

**Wirksamkeit und Kosten von Maßnahmen zur Verringerung
von Bodenerosion und Stoffaustrag in Gewässer.
Untersuchungen im Leineinzugsgebiet bei Gronau (Niedersachsen).**

Von der Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

zur Erlangung des Grades

Doktor der Naturwissenschaften

Dr. rer. nat.

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Geogr. Heiko Westphal

geboren am 30. Juli 1979 in Hannover.

Schlagwörter: Boden- und Gewässerschutz, Bodenerosionsschutz, Kosten und Effizienz
von Erosionsschutzmaßnahmen

Key words: soil and water conservation, erosion control, costs-benefit analysis of soil
conservation strategies

Referent: Prof. Dr. Thomas Mosimann

Korreferent: Prof. Dr. Gerald Kuhnt

Tag der Promotion: 22.06.2009

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des Projekts „Entwicklung einer Beratungskonzeption zur Minimierung von Bodenerosion und Stoffeintrag“, in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, dem Ingenieurbüro GEUM.tec und dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG).

Herzlich Danken möchte ich Herrn Prof. Dr. Thomas Mosimann, der mich von den grundlegenden Ideen bis zur Fertigstellung dieser Arbeit großartig unterstützte. Herrn Prof. Dr. Gerald Kuhnt danke ich für die Übernahme des Korreferats, sowie Herrn Prof. Dr. Jürgen Böttcher für die Bereitschaft zur Prüfung meines Promotionsvorhabens.

Der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, insbesondere Herrn Dr. Josef Strottdrees und Herrn Thomas Hey, danke ich für die Datenbereitstellung sowie sehr hilfreiche inhaltliche und methodische Diskussionen. Im Rahmen des Beratungsprojekts sei Herrn Dr. Michael Franke und Frau Silke Isringhausen von der Firma GEUM.tec, dem LBEG und den teilnehmenden Landwirten für ihre Hilfe und Kooperation gedankt.

Meinem neuen Arbeitgeber, der Forschungsstelle Küste des Niedersächsischen Landesbetriebs für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz danke ich für die zeitliche Flexibilität, die bei der Fertigstellung der Dissertation überaus hilfreich war.

Jörg Backhaus, meinem Freund und Projektpartner, danke ich für eine tolle Zusammenarbeit; Dr. Sandra Sanders und Jan Bug für die Korrekturen an dieser Arbeit. Bei allen weiteren Mitarbeitern des Instituts für Physische Geographie möchte ich mich für die richtigen Tipps zur richtigen Zeit und die tolle Unterstützung bedanken.

Meiner Freundin Hella Tappe, meiner Familie und meinen Freunden danke ich für die vielen kleinen hilfreichen Dinge in einer Zeit in der Vieles zurückstehen musste und für die Motivation, wenn Manches „nicht so wollte wie es sollte“.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Die Problembereiche Bodenerosion und Feinerdeaustrag in Gewässer	1
1.2	Forschungsstand	3
1.3	Zielsetzungen dieser Arbeit	11
2	Methodisches Vorgehen	12
2.1	Methodisches Gesamtkonzept	12
2.2	Analyse von Bodenerosion und Stofftransport	14
2.2.1	Einsatz des Modells EROSION 3D	14
2.2.2	Einsatz des Bodenerosionsschlüssels	19
2.2.3	Einsatz des Gewässeranschlusschlüssels	21
2.3	Maßnahmenplanung	25
2.3.1	Bestimmung von Bodenabtrag und Gewässeranschluss	25
2.3.2	Zukünftige Nutzungsszenarien: Erosions- und Depositionsgeschehen	32
2.4	Abschätzung der Kosten der Schutzmaßnahmen	32
2.4.1	Kostenberechnung für schlagbezogene Maßnahmen	33
2.4.2	Kostenberechnung für gebietsbezogene Maßnahmen (EROSION 3D)	35
2.5	Arbeitsgebiet	37
2.5.1	Naturräumliche Einordnung	37
2.5.2	Auswahl der Teileinzugsgebiete	39
3	Bodenerosionsgeschehen	44
3.1	Gebietsausträge gemäß Bodenerosionsschlüssel	44
3.2	Mit EROSION 3D ermittelte Gebietsausträge	48
3.2.1	Modellierte Nutzungsszenarien	48
3.2.2	Die Referenzgröße: Gebietsausträge im IST-Zustand	52
3.2.3	Vergleich der Gebietsausträge verschiedener Nutzungsszenarien	55
3.2.4	Zuverlässigkeit der Berechnungen mit EROSION 3D	58

4	Stoffaustrag in die Leine	61
4.1	Grundlagen des Stoffeintrags in Gewässer und Abgrenzung der Liefergebiete	61
4.2	Welcher Partikelanteil wird in die Gewässer eingetragen?	66
5	Maßnahmenpläne für sechs ausgewählte Beispielbetriebe	71
5.1	Betriebsauswahl	71
5.2	Allgemeine Darstellung der Maßnahmenpläne	73
5.3	Die Maßnahmenpläne der Betriebe	73
5.3.1	Maßnahmenplan Betrieb 1 (vgl. Karten A1 und A2)	73
5.3.2	Maßnahmenplan Betrieb 2 (vgl. Karten A3 und A4)	74
5.3.3	Maßnahmenplan Betrieb 3 (vgl. Karten A5 und A6)	76
5.3.4	Maßnahmenplan Betrieb 4 (vgl. Karten A7 und A8)	77
5.3.5	Maßnahmenplan Betrieb 5 (vgl. Karten A9 und A10)	78
5.3.6	Maßnahmenplan Betrieb 6 (vgl. Karten A11 und A12)	79
5.4	Zusammenfassende Betrachtung der betriebsspezifischen Maßnahmenpläne	81
6	Maßnahmenkosten zur Verringerung von Bodenerosion und Stoffaustrag	83
6.1	Kosten in den Einzelbetrieben	84
6.1.1	Aufwand zum Erreichen des Minimalziels	85
6.1.2	Aufwand zum Erreichen des Maximalziels	86
6.1.3	Zusammenfassende Beurteilung der Aufwendungen in den Einzelbetrieben	87
6.2	Finanzielle Belastungen bei generellen Nutzungsänderungen	89
6.2.1	Aktuelle Nutzung (IST-Zustand) versus IST-konservierend	90
6.2.2	Aktuelle Nutzung versus zukünftige, optimierte Mais-Fruchtfolge	91
6.2.3	Zusammenfassende Beurteilung der Aufwendungen in den Teileinzugsgebieten auf Basis der Nutzungsszenarien	93
7	Effizienz der Maßnahmen	95
7.1	Vorgehen für die Ermittlung der Maßnahmeneffizienz	95
7.2	Die Effizienz von Maßnahmen im Teileinzugsgebiet Eddinghausen	98
7.3	Die Effizienz von Maßnahmen in den Teileinzugsgebieten um Brüggen	101

7.4	Die Effizienz von Maßnahmen im Teileinzugsgebiet Hönze	104
7.5	Bewertung der Maßnahmeneffizienz	106
8	Gültigkeit der Ergebnisse für andere Gebiete: das Beispiel Sandlössgebiet	110
8.1	Das nordniedersächsische Gebiet Barum – Eigenschaften und Nutzung	110
8.2	Bodenerosionsgeschehen	112
8.2.1	Gebietsausträge gemäß Bodenerosionsschlüssel	112
8.2.2	Mit EROSION 3D ermittelte Gebietsausträge	114
8.3	Gewässeranschlusssituation in Barum	117
8.4	Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz	119
8.4.1	Maßnahmen im Minimalziel (vgl. Karte A13)	119
8.4.2	Maßnahmen im Maximalziel (vgl. Karte A14)	120
8.5	Kosten der Maßnahmenvorschläge	120
8.5.1	Kostenermittlung schlaggenauer Maßnahmen	121
8.5.2	Kostenermittlung gebietsbezogener Nutzungsänderungen	123
8.6	Effizienz der Maßnahmen im Gebiet Barum	125
8.7	Fazit zur Übertragbarkeit der Kosten- und Effizienzanalysen	129
9	Fazit und Ausblick	131
10	Literatur	135
11	Anhang	146

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1: Faktoren, die den Abfluss auf der Bodenoberfläche ermöglichen, auslösen und fördern.....	1
Abb. 2-1: Methodisches Gesamtkonzept der vorliegenden Arbeit.....	13
Abb. 2-2: EROSION 3D: Datenaufbereitung, Arbeitsweise und Datenstruktur, sowie Visualisierung und Auswertung der Ergebnisse.....	15
Abb. 2-3: Vorgehen bei der Anwendung der Arbeitshilfe „Bodenerosion selber abschätzen“.....	20
Abb. 2-4: Nährstoffeinträge in oberirdische Gewässer.....	22
Abb. 2-5: Vorgehen bei der Anwendung der Arbeitshilfe „Gewässeranschluss von Ackerflächen“.....	24
Abb. 2-6: Ablaufschema und Kriterien zur Ermittlung von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen.....	31
Abb. 2-7: Vorgehen bei der Berechnung der Maßnahmenkosten.....	33
Abb. 2-8: Naturräume in Niedersachsen (SEEDORF & MEYER 1992).....	37
Abb. 3-1: Durchschnittlicher jährlicher Bodenabtrag in den Teileinzugsgebieten.....	45
Abb. 3-2: Gefährdungsstufen der Bodenfruchtbarkeit in den Teileinzugsgebieten.....	46
Abb. 3-3: Übersicht der mit EROSION 3D in den Teileinzugsgebieten modellierten Szenarien.....	49
Abb. 3-4: Anteil der Ackerkulturen im IST-Zustand (extrapoliert), gegliedert nach Teileinzugsgebieten.....	50
Abb. 3-5: Kombination von Gebietsausträgen im IST-Zustand mit Nutzungs- und Reliefparametern.....	54
Abb. 3-6: Relativer Gebietsaustrag der Szenarien im Vergleich zum IST-Zustand (=100), getrennt nach Teileinzugsgebieten.....	56
Abb. 4-1: Sediment Delivery Ratio: Relative Höhe des in die Gewässer eingetragenen Anteils der durch Erosion mobilisierten Feinerdemenge (basierend auf Modellergebnissen von EROSION 3D).....	66
Abb. 5-1: Anteil der Flächen in Betrieb 1 mit notwendigen Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz und zum Bodenschutz allein.....	74
Abb. 5-2: Anteil der Flächen in Betrieb 2 mit notwendigen Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz und zum Bodenschutz allein.....	75
Abb. 5-3: Anteil der Flächen in Betrieb 3 mit notwendigen Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz und zum Bodenschutz allein.....	76
Abb. 5-4: Anteil der Flächen in Betrieb 4 mit notwendigen Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz und zum Bodenschutz allein.....	77
Abb. 5-5: Anteil der Flächen in Betrieb 5 mit notwendigen Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz.....	79
Abb. 5-6: Anteil der Flächen in Betrieb 6 mit notwendigen Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz und zum Bodenschutz allein.....	80
Abb. 7-1: Schema zur Bewertung der Effizienz von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen.....	96
Abb. 7-2: Effizienz von Schutzmaßnahmen im Minimalziel, Teileinzugsgebiet Eddinghausen.....	100
Abb. 7-3: Effizienz von Schutzmaßnahmen im Maximalziel, Teileinzugsgebiet Eddinghausen.....	100

Abb. 7-4: Effizienz von Schutzmaßnahmen im Minimalziel, Teileinzugsgebiete Brüggen Nord und Süd	103
Abb. 7-5: Effizienz von Schutzmaßnahmen im Maximalziel, Teileinzugsgebiete Brüggen Nord und Süd	103
Abb. 7-6: Effizienz von Schutzmaßnahmen im Minimalziel, Teileinzugsgebiet Hönze	105
Abb. 7-7: Effizienz von Schutzmaßnahmen im Maximalziel, Teileinzugsgebiet Hönze	106
Abb. 7-8: Schematische Darstellung des Kosten-Abtrags-Verhältnisses angewandter Maßnahmen	105
Abb. 8-1: Vergleich der relativen Gebietsausträge von drei Szenarien zum IST-Zustand (= 100 %) im Untersuchungsgebiet Barum	116
Abb. 8-2: Anteil der Flächen im Gebiet Barum mit notwendigen Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz und zum Bodenschutz allein	119
Abb. 8-3: Szenariengebundene Veränderung der Richtwert-Deckungsbeiträge im Gebiet Barum	123
Abb. 8-4: Effizienz von Schutzmaßnahmen im Minimalziel, Untersuchungsgebiet Barum	126
Abb. 8-5: Effizienz von Schutzmaßnahmen im Maximalziel, Untersuchungsgebiet Barum	127

Tabellenverzeichnis

Tab. 1-1: Übersicht zu Untersuchungen der Kosten von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen.....	5
Tab. 2-1: Zu unterschreitende Abtragsrichtwerte zum Erreichen der Ziele aus Sicht des Gewässerschutzes.....	27
Tab. 2-2: Maßnahmenliste zum Erreichen der Minimal- und Maximalziele.....	29
Tab. 2-3: Auszug der Richtwert-Deckungsbeiträge 2007 der Landwirtschaftskammer Niedersachsen.....	36
Tab. 2-4: Vergleich charakteristischer Merkmale der vier Teileinzugsgebiete.....	40
Tab. 3-1: Absolute und relative Flächenanteile unterschiedlicher jährlicher Bodenabträge.....	44
Tab. 3-2: Absolute und relative Flächenanteile der Gefährdungsstufen der Bodenfruchtbarkeit in den Teileinzugsgebieten.....	47
Tab. 3-3: Gebietsausträge (t/ha) der Teileinzugsgebiete im IST-Zustand.....	52
Tab. 4-1: Vergleich der SDR des IST-Zustands nach NEUFANG ET AL. (1989) und durch die Erstellung von Indizes aus den Ergebnissen von EROSION 3D (vorliegende Arbeit).....	68
Tab. 4-2: Index für den Stoffaustrag (oben) und die Erosionsaktivität (unten). Beides ermittelt aus den Ergebnissen der Simulation mit EROSION 3D.....	70
Tab. 5-1: Merkmale der Betriebsflächen für die Maßnahmenplanung in den vier Teileinzugsgebieten.....	82
Tab. 6-1: Übersicht der Veränderungen der Richtwert-Deckungsbeiträge, getrennt nach Gebieten und Zielen.....	88
Tab. 6-2: Veränderung des Richtwert-Deckungsbeitrags beim Vergleich der Szenarien IST-Zustand und IST-konservierend.....	91
Tab. 6-3: Veränderung des Richtwert-Deckungsbeitrags beim Vergleich von IST-Zustand und Positiv-Szenario.....	92
Tab. 7-1: Effizienz der Schutzmaßnahmen bei Minimal- und Maximalziel im Teileinzugsgebiet Eddinghausen.....	99
Tab. 7-2: Effizienz der Schutzmaßnahmen bei Minimal- und Maximalziel in den Teileinzugsgebieten Brüggen Nord und Süd (wird auf nachfolgender Seite fortgesetzt).....	101
Tab. 7-3: Effizienz der Schutzmaßnahmen bei Minimal- und Maximalziel im Teileinzugsgebiet Hönze.....	104
Tab. 7-4: Klassifizierung der Schutzmaßnahmen anhand ihrer Effizienzrate.....	107
Tab. 7-5: Nach Schutzmaßnahmen getrennte Bewertung von Abtragsreduktion, Kosten und Effizienz.....	108
Tab. 8-1: Absolute und relative Flächenanteile unterschiedlich hoher Abtragsstufen im Untersuchungsgebiet Barum.....	112
Tab. 8-2: Absolute und relative Flächenanteile der Gefährdungsstufen der Bodenfruchtbarkeit im Untersuchungsgebiet Barum.....	114

Tab. 8-3: Flächenanteile der Kulturen aller vier Szenarien im Gebiet Barum, getrennt nach der Bodenbearbeitung.....	115
Tab. 8-4: Vergleich von Nutzungs- und Reliefparametern des Untersuchungsgebiets Barum und der vier Teileinzugsgebiete (vgl. Abb. 3-5).....	116
Tab. 8-5: Auszug der Richtwert-Deckungsbeiträge 2007 der Landwirtschaftskammer Niedersachsen für das Gebiet Barum.....	121
Tab. 8-6: Übersicht der Veränderungen der Richtwert-Deckungsbeiträge im Gebiet Barum.....	122
Tab. 8-7: Effizienz der Schutzmaßnahmen bei Minimal- und Maximalziel im Gebiet Barum.....	125
Tab. 8-8: Klassifizierung der Schutzmaßnahmen anhand ihrer Effizienzrate in Barum.....	127
Tab. 8-9: Nach Schutzmaßnahmen getrennte Bewertung von Abtragsreduktion, Kosten und Effizienz in Barum.....	129

Kartenverzeichnis

Karte 2-1: Übersichtskarte der Teileinzugsgebiete und des gesamten Untersuchungsgebiets	38
Karte 2-2: Übersichtskarte der Teileinzugsgebiete	42
Karte 2-3: Hangneigungen im Untersuchungsgebiet	43
Karte 4-1: Gewässeranschluss und Erosionsstärke im Teileinzugsgebiet Eddinghausen	63
Karte 4-2: Gewässeranschluss und Erosionsstärke in den Teileinzugsgebieten Brüggen Nord und Süd	64
Karte 4-3: Gewässeranschluss und Erosionsstärke im Teileinzugsgebiet Hönze	65
Karte 5-1: Betrachtete Betriebsflächen zur Maßnahmenplanung in den vier Teileinzugsgebieten	72
Karte 8-1: Lage und Nutzung sowie Hangneigungen im Untersuchungsgebiet Barum	111
Karte 8-2: Durchschnittlicher jährlicher Bodenabtrag und Gefährdungsstufen der Bodenfruchtbarkeit im Untersuchungsgebiet Barum	113
Karte 8-3: Gewässeranschluss und Erosionsstärke im Untersuchungsgebiet Barum	118

Zusammenfassung

Der Schutz vor Bodenerosion und Stoffaustrag in Gewässer bei ackerbaulicher Nutzung wird immer bedeutender. Einerseits nehmen Niederschlagsereignisse mit stark erodierender Wirkung zu, andererseits müssen die Landwirte stetig mehr und höhere Auflagen erfüllen. Die EU-Wasserrahmenrichtlinie fordert beispielsweise eine Begrenzung punktueller und diffuser Einträge in Oberflächengewässer durch den Einsatz individueller Maßnahmenpläne.

Solche Maßnahmenpläne werden in der vorliegenden Arbeit erstellt. Die Grundlage dafür bilden der durchschnittliche jährlichen Bodenabtrag, die Gefährdungsstufe der Bodenfruchtbarkeit (MOSIMANN & SANDERS 2004), sowie der direkte und indirekte Anschluss der Ackerflächen an die Gewässer. Die vier untersuchten Teileinzugsgebiete in Südniedersachsen werden schlaggenau betrachtet. Für zukünftige Landnutzungsszenarien wird das Erosions- und Depositionsgeschehen mit dem Modell EROSION 3D simuliert. Die Maßnahmen orientieren sich an einem Minimalziel (gute fachliche Praxis) und einem Maximalziel (ökologischer Wunschstandard). Die erforderlichen Maßnahmen werden anhand von Richtwert-Deckungsbeiträgen (LWK 2007) ökonomisch bewertet und bezüglich ihrer Kosten-Wirkungs-Effizienz klassifiziert.

Die wichtigsten Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lauten:

- Von 750 ha betrachteter Gesamtfläche sind im Minimalziel auf \varnothing 32 % der Fläche Schutzmaßnahmen erforderlich, im Maximalziel auf 44 %. Folglich wird auf der Mehrheit der Flächen bereits häufig entsprechend der guten fachlichen Praxis bewirtschaftet.
- Die Kosten zum Erreichen des Minimalziels liegen bei 9-19 €/ha*a. Beim Maximalziel liegen diese im Schnitt zehnmal höher (79-210 €/ha*a). Die Kosten für das Erreichen der guten fachlichen Praxis sind also eher gering und betriebswirtschaftlich tragbar.
- Die höchsten Kosten von bis zu 1000 €/ha*a entstehen bei Maßnahmen mit sehr hoher Schutzwirkung: Stilllegung bzw. Rotationsbrache, Verzicht auf Hackfrüchte und teilweise bei der Anlage von Gewässerrandstreifen.
- Maßnahmen mit einer hohen Effizienzrate (relativ geringe Kosten bei relativ hoher Reduktion des Bodenabtrags) sind die Schlagteilung, Mulchsaat zu weitreihigen Sommerfrüchten und Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge. Die Schlagteilung wird im Unterschied zur Mulchsaat noch viel zu wenig als Schutzmaßnahme eingesetzt.

Die Studie zeigt, dass ein verbesserter Bodenerosions- und Gewässerschutz nach den Anforderungen der guten fachlichen Praxis für die Betriebe bezahlbar ist. Das Erreichen des ökologischen Wunschstandards wäre dagegen viel teurer und ist von den Betrieben aus eigener Kraft nicht zu leisten.

Abstract

Erosion control and prevention of transport of soil is an issue of increasing impact in agriculture. On the one hand more precipitation events with enhanced intensity occur, on the other hand agriculturists must fulfil additional obligations for erosion control. The European Water Framework Directive includes a limitation of selective and diffuse depositions in surface water. This aim should be achieved with selective measures.

Those measures are developed in the present study, based on the annual average of soil loss per field, the risk of losing soil fertility (MOSIMANN & SANDERS 2004) and the direct and indirect access from cropland to surface waterbodies. Data was collected in four catchment areas in the southern part of Lower Saxony. Erosion and deposition events of prospective land use scenarios are simulated with the model EROSION 3D. The measures have to implement two protection targets: a minimum target (equivalent to the good agricultural practices) and a maximum target (equivalent to an ecological gold standard). The costs of the safety measures are calculated with benchmark contribution margins (LWK 2007). Subsequently the costs of the safety measures are compared to their reduction of soil erosion. This leads to an evaluation of the efficiency for every single safety measure.

The main results of the present study are:

- 32 % of the total analysed area (750 ha) necessitates safety measures to achieve the minimum target. This rate rises up to 44 % for the maximum target. Thus, the majority of the fields are already cultivated equivalent to the good agricultural practices.
- The costs to obtain the minimum target are calculated to 9-19 €/ha*a. For the maximum target they rise up by factor of ten (79-210 €/ha*a). The marginal investments to achieve the good agricultural practices are economically acceptable.
- Uppermost costs; up to 1000 €/ha*a; result from measures like shutting down agricultural use or using the rotation fallow, the abandonment of root crops and in part by applying green areas at the riverside, respectively.
- Measures with a high efficiency rate (low costs together with a high reduction of soil erosion) are: reduction of field size, mulch crop for summer fruits (e.g. sugar beets, corn, potatoes) and mulch crop in the complete crop rotation. The reduction of field size is insufficiently used compared to the mulch crops.

The present study shows, that the prevention of transport of soil and the limitation of deposition in surface water up to the standard of good agricultural practices is affordable to the agriculturists. In contrast, gaining the ecological gold standard is much more expensive and; without support; not achievable for a farm.

1 Einleitung

1.1 Die Problembereiche Bodenerosion und Feinerdeaustrag in Gewässer

Der Boden einer Ackerfläche stellt nur einen kurzfristig stabilen Standortfaktor dar. Vielfältige Einflüsse können mittel- bis langfristig die Bodenstruktur verändern. Oberflächenabfluss und einhergehend Bodenerosion verringern die Bodenmächtigkeit und wirken sich damit negativ auf die Ertragsfunktion des Bodens aus. Abbildung 1-1 (nach BORK ET AL. 1998) zeigt die Einflussparameter und deren Wirkung auf das Bodenerosionsgeschehen. Die Abtragsintensität ist von verschiedenen Boden-, Relief- und Landschaftsstrukturparametern abhängig (vgl. BORK ET AL. 1998).

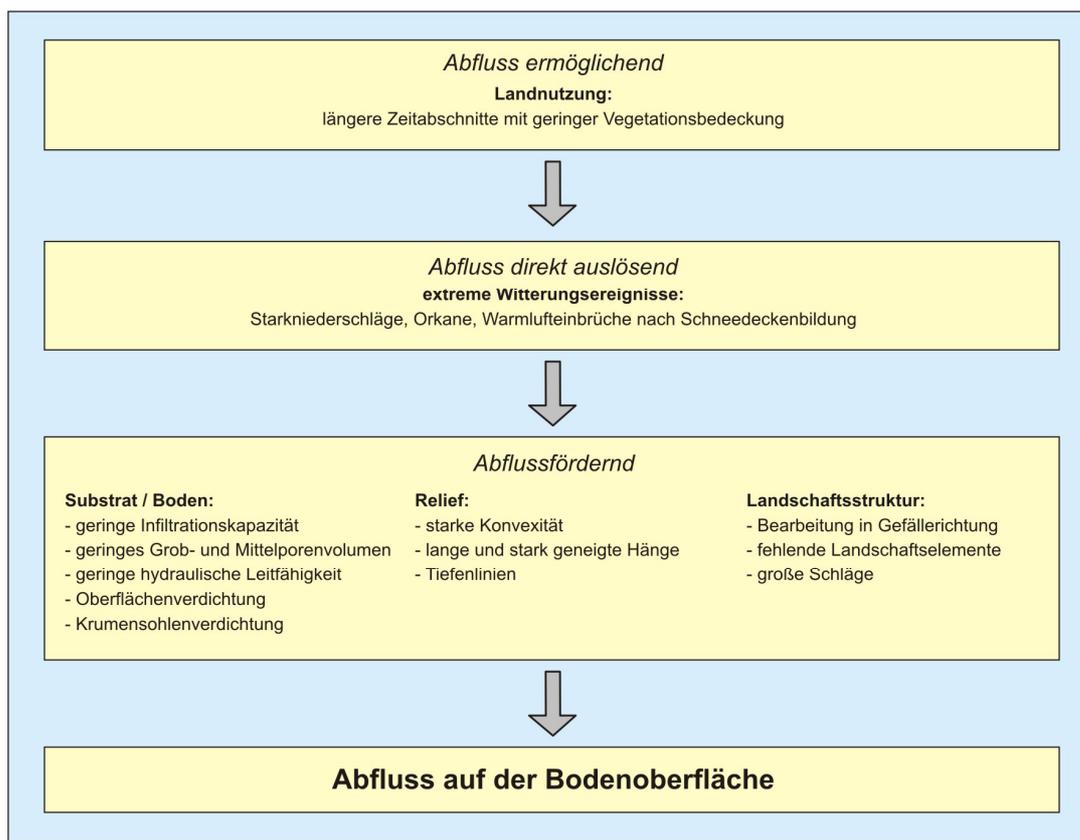


Abb. 1-1: Faktoren, die Abfluss auf der Bodenoberfläche ermöglichen, auslösen und fördern.
Verändert nach BORK ET AL. (1998).

Bereits erste Untersuchungen von HEMPEL (1963), RICHTER (1965), BREBURDA (1983), SCHWERTMANN ET AL. (1990), CAPELLE (1990) und AUERSWALD (2006) weisen für Löss- und Sandlössböden sowie für schluffig-lehmige Verwitterungsböden eine starke Bodenerosionsgefahr aus. Um daraus resultierende Schäden, wie die Verringerung der Bodenfruchtbarkeit, Er-

tragsminderungen und den Verlust wichtiger Bodenfunktionen (Filter-, Puffer-, Speicherfunktionen etc.) zu vermeiden, fordern beispielsweise CAPELLE (1990), VANDAELE & POESEN (1995), FRIELINGHAUS (1998), BRUNOTTE (2001 und 2003), MORGAN (2005) oder FRIEDRICH (2008) Schutzmaßnahmen zur Reduktion des Bodenabtrags. Möglich sind zum Beispiel konservierende Bodenbearbeitung, Direktsaat, Zwischenfruchtanbau zur Erhöhung der Bodenbedeckung im Winterhalbjahr, Änderungen in der Fruchtfolge (Reduzierung/Vermeidung weitreihiger Fruchtarten) oder Schlagteilungen zur Reduktion abflusswirksamer Hanglängen.

Die gesetzliche Grundlage solcher Schutzmaßnahmen bildet in Deutschland seit 1998 das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG vom 17.03.1998). Mit ihm sind „... nachhaltig die Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen ...“ (BBodSchG, §1). Diese Sicherung geschieht bei landwirtschaftlicher Bodennutzung durch die Einhaltung der guten fachlichen Praxis, welche „... die nachhaltige Sicherheit der Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens als natürliche Ressource ...“ gewährleistet (BBodSchG, §17, Abs. 2).

Die einheitlich rechtswirksame Verankerung des Bodenschutzes auf europäischer Ebene befindet sich noch im Aufbau. Geplant ist ein ähnliches Konzept wie bei der seit Oktober 2000 bestehenden Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL). Im November 2007 wurde vom europäischen Parlament der Vorschlag einer Rahmenrichtlinie für den Bodenschutz (KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN 2006) angenommen. Eine Umsetzung der Bodenrahmenrichtlinie (BRRL) erfolgt durch die Zustimmung der Mitglieder im Ministerrat frühestens 2009. Die BRRL orientiert sich an den nationalen Zielen der Mitgliedsländer, so soll die Verschlechterung des Bodenzustands vermieden und die Bodenfunktionen erhalten werden (MARAHRENS 2008). Um diese Ziele zu erreichen ist laut des Berichts der KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (2006) die Ergreifung folgender Maßnahmen vorgesehen:

- Schaffung rechtlicher Rahmenbedingungen zum Schutz und zur nachhaltigen Nutzung der Böden;
- Einbeziehung des Bodenschutzes in nationale politische Maßnahmen;
- Schließen von Kenntnislücken durch Forschungstätigkeit, gefördert durch einzelstaatliche Forschungsprogramme;
- Die Sensibilisierung der Öffentlichkeit für die Notwendigkeit des Bodenschutzes.

Neben reinen „on-site“ Schäden am ursprünglichen Entstehungsort der Bodenerosion (s.o.) sind häufig „off-site“ Schäden durch die Sedimentation von abgetragenem Material oder durch Stoffeintrag in Gewässer zu beobachten. Laut EISELE (2008) zählt hierzu beispielsweise die Überdeckung des Pflanzenbestandes am Hangfuß, die Verschlämmung von Wegen, Kanalisationen und Gräben, die Eutrophierung von Gewässern, der Eintrag von Schadstoffen und Sediment in den Vorfluter. Die europäische Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL vom 23.10.2000) hat die „... Verbesserung des Zustands aquatischer Ökosysteme ...“ (EU-WRRL, Art. 1) bis zum Jahr 2012 zum Ziel. Artikel 10 der Wasserrahmenrichtlinie schreibt eine Begrenzung punktueller und diffuser Einleitungen in Oberflächengewässer vor. Diese sollen durch ein individuelles Maßnahmenprogramm erreicht werden (EU-WRRL, Art. 11).

Die aktuellen Rahmenbedingungen des Boden- und Gewässerschutzes werden durch zukünftige Gesetze und Verordnungen (s.o.) immer enger gefasst. Verbunden mit stetig zunehmenden Produktionskosten in der Landwirtschaft (LWK 2006 und 2007) werden künftig umfangreiche Maßnahmenkonzepte erforderlich, welche die gesetzlichen Vorgaben räumlich präzise mit höchsteffizienten Schutzmaßnahmen erfüllen. So ist der Boden- und Gewässerschutz bei gleichzeitig möglichst geringen Kosten bzw. mit finanziellen Gewinnen für die landwirtschaftlichen Betriebe möglich.

Die vorliegende Arbeit erstellt für sechs ausgewählte Beispielbetriebe Maßnahmenpläne zum Erreichen von vorgegebenen Zielen. Die in den Plänen dieser Arbeit vorgeschlagenen Maßnahmen werden dabei in ihrer Schutzwirkung und in der Höhe ihrer Kosten untersucht. Nur beide Faktoren, Schutzwirkung und Kosten, führen im Verhältnis zueinander zu Aussagen über die Effizienz einer Maßnahme. Die Arbeit beurteilt einerseits aus ökologischer und andererseits aus ökonomischer Sicht die Wirkung von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen.

1.2 Forschungsstand

Bei der ökonomischen Bewertung von Bodenschutzmaßnahmen sind viele naturwissenschaftliche Aspekte nur sehr schwer monetär greifbar. Darunter fallen beispielsweise langfristige Veränderungen der Bodeneigenschaften (Bodendichte, Bodenwassergehalt, verfügbare Pflanzennährstoffe usw.), klimatische Einflüsse (Niederschlagsmenge und -verteilung, Temperaturen) und daraus resultierend die Höhe der Ernteerträge. Daher werden die Grundlagen für Kosten-Nutzen-Analysen in der Regel einfach aufgebaut (vgl. MORGAN 2005, PIMENTEL 1993 und PIMENTEL ET AL. 1995):

- Die Betriebseinnahmen bei aktueller Bewirtschaftung werden als Grundlage betrachtet, darauf aufbauend wird als Bodenschutzmaßnahme nur die Mulchsaat vorgeschlagen, in Einzelfällen auch die Direktsaat.
- Die Bodenschutzmaßnahmen werden in fast allen Kosten-Nutzen-Analysen um ein umfangreiches Düngemanagement ergänzt. So kann die Belastung der Gewässer (vor allem durch Stickstoff und Phosphor) mit bedarfsgerechten Düngemittelgaben verringert werden.
- Durch die Einführung von Mulch- / Direktsaat und eines Düngemanagements entstehen Kosten, die jedoch durch höhere Erträge, geringere Düngemittelkosten und eventuell durch Prämienzahlungen (beispielsweise von der Europäischen Union) teilweise aufgefangen werden.

◆ *Historische Einordnung der ökonomischen Betrachtung des Bodenschutzes*

Die ersten ökonomischen Untersuchungen des Bodenschutzes fanden in den 1970er und 1980er Jahren in den USA statt. Dabei erfolgte anhand von Kosten-Nutzen-Analysen eine ökonomische Bewertung von in den USA durchgeführten Bodenschutzmaßnahmen. Die Kosten für die Anwendung einer Schutzmaßnahme wurden den Auswirkungen auf Bodenschutz und Pflanzenertrag gegenübergestellt und monetär bewertet (vgl. PIMENTEL 1993 und BOJÖ 1992). Viele dieser Analysen blieben laut BOJÖ (1992) relativ oberflächlich, da die Auswirkungen politischer Entscheidungen nicht mit einbezogen wurden. Kosten, beispielsweise zur Anschaffung landwirtschaftlicher Geräte, können in der Analyse monetär klar abgegrenzt werden. Den Nutzen monetär zu beziffern ist hingegen schwieriger. So sind beispielsweise Verbesserungen von Bodeneigenschaften (geringere Bodenverdichtung, höhere Wasserspeicherkapazität usw.) monetär nicht oder nur schwer zu quantifizieren (vgl. BOJÖ 1992, MORGAN 2005).

Nach PIMENTEL (1993) führt eine Investition von 1 US-\$ in Bodenschutzmaßnahmen (z.B. Mulchsaat) je nach angebaute Feldfrucht, Lage der betrachteten Fläche und Zeitpunkt zu 1,30 – 3 US-\$ höheren Einnahmen durch gestiegene Erträge. Wird 1 US-\$ in Gewässerschutzmaßnahmen investiert, spart das laut PIMENTEL (1993) bis zu 5 US-\$ Kosten bei der Beseitigung von off-site Schäden.

Einen allgemeinen Vergleich der durch verschiedene Autoren ermittelten Kosten und Gewinne von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen zeigt Tabelle 1-1.

Quelle(n)	Aussage zu den Kosten (-) oder dem Gewinn (+) durch die Maßnahme(n)	Art der untersuchten und angewandten Boden- und / oder Gewässerschutzmaßnahmen
PIMENTEL (1993)	1 US-\$ Investition in den Gewässerschutz spart 5 US-\$ Kosten. 1 US-\$ Investition in den Bodenschutz bringt 1,30 - 3 US-\$ höhere Einnahmen.	Grünstreifen Mulchsaat
MORGAN (2005)	+ 4 US-\$/ha + 8 US-\$/ha + 17 US-\$/ha - 20 US-\$/ha	Konservierender Sojabohnenanbau, konservierender Weizenanbau, konservierender Maisanbau (jeweils inkl. Düngemanagement) Grasstreifen / Aufforstungen
SCHMIDLLEIN ET AL. (1990)	+ 5 – 60 US-\$/ha	Konservierender Maisanbau
FIENER & AUERSWALD (2003)	Kosten und Nutzen wiegen sich gegenseitig auf	Begrünung von Tiefenlinien
BRUNOTTE ET AL. (1995)	+ 15 % + 7 % + 5 % } $\emptyset + 54 \text{ €/ha}^*a$ + 56 €/ha*a + 74 €/ha*a + 100 €/ha*a } gegenüber Pflug	Zuckerrüben, Zwischenfrüchte Winterweizen, Zwischenfrüchte Wintergerste, Zwischenfrüchte Mulchsaat (Stroh), Saatbett Mulchsaat, Saatbett, Zwischenfrüchte Mulchsaat, Zwischenfrüchte
HOLLMANN (2003)	+ 40 %	Mulchsaat statt Pflug
KILIAN (2000)	+ 8 €/ha*a (Marktfruchtbetrieb) + 15 €/ha*a (Futterbaubetrieb) + 134 €/ha*a (Veredelungsbetrieb)	Zwischenfrüchte, Mulchsaat, mehr Blattfrüchte / weniger Hackfrüchte, Direktsaat. Umweltorientierte Beratung der Landwirte
AUTH ET AL. (2005)	+ 6 €/ha*a - 60 €/ha*a (sehr geringe Erträge)	Mulchfrässaat Mulchdirektsaat

Tab. 1-1: Übersicht zu Untersuchungen der Kosten von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen. Dargestellt sind die Kosten (-) oder der Gewinn (+) verschiedener untersuchter Maßnahmen. Bei sehr ähnlichen Untersuchungsergebnissen mehrerer Autoren wurde jeweils nur eine Quelle in dieser Übersicht berücksichtigt.

◆ **Ökonomie des Bodenschutzes seit den 1980er Jahren in Deutschland**

Nach Untersuchungen von SCHMIDTLEIN ET AL. (1990) steigt in Bayern die Bodenerosionsrate und der Nährstoffaustrag, unter anderem auf Grund eines höheren Maisanteils in der Fruchtfolge, an. Diese Entwicklung führt zu einer geringeren Oberbodenmächtigkeit und dementsprechend zu Ertragseinbußen (Mitscherlich-Spillmann-Funktion, vgl. SCHMIDTLEIN ET AL. 1990), welche durch zusätzliche Düngergaben ausgeglichen werden müssen. Pro Tonne Bodenabtrag ist laut SCHMIDTLEIN ET AL. (1990) mit Kosten von 2,60 € zu rechnen. Diese und weitere Kosten fallen bei konservierendem Maisanbau weg, so dass dieser pro Hektar und Jahr ca. 5 - 60 € günstiger ist als konventioneller Anbau. Allerdings bleibt festzuhalten, dass sich die Umstellung auf konservierenden Anbau erst über einen Zeitraum von mehreren Jahren, je nach Gefährdungslage des Bodens (erosionsbedingte Produktivitätseinbußen), amortisiert (vgl. SCHMIDTLEIN & HEIßENHUBER 1991).

FIENER & AUERSWALD (2003) haben die Begrünung von Tiefenlinien als Boden- und Gewässerschutzmaßnahme ökonomisch untersucht. Die Begrünung führt in den bayerischen Untersuchungsgebieten zu einem guten Erosionsschutz mit einer gezielt langsamen Ableitung des Oberflächenabflusses. Die Kosten dieser Maßnahme liegen dabei höher als der Nutzen. Das heißt im Gegensatz zum weit verbreiteten Verfahren der Mulchsaat kann der Landwirt hier keine unmittelbar höheren Einnahmen erwarten.

Die Kosten und die Akzeptanz der konservierenden Bodenbearbeitung untersuchten BRUNOTTE ET AL. (1995). Die Untersuchung ergibt, dass ein geringerer Bodenabtrag, nachhaltig verbesserte Bodeneigenschaften und geringere Kosten die Akzeptanz der konservierenden Bodenbearbeitung bei den Landwirten stark erhöhen. BRUNOTTE ET AL. (1995) zeigen, dass durch Zwischenfruchtanbau die Erträge der Zuckerrübe (ZR) um durchschnittlich 15 %, der von Winterweizen (WW) um 7 % und der der Wintergerste (WG) um 5 % zunehmen. Dies führt über die gesamte Fruchtfolge betrachtet (ZR—WW—WG) zu Mehreinnahmen von 82 €/ha*a. Dem steht ein Mehraufwand von ca. 28 €/ha*a gegenüber. Der Anbau von Zwischenfrüchten lohnt sich also nicht nur finanziell (+54 €/ha*a), sondern auch aus ökologischer Sicht: der Anbau von Zwischenfrüchten bewirkt eine Minderung der Bodenerosion um rund 60 % (BRUNOTTE ET AL. 1995). Dies sichert die langfristige Ertragsfähigkeit der Böden. Konservierende Bearbeitung kann in unterschiedlichen Bodenschutz-Intensitäten durchgeführt werden. Je stärker die konservierende Bodenbearbeitung und damit der Bodenschutz ausgeprägt sind, desto höher ist

laut BRUNOTTE ET AL. (1995) der finanzielle Nutzen (Angaben ohne Einbezug von off-site Schäden):

- Mulchsaat (Stroh) mit Saatbettbereitung (entspricht konservierender Bearbeitung mit geringem Bodenschutz) erzielt um 56 €/ha*a höhere Betriebseinnahmen als die konventionelle Bodenbearbeitung mit dem Pflug.
- Mulchsaat mit Saatbettbereitung und Zwischenfrüchten (entspr. konservierender Bearbeitung mit hohem Bodenschutz) liegt bei plus 74 €/ha*a,
- Mulchsaat ohne Saatbettbereitung und mit Zwischenfrüchten (entspr. konservierender Bearbeitung mit sehr hohem Bodenschutz) liegt bei plus 100 €/ha*a.

