2 und 3 (s. Kap. 4.4) nach SCHWERTMANN et al. (1987) ermittelt (Tab. 14).

Tab. 14: Szenarien der Bewirtschaftung und zugehöriger C-Faktor

Fruchtfolgeszenario	Bezugsraum	C-Faktor
zusammengefasste Fruchtfolge 1990 - 1996	schlagbezogen	0,05 - 0,21
Realszenario (1) (Durchschnitt 1996)	einheitlich	0,1
Getreideszenario (2)	einheitlich	0,04
Fruchtartendiversität (3)	einheitlich	0,2

Der **P-Faktor** als **Erosionsschutz-Faktor** gibt an, wie Geländekonturen bei der Bodenbearbeitung berücksichtigt werden. P-Faktor 1 bedeutet, dass die Hauptbearbeitungsrichtung in Gefällrichtung liegt und eine konventionelle Pflugbearbeitung durchgeführt wird. Bei Bearbeitung quer zur Gefällrichtung ergibt sich ein P-Faktor von 0.5. Eine pfluglose Bodenbearbeitung, wie sie im Untersuchungsraum vom dort ansässigen Agrarunternehmen durchgeführt wird, würde den P-Faktor weiter reduzieren. Dazu existieren jedoch noch keine Messreihen, so dass dieser Umstand bei der Berechnung nicht mit berücksichtigt wurde. Um einen Faktor von 0,5 zu erreichen, müssten im Testgebiet 1964,7 ha in Ost-West-Richtung bearbeitet werden (ca. 54 %) und 1688,6 ha in Nord-Süd-Richtung. Diese Angaben wurden aus dem DGM und den daraus ermittelten kleinsten Einzugsgebieten abgeleitet. Zur Ermittlung des mittleren jährlichen Bodenabtrags wurde einheitlich mit einem P-Faktor von 1 gerechnet.

5.1.2 Bewertungsvorschrift

Die Ermittlung des potentiellen jährlichen Bodenabtrags in Tonnen pro Hektar und Jahr erfolgt im GIS für jedes Polygon der kleinsten gemeinsamen Geometrie (kgG) durch multiplikative Verknüpfung der beschriebenen Faktoren (siehe ABAG und Abb. 4). Die kgG entsteht dabei durch Verschneidung der Faktorebenen im GIS. Für alle Polygone wurde auch der potentielle Gesamtabtrag in Tonnen pro Jahr berechnet.

Zur Einschätzung der Ergebnisse wurden folgende Toleranzgrenzen (Tab. 15) für die Mitteldeutschen Schwarzerdegebiete festgelegt (MEYER & KRÖNERT 1998):

Tab. 15: Toleranzgrenzen zur Bewertung des Bodenabtrags im Mitteldeutschen Schwarzerdegebiet (nach MEYER & KRÖNERT 1998)

Abtrag in t/ha u. Jahr	Einschätzung	Bewertungs- klasse
0 bis 0,5	gering	1
0,5 bis 1	tolerierbar	2
1 bis 1,5	erhöht	3
1,5 bis 2	stark erhöht	4
grösser 2	extrem erhöht	5

Diese Einstufung wird von den Autoren präferiert, da eine starke Erosion, in jedem Falle und auf jeder Bodenart, als ungünstig für die Erhaltung des Bodens und für die Bodenfruchtbarkeit eingeschätzt wird bzw. ein höherer Bodenabtrag für fruchtbare Böden nicht begründbar ist. Auf den fruchtbaren Standorten der Querfurter Platte (Löss-Schwarzerde-Böden) wurde an einigen Stellen die Humushorizont der Schwarzerde bereits weitgehend abgetragen, so dass der ockerfarbene Löss sichtbar wird. Darüber sind auch die Praxispartner aus der Region besorgt. Der von SCHWERTMANN et al. (1987) vorgeschlagene Toleranzwert

$$\text{Toleranzwert (t/ha Jahr)} \leq \text{Ackerzahl}/8$$

wurde auch von ECKERT & BREITSCHUH (1998) übernommen. Dieser Toleranzwert bedeutet jedoch, dass auf guten (tiefgründigen) Böden eine hohe Erosionsdisposition zugelassen wird, während auf mageren (flachgründigen) Standorten eine geringe Erosionsdisposition angestrebt wird. ECKERT & BREITSCHUH (1998) betonen aber auch, dass das Verfahren der „Kriterien umweltverträglicher Landwirtschaft (KUL)“ offen ist, d.h. neue Ergebnisse können integriert werden. Speziell zur Erosionsdisposition wird darauf verwiesen, dass Toleranzgrenzen nach Kriterien der Nachhaltigkeit abgeleitet werden.

5.1.3 Varianten der Erosionsbewertung

Um zukünftige unterschiedliche Einflüsse von Klima, Bodenbearbeitung sowie Landschaftsgestaltung auf die Erosionsdisposition zu ermitteln, wurden verschiedene Varianten gerechnet. Die zugehörigen Parameterwerte sind in Tab. 16 dargestellt.

Variante 1 beinhaltet die Fruchtartenzusammensetzung von 1996 (Realszenario der Fruchtfolge). Diese Variante entspricht dem Ausgangsszenario für die Optimierung. Im weiteren wurde mit dieser Variante variiert, indem die Faktoren C, P, LS, und R variiert und auch kombiniert wurden. Für die Varianten 2, 17 und 18 wird der C-Faktor aus Fruchtfolgeszenario 2 (Getreideszenario) verwendet, für die Varianten 3, 19 und 20 der C-Faktor für Fruchtfolgeszenario 3 (Szenario Fruchtartendiversität). In den Varianten 10 bis 16 wird Schwarzbrache angenommen. Damit ist der theoretisch schlechteste Bodenbedeckungsfaktor verbunden (C-Faktor =1), und es werden sofort die tendenziell gefährdeten Flächen sichtbar. Variante 8 beschreibt den unter den derzeitigen Bedingungen nur durch Änderung der Bewirtschaftung und Verkürzung der Hanglängen erreichbaren minimalen Bodenabtrag. Bei Variante 12 werden die Faktoren so miteinander kombiniert, dass ein maximaler potentieller Bodenabtrag möglich ist, in Variante 18 dagegen wird ein minimaler potentieller Bodenabtrag durch entsprechende Faktorenkombination angenommen.

Tab. 16: Varianten zur Berechnung der potentiellen Bodenerosion durch Wasser

Varianten	C-Faktor	P-Faktor	LS-Faktor	R-Faktor	K-Faktor
1 (Szenario1)	0,1	1	LSF	46	aktuell
2 (Szenario2)	0,04	1	LSF	46	aktuell
3 (Szenario3)	0,2	1	LSF	46	aktuell
4	0,1	1	LSF	70	aktuell
5	0,1	1	LSF	100	aktuell
6	0,1	1	LS50F	46	aktuell
7	0,1	0,5	LSF	46	aktuell
8 (akt. Minim.)	0,1	0,5	LS50F	46	aktuell
9	0,1	0,5	LS50F	100	aktuell
10	1 (Schwarzbr.)	1	LSF	46	aktuell
11	1	1	LSF	70	aktuell
12 (Maximum)	1	1	LSF	100	aktuell
13	1	1	LS50F	46	aktuell
14	1	0,5	LSF	46	aktuell
15	1	0,5	LS50F	46	aktuell
16	1	0,5	LS50F	100	aktuell
17	0,04	1	LS50F	46	aktuell
18 (Minimum)	0,04	0,5	LS50F	46	aktuell
19	0,2	1	LS50F	46	aktuell
20	0,2	0,5	LS50F	46	aktuell

5.1.4 Auswertung der Ergebnisse

In Tab. 17 werden die potentiellen jährlichen Abtragsraten (in Tonnen pro Hektar und in Tonnen pro Jahr) sowie deren Bewertung für die einzelnen Varianten (Tab. 15) dargestellt. Generell werden in diesem Forschungsbericht Einstufungen in ordinale Bewertungsklassen vorgenommen. Eine Einstufung in mehr als 5 Bewertungsklassen ist meist aus methodischen Gründen nicht möglich. Eine Einteilung in deutlich mehr Bewertungsklassen verleitet den Leser dazu, graduelle Unterschiede zwischen Bewertungseinstufungen als deutlich anzusehen. Dieses Problem tritt natürlich bei jeder Klasseneinteilung im Bereich der Klassengrenze auf.

Tab. 17: Potentieller jährlicher Bodenabtrag in t/ha/Jahr bzw. in Tonnen/Jahr und deren Bewertung

Variante	Abtrag t/ha/Jahr	Gesamtabtrag t/Jahr	Bewertung nach MEYER & KRÖNERT (1998)
1	1,5	5231	3
2	0,6	2092	2
3	2,9	10462	5
4	2,0	7044	4
5	2,8	10063	5
6	0,5	1971	2
7	0,6	2314	2
8	0,3	986	1
9	0,6	2143	2
10	12,8	46289	5
11	19,5	70440	5
12	27,8	100628	5
13	5,5	19712	5
14	6,4	23145	5
15	2,7	9856	5
16	5,9	21427	5
17	0,2	788	1
18	0,1	394	1
19	1,1	3942	3
20	0,5	1971	2

Bei einem Vergleich der gewählten mit anderen Toleranzgrenzen werden deutliche Unterschiede sichtbar. Nimmt man die Toleranzgrenzen von SCHWERTMANN et al. (1987), stellt sich der potentielle Abtrag durch Wassererosion bei den meisten Varianten als relativ unproblematisch dar, da sehr hohe Abtragsraten toleriert werden; berücksichtigt man dagegen

die in Tab. 15 vorgeschlagenen Bewertungsstandards, dann wird deutlich, dass Bodenerosion durch Wasser ein grosses Problem in der Region darstellt und dass die Integration dieser Funktion in vorliegende Untersuchungen notwendig war. Unter Zugrundelegen des Nutzungsjahres 1996 (Variante/Szenario 1) ergeben sich besonders in den Regionen rund um den Weidenbach (Hanglagen) sowie im Süden des Untersuchungsraumes Problemflächen mit hoher Erosionsdisposition (Abb. 8). In diesen Gebieten erweisen sich Massnahmen der Landschaftsgestaltung für den Erosionsschutz am effektivsten. Für die Varianten 1 bis 3 ergibt sich die folgende Verteilung der Bewertungsklassen (Tab. 18).

Tab. 18: Flächenanteile der einzelnen Bewertungsklassen für die Varianten 1 bis 3

Bewertungs- klasse	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
	Anteil in ha	Anteil in %	Anteil in ha	Anteil in %	Anteil in ha	Anteil in %
1	20,8	0,5	2015,1	47,5	1,6	0,1
2	891,7	21,0	1388,0	32,7	19,3	0,5
3	1985,0	46,8	154,1	3,6	183,4	4,3
4	387,0	9,2	52,8	1,3	708,2	16,7
5	335,8	7,9	10,3	0,3	2707,8	63,8
n. bewertet	619,6	14,6	619,6	14,6	619,6	14,6

Für die Varianten 1 bis 3 ergeben sich folgende durchschnittliche Bewertungsklassen:

Variante 1: 3,03

Variante 2: 1,52

Variante 3: 4,69.

Gerundet sind diese Werte mit der Gesamtbewertung in Tab. 17 (dort Spalte 4) identisch.

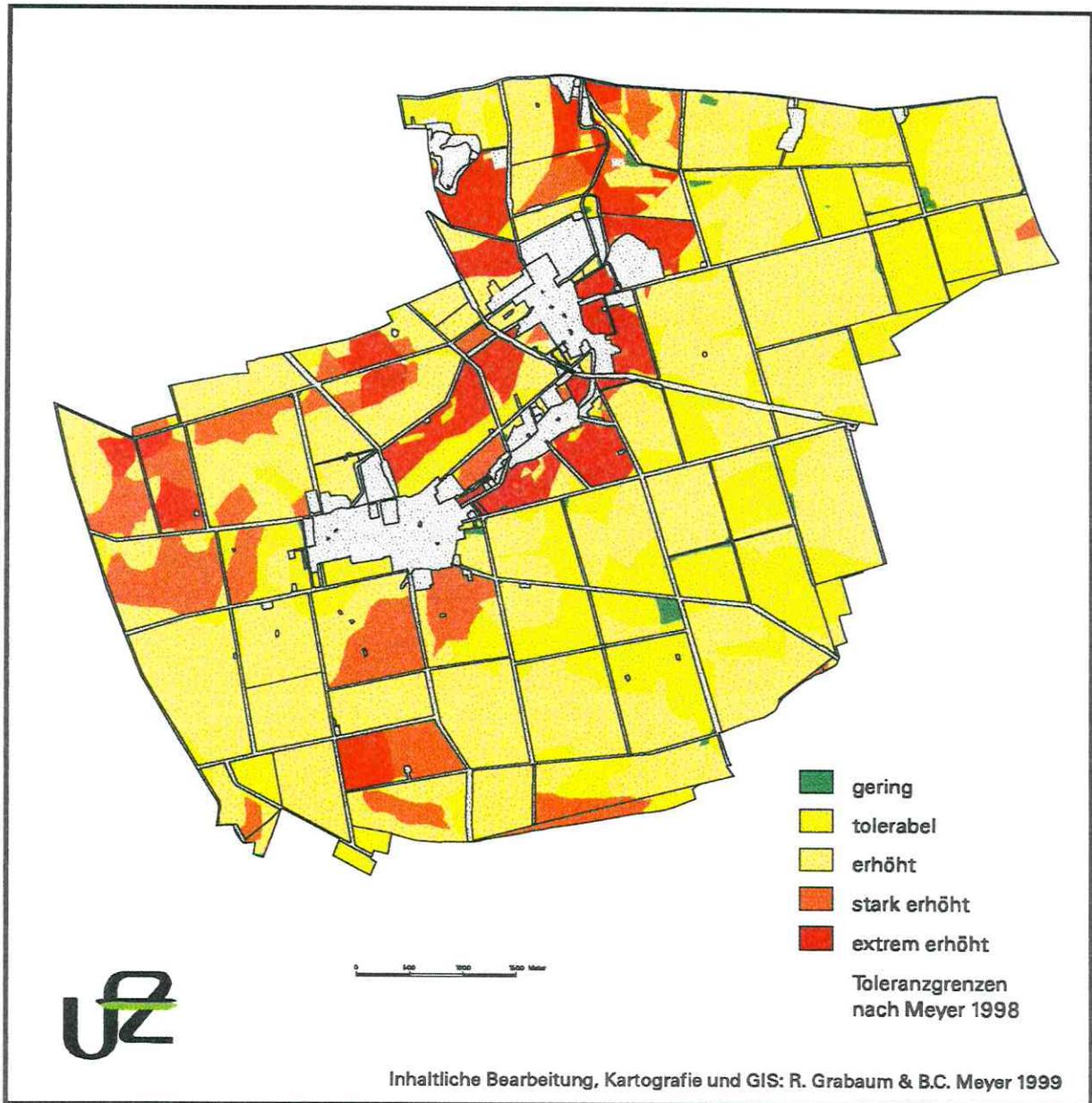


Abb. 8: Potentieller Bodenabtrag durch Wassererosion im Untersuchungsraum

5.2 Bewertung der Bodenerosion durch Wind

Mit dieser Funktion wird die Gefährdung der Landschaft beschrieben, die bei einem auftretenden Windereignis als Abtrag des Oberbodens (Verwehung) auftreten kann. Im Gegensatz zur Wassererosion sind hier keine praktikablen, für den Untersuchungsraum angepassten quantitativen Verfahren bekannt. Das liegt an einem fehlenden Äquivalent zum R-Faktor, welches den langjährigen regionalen Windeinfluss beschreibt. Zur Funktion „Winderosion“ gibt es zwar Ergebnisse im Untersuchungsraum, die im Rahmen eines Projektes am UFZ

durchgeführt wurden (WESCHCKE 1994). Die Feldmessungen liessen keine signifikante Erosionsgefährdung erkennen, was den Beobachtungen der Praktiker vor Ort widerspricht. Die Untersuchungen erstreckten sich jedoch nur über einen Zeitraum von 2 Jahren, in denen kein bedeutendes Windereignis auftrat. Daran wird deutlich, dass derartige Messungen langfristiger angelegt sein müssten, um zu eindeutigen Ergebnissen zu kommen. Nach Angaben aus der Praxis treten im Untersuchungsraum starke Windereignisse, begleitet von signifikanter Bodenerosion, etwa alle 7 Jahre auf.

Von den Verfassern wurde zunächst das Verfahren von MARKS et al. (1989) gewählt, wobei die Winderosionsgefährdung im wesentlichen durch die Bodeneigenschaften bestimmt wird. Hierzu sind Informationen über Bodenart und ökologischen Feuchtegrad notwendig.

Die Ermittlung des ökologischen Feuchtegrades (Tab. 19) erfolgte über die Ermittlung der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes nach HENNINGS (1994, S. 176 ff) und einer Parallelisierung der Klassen an diejenigen des ökologischen Feuchtegrades nach LESER et al. (1988).

Tab. 19: Einschätzung des ökologischen Feuchtegrades auf Grundlage der Nutzbaren Feldkapazität (NFK)

NFK des effektiven Wurzelraumes	Bewertungsklasse nach HENNINGS (1994)	Bodenkundliche Feuchtestufe nach HENNINGS (1994)	Klassen des ökologischen Feuchtegrades nach LESER et al. (1988)
> 200	5	5 (mittel frisch)	IV
140 - 200	4	4 (schwach frisch)	IV
90 - 140	3	3 (schwach trocken)	III
50 - 90	2	2 (mittel trocken)	II
< 50	1	1 (stark trocken)	I

Es ist dabei zu beachten, dass diese Einschätzung nicht für Gleye, Pseudogleye sowie Hoch- und Niedermoorböden gilt. Derartige Böden sind allerdings nicht im Untersuchungsraum zu finden.

Bei Anwendung der Bewertungsvorschrift erhält man folgende Einschätzungen für die Böden im Untersuchungsraum (Tab. 20).

Tab. 20: Bewertung der potentiellen Bodenerosionsgefährdung durch Wind nach MARKS et al. (1989)

Bodenart	Klasse	Anteil (in ha)	Anteil (in %)	Bodenk. Feuchtestufe	Bewertungsklasse Erosionswiderstand	Bodenerosionsanfälligkeit
Lehmiger Sand	IS	0,9	0,0	3	3 (mittel)	gering
Stark Lehmiger Sand	SL	3,5	0,1	4	2 (gross)	sehr gering
Sandiger Lehm	sL	117,1	2,8	4	2	sehr gering
Lehm	L	3979,5	93,9	5	2	sehr gering
Schwerer Lehm	LT	4,2	0,1	4	2	sehr gering
keine Angaben	NU	134,6	3,1	k.A.	k.A.	k.A.

Für alle in die Hauptbodenarten Lehm, Ton und Schluff unterteilten Böden ergibt sich damit eine Winderosionsgefährdung der Bewertungsklasse 2 (sehr geringe Gefährdung). Für die mehr sandigen Böden der Bodenart 'Lehmiger Sand' ergibt sich (unabhängig vom Humusgehalt) eine geringe Gefährdung (Klasse 3). Dies betrifft jedoch nur 0,02 % der Fläche des Untersuchungsraumes. Da diese Gebiete nicht direkt in der offenen Landschaft liegen, spielen sie keine Rolle für Winderosion. Die Gefährdung der offenen Landschaft dagegen erhöht sich bei längerer Trockenheit.

Da das Verfahren nicht ausreichend differenziert und allgemein eine nur sehr geringe Gefährdung angibt, ist die Verwendbarkeit für den Untersuchungsraum in Frage zu stellen. Daher wurde der Ansatz von SMITH et al. (1992) zur Bewertung der Winderosion geprüft. Die Autoren berücksichtigen die Landnutzung bei der Bestimmung der potentiellen Erosionsgefährdung durch Wind. Diese kann durch Gehölzstreifen oder Hecken gemindert werden; es wird angenommen, dass durch diese Art von Puffern der Wind gebremst wird. Dabei wird eine Fläche als „geschützt“ bezeichnet, die in der Länge dem 10-fachen der Pufferhöhe entspricht. Zur Bewertung wurden die in Tab. 21 aufgeführten Puffergrößen verwendet. Die Puffergrößen wurden anhand der Baumhöhe und der Geschlossenheit der Baumreihen oder Hecken eingeschätzt.

Tab. 21: Puffergrössen der Landschaftselemente zur Bewertung der potentiellen Winderosionsgefährdung der Biotoptypen im Untersuchungsraum

Element	Puffergrösse in m
Baumreihe lückig Obstbäume	50
Baumreihe lückig Laubbäume	75
Baumreihe geschlossen Obstbäume	100
Baumreihe geschlossen Laubbäume	150
Baumreihe 2-reihig geschlossen Laubbäume	150
Gehölzreihe nicht standortgerecht (niedrig)	50
Hecke lückig mit Bäumen	75
Hecke geschlossen mit Bäumen	150
Hecke lückig ohne Bäume (niedrig)	25
Hecke geschlossen ohne Bäume	50
Einzelbaum Obstbaum	50
Einzelbaum Laubbaum	100
Gebüsch mit Bäumen	100
Gebüsch ohne Bäume	50
Streuobstwiese	100
bebauter Bereich gesamt	100

Die Pufferwirkung beruht auf folgenden Modellannahmen:

1. Lineare Elemente bremsen den Wind ab.
2. Es wird angenommen, dass alle Windrichtungen gleichwahrscheinlich sind (Puffer werden nach allen Richtungen gelegt).
3. Die Bestandshöhen der Biotoptypen wurden geschätzt. Es wurden einheitliche Höhenwerte für die einzelnen Elementeklassen gewählt.
4. Es gibt keine Differenzierung der Wirkung innerhalb der Pufferflächen, d.h. dort wird Winderosion als nicht gegeben angenommen.

Die unter obigen Annahmen durchgeführte Bewertung erlaubt die Einschätzung in zwei Klassen: „nicht gefährdet“ oder „gefährdet“ (Tab. 22). Alle Flächen innerhalb der Puffer erhalten die Bewertung ‘nicht gefährdet’ (Klasse 1), alle Flächen ausserhalb die Bewertung ‘gefährdet’ (Klasse 2).