Grundlage der obigen Berechnungen sind laut BRUNOTTE ET AL. (2001) die höheren Erträge und das kostengünstigere Verfahren der konservierenden Bearbeitung. Als Maß verwenden BRUNOTTE ET AL. (2001) die Flächenleistung, also die Angabe der Fläche, die mit der verwendeten Technik in einer Stunde bearbeitet werden kann. Hier liegt die konservierende Bearbeitung mit einer Flächenleistung von 1 ha/h im Mittelfeld. Die konventionelle Bodenbearbeitung ist nur halb so effektiv (0,5 ha/h), die Direktsaat ist mit einer Flächenleistung von 2 ha/h doppelt so effizient. Die höhere Flächenleistung führt zu niedrigeren Maschinenkosten, und diese wiederum zur Senkung der Bearbeitungskosten um -102 €/ha*a (Pflug → konservierend), bzw. -153 €/ha*a (Pflug → Direktsaat). Konservierender Anbau führt also zu einer Gewinnsteigerung bei gleichzeitig sinkendem Arbeitskraftbedarf pro Flächeneinheit (vgl. BRUNOTTE ET AL. 2001).

Diese Erkenntnis wird von HOLLMANN (2003) bestätigt. Demzufolge ist nicht der Umweltschutzgedanke sondern die Ökonomie der Hauptantrieb für die Einführung pflugloser Anbausysteme. Der erfolgreiche pfluglose Anbau wird durch eine detaillierte Standortanalyse, ein erfolgreiches Strohmanagement, überdurchschnittlich gute acker- und pflanzenbauliche Fähigkeiten des Betriebsleiters und das Wissen um die Nährstoffdynamik des Bodens gekennzeichnet. Die elementare Forderung lautet aus Sicht des Landwirts: keine Gefährdung des Ertrags. Laut HOLLMANN (2003) können die Einnahmen durch die Umstellung des Gesamtanbauverfahrens bei einem optimalen pfluglosen Anbau um rund 40 % im Vergleich zum konventionellen Anbau steigen.

TEBRÜGGE (2003) stellt das Verfahren „konservierende Bearbeitung“ vor und resümiert, dass dieses bei vergleichbar hohen Erträgen die Kosten senkt und vielfach positive Einflüsse auf

das Ökosystem Boden hat. Höhere Einnahmen bei der Durchführung von Mulch- oder Direktsaat bestätigen auch BÖHRNSEN & TEBRÜGGE (1993).

◆ **Kosteneffizienz von Bodenerosions- und Gewässerschutzmaßnahmen**

Die anthropogen verursachte Belastung von Gewässern ist ein zunehmendes Problem. Der mit Intensivierung der Landwirtschaft oft zunehmende Eintrag von Nähr- und Schadstoffen führt zu einer Eutrophierung von Oberflächengewässern, zur vermehrten Gewässerversauerung durch Abflusswasser aus Waldgebieten und zu einer höheren Gewässerbelastung durch Pflanzenschutzmittel (vgl. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998). Dem soll die seit Dezember 2000 in Kraft getretene Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft (Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates) entgegen wirken. Ziel der Wasserrahmenrichtlinie ist ein guter chemischer und ökologischer Zustand der Oberflächengewässer bis zum Jahr 2015. Dieser kann flächendeckend nur durch Gewässerschutzmaßnahmen erreicht werden, die den Stoffeintrag von landwirtschaftlichen Flächen vermindern. KILIAN (2000) verwendet ein ökonomisch-ökologisches Modell um den Einfluss von agrarpolitischen Maßnahmen auf die Gewässerbelastung zu ermitteln. Er stellt fest, dass die vorhandene Markt- und Preispolitik zum Erreichen der Gewässerschutzziele nicht geeignet ist. Die Verringerung der Stoffausträge geht mit hohen Einkommensverlusten (bei Marktfruchtbetrieben: 20-30 %) einher. Die wichtigste ordnungspolitische Maßnahme für den Gewässerschutz ist laut KILIAN (2000) die Düngeverordnung (DüV). Er fordert als „Umweltziel“ für Boden- und Gewässerschutz weniger als 25 mg NO₃ pro Liter Sickerwasser und einen C-Faktor von maximal 0,1. Damit verbunden wäre deutschlandweit ein durchschnittlicher Rückgang der Produktivität in Marktfruchtbetrieben um 5 %, in Futterbaubetrieben um 13 % und in Veredelungsbetrieben um 30 %. Parallel dazu sänke das Einkommen der Landwirte im Durchschnitt bei Marktfruchtbetrieben um 8 €/ha, in Futterbaubetrieben um 15 €/ha und in Veredelungsbetrieben um 134 €/ha. KILIAN (2000) schlägt folgende Gewässerschutzmaßnahmen vor, die in der angegebenen Reihenfolge (ermittelt aus Kosten und Wirksamkeit) eingesetzt werden sollen: 1. Zwischenfruchtanbau, 2. Mulchsaat, 3. Ausdehnung des Blattfruchtanbaus, 4. Einschränkung des Hackfruchtanbaus, 5. Direktsaat. Zugleich fordert er eine stärker umweltorientierte Beratung der Landwirte.

Die Kostenwirksamkeit von verschiedenen Gewässerschutzmaßnahmen untersuchen BÖHM ET AL. (2002). Sie stellen fest, dass sich einzelne Maßnahmen oft gegenseitig verstärken und empfehlen daher ein Maßnahmenbündel, da es oftmals die kostengünstigste Alternative dar-

stellt. „Weiche“ Maßnahmen wie z.B. die Beratung lassen sich nach BÖHM ET AL. (2002) nur schwer quantifizieren und sind dementsprechend nur selten Bestandteil von Kosten-Nutzen-Analysen. Die bei BÖHM ET AL. (2002) vorgeschlagenen Gewässerschutzmaßnahmen sind mit den Vorschlägen von KILIAN (2000) weitgehend identisch. Die Kosten-Wirksamkeit der Stickstoffreduktion liegt bei BÖHM ET AL. (2002) bei rund 5-10 €/kg N. Das heißt, für den um ein Kilogramm geringeren Stickstoffaustrag (pro Hektar) müssen Kosten von 5-10 € aufgewendet werden. Die Kostenwirksamkeit von Phosphor beträgt ca. 140 €/kg P. Beide Angaben sind Durchschnittswerte und schwanken je nach angewandten Maßnahmen (Fruchtfolge anpassen, konservierende Bearbeitung, standort- und bedarfsgerechte Düngung, intensive Beratung) und der Betriebsstruktur erheblich.

Eine Koppelung zwischen konservierender Bodenbearbeitung und vermindertem Düngemiteleinsatz ermitteln auch FORSTER & MURRAY (2007). Der Pflugeinsatz lässt sich auf den untersuchten Flächen um ca. 10 % reduzieren. Das führt durch reduzierte Düngemittelgaben zu Kosteneinsparungen von ca. 7000 US-\$ im gesamten Untersuchungsgebiet (vgl. FORSTER & MURRAY 2007).

Auch AUTH ET AL. (2005) bilanzieren die Gewässerbelastung durch Stickstoff und Phosphor unter der Zielgröße des guten Gewässerzustandes nach EU-Wasserrahmenrichtlinie. Zur Minderung der Erosion und damit vor allem zur Minderung von Phosphoreinträgen bewerten sie zwei Intensitäten der Mulchsaat ökonomisch. Mulchfrässaat reduziert den Bodenabtrag um durchschnittlich 46 % und Mulchdirektsaat um durchschnittlich 62 %. Beide Formen der Mulchsaat haben laut AUTH ET AL. (2005) geringere Produktionskosten und erzeugen damit zunächst höhere Einnahmen. Allerdings führen die Mulchfrässaat zu leicht geringeren Erträgen und die Mulchdirektsaat zu deutlich geringeren Erträgen (und damit jeweils zu geringeren Einnahmen). In der Bilanz (zwischen Produktionskosten und Erträgen) erhöhen sich daher die Einnahmen bei Mulchfrässaat um 6 €/ha*a, die Einnahmen bei Mulchdirektsaat sinken jedoch um ca. 60 €/ha*a.

Einen umfassenden Überblick über Gewässerschutzmaßnahmen geben OSTERBURG & RUNGE (2007). Sie ermitteln die Kostenwirksamkeit von knapp 50 Maßnahmen in Bezug auf ihre Stickstoff- und Phosphorreduktion. Reine Bodenschutzmaßnahmen werden dabei nicht eigens betrachtet. Auch OSTERBURG & RUNGE (2007) stellen fest, dass Maßnahmenkombinationen ökonomisch und ökologisch oft am wirkungsvollsten sind. Allerdings sollte jeder Landwirtschaftsbetrieb individuell beraten werden und ein passendes Maßnahmenpaket bekommen.

FREDE & DABBERT (1998) charakterisieren Schutzmaßnahmen im Allgemeinen und stellen für Baden-Württemberg eine Datensammlung zur Abschätzung ökonomischer Auswirkungen dieser Maßnahmen vor. Dabei werden Gewässerschutzmaßnahmen zum Erreichen von Zielen kombiniert, zur ökonomischen Bewertung werden die Deckungsbeiträge herangezogen. Der Deckungsbeitrag ist definiert als Differenz zwischen Erlös und variablen Kosten (vgl. STEINHAUSER ET AL. 1992). Eine explizite Betrachtung von Bodenschutzmaßnahmen wird bei FREDE & DABBERT (1998) nicht durchgeführt, ebenso findet die aktuelle Bewirtschaftung der Flächen durch die Landwirte keine Berücksichtigung.

◆ *Lücken im Forschungsstand*

Bisher wurde noch kein umfassender Ansatz entwickelt, der für jeden Landwirtschaftsbetrieb individuelle sowie ökologisch und ökonomisch optimal angepasste Maßnahmenkombinationen bereitstellt. Dieser Ansatz ist jedoch auf Grund umfangreicher Gesetze und Verordnungen zum Boden- und Gewässerschutz (vgl. Kap. 1.1) erforderlich, vor allem da mit fortschreitender Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie weitere bzw. geringere Richtwertvorgaben zu erwarten sind.

Einzelmaßnahmen wurden bislang oft ökonomisch pauschal bewertet. Die Kosten und insbesondere die Effizienz einer Maßnahme sind jedoch betriebsspezifisch sehr variabel und sollten daher schlaggenau für jeden Betrieb ermittelt werden.

Ein wichtiger Faktor ist die Bereitstellung einer Auswahl von mehreren aktuellen Schutzmaßnahmen um individuelle Lösungen zu ermöglichen. Sehr oft wurde bisher die konservierende Bodenbearbeitung als Schutzmaßnahme vorgeschlagen und ihr ökonomisches Verhältnis zur konventionellen Bodenbearbeitung berechnet (z.B. SCHMIDTLEIN ET AL. 1990, BRUNOTTE ET AL. 1995, AUTH ET AL. 2005). Befragungen im Rahmen dieser Arbeit ergeben allerdings, dass die konservierende Bodenbearbeitung für viele Landwirte derzeit bereits die Standardbodenbearbeitung ist, insbesondere bei Erosion begünstigenden Hackfrüchten. In diesem Fall müssen weiterführende Schutzmaßnahmen (Schlagteilung, Direktsaat, Umstrukturierung der Fruchtfolge usw.) in der Betrachtung berücksichtigt werden.

Die Effizienz einer Maßnahme wurde bisher nicht schlaggenau berechnet. Gerade die schlaggenaue Bewertung ist jedoch grundlegend für die Akzeptanz in der landwirtschaftlichen Praxis und entscheidet somit maßgeblich über die Anwendung der Maßnahme.

1.3 Zielsetzungen dieser Arbeit

Gemäß den aufgezeigten Lücken im Forschungsstand ergibt sich als Zielsetzung für die vorliegende Arbeit die Untersuchung der Wirksamkeit und Kosten von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen, sowie die Entwicklung ökologisch und ökonomisch effizienter Maßnahmenkonzepte auf schlaggenauer Basis. Die Schutzmaßnahmen der Konzepte werden in ihrer Effizienz bewertet, klassifiziert und in ihrer Übertragbarkeit geprüft. Für die Realisierung des Gesamtziels müssen folgende Teilziele erreicht werden:

- Schlaggenaue Bestimmung der Gefährdungssituation von Böden und Gewässern. Dazu erfolgen die qualitative Ermittlung der Gewässeranschlusssituation und die quantitative Berechnung der durchschnittlichen jährlichen Bodenabträge sowie der ereignisbezogenen Gebietsausträge der aktuellen Nutzung und verschiedener Szenarien (vgl. Kap. 3 und 4).
- Die Festlegung von Richtwerten (maximal tolerierbare Abtragshöhen) für ein Minimalziel (entspricht weitgehend der guten fachlichen Praxis) und für ein Maximalziel (entspricht einem ökologischen Wunschstandard). Die Richtwerte variieren in Abhängigkeit von der Gewässeranschlusssituation und der jeweiligen Zielsetzung (vgl. Kap. 2.2.1).
- Darstellung der schlaggenau erforderlichen Boden- und/oder Gewässerschutzmaßnahmen zum Erreichen der jeweiligen Abtragsrichtwerte des Minimal- und Maximalziels. Die Darstellung erfolgt für sechs Beispielbetriebe (vgl. Kap. 5).
- Berechnung der Kosten (vgl. Kap. 6) und der Maßnahmeneffizienz (vgl. Kap 7) der durchgeführten Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen, sowie eine an der Effizienz orientierte Maßnahmenempfehlung.
- Prüfung der Übertragbarkeit der erstellten Maßnahmenpläne anhand eines Praxisbeispiels (vgl. Kap. 8).

2 Methodisches Vorgehen

2.1 Methodisches Gesamtkonzept

Das methodische Gesamtkonzept gibt einen Überblick über die durchgeführten Einzelschritte der vorliegenden Arbeit, die ökologische und ökonomische Bewertung von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen und die Entwicklung effizienter Maßnahmenkonzepte für ausgewählte Beispielbetriebe. Abbildung 2-1 stellt in insgesamt fünf Schritten alle eingesetzten Methoden dar.

Im ersten Schritt werden die methodischen Basisbausteine angewandt. Das sind zum einen das Modell EROSION 3D (WERNER 2002), zum anderen der Bodenerosionsschlüssel (MOSIMANN & SANDERS 2004) und der Gewässeranschlussschlüssel (STROTDREES ET AL. 2007). Die Ergebnisse des Modells und der Schlüssel charakterisieren die betrachteten Teileinzugsgebiete (vgl. Karte 2-2) grundlegend in ihrem Bodenerosions- und Stoffaustragsverhalten, jeweils in Relation zur Gewässeranschlusssituation.

Anschließend werden die berechneten Ergebnisse bewertet bzw. in die weiterführende Planung eingebunden. Dazu wird zunächst die vorhandene Gewässerbelastung anhand der „Sediment Delivery Ratio (SDR)“ aus den Ergebnissen von EROSION 3D berechnet. Parallel erfolgt für die Betriebsflächen von sechs Beispielbetrieben die Vorgabe von zwei zu erreichenden Zielen: 1. Ein kurzfristig erforderlicher Boden- und Gewässerschutz gemäß der guten fachlichen Praxis (Minimalziel). 2. Ein langfristig wünschbarer Boden- und Gewässerschutz (Maximalziel). Um diese Zielvorgaben zu erreichen wird eine umfangreiche Maßnahmenplanung durchgeführt.

Die ökonomische Betrachtung der in Schritt 2 eingesetzten Maßnahmen erfolgt in Schritt 3. Auf Basis von Richtwert-Deckungsbeiträgen, welche von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen bereitgestellt wurden, werden die Kosten der Schutzmaßnahmen berechnet.

Im vierten Schritt wird die Effizienz der Maßnahmen beurteilt: Dabei wird die Effizienzrate für jede Maßnahme ermittelt und so die jeweilige Maßnahme klassifiziert. Daraus resultieren konkrete Empfehlungen für die hier schlaggenau untersuchten Betriebe.

Abschließend wird in Schritt 5, anhand eines Praxisbeispiels, die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf naturräumlich abweichend gelegene Untersuchungsgebiete geprüft.

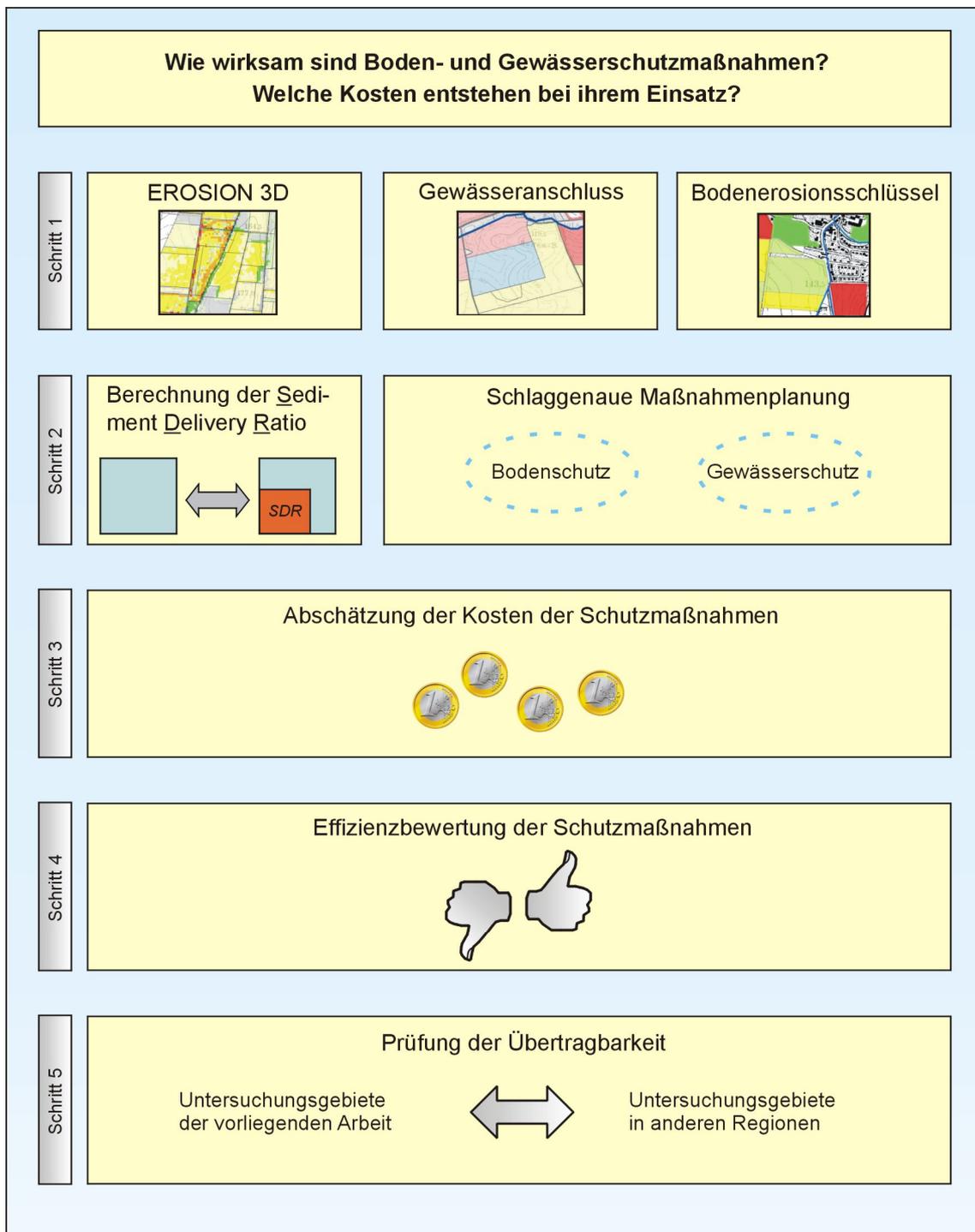


Abb. 2-1: Methodisches Gesamtkonzept der vorliegenden Arbeit.

2.2 Analyse von Bodenerosion und Stofftransport

2.2.1 Einsatz des Modells EROSION 3D

◆ *Entwicklung und Arbeitsweise*

Als Grundlage für die Abschätzung des Stoffeintrags in die Leine dient das Bodenerosionsmodell EROSION 3D (WERNER 2002). Es ist ein physikalisch basiertes Modell, das durch einzelne Niederschlagsereignisse hervorgerufene Erosion und Deposition in einem festgelegten Einzugsgebiet prognostiziert. Theoretische Grundlagen des Modells entwickelte SCHMIDT (1991). Sie wurden zunächst im Hangerosionsmodell EROSION 2D verwendet, darauf aufbauend entstand die Modellvariante für ein komplettes Einzugsgebiet: EROSION 3D (WERNER 1995).

Eine Übersicht zur Arbeitsweise und Datenstruktur von EROSION 3D zeigt Abbildung 2-2. Als variable Bodendaten gehen Lagerungsdichte, C_{org} -Gehalt (Gehalt des organisch gebundenen Kohlenstoffs im Boden), Anfangswassergehalt, Erosionswiderstand, Rauigkeit, Bodenbedeckungsgrad, Korngrößenanteile und ein manuell einstellbarer Korrekturfaktor (Skinfaktor) in die Modellierung ein. Die Reliefparameter auf Basis des digitalen Geländemodells (DGM) und die genannten Bodendaten verarbeitet das Modell mit der vorgegebenen Genauigkeit des DGM (in der vorliegenden Arbeit: 12,5 x 12,5 m). Weiterhin benötigt das Modell zur Berechnung des Erosionsprozesses Regenereignisse, angegeben in Niederschlagsintensitäten (mm/min). Die Simulationsergebnisse werden in einer ASCII-Datei ausgegeben und in ein geographisches Informationssystem (GIS) zur weiteren Auswertung und Visualisierung übertragen. Weitere Informationen zu den Grundlagen und der Arbeitsweise des Modells, über die benötigten Eingangsparameter und seine Validierung sowie aktuelle Anwendungsbeispiele finden sich in SCHMIDT (1991 und 2002), WERNER (1995 und 2002), DUTTMANN (1999) sowie MICHAEL (2001) und MICHAEL ET AL. (2005).

◆ *Datenbedarf des Modells*

Die Bestimmung der boden- und reliefbezogenen Eingangsparameter erfolgt anhand von Karteninformationen (ATKIS-DLM, TK25, DGK5, BUEK50, BS5), digitalen Orthofotos (maßstabsgetreue, verzerrungsfreie Luftbilder), eigenen Geländekartierungen und Laboranalysen. Die bodenbezogenen Daten gehen in numerischer Form in EROSION 3D ein. Sie unterliegen zugleich einer räumlichen und zeitlichen Variabilität (z.B. vorliegende Bodenart und Zeitpunkt der Modellierung). Eine umfangreiche Sammlung dieser Eingangsdaten stellt der „Parameter-

„Katalog Sachsen“ bereit (SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT 1996). Er enthält für das Bundesland Sachsen als Repräsentativstandort umfangreiche Tabellen der erforderlichen Modelleingangsparameter. Die Daten gelten für ackerbaulich intensiv genutzte Lössstandorte und sind somit auf das Untersuchungsgebiet der vorliegenden Arbeit übertragbar (vgl. auch DUTTMANN 1999).

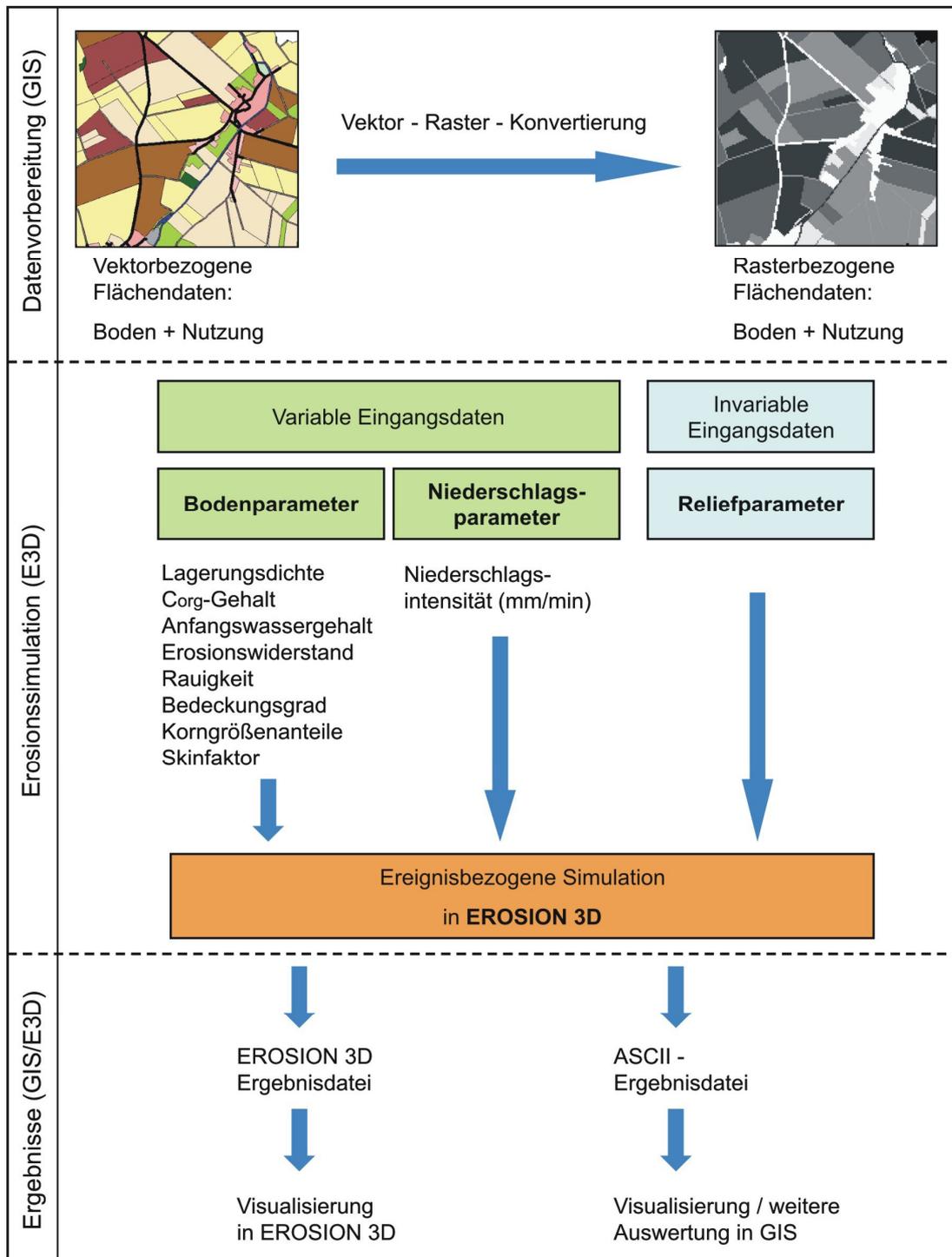


Abb. 2-2: EROSION 3D: Datenaufbereitung, Arbeitsweise und Datenstruktur sowie Visualisierung und Auswertung der Ergebnisse. Die Datenvorbereitung findet vollständig, die Ergebnisdarstellung zum Teil in einem GIS statt.

Die Niederschlagsdaten werden in Form von Niederschlagsintensitäten (mm/min) in das Modell eingebracht. Der kleinste mögliche Zeitabschnitt bei der Modellierung beträgt fünf Minuten (vgl. WERNER 2002). Für die durchgeführten Untersuchungen wurde eine Niederschlagshöhe von 31,75 mm innerhalb einer Stunde ausgewählt. Laut KOSTRA-DWD (Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen des Deutschen Wetterdienstes) (ITWH 2005) entspricht diese Höhe im ausgewählten Gebiet einem Starkniederschlagsereignis mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von zehn Jahren (10 a-Ereignis). Die in KOSTRA-DWD enthaltenen Werte sind extremwertstatistische Schätzungen, basierend auf Niederschlagsereignissen zwischen 1951 und 2000 (ITWH 2005). Dabei beruhen die Werte einzelner Rasterzellen (8,5 x 8,5 km) immer auf den Messwerten mehrerer Wetterstationen des DWD, somit erfolgt eine Glättung und der Einfluss fehlerhafter Messwerte bzw. Messstationen wird reduziert (LANDESUMWELTAMT NRW 2004). Der aus KOSTRA-DWD verwendete Modellregen besitzt zwölf Intervalle (à 5 min) und entspricht in der Verteilung „Euler Typ II“. Mit dieser leicht rechtsschiefen Verteilung ist der Modellregen beispielhaft für typische Starkniederschläge. Dieses 10 a-Ereignis wurde gewählt, um im Projekt *„Entwicklung einer Beratungskonzeption zur Minimierung von Bodenerosion und Stoffeintrag“* (STROTDREES ET AL. 2007) eine zeitliche Koppelung mit den Überschwemmungsereignissen in der Leineau (HQ₁₀) zu erreichen. Die für das Beratungsprojekt getroffene Annahme, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Niederschlagsereignisses (10 a) mit dem daraus resultierenden Abfluss (HQ₁₀) übereinstimmt ist anerkannt (LANDESUMWELTAMT NRW 2004, DIN 19700 2005). Die Modellrechnungen mit EROSION 3D gingen als Grundlage sowohl in das Beratungsprojekt, als auch in die vorliegende Arbeit ein.

◆ **Was, wann und wo wird modelliert?**

Insgesamt werden sieben Szenarien simuliert. Die Referenzgröße an der alle weiteren Szenarien gemessen werden ist die aktuelle Nutzung (IST-Zustand). Sie basiert auf Befragungen der im Untersuchungsgebiet wirtschaftenden Landwirte im Februar 2006. Sechs weitere Szenarien zeigen mögliche (zukünftige) Varianten der Landnutzung: mäßiger oder starker Maisanstieg, hoher Hackfruchtanteil mit überwiegend konservierender oder vollständig konventioneller Bearbeitung, ein Positiv-Szenario mit geringen Gebietsausträgen und hohen Einnahmen sowie ein Szenario mit ökologischem Landbau. Alle Szenarien werden in Kapitel 3.2 ausführlich vorgestellt.

Mit EROSION 3D wird das Geschehen zu drei Zeitpunkten im Jahr modelliert: März, Mai und Oktober. Diese Zeitpunkte wurden ebenfalls zur Projektkopplung (s.o.) gewählt (vgl. STROTDREES ET AL. 2007). Die Termine werden monatsgenau angegeben, da der Parameterkatalog Sachsen (SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT 1996) diese zeitliche Auflösung bei den Eingangsdaten vorgibt. Eine genauere zeitliche Modellierung (z.B. auf Wochenebene) ist daher nicht möglich.

Die Simulation findet in vier, für das Gesamtgebiet repräsentativen, Teileinzugsgebieten statt: Eddinghausen, Brüggen Nord, Brüggen Süd und Hönze (vgl. Kap. 2.5). Ausführliche Erläuterungen zur Auswahl der Teileinzugsgebiete erfolgen in Kapitel 2.5.2.

◆ *Feinerdeaustrag in die Gewässer*

EROSION 3D berechnet die, durch das auslösende Niederschlagsereignis, in dem Modellgebiet mobilisierte Feinerdemenge. In aller Regel wird jedoch nicht die gesamte Feinerdemenge ausgetragen, Teile davon sedimentieren noch innerhalb des Gebiets. Um den in die Gewässer ausgetragenen Anteil zu bestimmen, wurden bereits für andere Modelle entsprechende mathematische Funktionen unter dem Oberbegriff „Sediment Delivery Ratio“ (SDR) entwickelt (s.u.). Die SDR gibt den Anteil der mobilisierten Feinerdemenge an, der in die Gewässer ausgetragen wird. Viele Autoren gehen dabei von der betrachteten Gebietsgröße als alleinigem Eingangsparameter zur Berechnung der SDR aus (vgl. WALLING 1983, OUYANG ET AL. 2005, LU ET AL. 2006 etc.). Ein differenzierteres Vorgehen, bei dem sowohl die Topographie als auch Landnutzungsparameter eingehen, erfolgt in der vorliegenden Arbeit. Dazu werden aus den Modellergebnissen von EROSION 3D zwei Indizes gebildet. Das genaue Vorgehen wird im Folgenden schrittweise erläutert:

- Zunächst wird der **Stoffaustragsindex** berechnet. Unter dem Stoffaustragsindex wird die Bilanz zwischen Erosion und Deposition, bezogen auf eine Fläche, verstanden. EROSION 3D berechnet diese Bilanz pro Rasterzelle. Ist sie negativ, überwiegt Erosion, bei positiven Werten überwiegt die Deposition von Bodenmaterial. Zur Berechnung: jede Fläche (z.B. ein Teileinzugsgebiet) besteht aus einer bestimmten Anzahl von Rasterzellen. Mit Hilfe eines geographischen Informationssystems (GIS) lässt sich das arithmetische Mittel der Werte der Rasterzellen pro Teileinzugsgebiet berechnen. Dieser Durchschnittswert geht nun als Stoffaustragsindex für das gesamte Teileinzugsgebiet in die Bilanzierung ein.

- In einem zweiten Schritt wird der **Erosionsaktivitätsindex** berechnet. Die Berechnungsmethode ist dabei identisch. Für den Erosionsaktivitätsindex wird nicht die Bilanz, sondern ausschließlich die Erosionsaktivität jeder Rasterzelle herangezogen. Es wird wieder gebietsbezogen das arithmetische Mittel aller Rasterzellen errechnet und damit der Erosionsaktivitätsindex des gesamten Teileinzugsgebiets bestimmt.
- Zur Berechnung der **SDR** wird schließlich die Differenz zwischen Erosionsaktivitätsindex und Stoffaustragsindex gebildet. Die Differenz stellt das in dem Teileinzugsgebiet verbliebene, deponierte Bodenmaterial dar (beispielsweise 60 %). Die SDR ist jedoch definiert als in das Gewässer ausgetragener Anteil, folglich ist der noch fehlende Anteil zu 100 % als SDR anzusehen. In diesem Beispiel beträgt die SDR also 40 %.

Es ist möglich, diese Indizierung auf jede von EROSION 3D modellierte Fläche anzuwenden. So kann pro Teileinzugsgebiet nicht nur jeweils ein gesamthafter Stoffaustrags- und Erosionsaktivitätsindex berechnet, sondern unter Zuhilfenahme des Gewässeranschlussschlüssels jeder Index nochmals für Flächen mit und ohne Gewässeranschluss errechnet werden. Die Ergebnisse der geschilderten Berechnungen und Vergleichswerte aus der Literatur werden in Kapitel 4.2 ausführlich dargestellt.

Eine Berechnung der SDR basierend auf der Gebietsgröße als bedeutendsten Parameter ist laut DE VENTE ET AL. (2007) unzureichend, da SDR-Werte regional und temporal stark variieren. Beispielsweise berechnen LU ET AL. (2006) für ein Einzugsgebiet in Australien eine SDR zwischen 0 % in ebenen Auenbereichen und 70 % in Ackerbaugebieten mit hoher Reliefenergie. Dementsprechend erklärt die Gebietsgröße nur einen kleinen Teil der Variabilität von SDR-Werten. Weitere Parameter wie Landnutzung und -bedeckung, Klimabedingungen, Bodenstrukturen (vorhandene Bodenarten), Petrographie und Topographie sollten für eine exaktere Berechnung der SDR herangezogen werden (OUYANG & BARTHOLIC 1997, DE VENTE ET AL. 2007). Diesen Ansatz verfolgen OUYANG ET AL. (2005), mit der Verwendung des von FRASER (1999) entwickelten Modells SEDMOD (Spatially Explicit Delivery Modell). In dem Modell werden die physikalische Faktoren Fließwege, Hangneigungen, Fließwiderstände (Rauhigkeiten), Bodengefüge, Gewässerabstand und Oberflächenabfluss berücksichtigt. OUYANG ET AL. (2005) berechnen mit dem SEDMOD-Modell für Einzugsgebiete SDR-Werte von 22-34 %. Ähnlich geht das STATE WATER RESOURCES RESEARCH INSTITUT (WRRI) des U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS 2002) vor.

Das WRRRI berechnet mit dem in ein GIS integrierten „Sediment Delivery Distributed (SEDD) Model“ SDR-Werte zwischen 40 und 48 % für landwirtschaftlich genutzte Gebiete im US-Staat Washington. In der vorliegenden Arbeit wird mit der Verwendung der Indizes, basierend auf den Modellrechnungen von EROSION 3D, ebenfalls den Forderungen von OUYANG & BARTHOLIC 1997 und DE VENTE ET AL. 2007 entsprochen.

Der Literaturvergleich zeigt auf, dass die SDR von Autor zu Autor unterschiedlich berechnet wird. Es ist noch kein einheitliches Verfahren etabliert (vgl. OUYANG & BARTHOLIC 1997). Die häufigste Methode beruht auf der Größe des betrachteten Gebiets als alleinigem Parameter (LU ET AL. 2006, OUYANG ET AL. 2005). Die Berechnung erfolgt hierbei mit der Formel $SDR = x * G^y$, wobei G = Einzugsgebietsgröße; x und y sind empirisch festgelegt (MANER 1958, ROEHL 1962). Der Exponent y wird durch topographische Informationen des Einzugsgebiets sowie Kenntnisse über Sedimenttransport- und Niederschlags- / Abflussprozesse in seiner Größe festgelegt (LU ET AL. 2006). Im Mittel erreicht y Werte zwischen -0,01 und -0,25, d.h. mit zunehmender Gebietsgröße sinkt die SDR (WALLING 1983).

2.2.2 Einsatz des Bodenerosionsschlüssels

Für eine Abschätzung der Erosionsgefährdung in der Praxis wurde der Bodenerosionsschlüssel in je einer Version für Nord- und Südniedersachsen entwickelt (MOSIMANN & SANDERS 2004). Der Bodenerosionsschlüssel basiert bei der Abschätzung der flächenhaften Erosion auf den Faktoren der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) (SCHWERTMANN ET AL. 1990). Er wurde speziell auf die niedersächsischen Klima-, Boden- und Anbauverhältnisse zugeschnitten. Mit einem Zeitaufwand von ca. 20 Minuten kann nur mit Hilfe eines Hangneigungsmessers jeder Schlag bezüglich der Erosionsgefährdung eingeschätzt werden. Die lineare Erosion wird mit einem weiteren Faktor innerhalb des Schlüssels berücksichtigt.

Die Methodik des Verfahrens geht auf die Bodenerosionsschlüssel zurück, die zwischen 1995 und 2000 in der Arbeitsgruppe um Herrn Mosimann für sämtliche Ackerbaugebiete der Schweiz entwickelt wurden (vgl. MOSIMANN 1995). Eine abgewandelte Version des Schlüssels existiert seit 2005 auch für Baden-Württemberg (LANDESANSTALT FÜR PFLANZENBAU BADEN-WÜRTTEMBERG 2005). Die Einstufung der Erosionsgefährdung erfolgt nach dem Gefährdungsstufenkonzept von MOSIMANN (1991, 1995 und 1998). Es wurde für Niedersachsen angepasst und 2003 im Bodenqualitätszielkonzept Niedersachsen veröffentlicht (NLÖ 2003).

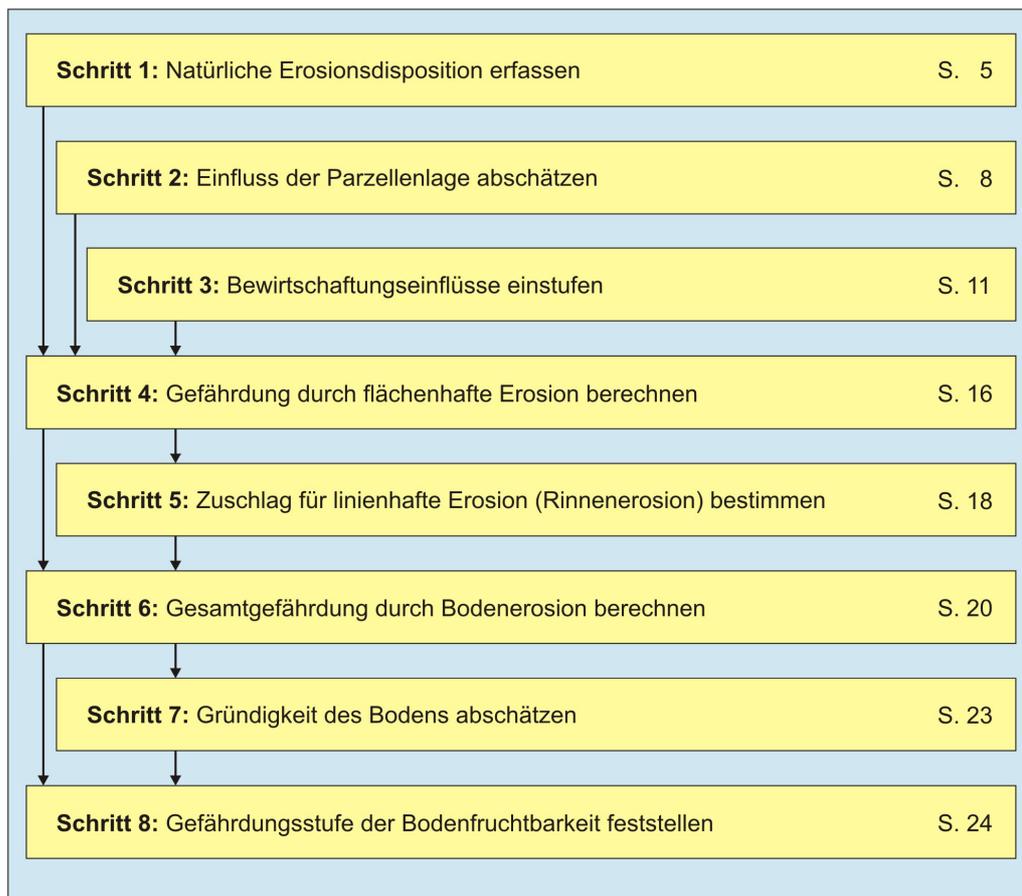


Abb. 2-3: Vorgehen bei der Anwendung der Arbeitshilfe „Bodenerosion selber abschätzen“.
Die Seitenangaben beziehen sich auf die Arbeitshilfe.

Die Beurteilung der Gefährdungssituation auf den einzelnen Schlägen geschieht im Schlüssel in acht Schritten (vgl. Abb. 2-3). Zunächst wird der durchschnittliche jährliche Bodenabtrag pro Hektar schlaggenau ermittelt. Die absolute Höhe des Bodenabtrags (vgl. Abb. 3-1) ist entscheidend für die Maßnahmenplanung des Gewässerschutzes (vgl. Kap. 5). Das Endergebnis des Bodenerosionsschlüssels ordnet jedem Schlag eine Gefährdungsstufe der Bodenfruchtbarkeit von 0 bis 3 zu (vgl. Abb. 3-2). Anhand der Gefährdungsstufe entscheidet sich, ob Bodenschutzmaßnahmen erforderlich sind, welche Dringlichkeit diese haben oder ob das Bodenqualitätsziel schon erreicht ist. Die gute fachliche Praxis im Sinne des Bodenschutzes gilt beim Erreichen der Gefährdungsstufe 1 als erfüllt. Für die Planung von Bodenschutzmaßnahmen ist die Kenntnis der Gefährdungsstufe ausreichend, die Angabe des genauen Abtrags (in Tonnen pro Hektar und Jahr) ist nur für die Beurteilung der Notwendigkeit von Gewässerschutzmaßnahmen erforderlich.

Das Schätzverfahren ist ein Instrument für Betriebsleiter und Berater. Der Schlüssel lässt sich nur mit genauer Kenntnis der Fruchtfolge und des Abflussgeschehens auf den zu beurteilenden Schlägen einsetzen. Daher fand im Rahmen des Projekts *„Entwicklung einer Beratungs-*

konzeption zur Minimierung von Bodenerosion und Stoffeintrag“ eine umfangreiche Befragung der Landwirte in den vier Teileinzugsgebieten statt (vgl. STROTDREES ET AL. 2007). Die Resultate der Befragung fließen in die vorliegende Arbeit ein.

Der Bodenerosionsschlüssel wurde auf Ackerflächen von sechs ausgewählten Betrieben innerhalb der Teileinzugsgebiete angewendet und auf die aktuelle Nutzung, also den IST-Zustand, bezogen.

2.2.3 Einsatz des Gewässeranschlussschlüssels

Die Arbeitshilfe Gewässeranschluss von Ackerflächen, oder kurz der Gewässeranschlussschlüssel (MOSIMANN ET AL. 2007), wurde in Rahmen des Projekts *„Entwicklung einer Beratungskonzeption zur Minimierung von Bodenerosion und Stoffeintrag“* (STROTDREES ET AL. 2007) neu entwickelt. Im Folgenden wird nicht nur die Verwendung des Schlüssels im Rahmen der vorliegenden Arbeit geschildert, sondern auch dessen Arbeitsweise und Entwicklung kurz erläutert.

◆ *Entwicklung des Gewässeranschlussschlüssels*

Die Qualität von Oberflächengewässern wird hauptsächlich durch Stickstoff- und Phosphoreinträge aus diffusen Quellen beeinträchtigt. Laut FREDE & DABBERT (1998) entspringen diffuse Quellen größtenteils landwirtschaftlich genutzten Flächen (vgl. Abb. 2-4). Liefergebiete für Feinerde und gelöste Pflanzenschutz- und Düngemittel sind jedoch nur Flächen, die in direktem räumlichen Kontakt mit dem Gewässer stehen oder über einen linearen Transportpfad Gewässeranschluss besitzen.

Um Maßnahmen gezielt für den Gewässerschutz einzusetzen, müssen die Liefergebiete bekannt sein. Der Schlüssel gestattet es, Ackerflächen mit Gewässeranschluss unter Feldbedingungen direkt und ohne zusätzliche Untersuchungen zu ermitteln. Ziel ist die Lokalisierung von stoffliefernden Flächen bzw. Eintragungspunkten. Die Anwendung erfolgt möglichst Zusammen mit der Arbeitshilfe *„Bodenerosion selber abschätzen“* (MOSIMANN & SANDERS 2004). Die Arbeitshilfe *„Gewässeranschluss von Ackerflächen“* ist also eine Ergänzung zum Bodenerosionsschlüssel. Sie zeigt auf, wo Schutzmaßnahmen zur Verringerung der Bodenerosion auch eine Bedeutung für die Minimierung von Stoffeinträgen in Gewässer haben. Der Einsatz beider Schlüssel ermöglicht die Ableitung zieloptimierter Strategien für integrierte Maßnahmenkonzepte, welche Gewässer- und Bodenschutz miteinander verknüpfen.

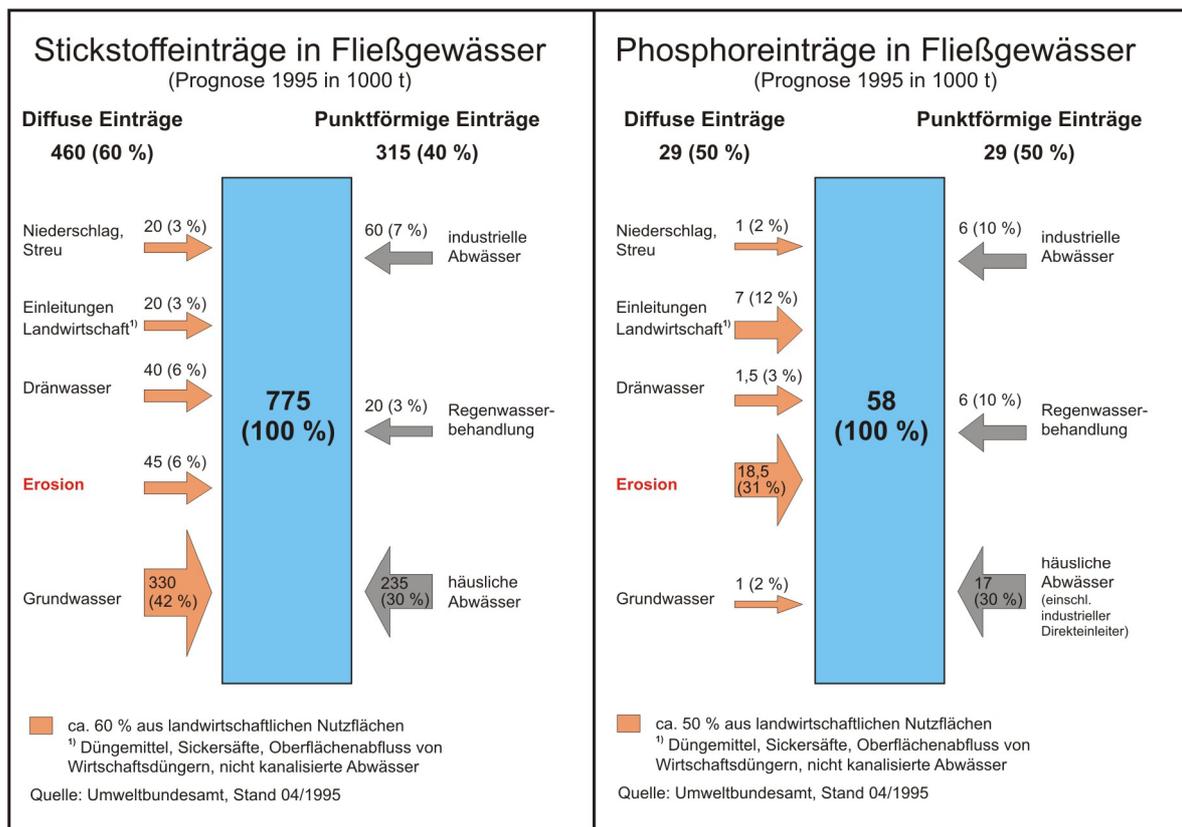


Abb. 2-4: Nährstoffeinträge in oberirdische Gewässer. Der Anteil diffuser Einträge durch Erosion beträgt 6 % beim Stickstoff und 31 % beim Phosphor (Stand 1995). Verändert nach FREDE & DABBERT (1998).

Das methodische Grundproblem zur Identifikation der Gewässeranbindung von landwirtschaftlichen Flächen liegt darin, dass in Folge der komplexen Eigenschaften des Landschaftsraumes der Anbindungsgrad einer Fläche nicht direkt messbar ist. Die Ermittlung des Gewässeranschlusses stützt sich auf verschiedene Indikatoren (z.B. Lage des Schlages, Relief-eigenschaften, Oberflächenstrukturelemente), die unter realen Feldbedingungen die Stofftransportwege und Übertrittsbereiche in ein Gewässer nachvollziehbar machen. Diese Indikatoren wurden über umfangreiche Auswertungen bisheriger Untersuchungen und Erfahrungen (vgl. VOGES 1999), sowie durch Geländeanalysen im Untersuchungsgebiet ermittelt. Wichtige Erkenntnisse liefert die seit dem Jahr 2000 durchgeführte Dauerbeobachtung der Bodenerosion in Niedersachsen (MOSIMANN ET AL. 2006 und 2007). Insbesondere zum Übertrittsgeschehen in Gewässer, und zur Wirkung von Tiefenlinien konnten aus der Dauerbeobachtung wichtige Erkenntnisse für die Kalibrierung des Gewässeranschlussschlüssels übernommen werden.

◆ **Aufbau und Einsatz des Gewässeranschlussschlüssels**

Der Schlüssel ist, in Anlehnung an die Arbeitshilfe „*Bodenerosion selber abschätzen*“ (MOSIMANN & SANDERS 2004), als binäre, entscheidungsbasierte Abfragestruktur aufgebaut. Die merkmalsorientierten Abfragen ergeben jeweils die Aussage „Gewässeranschluss wahrscheinlich“, „Gewässeranschluss unwahrscheinlich“ oder eine Fortführung im Abfragebaum. Sechs Fragestufen zur Anschlusssituation ermöglichen es dem Anwender, einen potenziellen Anschluss der betrachteten Fläche an ein Gewässer zu identifizieren (vgl. Abb. 2-5). Darüber hinaus finden sich vielfach erläuternde Prinzipskizzen, Kartenausschnitte oder Fotos mit direktem Bezug auf die jeweilige Frage. Dies erhöht die Verständlichkeit, ermöglicht eindeutige Entscheide und verkürzt den Zeitaufwand für die Einschätzung.

Die Beurteilung der Raumstruktur erfolgt auf Basis von Abbildungen, die eine mögliche Situation grafisch darstellen sowie über die Prüfung von Schwellenwerten, welche einen entscheidenden Einfluss auf den Eintritt und die Lenkung des Abflussgeschehens und des Stoffaustrags besitzen. Die Bestimmung des Gewässeranschlusses stützt sich auf folgende Parameter:

- Distanz zum Gewässer
- Hangneigung
- Erosionsgefährdung
- vorhandene Akkumulationsräume
- Anschluss an Tiefenlinien
- Randstreifen (Gestalt, Breite)
- Hangeinzugsgebiete

Abbildung 2-5 zeigt die Struktur der Arbeitshilfe „*Gewässeranschluss von Ackerflächen*“. Die Inhalte der sechs Schritte werden in der Übersicht dargestellt. Eine detaillierte Erläuterung des Vorgehens innerhalb der einzelnen Schritte kann dem Bericht des Projekts „*Entwicklung einer Beratungskonzeption zur Minimierung von Bodenerosion und Stoffeintrag*“ (STROTDREES ET AL. 2007) entnommen werden.

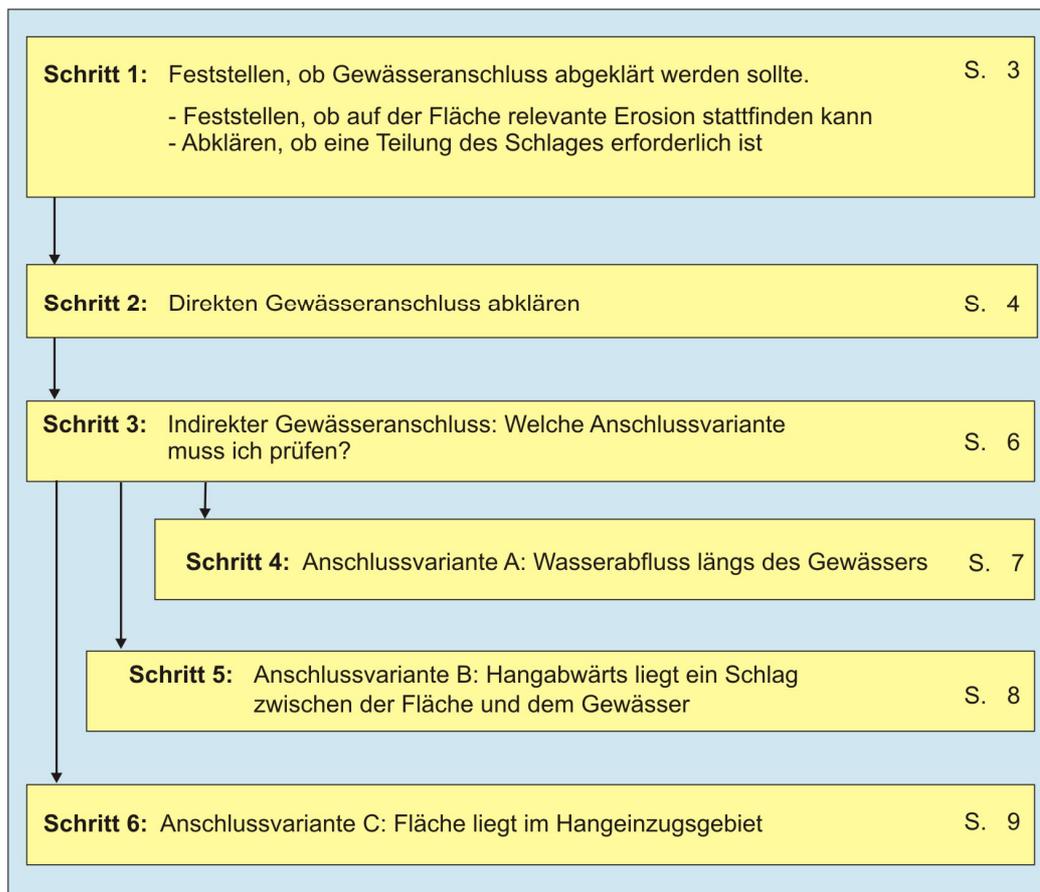


Abb. 2-5: Vorgehen bei der Anwendung der Arbeitshilfe „Gewässeranschluss von Ackerflächen“. Die Seitenangaben beziehen sich auf die Arbeitshilfe.

Der Gewässeranschlussschlüssel erlaubt eine schlagbezogene Bewertung der Gefährdung von Gewässern durch Feinerdeaustrag. Zusammen mit dem Schlüssel „*Bodenerosion selber abschätzen*“ resultiert eine umfassende Beurteilung für den Boden- und Gewässerschutz. Die Kombination beider Arbeitshilfen ermöglicht die Festlegung einer standortangepassten Landnutzung im Hinblick auf die Verbesserung der Gewässerqualität. Die Schutz- und Vorsorgemaßnahmen können durch eine Identifizierung der stark stoffliefernden und -austragenden Flächen räumlich gezielt eingesetzt werden. Der Gewässeranschlussschlüssel bietet somit eine wichtige Ergänzung zum Bodenerosionsschlüssel unter Einbezug der Auswirkungen von Oberflächenabflüssen auf Gewässer.

◆ **Verwendung im Rahmen der vorliegenden Arbeit**

Der Gewässeranschlussschlüssel dient im Rahmen der vorliegenden Arbeit der Identifizierung von an Gewässer angeschlossenen Flächen innerhalb der vier Teileinzugsgebiete (Eddinghausen, Brügggen und Süd sowie Hönze). Da auch der Bodenerosionsschlüssel dort eingesetzt wurde, können stoffliefernde Flächen sicher ermittelt werden. So ist zum einen die Klassifizie-

nung von angeschlossenen und nicht angeschlossenen Flächen bestimmter Bodenabträge möglich; besonders sensible Bereiche (direkt angeschlossen, Abtrag $>5 \text{ t/ha*a}$) können genauso leicht erkannt werden wie weniger relevante Flächen (kein Anschluss = keine Gewässergefährdung). Diesen Zusammenhang zeigen in Kapitel 4 die Karten 4-1 bis 4-3. Zum anderen ist eine flächenbezogene Differenzierung der Modellierungsergebnisse von EROSION 3D, je nach vorliegender Gewässeranschlussart, möglich (vgl. dazu Kap. 2.1.1 und Kap. 4).

2.3 Maßnahmenplanung

2.3.1 Bestimmung von Bodenabtrag und Gewässeranschluss

Die schlagbezogene Ermittlung von Maßnahmen wird auf Ackerflächen von sechs Beispielbetrieben innerhalb der vier Teileinzugsgebiete durchgeführt. Mit dem Bodenerosions- und Gewässeranschlussschlüssel sind vorab folgende Schritte durchzuführen:

- Bestimmung der Erosionsgefährdungsstufe und des durchschnittlichen jährlichen Bodenabtrags (t/ha*a) laut Schlüssel „*Bodenerosion selber abschätzen*“ für den IST-Zustand.
- Ermittlung der Flächen mit Gewässeranschluss und der Art des Gewässeranschlusses innerhalb der Teileinzugsgebiete mit dem Schlüssel „*Gewässeranschluss von Ackerflächen*“.

Der durchschnittliche jährliche Bodenabtrag gemäß dem Bodenerosionsschlüssel beinhaltet nur den flächenhaften Abtrag. In einem weiteren Schritt wird deshalb ein Zuschlag für den linienhaften Abtrag (Linearerosion) ermittelt. Ob lineare Erosion berücksichtigt werden muss oder nicht, wird anhand der Modellierungsergebnisse von EROSION 3D festgelegt. Dazu werden Nutzung, Bodenbearbeitung und Zeitpunkt so gewählt, dass ein guter Boden- und Gewässerschutz vorhanden ist (Winterweizen auf allen Schlägen, vollständig konservierend angebaut im Monat März). Erst wenn bei diesem „guten Schutz“ noch lineare Erosion auftritt, dann ist sie so markant, dass ein Zuschlag für sie erfolgen muss. Als Kriterium gilt dabei: wenn EROSION 3D deutlich und durchgängig lineare Erosion anzeigt (Abtrag $>2,5 \text{ kg/m}^2$), besteht eine Gefährdung durch linearen Abtrag. Dieses deutliche Kriterium wurde gewählt, da auf Grund der Modellunsicherheiten von EROSION 3D (vgl. Kap. 3.2.4) ein geringerer Richtwert in der Realität keine lineare Erosion gewährleistet. Ein erfahrungsbasierter Zuschlag, wie er in

der Bodenerosionsdauerbeobachtung erfolgt (MOSIMANN ET AL. 2006 und 2007), ist hier wegen der kurzen Beobachtungszeit von zweieinhalb Jahren nicht möglich. Über die Höhe des Zuschlags für lineare Erosion entscheidet die Auswertung der Bodendauerbeobachtung (MOSIMANN ET AL. 2006). Daraus ergeben sich, je nach Intensität und räumlichem Ausmaß der Erosion innerhalb der Tiefenlinie, gemäß MOSIMANN ET AL. (2006) Zuschläge von 0,5 t/ha*a, 1 t/ha*a oder 1,5 t/ha*a auf den flächenhaften Abtrag.

◆ **Einstufung der Gefährdung**

Für die Maßnahmenplanung in der vorliegenden Arbeit gilt ein an das Gefährdungsstufenkonzept im Bodenerosionsschlüssel angelehntes Vorgehen. Für den Boden- und Gewässerschutz müssen jeweils zwei Ziele erreicht werden: Das Minimalziel mit ausreichendem Boden- und Gewässerschutz entsprechend der guten fachlichen Praxis und das Maximalziel mit Boden- und Gewässerschutzkriterien, die einem ökologischen Wunschstandard entsprechen.

◆ **Kriterien des Bodenschutzes**

Die Böden im Untersuchungsgebiet, insbesondere die in den Talbereichen gelegenen Böden besitzen auf Grund einer Vielzahl von Eigenschaften, wie zum Beispiel äußerst hohe natürliche Bodenfruchtbarkeit, hohes Wasserspeicher-, Filter- und Puffervermögen etc. eine entsprechend hohe Schutzbedürftigkeit (NLÖ & NLFB 2003). Um dieser zu entsprechen, wurden für den Bodenschutz folgende Kriterien definiert:

- Minimalziel ist der Qualitätsstandard von Niedersachsen zur guten fachlichen Praxis zum Schutz des Bodens vor Erosion: **Erosionsgefährdungsstufe 1**.
- Der optimale Zustand (Maximalziel) ist erst erreicht, wenn alle Schläge in der **Erosionsgefährdungsstufe 0** liegen.

◆ **Kriterien des Gewässerschutzes**

Für den Gewässerschutz ist allein der absolute Bodenabtrag in Tonnen pro Hektar und Jahr maßgebend. Bei der ausschließlich am Bodenschutz orientierten Einstufung werden auch in Stufe 0 bei Böden mit großen Mächtigkeiten hohe Abträge toleriert, die zu Gewässerbelastungen führen (vgl. NLÖ 2003). Die Maßnahmenschwellen für den Gewässerschutz wurden deshalb, je nach Zielsetzung und Gewässeranschlusssituation, bereits für Bodenabträge ab 1 t/ha*a angesetzt (vgl. Tab. 2-1). Bei direktem Gewässeranschluss sind die Richtwerte niedriger, weil durch die unmittelbare Lage am Gewässer der Anteil der abgetragenen Feinerde, die

in das Gewässer eingetragen wird, größer ist (kleiner oder fehlender Sedimentationsraum). Bei indirektem Gewässeranschluss, also bei einer Trennung der stoffliefernden Fläche von einem Gewässer durch einen ausreichend hohen Uferwall (Uferbankett) oder durch die entfernte Lage zum Gewässer, ist der partikelförmige Stoffeintrag in das Gewässer geringer. Grund dafür sind Sedimentationsprozesse während des vergleichsweise langen Transportweges. Somit ist auf der stoffliefernden Fläche ein höherer Abtragswert tolerierbar, die Gewässerschutzziele werden trotzdem erreicht (vgl. Tab. 2-1).

Art des Gewässeranschlusses	Abtragsrichtwerte	
	Minimalziel	Maximalziel
Direkter Gewässeranschluss	2 t/ha*a	1 t/ha*a
Indirekter Gewässeranschluss	4 t/ha*a	2 t/ha*a

Tab. 2-1: Zu unterschreitende Abtragsrichtwerte zum Erreichen der Ziele aus Sicht des Gewässerschutzes.

Die Abtragsrichtwerte aus Tabelle 2-1 wurden folgendermaßen festgelegt:

- Der Abtragsrichtwert des Minimalziels bei indirektem Gewässeranschluss basiert auf demselben Schwellenwert, welcher zum Erreichen der Erosionsgefährdungsstufe 0 bei tiefgründigen Böden (Mächtigkeit > 90 cm) benötigt wird: 4 t/ha*a (vgl. MOSIMANN & SANDERS 2004).
- Bei direktem Gewässeranschluss ist eine Verringerung des Richtwerts erforderlich. FELDWISCH ET AL. (1998) weisen erst ab einem Abtrag von weniger als 2 t/ha*a eine sehr geringe potenzielle Gewässergefährdung durch Bodenabträge aus. Dieser Richtwert wird für die vorliegenden Arbeit übernommen, auch um für den Einsatz in der Beratungspraxis eine deutliche Abgrenzung zum Richtwert des indirekten Gewässeranschlusses zu schaffen (vgl. Tab. 2-1).
- Die Richtwerte des Maximalziels bilden einen langfristig wünschbaren, ökologisch optimalen Zustand ab. Dazu ist der Bodenabtrag und damit verbunden der Austrag in die Gewässer sehr stark zu reduzieren. Die gänzliche Vermeidung von Bodenabtrag kann trotz umfangreicher Schutzmaßnahmen auf Ackerflächen nicht erreicht werden (APPEL 2008). Das heißt, die auf der Fläche noch vorhandenen Abträge sollen für das Maximalziel so gering sein, dass fast keine Erosion stattfindet. Dieser Zustand des Tolerierens geringer Bodenabträge wird als so genannte „Null-Erosion“ bezeichnet (RUIZ-

FLANO ET AL. 1991). Dementsprechend wird bei direktem Gewässeranschluss ab einem Abtrag von weniger als 1 t/ha*a von diesem Zustand ausgegangen. Damit ist auch langfristig der bestmögliche Schutz vor Feinerdeaustrag in Gewässer bei landwirtschaftlicher Nutzung gegeben.

- Beim indirekten Gewässeranschluss gilt für das Maximalziel, auf Grund der längeren Fließstrecke und eines potenziell größeren Sedimentationsraums, ein höherer Abtragsrichtwert von 2 t/ha*a.

◆ **Maßnahmen zum Erreichen von Minimal- und Maximalziel**

Den betriebsbezogenen Maßnahmenplänen (vgl. Kap. 5) liegt die Prioritätenliste von Maßnahmen gemäß Tabelle 2-2 zu Grunde. Diese Liste basiert auf Handlungsempfehlungen des in Niedersachsen durchgeführten Pilotberatungsprojekts zur Verminderung der Bodenerosion durch gute fachliche Praxis (SEVERIN ET AL. 2006). Ein ähnlicher Ansatz wird auch bei FREDE & DABBERT (1998) verfolgt. Dabei handelt es sich um eine Rangliste von Gewässerschutzmaßnahmen für Standorte mit hoher Erosionsgefährdung, die vom Zwischenfruchtanbau bis zur Direktsaat als strikteste Maßnahme zum Gewässerschutz geht (vgl. FREDE & DABBERT 1998).

Nach einem ähnlichen Prinzip wird auch in der vorliegenden Arbeit vorgegangen. Für die Umsetzung der Maßnahmenpläne erfolgt für jeden Schlag die Auswahl einer oder mehrerer geeigneter Maßnahmen aus der vorgegebenen Liste (Tab. 2-2). Die Priorität der Maßnahmen läuft dabei „von oben nach unten“. Das heißt zunächst wird die Maßnahme unter Punkt 1 angewandt, sollte diese nicht ausreichen um das Ziel zu erreichen, erfolgt die Umsetzung der Maßnahme unter Punkt 2 usw. Nach jedem Maßnahmenschritt wird geprüft, ob die Kriterien gemäß den Minimal- und Maximalzielen für den Bodenschutz und für den Gewässerschutz erfüllt sind. Umfang und Anzahl der Maßnahmen pro Schlag steigen an, bis die Abtragsrichtwerte der jeweiligen Standards unterschritten sind. Die Schutzwirkung der Maßnahmen nimmt dabei von 1. (Mulchsaat zu weitreihigen Sommerfrüchten) bis 6. (Rotationsbrache bzw. Stilllegung) zu.

Ausschließlich beim Minimalziel und direktem Gewässeranschluss kann, als Alternative zur Anwendung einer Maßnahmen aus der Liste (Tab. 2-2), ein wirksamer Gewässerrandstreifen von mindestens zehn Metern Breite eingesetzt werden (vgl. Niedersächsisches Wassergesetz vom 25.07.2007, § 91a). Nach Untersuchungen von MÜLLER (2001) besitzen zwölf Meter breite Filterstreifen eine Retentionsleistung von bis zu 95 % der Boden- und Stoffausträge. Die Hal-

bierung der Breite auf 6 m reduziert das Retentionspotenzial auf rund 50 % (MÜLLER 2001). Durch die Anlage eines wirksamen Gewässerrandstreifens kann also die gute fachliche Praxis und somit der Abtragsrichtwert von 2 t/ha*a eingehalten werden. Der für den langfristig wünschbaren und ökologisch optimalen Zustand geltende Richtwert von 1 t/ha*a ließe sich mit dieser Alternativmaßnahme nicht einhalten, daher ist eine Anwendung beim Maximalziel nicht möglich.

Priorität	Maßnahme
1.	Mulchsaat zu weitreihigen Sommerfrüchten (inklusive Zwischenfrüchten zur Bedeckung während des Winters)
2.	Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge
3.	Voll- oder Intervallbegrünung von Fahrgassen , in Anlehnung an das Konzept bei SANDERS (2007). Dabei gelten folgende Kriterien: <u>Zuckerrübe</u> : Erforderlich bei konservierender Bearbeitung mit Strohmulch und mindestens 5 % Hangneigung sowie bei weniger als 5 % Neigung und Bearbeitung in Gefällerrichtung oder schräg dazu. <u>Wintergetreide</u> : Erforderlich im Verhältnis begrünt / unbegrünt von mindestens 1:4, bei konservierendem Anbau von Rübenge treide (Blattfruchtgetreide) und mindestens 5 % Hangneigung.
4.	Schlagteilung (Verkürzung der Fließstrecke): Minderung der erosiven Hanglänge durch Grünstreifen (Gras, Wintergetreide) von mindestens 10 m Breite. <i>Anmerkung: Kann in Ausnahmefällen, z.B. Bearbeitungsrichtung des Schlages, Relief-situation etc. zur Priorität 5 werden.</i>
5.	Standortangepasste Fruchtfolge mit Untersaat (Minimierung der bedeckungsfreien Zeit). <i>Anmerkung: Kann in Ausnahmefällen, z.B. Bearbeitungsrichtung des Schlages, Relief-situation etc. zur Priorität 4 werden.</i>
6.	Rotationsbrache mit aktiver Begrünung oder Herausnahme der Fläche aus der landwirtschaftlichen Produktion (Stilllegung).

Tab. 2-2: Maßnahmenliste zum Erreichen der Minimal- und Maximalziele.

Im weiteren Verlauf der Maßnahmenplanung wird auch die linienhafte Erosion mit einbezogen. Grundlage sind die Modellierungsergebnisse von EROSION 3D. Starke lineare Erosion findet hauptsächlich in Tiefenlinien statt. Bei besonders stark ausgeprägten Tiefenlinien ist zum Schutz des Gewässers eine Begrünung des Abflussweges erforderlich (vgl. FIENER & AUERSWALD 2003). Als Kriterien für die besondere Gefährdung gelten: Tiefenlinie verläuft **durchgehend** bis zu einem Fließgewässer und weist in der Simulation mit EROSION 3D für

Winterweizen im konservierenden Anbau im März mehr als $2,5 \text{ kg/m}^2$ Abtrag auf (entspricht 25 t/ha). Diese Kombination in Verbindung mit einem direkten Anschluss an ein Gewässer bedarf einer vollständigen Begrünung der Tiefenlinie. Laut MÜLLER (2001) ist ein „großes“ Erosionsereignis nötig um Schutzmaßnahmen wie zum Beispiel Filterstreifen zu durchbrechen. Dem wird in der vorliegenden Arbeit mit dem Richtwert von $2,5 \text{ kg/m}^2$ bei konservierendem Winterweizenanbau entsprochen.

Nach den oben genannten Kriterien als besonders erosionsgefährdet gekennzeichnete Tiefenlinien sind in den Teileinzugsgebieten nicht vorhanden. Das gesamte Ablaufschema mit Kriterien zur Ermittlung von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen zeigt Abbildung 2-6.

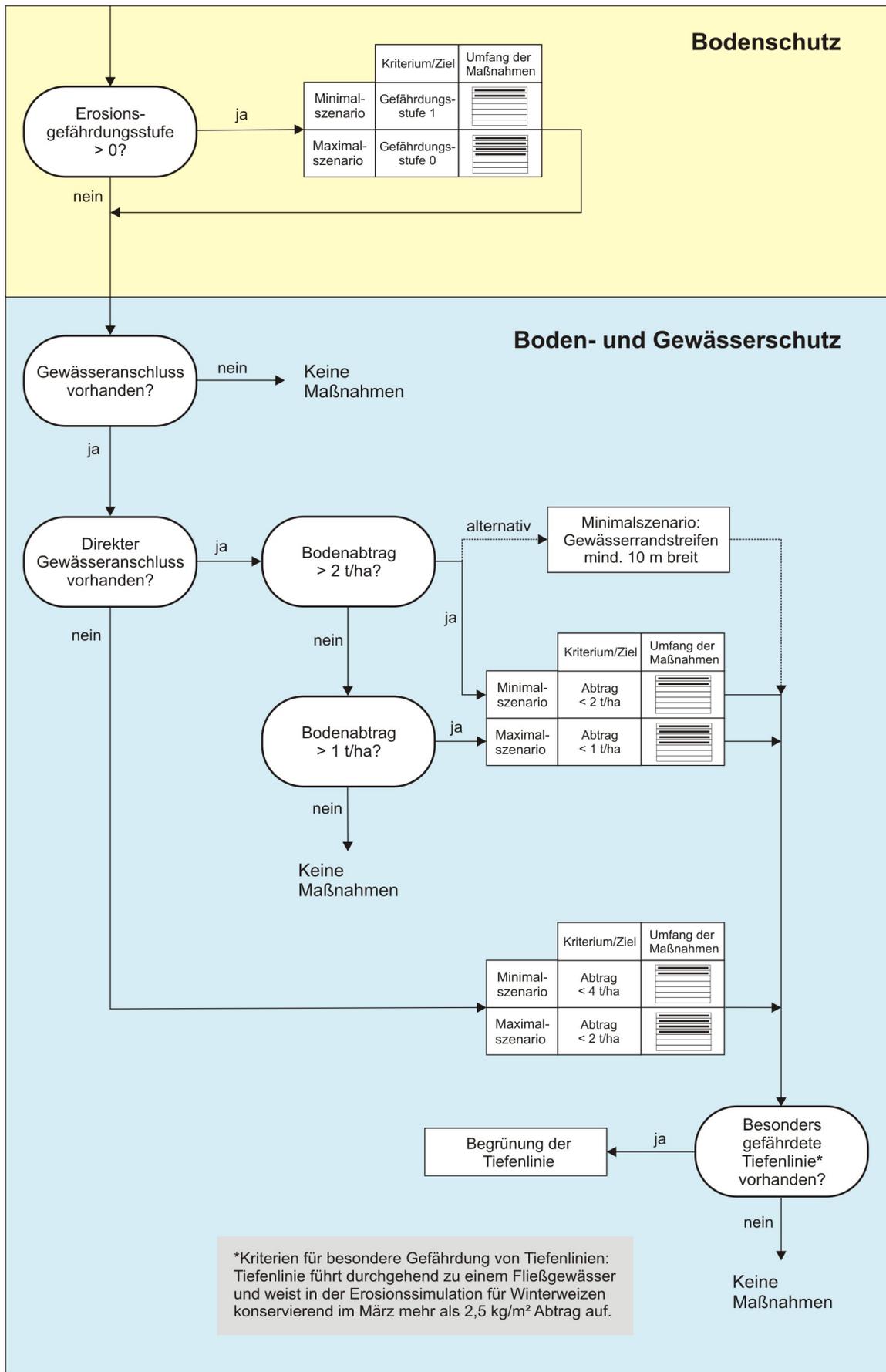


Abb. 2-6: Ablaufschema und Kriterien zur Ermittlung von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen. Der Umfang der erforderlichen Maßnahmen ist aus Gründen der Übersichtlichkeit nur grafisch angedeutet. Die schematischen Tabellen in Abbildung 3-5 symbolisieren die Maßnahmenliste gemäß Tabelle 3-2.

2.3.2 Zukünftige Nutzungsszenarien: Erosions- und Depositionsgeschehen

Die Prüfung der Wirksamkeit von Maßnahmen auf Basis von EROSION 3D erfolgt, im Vergleich zur Planung mit dem Bodenerosionsschlüssel, methodisch auf einem anderen Weg. Maßnahmen werden nun nicht anhand der Simulationsergebnisse erstellt, die modellierten Szenarien selbst werden hinsichtlich ihrer Schutzwirkung verglichen. Wie in Kapitel 3.2 ausführlich beschrieben, wird das Erosions- und Depositionsgeschehen der aktuellen Nutzung und sechs weiterer Szenarien simuliert. Jedes Szenario hat seine definierte landwirtschaftliche Nutzung und Bodenbearbeitung und dementsprechende Gebietsausträge. Diese können nun in Bezug zur aktuellen Nutzung gesetzt werden, womit eine relative Aussage der Schutzwirkung erfolgen kann.

Bei dieser Methode werden also nicht schlagindividuelle Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz simuliert und bewertet, sondern die Wirkung der Nutzungs- und Bearbeitungsumstellung auf den Austrag des gesamten Teileinzugsgebiets betrachtet. Jedes Szenario entspricht einer anderen Bewirtschaftung. Diese kann dem Boden- und Gewässerschutz förderlich sein oder auch nicht. Die Wirkung der Bewirtschaftung in Bezug auf den Boden- und Gewässerschutz wird in Kapitel 3.2 dargestellt, die Kosten der Bewirtschaftungsänderungen in Kapitel 6.2.

2.4 Abschätzung der Kosten der Schutzmaßnahmen

Die Kosten der Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen sind der entscheidende Faktor für die Akzeptanz der Maßnahmen bei den Landwirten (vgl. Kap. 1.2). Deshalb wurden bereits in früheren Arbeiten die Kosten des Erosionsschutzes abgeschätzt (vgl. Tab. 1-1). Die Ansätze beziehen sich dabei überwiegend auf die Kosten einzelner Anbautechniken oder auf die Monetarisierung langfristiger Ertragseinbußen durch die Abnahme der Bodenfruchtbarkeit.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine umfassende Grundlage für eine Abschätzung der Kosten von Schutzmaßnahmen zu liefern. Diese Schutzmaßnahmen werden dafür einerseits auf Basis detaillierter Gefährdungsanalysen für sechs Beispielbetriebe ökonomisch bewertet (vgl. Kap. 6.1), andererseits erfolgt die Bewertung auf Basis der mit EROSION 3D simulierten Szenarien (vgl. Kap. 6.2). Die ökonomische Bewertung basiert in beiden Fällen auf den Richtwert-Deckungsbeiträgen (RDB) der Landwirtschaftskammer Niedersachsen für das Jahr 2007 (LWK 2007) (vgl. Tab. 2-3). Vereinfacht formuliert sind RDB die Differenz zwischen den monetären

Erträgen und den variablen Kosten eines Betriebs. In Kapitel 6 wird der Begriff RDB genauer erläutert. Die RDB liefern die Grundlage für die Berechnung der monetären Gesamtwirkung des jeweiligen Maßnahmenverbundes auf die Betriebe und auf das Teileinzugsgebiet.

2.4.1 Kostenberechnung für schlagbezogene Maßnahmen

Die Berechnung der Kostenschätzung, auf Grund der schlagbezogenen Maßnahmen in den Beispielbetrieben, erfolgt in sechs Schritten. Abbildung 2-7 fasst die einzelnen Schritte zu einem Gesamtablauf zusammen.

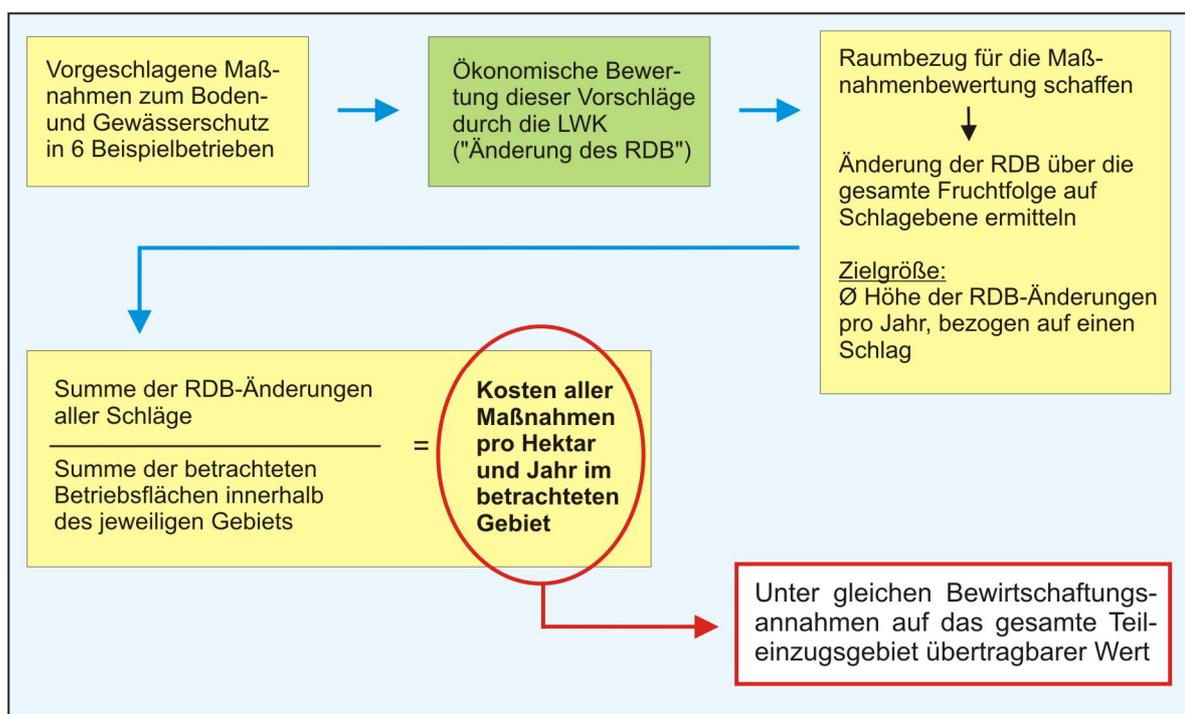


Abb. 2-7: Vorgehen bei der Berechnung der Maßnahmenkosten. Die Berechnung erfolgt schrittweise: von den Kosten der einzelnen Maßnahme über die Kosten der Maßnahmen auf Betriebsebene, bis hin zur Gebietebene.