Aufgrund der Offenheit der Landschaft und der geringen Strukturen ist eine relativ grosse Fläche potentiell winderosionsgefährdet (Abb. 9).

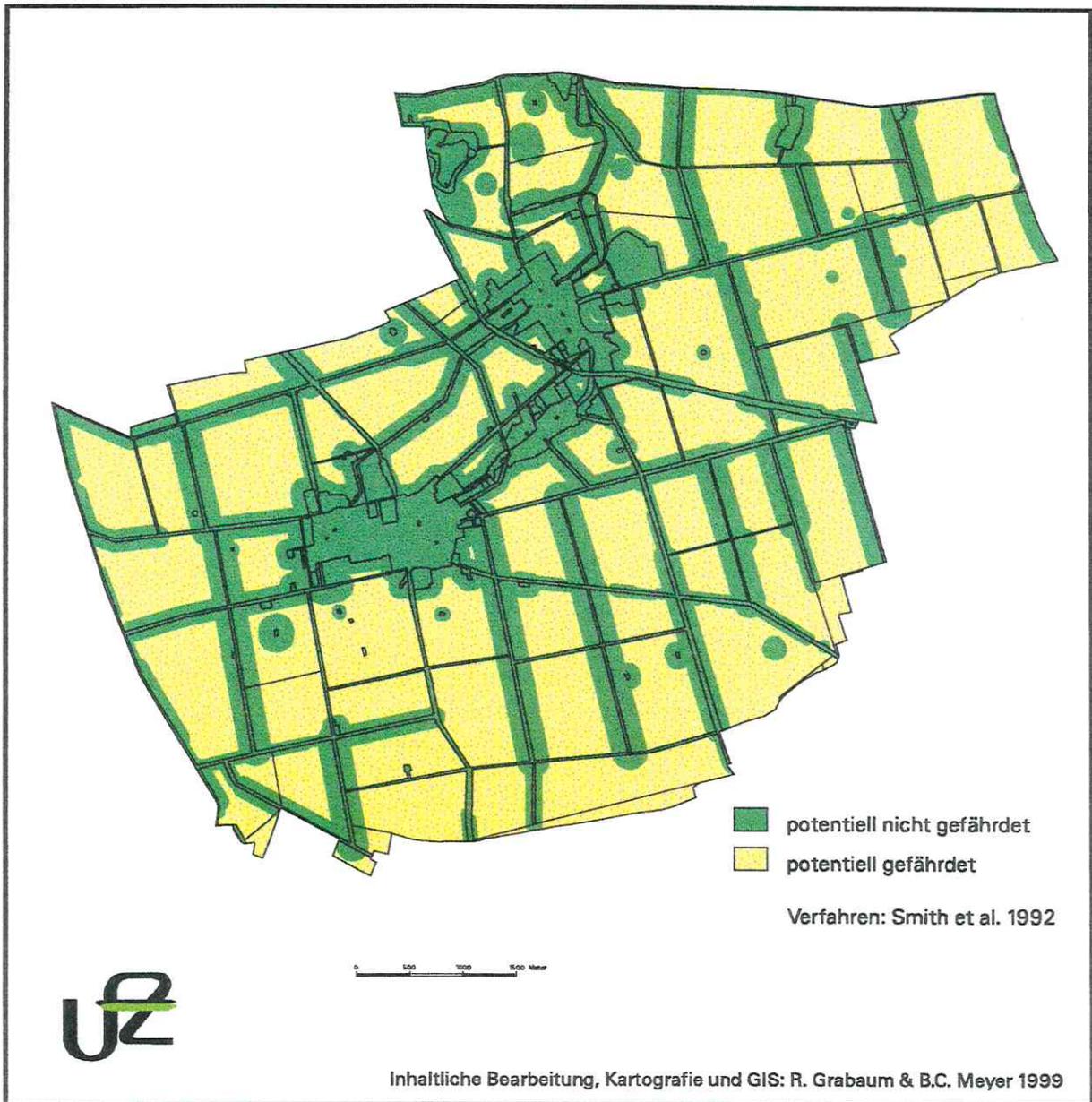


Abb. 9: Potentiell winderosionsgefährdete Flächen im Untersuchungsraum

Tab. 22: Winderosionsbewertung der Flächen im Untersuchungsraum

Erosionsbewertung	Fläche (in ha)	% von Gesamtfläche	Ackerfläche (in ha)	% von Ackerfläche
1 - nicht gefährdet	1918,8	45,25	1332,6	36,5
2 - gefährdet	2321,2	54,75	2320,9	63,5

5.3 Bewertung der Grundwasserneubildung

Zur Bewertung der (quantitativen) Grundwasserneubildung wurde das Verfahren von RENGER & STREBEL (1980) auf Anwendbarkeit geprüft. Für die vorgeschlagenen Regressionsgleichungen werden Niederschlagsdaten, die nutzbare Feldkapazität des Bodens und die Haude-Verdunstung benötigt. Da für den Niederschlag zwei unterschiedliche Datengrundlagen zur Verfügung standen, wurde für beide Varianten die Grundwasserneubildung vergleichend bewertet. Ein vollständiges Datenschema für das Bewertungsverfahren findet man bei MEYER (1997a).

Folgende **Niederschlagsdaten** stehen als Grundlage zur Verfügung:

- Daten auf Quadratkilometerraster-Basis nach MÜLLER-WESTERMEIER (1995): 511 - 566 mm (Einbeziehung der Höhenlage)
- Daten des agrarmeteorologischen Dienstes, Station Querfurt, 489 mm mittlerer jährlicher Niederschlag (MEYER 1997a)

Die **Nutzbare Feldkapazität (NFK)** wurde aus der Bodenart abgeleitet (LESER et al. 1988). Die Ableitung inklusive der Parallelisierung der Bodenarten (MEYER 1997a) ist in Tab. 23 dargestellt.

Tab. 23: Parallelisierung der Bodenarten in bezug auf die nutzbare Feldkapazität und Bewertung

Bodenart	Klasse nach Reichsbodenschätzung	Klasse der ökol. ähnl. Bodenarten (Leser et al. 1988)	Durchschn. Klasse der ökol. ähnl. Bodenarten	Klasse der NFK (Leser et al. 1988)	Durchschn. Klasse der NFK	NFK in mm Niederschlag (Leser et al. 1988)	Bewertung NFK nach Marks et al. (1989, inkl. Korrektur)
Lehmiger Sand	IS	5-6	6	2-3	2,5	140	3,5
Stark Lehmiger Sand	SL	4-5	5	2-3	2,5	140	3,5
Sandiger Lehm	sL	3-4	4	2	2	170	3
Lehm	L	2-3	3	1-2	1,5	200	3,5
Schwerer Lehm	LT	2	2	2-3	2,5	140	3,5

Die Korrektur der Werte der Nutzbaren Feldkapazität nach LESER et al. (1988) ergibt einerseits eine Erhöhung der Klasse der Nutzbaren Feldkapazität um 1 aufgrund des hohen Humusgehaltes der Böden, andererseits eine Reduzierung um eine Klasse aufgrund der vorhandenen Bodenverdichtung.

Die **Haude-Verdunstung (EH)** beträgt nach DAMMAN (1965) für den Untersuchungsraum ca. 515 mm. Dieser Wert wurde aus einer Karte sowie aus Tabellen abgelesen.

Die Grundwasserneubildung (V) wurde durch folgende Regressionsgleichungen, getrennt nach Acker und Grünland, ermittelt:

a) Acker: $V = 0,58 * N - 220,3 * \ln(NFK) - 0,20 * (EH) + 400$

b) Grünland $V = 0,54 * N - 130,4 * \ln(NFK) - 0,341 * (EH) + 310,7$

N= Niederschlag, NFK= Nutzbare Feldkapazität, EH= Haude-Verdunstung

Der Gültigkeitsbereich dieser Gleichungen ist wie folgt eingeschränkt:

Gleichung a) für Acker: Gebiet liegt innerhalb des Gültigkeitsbereiches:

N: 400 - 800 mm;

NFK: 70 - 230 mm;

EH: 500 - 750 mm/Jahr

Gleichung b) für Grünland: Gebiet liegt teilweise ausserhalb des Gültigkeitsbereiches:

N: 500 - 800 mm

NFK: 60 - 180 mm

EH: 550 - 750 mm/Jahr

Die Verwendung der Gleichung für Grünland ist also nicht möglich, da die Haude-Verdunstung niedriger ist als im Gültigkeitsbereich angegeben. In die Gleichungen wurden verschiedene Niederschlagsdaten einbezogen, wodurch gezeigt werden kann, dass die Grundwasserneubildung nicht ausreichend differenziert errechnet werden kann, um als Optimierungsbestandteil sinnvoll genutzt werden zu können.

1. Berechnung nach Niederschlagsdaten von MÜLLER-WESTERMEIER (1995)

Unter Zugrundelegen der rasterbasierten Niederschlagswerte nach MÜLLER-WESTERMEIER (1995) wurden folgende Werte für die Grundwasserneubildung ermittelt:

Maximale Grundwasserneubildung:	148 mm
Minimale Grundwasserneubildung:	86 mm
Mittlere Grundwasserneubildung:	100 mm
Bewertung:	
geringe Grundwasserneubildung (100-180 mm):	1492,5 ha (35,2 %)
sehr geringe Grundwasserneubildung (unter 100mm):	2612,8 ha (61,6 %)

2. Berechnung nach Niederschlagsdaten der Agrarmeteorologischen Station Querfurt

Unter Zugrundelegen des einheitlichen Niederschlagswerte der Wetterstation Querfurt wurden folgende Werte für die Grundwasserneubildung ermittelt:

Maximale Grundwasserneubildung:	108 mm
Minimale Grundwasserneubildung:	74 mm
Mittlere Grundwasserneubildung:	75 mm
Bewertung:	
geringe Grundwasserneubildung (100-180 mm):	8,6 ha (0,2 %)
sehr geringe Grundwasserneubildung (unter 100mm):	4096,7 ha (96,6 %)

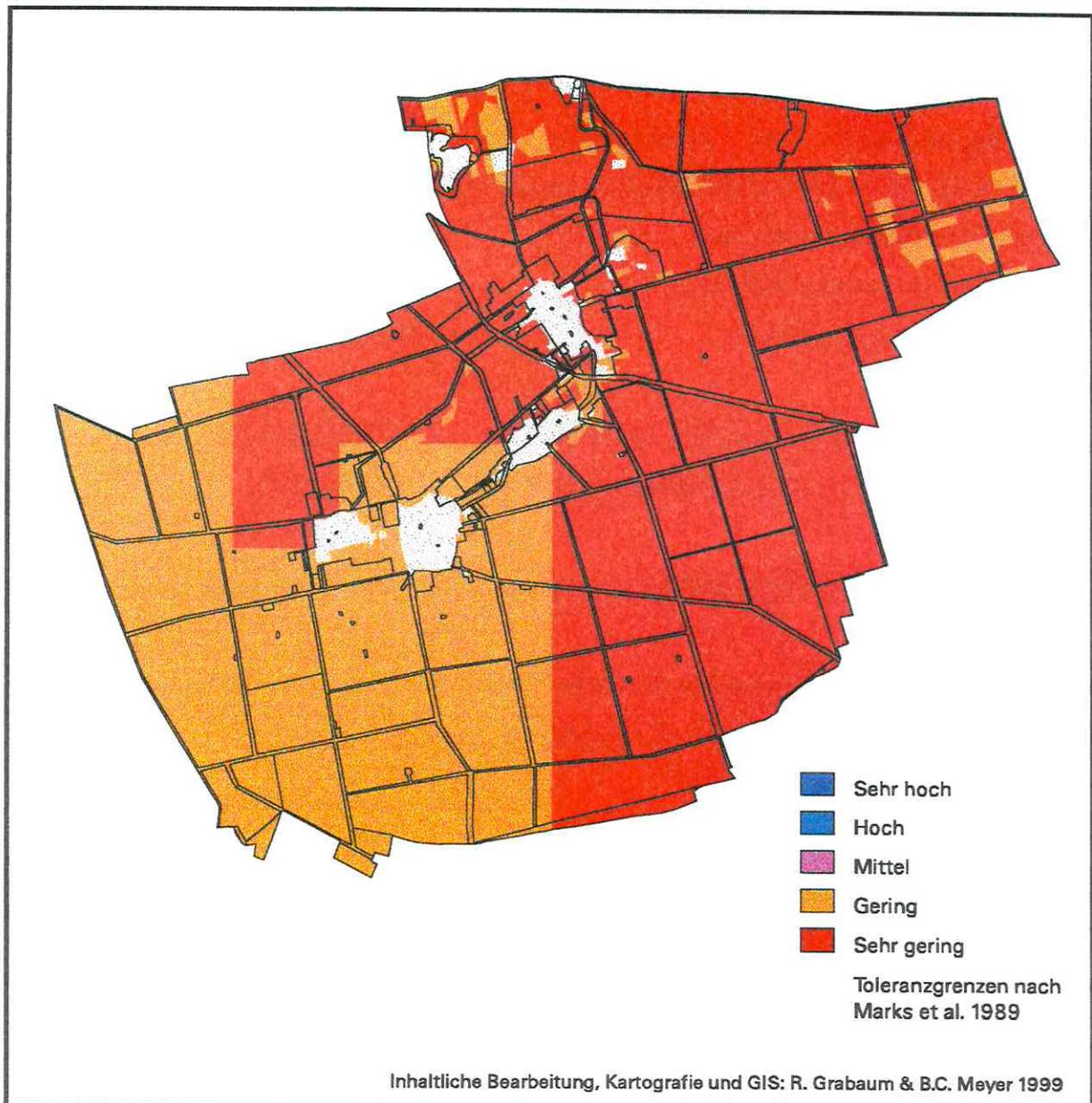


Abb. 10: Grundwasserneubildung im Untersuchungsraum

Die Grundwasserneubildung kann als sehr gering eingeschätzt werden. Legt man die vom Agrarmeteorologischen Dienst in Querfurt ermittelten Niederschläge zugrunde, gilt dies für den gesamten Untersuchungsraum. Bei Berücksichtigung der Niederschlagswerte nach MÜLLER-WESTERMEIER (1995) zeigt sich eine leicht höhere Grundwasserneubildung im südwestlichen Teil des Testgebietes (Abb. 10). Untersuchungen mit dem Modell CANDY (FRANKO et al. 1995) ergaben eine Grundwasserneubildungsrate von unter 100 mm für das gesamte Testgebiet. Dabei wurde ein Klimagenerator verwendet.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass das Verfahren für den Untersuchungsraum keine ausreichende Differenzierung der Bewertung der Grundwasserneubildungsfunktion zulässt. Diese Funktion wird daher im weiteren nicht mehr betrachtet, weil sie keine valide begründbaren Ziele für die Ableitung von Landnutzungsoptionen bereitstellt. An diesem Beispiel soll demonstriert werden, dass die Auswahl der Funktionen für die Optimierung sehr sorgfältig erfolgen muss. Bei Auswahl einer derartigen Funktion würde diese ein bestimmtes Gewicht in der Optimierung erhalten. Das bedeutet eine Reduzierung der Gewichte der übrigen Funktionen, die sich in den Landnutzungsoptionen nachteilig widerspiegelt. (Es würden „Pseudo“-Konfliktflächen ausgewiesen und für eine Landnutzungsänderung vorgeschlagen werden.)

5.4 *Bewertung der Abflussregulation (Retentionsvermögen)*

Das Retentionsvermögen beschreibt das Vermögen einer Fläche, den Direktabfluss, (den Anteil des Niederschlages, der nach einem Niederschlagsereignis mit nur geringer zeitlicher Verzögerung dem Vorfluter zugeführt wird) zu verringern und damit zu ausgeglicheneren Abflussverhältnissen beizutragen. Eine Minderung des Direktabflusses wirkt daher dämpfend auf Hochwasserereignisse.

Zur Bewertung der Abflussregulationsfunktion wird ein Punktverfahren nach MARKS et al. (1989) verwendet. Dazu sind Informationen über Bodenbedeckung, Hangneigung sowie nutzbare Feldkapazität und Infiltrationsvermögen des Bodens notwendig. Die auf diesen Datenebenen ermittelten Bewertungspunkte werden zur Gesamtbewertung addiert.

Die **Bodenbedeckung** wird aus der Landnutzung ermittelt. Dazu wurden die Biotoptypenkartierung von MEYER (1997b) sowie die angebauten Fruchtarten im Jahr 1996 (BÖNING 1997) verwendet. Die Bewertung der Bodenbedeckung (Tab.24) erfolgte analog der Einteilung nach MARKS et al. (1989). Dabei wird den Gewässern ein sehr hoher Punktwert zugeordnet, der versiegelten Fläche dagegen ein negativer Wert. Damit gewährleistet man, dass bei der Addition der Faktoren Gewässer jeweils in die höchste Bewertungsklasse der Retentionsbewertung, versiegelte Flächen dagegen in die niedrigste Bewertungsklasse kommen. Ansonsten sind die Bewertungspunkte von 1 bis 5 gestaffelt, wobei 1 einen geringen Beitrag zum

Retentionsvermögen bedeutet, 5 einen entsprechend hohen Beitrag. (Wenn die Fläche offen ist, wird mehr Wasser abfließen.)

Tab. 24: Bewertungspunkte der Bodenbedeckung

Landnutzung	Bewertungs- punkte	Anteil 1996 (ha)	Anteil 1996 (%)
Acker (überwiegend Hackfrüchte, Mais)	1	897,1	21,2
Acker (überwiegend Getreide)	2	2756,3	65,0
Dauergrünland, Brachen, Futtergrass	3	10,7	0,3
Buschwerk, Hecken, Obstwiesen,	4	40,6	0,9
Gewässer	20	29,8	0,7
betonierte, asphaltierte, überbaute Flächen	-9	505,3	11,9

Ein hoher Anteil von Hackfrüchten in der Ackernutzung verschlechtert wegen späten Bestandsschlusses im Frühjahr das Retentionsvermögen der Landschaft. Für die in Kap. 4.4 beschriebenen Fruchtfolgenzenarien ergeben sich folgende durchschnittliche Einschätzungen:

Fruchtfolgenzenario 1 (Realszenario):	2	(höhere Bodenbedeckung in der Vegetationsperiode)
Fruchtfolgenzenario 2 (Getreideszenario):	2	
Fruchtfolgenzenario 3 (Fruchtartendiversität):	1	(geringere Bodenbedeckung in der Vegetationsperiode)

Für die **Hangneigungsklassen** erfolgte eine weniger differenzierte Einstufung als bei der Erosionsbewertung (s. Tab. 3). Die Bewertung (Tab. 25) erfolgte nach MARKS et al. (1989).

Tab. 25: Einschätzung der Hangneigung für die Bewertung der Abflussregulation

Hangneigung	Anteil (ha)	Anteil (%)	Bewertungs- punkte
0° - 2°	3903,1	92,1	5
2° - 7°	328,6	7,7	4
7° - 15°	8,2	0,2	3

Die **Bewertung der Nutzbaren Feldkapazität (NFK)** wurde bereits in Tab. 23, letzte Spalte (Kap. 5.3) dargestellt und wird für die Berechnung der Grundwasserneubildung übernommen.

Die **Infiltrationskapazität** (das Vermögen eines Bodens, Versickerung zuzulassen) wird über die Ersatzgrösse Bodenart des oberen mineralischen Bodenhorizonts oder des organischen Auflagenhorizonts ermittelt (Tab. 26). Auch hier wurde eine Skala von 1 (sehr gering) bis 5 (sehr hoch) zugrundegelegt, nach der eine Einschätzung der Bodenarten erfolgte. Diese Einschätzungen gehen wieder als Bewertungspunkte in das Gesamtverfahren ein.

Tab. 26: Ableitung der Infiltrationskapazität aus der Bodenart

Bodenart	Bewertungspunkte der Infiltrations- kapazität
Sand	5
Anlehmiger Sand	4
Lehmiger Sand	4
Stark Lehmiger Sand	4
Sandiger Lehm	3
Lehm	3
Schwerer Lehm	2
Ton	1
Moor	5

Damit ergeben sich für den Untersuchungsraum folgende Flächenanteile unterschiedlicher Infiltrationskapazität (Tab. 27).

Tab. 27: Flächenanteile unterschiedlicher Infiltrationskapazität

Bewertungspunkte	Anteil (ha)	Anteil (%)
4	4,4	0,1
3	4103,9	96,8
2	4,2	0,1
0 (nicht bewertet)	127,3	3,0

Die Abflussregulation wird durch Addition der Bewertungspunkte aus den vier Grunddatenebenen bestimmt (Tab. 28), wobei eine Einschätzung nach den aus den Tabellen 23, 24, 25 und 27 sich ergebenden Punktschümmen erfolgt.

Tab. 28: Bestimmung und Einschätzung der Abflussregulation

Bewertungsklasse	Punktsumme	Einschätzung
1	≥ 18	sehr hoch
2	14 - 17	hoch
3	10 - 13	mittel
4	7 - 9	gering
5	≤ 6	sehr gering

Die Flächenanteile der Fruchtfolgeszenarien 1 bis 3 in den Bewertungsklassen sind in Tab. 29 dargestellt.

Tab. 29: Flächenanteile der Fruchtfolgeszenarien 1 bis 3 in den Bewertungsklassen 1 bis 5 (Abflussregulation)

Bewertungs- klasse	Flächenanteile (in ha) Fruchtfolgeszenario 1	Flächenanteile (in ha) Fruchtfolgeszenario 2	Flächenanteile (in ha) Fruchtfolgeszenario 3
1	29,8	29,8	29,8
2	3476,6	3476,6	70,0
3	225,9	225,9	3632,5
4	2,3	2,3	2,3
5	505,3	505,3	505,3

Da in den Fruchtfolgeszenarien 1 und 2 nur der Faktor „Bodenbedeckung“ nach Halm - oder Blattfrucht variiert wurde, gibt es in Bezug auf die Abflussregulation keinen Unterschied zwischen diesen Szenarien (Abb. 11). Das Szenario 3 wird dagegen schlechter beurteilt, da der Anteil an Hackfrüchten grösser ist. Bei aktueller Nutzung kann das Retentionsvermögen im größten Teil des Untersuchungsraumes als hoch eingestuft werden. Verbesserungen sind nur noch durch Änderung der Landnutzung in Wald, Hecken und Grünland zu erreichen. Des Weiteren ist durch die Anwendung pflugloser Bodenbewirtschaftung und von Mulchverfahren die Verbesserung der Wasserrückhaltung möglich.