Die Kostenschätzung läuft wie folgt ab:

1. Auf Basis der Maßnahmenpläne zum Boden- und Gewässerschutz führte die Landwirtschaftskammer Niedersachsen betriebsökonomische Einzelbewertungen anhand der Richtwert-Deckungsbeiträge (RDB) für das Jahr 2007 durch. Für jede Einzelmaßnahme wurden die Veränderungen der RDB pro Hektar errechnet (vgl. Kap. 6.1).

2. Die Änderungen der RDB werden in einen Raumbezug gebracht, d.h. auf die Schlagfläche umgerechnet. Manche Maßnahmen sind auf der gesamten Fläche erforderlich (z.B. Mulchsaat oder ein Fruchtartenwechsel), andere Maßnahmen werden nur auf Teilflächen durchgeführt (beispielsweise Gewässerrandstreifen). Die Änderungen der RDB aller Maßnahmen auf einem Schlag werden auf die gesamte Schlagfläche bezogen.
3. Zur Ermittlung des Durchschnitts der jährlichen RDB-Änderungen wird zunächst die Veränderung der RDB in jedem Jahr der Fruchtfolge betrachtet. Anschließend erfolgt die Berechnung des arithmetischen Mittels der Veränderungen über die gesamte Fruchtfolge (jeweils bezogen auf einen einzelnen Schlag).
4. Nachfolgend wird die Summe der durchschnittlichen jährlichen RDB-Veränderungen aller betrachteten Schläge gebildet (Summe der Kosten und des Gewinns aller Schläge).
5. Abschließend erfolgt der Bezug dieser Verluste (vgl. Punkt 4) auf zwei verschiedenen Flächensummen: Zum einen auf die Flächensumme der Schläge mit Maßnahmen, zum anderen auf die gesamte Ackerfläche des Betriebs in dem jeweiligen Teileinzugsgebiet (inkl. der Schläge ohne Maßnahmen). Bei der Relation der Verluste in Bezug auf die gesamte Ackerfläche eines Betriebs lassen sich die durchschnittlichen jährlichen Maßnahmenkosten des Betriebs berechnen:
Summe der durchschnittlichen Kosten aller betrachteten Schläge pro Jahr geteilt durch die Summe der betrachteten Betriebsfläche im Teileinzugsgebiet ist gleich den Maßnahmenkosten eines Betriebs pro Hektar und Jahr (bezogen auf die bewirtschaftete Fläche im Teileinzugsgebiet).
Ein Beispiel: Summe der Kosten aller betrachteten Schläge: 500 €/a; Gesamtfläche der betrachteten Schläge: 100 ha. Daraus folgt die Berechnung: $500 \text{ €/a} : 100 \text{ ha} = 5 \text{ €/ha*a}$. Es entstehen also Maßnahmenkosten von 5 €/ha*a.
6. Da die übrigen Betriebe eines Teileinzugsgebiets jeweils ähnlich wirtschaften wie die bewerteten Betriebe, können die in Schritt 5 ermittelten Kosten der Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen (im Beispiel: 5 €/ha*a) für das gesamte Teileinzugsgebiet herangezogen werden.

In allen vier Teileinzugsgebieten erfolgt die Berechnung der Veränderungen der RDB nach dem geschilderten Vorgehen (Schritte 1-6). In jedem Gebiet werden die Kosten für zwei Ziele berechnet: dem der guten fachlichen Praxis entsprechenden Minimalziel und dem Maximalziel als ökologisch optimaler Bewirtschaftung.

In der vorliegenden Arbeit wurden, beispielsweise im Gegensatz zu den Untersuchungen bei FREDE & DABBERT (1998) und OSTERBURG & RUNGE (2007), die Kosten von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen als Einheit betrachtet und zusammen bewertet. Bei FREDE & DABBERT (1998) werden nur Gewässerschutzmaßnahmen betrachtet, gleiches gilt für die in Hinblick auf die EU-Wasserrahmenrichtlinie durchgeführten Untersuchungen bei OSTERBURG & RUNGE (2007). Mit der hier verwendeten Methodik können beide für die landwirtschaftliche Praxis relevanten Ziele (Boden- und Gewässerschutz) erreicht werden. Weiterhin sind die auf ihre Kosten und Wirksamkeit untersuchten Maßnahmen in der vorliegenden Arbeit umfangreicher und zukunftsorientiert.

2.4.2 Kostenberechnung für gebietsbezogene Maßnahmen (EROSION 3D)

◆ **Die Richtwert-Deckungsbeiträge**

Die Abschätzung der Kosten von gebietsbezogenen Maßnahmen geschieht auf Basis der Richtwert-Deckungsbeiträge (RDB) der Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Für jede angebaute Kultur und Bearbeitungsform können die RDB einer jährlichen Publikation der LWK Niedersachsen (LWK 2007) in tabellarischer Form entnommen werden. Der RDB ist abhängig von der Ertragshöhe des Betriebs bzw. von der durchschnittlichen Ertragshöhe eines Gebiets.

Die hier getroffenen Annahmen beruhen auf der Befragung der Landwirte im Projekt „*Entwicklung einer Beratungskonzeption zur Minimierung von Bodenerosion und Stoffeintrag*“ (STROTDREES ET AL. 2007). Ein Auszug der RDB von den in den Untersuchungsgebieten angebauten Kulturen zeigt Tabelle 2-3. Auf die RDB aufbauend erfolgt schrittweise die Kostenberechnung für alle vier Teileinzugsgebiete.

Kultur	Bodenbearbeitung	Ertrag (dt/ha)	RDB (€/ha*a)
Zuckerrübe	Konventionell	600	949,48
	Konservierend	600	979,68
Blattfruchtweizen	Konventionell	90	986,84
	Konservierend	90	1017,04
Stoppelweizen	Konventionell	80	830,91
	Konservierend	70	709,48
Wintergerste	Konventionell	70	639,53
	Konservierend	60	521,33
Mais	Konventionell	525	873,45
	Konservierend	525	903,65
Winterraps	Konventionell	35	377,23
	Konservierend	35	407,43

Tab. 2-3: Auszug der Richtwert-Deckungsbeiträge 2007 der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK 2007). Die in den Gebieten vorkommenden Kulturen werden bezüglich ihrer Bearbeitung in konventionell (Pflug) und konservierend (pfluglos) unterschieden. Die Farbhinterlegung dient der Übersichtlichkeit.

◆ **Vorgehen bei der Berechnung**

Um die Kosten oder den Gewinn der Maßnahmen auf Gebietsebene zu vergleichen, ist zunächst die Kenntnis des durchschnittlichen jährlichen Richtwert-Deckungsbeitrags für das gesamte Teileinzugsgebiet erforderlich. Dazu sind in allen betrachteten Szenarien jeweils die folgenden vier Schritte nötig:

1. Für jedes Teileinzugsgebiet: Ermittlung des jährlichen Flächenanteils der angebauten Kulturen, aufgeschlüsselt in konventionelle und konservierende Bearbeitung.
2. Jährliche Berechnung: $\text{Flächenanteile (ha)} \times \text{RDB (€/ha)} = \text{Gesamt-RDB (€)}$ (für jede vorhandene Kultur und Bearbeitungsform).
3. Für jede Kultur und Bearbeitungsform: $\text{Summe der jährlichen Gesamt-RDB geteilt durch Anzahl der Jahre (entsprechend der Fruchtfolge)} = \text{durchschnittlicher RDB im Teileinzugsgebiet pro Jahr für eine Kultur mit ausgewiesenem Anbau.}$

4. Division der Summe des durchschnittlichen RDB (€/a) durch die betrachtete Flächengröße (ha) um die Angabe des RDB pro Hektar und Jahr für das gesamte Teileinzugsgebiet zu erhalten.

2.5 Arbeitsgebiet

2.5.1 Naturräumliche Einordnung

Die Lage des Gesamtgebiets und der Teileinzugsgebiete wird in Karte 2-1 dargestellt. Der Untersuchungsraum liegt in einem Teileinzugsgebiet der Leine im südwestlichen Landkreis Hildesheim. Im Norden ist der Raum durch das weitläufige, bördeähnliche Leinetal geprägt, und im Süden vom durch Sieben Bergen und Kulf eng eingefassten Tal des Berg- und Hügellandes. Der östliche Bereich repräsentiert mit dem Despetal ein vollständiges Teileinzugsgebiet der Leine. Eine Übersicht der naturräumlichen Grundlagen gibt Abbildung 2-8 (ergänzt nach SEEDORF & MEYER 1992).

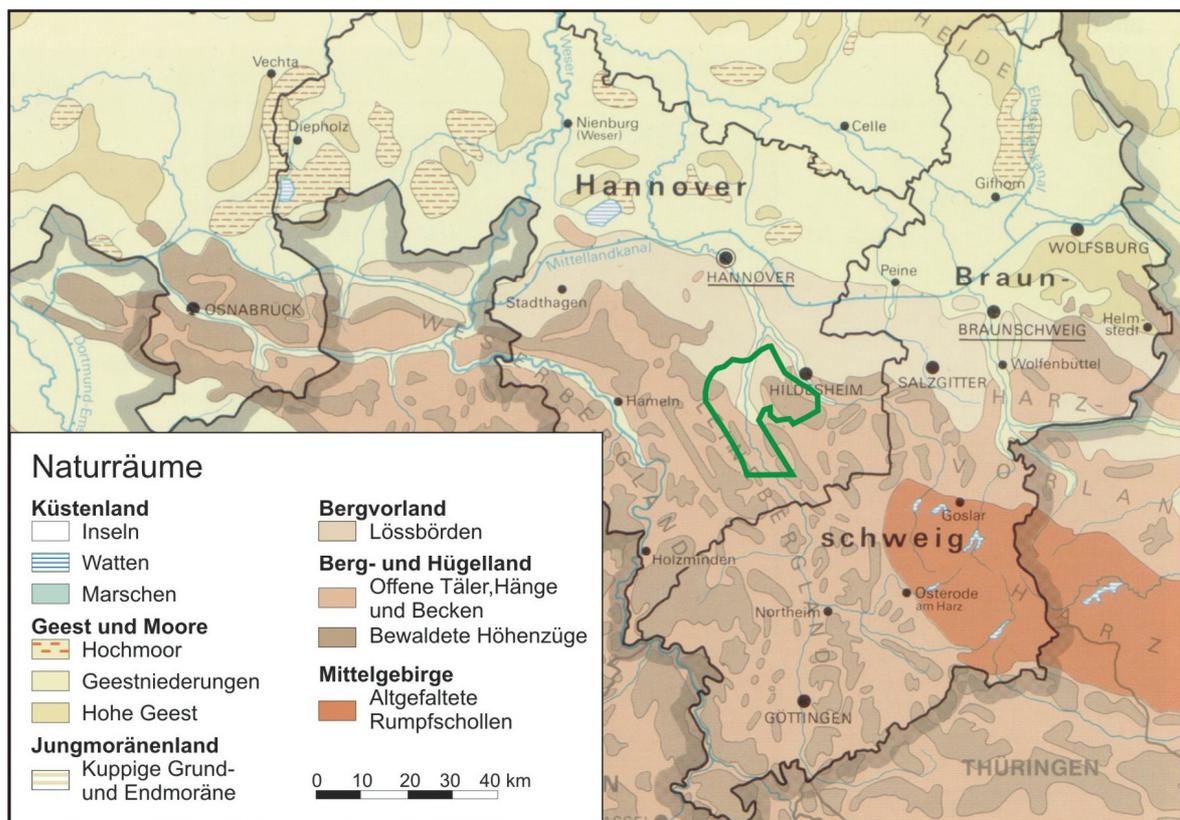
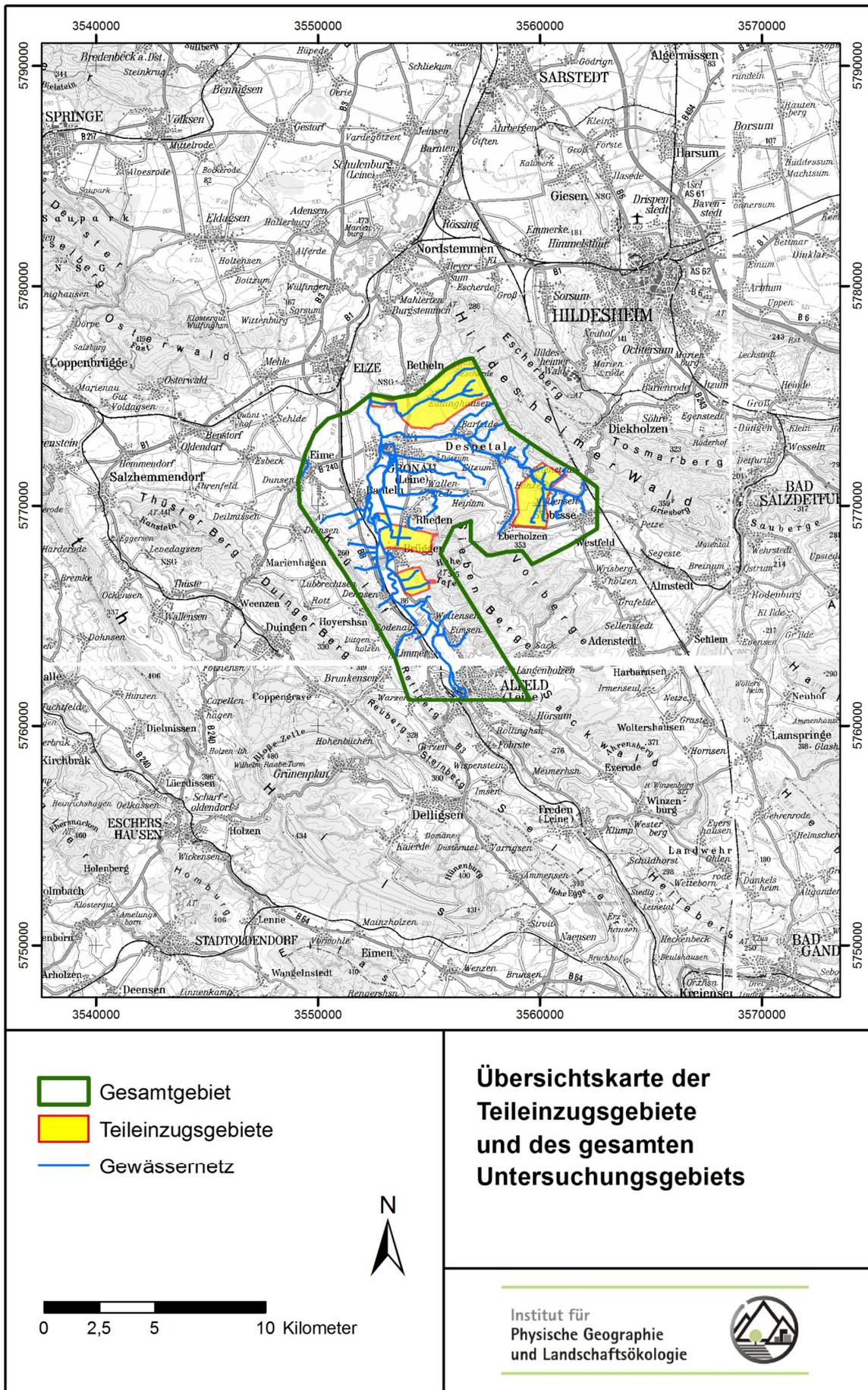


Abb. 2-8: Naturräume in Niedersachsen (SEEDORF & MEYER 1992). Die Grenze des Gesamtgebiets ist grün eingezeichnet.



Karte 2-1: Übersichtskarte der Teileinzugsgebiete und des gesamten Untersuchungsgebiets.

Die Größe des Gesamtgebiets beträgt ca. 113 km², wovon rund 65 % als Acker- und Grünland genutzt werden. Die Ackerflächen liegen, laut Bodenkundlicher Übersichtskarte 1 : 50.000, größtenteils auf lössreichen Parabraunerden und Pseudogley-Parabraunerden, bzw. im Auenbereich der Leine auf Braunauenböden. Im Bereich der Hangkuppen sind auch lössarme bis lössfreie Ranker- und reine Braunerdestandorte vorzufinden (vgl. BUEK50). Dementsprechend weist die Bodenschätzungskarte Niedersachsen (1 : 5.000) weitgehend ertragreiche und hochwertige Ackerstandorte mit großen Oberbodenmächtigkeiten und Bodenzahlen zwischen 70 und 90 aus (vgl. BS5).

Auf Grund der hochwertigen Standorte dominiert der ertragreiche Marktfruchtanbau im gesamten Leinetal. Die Hochwertigkeit der Böden, verbunden mit ihrer natürlichen Erosionsgefährdung, verdeutlichen die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen. Auf Hangkuppenstandorten (Muschelkalk, vgl. MITTELHÄUBER 1957) sind sowohl die Bodenmächtigkeiten als auch die Bodenzahlen geringer. Diese Bereiche sind ackerbaulich weniger attraktiv, insgesamt jedoch flächenmäßig nur gering vertreten. Im östlichen Bereich des Untersuchungsgebiets (Despetal) sind auf Grund der schlechteren Böden auch Mischbetriebe (Marktfrucht- und Futteranbau sowie Milchvieh) vorzufinden.

2.5.2 Auswahl der Teileinzugsgebiete

Karte 2-2 stellt die ausgewählten Teileinzugsgebiete dar. Entscheidend für die Begrenzung der Gebiete sind naturräumlich-hydrologische Kriterien (Auswahl eines Einzugsgebiets, also Orientierung an Wasserscheiden) und eine möglichst differenzierte Landnutzung innerhalb der Gebiete. Ausgewählt wurden Gesamt- und Teileinzugsgebiete von Oberflächengewässern. Die größten Flächenanteile der Gebiete werden ackerbaulich genutzt (vgl. Tab. 2-4). Alle vier Teileinzugsgebiete (Eddinghausen, Brüggen Nord, Brüggen Süd und Hönze) repräsentieren beispielhaft in ihrer Landnutzung und Topographie das gesamte Untersuchungsgebiet. Die Ergebnisse der Untersuchung in den Teilgebieten sind somit auf das gesamte Untersuchungsgebiet übertragbar.

Das Gebiet **Eddinghausen** ist abgegrenzt durch die Einzugsbereiche des Eddinghausener Bachs und des Nonnenbachs. Es liegt im weiträumigen Leinetal an der nördlichen Grenze des Untersuchungsgebiets. Der Eddinghausener Bach mündet direkt in die Leine und trägt damit unmittelbar Sedimente aus. Zwei große Betriebe dominieren flächenmäßig in diesem Gebiet.

Der Marktfruchtanbau findet auf überdurchschnittlich großen Schlägen statt (vgl. Tab. 2-4). Während die maximale Schlaggröße in Eddinghausen bis zu 36 ha erreicht, werden in den übrigen Gebieten 12 ha nicht überschritten (vgl. Tab. 2-4).

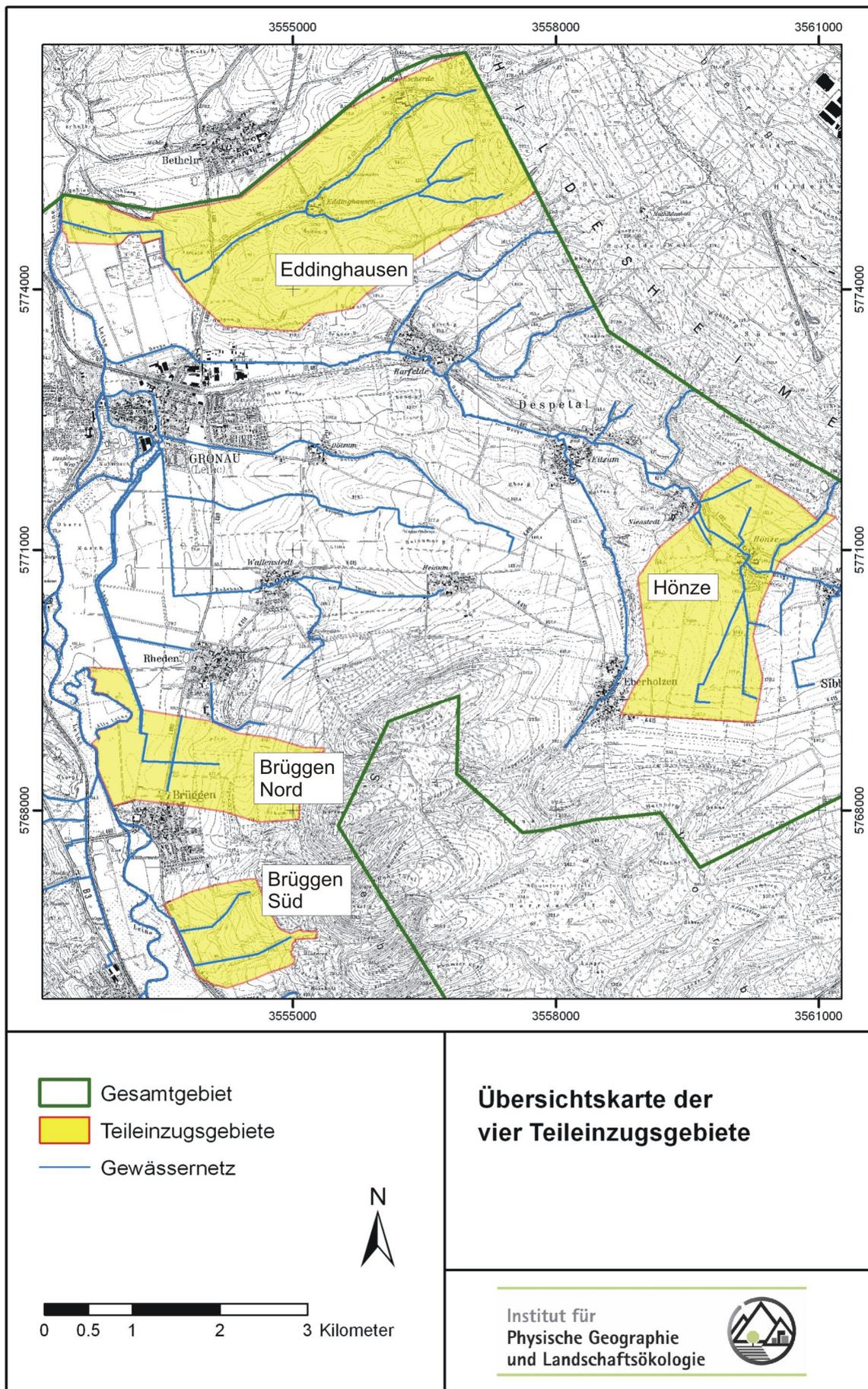
Gebietsmerkmale		Eddinghausen	Brüggen Nord	Brüggen Süd	Hönze
Gebietsgröße		755 ha	244 ha	126 ha	379 ha
Anteile davon:	Ackerland	76 %	85 %	90 %	87 %
	Grünland	6 %	3 %	2 %	5 %
	Wald / Gehölz	13 %	1 %	2 %	1 %
	Bebaute Fläche / Sonstiges	5 %	11 %	6 %	7 %
Typische angebaute Fruchtfolgen (IST-Zustand)		W-Raps-WW-WG ZR-WW-WW	W-Raps-WW-WW-WG ZR-WW-WW	W-Raps-WW-WW-WG ZR-WW-WW	ZR-WW-WW W-Raps-WW-WW Mais-WW-Mais
Anteil konservierende Bearbeitung und Dauergrünland		64 %	75 %	55 %	58 %
Ø Hangneigung	Gesamtgebiet	6,3 %	4,8 %	8,5 %	5,9 %
	Ackerland	5,0 %	5,6 %	8,4 %	5,6 %
Schlaggröße (Ackerland)	Minimum	0,1 ha	0,1 ha	0,2 ha	0,1 ha
	Durchschn.	6,0 ha	3,3 ha	3,1 ha	1,8 ha
	Maximum	36,0 ha	10,5 ha	9,7 ha	11,4 ha
	Anzahl Schläge	96	62	37	179

Tab. 2-4: Vergleich charakteristischer Merkmale der vier Teileinzugsgebiete. (ZR = Zuckerrüben, W-Raps = Winterraps, WW = Winterweizen, WG = Wintergerste).

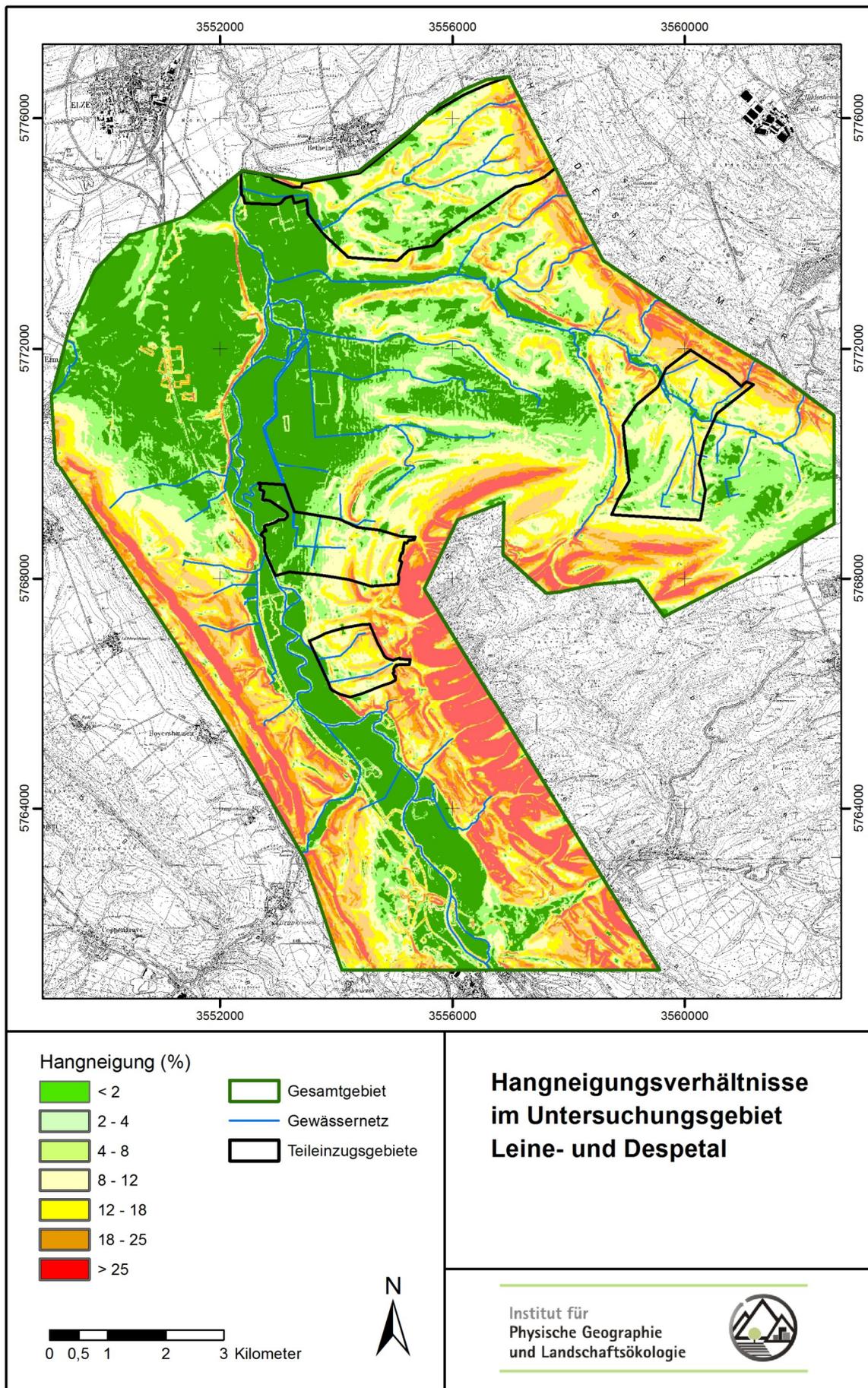
Die Teileinzugsgebiete **Brüggen Nord** und **Brüggen Süd** liegen zentral im nach Süden hin zwischen Kulf und Sieben Bergen immer enger gefassten Leinetal (vgl. Karte 2-2). Die Entwässerung dieser Gebiete erfolgt in die Aueflächen und erst mittelbar in die Leine. Beide Gebiete repräsentieren die Situation des direkten Stoffeintrags von den Randhängen der Leine in die

Aue. Die ackerbauliche Nutzung erfolgt in beiden Teileinzugsgebieten größtenteils durch eine Betriebsgemeinschaft von drei Landwirten, welche ebenfalls Marktfrüchte anbauen. Am häufigsten werden in der aktuellen Nutzung die Fruchtfolgen Winterraps (W-Raps) – Winterweizen (WW) – WW – Wintergerste (WG) und Zuckerrüben (ZR) – WW – WW angebaut (vgl. Tab. 2-4). Die Reliefenergie ist im östlichen Teil des Gebiets Brüggen Nord sowie fast im gesamten Gebiet Brüggen Süd hoch (vgl. Karte 2-3). Diesen Aspekt spiegelt die durchschnittliche Hangneigung wieder, die für Brüggen Süd mit 8,5 % den höchsten Wert aller Gebiete annimmt (vgl. Tab. 2-4). Der Anteil konservierender Bearbeitung (inklusive Dauergrünland) ist im Gebiet Brüggen Nord mit 75 % höher als in den anderen Teileinzugsgebieten (vgl. Tab. 2-4).

Das Teileinzugsgebiet **Hönze** besitzt eine andere Charakteristik als die bereits vorgestellten Gebiete. Auffällig ist zunächst die sehr viel geringere Durchschnittsgröße der einzelnen Schläge (\varnothing 1,8 ha), welche sich aus einer Vielzahl von Nebenerwerbsbetrieben mit traditionellen landwirtschaftlichen Strukturen ergibt (vgl. MITTELHÄUßER 1957). In Hönze herrschen Mischbetriebe (Marktfrucht- und Futteranbau sowie Milchvieh) vor. Neben den naturräumlich-hydrologischen Kriterien trug in diesem Fall auch die Vielzahl an Besitzverhältnissen der landwirtschaftlichen Flächen zur Abgrenzung des Teileinzugsgebiets auf rund 380 ha bei. Alle Oberflächengewässer im Gebiet Hönze münden in die Despe. Diese erreicht die Leine nördlich von Gronau (vgl. Karte 2-2). Die Stofflieferung erfolgt hier indirekt durch die Despe in die Leine.



Karte 2-2: Übersichtskarte der Teileinzugsgebiete.



Karte 2-3: Hangneigungen im Untersuchungsgebiet.

3 Bodenerosionsgeschehen

3.1 Gebietsausträge gemäß Bodenerosionsschlüssel

Mit dem Bodenerosionsschlüssel wurden rund 240 Schläge von sechs Betrieben innerhalb der Teileinzugsgebiete eingeschätzt. Grundlage dieser Erfassung war die Befragung der Landwirte (Februar 2006) im Projekt „*Entwicklung einer Beratungskonzeption zur Minimierung von Bodenerosion und Stoffeintrag*“ (STROTDREES ET AL. 2007). Die dort gewonnenen Informationen über angebaute Fruchtfolgen, Formen der Bodenbearbeitung usw. bilden die Berechnungsgrundlage bei der Anwendung des Bodenerosionsschlüssels (vgl. Kap. 2.1.2). Die Einschätzung mit dem Bodenerosionsschlüssel findet für die aktuelle Nutzung (IST-Zustand) statt.

Im ersten Schritt wurden die durchschnittlichen jährlichen Bodenabträge (t/ha*a) der Schläge berechnet. Diese sind entscheidend für die Maßnahmenplanung im Bereich Gewässerschutz, da es dort gilt, definierte Richtwerte von 1, 2 oder 4 t/ha*a (je nach Art des Gewässeranschlusses und der Zielvorgabe) einzuhalten (vgl. Kap. 2.2.1). Insgesamt weisen die betrachteten Schläge überwiegend geringe Abträge auf. Abbildung 3-1 zeigt die berechneten Bodenabträge schlaggenau. Tabelle 3-1 ordnet den einzelnen Abtragsstufen die jeweiligen Flächenanteile (absolut und relativ) zu.

Durchschnittlicher jährlicher Bodenabtrag	In dieser Arbeit untersuchte Flächen		Flächen aus der Dauerbeobachtung	
	Fläche (ha)	Flächenanteil (%)	Fläche (ha)	Flächenanteil (%)
< 2 t/ha*a	230	23	9	3
2 – 4 t/ha*a	374	37	46	16
4 - 6 t/ha*a	248	25	57	25
6 - 8 t/ha*a	85	8	28	12
> 8 t/ha*a	66	7	121	44

Tab. 3-1: Absolute und relative Flächenanteile unterschiedlicher jährlicher Bodenabträge. Angegeben für die Schläge der vier Teileinzugsgebiete und Flächen aus der Bodenerosionsdauerbeobachtung.

Ein Vergleich mit den im Rahmen der Bodenerosionsdauerbeobachtung in Südniedersachsen (MOSIMANN ET AL. 2006 & 2007) untersuchten Schlägen zeigt, dass die Fläche der Schläge mit geringen Abträgen größer ist als bei der Dauerbeobachtung (vgl. Tab. 3-1). Dieser Vergleich

ermöglicht eine grobe Einschätzung der Bodenabträge, ein direkter Vergleich ist jedoch nicht möglich, da beide Verfahren methodisch nicht identisch sind. Beispielsweise werden bei der Dauerbeobachtung nur ausdrücklich erosionsgefährdete Gebiete eingeschätzt (MOSIMANN ET AL. 2007). In dieser Arbeit hingegen werden auch Flächen im Auenbereich und somit Flächen mit nur geringer oder ohne Erosionsgefährdung berücksichtigt, was zu vergleichsweise geringeren Bodenabträgen führt. Weiterhin werden für die Einstufung in dieser Arbeit keine langjährigen Beobachtungen (8-10 Jahre) verwendet, der Zeitraum der jeweiligen Fruchtfolge (überwiegend 3-4 Jahre) ist maßgebend. Insgesamt variiert das Abtragpotenzial unter den vier Teileinzugsgebieten deutlich und ist als mittel bis niedrig einzustufen (vgl. Tab. 3-1).

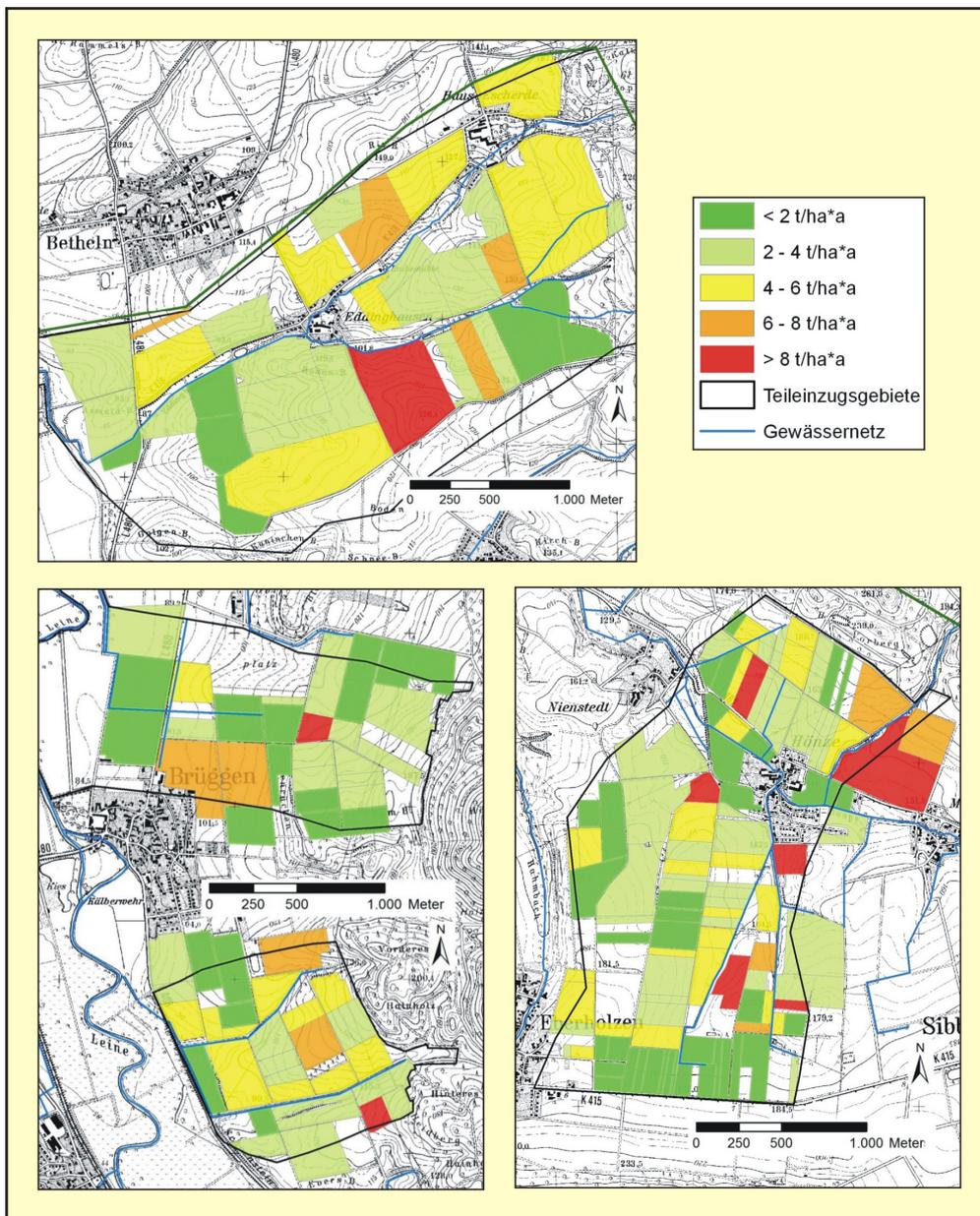


Abb. 3-1: Durchschnittlicher jährlicher Bodenabtrag in den Teileinzugsgebieten. Die Berechnung erfolgte mit der Arbeitshilfe „Bodenerosion selber abschätzen“, bezogen auf den gesamten Schlag.

In einem zweiten Schritt erfolgt mit Hilfe des Bodenerosionsschlüssels die Einstufung der betrachteten Schläge in Ihre jeweilige Gefährdungsstufe der Bodenfruchtbarkeit (vgl. Abb. 3-2).

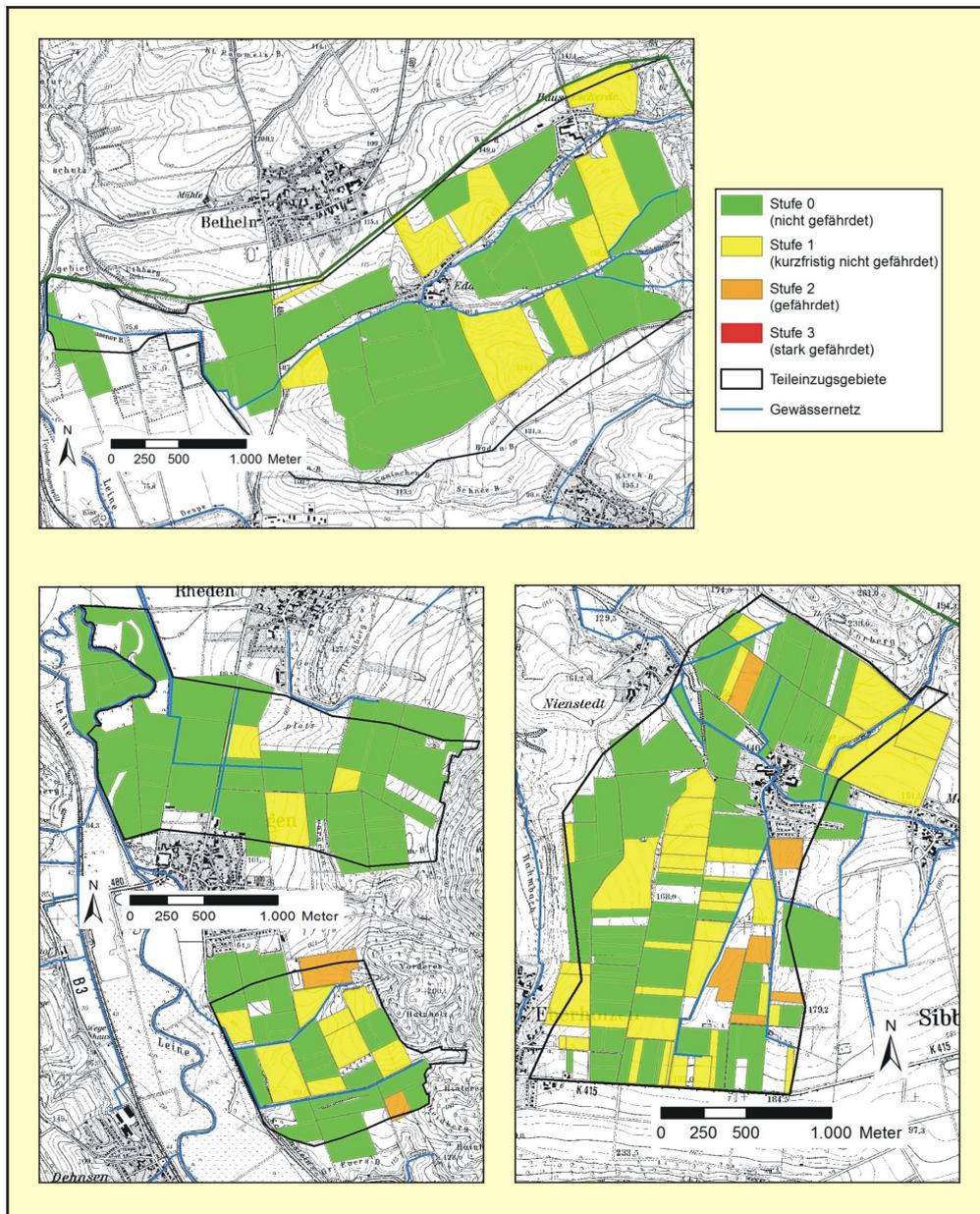


Abb. 3-2: Gefährdungsstufen der Bodenfruchtbarkeit in den Teileinzugsgebieten. Die Einstufung erfolgte mit der Arbeitshilfe „Bodenerosion selber abschätzen“, bezogen auf den gesamten Schlag.