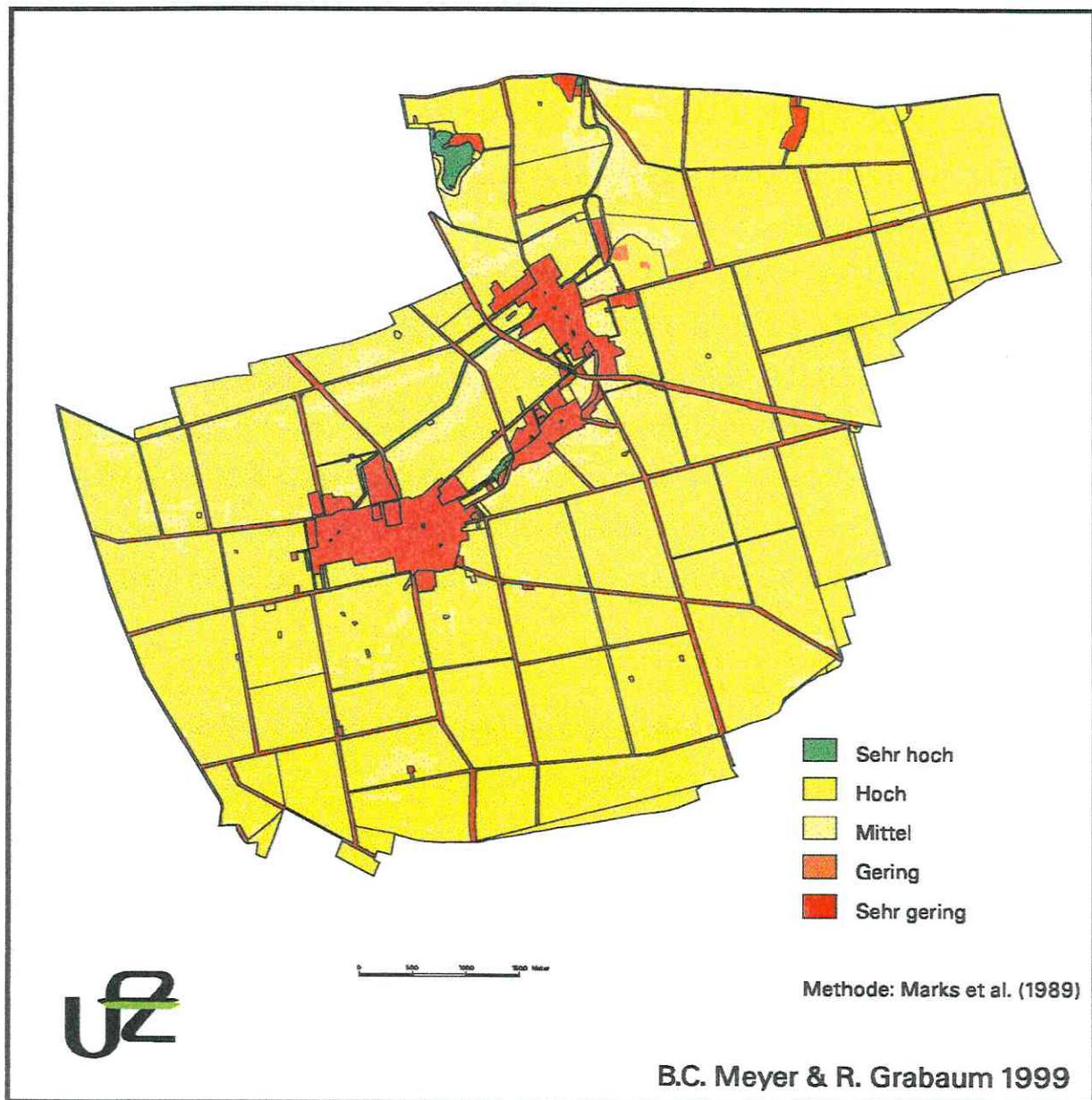


Abb. 11: Retentionsvermögen der Landschaft im Untersuchungsraum

5.5. *Einschätzung der Produktionsfunktion*

Die Produktionsfunktion 'Ackerbauliche Nutzung' gibt Auskunft über das Vermögen der Landschaft, dem Bewirtschafter einen bestimmten ökonomisch nutzbaren Ertrag zu sichern. Zur Einschätzung der Produktionsfunktion 'Ackerbauliche Nutzung' wurden die theoretischen Bodenzahlen nach dem Ackerschätzrahmen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1984) verwendet. Diese sind direkt aus den Informationen der Reichsbodenschätzung (Bodenart, Zustandsstufe, geologische Entstehung) ableitbar. Die Bodenzahl ist eine relative

Bewertungszahl der Ertragsleistung von Böden, die mit dem ertragreichsten Boden in Deutschland verglichen werden.

Die Darstellung der Produktionsfunktion über Bodenzahlen wird wegen der einseitigen Bodenorientierung häufig kritisiert. Es wurde daher nach anderen Bewertungsmöglichkeiten gesucht. Die bei MARKS et al. (1989) angegebene Funktion „Biotisches Ertragspotential“, welche erstmals bei HAASE et al. (1991) definiert wurde, erfordert genauere Bodendaten (Staunässegrad, Gründigkeit, Skelettgehalt), die für das Untersuchungsgebiet ebensowenig differenziert vorliegen wie die Wasserversorgung der Ökotope oder die Frostgefährdung. Eine Funktion über Biomassezuwachs zu definieren ist aufgrund der sich ständig ändernden angebauten Fruchtarten ebensowenig praktikabel. Damit erweist sich die allgemeinere Funktion Bodenzahl in diesem Rahmen als sinnvoller, nicht zuletzt deshalb, weil die Landwirte den Wert ihrer Böden gut kennen.

Für das Testgebiet konnten folgende Bodenzahlen ermittelt und in die entsprechenden Bodenzahlklassen eingeordnet werden (Tab. 30 und Abb. 20).

Tab. 30: Bodenzahlen und Flächenanteile im Untersuchungsraum

Bodenzahlen	Bodenzahl- klasse	Fläche in ha	Fläche in %
0 -20	1	0,0	0,0
21-30	2	5,6	0,1
31-40	3	8,5	0,2
41-50	4	16,0	0,4
51-60	5	43,0	1,0
61-70	6	249,1	5,9
71-80	7	301,1	7,1
81-90	8	1362,9	32,1
91-100	9	1722,9	40,6
keine Angaben	-	530,9	12,6

Die durchschnittliche Bodenzahl im Untersuchungsraum beträgt 88. Damit ist der Untersuchungsraum einer der Gunststandorte in Deutschland für landwirtschaftliche Produktion, woraus sich seine Vorrangfunktion für Landwirtschaft (Landesentwicklungsplan SACHSEN-ANHALT 1999) ableiten sollte.

5.6. Zusammenfassung

Nicht alle Funktionen lassen sich mit den bekannten Methoden im Untersuchungsraum bewerten. Eine Ursache stellt die Homogenität des Raumes dar, die sich in der Flächennutzung, den Bodenarten und dem Relief widerspiegelt. Eine weitere Ursache ist der geringe Niederschlag. Wie jedoch bereits in der Einleitung dargelegt, wurde bewusst eine ausgeräumte Agrarlandschaft mit diesen Eigenschaften für die Untersuchung ausgewählt, um daran die Praktikabilität der Einschätzung verschiedener Landschaftsfunktionen zu testen.

Alle bewerteten Funktionen sind kartographisch dargestellt. Bei Überlagerung der unterschiedlichen Bewertungen ergeben sich Konfliktflächen. Dabei gibt es auch Flächen, in denen mehr als ein Konflikt lokalisiert werden kann. Zur Lösung derartiger Konflikte wird die Landschaftsoptimierung herangezogen und an den Szenarien beispielhaft dargestellt. Dafür wurden funktions- und nutzungsbezogene Szenarien definiert (s. Kap. 4.4).

Von den bewerteten Funktionen werden die Wassererosion, das Retentionsvermögen und die Produktion in die Optimierung einbezogen (Tab. 31). Eine Einbeziehung der Funktion Winderosion in die Optimierung ist nicht sinnvoll, da die Optimierung die Streifen rund um die Baumreihen von einer Änderung ausschliessen und nur ausserhalb dieser Puffer Landnutzungsänderungen zulassen würde. Sie wird daher nach der Optimierung für eine Neubewertung der Ergebnisse herangezogen.

Tab. 31 gibt eine Übersicht über die anwendbaren Verfahren und deren Eignung im Untersuchungsraum. Aus der Anwendbarkeit konnte auch auf die Einbeziehung in die Landschaftsoptimierung geschlossen werden (Spalten 3 und 4).

Tab. 31: Anwendbarkeit von Verfahren der geoökologischen Bewertung im Untersuchungsraum

Funktion	Methode	im Untersuchungsraum anwendbar	Funktion für die Landschafts- optimierung	Kommentar
Wassererosion	ABAG	ja	ja	
Winderosion	Verfahren nach MARKS et al. (1989)	nein	nein	Verfahren zu grob, da grosse Bodenhomogenität
Winderosion	Verfahren nach SMITH et al. (1992)	bedingt	nein	anwendbar unter bestimmten Annahmen zu Windrichtung und Landschaftselementen
Grundwasserneubildung	Verfahren nach RENGER & STREBEL (1980)	nein	nein	<ul style="list-style-type: none"> • Gleichungen teilweise ausserhalb des Geltungsbereiches • Verfahren differenziert nicht wegen geringer Niederschläge und Bodenhomogenität
Retentionsvermögen	Verfahren nach MARKS et al. (1989)	ja	ja	
Produktionsfunktion	Bodenwertzahlen	ja	ja	
Produktionsfunktion	Biotisches Ertragspotential nach MARKS et al. (1989)	bedingt	nein	fehlende Datengrundlagen, vom Praktiker schwer nachvollziehbar

6. Ergebnisse der Landschaftsbewertung und -optimierung in den Szenarien

6.1. Optimierungsziele und Restriktionen für die Naturschutzszenarien

Nachdem im Untersuchungsraum umfangreiche Bewertungen geoökologischer Funktionen durchgeführt wurden und damit eine Einschätzung über die Erfüllung des vorläufigen Leitbildes getroffen werden kann, ist zur Ermittlung von Landnutzungsoptionen für die Naturschutzszenarien eine multikriterielle Optimierung notwendig.

6.1.1. Optimierungsziele und präzisiertes Leitbild

Die Landschaftsoptimierung orientiert sich an wichtigen flächenbezogenen Zielen, für die deshalb (geoökologische) Bewertungen abgeleitet wurden. Dabei wird eine Sicherung oder Verbesserung der Wirksamkeit der (geoökologischen) Funktionen angestrebt, wie im präzisierten Leitbild gefordert wird. Dieses Leitbild kann für den Untersuchungsraum wie folgt definiert werden:

Der Untersuchungsraum soll den Charakter einer offenen Agrarlandschaft bei weitgehendem Bodenschutz, Erhöhung des Retentionsvermögens des Bodens und Beibehaltung einer hohen Produktivität bewahren. Ökonomische und soziale Bedingungen sind so zu gestalten, dass sie im Einklang mit der Erhaltung bzw. Verbesserung der biotischen (Biologische Diversität) und abiotischen Ressourcen stehen und der Bevölkerung ein ausreichendes Einkommen bei hoher gesellschaftlicher Akzeptanz ihrer Tätigkeit sichern. Der Anteil an Biotopstrukturen für den Naturschutz ist zu erhöhen.

Für alle drei Naturschutzszenarien lassen sich zunächst, ausgehend vom aktuellen Zustand, in Anlehnung an MÜHLE (1998) folgende ökologisch begründete Hauptziele zur Umsetzung dieses Leitbildes formulieren:

1. Verminderung des Bodenabtrags durch Wasser als Beitrag zum Bodenschutz (Funktion 1)
2. Verbesserung des Retentionsvermögens (Funktion 2)
3. Erhaltung der Produktion auf Böden mit den höchsten Bodenzahlen (Funktion 3)
4. Verminderung des Bodenabtrags durch Wind als Beitrag zum Bodenschutz (Funktion 4)

5. Erhöhung der Landschafts- und Artendiversität
6. Schaffung von Biotopen für den Arten- und Naturschutz.

Die Ziele 5 und 6 lassen sich erreichen, wenn die Funktionen/Ziele 1 bis 3 durch eine Änderung der Landnutzung erfüllt sind. Das Ziel Winderosion wird bei der Erarbeitung des Landschaftsplanerischen Entwurfes einbezogen. Mit der Formulierung sehr konkreter, mit (normativen) Vorschlägen unteretzter Vorstellungen werden regionalspezifische Umweltqualitätsstandards definiert:

Wassererosion

Der auf den Ackerflächen im Kerngebiet stattfindende Abtrag ist insgesamt zu halbieren. Dazu sind neue Landschaftsstrukturen direkt an Flächen mit grösseren Hangneigungen sowie auf Teilflächen mit grossen Hanglängen anzusiedeln. Dieses Ziel soll für die wichtigsten Flächen durch Landnutzungsoptionen erreicht werden. Auf allen Flächen sollen bodenerosionsmindernde Bewirtschaftungsverfahren angewandt werden.

Abflussregulation

Das Retentionsvermögen soll sich auf keiner Fläche verschlechtern, sondern sogar auf 5 % der Fläche um eine Klasse verbessern. Dies soll insbesondere durch die Erhöhung des Waldanteils erreicht werden.

Insgesamt soll eine Wassererosionsminderung und Retentionsverbesserung auf den Flächen erfolgen, die auch winderosionsgefährdet sind.

Produktionsfunktion

Ziel ist die Erhaltung der Produktion auf Böden mit den höchsten Bodenzahlen. Des weiteren soll auf mindestens 50 % der Fläche mit Bodenzahl grösser als 60 auch weiterhin Ackernutzung erfolgen.

Winderosion

Insgesamt soll eine Verringerung der winderosionsgefährdeten Flächen um 10 % (ohne Puffer) erreicht werden.

Nach Einführung der Puffer ist eine Verringerung der winderosionsgefährdeten Fläche um 50% wünschenswert. (Dieses Ziel wird nicht als direktes Optimierungsziel gesehen, sondern über die Erhöhung des Grünland- bzw. Gehölz/Waldanteils erreicht. Eine Überprüfung ist erst durch Neubewertung möglich.)

6.1.2 Restriktionen

Innerhalb des Untersuchungsraumes wird zunächst der Optimierungsraum festgelegt. Grundsätzlich können alle bewerteten Flächen in die Optimierung einbezogen werden. Dies ist jedoch für bebaute Flächen, Verkehrsflächen, Gewässer, Gehölze und vorhandenes Grünland wenig sinnvoll, da diese Nutzungen bestehen bleiben sollen. Somit sind nur die bewirtschafteten Flächen in die Optimierung einzubeziehen. Ausserdem wird der Spezialfall Hopfenanbau hier aus der Optimierung ausgeklammert. Die ökologischen Probleme des Hopfenanbaus sind zwar bekannt, wurden jedoch im Rahmen dieses Verbundprojektes nicht berücksichtigt, da sie nicht regionalspezifisch sind und die Anbaufläche klein ist.

Ausgehend von den Szenarien 4 bis 6 werden folgende Flächenanteile für die Optimierung definiert (Tab. 32).

Tab. 32: Restriktionen der Elemente für die Optimierung (Anteile am Optimierungsraum)

Element	Szenario 4		Szenario 5		Szenario 6	
	Anteil in ha	Anteil in %	Anteil in ha	Anteil in %	Anteil in ha	Anteil in %
Grünland	183 - 366	5 - 10	109 - 254	3 - 7	362 - 1086	10 - 30
Gehölz/Wald	183 - 366	5 - 10	109 - 254	3 - 7	362 - 1086	10 - 30
Fläche naturnäherer Strukturen	512 - 585	14 - 16	254 - 290	7 - 8	1050 - 1122	29 - 31
Ackerfläche	3070 - 3143	84 - 86	3331 - 3367	92 - 93	2498 - 2570	69 - 71

Da im Optimierungsraum nur die Ackerfläche betrachtet wird, ist der Prozentsatz der naturschutzrelevanten Fläche bezogen auf den gesamten Untersuchungsraum etwas geringer. Da jedoch im Untersuchungsraum ca. 1 % der Fläche naturnäherer Strukturen vorhanden ist, welche nicht in die Optimierung einbezogen wird, gleicht sich dieses Defizit in etwa wieder aus.

Die Beschränkung einer Nutzung auf eine bestimmte Fläche ist für den Optimierungsraum nicht vorgesehen. Damit entfallen zusätzliche Restriktionen.

Für die drei Zielfunktionen der Optimierung existieren vollständige Bewertungsergebnisse der Elemente Acker, Grünland und Gehölz/Wald. Um für den Optimierungsraum die kleinste gemeinsame Geometrie im GIS zu erhalten, werden die Bewertungsergebnisse der Zielfunktionen als Karten miteinander verschnitten. Dabei entstehen für den Untersuchungsraum (4240 ha) 2485 Polygone, für den Optimierungsraum (3621,1 ha) 1871 Polygone. Die durch Verschneidung entstehenden Kleinstflächen im GIS bleiben unberücksichtigt, wobei 200 qm Fläche als oberer Grenzwert genommen wurde. Somit bleiben für die Optimierung 1676 Polygone, die derzeit ackerbaulich genutzt werden (3620,3 ha). Hinweis: Von der gesamten ackerbaulich genutzten Fläche (Tab. 8 in Kap. 3.4) werden aufgrund fehlender Bewertungsdaten 8 ha nicht in die Optimierungsfläche einbezogen.

6.2 *Optimierungsergebnisse*

Die Optimierung erfolgte mit dem Programm LNOPT (GRABAUM 1996), welches leicht modifiziert wurde. Dazu wurde aus dem GIS die Datenbank in Form einer DBASE-Datei exportiert und in das Programm eingelesen. Während der Optimierung werden zunächst die Maximalwerte der Funktionen 'Minderung der Wassererosion', 'Verbesserung des Retentionsvermögens' sowie 'Verbesserung der Produktionsfunktion' berechnet. Die Funktion 'Minderung der Wassererosion' ist eine Minimierungsfunktion (minimiere durch entsprechende Auswahl erosionshemmender Landschaftselemente die potentielle Erosion), die anderen beiden Funktionen sind Maximierungsfunktionen. Da im Programm alle Ziele maximiert werden, wird die Minimierungsfunktion 'Wassererosion' durch Multiplikation mit -1 in eine Maximierungsaufgabe umgewandelt ('Maximierung des Widerstandes gegen Wassererosion'). Abb. 12 zeigt einen Programmausschnitt von LNOPT bei der Berechnung der Optimalwerte.

Mit den Maximalwerten findet man die Problemflächen für die einzelnen geökologischen Funktionen und verbessert sie durch Landnutzungsänderungen. Eine Betrachtung der anderen Funktionen findet nicht statt. Deshalb ist eine Realisierung der Ergebnisse aus der Maximierung einer einzelnen Funktion auch nicht zu empfehlen.

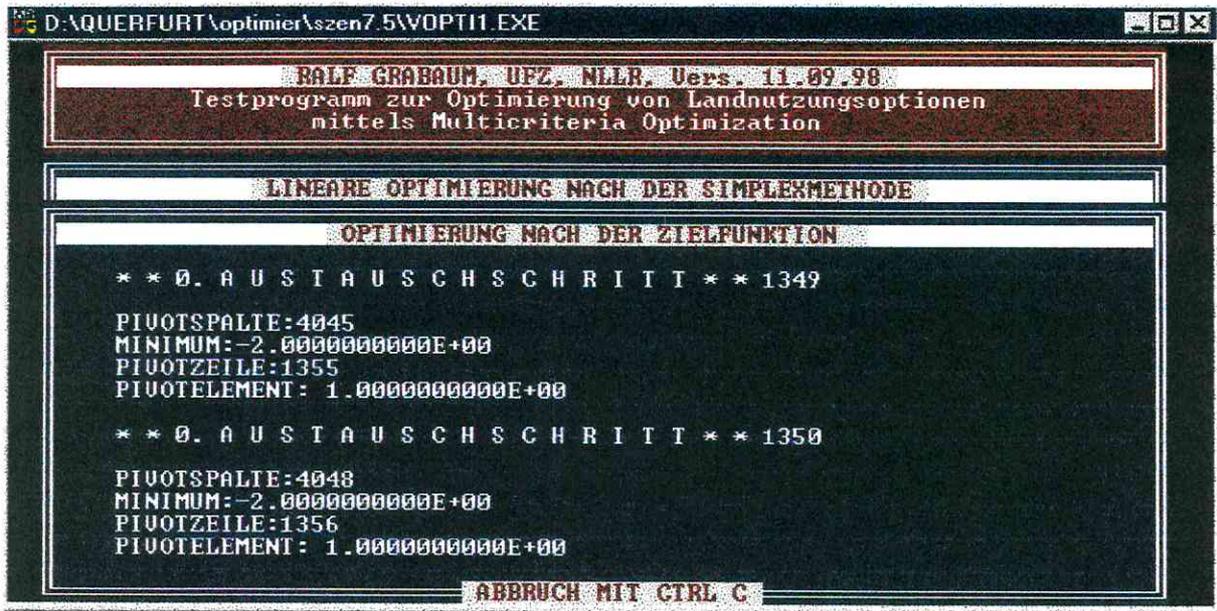


Abb. 12: Programmausschnitt von LNOPT

Daher erfolgt anschliessend die Kompromissfindung. Dafür können die einzelnen Funktionen gewichtet werden, so dass jeweils ein anderer 'optimaler' Kompromiss ermittelt werden kann (s. Kap. 4.5). Für den Optimierungsraum wurden für jedes Szenario jeweils 5 Kompromisse berechnet. Diese unterscheiden sich durch unterschiedliche Gewichtungen der einzelnen Ziele (Tab. 33). Dabei werden zunächst alle Ziele gleichgewichtet. Weitere Möglichkeiten sind die Präferenzierung von jeweils zwei Funktionen gegenüber der dritten Funktion (Kompromiss 2, 3 und 5) sowie die schrittweise Präferenzierung jeder Funktion (Kompromiss 4).