In Abbildung 3-2 wird deutlich, dass die überwiegende Anzahl der Schläge in die Gefährdungsstufe 0 eingeordnet ist. Das heißt, die Bodenfruchtbarkeit ist nicht gefährdet, unter anderem weil rund 54 % der ausgewählten Flächen konservierend bearbeitet werden und der Hackfruchtanteil durchschnittlich 24 % nicht übersteigt. Im Vergleich mit Abbildung 3-1 fällt jedoch auf, dass einige Schläge sehr hohe Abträge (4-5 t/ha*a) aufweisen und trotzdem in

Stufe 0 eingeordnet werden. Dieser Vorgang basiert auf dem Toleranzgrenzenkonzept (vgl. SCHMIDTLEIN ET AL. 1990). Es besagt, dass bei tiefgründigen Schlägen (effektiver Wurzelraum > 90 cm) Abträge von bis zu 5 t/ha*a toleriert werden können, und der Schlag trotzdem in die Stufe 0 einzuordnen ist, denn auf Grund der hohen Oberbodenmächtigkeit ist die Bodenfruchtbarkeit langfristig nicht gefährdet.

Rund 30 Schläge werden der Stufe 1 zugeordnet (26 % der betrachteten Fläche, vgl. Abb. 3-2). Dies sind vornehmlich Schläge, auf denen der Boden mit dem Pflug bearbeitet wird, bzw. deren Oberbodenmächtigkeit geringer als 70 cm ist. Für Schläge der Stufe 2 (2 % Flächenanteil) gelten die gleichen Merkmale. Hinzu kommen oft eine große Hangneigung und ein sehr hoher Anteil Hackfrüchte in der Fruchtfolge, was insgesamt hohe Abträge bewirkt. In die Stufe 3 (Bodenfruchtbarkeit stark gefährdet) wird kein Schlag eingeordnet. Eine Zusammenfassung der jeweiligen Flächenanteile der Gefährdungstufen zeigt Tabelle 3-2.

Gefährdungsstufe der Bodenfruchtbarkeit	Fläche (ha)	Flächenanteil (%)
Stufe 0 (nicht gefährdet)	790	72
Stufe 1 (kurzfristig nicht gefährdet)	282	26
Stufe 2 (gefährdet)	26	2
Stufe 3 (stark gefährdet)	0	0

Tab. 3-2: Absolute und relative Flächenanteile der Gefährdungstufen der Bodenfruchtbarkeit in den Teileinzugsgebieten. Ermittelt mit der Arbeitshilfe „Bodenerosion selber abschätzen“.

Bei 30 Schlägen wird eine Gefährdungsstufe zugeordnet, jedoch das Abtragsgeschehen nicht bewertet. Diese Schläge liegen überwiegend in der Leineaue der Teileinzugsgebiete Brüggen Nord und Eddinghausen (vgl. Abb. 3-1 und 3-2). Der Grund dafür ist folgender: Als Toleranzwert für Bodenerosion gilt eine Hangneigung von mindestens 2 % (MOSIMANN & SANDERS 2004, LWK NRW 2007). Ab dieser Neigung kann davon ausgegangen werden, dass nennenswerter Bodenabtrag stattfindet. Die unterhalb von 2 % Hangneigung ablaufenden Erosionsprozesse sind in ihrem Ausmaß so gering, dass sie vollständig toleriert werden können. Also findet wegen der geringen Hangneigung auf den Schlägen im Auenbereich kein mit dem Bodenerosionsschlüssel berechenbarer Abtrag statt. Dementsprechend ist kein Abtragswert angegeben und es liegt keine Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit durch Erosion vor, es gilt die Gefährdungsstufe 0.

3.2 Mit EROSION 3D ermittelte Gebietsausträge

3.2.1 Modellierete Nutzungsszenarien

Insgesamt werden sieben Szenarien simuliert. Die Referenzgröße, als Maß für alle weiteren Szenarien ist die aktuelle Nutzung (IST-Zustand). Die sechs weiteren Szenarien zeigen mögliche zukünftige Varianten der Landnutzung:

- Zwei Szenarien mit unterschiedlich starkem Anstieg des Maisanteils in der Fruchtfolge (+ 10 % und + 30 %).
- Ein Positiv-Szenario zur Optimierung der landwirtschaftlichen Nutzung aus Sicht des Bodenschutzes.
- Zwei Szenarien mit hohem Hackfruchtanteil, davon einmal vollständig konventionell („worst case“) und einmal überwiegend konservierend angebaut.
- Ein repräsentatives Szenario zur Umstellung auf den ökologischen Landbau.

Im Positiv-Szenario, für die Hackfruchtszenarien und im Ökolandbau-Szenario wird pro Anbaujahr eine Kultur auf alle Flächen identisch verteilt. Das bedeutet beispielsweise für das Positiv-Szenario: im ersten Jahr wird die Zuckerrübe auf allen Schlägen konservierend angebaut, im zweiten Jahr Winterweizen konservierend, im dritten Jahr Mais konservierend usw. (vgl. Abb. 3-3). Die jährlichen Durchschnittswerte der gesamten Fruchtfolge (für das Beispiel Positiv-Szenario über 5 Jahre) ergeben den durchschnittlich entstehenden Gebietsaustrag dieser Fruchtfolge.

Im **IST-Zustand** werden die aktuellen Fruchtfolgen und Bearbeitungsformen auf Basis der Befragung der Landwirte (Februar 2006) simuliert. Abbildung 3-4 zeigt eine grafische Übersicht der Kulturenverteilung in den Teileinzugsgebieten. Die hier angegebenen Werte wurden aus den Befragungsrohdaten extrapoliert und sind in dieser Form in die Modellierung mit EROSION 3D eingegangen. Um eine vollständige Flächenabdeckung mit Nutzungsinformationen zu erhalten, wurden die Werte der Befragung entsprechend ihrer jeweiligen Flächenanteile auf das gesamte Teileinzugsgebiet übertragen. Die Differenzen zwischen Rohdaten und extrapolierten Werten sind minimal. sie betragen maximal 11 % und durchschnittlich nur 1,8 % (n = 37). Auf rund zwei Drittel der Flächen werden geregelte dreijährige Fruchtfolgen (beispielsweise ZR-WW-WW) angebaut. Deutlich seltener, auf ca. 20 % der Flächen, kommen

geregelte vierjährige Fruchtfolgen (z.B. W-Raps-WW-WW-WG) vor. Vereinzelt, vor allem bei Nebenerwerbsbetrieben im Teileinzugsgebiet Hönze kommen auch unregelmäßige Fruchtfolgen vor (ca. 10 % der Flächen). Letztere werden entsprechend dem Anteil der Kulturen auf dreijährige Fruchtfolgen umgerechnet. Diese Vereinfachung beeinflusst das Ergebnis der Teileinzugsgebiete nicht in relevantem Ausmaß, da der Flächenanteil niedrig ist (ca. 10 %) und die Unterschiede in der Erosionswirkung zwischen den für die Modellierung angenommenen und den tatsächlich angebauten Fruchtfolgen gering ist (Anteile der Kulturen wurden bei der Umrechnung beibehalten).

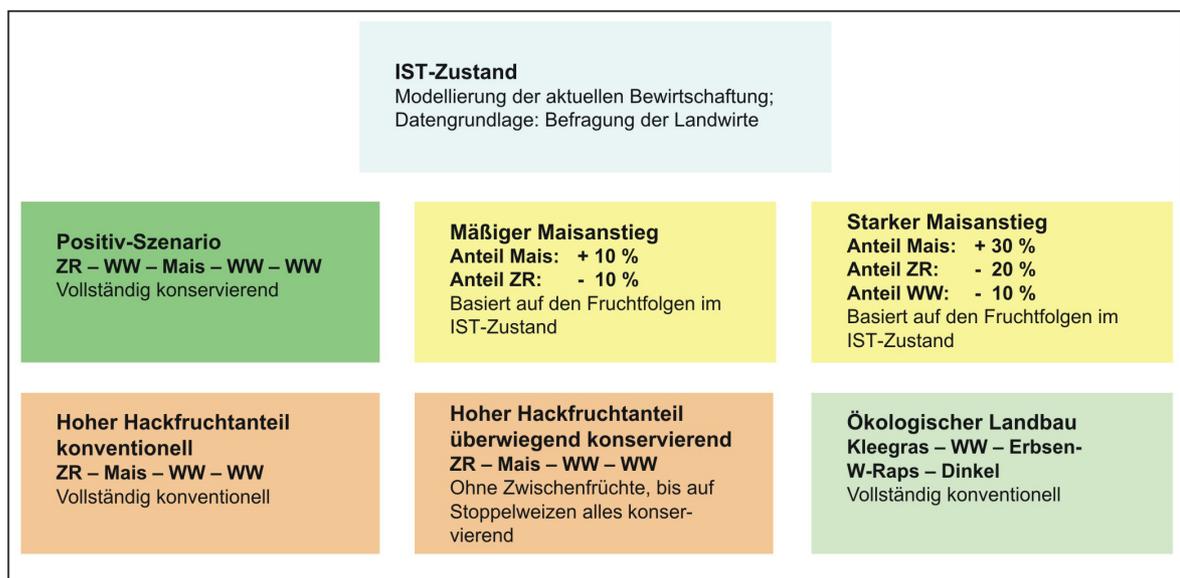


Abb. 3-3: Übersicht der mit EROSION 3D in den Teileinzugsgebieten modellierten Szenarien. ZR = Zuckerrübe, WW = Winterweizen, W-Raps = Winterraps.

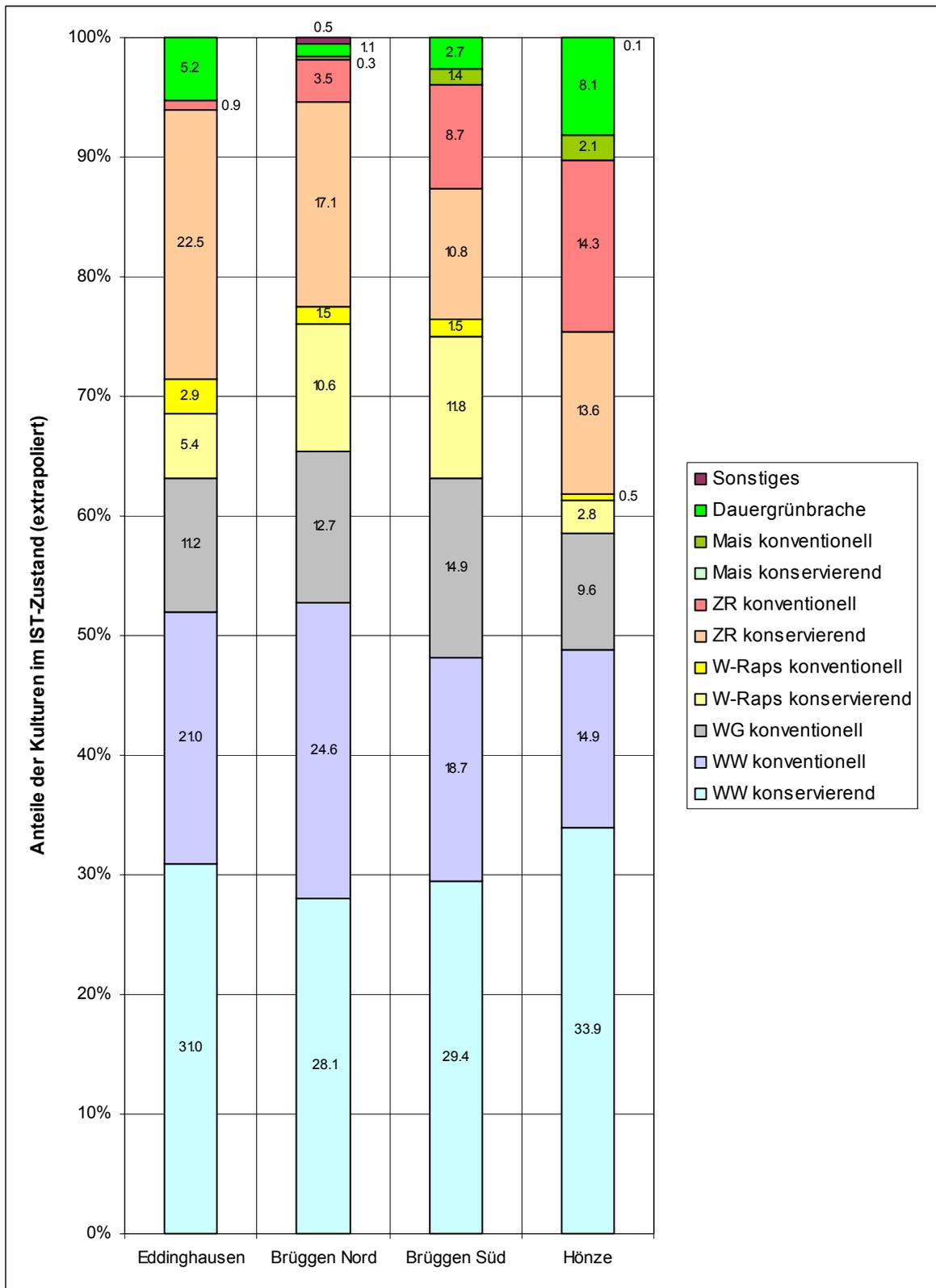


Abb. 3-4: Anteil der Ackerkulturen im IST-Zustand (extrapoliert), gegliedert nach Teileinzugsgebieten. Basis sind die Rohanteile der Kulturen laut Befragung der Landwirte. Die Abweichungen zu den Rohdaten betragen maximal 11 %, durchschnittlich nur 1,8 %. ZR = Zuckerrübe, W-Raps = Wintererbsen, WG = Wintergerste und WW = Winterweizen.

Die Szenarien „**Mäßiger Maisanstieg**“ und „**Starker Maisanstieg**“ bilden die Ausweitung des Maisanbaus ab. Mais ist die wesentliche Grundlage zum Betreiben von Biogasanlagen mit nachwachsenden Rohstoffen. Mit der Simulation dieser Szenarien wird der zunehmenden Verbreitung von Biogasanlagen Rechnung getragen. WEIDANZ & MOSIMANN (2007) liefern zu diesem Thema weiterführende Erläuterungen und Abschätzungen zur Veränderung der Bodenerosion. Basis für beide Szenarien ist die Landnutzung im IST-Zustand. Die Art der Bodenbearbeitung, also konventionell oder konservierend wird beibehalten, die angebaute Frucht wird gemäß dem Schema in Abbildung 3-3 geändert, und zwar zu gleichen Anteilen bei der konservierenden und der konventionellen Bearbeitung. Für das Szenario „Mäßiger Maisanstieg“ bewirkt dieser Schritt eine Reduktion der Fläche mit Zuckerrübenanbau um 10 % (jeweils 5 % konservierend und konventionell) und eine entsprechende Erhöhung des Maisanbaus. Die Obergrenze für einen starken Maisanstieg liegt nach derzeitiger Einschätzung bei einem Maisanteil von ca. 30 % (STROTDREES 2007, pers. Mitteilung). In diesem Fall reduziert sich nicht nur die Zuckerrübenanbaufläche, sondern auch die Anbaufläche von Winterweizen. Welche Rüben- bzw. Weizenschläge einen Fruchtwechsel auf Mais erfahren, bestimmt jeweils eine zufällige Auswahl. Die Lage oder das Relief der Schläge bleiben dabei unberücksichtigt. Sämtliche anderen Feldfrüchte und Bearbeitungsformen bleiben gegenüber dem IST-Zustand unverändert.

Das **Positiv-Szenario** entspricht einer aus Sicht des Bodenschutzes optimierten landwirtschaftlichen Nutzung. Hierbei wird ausschließlich konservierend angebaut. Dieses Szenario ist, trotz der Hauptintention „Bodenschutz“, an die Erfordernisse des Marktes angepasst. So finden sich sehr ertragreiche Kulturen innerhalb der fünfjährigen Fruchtfolge (ZR – WW – Mais – WW – WW; vgl. Abb. 4-3). Dieses Szenario verknüpft also Ertrag und Bodenschutz optimal.

Mit Hilfe des **Hackfruchtszenarios mit vollständig konventioneller Bearbeitung** („worst case“) wird der maximale Gebietsaustrag bei schlechtester Bewirtschaftung (aus der Sicht des Bodenschutzes) ermittelt. Folglich wird in der Simulation nur der Pflug zur Bodenbearbeitung eingesetzt. Weiterhin besteht die vierjährige Fruchtfolge zu 50 % aus den Erosion fördernden Früchten Mais und Zuckerrübe (vgl. Abb. 3-3). Mit Hilfe des in diesem Szenario ermittelten höchsten Austragswerts und dem Wert des Positiv-Szenarios (geringster Austragswert) lassen sich die Gebietsaustragshöhe im IST-Zustand und der Maßnahmenenerfolg sehr gut bewerten.

Eine abgeschwächte Variante stellt das **Hackfruchtszenario mit überwiegend konservierendem Anbau** dar. Die Fruchtfolge ist identisch mit der des anderen Hackfruchtszenarios (ZR –

Mais – WW – WW), die Form der Bodenbearbeitung variiert. Ausschließlich der Stoppelweizen (also der zweite Winterweizen) wird mit dem Pflug bearbeitet. Auf Grund der identischen Fruchtfolge kann der Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Ertrag und die Betriebseinnahmen mit beiden Hackfruchtszenarien ermittelt werden.

Das Szenario **Ökologischer Landbau** nimmt auf den möglicherweise wachsenden Anteil ökologischer Produktion (Verzicht auf chemische Hilfsstoffe, mechanische Unkrautbekämpfung etc.) Bezug. Pflügen ist eine wichtige Grundlage zur Reduzierung des Unkrautdrucks, daher wird der Boden in diesem Szenario konventionell bearbeitet. Die Fruchtfolge (Klee gras – WW – Erbsen - W-Raps – Dinkel; vgl. Abb. 3-3) ist frei von Hackfrüchten. Daher lassen sich die erhöhten Austräge durch den konventionellen Anbau teilweise kompensieren.

3.2.2 Die Referenzgröße: Gebietsausträge im IST-Zustand

Die verwendeten Grundlagen und Schritte der Gebietsaustragsberechnungen mit EROSION 3D sind in Kapitel 2.1.1 ausführlich geschildert. Tabelle 3-3 listet die Gebietsausträge des IST-Zustands monatsgenau für jedes Teileinzugsgebiet auf. Zusätzlich ist der durchschnittliche Austrag sowohl für alle neun Einzelereignisse (3x pro Jahr, über 3 Jahre) in einem Gebiet, als auch gebietsunabhängig für jeden Zeitpunkt angegeben. Dieses dient einem einfacheren Vergleich zwischen den Zeitpunkten und Szenarien.

Zeitpunkt Gebiet	Jahr 1			Jahr 2			Jahr 3			Ø Gebiets- austrag
	März	Mai	Ok- tober	März	Mai	Ok- tober	März	Mai	Ok- tober	
Eddinghausen	1,0	1,0	2,9	6,7	5,0	7,7	3,3	3,0	5,3	4,0
Brüggen-Nord	5,2	4,6	7,0	7,0	4,6	10,6	7,2	8,5	6,3	6,8
Brüggen-Süd	4,9	4,1	9,3	15,0	10,6	17,1	9,4	9,8	5,2	9,5
Hönze	5,2	4,6	8,2	8,0	6,9	8,3	9,8	10,2	5,2	7,4
Ø _{März}	4,8			9,2			7,4			7,1
Ø _{Mai}		4,3			6,8			7,9		6,3
Ø _{Oktober}			6,9			10,9			5,5	7,8

Tab. 3-3: Gebietsausträge (t/ha) der Teileinzugsgebiete im IST-Zustand. Angegeben sind die Werte aller Einzelereignisse sowie die Durchschnittswerte pro Gebiet (rechte Spalte) und die gebietsunabhängigen Durchschnittswerte für jeden Zeitpunkt (März, Mai und Oktober).

Die niedrigsten Austräge ereignen sich im Mai, die höchsten Werte treten teilweise im März und besonders im Oktober auf. Dies ergibt sich aus den Saatzeitpunkten (Winterkulturen: September bis Oktober; Sommerkulturen: März bis April) und dem Erntezeitpunkt (je nach Kultur zwischen Juli und Oktober). Bei Aussaat, zu Beginn der Wachstumsperiode und direkt nach der Ernte ist der Boden durch die Pflanzen kaum oder gar nicht geschützt. Tritt zu diesem Zeitpunkt ein intensives Niederschlagsereignis auf, kommt es zu hohen Bodenabträgen. Dementsprechend sind also zeitpunktabhängige Faktoren wie der Wuchszustand der Feldfrüchte (Bodenbedeckungsgrad) und damit verbundene Bodenparameter (Lagerungsdichte, Durchwurzelbarkeit, Wassergehalt etc.) für die Höhe des Bodenabtrags sehr bedeutend.

Die Gebietsausträge im IST-Zustand reichen von rund 4 bis ca. 9,5 t/ha. Sie gleichen damit weitestgehend den ABAG-Prognosen (allgemeine Bodenabtragsgleichung) für die Schläge der Bodenerosionsdauerbeobachtung im südlichen Niedersachsen (dort Angabe in t/ha*a) sowie weiteren Modellierungen mit EROSION 3D im Rahmen von Diplom- und Projektarbeiten im Raum Südniedersachsen (z.B. STREUN 2004 oder WEIDANZ & MOSIMANN 2007). Die große Differenz zwischen minimalem und maximalem Gebietsaustrag von 5,5 t/ha ergibt sich aus den individuellen Gebietseigenschaften (vgl. Abb. 3-5). So besitzt das Gebiet Eddinghausen, bezogen auf die naturräumlichen Faktoren, eine geringe Erosionsgefährdung bei weitgehend konservierender Bewirtschaftung. Dies reduziert den Gebietsaustrag auf Minimalwerte. Nahezu gegenteilige Faktoren führen zu relativ hohen Austrägen im Gebiet Brüggen Süd (vgl. Tab. 3-3 und Abb. 3-5).

Beim Vergleich der in der vorliegenden Arbeit simulierten Werte mit den Simulationsergebnissen von EROSION 3D in anderen Untersuchungen ergeben sich, unter Beachtung anderer Nutzungs- und Bodenbearbeitungsanteile, gute Übereinstimmungen. SCHMIDT (2003) berechnet für ein sächsisches Ackerbaugebiet mit Lössbedeckung je nach Niederschlagsintensität und Vegetationsentwicklung Gebietsausträge zwischen 0,5 und 6 t/ha. Bei FELDWISCH (2004) ergeben sich in verschiedenen Teilprojekten Austräge von 2,8-4,1 t/ha. Ein Vergleich der Ergebnisse muss jedoch differenziert betrachtet werden. Oft sind Modellparameter wie zum Beispiel Niederschlagsmerkmale, Bodenbearbeitungsart, Zeitpunkt und Dauer der Modellierung verschieden und so nur teilweise vergleichbar.

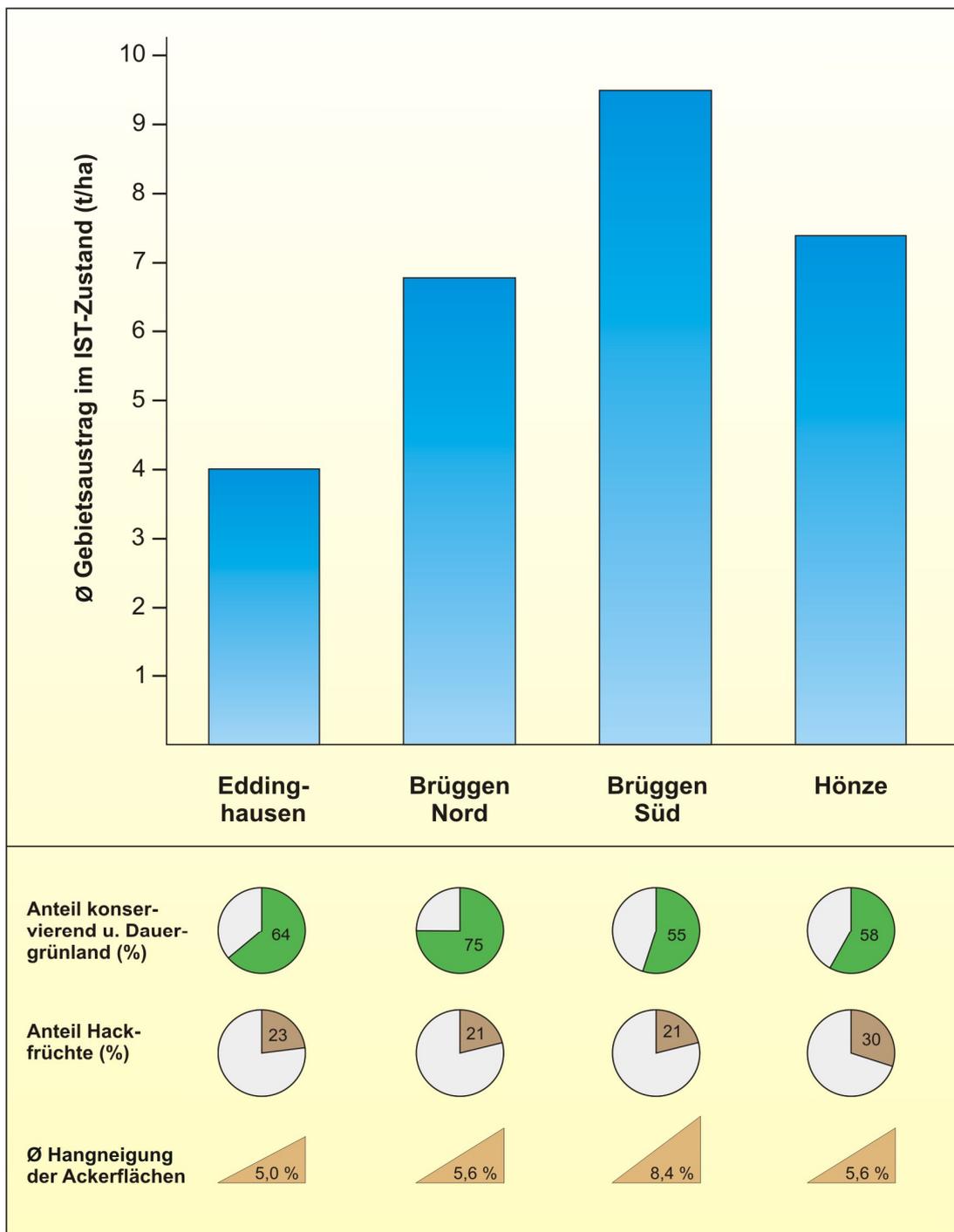


Abb. 3-5: Kombination von Gebietsausträgen im IST-Zustand mit Nutzungs- und Reliefparametern.

Eine Bewertung der Gebietsausträge in Abhängigkeit vom Anteil der Hackfrüchte und konservierender Bearbeitung (inkl. Dauergrünland) sowie in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Hangneigung der Ackerflächen ermöglicht Abbildung 3-5. Es wird deutlich, dass keiner der in Abbildung 3-5 genannten Faktoren allein für einen hohen Austrag verantwortlich ist. Ein relativ hoher Anteil Hackfrüchte wie z.B. im Gebiet Hönze bewirkt nicht automatisch einen hohen Austrag. Vielmehr sind für hohe Austragswerte eine Kombination aus hoher Reliefenergie,

einem geringen Anteil konservierenden Anbaus und ein großer Anteil an Hackfrüchten in der Fruchtfolge erforderlich. Eine solche Kombination wird am ehesten im Teileinzugsgebiet Brüggen Süd erreicht, was sich im höchsten durchschnittlichen Gebietsaustrag widerspiegelt (vgl. Abb. 3-5).

Abbildung 3-5 verdeutlicht, dass in Eddinghausen und Brüggen Nord die geringsten Gebietsaustragswerte zu erwarten sind. Diese werden durch einen heute schon hohen Anteil konservierender Bearbeitung (rund 70 %), relativ großen Auenbereichen innerhalb der Gebiete (mit geringen Hangneigungen) und einem Hackfruchtanteil unter 25 % begründet. Dagegen zeigen die Gebiete Hönze und insbesondere Brüggen Süd auf Grund einer stärker konventionell geprägten Bodenbearbeitung, eines Hackfruchtanteils von fast einem Drittel (Hönze) und zum Teil sehr großen Hangneigungen bis ca. 20 % (Brüggen Süd) mehr als doppelt so hohe Gebietsausträge.

3.2.3 Vergleich der Gebietsausträge verschiedener Nutzungsszenarien

Abbildung 3-6 zeigt die Gebietsausträge der Szenarien in Relation zum IST-Zustand. Dazu wurde der absolute Austragswert für den IST-Zustand in jedem Teileinzugsgebiet auf den Indexwert 100 gesetzt. Der Relativwert für die einzelnen Szenarien ergibt sich aus der Formel: $A_{\text{Rel.}} = (A_{\text{IST}} / A_{\text{Szenario}}) * 100$, wobei $A_{\text{Rel.}}$ = Relativaustrag und A = Austrag. Das Ausmaß der Veränderung (Zunahme oder Abnahme) lässt sich damit direkt und über die Gebietsgrenzen hinaus vergleichen. Als Zahl hinter diesen Relativwerten steht jeweils der durchschnittliche Gebietsaustrag der gesamten Fruchtfolge, welcher beispielsweise für den IST-Zustand (vgl. Tab. 3-3) aus neun Austragswerten bei einer dreijährigen Fruchtfolge besteht. In anderen Szenarien mit vierjährigen Fruchtfolgen sind es dementsprechend zwölf Austragswerte, bei fünf Jahren 15 Werte.

Die mit dem Modell EROSION 3D berechneten absoluten Austragswerte sind mit Unsicherheiten behaftet. Vergleiche mit den bisher vorliegenden Ergebnissen aus der Dauerbeobachtung der Bodenerosion in Südniedersachsen zeigen, dass die Erosionsbeträge von EROSION 3D bei konventioneller Bearbeitung überschätzt werden. Die Austragsmengen des konventionellen Anbaus sind im Vergleich zu den Erosionsereignissen der Dauerbeobachtung (MOSIMANN ET AL. 2007) bis zu zehnmal höher (WEIDANZ & MOSIMANN 2007). Um diese Überschätzung in der Bewertung auszuschalten, werden die Ergebnisse der Modellierungen in Relation zueinander betrachtet.

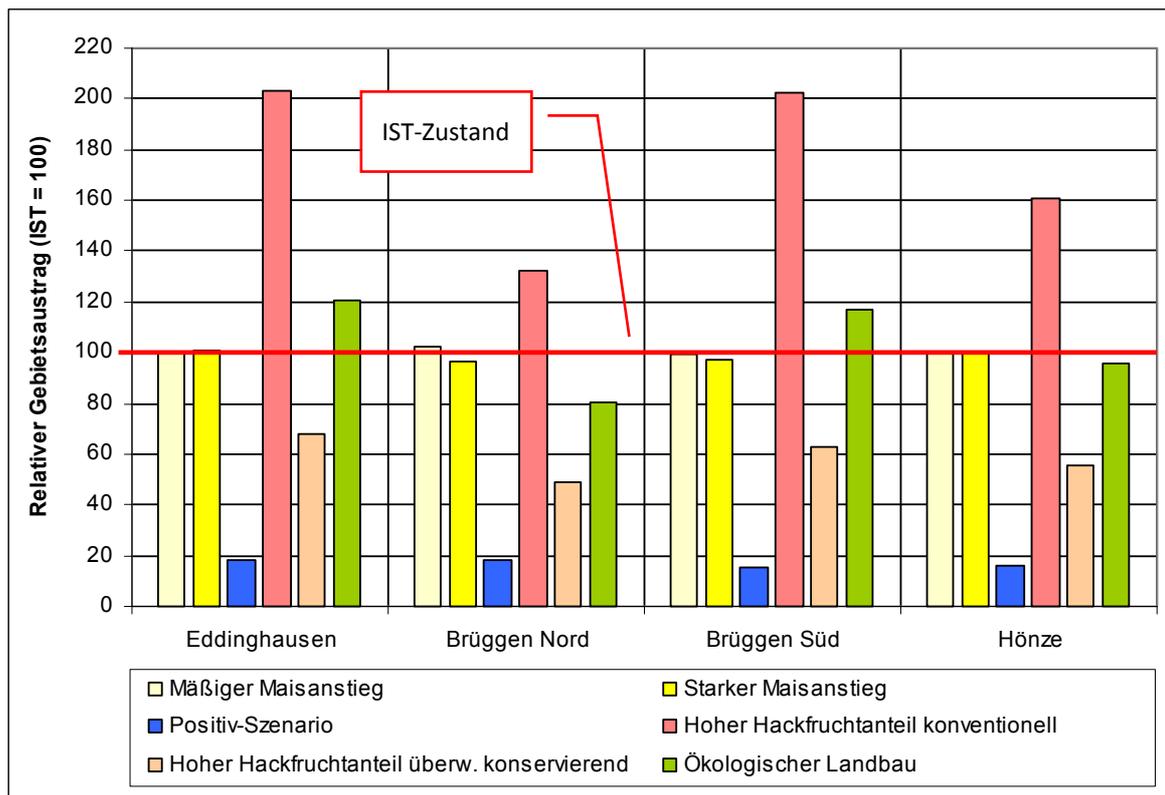


Abb. 3-6: Relativer Gebietsaustrag der Szenarien im Vergleich zum IST-Zustand (= 100), getrennt nach Teileinzugsgebieten.

Abbildung 3-6: zeigt im Wesentlichen folgende mögliche Entwicklungen:

- Bei nicht angepasster Landnutzung (nur konventionelle Bodenbearbeitung, 50 %-iger Anteil Zuckerrüben und Mais in der Fruchtfolge) sind Bodenabträge etwa 1,5 bis 2-mal höher als heute. Die aktuelle Landnutzung und Anbautechnik reduziert die Austräge also um 30-50 % im Vergleich zum „worst case“.
- Eine aus Sicht des Boden- und Gewässerschutzes optimierte Landnutzung (Positiv-Szenario) kann jedoch noch viel mehr erreichen. Im Maximum ließen sich die Austragswerte auf etwa 20 % des heutigen Stands senken. Es besteht also noch Spielraum, auch wenn das Optimum aus ökonomischen und pflanzenbautechnischen Gründen nicht umsetzbar sein wird.
- Das Szenario „Hoher Hackfruchtanteil überwiegend konservierend“ zeigt ein positives Ergebnis: eine Reduktion des Austrags auf rund 60 % der heutigen Werte. Hier wird die gleiche Fruchtfolge wie im „worst case“ (Hoher Hackfruchtanteil konventionell) angenommen: ZR—Mais—WW—WW. Der Anteil konventioneller

Bearbeitung wird jedoch auf 25 % reduziert (bei Stoppelweizen), auf Zwischenfrüchte wird gänzlich verzichtet (weitere Details zu den Fruchtfolgen in Abb. 3-3). Dieses Ergebnis unterstreicht das Gewicht der Bodenbearbeitungsform bei der Modellierung mit EROSION 3D.

- Der ökologische Landbau führt, je nach dem heutigen Stand der Nutzung, in verschiedenen Gebieten zu unterschiedlichen Entwicklungen. Bei bereits hohen Anteilen konservierender Bearbeitung erbringt ökologischer Landbau keine Verringerung des partikelgebundenen Stoffaustrags, zum Teil erfolgt sogar eine Zunahme. Bei überwiegend konventioneller Bearbeitung bewirkt der ökologische Landbau dagegen leicht Vorteile durch den Einschub von Klee gras in die Fruchtfolge. Die Bewertung dieses Szenarios in Bezug auf Bodenerosion und Stoffaustrag hängt also von der derzeitigen Nutzung ab.

Warum wirkt sich der Maisanstieg im Vergleich zum IST-Zustand auffallend gering auf die Abtragsmengen aus?

Im Rahmen einer vermehrten Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen gewinnt zurzeit Mais als Energiepflanze stark an Bedeutung (vgl. WEIDANZ & MOSIMANN 2007). Neue Biogasanlagen setzen fast ausnahmslos auf eine Energieproduktion durch nachwachsende Rohstoffe (NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM 2007, Internetquelle); die Landwirtschaftskammer Niedersachsen bescheinigt dem Anbau von Biogas-Mais eine kostengünstige Produktion (LWK 2007, Internetquelle).

Die Simulationsergebnisse der Energiepflanzenzenarien mit Mais zeigen, dass es im Vergleich zum IST-Zustand weder im Szenario „Mäßiger Maisanstieg“, noch im Szenario „Starker Maisanstieg“ zu nennenswerten Änderungen im Gebietsaustrag kommt, insbesondere in Relation zu den anderen simulierten Ergebnissen. Die geringfügigen Änderungen des Relativaustrags auf Werte von 96 % bzw. 97 % in den Gebieten Brüggen Nord und Süd sind unter Berücksichtigung der Unschärfe der Berechnungen mit EROSION 3D (vgl. Kap. 3.2.4) zu vernachlässigen. Zunehmender Maisanbau verändert also den aktuellen Stand beim Gebietsaustrag nicht merkbar. Die Ähnlichkeit der Ergebnisse liegt darin begründet, dass zunächst die Anteile der Bodenbearbeitungssysteme unverändert bleiben und mit dem Ersatz von Zuckerrübe durch Mais zwei ähnlich erosive Kulturen angebaut werden. Der Ersatz von Winterweizen durch Mais führt selbst im Szenario „Starker Maisanstieg“, bei einem Flächenanteil von 30 % Mais, nicht zu deutlichen Änderungen des Gebietsaustrags. Weiterhin findet im Gebiet Brüggen

Nord ein Großteil der Nutzungsänderung hin zu Mais zufällig im Bereich der Leineaue statt, so dass von diesen vergleichsweise ebenen Schlägen kaum Erosionsgefahr ausgeht. Zudem ist die Parametrisierung des Maisanbaus zum Teil sehr lückenhaft. Wie in Kapitel 3.2.4 beschrieben, weist die Festlegung der Parameter in den Monaten März/April und September/Oktober die größten Ungewissheiten auf. Somit sind die Ergebnisse der Mais-Szenarien mit größeren Unschärfen behaftet als die des IST-Zustands.

Der Maisanbau für die Biogasproduktion erhöht die Gebietsausträge also nicht oder nur wenig, solange der Mais überwiegend Rüben ersetzt, der Gesamtmaisanteil 30 % nicht übersteigt, die konservierende Bodenbearbeitung zunimmt und ein Teil des Maisanbaus auf den gering geneigten Talböden erfolgt. Die Art der Bodenbearbeitung ist hierbei der entscheidende Faktor.

3.2.4 Zuverlässigkeit der Berechnungen mit EROSION 3D

EROSION 3D ist ein physikalisch basiertes Modell und damit bei entsprechender Bereitstellung der Eingangsdaten universell einsetzbar (vgl. Kap. 2.1.1). Die Eingangsparameter lauten wie folgt (vgl. Abb. 2-2):

- Digitales Geländemodell (DGM) [m]
- Niederschlagshöhe, bzw. Niederschlagsintensität [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]
- Prozentuale Bodenartenanteile, aufgeteilt in 9 Korngrößenklassen (fT \rightarrow gS) [%]
- Lagerungsdichte des Bodens [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
- Gehalt des organisch gebundenen Kohlenstoffs (C_{org}) [%]
- Anfangswassergehalt des Bodens (vor Beginn der Modellierung) [%]
- Erosionswiderstand [$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]
- Rauigkeitsbeiwert [$\text{s} \cdot \text{m}^{-1/3}$]
- Bedeckungsgrad [%]
- Korrekturfaktor (kann individuell geändert werden, ohne Vorgaben)

Eine Sensitivitätsanalyse wurde von MICHAEL (2001) durchgeführt. Diese ergibt, dass insbesondere die Parameter Anfangswassergehalt und Lagerungsdichte einen großen Einfluss auf

das Ergebnis des Modells haben. Um Modellfehler zu minimieren sollten diese Parameter also möglichst genau erhoben und eingestellt werden.

Eingangsdaten wie DGM, Niederschlagsintensität oder Bodenartenanteile sind flächendeckend für das gesamte Untersuchungsgebiet vorhanden. Als Quelle für die weiteren, modell-spezifischen Eingangsdaten dient der sogenannte Parameterkatalog Sachsen (LFL 1996). Dieser ist bis heute die einzige umfangreiche Sammlung von Eingangsparametern für das Modell. Das heißt: können nicht alle Daten experimentell vor Ort ermittelt werden, was je nach Gebietsgröße, mindestens einen mehrmonatigen Zeitaufwand erfordert, ist alternativ nur die Entnahme aus dem bestehenden Parameterkatalog möglich. Dieser deckt viele, jedoch nicht alle vorkommenden Fruchtfolgen und Bearbeitungsmöglichkeiten ab. Beispielsweise liegen für Dinkel oder Klee gras keine Parameter vor. Hier müssen über Extrapolationen von anderen Kulturen wie Winterweizen oder mehrjährigem Grünland geeignete Werte abgeleitet werden. Diese wurden zur Extrapolation ausgewählt, da die Kulturart jeweils die größte Ähnlichkeit aufweist und Parameter vorhanden sind. Auch für verbreitet angebaute Feldfrüchte wie Winterraps oder Mais fehlen für einzelne Parameter Werte, insbesondere zum Zeitpunkt von Aussaat und Ernte (also in den Monaten März/April, sowie September/Okttober), so dass hier durch eine Interpolation angrenzender Monatswerte die Lücken geschlossen werden. Dazu wurden sowohl Werte der betrachteten Frucht, als auch gegebenenfalls Werte von Zwischenfrüchten herangezogen.