Tab. 33: Gewichtung der Funktionen in der Kompromissoptimierung

Funktion	Kompro- miss 1	Kompro- miss 2	Kompro- miss 3	Kompro- miss 4	Kompro- miss 5
Wassererosion	1	33	101	75	44
Retentionsvermögen	1	31	101	74	45
Produktionsfunktion	1	33	100	73	45

Es sieht zunächst so aus, als ob die Kompromisse 2 bis 5 zu neuartigen Lösungen führen würden. Bei der Berechnung stellte sich jedoch heraus, dass die Ergebnisse von Kompromiss 2 identisch waren mit Kompromiss 1 (Mathematisch gesehen führt die Veränderung der Gewichtung in der gewählten Form nicht zu einer neuen Ecke im Lösungsraum, d.h. zu keiner neuen Lösung. Dies ist jedoch nicht direkt aus den gewählten Gewichten ableitbar.)

Anhand der Funktionswertzahl lässt sich die Verbesserung der einzelnen Funktionen ablesen. Die Funktionswertzahl entsteht als Summe der Produkte der Flächengröße, die mit Element x belegt ist, und der zugehörigen Bewertung. Hat zum Beispiel die Fläche 1 (Abb. 4, Kap. 4.5) für eine Funktion 1 folgenden Wertevektor (Element A:3, B:2 C:2), die Fläche 2 den Wertevektor (A:5, B:1,C:1) und die Fläche 3 den Wertevektor (A:4, B:2, C:2), so ergibt sich bei der dargestellten Flächenbelegung folgender (dimensionsloser) Funktionswert Z:

$$Z = 18 * 2 + 5 * 5 + 11 * 1 + 21 * 2 = 114.$$

Mit dieser Formel lässt sich auch der Wert des aktuellen Nutzungszustandes für alle Funktionen ermitteln. Abb. 13 zeigt einen „Screenshot“ des Programms LNOPT mit den Zielfunktionswerten für Szenario 5 (Maximierung der Zielfunktionen [Ergebnisse 1-3] und Kompromiss 1 [Ergebnis 4]). In den nachfolgenden Tabellen (Tab. 34 - 36) sind die Optimierungsergebnisse (Flächenbelegungen und Zielfunktionswerte) für die Naturschutzszenarien (4 bis 6) dargestellt. Zum Vergleich steht die aktuelle Nutzung (Szenario 1) jeweils in der ersten Zeile. Die Optimierungsergebnisse sind in Abb. 14 kartographisch dargestellt.

ZIELFUNKTIONSWERTE			
Ergebnis 1:	Wert der Funktion	WASSSEREROSION	: 1.3457972326E+08
Ergebnis 1:	Wert der Funktion	RETENTION	: 1.4541742648E+08
Ergebnis 1:	Wert der Funktion	PRODUKTION	: 2.7350572760E+08
Ergebnis 2:	Wert der Funktion	WASSSEREROSION	: 1.3102463946E+08
Ergebnis 2:	Wert der Funktion	RETENTION	: 1.4661399513E+08
Ergebnis 2:	Wert der Funktion	PRODUKTION	: 2.7550721042E+08
Ergebnis 3:	Wert der Funktion	WASSSEREROSION	: 1.2839738854E+08
Ergebnis 3:	Wert der Funktion	RETENTION	: 1.4468584931E+08
Ergebnis 3:	Wert der Funktion	PRODUKTION	: 2.8216966055E+08
Ergebnis 4:	Wert der Funktion	WASSSEREROSION	: 1.3278381126E+08
Ergebnis 4:	Wert der Funktion	RETENTION	: 1.4502751757E+08
Ergebnis 4:	Wert der Funktion	PRODUKTION	: 2.7840422050E+08

Abb. 13: Programmausschnitt mit Zielfunktionswerten der Maximierungen (Ergebnisse 1-3) und Kompromiss 1 (Ergebnis 4)

Tab. 34: Optimierungsergebnisse für Szenario 4

	Acker in ha	Grünland in ha	Wald in ha	Funktionswert Wassererosion	Funktionswert Retention	Funktionswert Produktion
aktuelle Nutzung (1)	3620,80	0	0	123.889.537	142.426.629	296.280.021
Maximierung Wasser- erosionsschutz	3070,00	184,28	366,00	140.179.779	147.540.732	254.370.622
Maximierung Reten- tion	3071,28	183,00	366,00	136.331.583	148.471.196	256.592.817
Maximierung Produk- tion	3143,00	183,00	294,28	132.545.553	146.540.761	267.099.797
Kompromiss 1	3143,00	183,00	294,28	138.127.081	146.993.753	263.188.568
Kompromiss 2	3143,00	183,00	294,28	138.127.081	146.993.753	263.188.568
Kompromiss 3	3135,19	183,00	302,09	138.734.346	147.011.491	261.728.372
Kompromiss 4	3093,67	183,00	343,61	139.561.761	147.471.167	258.830.960
Kompromiss 5	3143,00	183,00	294,28	135.997.968	147.315.739	265.021.130

Tab. 35: Optimierungsergebnisse für Szenario 5

	Acker in ha	Grünland in ha	Wald in ha	Funktionswert Wassererosion	Funktionswert Retention	Funktionswert Produktion
aktuelle Nutzung (1)	3620,28	0	0	123.889.537	142.426.629	296.280.021
Maximierung Wasser- erosionsschutz	3331,00	109,00	180,28	134.579.723	145.417.426	273.505.728
Maximierung Retention	3331,00	109,00	180,28	131.024.639	146.613.995	275.507.210
Maximierung Produktion	3367,00	109,00	144,28	128.397.386	144.685.849	282.169.661
Kompromiss 1	3367,00	109,00	144,28	132.783.811	145.027.518	278.404.220
Kompromiss 2	3367,00	109,00	144,28	132.783.811	145.027.518	278.404.220
Kompromiss 3	3351,35	109,00	159,93	133.390.430	145.318.354	276.907.032
Kompromiss 4	3331,00	109,00	180,28	134.475.360	145.445.273	274.432.156
Kompromiss 5	3367,00	109,00	144,28	130.718.480	145.644.009	280.302.849

Tab. 36: Optimierungsergebnisse für Szenario 6

	Acker in ha	Grünland in ha	Wald in ha	Funktionswert Wassererosion	Funktionswert Retention	Funktionswert Produktion
aktuelle Nutzung (1)	3620,28	0	0	123.889.537	142.426.629	296.280.021
Maximierung Wasser- erosionsschutz	2498,00	362,00	760,28	151.619.779	152.081.860	207.554.668
Maximierung Retention	2498,00	362,00	760,28	147.023.054	152.413.995	212.151.185
Maximierung Produktion	2570,00	362,00	688,28	142.997.202	150.749.305	222.528.647
Kompromiss 1	2570,00	362,00	688,28	149.259.200	151.362.911	219.064.083
Kompromiss 2	2570,00	362,00	688,28	149.259.200	151.362.911	219.064.083
Kompromiss 3	2570,00	478,36	571,92	149.579.122	150.362.649	217.360.024
Kompromiss 4	2548,71	622,15	449,43	150.357.254	149.129.592	214.790.985
Kompromiss 5	2570,00	362,00	688,28	147.387.040	151.526.336	221.232.639

In den Tabellen sind jeweils die Flächengrößen der einzelnen Elemente im Optimierungsraum in qm dargestellt. Damit wird ersichtlich, inwieweit die Grenzen der Restriktionen (Tab. 32) erreicht werden. So ist z.B. bei der Maximierung der Produktion die maximal mögliche Ackerfläche voll ausgeschöpft, während bei der Maximierung des Erosionsschutzes die maximale Größe an Wald- und Grünlandfläche ausgeschöpft wird. Des Weiteren sind die (Ziel-) Funktionswerte Z dargestellt. Dabei sind jeweils die Maximalwerte hervorgehoben. Zu erkennen ist, dass in den Szenarien 4 bis 6 bei den beiden Regulationsfunktionen Erosionsschutz und Retention die aktuellen Funktionswerte deutlich unter den Funktionswerten der Optimierung (Kompromisse 1 bis 5) liegen. Bei der Produktionsfunktion ist dagegen der aktuelle Funktionswert höher als die Optimalwerte; aufgrund der Umwidmung werden Flächen aus der Ackernutzung genommen. Die Differenz ist dabei abhängig von der Flächengröße, die für neue Biotopstrukturen vorgesehen ist.

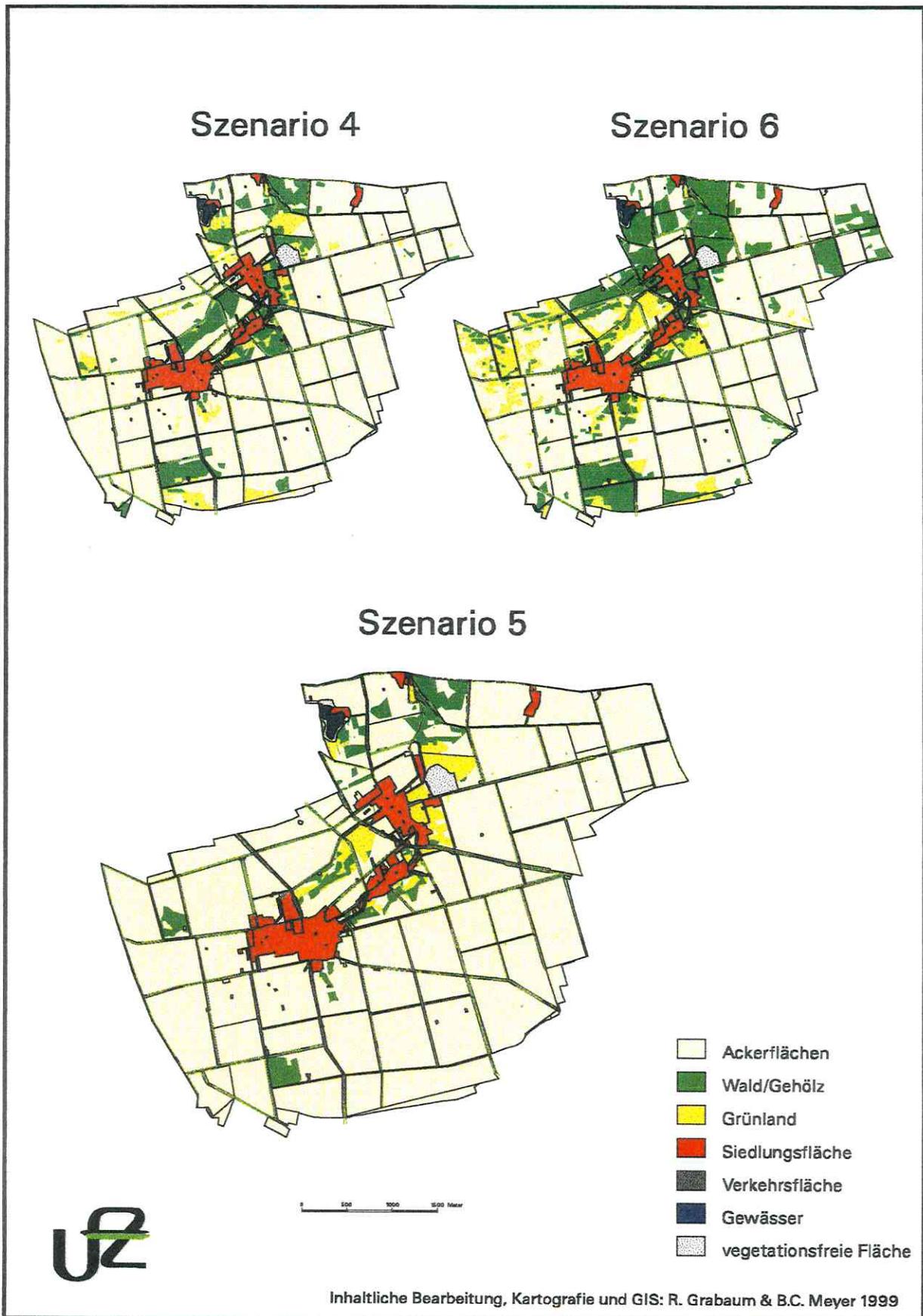


Abb. 14: Kartographischer Vergleich der Optimierungsergebnisse der Szenarien 4 bis 6

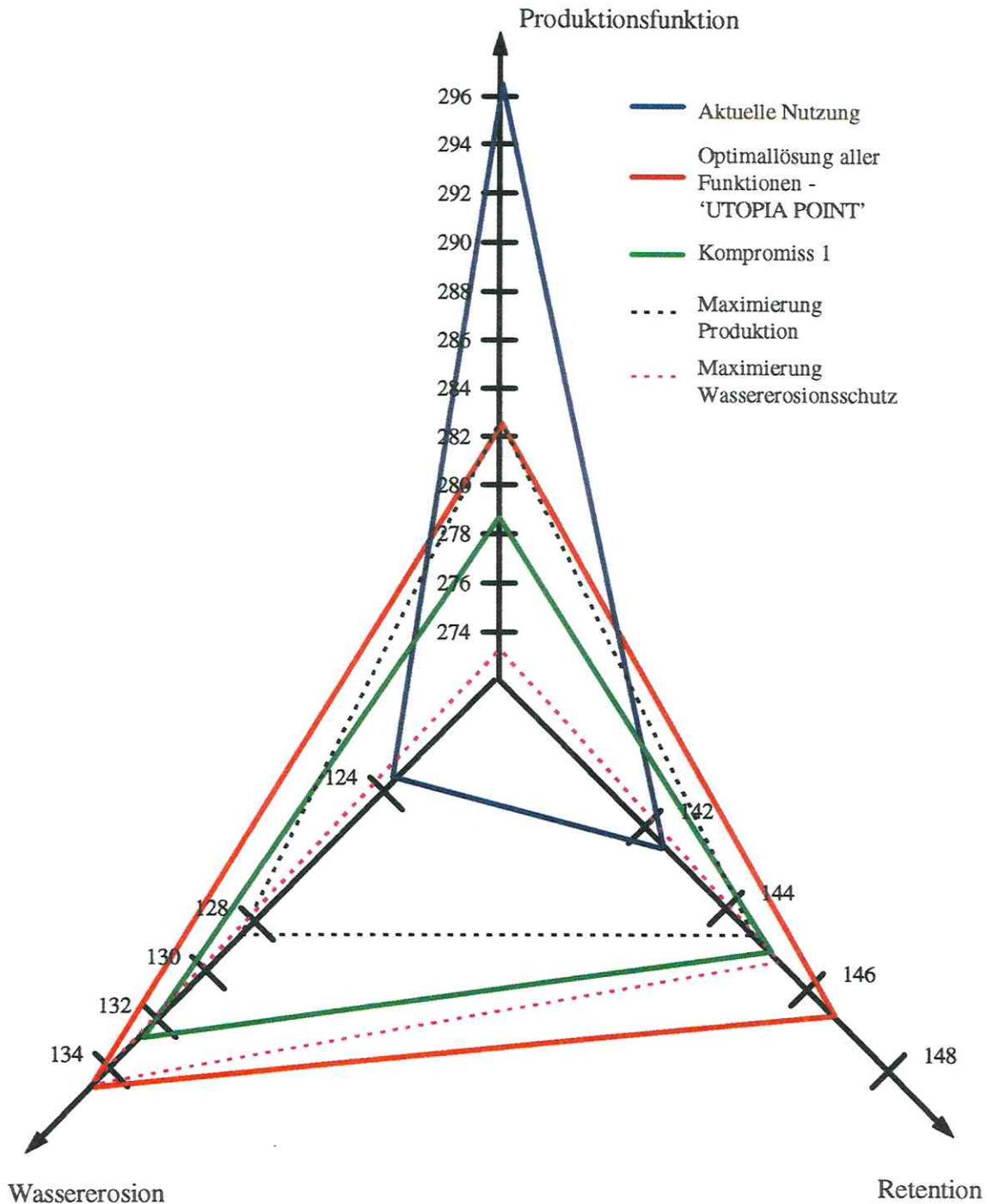


Abb. 15: Vergleich der (Ziel)-Funktionswerte (mal 10^6) verschiedener Optimallösungen mit der aktuellen Nutzung

Für Szenario 5 wird die Funktionserfüllung in einem Diagramm dargestellt (Abb. 15). Dabei wird noch einmal deutlich, dass die Werte für die aktuelle Nutzung (blaue Linie) teilweise deutlich unter den Optimalwerten der Kompromisslösungen liegen (mit Ausnahme der Produktionsfunktion). Durch die Optimierung wird somit eine Verbesserung bei den Regulations-

funktionen erreicht (grüne Linie für Kompromiss 1). Diese Verbesserung wird bei einer geoökologischen Neubewertung der Optimierungsergebnisse (Tab. 39) deutlich. In Abbildung 15 ist zu beachten, dass die drei Achsen völlig unabhängig voneinander sind und aus Gründen der Darstellbarkeit nicht im Ursprung beginnen. (Deshalb erscheint der Rückgang bei der Produktionsfunktion relativ gross!). Der sogenannte „Utopia Point“ (rote Linie) setzt sich aus den Maximalwerten der Einzelfunktionen zusammen (fett gedruckte Zahlen in Tab. 34 - 36). Er ist ein theoretischer Wert, da die Maximalwerte aller in das Verfahren einbezogenen Funktionen in Kombination aufgrund konträrer Ziele nie zu erreichen sind.

Die Wahl einer entsprechend gewichteten Kompromisslösung muss ausreichend begründet werden. Unter Annahme einer gleichwertigen Bedeutung aller Ziele, die aus ökologischer Sicht vertretbar ist, wird im weiteren nur noch Kompromiss 1 betrachtet.

6.3 *Szenarien für zukünftige Landnutzung*

Nachdem für alle in Kap. 4.4 beschriebenen Szenarien die Landnutzungsoptionen ermittelt wurden, soll ein Vergleich der Nutzungen und geoökologischer Funktionen stattfinden.

6.3.1 *Das Realszenario (Szenario 1)*

Die Landnutzung verändert sich im Vergleich zur aktuellen Nutzung nicht (Es ist keine Optimierung notwendig). Die in Kap. 5 ermittelten Einschätzungen geoökologischer Funktionen bleiben unverändert, erkannte Probleme werden nicht beseitigt. Eine Ausnahme bildet die Minderung der Erosion durch pfluglose Bodenbearbeitung, die vom bewirtschaftenden Agrarunternehmen schon heute durchgeführt wird und den Bodenabtrag mindert. Insgesamt erfolgt keine Annäherung an das präzierte Leitbild.

6.3.2 *Das Getreide-Szenario (Szenario 2)*

Die Landnutzung verändert sich im Vergleich zur aktuellen Nutzung in ihren Flächenanteilen nicht (Es ist keine Optimierung notwendig). Für die geoökologischen Funktionen Winderosion, Wassererosion und Retentionsvermögen stellt sich eine Verbesserung ein, die durch die stärkere Bodenbedeckung ab Herbst bis in das Frühjahr hinein im Vergleich zu einem höheren

Hackfruchtanteil erklärt werden kann. Trotz dieser scheinbaren Verbesserung wird mit diesem Szenario keine Annäherung an das Leitbild erreicht.

6.3.3 Das Szenario Fruchtartendiversität (Szenario 3)

Die Landnutzung verändert sich im Vergleich zur aktuellen Nutzung in ihren Flächenanteilen nicht (Es ist keine Optimierung notwendig). Aufgrund des höheren Hackfruchtanteils lässt sich eine Verschlechterung des Retentionsvermögens sowie ein erhöhtes Erosionsrisiko - infolge späten Bestandesschlusses im Frühjahr - feststellen. Durch die Anbauvielfalt mit unterschiedlichen Vegetationszeiten hält sich die Verschlechterung jedoch in Grenzen. Mit erosionsmindernden Massnahmen (Bearbeitung und Hanglängenverkürzung) kann der Bodenabtrag ausserdem verringert werden. Insgesamt stellt dieses Szenario eine Annäherung an das Leitbild dar, wobei eine Erhöhung der Biodiversität ausschliesslich durch ackerbauliche Massnahmen, insbesondere durch höhere Fruchtartenvielfalt, zustandekommt.

Ein Vergleich der drei Szenarien, bei denen sich die Flächenanteile der Nutzung nicht ändern, sondern lediglich die angebauten Fruchtarten, ist in Tab. 37 dargestellt.

Tab. 37: Vergleich der Szenarien 2 und 3 mit Szenario 1 (aktuelle Nutzung)

Merkmal	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
C-Faktor	niedrig (0,1)	geringer (0,04)	höher (0,2)
potentieller jährlicher Bodenabtrag (in t)	erhöht (5231)	geringer (2092)	höher (10462)
potentieller jährlicher Bodenabtrag (in t/ha)	erhöht (1,5)	tolerierbar (0,6)	extrem erhöht (2,9)
Winderosionsgefährdete Ackerfläche (in ha)	groß (2321)	gleich	gleich
Bewertung des Bodenbedeckungsgrades	mittel (2)	gleich	schlechter (1)
Durchschn. Bewertung Retentionsvermögen	hoch (2,4)	hoch	mittel (3,2)
Fruchtartendiversität	gering	sehr gering	hoch
Biodiversität	gering	gering	gering
ökonomisch nutzbarer Ertrag	hoch	kurzfristig höher	langfristig stabil
Annäherung an Leitbild	keine	keine	geringe

6.3.4 Naturschutzszenarien (Szenarien 4-6)

Für die Naturschutzszenarien verändert sich die Landnutzung in ihren Flächenanteilen. Die Landschaftsoptimierung findet die optimalen Flächen für Grünland bzw. Gehölz/Wald.

In der folgenden Tabelle (Tab. 38) werden anhand der Flächenanteile die Veränderungen in den einzelnen Naturschutzszenarien deutlich. Damit wird zugleich eine deutliche Verbesserung der Biodiversität erreicht, was dem Leitbild wesentlich mehr entspricht als die Szenarien 1, 2 und 3.

Tab. 38: Anteile der Landschaftselemente am Untersuchungsraum für die einzelnen Szenarien

Nutzung	Ackerfläche		Fläche natur-näherer Strukturen		Verlust an Ackerfläche (in %)
	Fläche in ha	Anteil in %	Fläche in ha	Anteil in %	
aktuell + Szenario 1 - 3	3620	85,6	42	1	0
Szenario 4	3143	74,1	519	12,2	13,2
Szenario 5	3367	79,4	295	6,9	7,0
Szenario 6	2570	60,6	1092	25,8	29,0

Neben der Verbesserung der Biodiversität ergeben sich auch deutliche Verbesserungen bei den betrachteten geoökologischen Funktionen. Die Aussagen beziehen sich dabei auf das mit der Landschaftsoptimierung ermittelte Landnutzungsmuster. Die Veränderung des Landnutzungsmusters bewirkt dabei auch eine deutliche Verminderung der winderosionsgefährdeten Flächen (Tab. 39).

Tab. 39: Verbesserungen der Funktionen im Untersuchungsraum

Nutzung	Wassererosion: potent. Abtrag in t/ha Jahr	Winderosion: Gefährdete Flächen in ha	Abflussregulation: Durchschn. Einschätzung 1-5	Produktion: Durchschn. Bodenzahl	Produktion: Flächen mit BZ > 80 in %
Szenario 1	1,4	2321	2,4	88,0	83,4
Szenario 2	0,6	2321	2,4	88,0	83,4
Szenario 3	2,9	2321	3,2	88,0	83,4
Szenario 5	1,2	2047	nicht berechnet	88,8	85,8

Für die Regulationsfunktionen bei den Szenarien 4 bis 6 treten teilweise deutliche Verbesserungen auf (Szenarien 4 und 6 sind in Tab. 39 nicht bewertet, die Verbesserung fällt für die Regulationsfunktionen jedoch noch deutlicher aus als in Szenario 5!). Die Flächenumwidmung bedeutet andererseits eine Verringerung der Produktionsfunktion. Betrachtet man das Produktionsvermögen, so fällt diese Verringerung jedoch prozentual geringer aus als der Flächenentzug für den Ackerbau (Tab. 40).

Tab. 40: Veränderung der Produktionsfunktion (Bodenzahlen)

Nutzung	Umwandlung von Ackerflächen in %	Verringerung Produktionsvermögen für Ackerbau in %
aktuell	0,0	0,0
Szenario 4	13,2	11,2
Szenario 5	7,0	6,0
Szenario 6	29,0	26,1

Die mit der Optimierung berechneten geökologischen und regionalspezifischen Umweltqualitätsziele (vgl. S. 64) werden wie folgt erreicht:

- Eine Reduzierung des Bodenabtrags erfolgt, eine Halbierung ist jedoch nicht möglich ohne Berücksichtigung linearer Strukturen.
- Eine Verringerung der winderosionsgefährdeten Fläche um 10 % wird erreicht.
- Eine Verbesserung der Bewertung des Retentionsvermögens um mindestens eine Klasse wird mindestens auf 3,4 % der Fläche (Fläche, die in Wald umgewandelt wird) erreicht, die Auswirkungen der Grünlandflächen auf die Verbesserung der Bewertungsklasse wurden nicht untersucht. Eine Verschlechterung tritt nicht ein.
- Die verbleibende Ackerfläche konzentriert sich grösstenteils auf Böden mit Ackerzahlen grösser als 80. Allerdings bleiben auch Böden mit Bodenzahlen kleiner als 80 in geringerem Ausmass in Nutzung.

6.4 Zusammenfassung

Für den Untersuchungsraum wurde nachgewiesen, dass eine Optimierung eine eindeutige Verbesserung geökologischer Funktionen der Landschaft bewirkt. Durch Integration der Produktionsfunktion in die Optimierung wird dem Anliegen der Landwirte als Hauptnutzer

der Landschaft Rechnung getragen, die eine Verbesserung des Naturhaushaltes bei gleichzeitiger Erhaltung des Ertragspotentials wünschen. Der Vorteil des Optimierungsverfahrens liegt darin, dass auftretende Konflikte zwischen einzelnen Funktionen im Gesamttraum bestmöglich aufgelöst werden. Eine Entscheidung in einem Konfliktfeld, die zur Verbesserung einer Funktion führt, zieht automatisch die Veränderung einer anderen Funktion im Untersuchungsraum nach sich, die einseitige Betrachtung einer Funktion entfällt.

Aus der kartographischen Darstellung der Szenarien 4, 5 und 6 gehen deutlich die Gebiete hervor, in denen eine Landnutzungsänderung hin zu Gehölz/Wald oder Grünland zur Verbesserung geoökologischer Funktionen sinnvoll erscheint. Betroffen sind vorrangig die stärker geneigten Flächen rund um die Ortschaften (Tal des Weidenbachs) sowie stärker erosionsgefährdete hügelige Flächen z.B. im Süden des Untersuchungsraumes (s. Abb. 14).

Für die Entwicklung umsetzungsfähiger Handlungsempfehlungen ist eine Weiterbearbeitung des Optimierungsergebnisses notwendig. Dafür muss zunächst entschieden werden, welches Szenario man dafür auswählt. Das präziserte Leitbild ist dafür hilfreich. Der Untersuchungsraum dient auch zukünftig vorrangig der nachhaltigen landwirtschaftlichen Nutzung. Eine grossflächige Realisierung anderer Nutzungsformen ist demnach nicht nachhaltig. Dies gilt insbesondere aus ökonomischer und sozialer Sicht. Aus diesen Gründen entschieden sich die Autoren für Szenario 5 (7,5% der Ackerfläche werden in naturnähere Strukturen umgewandelt). Deshalb wird die von HEYDEMANN (1981, 1983) genannte Grösse von 15 % Naturschutzfläche in Deutschlands Agrarlandschaften nicht grundsätzlich in Frage gestellt; für die Gunststandorte auf der Querfurter Platte ist die Umwidmung von 7,5% Ackerland in Grünland, Gehölze, Wald jedoch bereits ein hohes Ziel. Alle weiteren Berechnungen bauen daher auf diesem Szenario auf.

7. Landschaftsplanerischer Entwurf und Berücksichtigung kulturlandschaftlicher Information

7.1 Kulturlandschaftselemente und Informationsebenen

Wie bereits beschrieben, stellen die Optimierungsergebnisse als Landnutzungsoptionen multifunktional begründete flächenbezogene Ziele dar. Landnutzungsoptionen integrieren aufbauend auf einer leitbildorientierten Bewertung die wichtigsten Ziele (WIEGLEB 1997). Für die Ableitung umsetzungsfähiger Handlungsempfehlungen und Massnahmen müssen die nicht in die Leitbildableitung einbezogenen (meist kulturlandschaftlichen) Informationsebenen an die auch „optimale Landnutzungsmuster“ genannten Landnutzungsoptionen angepasst werden. Hierfür gibt die Optimierung eine quantitativ und qualitativ begründete „Grobstruktur für Landnutzungsveränderungen“ vor.

Die direkte Landnutzungsänderung auf Basis der Landschaftsoptimierung ist aus folgenden Gründen schwierig:

1. Zur Anlage linearer Strukturen (Hecken, Baumreihen) werden keine Aussagen gemacht, da die Optimierung nur Flächen bearbeitet.
2. Die durch die Optimierung entstandenen Kleinst- und Splitterflächen (z.B. kleine Ackerflächen im Wald), basierend auf der kleinsten gemeinsamen Geometrie im GIS, sind häufig nicht ökonomisch sinnvoll bewirtschaftbar oder planerisch nicht relevant.
3. Eine Beachtung wesentlicher kulturlandschaftlicher Einflüsse sowie infrastruktureller Gegebenheiten findet nicht statt.
4. Die vorhandenen Eigentumsverhältnisse können bei Nichtbeachtung die Realisierung erschweren.
5. Überörtliche Planungen können eine gute Entscheidungshilfe sein, wenn die Optimierung nicht ausreicht, z.B. zwischen den Optionen „Wald“ oder „Grünland“ zu unterscheiden.

Deswegen ist es sinnvoll, die Landnutzungsoptionen auf Basis der oben genannten Informationen landschaftsplanerisch zu überarbeiten. Um die durch die Optimierung bereitgestellte „Grobstruktur“ landschaftsplanerisch umsetzbar zu machen, sollten kulturlandschaftliche In-

formationen in die Planung einbezogen werden. Hierfür wurden die wichtigsten Kulturlandschaftselemente des Untersuchungsraumes zusammengestellt (Tab. 41).

Tab. 41: Kulturlandschaftselemente und einbezogene Informationsebenen (Querfurter Platte)

Kulturlandschaftselemente/Informationen	mögliche Massnahme
Kuppen, Senken, Hänge	Wald, Gehölze
Hänge, Gründe, Trockentälchen, feuchte Standorte, Tiefenlinien	extensives Grünland (Wiesen, Weiden)
Besitzstruktur, Besitzparzellen	alte Wegenetze umbauen zu Hecken und Obstbaumreihen, Parzellenstruktur beachten
historisches Wegenetz, traditionelle Wegebeziehungen	(s.o.); traditionelle Wegebeziehungen reaktivieren
Zugänglichkeit der Felder	Bezug zu Wegenetz herstellen
Bearbeitungsrichtung der Felder	technologische Möglichkeiten beachten
lineare Gewässer, Teiche, (Erlensäume)	Gewässerrandstreifen (10 m), Gewässerrenaturierung
Gründe, Trockentälchen, Bahndamm	Trockenhänge, Trockenrasen
Kirschbaumreihen	Neuanlage und Sicherung entsprechend historischer Karte und bestehender Strukturen
gestufte Hecken	Anlage anschliessend an Waldparzellen
Windschutzhecken	Anlage quer zur Hauptwindrichtung als gestufte Hecken möglichst anschliessend an bestehende Strukturen, an Ortsrändern
Baumreihen	Anlage an Gewässern, Dorfrändern, Wegen
Einzelbäume, Kopfbäume	Anpflanzung an markanten Punkten, an Gewässern, Gräben
Raine	Anlage an Hecken, Wegen, Gewässern, zur Trennung von Schlägen (5-20 m Breite)
Landwirtschaftliche Gebäude/Hallen, Dorfrand	Eingrünung, Dorfrand an windexponierten Stellen
Tierhaltung, Stallanlagen	Verbindung zum Grünland herstellen
Landschaftsbild und Sichtbeziehungen	Windmühlen, Eichstädter Warte, Querfurter Burg
Erholungsmöglichkeiten	eventuell neue Wegeverbindungen ermöglichen
Sukzessionsflächen	fortlaufend zulassen
Sandgruben	teilweise als offene Abgrabung belassen

Die von der Optimierung errechneten Standorte für Wald, Gehölze und für extensives Grünland (Wiesen und Weiden) konzentrieren sich auf Kuppen, Senken (feuchtere Standorte), auf Hänge mit stärkeren Hangneigungen und auf Bereiche der Tiefenlinien. An wenigen Standorten reichte die Information nicht aus, um zwischen extensivem Grünland und Wald/Gehölzen zu unterscheiden. Ebene Ackerflächen mit homogener Bodenstruktur wurden nicht ausgewählt.

Die Besitzstruktur, die als digitale Flurstückskarte für den Untersuchungsraum vorliegt, wurde nicht in die Optimierung einbezogen, da für eine Umsetzung der optimalen Landnutzungsoptionen eine Flurneuordnung durchgeführt werden muss, die die Parzellenstruktur neu regelt. Durch die Beachtung der bestehenden Besitzstruktur ist eine Vereinfachung der Flurneuordnung möglich. So wurden Wegeverbindungen möglichst auf alte Wegeparzellen gelegt, wodurch auch eine verkehrstechnische Erschließung aller Parzellen weiter gewährleistet ist. Vorgeschlagen werden insbesondere Wegeverbindungen für die Feierabenderholung nördlich von Barnstädt, Wege von Altweidenbach und Nemsdorf zur aufgelassenen Kiesgrube im Norden des Raumes und eine Wegeverbindung zwischen Barnstädt und dem Huthügel (höchster Punkt im Süden des Untersuchungsraumes). Die Erholungseignung wird also durch unterschiedliche Massnahmen der Anlage von Biotoperelementen als auch durch die leichtere Zugänglichkeit mancher Bereiche der Landschaft erhöht. Andere Bereiche sollen dagegen Ruhezonen bleiben, die weder durch durchgängige Wege erschlossen, noch stärker mit neuen Landschaftselementen angereichert werden sollen (Bereiche östlich der Verbindungsstrasse Göhrendorf-Jügendorf). Hierdurch sollen Habitate für Vogelarten der gehölzarmen Feldflur gesichert werden (SCHWARZ 1998).

Wegeparzellen, die auch weiterhin nicht als Wege benötigt werden, wurden primär für eine Nutzung als Windschutzhecken oder landschaftsbildprägenden Kirschbaumreihen vorgeschlagen. Seltener wurde für diese Parzellen die Nutzung als Rain bestimmt. Für die Übertragung der gemeindeeigenen Wege in kommunales Eigentum setzt sich auch die „Feldweginteressensschaft Querfurter Platte“ ein. Damit würde eine Realisierung des landschaftsplanerischen Entwurfes in diesem Bereich vereinfacht. Die Beachtung der Zugänglichkeit der Felder mit schwerem (und teilweise sehr breiten) Maschinen stellt besondere Anforderungen, die direkt mit der auf den Schlägen eingerichteten Fruchtfolge

zusammenhängt. Solange Fruchtfolgen relativ konstant bleiben, ist auch von einer recht ähnlichen technologischen Bewirtschaftung auszugehen. Je nach Bearbeitungsrichtung der Schläge muss darauf geachtet werden, dass ein Schlag erreichbar ist. Eine Feldhecke quer zur Bearbeitungsrichtung, eingerichtet auf einem der früher vorhandenen Wege, wäre als schweres Bewirtschaftungshemmnis einzustufen. Für schwere Rübenerntemaschinen müssen ebenso wie für Mähfahrzeuge Mindestbreiten der Wege gesichert sein, welche zum Beispiel durch eine beidseitig des Weges angelegte Obstbaumreihe stark eingengt werden könnten. Darüber hinaus ist auf eine ausreichende Gründung der Wege zu achten. Zum Erosionsschutz sollte auf Teilschlägen über eine mögliche Änderung der Bearbeitungsrichtung der Schläge nachgedacht werden.

Im Untersuchungsraum sind praktisch alle kleinen Fließgewässer begradigt. Sinnvoll wäre es, 10 m breite Gewässerschutzstreifen anzulegen sowie die Gewässermorphologie zu renaturieren. Nach KNAUER & MANDER (1987) können durch 10 m breite Pufferstreifen fast der gesamte Phosphor und etwa 50 % des Stickstoffs gefiltert werden, die demnach nicht ins Gewässer eingetragen werden.

Kirschbaumreihen sind die landschaftsbildprägenden Elemente der Querfurter Platte, die nach DIEMANN & BÖNING (1995) heute noch die Struktur der Agrarlandschaft andeuten, die bis in die 50er Jahre hinein bestand. Die Kirschbaumreihen sind stark überaltert und zum Teil stark lückig, so dass dringend die Neupflanzung einer Vielzahl von Obstbäumen notwendig ist, um den Landschaftscharakter zu erhalten. Dabei ist dringend auf die Erhaltung der hohen Sortendiversität der Kirschbäume zu achten. Informationen über die Standorte der Obstbaumreihen sind aus den Messtischblättern des Raumes zu entnehmen.

Laubbaumreihen sind im Untersuchungsraum selten und wurden auch nicht zusätzlich geplant. Vereinzelt sollten entlang der Gewässerläufe Erlensäume und Einzelbäume, z.B. Kopfweiden, angepflanzt werden.

Im Untersuchungsraum existieren wenige alte gestufte Feldhecken. Sie sollen auf jeden Fall erhalten bleiben. Neue gestufte Hecken für den Windschutz und als Nistmöglichkeit für Brutvögel sollten ausschliesslich mit einheimischen Gehölzen angepflanzt werden. Im Untersuchungsraum gibt es eine Vielzahl für den Naturraum untypischer Pappelhecken, die über

einen längeren Zeitraum hinweg durch einheimische Gehölze ersetzt werden sollten. Das gleiche gilt für weitere Hecken mit standortfremden Gehölzen. Hecken können in eine räumliche Verbindung zu Waldparzellen gestellt werden. Die Hecken wurden entweder zur Schlagteilung vorgeschlagen oder entlang von Wegen lokalisiert. In allen Fällen sollte ein genügend breiter Rain (5-20 m) zwischen Hecke und Feld angelegt werden, auch um die Einflüsse des Wasserentzuges der Wurzeln der Hecke auf die angrenzenden Kulturen zu mindern. Wichtig ist diese Anlage von Rainen und Randstreifen für die Vogelwelt, wobei die Entwicklung von Hochstauden zugelassen werden sollte (SCHWARZ 1998). Raine werden auch zur Schlagteilung vorgeschlagen, um eine Hanglängenverkürzung zu erreichen. An Ortsrändern wurden an verschiedenen windexponierten Stellen Hecken geplant, die auch zur Eingrünung landwirtschaftlicher Gebäude und Hallen geeignet sind.

Sukzessionsflächen können an unterschiedlichen Stellen im Untersuchungsraum zugelassen werden. Sie konzentrieren sich heute auf Bereiche entlang von Bahnanlagen, den Dorfrand, brachgefallene Grundstücke in den Dörfern und Randbereiche der ehemaligen Kiesgrube im Norden des Untersuchungsraumes. Für die im Untersuchungsraum liegenden Stallanlagen wird eine Anbindung an Grünland geplant. Hierfür werden möglichst durchgängige Verbindungen auch zwischen Grünlandparzellen hergestellt.

Die alte Sandgrube östlich von Nemsdorf wird in Zukunft verfüllt und rekultiviert. Naturschutzfachlich interessante Steilwände sollten erhalten bleiben.

Das Landschaftsbild und einige Sichtbeziehungen können durch die vorgeschlagenen Massnahmen deutlich verbessert werden. Wichtig ist die Beachtung von Sichtbeziehungen zwischen Eichstädter Warte östlich und Querfurter Burg nordwestlich des Untersuchungsraumes. Möglich wäre auch eine Reaktivierung ehemaliger Windmühlenstandorte nach der historischen Karte. Die gute Windhöffigkeit des Raumes wird momentan durch neu errichtete Windräder westlich des Huthügels und einen grossen geplanten Windenergiepark östlich von Neuweidenbach genutzt.

7.2 *Umsetzung im landschaftsplanerischen Entwurf*

Das Optimierungsergebnis (Abb. 14) zeigt besonders westlich der vier Dörfer eine auch nach der Optimierung sehr grossräumige Agrarflur. Die Probleme der erhöhten Winderosionsge-

fährdung und der geringen Biodiversität in diesem Raum wurden nicht durch den Optimierungslauf gelöst. Zur Lösung wurden aufbauend auf der digitalen Flurstückskarte und der Karte des historischen Wegenetzes Standorte für Obstbaumreihen, Hecken und Ackerraine planerisch bestimmt. Als weitere lineare Elemente werden Wegeverbindungen und Raine vorgeschlagen. Die durch die Optimierung entstandenen Kleinst- und Splitterflächen werden auf ihre landschaftliche Relevanz hin überprüft. Sehr stark gezackte Ränder vorgeschlagener Biotopstrukturen wurden begradigt. Diese Bearbeitungsstufe ist wichtig, da auch überörtliche Planungen keine ausreichenden Anhaltspunkte im Untersuchungsraum zur Entscheidung zwischen Grünland oder Wald zur Verbesserung der naturschutzfachlichen Situation des Raumes geben (Landschaftsprogramm SACHSEN-ANHALT 1994).

Kulturlandschaftliche Einflüsse und infrastrukturelle Gegebenheiten wurden entsprechend den oben genannten Grundsätzen soweit berücksichtigt, wie Informationen vorlagen. Die Eigentumsverhältnisse wurden insoweit berücksichtigt, als dass eine möglichst geringe Anzahl von Parzellen durch einen Flächennutzungswandel beansprucht werden soll.

Der erarbeitete landschaftsplanerische Entwurf für den Untersuchungsraum, basierend auf Szenario 5, ist in Abb. 16 dargestellt. Tab. 42 zeigt, dass im Vergleich zwischen Szenario 5 und dem landschaftsplanerischen Entwurf nur geringfügige Veränderungen von Grünland zu Wald und Gehölzen zur Gliederung der Feldflur erfolgen. Es wurde darauf geachtet, daß der Gesamtanteil des Ackerlandes bei beiden Entwürfen in etwa gleich blieb.

Tab. 42: Veränderung der Hauptnutzungen Acker, Wald und Grünland von Optimierungsszenario 5 zum landschaftsplanerischen Entwurf (bezogen auf den Optimierungsraum)

Element	Anteil in Szenario 5 (in ha)	Anteil im landschaftsplanerischen Entwurf (in ha)	Veränderung (in %)
Ackerland	3367	3374,8	+ 0,2
Wald/Gehölz	144,3	152,4	+ 5,6
Grünland	109	91,3	- 16,2

Tab. 43 zeigt, mit welchen angenommenen Flächenfaktoren die Breite von Hecken, Baumreihen und Rainen in die Berechnung der zur Gestaltung notwendigen Fläche eingingen. Die für lineare Elemente im landschaftsplanerischen Entwurf notwendige Fläche beträgt unter dieser Annahme ca. 36 ha.