Weiterhin schwierig ist die Umsetzung der Bodenbearbeitung. Das Modell EROSION 3D kennt im Grunde nur drei Arten der Bearbeitung: konservierend (pfluglose Bearbeitung), konventionell (Pflugeinsatz) und Direktsaat. In der Realität kommt jedoch jede dieser Grundbearbeitungsformen in unterschiedlicher Ausprägung und in Zwischenstufen vor. Gerade im konservierenden Verfahren werden sehr verschiedene Bodenbedeckungsgrade erreicht. Dieser Tatsache kann bei der Modellierung nur bedingt entsprochen werden, lediglich der Korrekturfaktor bietet hier etwas Spielraum zur wissensbasierten Anpassung.

Weitere Unsicherheiten ergeben sich aus den verschiedenen Reihenabständen bei Kulturen wie Erbsen oder Mais. Hier erfolgen zum Teil auf Betriebsebene Verbesserungen der Bodenbedeckung durch Minimierung des Reihenabstandes auf etwa 40 cm. Dies kann das Modell jedoch nicht abbilden. Unschärfen entstehen auch dadurch, dass die Eingangsparameter nur monatlich vorliegen, entsprechend können nur monatliche Durchschnittswerte eingehen. Gerade im Frühjahr, bei starkem Pflanzenwachstum und zu den jeweiligen Erntezeitpunkten

steigt damit die Ungenauigkeit. Eine wochengenaue Umsetzung der Eingangswerte im Parameterkatalog Sachsen (LFL 1996) wäre zwar datenintensiv, allerdings in digitaler Form gut umsetzbar und insbesondere im Frühjahr und zu den Erntezeitpunkten wünschenswert. Diese Form der Präzision würde in der landwirtschaftlichen Beratung und Praxis ebenfalls begrüßt (STROTDREES 2007 und BRUNOTTE 2007, pers. Mitteilung).

Generell sind die Ergebnisse der Modellierung mit EROSION 3D unter Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Nutzung in der berechneten Größenordnung plausibel. Dies zeigen Vergleiche mit anderen Untersuchungen im südniedersächsischen Raum von STREUN (2004), WEIDANZ & MOSIMANN (2007) und ebenso die Auswertung der Bodenerosionsdauerbeobachtung (MOSIMANN ET AL. 2006 und 2007). Weiterhin berechnen MICHAEL ET AL. (2005) und DEUM-LICH ET AL. (2005 und 2006) plausible Ergebnisse mit EROSION 3D für Lössgebiete in Sachsen und Brandenburg. Beim Vergleich von Messwerten tatsächlicher Erosionsereignisse mit Modellergebnissen (nachträgliche Modellierung realer Ereignisse) stellen SCHMIDT ET AL. (1999) für ein Untersuchungsgebiet in den Niederlanden zum Teil stark erhöhte Gebietsausträge im Modell fest. Dies liegt laut SCHMIDT ET AL. (1999) einerseits an ungenauen Eingangsdaten, andererseits an Teilen der Modellstruktur, die die Realität nicht exakt abbilden.

Vorsichtig müssen hingegen die Ergebnisse unter dem Einfluss der konservierenden Bearbeitung beurteilt werden. Vergleiche zwischen den Modellierungen mit EROSION 3D und den Abtragsmengen der seit sieben Jahren durchgeführten Bodendauerbeobachtung zeigen, dass EROSION 3D die Reduzierung der Abtragsmengen durch konservierenden Anbau überschätzt. Es wird wahrscheinlich erforderlich sein, zukünftig einen Korrekturfaktor für die konservierende Bearbeitung zu ermitteln. Die Wirkung der konservierenden Bodenbewirtschaftung gegen den Stoffaustrag in Gewässer wird in den vorliegenden Modellierungen also voraussichtlich überschätzt (vgl. auch Abb. 3-6).

4 Stoffaustrag in die Leine

4.1 Grundlagen des Stoffeintrags in Gewässer und Abgrenzung der Liefergebiete

Zur Ermittlung der Stoffeintragsituation in Gewässer ist eine räumlich differenzierte Betrachtung von Flächen mit und ohne Gewässeranschluss nötig. Die Liefergebiete für den Gewässereintrag sind Flächen mit Gewässeranschluss. Ob eine Fläche Gewässeranschluss besitzt, wird mit dem in Kapitel 2.1.3 vorgestellten Schlüssel ermittelt, dabei wird nach direktem und indirektem Gewässeranschluss unterschieden. Bei direktem Gewässeranschluss wird potenziell mehr Material ausgetragen, somit gelten für die gleiche Schutzwirkung bei direktem Anschluss niedrigere Richtwerte des maximal tolerierbaren Bodenabtrags, als bei indirektem Gewässeranschluss (vgl. Kap. 2.2.1).

Die zukünftige Entwicklung von Flächennutzung und Schutzmaßnahmen sind dementsprechend auf Flächen mit Gewässeranschluss und hohem Bodenabtrag besonders relevant. Auf Basis eines Schwellenwerts für den Bodenabtrag lassen sich diese kritischen Flächen bestimmen (vgl. Karten 4-1, 4-2 und 4-3). Zur Einschätzung der Abtragshöhe dient der Bodenerosionsschlüssel. Als Schwellenwert wurde eine Abtragsmenge von $5 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ gewählt. Dieser Wert stellt die Relevanzschwelle des maximal akzeptablen Abtrags für tiefgründige Böden dar (MOSIMANN 1995). Die langfristige Erhaltung von Böden über 100 cm Gründigkeit ist bei Abträgen $< 5 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ gewährleistet (MOSIMANN 1995). Im Untersuchungsgebiet weisen ca. 80 % der Ackerflächen Gründigkeiten von mindestens einem Meter auf, folglich ist mit einem Abtrag von $< 5 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ auch laut Bodenerosionsschlüssel (MOSIMANN & SANDERS 2004) die Bodenfruchtbarkeit nicht gefährdet (Stufe 0).

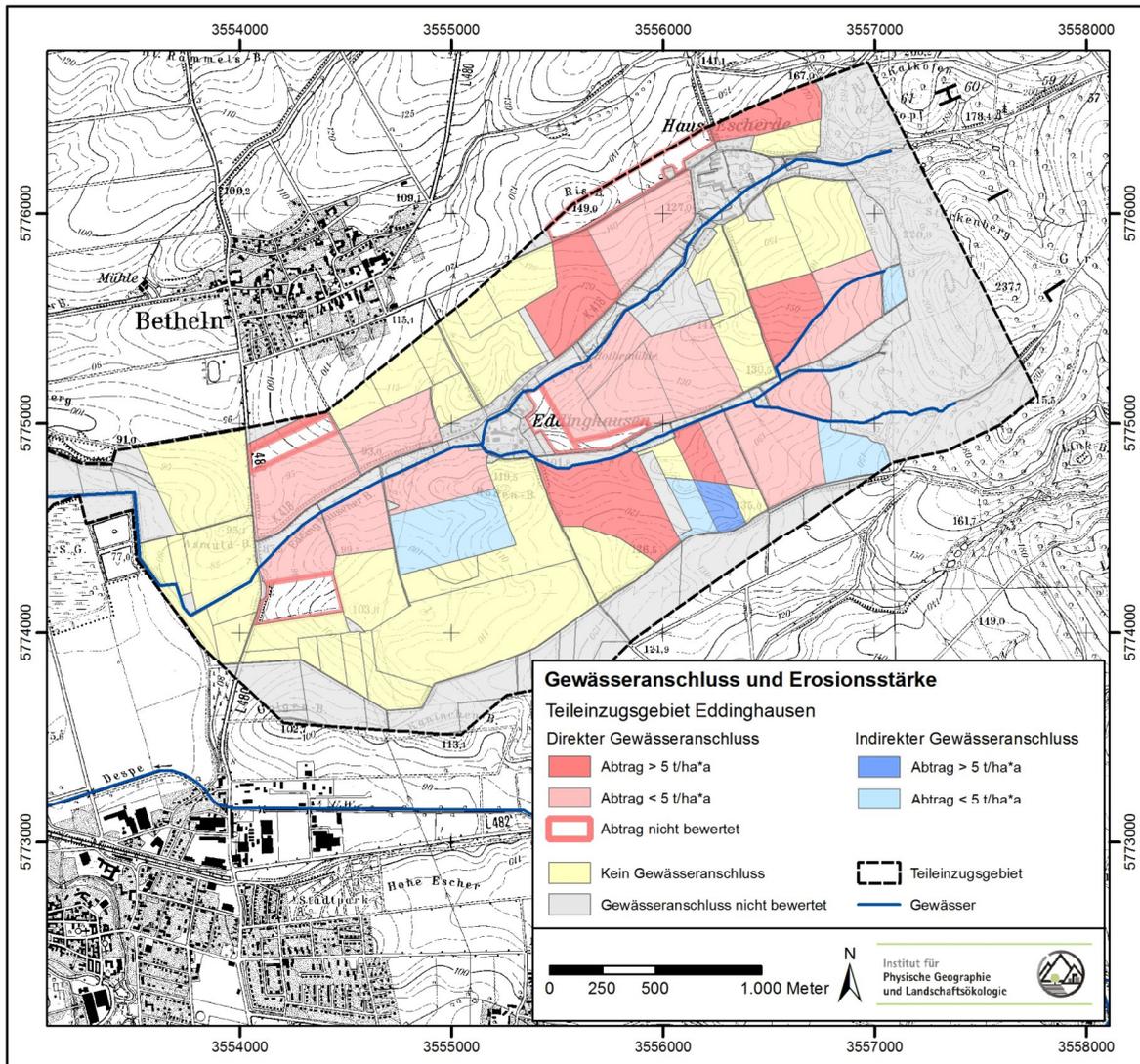
Eine ähnliche Größenordnung geben FELDWISCH ET AL. (1998) vor. Sie stellen für einen Bodenabtrag von bis zu $4 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ nur eine geringe potenzielle Gewässergefährdung fest. Allerdings findet die Gründigkeit der Böden bei der Betrachtung von FELDWISCH ET AL. (1998) keine Berücksichtigung, primär wird also nur die Gewässergefährdung betrachtet.

In der vorliegenden Arbeit findet eine kombinierte Bewertung von Boden- und Gewässergefährdung statt. Beide Aspekte, die qualitative Bewertung des Gewässeranschlusses und die quantitative Bewertung des Bodenabtrags, werden in den Karten 4-1 bis 4-3 zusammengefasst und bilden die Grundlage für die Gestaltung umfassender Schutzmaßnahmen.

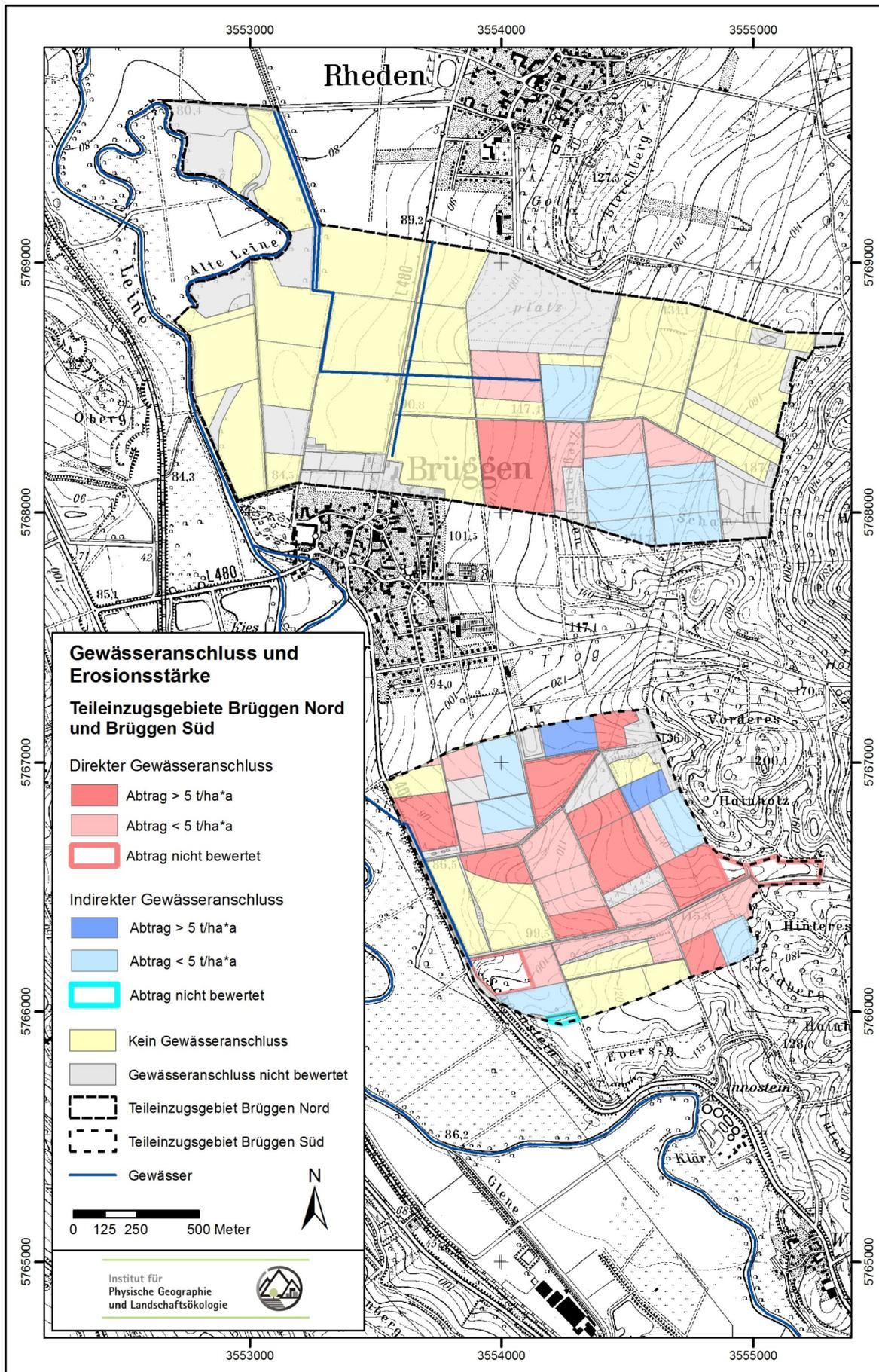
Die drei Karten 4-1, 4-2 und 4-3 zeigen die Situation in den vier Teileinzugsgebieten. Die Flächen mit direktem und indirektem Gewässeranschluss werden jeweils in zwei Klassen unterteilt: Abtrag größer 5 t/ha*a und Abtrag kleiner 5 t/ha*a. Je nach Merkmalkombination einer Fläche (Gewässeranschlusssituation & Bodenabtrag) geht von ihr eine unterschiedlich starke Gewässerbelastung aus. Die höchste Belastung tritt bei direktem Anschluss gepaart mit Abträgen > 5 t/ha*a auf. Bei geringeren durchschnittlichen Bodenabträgen oder nur indirektem Gewässeranschluss ist das Belastungspotenzial geringer. Ausgehend von der höchsten Belastung ergibt sich folgende Reihung der Merkmalkombinationen mit abnehmendem potenziellem Gewässereintrag (vgl. Karten 4-1 bis 4-3):

- Direkter Gewässeranschluss & Abtrag > 5 t/ha*a (dunkelrote Flächenfarbe)
- Indirekter Gewässeranschluss & Abtrag > 5 t/ha*a (dunkelblaue Flächenfarbe)
- Direkter Gewässeranschluss & Abtrag < 5 t/ha*a (hellrote Flächenfarbe)
- Indirekter Gewässeranschluss & Abtrag < 5 t/ha*a (hellblaue Flächenfarbe)

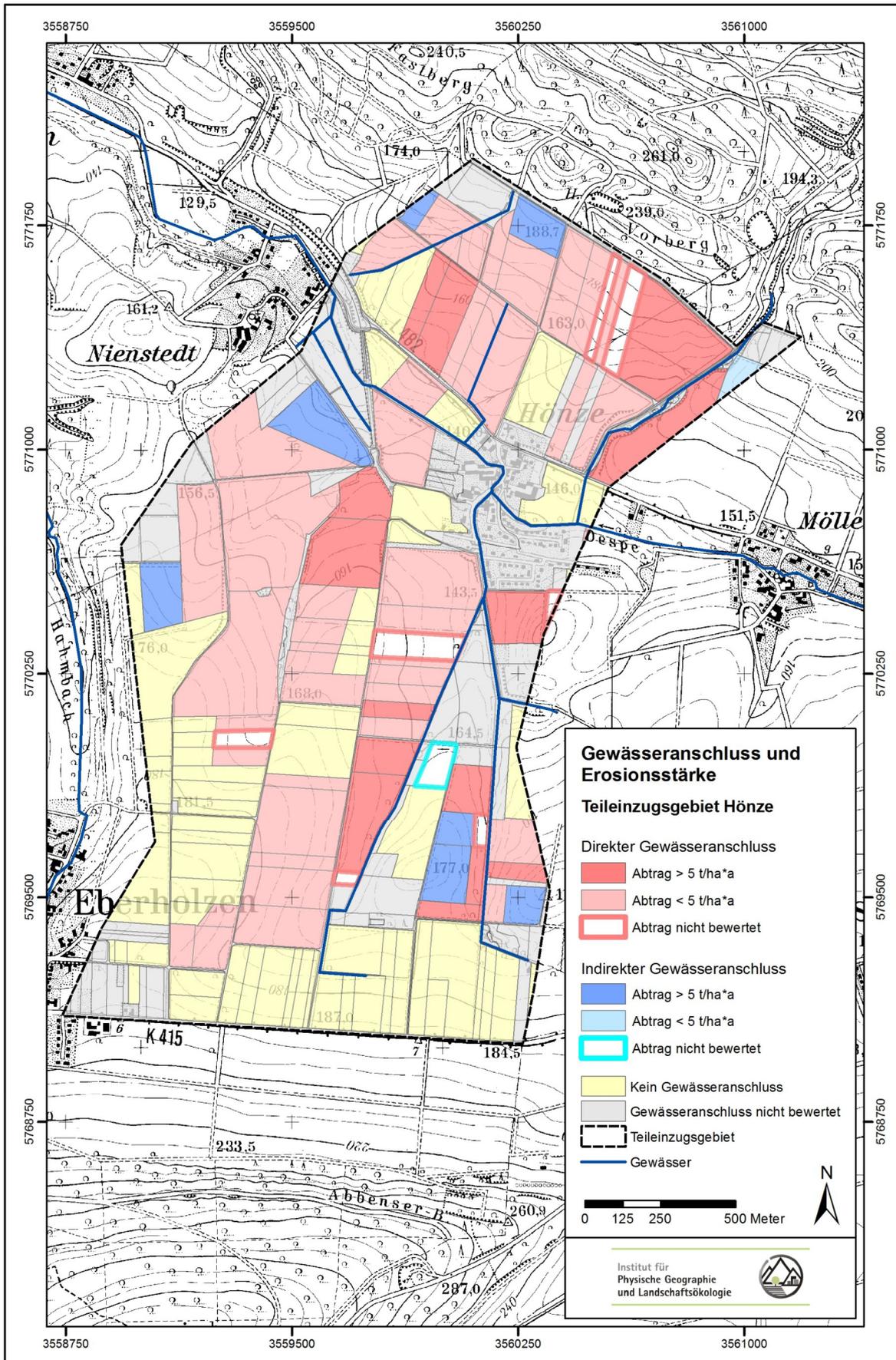
Einige Schläge können nur bezüglich ihrer Gewässeranschlusssituation beurteilt werden, nicht jedoch in der Höhe ihres Bodenabtrags. Dies ist der Fall, wenn wichtige Informationen über die Nutzung und Bearbeitung nicht erhoben wurden (z.B. keine Befragung der Landwirte möglich), so dass der Bodenerosionsschlüssel nicht angewendet werden kann. Ein weiterer Teil der Ackerflächen hat keinen Gewässeranschluss und somit keinen Einfluss auf den Stoffeintrag (ebene Bereiche oder zu große Entfernung vom Gewässer). Siedlungsflächen, Grünland und sonstige, nicht ackerbauliche Nutzungen sind in den Karten 4-1 bis 4-3 mit „Gewässeranschluss nicht bewertet“ gekennzeichnet. Auf Grundlage dieser zusammenfassenden Einschätzung von Gewässeranschluss und Erosionsstärke werden die Maßnahmevorschläge erstellt (vgl. Kap. 5).



Karte 4-1: Gewässeranschluss und Erosionsstärke im Teileinzugsgebiet Eddinghausen.



Karte 4-2: Gewässeranschluss und Erosionsstärke in den Teileinzugsgebieten Brüggen Nord und Süd.



Karte 4-3: Gewässeranschluss und Erosionsstärke im Teileinzugsgebiet Hönze.

4.2 Welcher Partikelanteil wird in die Gewässer eingetragen?

Zur weiteren Identifizierung von Stoffeinträgen aus den Hangeinzugsgebieten in die Gewässer dient in der vorliegenden Arbeit eine differenzierte Bewertung der Simulationsergebnisse von EROSION 3D. Wie in Kapitel 2.1.1 geschildert, werden aus den Berechnungsergebnissen zwei Indizes gebildet: der Stoffaustragsindex und der Erosionsaktivitätsindex. Die Formel $(\text{Stoffaustragsindex} / \text{Erosionsaktivitätsindex}) * 100$ gibt dabei den prozentualen Wert des Bodenmaterials an, welches aus dem Gebiet ausgetragen wird, es handelt sich um die so genannte „Sediment Delivery Ratio“ (SDR).

Die in der vorliegenden Arbeit aus den Simulationsergebnissen entwickelten SDR-Werte werden für alle Teileinzugsgebiete und Szenarien in Abbildung 4-1 dargestellt. Die Berechnungen der Indizes erfolgten getrennt für die Bereiche mit Gewässeranschluss (mit GA) und ohne Gewässeranschluss (ohne GA).

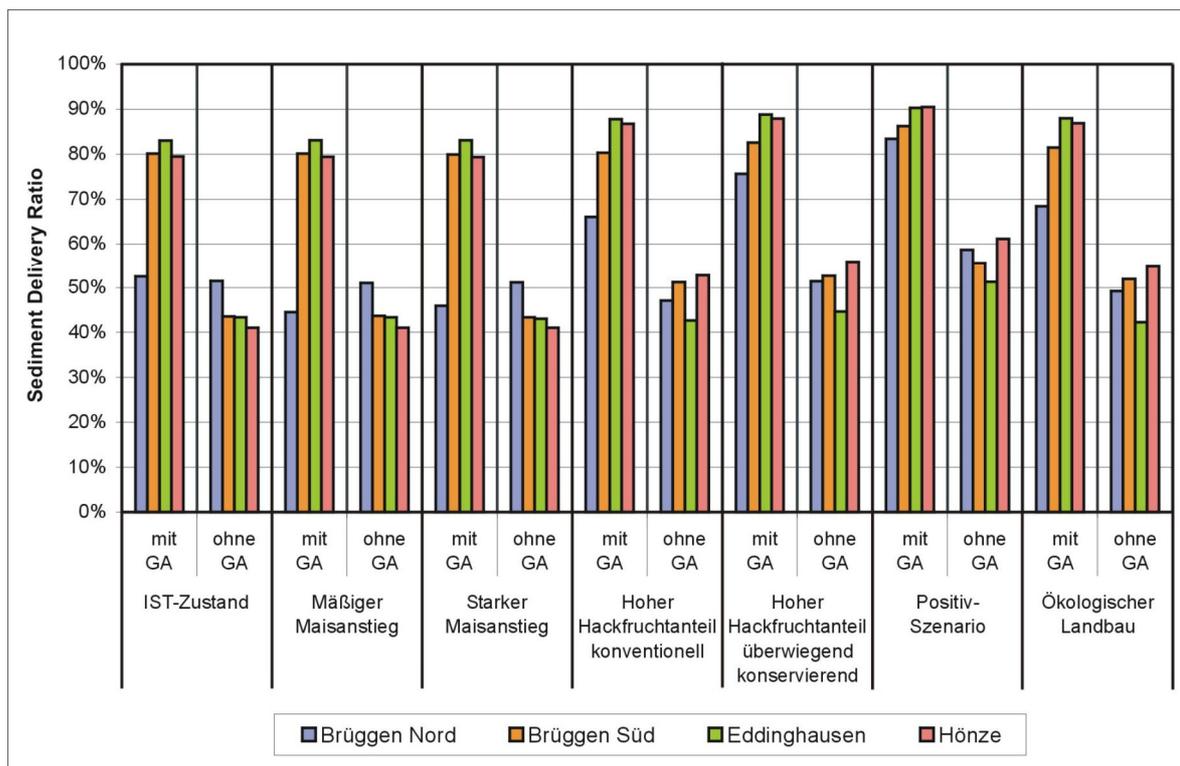


Abb. 4-1: Sediment Delivery Ratio: Relative Höhe des in die Gewässer eingetragenen Anteils der durch Erosion mobilisierten Feinerdemenge (basierend auf Modellergebnissen von EROSION 3D). Getrennte Darstellung nach Flächen mit und ohne Gewässeranschluss (GA).

Aus Abbildung 4-1 lassen sich folgende Aussagen ableiten:

- Die Ermittlung der Sediment Delivery Ratio ergibt in allen Szenarien auf den Flächen mit Gewässeranschluss einen ungefähr doppelt so hohen Wert (ca. 80 %) als auf Flächen ohne Gewässeranschluss (ca. 45 %). Die höhere SDR ergibt sich dadurch, dass Flächen mit Gewässeranschluss fast immer einen höheren Abtrag besitzen (mind. $2 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$, vgl. Kap. 2.1.3) und dass bei Flächen ohne Gewässeranschluss der Anteil ebener Flächen ohne Stoffaustrag (z.B. Auenbereiche) vergleichsweise hoch ist. Also haben die an ein Gewässer angeschlossenen Flächen eine sehr viel größere Bedeutung für die Höhe des gesamten Gebietsaustrags als die nicht angeschlossenen Flächen.
- Bei Flächen mit Gewässeranschluss ist die SDR, unabhängig von betrachtetem Szenario und Gebiet, nahezu konstant. Es gibt eine Ausnahme: im Gebiet Brüggen Nord liegt der Anteil des Austrags in jedem Szenario zwischen 10 und 30 Prozentpunkte niedriger. Dies zeigt, dass hier auf den angeschlossenen Flächen relief- und strukturbedingt mehr Feinerde zurückgehalten wird als in anderen Gebieten (vgl. auch Tab. 4-1 und Karte 2-3).

Die auf Basis von EROSION 3D berechnete SDR ist höher als in anderen Arbeiten (OUYANG ET AL. 2005: 22-34 %, WALLING 1983: 21-37 % U.S. GEOLOGICAL SURVEY 2002: 40 %). Zum Vergleich der in der vorliegenden Arbeit berechneten SDR-Werte wurde die von DUTTMANN (1999) verwendete Berechnungsmethode (entwickelt von NEUFANG ET AL. 1989) für Untersuchungen im südniedersächsischen Ambergau (Landkreis Hildesheim) herangezogen (vgl. Tab. 41). Dieser Ansatz verfolgt auf Grund einer „... Zunahme potentieller Depositionsflächen mit wachsender Entfernung des Abtragsbereichs zum Gewässer, abnehmender Gewässernetzdichte und zunehmender Breite der Flussauen als potenzielle Retentionsfläche ...“ (DUTTMANN 1999, S. 48) die Idee, dass mit zunehmender Einzugsgebietsgröße die SDR sinkt. Damit werden weder die Landnutzung, die Bodenbearbeitung, noch die vorhandene Reliefsituation (abflusswirksame Tiefenlinien) berücksichtigt. OUYANG (1997) und DE VENTE (2007) fordern genau diese Parameter in jedem Fall für die Berechnung der SDR zu verwenden um präzisere Ergebnisse zu erzielen. Die Ermittlung der Indizes auf Basis der Simulation mit EROSION 3D bezieht alle genannten Punkte in die Berechnung mit ein, zudem drücken die Ergebnisse die besondere Situation von Flächen mit Gewässeranschluss aus. So führen also eine verbreitet konservierende Bodenbearbeitung und eine geringe durchschnittliche Hangneigung zu einer niedrigen

SDR (Eddinghausen) und eine vergleichsweise hohe Reliefenergie mit verbreitet konventioneller Bodenbearbeitung und kaum vorhandenen Sedimentationsflächen zu einer verhältnismäßig hohen SDR (Brüggen Süd).

Gebiet	G (km ²)	SDR (NEUFANG ET AL. 1989)	SDR (vorliegende Arbeit)	Verhältnis
Brüggen Nord	2,44	32 %	53 %	1 : 1,7
Brüggen Süd	1,26	37 %	67 %	1 : 1,8
Eddinghausen	7,55	26 %	56 %	1 : 2,2
Hönze	3,79	30 %	62 %	1 : 2,1

Tab. 4-1: Vergleich der SDR des IST-Zustands nach NEUFANG ET AL. (1989) und durch die Erstellung von Indizes aus den Ergebnissen von EROSION 3D (vorliegende Arbeit). G = Einzugsgebietsgröße [km²], SDR = Sediment Delivery Ratio.

Werden alle Einzelwerte beider Indizes betrachtet, fallen der in der Regel höhere Stoffaustragsindex bei Flächen mit Gewässeranschluss und der höhere Erosionsaktivitätsindex bei Flächen ohne Gewässeranschluss auf (vgl. Tab. 4-2, blau hinterlegte Felder = höherer Wert). Bei den Durchschnittswerten der Szenarien treten beide beobachteten Tendenzen besonders deutlich hervor. Dieses lässt für Flächen mit Gewässeranschluss sehr oft auf eine Art „Durchleiteffekt“ schließen. Hier ist die Erosionsaktivität geringer ausgeprägt, der Bodenmaterialaustrag von dieser und von angrenzenden Flächen ohne Gewässeranschluss (daher „Durchleiteffekt“) steht im Vordergrund.

Eine Ausnahme stellt das Teileinzugsgebiet Brüggen Nord da. Dieses Gebiet liegt zu etwa einem Drittel in der Leineaue (vgl. Karte 2-2). Es hat somit einen entsprechend großen Anteil an Flächen ohne Gewässeranschluss (vgl. Karte 4-2) und in Folge der geringen Hangneigung (vgl. Karte 2-3) findet kaum Erosion statt. Zudem erreichen in diesem Teileinzugsgebiet nur vergleichsweise wenig Flächen mit Gewässeranschluss einen nennenswerten Abtrag. Es wird also insgesamt wenig Feinerde mobilisiert. Aus diesem Grund ist in Brüggen Nord der Stoffaustragsindex von Flächen ohne Gewässeranschluss im Vergleich zu Flächen mit Gewässeranschluss geringer. Werden ausschließlich die Durchschnittswerte der Szenarien betrachtet, geht dieses Merkmal verloren. Daher ist eine genaue Betrachtung der einzelnen Indizes zur Abgrenzung der Gebiete und ihrer Eigenschaften untereinander erforderlich.

Der Vergleich der beiden Indizes in den verschiedenen Szenarien ergibt ein klares Bild. Ähnlich wie in Abbildung 4-1 verteilen sich sowohl der Stoffaustragsindex als auch der Erosionsaktivitätsindex gebietsübergreifend in den einzelnen Szenarien recht gleichmäßig. Der IST-Zustand und die Szenarien Mäßiger und Starker Maisanstieg ergeben erwartungsgemäß ähnliche Werte. Das Hackfruchtszenario mit konventionellem Anbau liefert die höchsten Werte, das Positiv-Szenario die niedrigsten. Diese und alle weiteren Szenarien unterscheiden sich damit relativ gleich stark voneinander, wie auch schon für die relativen Gebietsausträge ermittelt (vgl. Abb. 3-6). Da die Indizes mit Hilfe der Gebietsausträge berechnet wurden, ist die Abhängigkeit begründet. Deutlich erkennbar ist der oben beschriebene „Durchleiteffekt“, also die Tatsache, dass bei Flächen mit Gewässeranschluss in der Regel der Stoffaustragsindex höher ist, bei Flächen ohne Gewässeranschluss jedoch der Erosionsaktivitätsindex.

Index für den Stoffaustrag						
Szenario und Art des GA		Eddinghausen	Brüggen Nord	Brüggen Süd	Hönze	Ø
IST-Zustand	Mit GA	0,43	0,22	1,09	1,07	0,70
	Ohne GA	0,35	0,65	1,04	0,45	0,62
Mäßiger Maisanstieg	Mit GA	0,43	0,21	1,08	1,07	0,70
	Ohne GA	0,35	0,66	1,04	0,45	0,63
Starker Maisanstieg	Mit GA	0,43	0,20	1,06	1,08	0,69
	Ohne GA	0,36	0,62	1,01	0,45	0,61
Hoher Hackfruchtanteil konventionell	Mit GA	1,10	0,41	1,88	1,47	1,22
	Ohne GA	0,59	0,85	1,61	1,09	1,04
Hoher Hackfruchtanteil übw. konservierend	Mit GA	0,35	0,24	0,59	0,50	0,42
	Ohne GA	0,21	0,30	0,50	0,39	0,35
Positiv-Szenario	Mit GA	0,09	0,18	0,15	0,15	0,14
	Ohne GA	0,06	0,10	0,12	0,12	0,10
Ökologischer Landbau	Mit GA	0,63	0,27	1,09	0,86	0,71
	Ohne GA	0,36	0,52	0,94	0,67	0,62
Index für die Erosionsaktivität						
Szenario und Art des GA		Eddinghausen	Brüggen Nord	Brüggen Süd	Hönze	Ø
IST-Zustand	Mit GA	0,52	0,43	1,36	1,35	0,92
	Ohne GA	0,81	1,27	2,39	1,10	1,39
Mäßiger Maisanstieg	Mit GA	0,52	0,48	1,35	1,35	0,93
	Ohne GA	0,81	1,29	2,38	1,10	1,40
Starker Maisanstieg	Mit GA	0,52	0,43	1,32	1,37	0,91
	Ohne GA	0,83	1,22	2,33	1,09	1,37
Hoher Hackfruchtanteil konventionell	Mit GA	1,25	0,62	2,34	1,69	1,48
	Ohne GA	1,39	1,80	3,14	2,07	2,10
Hoher Hackfruchtanteil übw. konservierend	Mit GA	0,39	0,32	0,72	0,57	0,50
	Ohne GA	0,47	0,58	0,95	0,70	0,68
Positiv-Szenario	Mit GA	0,09	0,21	0,17	0,16	0,16
	Ohne GA	0,12	0,17	0,21	0,19	0,17
Ökologischer Landbau	Mit GA	0,72	0,39	1,33	0,99	0,86
	Ohne GA	0,85	1,05	1,80	1,23	1,23

Tab. 4-2: Index für den Stoffaustrag (oben) und die Erosionsaktivität (unten). Beides ermittelt aus den Ergebnissen der Simulation mit EROSION 3D. Blau hinterlegt ist der jeweils höhere Wert im Vergleich von Flächen mit oder ohne Gewässeranschluss (GA) (Vergleich pro Szenario und Gebiet).

5 Maßnahmenpläne für sechs ausgewählte Beispielbetriebe

Für die landwirtschaftliche Beratung stellt sich die Frage, in welchem Umfang die Betriebe ihre Bewirtschaftung verändern und besondere Maßnahmen zum Schutz von Böden und Gewässern ergreifen müssen. Dabei besteht eine erhebliche Spannweite zwischen der Einhaltung der minimalen Auflagen („Cross Compliance“, gute fachliche Praxis gemäß Bundesbodenschutzgesetz) und einer optimalen, an den Boden- und Gewässerschutz angepassten Bewirtschaftung. In jedem Fall sollte der Umfang der in der Beratung vorgeschlagenen Maßnahmen betriebswirtschaftlich umsetzbar sein.

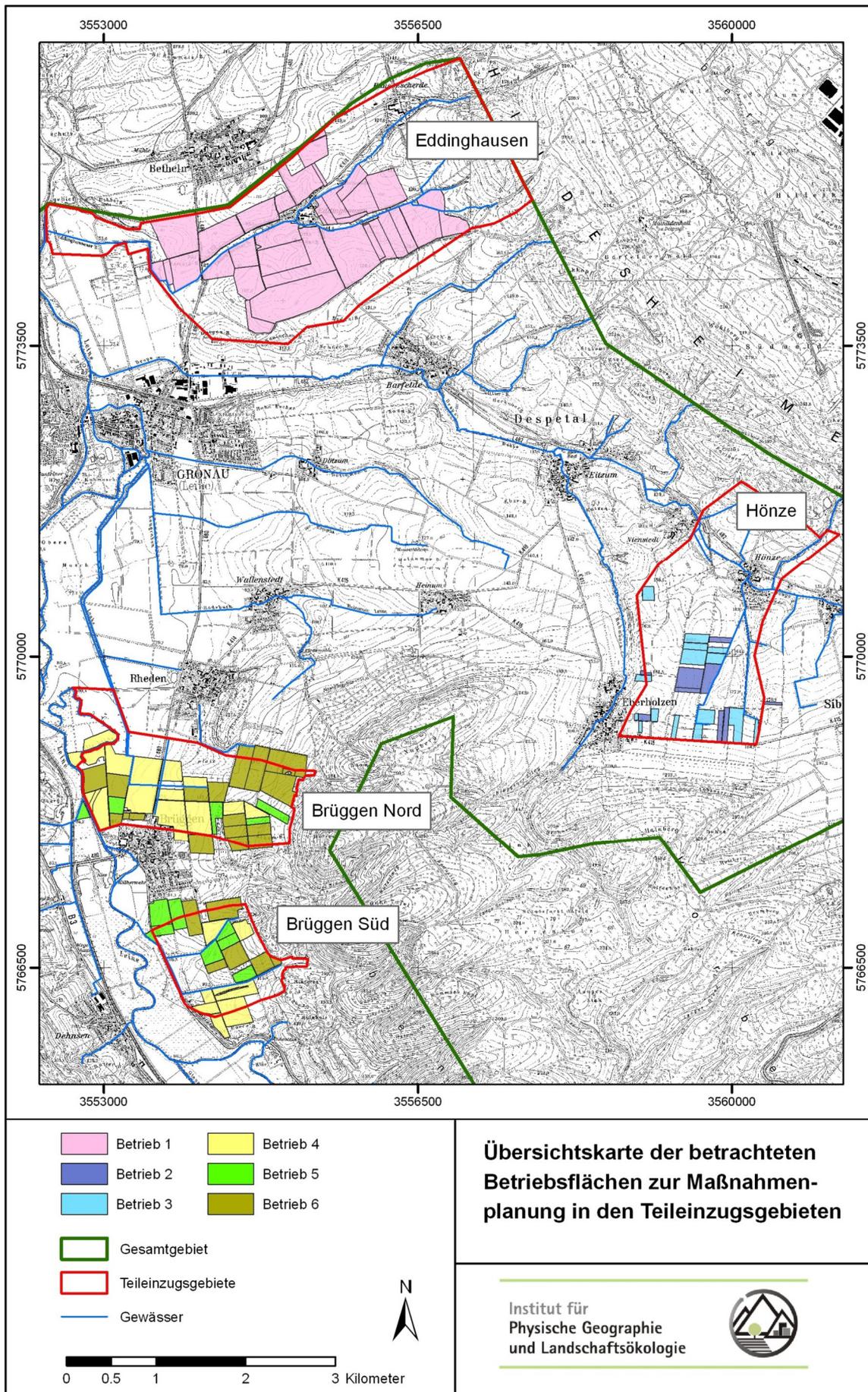
In diesem Kapitel werden für sechs ausgewählte Betriebe die aus Sicht des Boden- und Gewässerschutzes minimal notwendigen und maximal erreichbaren Maßnahmen parzellenscharf nach definierten Kriterien entwickelt und dargestellt. Die Maßnahmenpläne bilden, neben den Maßnahmen auf Einzugsgebietsebene (Modellierung verschiedener zukünftiger Nutzungsszenarien mit EROSION 3D), die Grundlage für die Ermittlung der jeweiligen Kosten und die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der angestrebten Verbesserung für Böden und Gewässer.

5.1 Betriebsauswahl

Die untersuchten Beispielbetriebe wurden im Rahmen des Projekts *„Entwicklung einer Beratungskonzeption zur Minimierung von Bodenerosion und Stoffeintrag“* (STROTDREES ET AL. 2007) nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Berücksichtigung aller Teileinzugsgebiete,
- Einbezug möglichst großer Flächenanteile der modellierten Gebiete,
- Interesse der Betriebe an einer ökonomischen Bewertung.

Im Gebiet Eddinghausen wurde ein Betrieb, in Hönze zwei Betriebe und in den Teileinzugsgebieten Brüggen Nord und Süd drei Betriebe für eine Analyse und Bewertung ausgewählt. Die zur Maßnahmenplanung betrachteten Flächen der Betriebe innerhalb der Teileinzugsgebiete sind in Karte 5-1 dargestellt. Eine detaillierte Ansicht der Flächen liefern die Maßnahmenkarten A1 bis A12 im Anhang. Eine Auswertung von Betriebsmerkmalen und die Flächenanteile bestimmter Gebietsmerkmale zeigt Tabelle 5-1 (in Kap. 5.4).



Karte 5-1: Betrachtete Betriebsflächen zur Maßnahmenplanung in den vier Teileinzugsgebieten.

5.2 Allgemeine Darstellung der Maßnahmenpläne

Für alle sechs ausgewählten Betriebe wurde ein Maßnahmenplan erstellt. Ein Maßnahmenplan besteht aus zwei Karten (Minimal- und Maximalziel) und je einer Liste mit den für jeden Schlag notwendigen Maßnahmen. Unabhängig vom Ziel dienen die Maßnahmen entweder allein dem Bodenschutz oder dem Boden- **und** Gewässerschutz. Die detaillierten, schlaggenauen Maßnahmen lassen sich der Liste, die jeder Karte beigefügt ist, entnehmen (vgl. Anhang). Werden die geforderten Ziele mit der heutigen Bewirtschaftung oder auf Grund der Topographie bereits erreicht, steht der Vermerk „keine Maßnahmen erforderlich“. Ein Teil der Schläge konnte nicht bewertet werden, weil keine Daten über die angebaute Fruchtfolge und die Bewirtschaftung vorlagen oder weil es sich um zurzeit brach liegendes Ackerland handelt. Diese Gründe gelten übergreifend für alle Betriebe und sind den jeweiligen Karten und Listen zu entnehmen.

5.3 Die Maßnahmenpläne der Betriebe

5.3.1 Maßnahmenplan Betrieb 1 (vgl. Karten A1 und A2)

◆ *Minimalziel*

Für den im Teileinzugsgebiet Eddinghausen liegenden Betrieb 1 sind beim Minimalziel (Richtwerte in Kap. 2.2.1) auf mehr als der Hälfte der betrachteten Fläche keine Maßnahmen erforderlich (Gefährdungsstufe 0 oder 1 erreicht, Abtrag < 2 bzw. < 4 t/ha*a). Auf etwa einem Drittel der Fläche sind Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz notwendig (vgl. Abb. 5-1). Dies entspricht etwa dem Durchschnitt aller sechs Betriebe (vgl. Tab. 5-1). Wie in fast allen anderen Betrieben (Ausnahme: Betrieb 6) sind auch hier beim Minimalziel keine Maßnahmen zum Bodenschutz notwendig. Dies liegt hauptsächlich an den tiefgründigen Böden und der damit verbundenen Einordnung in die Gefährdungsstufe 0. Die häufigste Maßnahme für den Boden- und Gewässerschutz ist die Schlagteilung oder alternativ ein zehn Meter breiter Gewässerrandstreifen. Auf Grund der überdurchschnittlich großen Schläge in Betrieb 1 (Ø 6 ha, vgl. Tab. 2-4) bietet sich die Schlagteilung an. Mit großen Schlägen gehen lange Fließstrecken einher (Ø 160 m, vgl. Tab. 5-1), so dass Mulchsaat oder Fahrgassenbegrünung in diesem Betrieb keinen ausreichenden Schutz bewirken.

◆ **Maximalziel**

Um das Maximalziel zu erreichen, müssen in Betrieb 1 auf einem höheren Flächenanteil Maßnahmen durchgeführt werden. Das betrifft sowohl Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz, als auch zum Bodenschutz allein. Diese Aussage gilt für alle sechs Betriebe (vgl. Tab. 5-1). Als Bodenschutzmaßnahme ist in Betrieb 1 auf einem Schlag die Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge nötig. Für den Boden- und Gewässerschutz sind, zusätzlich zu den bestehenden Maßnahmen, weitestgehend Maßnahmen auf Schlägen mit direktem Gewässeranschluss erforderlich. Bei diesen neu hinzu gekommenen Maßnahmen handelt es sich wiederum fast ausschließlich um Schlagteilungen. Einige Schläge, bzw. Teilbereiche mit direktem Gewässeranschluss müssen aus der Nutzung genommen werden (Rotationsbrachen).

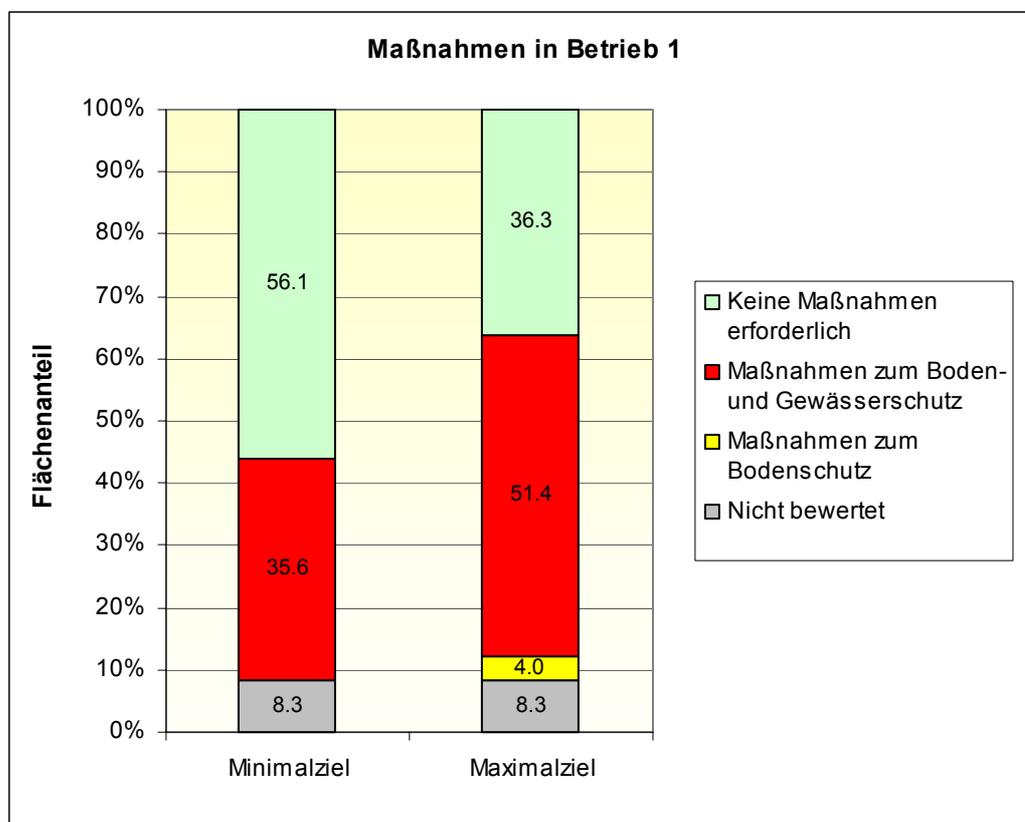


Abb. 5-1: Anteil der Flächen in Betrieb 1 mit notwendigen Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz und zum Bodenschutz allein.

5.3.2 Maßnahmenplan Betrieb 2 (vgl. Karten A3 und A4)

◆ **Minimalziel**

Der Betrieb 2 im Teileinzugsgebiet Hönze weist beim Minimalziel mit rund 70 % den höchsten Flächenanteil mit Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz aller Betriebe auf (vgl. Abb. 5-2). Alle Schläge, auf denen Maßnahmen erforderlich sind, besitzen einen direkten

Gewässeranschluss. Dadurch wird entweder ein zehn Meter breiter Gewässerrandstreifen oder meist eine Schlagteilung erforderlich, um den Bodenabtrag, bzw. den Eintrag in die Gewässer zu minimieren. Alternativ ist auch ein Wechsel innerhalb der Fruchtfolge denkbar: Der Ersatz von Wintergerste durch Triticale, wodurch vollständig konservierend bearbeitet werden kann oder der Ersatz von Hackfrüchten durch Winterraps (Verzicht auf weitreihige Hackfrüchte).

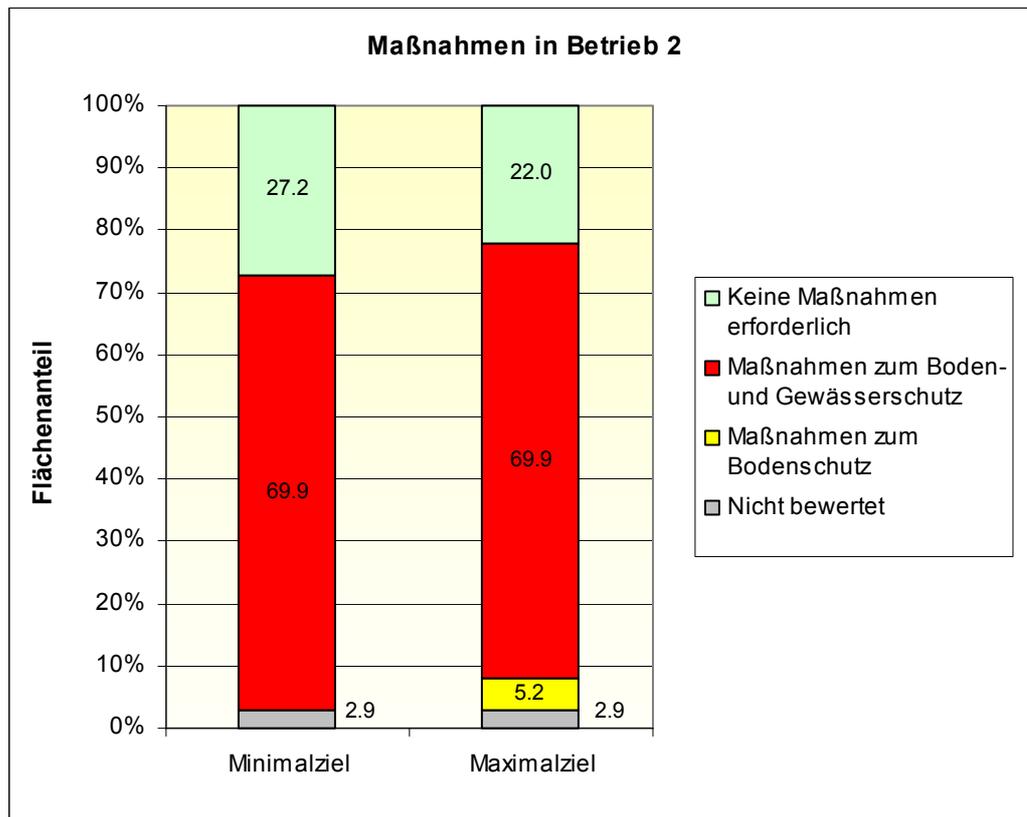


Abb. 5-2: Anteil der Flächen in Betrieb 2 mit notwendigen Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz und zum Bodenschutz allein.

◆ **Maximalziel**

Im Maximalziel werden in Betrieb 2 mit den Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz die gleichen Schläge erfasst wie beim Minimalziel (vgl. Karten A3 und A4). Durch den bisher vergleichsweise hohen Anteil konventionellen Anbaus (insbesondere von Hackfrüchten) liegen die durchschnittlichen jährlichen Bodenabträge zum Teil deutlich über 2 t/ha*a, vereinzelt auch über 4 t/ha*a. Daher müssen auf diesen Flächen weitreichende Schritte ergriffen werden: völliger Verzicht auf Hackfrüchte und Ersatz durch Winterraps (Maßnahmenliste Priorität 5, vgl. Tab. 2.2) bis hin zur Rotationsbrache (Maßnahmenliste Priorität 6). Um die Gefährdungstufe 0 zu erreichen ist als Bodenschutzmaßnahme auf einem Schlag die Mulchsaat zu Hackfrüchten durchzuführen.

5.3.3 Maßnahmenplan Betrieb 3 (vgl. Karten A5 und A6)

◆ *Minimalziel*

Der Betrieb 3, dessen Schläge ebenfalls im Gebiet Hönze liegen, zeigt den geringsten Anteil an Flächen mit Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen aller Betriebe. Nur auf zwei von fünfzehn Schlägen (12,5 % der Fläche) sind Maßnahmen erforderlich (vgl. Abb. 5-3). Da beide Schläge direkten Gewässeranschluss besitzen, ist dort entweder jeweils ein Gewässerrandstreifen oder eine Schlagteilung mit Fruchtwechsel, bzw. flächendeckend konservierende Bearbeitung nötig um den Abtrag auf weniger als 2 t/ha*a zu reduzieren. Auf allen anderen Schlägen erübrigen sich weitere Schritte, da der Bodenabtrag entweder unter 1 t/ha*a liegt oder die Gefährdungsstufe 0 bzw. 1 erreicht ist. Grund für den geringen Maßnahmenumfang ist, in Hinblick auf den Boden- und Gewässerschutz, die bereits heute gute Arbeitsweise des Betriebs und die topographische günstige Lage vieler Schläge (geringe Hangneigung).

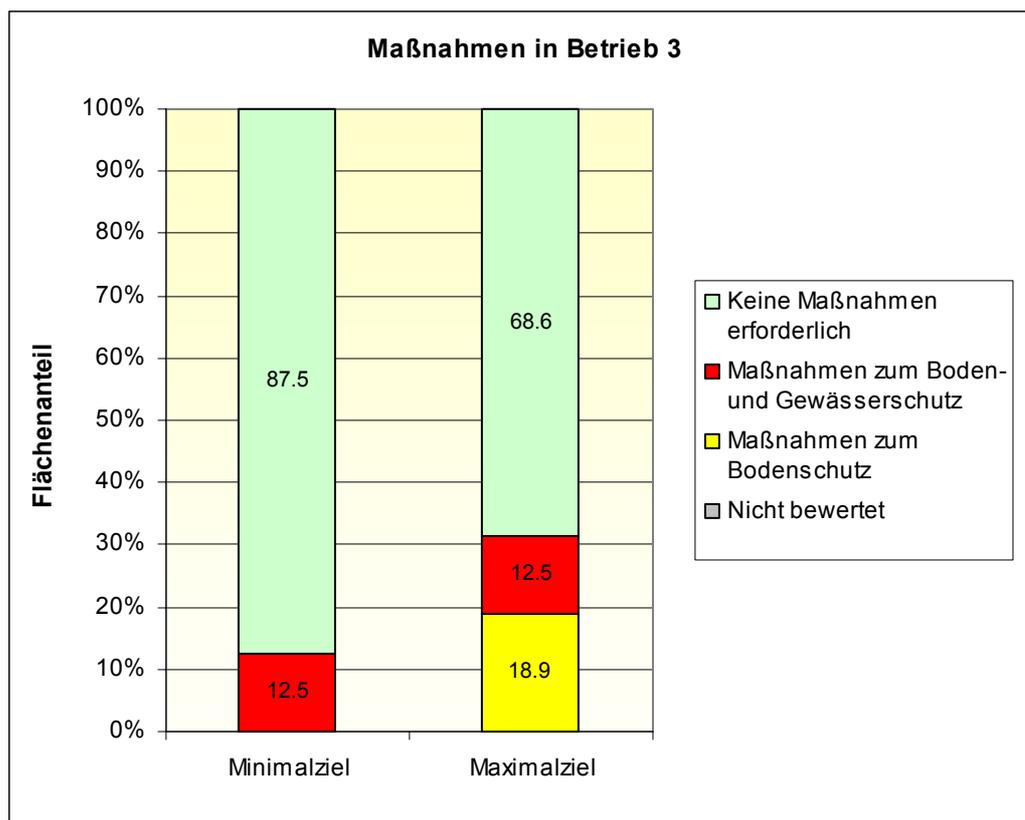


Abb. 5-3: Anteil der Flächen in Betrieb 3 mit notwendigen Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz und zum Bodenschutz allein.

◆ *Maximalziel*

Beim Maximalziel sind in Betrieb 3 auf etwa einem Fünftel der Flächen Maßnahmen zum Bodenschutz notwendig (vgl. Abb. 5-3). Diese betreffen nur Schläge ohne Gewässeranschluss.

Konservierender Anbau von Hackfrüchten führt zum Erreichen der Gefährdungsstufe 0. Die Schritte zum Boden- und Gewässerschutz betreffen dieselben zwei Schläge wie beim Minimalziel. Dabei sind aus der Maßnahmenliste (vgl. Tab. 2-2) einmal die Fahrgassenbegrünung und einmal die Stilllegung erforderlich, um das gesetzte Ziel (Abtrag < 1 t/ha*a) zu erreichen.

5.3.4 Maßnahmenplan Betrieb 4 (vgl. Karten A7 und A8)

◆ *Minimalziel*

Die Schläge des Betriebs 4 liegen in den Teileinzugsgebieten Brüggen Nord und Brüggen Süd. Beim Minimalziel sind auf zwei Dritteln der Fläche keine weiteren Schritte erforderlich (vgl. Abb. 5-4). Maßnahmen zum Bodenschutz allein sind hier ebenfalls nicht nötig. Die Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz konzentrieren sich auf die Schläge, die in Bereichen mit höherer Hangneigung liegen und zum überwiegenden Teil direkten Gewässeranschluss besitzen. Als geeignete Maßnahme ergibt sich dabei die Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge. Bei einem Schlag ist die Teilung, verbunden mit einem Wechsel von Wintergerste auf Triticale, erforderlich. Alternativ kann auch ein zehn Meter breiter Gewässerrandstreifen angelegt werden, um das Minimalziel zu erreichen.

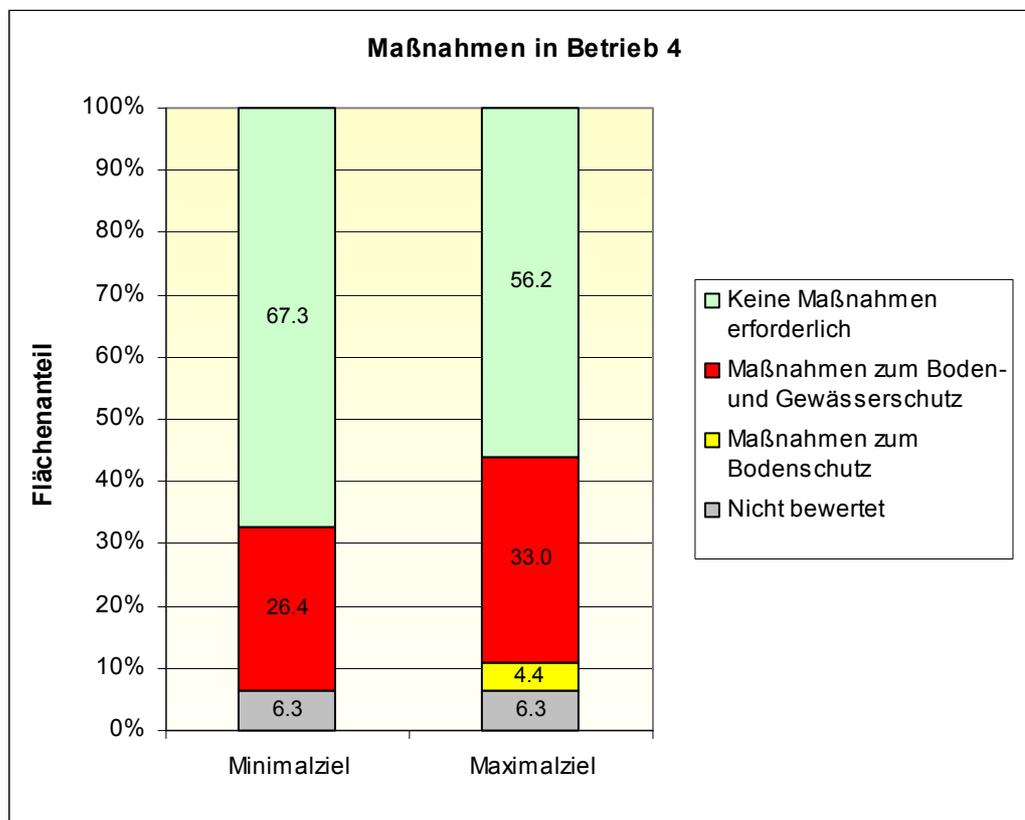


Abb. 5-4: Anteil der Flächen in Betrieb 4 mit notwendigen Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz und zum Bodenschutz allein.

◆ Maximalziel

Auf einem Schlag sind Schritte zum Bodenschutz erforderlich. Dies liegt für das Maximalziel in der gleichen Größenordnung wie bei den anderen fünf Betrieben. Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz erfolgen lediglich auf einem Drittel der Fläche. Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge führt als Bodenschutzmaßnahme zum Erreichen der Gefährdungsstufe 0. Die Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz sind zwar nur auf wenigen Schlägen nötig, dort aber sehr weitreichend. Bei vier Schlägen sind auf Teilflächen Rotationsbrachen anzulegen, auf zwei Schlägen muss die Fruchtfolge angepasst werden (keine Hackfrüchte, keine konventionelle Bearbeitung). Weiterhin ist auch die Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge oder eine Schlagteilung zur Reduzierung der Länge der Abflusswege erforderlich.

5.3.5 Maßnahmenplan Betrieb 5 (vgl. Karten A9 und A10)

◆ Minimalziel

Die Schläge des Betriebs 5 liegen in den Teileinzugsgebieten Brüggen Nord und Süd. Die insgesamt betrachtete Fläche ist mit 40 ha vergleichsweise klein. Die Flächenanteile ohne Maßnahmen und mit Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz sind hier fast gleich groß (vgl. Abb. 5-5). Damit ist der Maßnahmenbedarf beim Minimalziel in diesem Betrieb relativ groß. Es werden fast immer Schlagteilungen, teilweise verbunden mit einem Fruchtwechsel auf Winterraps, vorgeschlagen, bzw. ein konservierender Anbau verbunden mit einer Fahrgassenbegrünung bei der Zuckerrübe. Da alle entsprechenden Flächen direkt an ein Gewässer angeschlossen sind, ist als Alternative immer ein ausreichender Gewässerrandstreifen (mindestens 10 m Breite) als Schutzmaßnahme möglich.

◆ Maximalziel

Wie Abbildung 5-5 zeigt, beträgt der Flächenanteil mit Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz rund 60 %. Zusammen mit Betrieb 2 bedeutet dies im Vergleich zum Minimalziel die umfassendsten Veränderungen. Beim Maximalziel sind in diesem Betrieb Maßnahmen zum Bodenschutz allein nicht erforderlich. Die hier notwendigen Maßnahmen für einen ausreichenden Boden- und Gewässerschutz sind umfangreich. Auf sechs Schlägen wird Folgendes vorgeschlagen: auf drei Schlägen die Stilllegung, zweimal ein Ersatz der Hackfrüchte durch Winterraps (einmal mit Schlagteilung) und ein Schlag bedarf eines konservierenden Rübenan-

baus. Der umfangreiche Maßnahmenbedarf ergibt sich aus den vergleichsweise hohen durchschnittlichen Hangneigungen (vgl. Tab. 5-1).

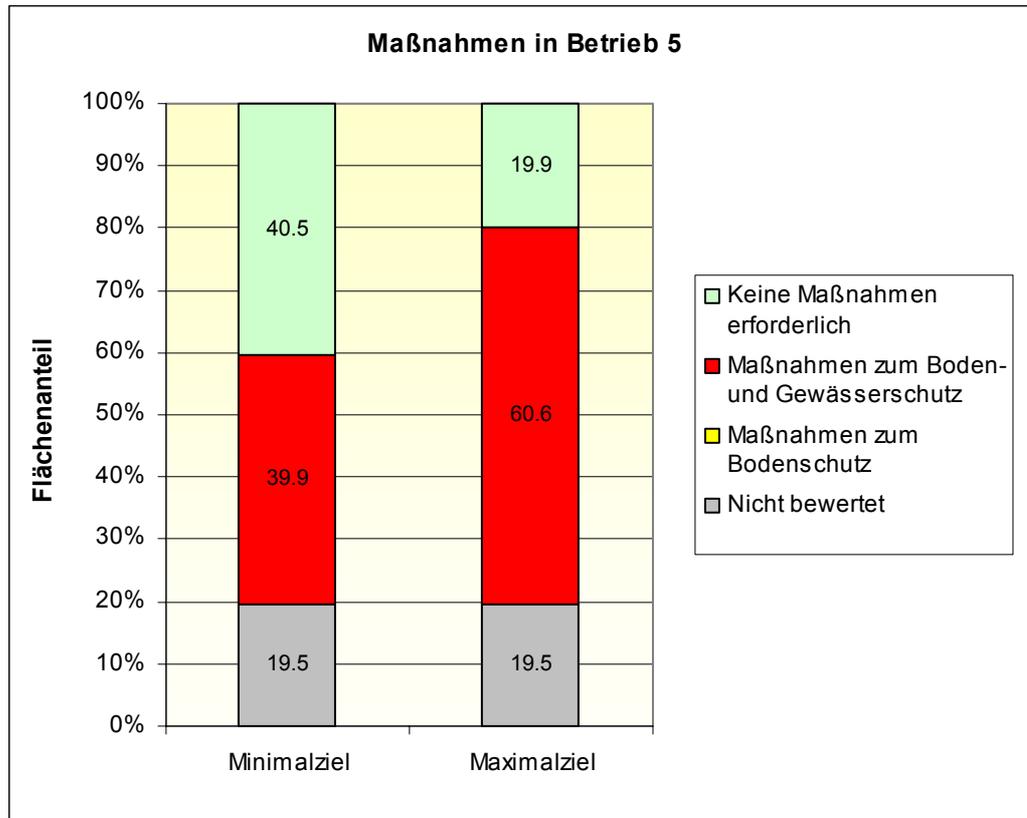


Abb. 5-5: Anteil der Flächen in Betrieb 5 mit notwendigen Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz.

5.3.6 Maßnahmenplan Betrieb 6 (vgl. Karten A11 und A12)

◆ *Minimalziel*

Der Betrieb 6 liegt, wie schon die vorangegangenen zwei Betriebe, in den beiden Teileinzugsgebieten um Brüggen. Beim Minimalziel sind nur auf einem Viertel der Flächen Maßnahmen erforderlich (vgl. Abb. 5-6). Dies ist der einzige der sechs Betriebe, bei dem bereits unter dem Minimalziel Schritte zum Bodenschutz allein notwendig sind (Anbau von Zwischenfrüchten) um die Gefährdungsstufe 1 zu erreichen. Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz sind in relativ geringem Umfang notwendig. Die Maßnahmen sind sehr unterschiedlich: Sie reichen von Schlagteilung und Fahrgassenbegrünung bei Zuckerrüben bis zur Herausnahme der Fläche aus der landwirtschaftlichen Produktion. Der Maßnahmenumfang hängt von der aktuellen Bewirtschaftung (konservierend oder konventionell) und der Hangneigung ab.

◆ Maximalziel

Der weitaus größte Teil der Flächen des Betriebs 6 bleibt auch im Maximalszenario maßnahmenfrei (vgl. Abb. 5-6). Schritte für den Boden- und Gewässerschutz sind auf ca. 25 % der Flächen erforderlich. Dafür greifen die Maßnahmen sehr stark in den Betriebsablauf ein: Auf vier von sechs Schlägen ist eine Stilllegung nötig, um den Richtwert (Abtrag < 1 t/ha*a) einzuhalten. Die beiden weiteren Schläge sind nur indirekt an ein Gewässer angebunden, daher liegt der Richtwert bei 2 t/ha*a. Ein Wechsel von Wintergerste auf Triticale (Möglichkeit der vollständig konservierenden Bearbeitung innerhalb der Fruchtfolge) reicht hier als Maßnahme aus. Für den Bodenschutz ist nun zusätzlich zum Anbau von Zwischenfrüchten die Fahrgrassenbegrünung erforderlich, um die Gefährdungsstufe 0 zu erreichen.

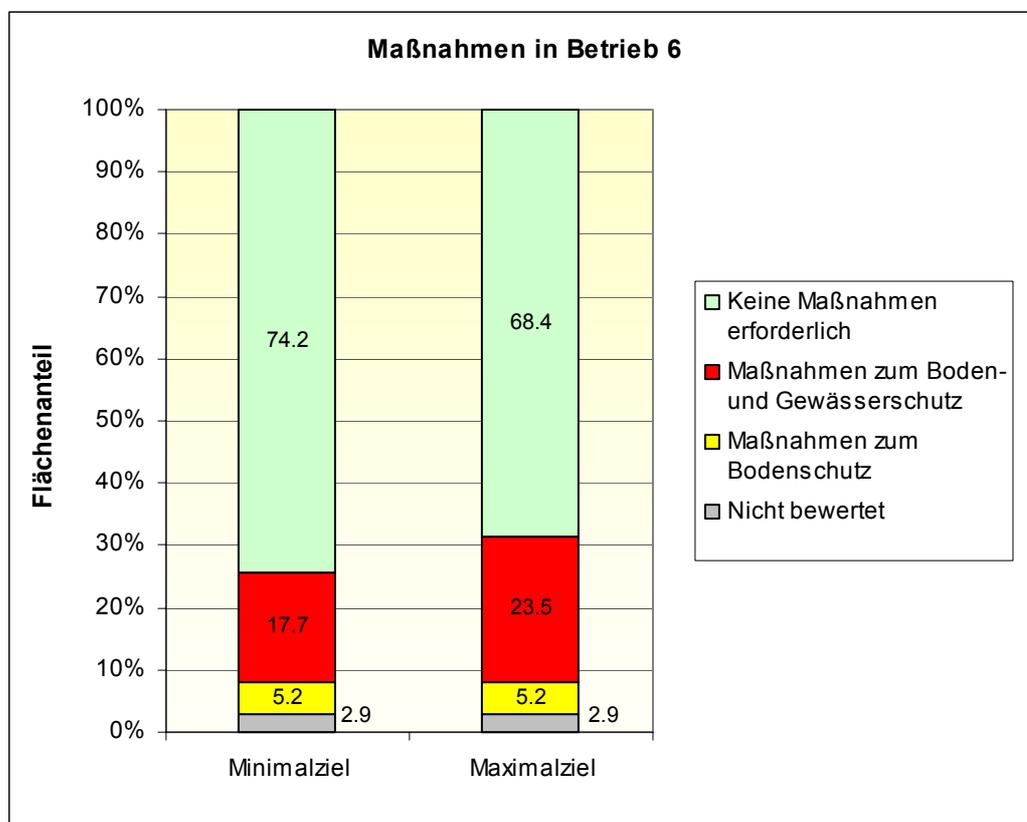


Abb. 5-6: Anteil der Flächen in Betrieb 6 mit notwendigen Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz und zum Bodenschutz allein.

5.4 Zusammenfassende Betrachtung der betriebsspezifischen Maßnahmenpläne

Die Maßnahmenpläne zeigen ein sehr differenziertes Bild. Für jeden der sechs betrachteten Betriebe wurden schlaggenau individuelle Schritte zum Schutz von Boden und Gewässer oder zum Bodenschutz allein getroffen. Zwei Faktoren haben einen wesentlichen Einfluss auf die Häufigkeit des Maßnahmeneinsatzes: Die heutige Art der Bewirtschaftung (Anteil der konservierenden Bearbeitung, angebaute Fruchtfolge etc.) und die Lage der Schläge eines Betriebs (Hangneigung, Gewässeranschluss vorhanden oder nicht vorhanden). Diese Faktoren sind entscheidend für die Höhe des durchschnittlichen Bodenabtrags und das Stoffaustragspotenzial des Schlags. Die Größe der Richtwerte bei Minimal- und Maximalziel, verbunden mit der Höhe des Bodenabtrags, sind die steuernden Faktoren für die Häufigkeit und Intensität von Schutzmaßnahmen.

Je größer die betrachtete Fläche eines Betriebs ist, desto repräsentativer wird das Ergebnis und desto geringer ist der Einfluss einzelner Schläge mit besonders prägenden Eigenschaften („Ausreißer-Schläge“) auf das Gesamtergebnis. Ordnet man die Betriebe von „wenig Maßnahmen erforderlich“ an erster Stelle bis „viel Maßnahmen erforderlich“ an letzter Stelle, so ergibt sich folgende Reihe (GA = Gewässeranschluss):

1. **Betrieb 3** (betrachtete Fläche: 31 ha, Anteil Schläge mit GA: 27 %)
2. **Betrieb 6** (betrachtete Fläche: 114 ha, Anteil Schläge mit GA: 58 %)
3. **Betrieb 4** (betrachtete Fläche: 117 ha, Anteil Schläge mit GA: 44 %)
4. **Betrieb 1** (betrachtete Fläche: 318 ha, Anteil Schläge mit GA: 56 %)
5. **Betrieb 5** (betrachtete Fläche: 40 ha, Anteil Schläge mit GA: 54 %)
6. **Betrieb 2** (betrachtete Fläche: 20 ha, Anteil Schläge mit GA: 40 %)

Die oben genannten Faktoren finden sich bei der Reihung der Betriebe nach prozentualer Häufigkeit des Maßnahmeneinsatzes wieder: So hat der Betrieb 3 nur wenig Schläge mit Gewässeranschluss und erosionswirksamer Hangneigung und Bewirtschaftung (vgl. Tab. 5-1), weshalb kaum Maßnahmen erforderlich sind. Dies kehrt sich bis zu den Betrieben 2 und 5 nahezu um. Deren Schläge besitzen häufiger Gewässeranschluss und auf Grund der Hangneigung bzw. Bewirtschaftungsart höhere durchschnittliche Bodenabträge. Es ist jedoch anzumerken, dass die Anzahl der Schläge (und die betrachtete Fläche) in den Betrieben 2, 3 und 5

geringer ist und damit bereits einzelne („Ausreißer“-) Schläge eine bedeutende Auswirkung auf das Ergebnis haben können (vgl. Tab. 5-1). Genau diese Betriebe stehen in der obigen Auflistung an erster, fünfter und sechster Stelle.

Merkmal		Betrieb (Gebiet)						Durchschnitt
		1 (EH)	2 (HZ)	3 (HZ)	4 (BRG)	5 (BRG)	6 (BRG)	
Anzahl der Schläge		34	10	15	23	13	24	--
Betrachtete Fläche		318 ha	20 ha	31 ha	117 ha	40 ha	114 ha	107 ha
Flächenanteile der Maßnahmen beim <u>Minimalziel</u>	Keine Maßnahmen	56 %	27 %	88 %	67 %	41 %	74 %	59 %
	Bodenschutz	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	5 %	1 %
	Boden- u. Gewässerschutz	36 %	70 %	13 %	26 %	40 %	18 %	34 %
	Nicht bewertet	8 %	3 %	0 %	6 %	20 %	3 %	7 %
Flächenanteile der Maßnahmen beim <u>Maximalziel</u>	Keine Maßnahmen	36 %	22 %	69 %	56 %	20 %	68 %	45 %
	Bodenschutz	4 %	5 %	19 %	4 %	0 %	5 %	6 %
	Boden- u. Gewässerschutz	51 %	70 %	13 %	33 %	61 %	24 %	42 %
	Nicht bewertet	8 %	3 %	0 %	6 %	20 %	3 %	7 %
Anteil der Schläge mit Gewässeranschluss		56 %	40 %	27 %	44 %	54 %	58 %	47 %
Ø Hangneigung der Schläge		4,2 %	3,4 %	3,9 %	3,9 %	4,8 %	4,7 %	4,2 %
Ø Fließstrecke der Schläge		158 m	153 m	139 m	133 m	144 m	130 m	143 m

Tab. 5-1: Merkmale der Betriebsflächen für die Maßnahmenplanung in den vier Teileinzugsgebieten. Die Flächenabschätzung erfolgte mit Bodenerosions- und Gewässeranschlusschlüssel. Durch mathematische Rundungen ergeben sich in der Summe nicht immer exakt 100 %. EH = Eddinghausen, HZ = Hönze und BRG = Brüggen Nord und Süd. Die Farbhinterlegung dient der Übersichtlichkeit.

6 Maßnahmenkosten zur Verringerung von Bodenerosion und Stoffaustrag

Als Basis für die Kostenberechnung dienen die Richtwert-Deckungsbeiträge (RDB) 2007 der Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Der RDB ist, vereinfacht ausgedrückt, die Differenz zwischen den monetären Erträgen eines Betriebs (z.B. durch Getreide- oder Rübenverkauf, Tiermast usw.) und den variablen Produktionsfaktoren (Maschinenkosten, Düngemittelbedarf, Saatgut- oder Futterkosten etc.). Der RDB wird für üblicherweise verbreitete Kulturen und Tiere in der Pflanzen- und Tierproduktion angegeben (LWK 2007). Die Summe einzelner RDB ergibt den Gesamtdeckungsbeitrag eines Betriebes. Um den erwirtschafteten Gewinn des Betriebs zu ermitteln, müssen vom Gesamtdeckungsbeitrag noch weitere Kosten wie z.B. Pachten und Löhne abgezogen werden. Detaillierte Angaben zur Aufstellung und Berechnung der Deckungsbeiträge werden in „Richtwert-Deckungsbeiträge 2007“ (LWK 2007) gemacht.

In Kapitel 6 werden die Kosten für verschiedene Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen vorgestellt. Zunächst werden die Richtwert-Deckungsbeiträge (RDB) der aktuellen Nutzung berechnet. Dies geschieht auf den in den Maßnahmeplänen betrachteten Schlägen der sechs ausgewählten Beispielbetriebe. Die erforderlichen Maßnahmen führen zu Änderungen der RDB. Diese Änderungen äußern sich schlagindividuell in Kosten oder Gewinn. Beide Berechnungen, RDB der aktuellen Nutzung und die maßnahmengebundene Veränderung der RDB, wurden von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen durchgeführt. Das Ergebnis der Berechnungen der LWK sind die absoluten Kosten/Gewinne einer Maßnahme pro Schlag (vgl. STROTDREES ET AL. 2007).

Innerhalb der Teileinzugsgebiete wird bei der Kostenberechnung auf zwei Arten vorgegangen. Im ersten Ansatz (vgl. Kap. 6.1) erfolgt die ökonomische Bewertung der schlaggenauen, zum Erreichen von Minimal- und Maximalziel nötigen Maßnahmen (vgl. Kap. 5). Weiterhin werden diese Maßnahmenkosten von der Einzelbetriebsebene auf das gesamte Teileinzugsgebiet hochgerechnet. Dies geschieht unter der Annahme, dass alle Betriebe in einem Teileinzugsgebiet gleich wirtschaften. Dabei wird, wie in Kapitel 2.4.1 ausführlich beschrieben, folgendermaßen verfahren:

- Vergleichbarkeit durch einen Raumbezug schaffen: Umrechnung von absoluten RDB-Änderungen (€) in relative Änderungen (€/ha), jeweils bezogen auf einen Schlag.

- Berechnung der durchschnittlichen jährlichen RDB-Änderungen pro Schlag. Dazu werden die Verluste/Gewinne der Maßnahmen über die gesamte Fruchtfolge betrachtet und jährlich addiert. Die Summe wird durch den Betrachtungszeitraum (Anzahl der Jahre) dividiert.
- Dieses Verfahren wird für alle in den Maßnahmenplänen berücksichtigten Schläge angewandt. Auf manchen Schlägen wird durch die Maßnahmen ein Gewinn erwirtschaftet, auf der Mehrzahl der Schläge entstehen jedoch Verluste. Wird die Summe der RDB-Änderungen der Schläge gebildet, so wiegen die Verluste die Gewinne auf. In der Summe entstehen immer Verluste.
- Diese Verluste werden nun auf zwei verschiedene Flächen bezogen: a) auf die Flächensumme der Schläge mit Maßnahmen, b) auf die gesamte Ackerfläche des Betriebs (inklusive Schlagflächen ohne Maßnahmen). Die Relation der Verluste auf die gesamte Ackerfläche gibt die durchschnittlichen jährlichen Kosten des Betriebs bei der Maßnahmendurchführung an.
- Da die übrigen Betriebe eines Teileinzugsgebiets ähnlich wirtschaften, können diese Kosten für das gesamte Teileinzugsgebiet herangezogen werden (vgl. Kap. 2.4.1).

Die im letzten Schritt genannten Kosten werden pro Teileinzugsgebiet und Zielvorgabe des Boden- und Gewässerschutzes in Tabelle 6-1 aufgeführt.

Der zweite Ansatz (vgl. Kap. 6.2) basiert auf den mit EROSION 3D modellierten Szenarien. Die Nutzungs- und Bearbeitungsumstellungen werden monetär bewertet und mit der aktuellen Nutzung (IST-Zustand) verglichen. Die genauen Schritte bei den jeweiligen Berechnungen sowie Erklärungen zur Methodik sind in Kapitel 2.4.2 beschrieben worden.

6.1 Kosten in den Einzelbetrieben

Die Maßnahmenkosten bei schlaggenauer Betrachtung werden zunächst in den Einzelbetrieben ermittelt und dann auf Teileinzugsgebietsebene hochgerechnet. Dafür sind Brüggen Nord und Brüggen Süd wegen der in beiden Gebieten wirtschaftenden Betriebsgemeinschaft unter dem Gebietsbegriff „Brüggen“ zusammengefasst. Bei der Berechnung wird zwischen den Kosten für den Bodenschutz und den Kosten für den Boden- und Gewässerschutz unterschieden. Die Ergebnisse der Berechnungen sind schlaggenau in den Tabellen A1 bis A6 im Anhang zu-

sammengestellt. Die Kosten der Betriebe zum Erreichen des Minimalziels in allen Teileinzugsgebieten befinden sich in den Tabellen A1, A3 und A5. Die Kosten zum Erreichen des Maximalziels sind im Anhang in den Tabellen A2, A4 und A6 zusammengefasst. Die Höhe der Kosten und deren Ursachen werden im Folgenden behandelt.

6.1.1 Aufwand zum Erreichen des Minimalziels

◆ **Aufwand für die Bodenschutzmaßnahmen**

Maßnahmen, die allein dem Bodenschutz dienen sind in allen Betrieben nur auf einem Schlag erforderlich: Betrieb 6, Schlag 12 (vgl. Karten A1 bis A12 im Anhang: gelbe Flächensignatur). Die gute fachliche Praxis (Gefährdungsstufe 1) wird heute schon weitgehend erfüllt. Im Rahmen des Minimalziels ist auf dem oben genannten Schlag die Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge mit durchschnittlichen jährlichen Aufwendungen von 40,47 € pro Hektar nötig (vgl. Tab. A3).