Tab. 43: Neue lineare Elemente im landschaftsplanerischen Entwurf

Lineare Elemente	Länge (in m)	Flächenfaktor (m Breite)	Fläche (in ha)
Hecken	22121	8	17,7
Baumreihen	18093	8	14,5
Raine	7615	5	3,8
Gesamt	47829	-	36,0

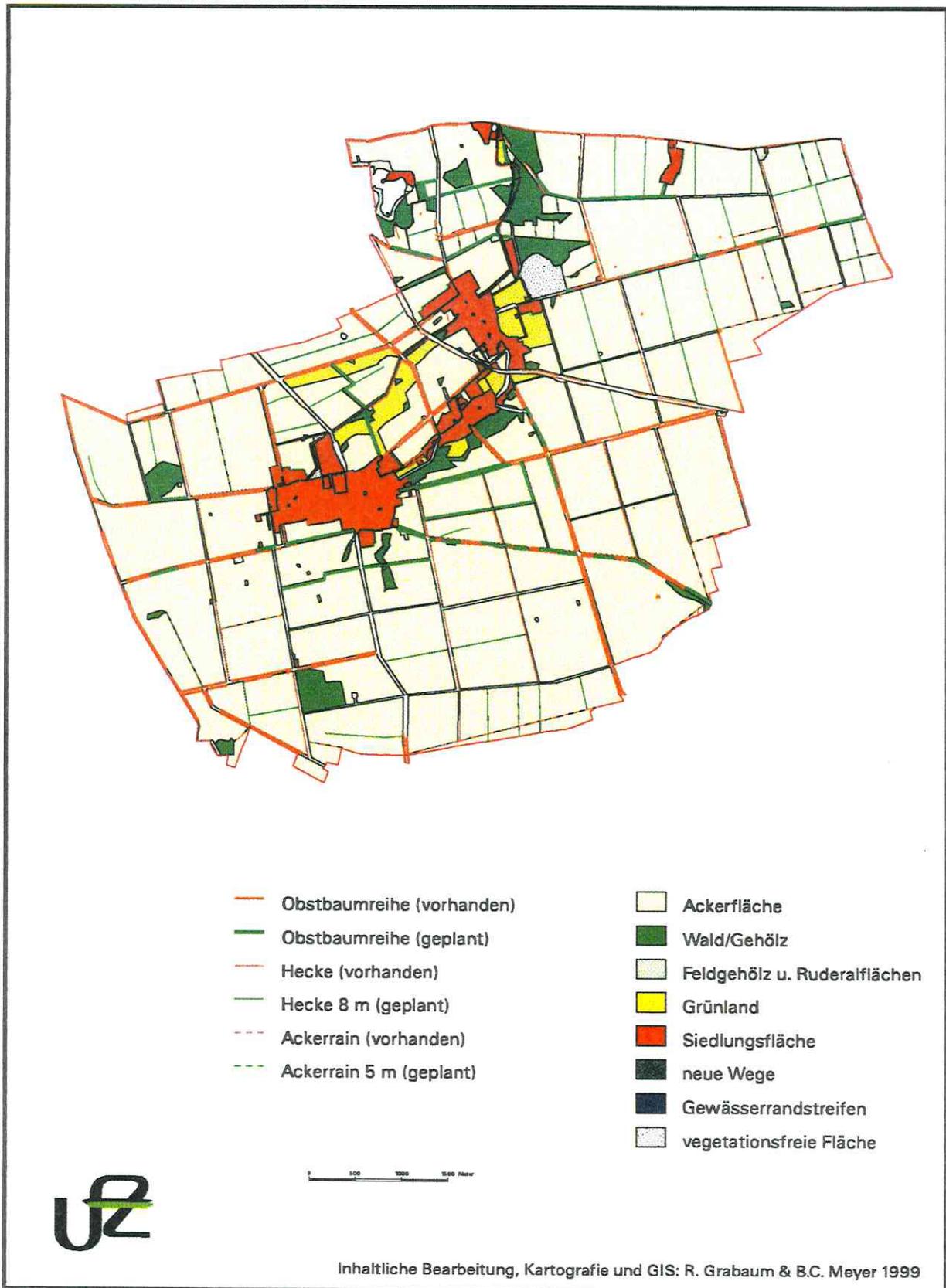


Abb. 16: Landschaftsplanerischer Entwurf für den Untersuchungsraum

8. Bewertung des landschaftsplanerischen Entwurfs

Der landschaftsplanerische Entwurf kann jetzt neu bewertet werden. Dazu ist das GIS wieder hilfreich, da zahlreiche Datenebenen unverändert bleiben. Im folgenden werden für die vier bewerteten Funktionen die veränderten Datengrundlagen sowie die Neubewertungen beschrieben.

8.1 *Wassererosion*

Bei der Wassererosion ändern sich zwei der sechs Faktoren. Durch die Umnutzung von Ackerland in Grünland bzw. Wald/Gehölze wird einerseits der C-Faktor auf diesen Flächen gleich 0 gesetzt, die Erosion ist damit auf diesen Flächen gestoppt. Andererseits ändern sich durch die Landnutzungsänderungen, insbesondere durch die Anlage linearer Strukturen, die Hanglängen.

Die Ermittlung der Hanglängen erfolgte im GIS wie in Kap. 5.1.1 beschrieben. Nach Auswertung der Ergebnisse ergab sich eine Verkürzung der Hanglänge von durchschnittlich 330 auf 220 Meter. Insgesamt sind Einzugsgebiete mit einer Fläche von 1811,6 ha von der Hanglängenverkürzung betroffen. Folgerichtig ändert sich damit auch der durchschnittliche LS-Faktor. Im Durchschnitt verringert er sich von 0,52 auf 0,41. Dies entspricht einer Verbesserung um 21 %.

Die Berechnung des potentiellen mittleren jährlichen Bodenabtrags durch Wassererosion erfolgte mit den Faktoren entsprechend Szenario 1 (Kap. 5.1.3). Dabei wurde ein potentieller Bodenabtrag von jährlich 3714 Tonnen ermittelt, was einem Durchschnitt von 0,96 t/ha ergibt und damit in der Gesamtbewertung als tolerabel angesehen werden kann. Verglichen mit Szenario 1 (Kap. 5.1.4) ergibt sich eine Verringerung des Gesamtabtrages um 29 %. Der durchschnittliche Gesamtabtrag pro ha verringert sich um 34 % (Tab. 48). Ermittelt man die durchschnittliche Bewertungsklasse, erhält man einen Wert von 2,7. Die Bewertung verbessert sich auf einer Fläche von 903 ha um mindestens eine Bewertungsklasse, auf 346 ha sogar um mehr als eine Bewertungsklasse. In Tab. 44 sind die Flächenanteile der einzelnen Bewertungsklassen dargestellt. Zum Vergleich sind die Bewertungsdaten von Szenario 1 (s. Kap. 5.1) dargestellt. Um Vergleichbarkeit zu gewährleisten, sind die in Grünland oder

Wald/Gehölz umgewandelten Ackerflächen (U) hier mit Bewertungsklasse 1 eingeschätzt. Dabei wird die Erhöhung des Anteils an Ackerfläche in den Bewertungsklassen 1 und 2 sowie die Verringerung in den Klassen 3 bis 5 sichtbar.

Tab. 44: Wassererosionsbewertung - Vergleich zwischen Szenario 1 und dem landschaftsplanerischen Entwurf

Bewertungs- klasse	Szenario 1		landschaftspl. Entwurf	
	Anteil in ha	Anteil in %	Anteil in ha	Anteil in %
1 (gering) + (U)	20,8	0,5	54,3 + 251,2	7,2
2 (tolerierbar)	891,7	21,0	1238,1	29,2
3 (erhöht)	1985,0	46,8	1767,5	41,7
4 (stark erhöht)	387,0	9,2	247,5	5,8
5 (extrem erhöht)	335,8	7,9	61,7	1,5
n. bewertet	619,7	14,6	619,7	14,6
gesamt	4240,0	100,0	4240,0	100,0

Insgesamt kann damit von einer deutlichen Reduzierung des potentiellen Bodenabtrags durch Wassererosion gesprochen werden. Unter Verwendung weiterer erosionsmindernder Massnahmen kann im Falle der Realisierung des landschaftsplanerischen Entwurfs von einer nachhaltigen Landnutzung im Sinne dieser Regulationsfunktion gesprochen werden. Abbildung 17 stellt die Wassererosionsbewertungen des aktuellen Zustandes (Szenario 1) und des landschaftsplanerischen Entwurfs gegenüber.

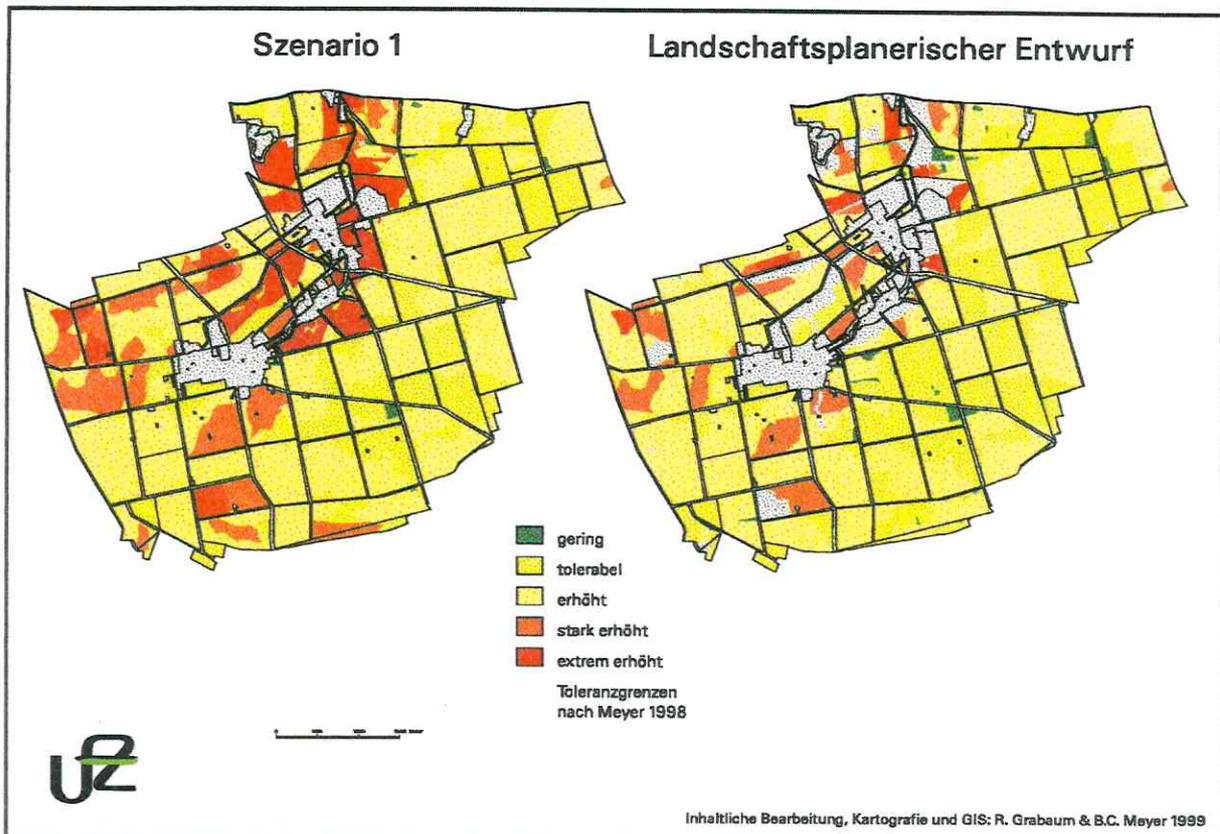


Abb. 17: Wassererosionsdisposition - Vergleich zwischen aktueller Nutzung und landschaftsplanerischem Entwurf

8.2 Winderosion

Die Einschätzung der Winderosion basiert auf der Anlage von Landschaftselementen im Untersuchungsraum. Durch den Zuwachs an linearen Elementen (Baumreihen und Hecken) um 89 % sowie Wald/Gehölz- und Grünlandflächen um 590 % (Tab. 48) ergibt sich hier eine deutliche Reduzierung der winderosionsgefährdeten Fläche. Eine Neubewertung der Winderosion für den landschaftsplanerischen Entwurf ergab eine Reduzierung dieser Flächen von 2321 ha auf 1313 ha, d.h. eine Verminderung um 1008 ha (Tab. 45). Damit sind 31 % der Gesamtfläche (bzw. 35,9 % der Ackerfläche) als gefährdet eingeschätzt.

Tab. 45: Winderosionsbewertung - Vergleich zwischen Szenario 1 und dem landschaftsplänerischen Entwurf

Bewertungs- klasse	Szenario 1		landschaftspl. Entwurf	
	Anteil in ha	Anteil in %	Anteil in ha	Anteil in %
1 (nicht gefährdet)	1919	45,3	2927	69,0
2 (gefährdet)	2321	54,7	1313	31,0
gesamt	4240	100,0	4240	100,0

Insgesamt ergibt sich eine Verbesserung gegenüber dem aktuellen Zustand von 43,4 % (Tab. 48). Bei Realisierung des landschaftsplänerischen Entwurfs wird damit durch die entsprechenden Nutzungsänderungen fast eine Halbierung der potentiell winderosionsgefährdeten Flächen erreicht (Abb. 18). Unter dem Leitbild einer offenen Agrarlandschaft kann dieser Wert als sehr günstig angesehen werden. Auch hier kann durch entsprechende Bewirtschaftung eine weitere Verbesserung erreicht werden.

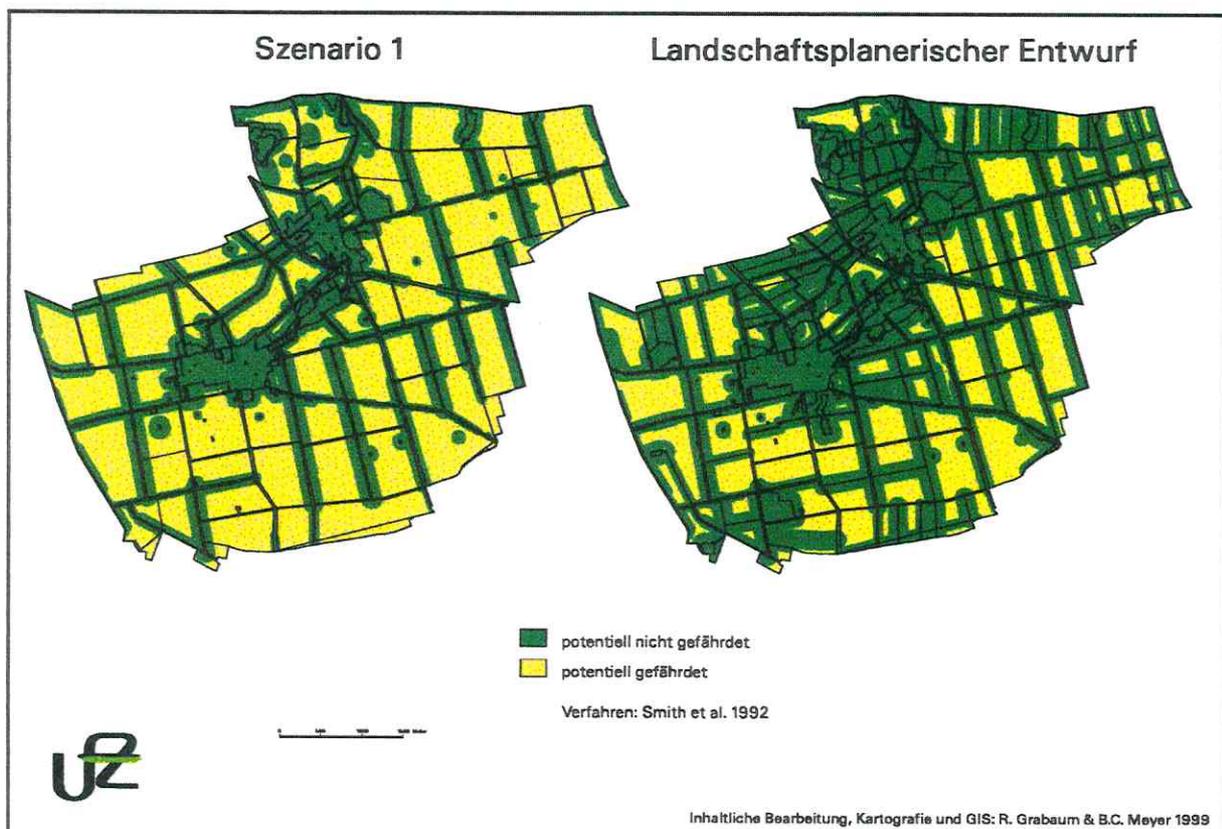


Abb. 18: Winderosionsdisposition - Vergleich zwischen aktueller Nutzung und landschaftsplänerischem Entwurf

8.3 Abflussregulationsfunktion

Die Bewertung des Retentionsvermögens basiert auf Bodendaten, Relieffdaten und Landnutzungsdaten. Einzig die Bodenbedeckung, d.h. die Landnutzung, wird durch den landschaftsplanerischen Entwurf geändert. Durch die Änderung der Nutzung verbessert sich die Bewertung der Bodenbedeckung bei 245 ha, bei 13 ha erfolgt eine Verschlechterung (Umwandlung in Weg). Das hat Auswirkungen auf die Einschätzung des Retentionsvermögens, die in Tab. 46 dargestellt wird. Der Anteil der Flächen mit Bewertungsklassen 1 und 2 erhöht sich im landschaftsplanerischen Entwurf gegenüber Szenario 1, dagegen verringert sich der Anteil der Flächen mit Bewertungsklassen 3 und 4. Bei Bewertungsklasse 5 erhöht sich der Flächenanteil gering.

Tab. 46: Bewertung des Retentionsvermögens - Vergleich zwischen Szenario 1 und dem landschaftsplanerischen Entwurf

Bewertungs- klasse	Szenario 1		landschaftspl. Entwurf	
	Anteil in ha	Anteil in %	Anteil in ha	Anteil in %
1 (sehr hoch)	29,8	0,7	104,1	2,5
2 (hoch)	3476,7	82,0	3504,9	82,6
3 (mittel)	225,9	5,3	113,5	2,7
4 (gering)	2,3	0,1	2,3	0,1
5 (sehr gering)	505,3	11,9	515,2	12,1
gesamt	4240,0	100,0	4240,0	100,0

Bildet man den Durchschnitt der Bewertungsklasse für den Gesamttraum, so ergibt sich ein Wert von 2,4 für den aktuellen Zustand und von 2,36 für den landschaftsplanerischen Entwurf. Unter Berücksichtigung des theoretisch erreichbaren minimalen (besten) Wertes (jede Freifläche wird bewaldet) von 1,51 bedeutet das eine Verbesserung um 4,5 % (Tab. 48).

Das Retentionsvermögen lässt sich im wesentlichen durch eine Zunahme von Grünland- und insbesondere Wald/Gehölzflächen verbessern. Da diese Zunahme jedoch durch langfristige Ackernutzung begrenzt wird, ist eine weitere Verbesserung im Untersuchungsraum nicht möglich. Wesentlich ist jedoch, dass der Beitrag zur Abflussregulation im Untersuchungsraum insgesamt auf hohem Niveau bleibt (Abb. 19).

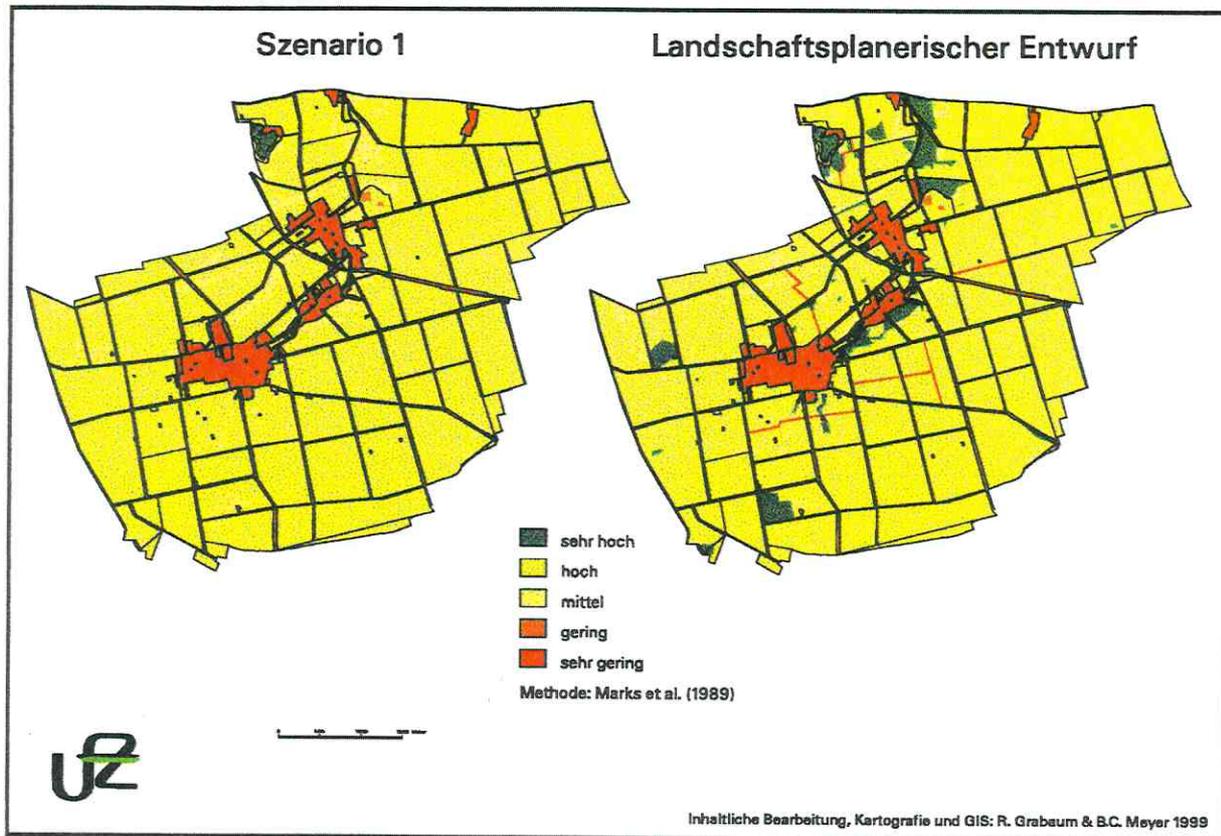


Abb. 19: Abflussregulationsfunktion - Vergleich zwischen aktueller Nutzung und landschaftsplanerischem Entwurf

8.4 Produktionsfunktion

Durch Reduzierung der Ackerflächen um 6,6 % ergibt sich zwangsläufig eine Minderung des Produktionsvermögens. Da die Ackerflächen jedoch grösstenteils auf Böden mit geringeren Bodenzahlen in andere Nutzungen umgewandelt werden, hält sich dieser Verlust in Grenzen (Abb. 20). Das Produktionsvermögen (Fläche * Bodenzahl) reduziert sich gegenüber der aktuellen Nutzung um 5,9 %. Dagegen steigt die durchschnittliche Bodenzahl auf Ackerflächen von 88 auf 88,9. Werden gegenwärtig 3040 ha Böden mit Bodenzahlen grösser als 80 bewirtschaftet, so werden es im landschaftsplanerischen Entwurf 2925 ha sein, was einer Reduzierung um lediglich 3,8 % entspricht (Tab. 48). In Tabelle 47 wird ersichtlich, dass sich der Anteil der Flächen mit Bodenzahlen grösser 80 (Bewertungsklassen 8 und 9) im landschaftsplanerischen Entwurf gegenüber Szenario 1 zwar vermindert, der prozentuale Anteil jedoch erhöht.

Tab. 47: Bewertung der Produktionsfunktion auf Ackerflächen - Vergleich zwischen Szenario 1 und dem landschaftsplanerischen Entwurf

Bewertungs- klasse	Szenario 1		landschaftspl. Entwurf	
	Anteil in ha	Anteil in %	Anteil in ha	Anteil in %
9	1698,2	46,5	1660,2	48,7
8	1340,3	36,8	1264,2	37,1
7	292,6	8,0	249,6	7,3
6	246,9	6,7	203,6	6,0
5	41,2	1,1	15,5	0,4
4	15,2	0,4	7,0	0,2
3	7,2	0,2	2,4	0,1
2	3,9	0,1	0,0	0,0
n. bewertet	7,9	0,2	5,7	0,2
gesamt	3653,5	100,0	3408,2	100,0

Damit erfolgt zwar eine Reduzierung des Produktionsvermögens, die jedoch geringer ausfällt als der Gewinn bei den anderen Funktionen. In der Praxis lässt sich ein Verlust von unter 6 Prozent durchaus kompensieren.

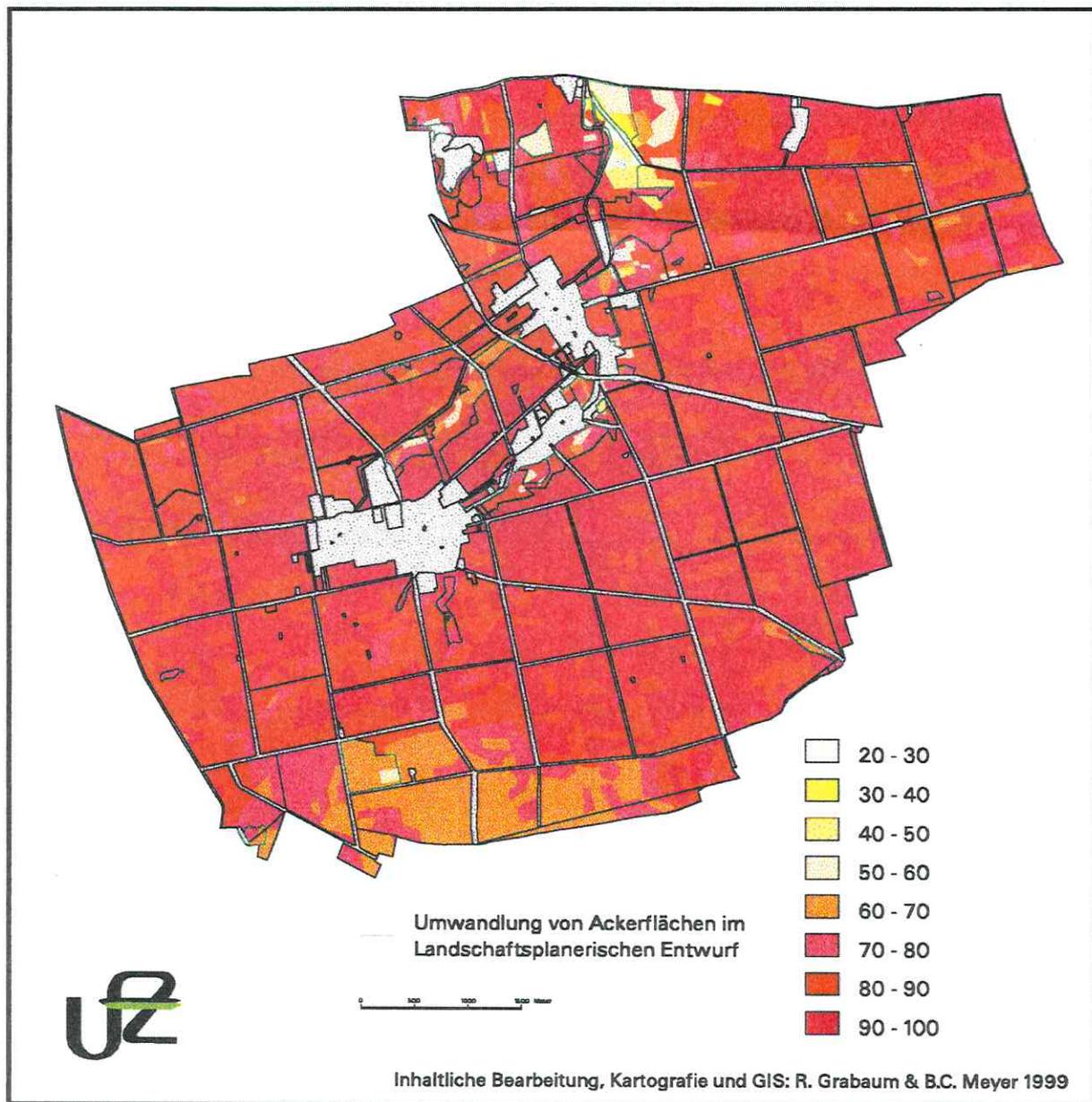


Abb. 20: Produktionsfunktion im Untersuchungsraum (Im landschaftsplanerischem Entwurf von Ackerland umgewidmete Flächen sind grün umrandet.)

8.5 Zusammenfassung

Auf den landschaftsplanerischen Entwurf können geökologische Bewertungen erneut angewendet werden. Somit ergibt sich eine Vergleichsmöglichkeit zum aktuellen Zustand. Dieser Vergleich fällt im Untersuchungsraum für den landschaftsplanerischen Entwurf positiv aus. Die zu erwartenden Änderungen sind noch einmal in Tab. 48 zusammengefasst.

Tab. 48: Funktionaler Vergleich von Szenario 1 und landschaftsplanerischem Entwurf

Indikator	Szenario1	landschafts- planerischer Entwurf	Veränderung in % Szenario1 - landschaftsplanerischer Entwurf
Biodiversität:			
Anteil Ackerfläche in %	86,2	79,6	- 6,6 %
Naturschutzfläche in % (ohne Strukturelemente)	1,0	6,9	+ 590 %
lineare Strukturelemente	0,9	1,7	+ 89 %
Wassererosion:			
pot. Abtrag in t/ha Jahr	1,45	0,96	- 33,8 %
pot. Gesamtabtrag in t / Jahr	5231	3714	- 29 %
Winderosion:			
Gefährdete Fläche in ha	2321	1313	- 43,4 %
Retention:			
Durchschn. Einschätzung 1-5	2,4	2,36	4,5 % (Min. = 1,51)
Produktion:			
Durchschn. Bodenzahl der bewirtschafteten Flächen	88,0	88,9	+ 0,9 %
Flächen mit BZ > 80 in ha	3040	2925	- 3,8 %

Die Entwicklung eines landschaftsplanerischen Entwurfs, basierend auf den Optimierungsergebnissen, erweist sich damit aus funktionaler Sicht als notwendig, um zu einer umfassenderen Verbesserung der Landnutzung im Sinne des Leitbildes zu kommen. Dieser Entwurf ist zusammen mit den Vergleichen zur aktuellen Nutzung in der Praxis eher zu begründen als die reine Optimierungslösung.

9. Diskussion und Ausblick

Es wurde bereits an mehreren Stellen dieses Artikels darauf hingewiesen, dass es eine Reihe von Überlegungen und Ansätzen gibt, um Landschaften/Räume im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu verändern. Nun stellt sich die Frage, ob neue Ansätze und Verfahren überhaupt angebracht sind, da möglicherweise kaum noch Probleme auftreten. An dieser Stelle sei an JEDICKE (1995) erinnert, der feststellt, daß in Deutschland anthropogene Flächennutzung in aller Regel nicht nachhaltig betrieben wird. Er nennt aus der Zahl der Problemfelder die Landwirtschaft, die in weiten Teilen Deutschlands für eine flächenhafte Bodenerosion, für den Eintrag von Pestiziden in Grund- und Oberflächenwasser und für die Eutrophierung in Boden und Gewässern verantwortlich ist, und die Besiedelung und Industrie. Hier findet in grossem Masse Versiegelung statt, wodurch natürliche Bodenfunktionen verhindert werden. Der Autor fragt provokant: „Betreiben wir den Naturschutz nachhaltig? Die Antwort muß lauten: Nein. Naturschutz handelt erstens selbstbeschränkt und zweitens kurzsichtig. Boden, Wasser und Luft heißen die drei zentralen abiotischen Ressourcen. Ihnen wird seitens des klassischen Naturschutzes - wenn überhaupt - nur eine äußerst marginale Beachtung geschenkt. Darin liegt die Hauptursache, warum sich der Naturschutz nicht viel engagierter und vehementer in die Landnutzung einmischt. Denn wirksamer Bodenschutz ist nur möglich durch ein tiefgreifendes Umdenken bei den Flächennutzungen.“ JEDICKE (1995) bedauert, dass der Naturschutz die Felder Bodenschutz, Wasserschutz und Schutz der Luft fast vollständig dem ebenso sektoral und begrenzt handelnden Umweltschutz überläßt; bearbeitet werden sie allenfalls durch die Wissenschaft.

Um in Deutschland wenigstens den „Status quo“ der Natur auf Basis der Artenzahlen und Ökosystemtypen zu erhalten, sind nach HEYDEMANN (1997) nach wie vor erhebliche Anstrengungen notwendig. Auch hier fordert er die Schaffung von „Vorranggebieten für die Natur“ in der Größenordnung von 10-20 % der Gesamtfläche der BRD, und zwar innerhalb von 10-25 Jahren.

Nach Ansicht von VON HAAREN (1993) werden die Ziele des Naturschutzes als unrealistisch, überzogen und als reine Verhinderungsstrategie abqualifiziert. Diesem Naturschutzbild liegt ohne Zweifel eine untergeordnete Priorität des Naturschutzes zugrunde, die ihre Ursache in dem fehlenden Marktwert der meisten Naturgüter hat. Daraufhin stellt sich die

Autorin die Frage, wie der Naturschutz in der konkreten Planungssituation zu seinen Zielen kommt, wie diese aussehen und wie detailliert sie sein sollen. An die Stelle sogenannter „Naturschutzziele“ traten Leitbilder, Umweltqualitätsziele (UQZ), Umweltqualitätsstandards (UQS) und wurden - so weit standardisierbar - zusammengetragen. Damit war die Hoffnung verbunden, es könnte für alle Bereiche und Ebenen allgemeingültige, anschauliche und konkrete Naturschutzziele geben, mit denen eine leichtere Argumentation ohne ständigen neuen Begründungszwang möglich wäre. Eine Integration solcher Standards in gesetzliche Vorgaben wäre leicht möglich. Als Schwellenwerte würden sie dann über Umweltverträglichkeit oder -Unverträglichkeit von Eingriffen entscheiden und das Verwaltungshandeln erheblich vereinfachen. Solche standardisierten Naturschutzziele müssen jedoch zwischen den verschiedenen Einsatzebenen von Naturschutzzielen unterschieden werden.

Es gibt stark vereinfachende Naturschutzziele, wie sie z.B. das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU 1998) kreiert hat. In diesem Papier werden die vier aus Sicht des Umweltschutzes wichtigsten Themen genannt:

- der Schutz der Erdatmosphäre;
- der Schutz des Naturhaushaltes;
- die Ressourcenschonung;
- der Schutz der menschlichen Gesundheit.

Derartige Ziele sind für die politische Diskussion unverzichtbar. Es wäre wünschenswert, wenn sie auch für die regionale und lokale Ebene konkretisiert werden könnten. In der Einzelfallentscheidung im konkreten Raum können starre, generelle Zielfestlegungen, die auf die örtlichen Verhältnisse keine Rücksicht nehmen, aus verschiedenen Gründen jedoch nur mit Einschränkungen verwendet werden (VON HAAREN 1993):

- Ziel und Standards beruhen auf normativen Setzungen. Das gilt sowohl für die Zielsetzungen des Arten- und Biotopschutzes, die sich nicht aus Erkenntnissen der Ökologie verbindlich ableiten lassen, als auch für scheinbar naturwissenschaftlich festgelegte Grenzwerte im technischen Umweltschutz.
- Bei Grenzwerten handelt es sich in der Regel um einen Minimalkonsens, die vorausgesetzten Bedingungen treffen bei der Übertragung auf den Einzelfall häufig nicht vollständig

zu. Deshalb müßten Grenzwerte vor Ort zur „sicheren“ Seite hin abwandelbar sein. Das geltende Recht in der BRD läßt das häufig nicht zu.

- Standardisierte Ziele und Belastungsgrenzen sind meist nur auf ein Umweltmedium oder eine Nutzung bezogen. Diese Aufspaltung der Realität entspricht der sektoralen Verwaltungsgliederung, wird jedoch der Komplexität des querschnittsorientierten Aufgabenfeldes des Naturschutzes nicht gerecht. Bei der Festlegung von Naturschutzzielen für konkrete Räume muß deshalb der speziellen Situation im Einzelfall und dem normativen Zielcharakter Rechnung getragen werden. Entscheidungen über den Grad der Naturzerstörung bzw. -erhaltung oder -wiederherstellung fallen im Rahmen eines gesellschaftlichen Verteilungskampfes um Naturressourcen und werden deshalb primär politisch entschieden.

Hier wird das Unbehagen über die Sicht auf einzelne sektorale Probleme deutlich. Bei der Einschätzung von Indikatoren und deren Vergleich mit Qualitätsstandards wird es jedoch manchmal zweckmäßig sein, einzelne Merkmale auf Einhaltung von Grenz- oder Richtwerten zu überprüfen.

PLACHTER (1998) thematisiert im Fazit einer Reihe von Vorträgen zum Thema „Prinzipien der Selbstregulation und Funktion des Naturhaushaltes“ die Frage, ob quantifizierende Ansätze zur Beschreibung des Naturhaushaltes ausreichend sind, oder ob es der stärkeren Berücksichtigung qualitativer Aspekte bedarf. Er schätzt ein, dass zwischen dem, was wissenschaftlich beobachtet werden kann, und dem, was gesellschaftliche Akzeptanz bringt, eine grosse Diskrepanz besteht. Diesem Problem werden sich sowohl die Wissenschaft als auch die Administration und die Politik stellen müssen.

Dieser Gedanke wurde von den Autoren dieses Berichtes aufgegriffen. Während in der Regel stärker strukturierte Landschaften wegen der größeren Vielfalt, aber auch wegen der oftmals peripheren Lage der interessierenden Räume im Mittelpunkt des Interesses stehen, fokussierten sie ihre Arbeiten auf ausgeräumte intensiv genutzte Agrarlandschaften, um auch hier die Bestrebungen nach einer ökonomisch tragfähigen Landbewirtschaftung mit umwelt- und naturschützerischen Aspekten zu verbinden und gleichzeitig einen Konsens zwischen mehreren landschaftstypischen Konflikten zu finden. Das vorgestellte Prinzip ist erweiterbar. Wie bereits im Text dargelegt wurde, können durchaus auch weitere, z.B. ökonomisch orientierte Funktionen in die Kompromissfindung einbezogen werden.

Für die Einbindung sozialer Aspekte in neue Szenarien werden mehrere Möglichkeiten gesehen:

Soziale Faktoren sind in der Regel von den ökonomischen Rahmenbedingungen geprägt. Wenn ökonomische Funktionen in die Optimierung einbezogen werden, dann können nach der Auswertung der Szenarien auch Aussagen zum Befinden und Verhalten von Menschen in der betreffenden Region gemacht werden. Es ist auch eine andere Richtung denkbar. Wenn z.B. untersucht wird, welche Präferenzen die Vertreter bestimmter Lebensstile bzw. Menschen in verschiedenen Funktionen und Rollen in bezug auf Ernährung, Umwelt, Freizeit haben, kann untersucht werden, welche Auswirkungen das auf die Landbewirtschaftung, den Anbau von Nutzpflanzen, die Tierhaltung und die Umwelt sowohl landesweit als auch in bestimmten Regionen hätte. Die Analyse verschiedener gesellschaftlicher Ebenen und Lebensbereiche ist traditionell an verschiedene wissenschaftliche Disziplinen gebunden (z.B. Psychologie, Soziologie, Politikwissenschaft, Ökonomie, Rechtswissenschaften), die in einer umfassenden humanökologischen Betrachtung zusammenwirken müssten, um ihr Problemlösepotential für den komplexen Prozess einer nachhaltigen Entwicklung fruchtbar machen zu können (KRUSE-GRAUMANN 1997).

Diese Ideen und Hinweise dienen als Grundlage des hier vorgestellten Konzeptes für die neuartige Begründung eines landschaftsplanerischen Entwurfes, beruhend auf Landschaftsbewertung mit nachfolgender multikriterieller Optimierung, zur Neustrukturierung einer ausgeräumten Landschaft. Ein breiter Diskurs mit den Akteuren, mit den administrativen Ebenen, mit Landschaftsplanern und mit der Politik zur Umsetzung solcher Ansätze wird immer wieder angemahnt. In den entwickelten Industrieländern hat die Regionalplanung meist einen ordnungsrechtlichen Charakter. Dieses Problem könnte durch sogenannte „Regionalmanager“ gelöst werden, der neben fachlicher Kompetenz einen guten Zugang zu den Akteuren der Region haben muss, um durch Konsens- und Akzeptanzbildung übergeordnete raumrelevante Ziele erreichen zu können. Regionalmanagement sollte sich nicht nur auf wirtschaftliche und gesellschaftliche Aspekte, sondern auch auf die ökologische Umsteuerung beziehen. Diese Aufgaben liessen sich durch den Ansatz des bioregionalen Managements erweitern und sollten durch Bündelung der verschiedenen sektoralen Fördertöpfe gestützt werden (LOOSE 1999). Unter Bioregion wird dabei ein geografisch abgrenzbarer Raum verstanden, der durch seine naturräumliche Ausstattung, durch Kultur und Geschichte charakterisiert ist und

mehrere Ökosystem- und Landnutzungstypen umfasst. Die Grenzen müssen nicht identisch mit administrativen Grenzen sein.

Zur Zeit wird die Umsetzung des hier vorgestellten Absatzes in der Beispielsregion verfolgt. Die erzielten Ergebnisse werden mit der Leitung und den Mitarbeitern des Agrarunternehmens Barnstädt, das den grössten Teil der Fläche bewirtschaftet, diskutiert. In die Diskussionen sind auch die Bürgermeister der Gemeinden des untersuchten Testgebietes, die Verwaltungsgemeinschaft und die administrativen Ebenen (Amt für Landwirtschaft und Flurneuordnung, Regierungspräsidium Halle, Ministerien des Landes Sachsen-Anhalt) einbezogen. Zur Verbesserung der Akzeptanz werden Hinweise von den Praxispartnern und den anderen Diskussionspartnern bezüglich gewünschter Änderungen berücksichtigt. Diese Diskussionen sind notwendig, weil es auch um die vorgegebenen Ziele geht. So hat für das hier vorgestellte Testgebiet der Vorschlag, ca. 7 % der Ackerfläche in neue Biotopstrukturen umzuwandeln, Akzeptanz auf allen Ebenen gefunden. Auch den für die einzelnen Funktionen vorher anvisierten Zielen wurde zugestimmt. Da die Landbewirtschaftler ihre Flächen ausserordentlich gut kennen, sind sie natürlich auch über die Gefahr der Bodenerosion informiert, die an verschiedenen Standorten sichtbar wird. Hier erwies es sich als wichtig, die Funktion „Schutz des Bodens vor Erosionsschäden“ in die Bewertung und Optimierung aufzunehmen und die Toleranzgrenzen der Gefährdung entsprechend zu verändern. Es wird vorgeschlagen, zumindest für die ausgeräumten offenen Agrarlandschaften die hier verwendeten Stufen der Einschätzung des potentiellen Bodenabtrags zu übernehmen.

Der aus den vielfältigen Diskussionen entstehende Konsensvorschlag, der sowohl in der jetzigen als auch in der erweiterten Form als Methode auf andere Regionen übertragbar ist, wird die Grundlage für das umzusetzende Szenario sein.

Literatur

ALTERMANN, M. (1995): 60 Jahre Bodenschätzung in Deutschland. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 78 (95), S. 165-170.

ALTERMANN, M. et al. (1995): Exkursionsführer zur Jahrestagung 1995 in Halle. Mitt. d. Dt. Bodenkundl. Gesellschaft 77, 230-277.

ALTERMANN, M. & D. KÜHN (1995): Bodenformen der landwirtschaftlich genutzten Flächen des Kreises Querfurt im Maßstab 1:50000 in Auswertung und kartographischer Umsetzung von Feldaufnahmen und Bodenanalysen des Kreises Querfurt. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin.

ALTERMANN, M. & D. MANIA (1998): Zur Datierung von Böden im mitteldeutschen Trockengebiet mit Hilfe quartärgeologischer und urgeschichtlicher Befunde. Thaer-Archiv, 12, 7, 539-557.

ALTERMANN, M. & H. SCHRÖDER (1992): Zur Kennzeichnung der Schwarzerden aus Löss in Sachsen-Anhalt. Kühn-Archiv, 86, 1, 9-20.

BASTIAN, O. (1999): Landschaftsfunktionen als Grundlage von Leitbildern für Naturräume. Natur und Landschaft, 74, 9, 361-373.

BLASCHKE, T. (1997): Landschaftsanalyse und -bewertung mit GIS. Forschungen zur Deutschen Landeskunde, Band 243, Trier.

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg., 1993): Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro. Dokumente. Agenda 21. Bonn.

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1998): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Entwurf eines umweltpolitischen Schwerpunktprogrammes. Bonn, April.

BÖNING, H. (1997): Datenerhebung „Landnutzung Querfurter Platte“ im Auftrag des UFZ.

CHANGKONG, V. & Y.Y. HAIMES (1983): Optimization-based methods for multiobjective decision-making - an overview. Large Scale Systems, 5: 1-33.

DAMMANN, W. (1965): Meteorologische Verdunstungsmessung, Näherungsformeln und die Verdunstung in Deutschland. In: Die Wasserwirtschaft 55, 315 - 321.

DE GROOT, R. S. (1992): Functions of nature. Wolters-Noordhoff.

DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG), Sonderforschungsbereich 299: Landnutzungskonzepte für periphere Regionen, Universität Giessen.

DEWESS, G. (1985): Zum spieltheoretischen Kompromiss in der Vektoroptimierung. Optimization, 16.1: 29-39.

DIEMANN, R. & H. BÖNING (1995): Agrarstruktur, Bodennutzung und Landschaftsplanung im Kreis Merseburg-Querfurt. In: ALTERMANN et al. (1995): Exkursionsführer zur Jahrestagung 1995 in Halle. Mitt. d. Dt. Bodenkundl. Gesellschaft 77, 236-240.

DUDEN - Das Fremdwörterbuch (1990). Duden-Verlag Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich.

ECKERT, H. & G. BREITSCHUH (1998): Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung (KUL) - ein Verfahren zur Beratung landwirtschaftlicher Betriebe. VDLUFA-Schriftenreihe.

ESRI (1992): Arc/Info User's guide - Arc-Command References.

FALKENHAGEN, M. (1989): Ein mehrkriterielles Optimierungsverfahren als Ansatz für ein Territorialmodell. Dissertation Universität Halle.

FRANKO, U., OELSCHLÄGEL, B. & S. SCHENK (1995): Simulation of temperature-, water- and nitrogen dynamics using the model CANDY. Ecological Modelling, 81: 213-222.

GNAUCK, A. (1996): Mehrkriterielle Optimierung bei konkurrierenden Zielfunktionen. In: BTU Cottbus, Fak. für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik: „Die Leitbildmethode als Planungsmethode - Tagungsband zum Workshop“, Aktuelle Reihe 8/96, Cottbus, 79-96.

GRABAUM, R. (1996): Verfahren der polyfunktionalen Bewertung von Landschaftselementen einer Landschaftseinheit mit anschließender „Multicriteria Optimization“ zur Generierung vielfältiger Landnutzungsoptionen. Dissertation Universität Leipzig.

GRABAUM, R. & B. C. MEYER (1997): Landschaftsökologische Bewertungen und multikriterielle Optimierung mit Geographischen Informationssystemen (GIS). In: PFG 2/97, 121 - 134.

GRABAUM, R. & B. C. MEYER (1998): Multicriteria Optimization of Landscapes Using GIS-based Functional Assessments. Landscape and Urban Planning 43, 21-34.

HAASE, G. et al. (1991): Naturraumerkundung und Landnutzung - Geoökologische Verfahren zur Analyse, Kartierung und Bewertung von Naturräumen. Beiträge zur Geographie 34/1, Akademie-Verlag Berlin, 373 S.

HABER, W., RIEDEL, B. & R. THEURER (1991): Ökologische Bilanzierung in der Ländlichen Neuordnung. Materialien zur Ländlichen Neuordnung - Heft 23. Bay. Staatsmin. für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München, 77 S.

HEINL, W., LEIBENATH, M. & S. RADLMAIR (1996): Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft. Ein Szenario am Beispiel des „Tertiärhügellandes Nord“ in Bayern. Naturschutz und Landschaftsplanung 28 (2), 45-53.

HENNINGS, V. (1994): Methodendokumentation Bodenkunde. Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit der Böden. Geoökologisches Jahrbuch, Reihe F Bodenkunde, Heft 31, BGR Hannover.

HEYDEMANN, B. (1981): Zur Frage der Flächengröße von Biotopbeständen für den Arten- und Ökosystemschutz. Jb. Natursch. Landschaftspfl. 31, 21-51.

HEYDEMANN, B. (1983): Die Beurteilung von Zielkonflikten zwischen Landwirtschaft, Landschaftspflege und Naturschutz aus der Sicht der Landespflege und des Naturschutzes. Schr.-R. für ländliche Sozialfragen 88, 51-78.

HEYDEMANN, B. (1997): Natur erhalten, natürliches Systemverhalten nachahmen, Angebot der Natur nutzen. Ökologie. Grundlage einer nachhaltigen Entwicklung in Deutschland. Tagungsband zum Fachgespräch 29. und 30. April 1997 Wissenschaftszentrum Bonn-Bad Godesberg. Bonn Bundesumweltministerium, 125-133.

JEDICKE, E. (1994): Biotopverbund: Grundlagen und Massnahmen einer neuen Naturschutzstrategie. Ulmer Stuttgart.

JEDICKE, E. (1995): Ressourcenschutz und Prozeßschutz. Diskussion notwendiger Ansätze zu einem ganzheitlichen Naturschutz. Naturschutz und Landschaftsplanung 27,4, 125-133.

KIRCHNER-HESSLER, R., KONOLD, W., LENZ, R. & A. THOMAS (1999): Ökologische Konzeptionen für Agrarlandschaften Modellprojekt Hohenlohe - ein Forschungskonzept. Naturschutz und Landschaftsplanung 31, 9, 275-282.

KLAUER, B., HORSCH, H., GEYLER, S. & B. C. MEYER (1999): Kriterien, Indikatoren und Bewertungsmaßstäbe für einen nachhaltigen Grundwasserschutz in der Querfurter Platte. Diskussionspapier UFZ Leipzig.

KNAUER, N & Ü. MANDER (1987): Untersuchungen über die Filterwirkung verschiedener Saumbiotope an Gewässern in Schleswig-Holstein. (unveröffentlichtes Manuskript; zitiert nach HABER, RIEDEL & THEURER (1991)).

KNIESS, A. (1998): Bewirtschaftungsweise und N-Austrag in die Umwelt im Kerngebiet Barnstädt. Praktikumsbericht, UFZ Leipzig, (unveröff.).

KOCH, R., GRAF, D., HARTUNG, A., NIEMANN, E. & E. RYTZ (1989): Polyfunktionale Bewertung von Flächennutzungsgefügen. Wissenschaftliche Mitteilungen, 32, IGG Leipzig.

KRUSE-GRAUMANN, L. (1997): Nachhaltige Entwicklung: Eine humanökologische Aufgabe aus psychologischer Sicht. Ökologie. Grundlage einer nachhaltigen Entwicklung in Deutschland. Tagungsband zum Fachgespräch 29. und 30. April 1997 Wissenschaftszentrum Bonn-Bad Godesberg. Bonn Bundesumweltministerium, 119-123.

LANDGESELLSCHAFT SACHSEN-ANHALT mbH u.a. (1995): Agrarstrukturelle Vorplanung „Querfurter Platte“.

LANG, R. (1997): Modellierung von Erosion und Nitrataustrag in Agrarlandschaften. FAM-Bericht 17, Aachen, 177 S.

LESER, H. & J.-J. KLINK (Hrsg., 1988): Handbuch und Kartieranleitung Geoökologische Karte 1 : 25000. Forschungen zur Deutschen Landeskunde, Band 228, Trier.

LOOSE, C. (1999): mündliche Mitteilung.

MARKS, R., MÜLLER, M. J., LESER, H. & J.-J. KLINK (Hrsg., 1989): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BA LVL). Forschungen zur Deutschen Landeskunde, Band 229, Trier.

MEYER, B. C. (1997a): Landschaftsstrukturen und Regulationsfunktionen in Intensivagrarschaften im Raum Leipzig-Halle. Geographischer Vergleich - GIS-Szenarien - multikriterielle Landschaftsoptimierung. Dissertation Universität Köln, UFZ-Bericht 24/97, Leipzig.

MEYER, B. (1997b). Biotoptypenkartierung der Verbandsgemeinde Wein-Weida-Land. Leipzig, (unveröff.).

MEYER, B. C. & R. GRABAUM (1996): Szenarien zur Einschätzung der Bodenerosionsgefährdung durch Wasser mit GIS (ARC-INFO) - Dargestellt am Beispiel des Untersuchungsgebietes Jesewitz/Sachsen. *Geoökodynamik*, 17: 45-67.

MEYER, B. C. & R. GRABAUM (1997): Multifunktionale Bewertung und multikriterielle Optimierung von Landschaftsausschnitten. In: FELDMANN, R. et al. (Hrsg.): *Regeneration und nachhaltige Landnutzung - Konzepte für belastete Regionen*. Springer, Heidelberg, 236-243.

MEYER, B. C. & R. KRÖNERT (1998): Bewertung von Massnahmenotwendigkeiten des Umwelt- und Ressourcenschutzes im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld. *UFZ-Bericht 15/1998*, Leipzig, 89 S.

MÜHLE, H. (1998): Sustainable Development in Agricultural Landscapes. In: SCHELLNHUBER, H.-J. & WENZEL, V. (Editors): *Earth System Analysis. Integrating Science for Sustainability*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 277-287.

MÜLLER-WESTERMEIER, G. (1995): Numerische Verfahren zur Erstellung klimatologischer Karten. *Berichte des deutschen Wetterdienstes*, 193. Offenbach.

NIEMANN, E. (1982): Methodik zur Bestimmung der Eignung, Leistung und Belastbarkeit von Landschaftselementen und Landschaftseinheiten. *Wissenschaftliche Mitteilungen, Sonderheft 2. IGG Leipzig*.

PLACHTER, H. (1997): Fazit des Themenblockes I „Prinzipien der Selbstregulation und Funktion des Naturhaushaltes“. *Ökologie. Grundlage einer nachhaltigen Entwicklung in Deutschland. Tagungsband zum Fachgespräch 29. und 30. April 1997*, Wissenschaftszentrum Bonn-Bad Godesberg. Bonn Bundesumweltministerium, 33-35.

PLACHTER, H. & A. WERNER (1998): Integrierende Methoden zu Leitbildern und Qualitätszielen für eine naturschonende Landwirtschaft. *Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung* 39, 121-129.

RENGER, M. & O. STREBEL (1980): Jährliche Grundwasserneubildung in Abhängigkeit von Bodennutzung und Bodeneigenschaften. *Wasser und Boden* 32: 362-366.

SACHSEN-ANHALT (1992): Katalog der Biotoptypen und Nutzungstypen für die CIR-luftbildgestützte Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung im Land Sachsen-Anhalt. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Heft 4 (1992), 39 S.

SACHSEN-ANHALT (1994): Landschaftsprogramm des Landes Sachsen-Anhalt. Ministerium für Umwelt und Naturschutz des Landes Sachsen-Anhalt, 134 S.

SACHSEN-ANHALT (1996): Regionale Entwicklungsprogramme für die Regierungsbezirke des Landes Sachsen-Anhalt. Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Sachsen-Anhalt. Beschl. der LReg. vom 30.1.1996 Ministerialblatt für das Land Sachsen-Anhalt, S. 560.

SACHSEN-ANHALT (1999): Gesetz über den Landesentwicklungsplan des Landes Sachsen-Anhalt (LEP-LSA).

SAUERBORN, P. (1993): Die Erosivität der Niederschläge in Deutschland. Dissertation, Bonn.

SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (1984): Lehrbuch der Bodenkunde. 11. Auflage, Stuttgart.

SCHMIDT, J. et al. (1996): Erosion 2D/3D. Ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft und Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden und Freiberg.

SCHRÖDER, H. & K. LÖWA (1991): Zum Ausmass bodenerosiver Abspülschäden in den Lösslandschaften des südöstlichen Harzvorlandes. Erdkunde 45, Bonn, 255-263.

SCHRÖDER, H., LÖWA, K. & U. BERKNER (1993): Erste Ergebnisse zur Erfassung des Ausmasses geoökologischer Prozesse bodenerosiver Abspülung in Lösslandschaften. DFG-Zwischenbericht zum Forschungsprojekt 379/1-1 (unveröff.), 145 S.

SCHUMANN, A. & J. MÜLLER (1995): Klimatologische Kennzeichnung des mitteldeutschen Trockengebietes. In: ALTERMANN, M (1995): Exkursionsführer zur Jahrestagung 1995 in Halle. Mitt. d. Dt. Bodenkundl. Gesellschaft 77, 43-48.

SCHWARZ, U. (1998): Avifaunistische Untersuchungen im Raum Nemsdorf-Göhrendorf/Barnstädt 1997/1998. Untersuchung der Fachgruppe Ornithologie und Vogelschutz Merseburg e.V. im Auftrag des Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, 31 S., (unveröff.).

SCHWERTMANN, U., VOGL, W. & M. KAINZ (1987): Bodenerosion durch Wasser. Vordersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmassnahmen. Stuttgart.

SMITH, J.A., LYON, D.J., DICKEY, E.C. & P. RICKEY (1992): Emergency wind erosion control. University of Nebraska NebGuide Publication, G75-282-A.

VON HAAREN, C. (1993): Anforderungen des Naturschutzes an andere Landnutzungssysteme. Umsetzungsorientierte Ziele am Beispiel Landwirtschaft und Siedlung. Naturschutz und Landschaftsplanung 25 (5), 170-176.

WALZ, U. & U. SCHUHMACHER (1998): Zum Einsatz des Geo-Informationssystems SPANS für landschaftsökologische Fragestellungen. In: PFG 2/98, 95-104.

WBGU - Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung globale Umweltprobleme (1993): Welt im Wandel: Grundstruktur globaler Mensch-Umwelt-Beziehungen. Jahresgutachten. Economica-Verlag Bonn.

WERNER, R. (1993): Ecologically and economically efficient and sustainable use of agricultural landscapes. *Landscape and Urban Planning* 27: 237-248.

WESCHCKE, H. (1994): Untersuchungen und erste Messergebnisse über Winderosion auf Lössstandorten im Mitteldeutschen Trockengebiet. Forschungsbericht UFZ, Bad Lauchstädt.

WIEGLEB, G. (1997): Beziehungen zwischen naturschutzfachlichen Bewertungsverfahren und Leitbildentwicklung. *NNABer.* 10. Jg. Heft 3, Schneverdingen, 40-47.

WIERZBICKI, A. P. (1979): The use of the reference objectives in multiobjective optimization. *IIASA wp-79-66.*

WISCHMEYER, W. H. & D. D. SMITH (1978): Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. *USDA. Agric. Handbook No. 537.*

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabellen

- Tab. 1: Flächenanteil der Gemeinden am Untersuchungsraum
- Tab. 2: Datengrundlagen für das Projekt
- Tab. 3: Hangneigung im Untersuchungsraum
- Tab. 4: Mittlere Monats- und Jahresmittel von Lufttemperatur (° C), Niederschlagshöhe (mm) und realer Verdunstung (mm) nach ALTERMANN et al. (1995) nach Angaben des DWD, Agrarmeteorologische Beratungs- und Forschungsstelle Halle
- Tab. 5: Bodenarten im Untersuchungsraum
- Tab. 6: Zustandsstufen der Bodenarten im Untersuchungsraum
- Tab. 7: Geologischen Einordnung nach Bodenschätzungskarten
- Tab. 8: Flächen und Anteile der Biotoptypen im Untersuchungsraum
- Tab. 9: Linienhafte Biotoptypen im Untersuchungsraum (Einordnung in Anlehnung an SACHSEN-ANHALT 1993)
- Tab. 10: Gewässer im Untersuchungsraum
- Tab. 11: Verkehrsinfrastruktur im Untersuchungsraum
- Tab. 12: Anteil der vom Agrarunternehmen im Untersuchungsraum angebauten Fruchtarten in den Jahren 1991 bis 1996
- Tab. 13: K-Faktoren im Untersuchungsraum abgeleitet nach SCHWERTMANN et al. (1987)
- Tab. 14: Szenarien der Bewirtschaftung und zugehöriger C-Faktor
- Tab. 15: Toleranzgrenzen zur Bewertung des Bodenabtrags im Mitteldeutschen Schwarzerdgebiet (nach MEYER & KRÖNERT 1998)
- Tab. 16: Varianten zur Berechnung der potentiellen Bodenerosion durch Wasser
- Tab. 17: Potentieller jährlicher Bodenabtrag in t/ha/Jahr bzw. in Tonnen/Jahr und deren Bewertung
- Tab. 18: Flächenanteile der einzelnen Bewertungsklassen für die Varianten 1 bis 3
- Tab. 19: Einschätzung des ökologischen Feuchtegrades auf Grundlage der Nutzbaren Feldkapazität (NFK)

- Tab. 20: Bewertung der potentiellen Bodenerosionsgefährdung durch Wind nach MARKS et al. (1989)
- Tab. 21: Puffergrößen der Landschaftselemente zur Bewertung der potentiellen Winderosionsgefährdung der Biotoptypen im Untersuchungsraum
- Tab. 22: Winderosionsbewertung der Flächen im Untersuchungsraum
- Tab. 23: Parallelisierung der Bodenarten in bezug auf die nutzbare Feldkapazität und Bewertung
- Tab. 24: Bewertungspunkte der Bodenbedeckung
- Tab. 25: Einschätzung der Hangneigung für die Bewertung der Abflussregulation
- Tab. 26: Ableitung der Infiltrationskapazität aus der Bodenart
- Tab. 27: Flächenanteile unterschiedlicher Infiltrationskapazität
- Tab. 28: Bestimmung und Einschätzung der Abflussregulation
- Tab. 29: Flächenanteile der Fruchtfolgeszenarien 1 bis 3 in den Bewertungsklassen 1 bis 5 (Abflussregulation)
- Tab. 30: Bodenzahlen und Flächenanteile im Untersuchungsraum
- Tab. 31: Anwendbarkeit von Verfahren der geoökologischen Bewertung im Untersuchungsraum
- Tab. 32: Restriktionen der Elemente für die Optimierung
- Tab. 33: Gewichtung der Funktionen in der Kompromissoptimierung
- Tab. 34: Optimierungsergebnisse für Szenario 4
- Tab. 35: Optimierungsergebnisse für Szenario 5
- Tab. 36: Optimierungsergebnisse für Szenario 6
- Tab. 37: Vergleich der Szenarien 2 und 3 mit Szenario 1 (aktuelle Nutzung)
- Tab. 38: Anteile der Landschaftselemente am Untersuchungsraum für die einzelnen Szenarien
- Tab. 39: Verbesserungen der Funktionen im Untersuchungsraum
- Tab. 40: Veränderung der Produktionsfunktion (Bodenzahlen)
- Tab. 41: Kulturlandschaftselemente und einbezogene Informationsebenen (Querfurter Platte)
- Tab. 42: Veränderung der Hauptnutzungen Acker, Wald und Grünland von Optimierungsszenario 5 zum landschaftsplanerischen Entwurf (bezogen auf den Optimierungsraum)
- Tab. 43: Neue lineare Elemente im landschaftsplanerischen Entwurf
- Tab. 44: Wassererosionsbewertung - Vergleich zwischen Szenario 1 und dem landschaftsplanerischen Entwurf

- Tab. 45: Winderosionsbewertung - Vergleich zwischen Szenario 1 und dem landschaftsplanerischen Entwurf
- Tab. 46: Bewertung des Retentionsvermögens - Vergleich zwischen Szenario 1 und dem landschaftsplanerischen Entwurf
- Tab. 47: Bewertung der Produktionsfunktion auf Ackerflächen - Vergleich zwischen Szenario 1 und dem landschaftsplanerischen Entwurf
- Tab. 48: Funktionaler Vergleich von Szenario 1 und landschaftsplanerischem Entwurf

Abbildungen

- Abb. 1: Projektstruktur Verbundprojekt
- Abb. 2: Biotoptypen im Untersuchungsraum
- Abb. 3: Vorgehensweise zur Erarbeitung umsetzungsfähiger Handlungsempfehlungen auf der Grundlage der geoökologischen Bewertung und multikriterieller Landschaftsoptimierung
- Abb. 4: Verknüpfung der Primärdatenebenen im GIS zur Bewertung der Bodenerosionsgefährdung nach SCHWERTMANN et al. (1987)
- Abb. 5: Darstellung des Variablensatzes und einer fiktiven Lösung (Variablenbelegung)
- Abb. 6: Mathematische Formulierung des Optimierungsmodells
- Abb. 7: Statistik der LS-Faktoren
- Abb. 8: Potentieller Bodenabtrag durch Wassererosion im Untersuchungsraum
- Abb. 9: Potentiell winderosionsgefährdete Flächen im Untersuchungsraum
- Abb. 10: Grundwasserneubildung im Untersuchungsraum
- Abb. 11: Retentionsvermögen der Landschaft im Untersuchungsraum
- Abb. 12: Programmausschnitt von LNOPT
- Abb. 13: Programmausschnitt mit Zielfunktionswerten der Maximierungen (Ergebnisse 1-3) und Kompromiss 1 (Ergebnis 4)
- Abb. 14: Kartographischer Vergleich der Optimierungsergebnisse der Szenarien 4 bis 6
- Abb. 15: Vergleich der (Ziel)-Funktionswerte (mal 10^6) verschiedener Optimallösungen mit der aktuellen Nutzung
- Abb. 16: Landschaftsplanerischer Entwurf für den Untersuchungsraum

Abb. 17: Wassererosionsdisposition - Vergleich zwischen aktueller Nutzung und landschaftsplanerischem Entwurf

Abb. 18: Winderosionsdisposition - Vergleich zwischen aktueller Nutzung und landschaftsplanerischem Entwurf

Abb. 19: Abflussregulationsfunktion - Vergleich zwischen aktueller Nutzung und landschaftsplanerischem Entwurf

Abb. 20: Produktionsfunktion im Untersuchungsraum

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Projektbereich Naturnahe Landschaften und
Ländliche Räume
Permoserstraße 15, 04318 Leipzig
Telefon 0341/235-2519
Telefax 0341/235-2534