◆ **Aufwand für die Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen**

Auf insgesamt 31 Schlägen sind beim Minimalziel Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz erforderlich. Dabei handelt es sich zum überwiegenden Teil um Gewässerrandstreifen, sowie je einmal um eine Schlagteilung und eine Mulchsaat.

Die auf Teileinzugsgebietsebene hochgerechneten Aufwendungen für Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen liegen beim Minimalziel je nach Gebiet zwischen 10 und 19 € pro Hektar und Jahr (vgl. Tab. A1, A3 und A5). Die geringsten Aufwendungen (10 €/ha*a) entstehen im Gebiet Eddinghausen. Als Maßnahme wird hier, wie in den beiden anderen Gebieten auch, fast ausschließlich der Gewässerrandstreifen eingesetzt. Die Aufwendungen in den Gebieten Brüggen (14 €/ha*a) und Hönze (19 €/ha*a) sind höher. Der Unterschied zwischen den Gebieten entsteht durch die verschiedenen hohen Flächenanteile von Zuckerrüben (ZR) und Winterweizen (WW) die bei der Anlage von Gewässerrandstreifen betroffen sind. Je öfter Kulturflächen mit hohen RDB (ZR und WW) aus der Produktion genommen werden, desto höher sind die durchschnittlichen Mehraufwendungen im gesamten Gebiet. In Hönze werden oft ZR und WW auf den betroffenen Flächen angebaut, zudem ist die betrachtete Gesamtfläche gering. So entstehen pro Hektar relativ hohe Aufwendungen (vgl. Tab. A1). In Brüggen wird vermehrt Winterraps angebaut und die betrachteten Flächen sind größer. Daher sind die Aufwendungen durch den Verlust von Kulturen geringer (vgl. Tab. A3). Die Maßnahmen im

Gebiet Eddinghausen sind durch sehr geringe Mehraufwendungen beim Minimalziel gekennzeichnet. Durch die überdurchschnittlich großen Betriebsflächen (vgl. Tab. 2-4) und dem häufigen Winterrapsanbau sind die Aufwendungen pro Hektar entsprechend gering (vgl. Tab. A5).

Der Anteil dieser Aufwendungen an den in den Gebieten, von den Betrieben erzielten durchschnittlichen jährlichen RDB, beträgt 1-2 % (vgl. Tab. 6-1). Diese Aussage gilt bei dem Bezug der Gesamtkosten aller Maßnahmen auf die gesamten Betriebsflächen innerhalb des jeweiligen Teileinzugsgebiets. Hierbei werden also auch die Flächen berücksichtigt, auf denen keine Maßnahmen erforderlich sind. Eine solche Kostenbewertung ist für die gesamtwirtschaftliche Betrachtung des Betriebs nahe liegend, da in aller Regel immer nur auf einem Teil der Betriebsflächen Maßnahmen nötig sind, die Aufwendungen aber immer vom Gesamtbetrieb getragen werden.

Wenn nur die von Maßnahmen betroffenen Flächen betrachtet werden (keine Berücksichtigung maßnahmenfreier Flächen), liegen die effektiven Maßnahmenkosten gut dreimal höher, also zwischen 27 und 53 € pro Hektar und Jahr (vgl. Tab. A1, A3 und A5). Der Anteil dieser Aufwendungen am RDB liegt in diesem Fall bei 3-6 %.

6.1.2 Aufwand zum Erreichen des Maximalziels

◆ **Aufwand für die Bodenschutzmaßnahmen**

Zum Erreichen des Maximalziels sind auf Grund des Richtwerts „Gefährdungsstufe 0“ auf mehr Schlägen Maßnahmen zum Bodenschutz erforderlich als beim Minimalziel. In den drei Gebieten sind insgesamt neun Schläge von fünf Betrieben betroffen (vgl. Karten A1 bis A12). Die Maßnahmen umfassen in allen Fällen den Wechsel des Bodenbearbeitungssystems von konventionell auf konservierend. Die Tabellen A2, A4 und A6 im Anhang weisen für die genannten neun Schläge Aufwendungen von durchschnittlich 6,80 €/ha*a aus. Bei der Kostenermittlung sind folgende Gesichtspunkte zu beachten:

- Auf allen Schlägen erfolgt ein Wechsel der Bodenbearbeitungsart.
- Auf vier von neun Schlägen entstehen durchschnittlich Aufwendungen (durch geringere Richtwert-Deckungsbeiträge) von 35 €/ha*a.
- Auf den übrigen fünf Schlägen kommt es zu Mehreinnahmen (Ø +16 €/ha*a), da der RDB von Mais bei konservierendem Anbau höher ist als bei konventionellem Anbau.

Dies zeigt, dass sich durch die konservierende Bearbeitung eine Verminderung des Bodenabtrags erreichen lässt und sich dieser ökologische Vorteil bei bestimmten Fruchtfolgen sogar positiv auf das Betriebsergebnis auswirkt (Anstieg des RDB). Erst weiterführende Maßnahmen wie eine Neugestaltung der Fruchtfolgen oder die Stilllegung von Flächen führen zu negativen Auswirkungen auf das betriebswirtschaftliche Ergebnis.

◆ **Aufwand der Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen**

Die gesamten Mehraufwendungen, bezogen auf die vollständigen Betriebsflächen innerhalb der Teileinzugsgebiete, liegen auf Gebietsebene zwischen 80 und 210 €/ha*a (vgl. Tab. A2, A4 und A6). Der Anteil am RDB liegt somit, je nach Gebiet, etwa zwischen 9 und 15 % (vgl. Tab. 6-1). Die Aufwendungen des Maximalziels sind also zwischen 4 und 20-mal höher als die des Minimalziels und damit erheblich. Werden ausschließlich die Schläge mit Maßnahmen betrachtet liegen sie sogar zwischen 215 und 460 €/ha*a.

Der Umfang der Maßnahmen ist weit reichend. Vom Wechsel einer Feldfrucht über Änderungen im Bodenbearbeitungssystem bis hin zur Schlagteilung und Stilllegung sind nahezu alle Maßnahmen für einen optimalen Boden- und Gewässerschutz nötig. Eine deutliche Verringerung des RDB fällt besonders bei der kompletten Stilllegung von Schlägen und beim Austausch von Zuckerrübe durch Winterraps in der Fruchtfolge auf. Diese beiden Schutzmaßnahmen prägen die Kostenbelastung maßgeblich.

6.1.3 Zusammenfassende Beurteilung der Aufwendungen in den Einzelbetrieben

Eine Übersicht der durch die Maßnahmenvorschläge entstehenden Aufwendungen zeigt Tabelle 6-1. Dabei werden die Kosten mit zwei verschiedenen Flächenbezügen ausgewiesen: Zum einen in Bezug auf die Fläche der Schläge mit Maßnahmen. Zum anderen in Bezug auf alle Betriebsflächen innerhalb des Gebiets, also inklusive der Betriebsflächen ohne Maßnahmen. Dieser zweite Bezug auf die gesamte bewirtschaftete Fläche ist aussagekräftiger, da nur so die Kosten für den Gesamtbetrieb angegeben werden können und ein Vergleich der Betriebe untereinander möglich ist.

Gebiet (hochgerechnet)	Ziel	Durchgeführte Maßnahmen	Anteil der Fläche mit Maßnahmen an der Betriebsfläche im Gebiet (%)	Veränderung des RDB (€/ha*a)		Anteil der Aufwendungen am RDB der von Maßnahmen betroffenen Flächen (%)
				für die Schlagflächen mit Maßnahmen	für die gesamte bewirtschaftete Fläche (mit maßnahmenfreien Flächen)	
Hönze	Minimal	Gewässerrandstreifen	35,1	-53,88	-18,91	2,2
	Maximal	Fruchtwechsel, Bodenbearbeitungswechsel, Stilllegung	36,6	-215,84	-78,93	8,7
Brüggen	Minimal	Gewässerrandstreifen, Schlagteilung, Mulchsaat	27,1	-50,92	-13,79	1,7
	Maximal	Fruchtwechsel, Bodenbearbeitungswechsel, Schlagteilung, Stilllegung	35,1	-462,35	-162,10	15,3
Eddinghausen	Minimal	Gewässerrandstreifen	34,8	-27,17	-9,45	1,1
	Maximal	Fruchtwechsel, Bodenbearbeitungswechsel, Schlagteilung, Stilllegung	60,9	-351,01	-210,03	14,2

Tab. 6-1: Übersicht der Veränderungen der Richtwert-Deckungsbeiträge, getrennt nach Gebieten und Zielen. Die Kosten des Bodenschutzes allein wurden nicht extra ausgewiesen, da selbst beim Maximalziel nur 9 von 97 Schlägen betroffen sind. RDB = Richtwert-Deckungsbeitrag. Der Anteil der Maßnahmekosten (1. Spalte von rechts) ist auf die Summe der auf den Maßnahmenflächen erwirtschafteten RDB, des jeweiligen Ziel und Gebiets, bezogen.

Unabhängig vom Gebiet liegt der Flächenanteil mit Maßnahmen im Minimalziel bei rund 33 % und im Maximalziel bei etwa 44 % der betrachteten Betriebsflächen. Daraus folgt, dass je nach gestecktem Ziel rund 60-70 % der Flächen keinerlei Schutzmaßnahmen bedürfen. Dies senkt die durchschnittlichen, auf die Gesamtbetriebsfläche bezogenen Kosten erheblich (vgl. Tab. 6-1).

Die Abnahme der RDB beim Minimalziel ist, bezogen auf die gesamte bewirtschaftete Fläche, mit 10-19 €/ha*a gering, und damit betriebswirtschaftlich umsetzbar. Durch diese Investition wird, entsprechend dem gesetzten Ziel, flächendeckend nach der guten fachlichen Praxis gearbeitet.

Die Kriterien beim Maximalziel entsprechen einem langfristig erreichbaren ökologischen Wunschstandard. Dieser Wunschstandard ergibt monetär einen großen Abstand zum Mini-

malziel. Die hohen Verluste der RDB von bis zu 210 €/ha*a (vgl. Tab. 6-1) sind ohne Ausgleichszahlungen betriebswirtschaftlich nicht durchführbar.

Vom „notwendigen Standardschutz“ (Minimalziel) bis zum „ökologischen Wunschstandard“ (Maximalziel) besteht also ein weiter Kostenspielraum (vgl. Abb. 6-1). Da die Kosten für das Erreichen des Minimalziels relativ gering sind, ist das Potenzial für die Entwicklung eines stärkeren Boden- und Gewässerschutzes vorhanden. Die Anforderungen an die gute fachliche Praxis könnten also erhöht werden. Dazu sind ausdrücklich keine flächendeckenden Umstellungen erforderlich, sondern gezielt auf Einzelschläge bezogene, in ihrem Ausmaß ideal an das Umfeld angepasste Maßnahmen. Dies verlangt eine entsprechend differenzierte Erfassung der Gefährdungssituation und eine ebenso zielgerichtete Beratung der Landwirte. Dabei wird es noch weitere methodische Arbeit erfordern, um die flächendifferenzierte Abschätzung der Boden- und Gewässergefährdung mit möglichst wenig Aufwand zu erreichen.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass die gute fachliche Praxis, vertreten durch das Minimalziel, mit einer Verringerung des RDB von 10-19 €/ha*a ökonomisch in den Teileinzugsgebieten wahrscheinlich umsetzbar ist. Die Kosten des ökologischen Wunschstandard, repräsentiert durch das Maximalziel, sind mit einer Verringerung des RDB von durchschnittlich 80-210 €/ha*a zwischen 4 und 20-mal höher. Dies ist von den Betrieben aus eigener Kraft kaum umsetzbar.

6.2 Finanzielle Belastungen bei generellen Nutzungsänderungen

Basis für die Berechnung der finanziellen Belastung auf Gebietsebene sind die mit EROSION 3D modellierten Szenarien. Anhand der Richtwert-Deckungsbeiträge (RDB) werden folgende Szenarien monetär eingeschätzt: die aktuelle Nutzung mit der Bodenbearbeitung laut Befragung (IST-Zustand), die gleiche aktuelle Nutzung allerdings mit komplett konservierender Bearbeitung (IST-konservierend) und eine zukünftige, auf den Boden- und Gewässerschutz optimierte Mais-Fruchtfolge (Positiv-Szenario). Das Vorgehen bei der Kostenermittlung der Szenarien erfolgt pro Teileinzugsgebiet wie in Kapitel 2.3.2 geschildert. Als Referenzwert dient die aktuelle Nutzung (IST-Zustand). An ihr werden in den Kapiteln 6.2.1 und 6.2.2 die Entwicklungen zweier Szenarien monetär gemessen:

- Zum einen erfolgt die Annahme einer Bearbeitungsumstellung. Dabei wird dieselbe Fruchtfolge wie im IST-Zustand angenommen, allerdings bei vollständig konservierender Bodenbearbeitung. Dementsprechend wird dieses Szenario als IST-konservierend bezeichnet. Für diese Variante sinken die Gebietsaustragswerte auf durchschnittlich 16 % im Vergleich zum IST-Zustand ab. Damit liegen sie auf dem gleichen Niveau wie das Positiv-Szenario (vgl. Kap. 3.2.3). Mit dieser Maßnahmenvariante ist der alleinige Einfluss der Bodenbearbeitung auf das Betriebsergebnis abschätzbar.
- Zum anderen wird eine mögliche zukünftige, optimierte Mais-Fruchtfolge mit der aktuellen Nutzung verglichen. Die optimierte Mais-Fruchtfolge stellt das Positiv-Szenario (ZR – WW-Blatt – Mais – WW-Blatt – WW-Stoppel) dar (vgl. Abb. 3-3). Die Gebietsausträge nehmen entsprechend den Kulturen und der Bearbeitungsform auf durchschnittlich 17 % im Vergleich zum IST-Zustand ab (vgl. Abb. 3-6). Sie sind damit von der Austragshöhe her weitgehend identisch mit den Austrägen des Szenarios IST-konservierend.

Die monetäre Bewertung dieser beiden Szenarien wird in Kapitel 6.2.1 und 6.2.2 dargestellt. Die zur Berechnung erforderlichen durchschnittlichen RDB (pro Hektar und Jahr) sind im Anhang in Tabelle A7 aufgelistet.

6.2.1 Aktuelle Nutzung (IST-Zustand) versus IST-konservierend

Beim Vergleich zweier unterschiedlicher Bodenbearbeitungsformen der aktuellen Nutzung („laut Befragung (extrapoliert)“ und „komplett konservierend“), ergibt sich für eine vollständig konservierende Bodenbearbeitung ein um durchschnittlich 5,5 % geringerer RDB (vgl. Tab. 6-2). Absolut ausgedrückt sinkt der RDB um 43 €/ha*a auf rund 800 €/ha*a ab.

Besonders markant sind die Unterschiede im Gebiet Brüggen Süd. Hier tritt eine relative Differenz von rund -11 % auf, in den übrigen Gebieten liegt sie nur bei -2 bis -4,5 %. Der Grund dafür sind die im Gebiet Brüggen Süd angebauten Kulturen und insbesondere die Form der Bodenbearbeitung. Wie Abbildung 3-5 zeigt, ist der Anteil konventioneller Bearbeitung mit ca. 45 % höher als in den anderen Gebieten. Also erfolgt hier deutlich öfter die Umstellung von konventioneller auf konservierende Bearbeitung. Die konservierende Bodenbearbeitung führt bei vielen Kulturen zu einem um ca. 30 €/ha*a höheren RDB im Vergleich zur konventionellen

Bearbeitung (vgl. Tab. 2-3). Allerdings gibt es zwei Ausnahmen: Bei Stoppelweizen und Wintergerste sinkt mit der Umstellung auf pfluglosen Anbau der RDB sehr stark um rund 120 €/ha*a ab. Diese Fälle sind bedeutend für die starke Abnahme des RDB in Brüggen Süd. Insbesondere der Anteil Wintergerste ist hier mit knapp fünf Prozentpunkten höher als in den anderen Gebieten (vgl. Abb. 3-4). Dieser größere Wintergersteanteil führt im Gebiet Brüggen Süd bei der Umstellung von überwiegend konventioneller auf vollständig konservierende Bodenbearbeitung zu den vergleichsweise hohen Aufwendungen von 93 €/ha*a.

Gebiet	RDB IST-Zustand		RDB IST-konservierend		Differenz		Durchschnittliche Differenz	
	Absolut (€/ha*a)	Relativ (%)	Absolut (€/ha*a)	Relativ (%)	Absolut (€/ha*a)	Relativ (%)	Absolut (€/ha*a)	Relativ (%)
Eddinghausen	862	100	823	95,5	-29	-4,5	-43	-5,5
Brüggen Nord	838	100	804	95,9	-34	-4,1		
Brüggen Süd	815	100	722	88,6	-93	-11,4		
Hönze	865	100	848	98,0	-17	-2,0		

Tab. 6-2: Veränderung des Richtwert-Deckungsbeitrags beim Vergleich der Szenarien IST-Zustand und IST-konservierend. RDB = Richtwert-Deckungsbeitrag. Relative Werte sind grau hinterlegt.

6.2.2 Aktuelle Nutzung versus zukünftige, optimierte Mais-Fruchtfolge

Der zweite Vergleich zwischen der aktuellen Nutzung (IST-Zustand) und einer optimal für den Bodenschutz generierten Mais-Fruchtfolge (Positiv-Szenario) führt zu einem Anstieg der RDB um durchschnittlich 115 €/ha*a auf rund 960 €/ha*a. Das ist ein relativer Anstieg um knapp 14 %. Für diesen Vergleich lässt sich festhalten, dass durch die Auswahl einer ertragreichen Fruchtfolge mit konservierender Bearbeitung nicht nur ein sehr guter Boden- und Gewässerschutz (Reduktion der Gebietsausträge im Vergleich zum IST-Zustand um mehr als 80 %), sondern über höhere RDB auch höhere Einnahmen in den landwirtschaftlichen Betrieben erreicht werden können.

Gebiet	RDB IST-Zustand		RDB Positiv-Szenario		Differenz		Durchschnittliche Differenz	
	Absolut (€/ha*a)	Relativ (%)	Absolut (€/ha*a)	Relativ (%)	Absolut (€/ha*a)	Relativ (%)	Absolut (€/ha*a)	Relativ (%)
Edding- hausen	862	100	976	113,2	+114	+13,2	+115	+13,6
Brüggen Nord	838	100	936	111,7	+98	+11,7		
Brüggen Süd	815	100	943	115,7	+128	+15,7		
Hönze	865	100	985	113,9	+120	+13,9		

Tab. 6-3: Veränderung des Richtwert-Deckungsbeitrags beim Vergleich von IST-Zustand und Positiv-Szenario. RDB = Richtwert-Deckungsbeitrag. Relative Werte sind grau hinterlegt.

In allen vier Teileinzugsgebieten steigt der RDB ähnlich hoch an, im Minimum um 11,7 % und höchstens um 15,7 % (vgl. Tab. 6-3). Die Differenz liegt also bei nur vier Prozentpunkten, somit erfolgt in allen Gebieten ein recht homogener RDB-Anstieg. Um zu klären welche Gründe den Anstieg auslösen, wird die Nutzung in beiden Szenarien näher betrachtet.

Laut Abbildung 3-5 wird der Boden bei aktueller Nutzung nur zu etwa 60 % konservierend bearbeitet, dieser Anteil steigt jedoch bei der optimierten Mais-Fruchtfolge auf 100 % an. Wie der erste Vergleich in Kapitel 6.2.1 gezeigt hat, führt eine Umstellung der Bodenbearbeitung nicht unbedingt zu höheren Einnahmen für die Betriebe. Also besteht ein Zusammenhang mit den angebauten Kulturen. Der Aspekt „Auswahl der Kulturen“ ist bei dem hier durchgeführten Vergleich mehrheitlich entscheidend für die Steigerung der Einnahmen.

Im Vergleich zum IST-Zustand fallen im Positiv-Szenario Kulturen mit einem geringeren RDB weg. Das sind zum Beispiel Winterraps oder Wintergerste. Letztere ist mit sehr hohen finanziellen Einbußen bei pfluglosem Anbau, welcher hier Bedingung ist, verbunden. Durch diesen Wegfall kann, bei Betrachtung der gesamten Fruchtfolge, der RDB gesteigert werden, weil in der Regel der jetzige Maisanteil (20 %) die vorherigen Flächenanteile von Winterraps und Wintergerste einnimmt. Der Anteil Winterweizen (jetzt 60 %) steigt leicht im Vergleich zum IST-Zustand an, was auf Grund des hohen Weizenpreises ebenfalls zu höheren RDB führt. Der Zuckerrübenanteil (jetzt 20 %) bleibt im Durchschnitt aller Gebiete in der gleichen Größenordnung wie bei der aktuellen Nutzung (vgl. Abb. 3-4). Zusammenfassend führen also zwei entscheidende Faktoren zu höheren Betriebseinnahmen bei der optimalen Mais-Fruchtfolge:

1. Der Wegfall von Kulturen mit einem geringen RDB (z.B. Winterraps und Wintergerste). Insbesondere Wintergerste liefert bei konservierender Bearbeitung sehr geringe RDB.
2. Der Anstieg der konservierenden Bearbeitung auf 100 % und damit verbunden ein Anstieg der RDB bei Zuckerrüben, Mais und Blattfruchtweizen.

6.2.3 Zusammenfassende Beurteilung der Aufwendungen in den Teileinzugsgebieten auf Basis der Nutzungsszenarien

Die ökonomische Beurteilung auf Basis der Nutzungsszenarien liefert differenzierte Ergebnisse. Der erwirtschaftete RDB kann im Vergleich zum IST-Zustand um knapp 6 % sinken oder um 14 % steigen. Entscheidend für die Gesamthöhe des RDB sind die Auswahl der angebauten Kulturen und die Form der Bodenbearbeitung (vgl. Tab. 2-3 und A7). Ein sehr guter Boden- und Gewässerschutz durch vollständig konservierenden Anbau ist unter Umständen ökonomisch nachteilig, wenn die angebauten Kulturen innerhalb der Fruchtfolge nicht optimal platziert, sondern die „übliche“ Fruchtfolge beibehalten wird. Wie Vergleich 2 zeigt (Kap. 6.2.2), ermöglicht erst eine Auswahl bestimmter Kulturen bei komplett konservierender Bodenbearbeitung ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Boden-/Gewässerschutz und Betriebseinnahmen. KÄCHELE ET AL. (2001) bestätigen diese Tatsache und weisen für Schutzmaßnahmen in Mais-Fruchtfolgen ebenfalls keine generellen Einkommensverluste aus.

Generell lassen sich bei der Gebietsbetrachtung allgemeine Tendenzen der ökonomischen Maßnahmenbewertung besser erkennen. Es werden also Fragen beantwortet wie „Welche Auswirkungen hat die konservierende Bearbeitung auf die RDB?“ oder „Welche Kulturen führen zu höheren RDB?“. In den einzelnen Betrieben hingegen ist die Situation teilweise sehr viel differenzierter. Beispielsweise können manche Betriebe problemlos und mit nur geringen Investitionen auf einen konservierenden Anbau umstellen, andere Betriebe hingegen müssen zunächst kostenintensiv neue Geräte zur Bodenbearbeitung erwerben und ihre Bearbeitungstechniken entsprechend umstellen. Solche Schritte sind in den hier durchgeführten gebietsbezogenen Vergleichen monetär nicht berücksichtigt. Entsprechend würden höhere RDB wohl in manchen Betrieben für notwendige Investitionen aufgezehrt, so dass in diesen Fällen die Einnahmen kurzfristig nicht ansteigen würden.

Durch eine optimale Kulturauswahl (ZR – WW – Mais – WW – WW) und durch vollständig konservierende Bodenbearbeitung können die Richtwert-Deckungsbeiträge in den Teileinzugsgebieten gesteigert werden. Der konservierende Anbau bewirkt zudem geringe Gebietsausträge, so dass dem Boden- und Gewässerschutz in idealer Weise entsprochen wird (Einhalten der guten fachlichen Praxis und darüber hinaus).

7 Effizienz der Maßnahmen

Bei der Planung von Schutzmaßnahmen entscheiden zwei Faktoren über deren Anwendung: die Wirksamkeit in Bezug auf den Boden- und Gewässerschutz und die Kosten der Maßnahmen. In der vorliegenden Arbeit sind beide Faktoren bisher einzeln betrachtet worden. Das Bodenerosionsgeschehen wurde berechnet (vgl. Kap. 3); mit der Durchführung individueller Maßnahmen wurden die vorgegebenen Ziele des Boden- und Gewässerschutzes erreicht (vgl. Kap. 5). Auf diese Weise ist die Minimierung von Bodenabtrag und Stoffaustrag, also die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen, ermittelt worden. Der zweite Faktor, die Kosten der Schutzmaßnahmen, ist mit Hilfe von Richtwert-Deckungsbeiträgen (RDB) berechnet worden (vgl. Kap. 6). Die Finanzierung der Maßnahmen wird durch die Veränderung der RDB widergespiegelt. In der Regel werden sie niedriger, unter bestimmten Bedingungen können sie aber auch steigen.

In diesem Kapitel werden beide Einzelfaktoren (Kosten und Wirksamkeit) für eine praxisorientierte Bewertung zusammengeführt und somit die Effizienz einer Maßnahme bestimmt. Infolgedessen können die in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Maßnahmen entsprechend ihrer Effizienz klassifiziert werden.

7.1 Vorgehen für die Ermittlung der Maßnahmeneffizienz

Um die Effizienz von Schutzmaßnahmen beurteilen zu können muss geklärt werden, wie hoch die Kosten einer Maßnahme unter dem Aspekt des Boden- und Gewässerschutzes sind. Dazu werden die Faktoren „Kosten einer Maßnahme (€/ha*a)“ und „Abtragsreduktion (t/ha*a)“ (Schutzwirkung dieser Maßnahme) schlaggenau zueinander in Bezug gesetzt. Eine Maßnahme ist dabei besonders effizient, wenn sie mit relativ wenig Aufwand eine relativ große Abtragsreduktion hervorruft (vgl. Abb. 7-1).

◆ Grenze der Effizienz

Für die beiden Faktoren Kosten (€/ha*a) und Abtragsreduktion (t/ha*a) wird jeweils ein Grenzwert festgelegt, ab welchem der betroffene Faktor nicht mehr wirtschaftlich ist. Als Grenzwert der Maßnahmenkosten wird in der vorliegenden Arbeit der Median aller Maßnahmenkosten eines Teileinzugsgebiets verwendet. Für den Grenzwert wäre auch ein prozen-

tualer Anteil an den Gesamtbetriebseinnahmen vertretbar. Da diese jedoch nicht zugänglich sind und Durchschnittswerte auf Gemeinde- oder Kreisebene zu ungenau wären, wird auf den Median der Maßnahmenkosten zurückgegriffen. Diese Vorgehensweise wird bei der Abtragsreduktion beibehalten. Auch hier dient der Median als Grenzwert. Das arithmetische Mittel wurde auf Grund einiger Extremwerte, die das Ergebnis zu stark beeinflusst hätten, nicht verwendet (vgl. Standardabweichungen in Tab 7-1, 7-2 und 7-3).

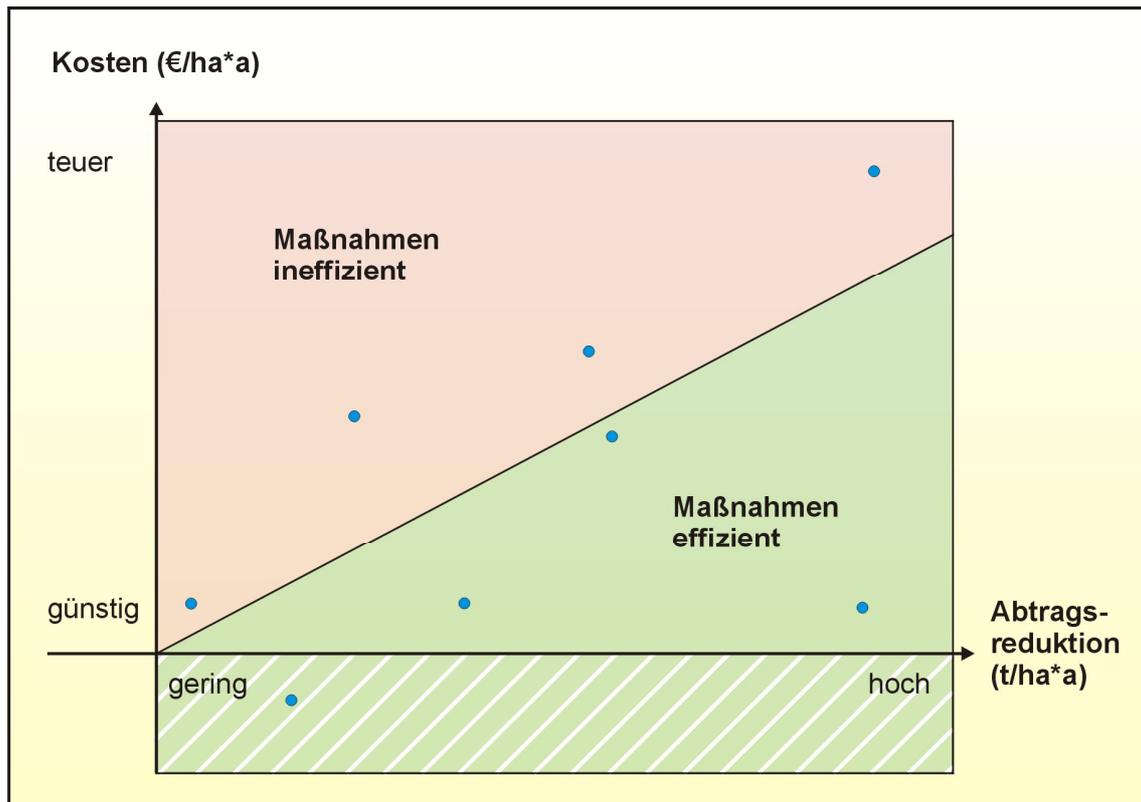


Abb. 7-1: Schema zur Bewertung der Effizienz von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen. Vier der angedeuteten acht Maßnahmen (blaue Punkte) liegen im grünen Bereich, sie sind effizient. Im schraffierten Bereich werden Gewinne (= negative Kosten) erzielt. Maßnahmen in diesem Bereich sind immer effizient (weitere Erläuterungen im Text).

Damit eine Maßnahme effizient ist, müssen die Kosten unterhalb des Grenzwertes und die Abtragsreduktion oberhalb des Grenzwertes liegen. Dies ist schlaggenau durch die Angabe der Werte in grüner Schrift in den Tabellen 7-1, 7-2 und 7-3 gekennzeichnet. Liegen jedoch die Kosten oberhalb des Grenzwertes und die Abtragsreduktionen unterhalb, wird dies durch rote Schrift hervorgehoben. Nur wenn **beide** Faktoren mit grüner Schrift gekennzeichnet sind (Kosten < Median; Abtragsreduktion > Median), dann ist die Maßnahme effizient (grün hinterlegtes Feld in Tab. 7-1, 7-2 und 7-3). Wenn bei der Durchführung der Maßnahme negative Kosten (= Gewinne) erzielt werden, so ist die Maßnahme unabhängig von der Höhe ihrer Ab-

tragsreduktion immer effizient (vgl. Abb. 7-1, schraffierter Bereich). Dieser Fall tritt bei mehreren Schlägen im Gebiet Hönze auf (vgl. Tab. 7-3).

◆ **Vorgehen bei der Berechnung**

Kosten und Abtragsreduktionen der einzelnen Maßnahmen werden in jedem Gebiet für das Minimal- und Maximalziel in Tabellen und Diagrammen gegenübergestellt. Folgende Schritte zur Berechnung der Effizienz werden dabei durchgeführt:

- Angabe der Schläge, auf denen beim Minimal- und/oder Maximalziel Maßnahmen erfolgen (vgl. Kap. 5), inklusive Angabe der Fläche (ha) und des Abtrags ($t/ha*a$) (laut Bodenerosionsschlüssel).
- Ermittlung der Abtragsreduktion: Differenz zwischen dem bestehenden Abtrag und dem angestrebten Boden- und Gewässerschutzrichtwert (gemäß bestehendem Ziel): 4 oder 2 oder 1 $t/ha*a$ (abhängig von der Art des Gewässeranschlusses). Bei Schlägen mit Bodenschutzmaßnahmen erfolgt eine Reduktion des Abtrags um einen bestimmten Betrag (je nach Bodenmächtigkeit) zum Erreichen von Gefährdungsstufe 0 oder 1.
- Die Kosten der durchgeführten Maßnahmen können schlaggenau aus den Tabellen A1 bis A6 entnommen werden (vgl. Kap. 6).
- Der Quotient aus den Kosten ($€/ha*a$) und der Abtragsreduktion ($t/ha*a$) stellt die Effizienz der Maßnahme auf dem Einzelschlag dar. Er gibt an, welcher Gewinn bzw. Verlust (€) durch die Minderung des Abtrags um eine Tonne pro Hektar und Jahr zu erwarten ist.

Die Effizienzschwelle (vgl. Abb. 7-1 bis 7-7) orientiert sich an den höchsten noch effizienten Kosten für die Minderung des Abtrags um 1 $t/ha*a$. Am Beispiel des Minimalziels im Gebiet Eddinghausen sind das 7,14 € (vgl. Tab. 7-1). Die höchsten, noch effizienten Maßnahmekosten (7,14 € bei einer Abtragsreduktion um 1 $t/ha*a$, vgl. Tab. 7-1) werden nun extrapoliert, bis zur höchsten im Gebiet erreichten Abtragsreduktion. Diese liegt in Eddinghausen bei 7 $t/ha*a$ (vgl. Abb. 7-2), die Kosten betragen dementsprechend 49,98 € ($7*7,14$ €). Die beiden ermittelten Punkte werden mit einer Geraden verbunden, diese wird bis zum Abtragswert von 0 $t/ha*a$ extrapoliert. Alle Maßnahmen unterhalb dieser Geraden sind effizient (grüner Bereich), Maßnahmen im darüber liegenden roten Bereich sind ineffizient (vgl. Abb. 7-2).

Die hier gewählte Methode zur Ermittlung der Maßnahmeneffizienz ist gut durchführbar, weil alle Eingangsdaten bereits vorliegen bzw. mit einfachen statistischen Methoden berechnet werden können. Das Vorgehen bei der Berechnung ist für sich betrachtet mathematisch exakt, Ungenauigkeiten treten bei der Ermittlung der Eingangsdaten auf (vgl. Kap. 3) und werden für die Effizienzberechnung entsprechend übernommen. Problematisch ist in einigen Fällen die Anzahl der betrachteten Schläge. Im Gebiet Hönze werden im Minimalziel nur auf vier Schlägen Maßnahmen angewendet ($n=4$), auch im Gebiet Eddinghausen (im Minimalziel $n=10$) und im Maximalziel des Gebiets Hönze (ebenfalls $n=10$) ist die Anzahl der Schläge für statistisch sichere Berechnungen gering.

7.2 Die Effizienz von Maßnahmen im Teileinzugsgebiet Eddinghausen

Im Teileinzugsgebiet Eddinghausen werden beim Minimalziel auf 10 Schlägen und beim Maximalziel auf 15 Schlägen Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz durchgeführt. Auf dem Schlag 1-27 erfolgen nur Bodenschutzmaßnahmen, folglich ist dieser Schlag nicht an ein Gewässer angeschlossen (vgl. Karte A2). Der Schlag 1-7 ist indirekt, alle weiteren Schläge sind direkt an ein Gewässer angeschlossen. Die schlaggenaue Effizienz von Schutzmaßnahmen für Minimal- und Maximalziel zeigt Tabelle 7-1.

Beim Minimalziel sind insgesamt 30 % der Maßnahmen effizient (vgl. Abb. 7-2). Im Vergleich zu den Anteilen in den Gebieten um Brügge (36 %, Abb. 7-4) und Hönze (25 %, Abb. 7-6) ist dies also ein mittlerer Wert. Im Maximalziel sind in Eddinghausen mit 27 % vergleichsweise viele Maßnahmen effizient (vgl. Abb. 7-3). Im Gebiet Brüggen sinkt dieser Anteil auf 18 % ab (vgl. Abb. 7-5). In Hönze sind zwar 50 % der Maßnahmen effizient (vgl. Abb. 7-7), allerdings nur auf Grund der Tatsache, dass bei der Erwirtschaftung von Gewinnen die Maßnahme unabhängig von der Bodenabtragsreduktion immer effizient ist. Ohne diese Regel wären dort nur 10 % der Maßnahmen effizient (vgl. Tab. 7-3).

Betrieb-/ Schlag- Nr.	Fläche (ha)	Abtrag (t/ha*a)	Minimalziel (Abtrag <4 bzw. <2 t/ha*a, Stufe 1)			Maximalziel (Abtrag <2 bzw. <1 t/ha*a, Stufe 0)		
			Abtrags- reduktion (t/ha*a)	Kosten (€/ha*a)	Effizienz (€): „-1 t/ha*a kostet“	Abtrags- reduktion (t/ha*a)	Kosten (€/ha*a)	Effizienz (€): „-1 t/ha*a kostet“
1-4	7,21	3,68	1,68	56,93	33,89	2,68	709,42	264,71
1-6	10,14	2,14	0,14	28,19	201,36	1,14	699,36	613,47
1-9	27,05	8,61	6,61	16,82	2,54	7,61	910,24	119,61
1-12	6,73	7,15	5,15	11,73	2,28	6,15	953,90	155,11
1-13	6,47	3,03	1,03	16,54	16,06	2,03	953,90	469,90
1-17	12,29	3,35	1,35	28,73	21,28	2,35	890,11	378,77
1-18	11,99	3,78	1,78	12,72	7,14	2,78	44,26	15,92
1-19	5,21	2,48	0,48	55,80	116,26	1,48	39,40	26,62
1-29	10,09	3,30	1,30	28,49	21,92	2,30	14,18	6,17
1-30	13,41	4,32	2,32	43,48	18,74	3,32	14,18	4,27
1-7	15,89	3,67	Keine Maßnahmen beim Minimalziel erforderlich.			1,67	39,40	23,59
1-14	15,26	1,73				0,73	190,75	261,30
1-27	12,82	5,84				3,01	40,48	13,45
1-5	7,24	1,47				0,47	32,05	68,20
1-16	4,85	1,27				0,27	29,71	110,03
Median						1,52	28,34	
Arithm. Mittel			2,18	29,29		2,53	370,76	
Stabw.			2,07	16,89		2,01	415,47	

Tab. 7-1: Effizienz der Schutzmaßnahmen bei Minimal- und Maximalziel im Teileinzugsgebiet Eddinghausen. Rote Schrift = Kosten oberhalb und Abtragsreduktion unterhalb des Medians. Grüne Schrift = Kosten unterhalb und Abtragsreduktion oberhalb des Medians. Grün hinterlegt = Maßnahme effizient, rot hinterlegt = Maßnahme ineffizient. Stabw. = Standardabweichung. Durchgeführte Maßnahmen: vgl. Tab. A5 und A6 im Anhang.

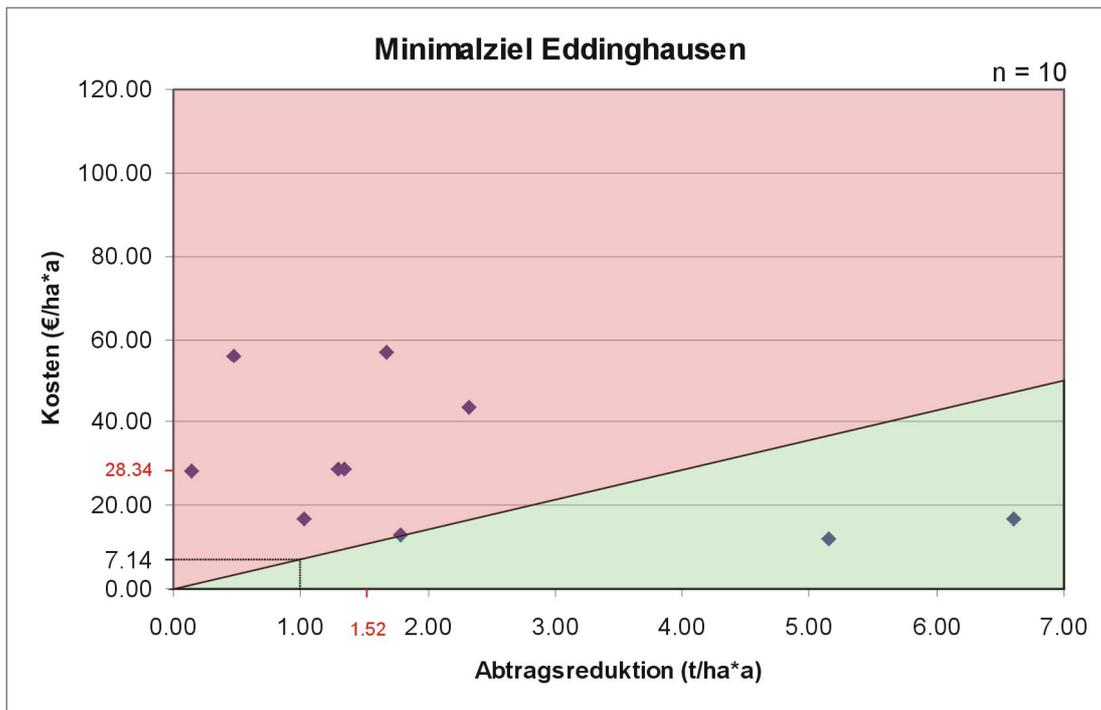


Abb. 7-2: Effizienz von Schutzmaßnahmen im Minimalziel, Teileinzugsgebiet Eddinghausen. Drei Maßnahmen im grün gekennzeichneten Bereich sind auf Grund der hohen Abstragsreduktion und der geringen Kosten effizient. Die Mediane sind in roter Schrift angegeben.

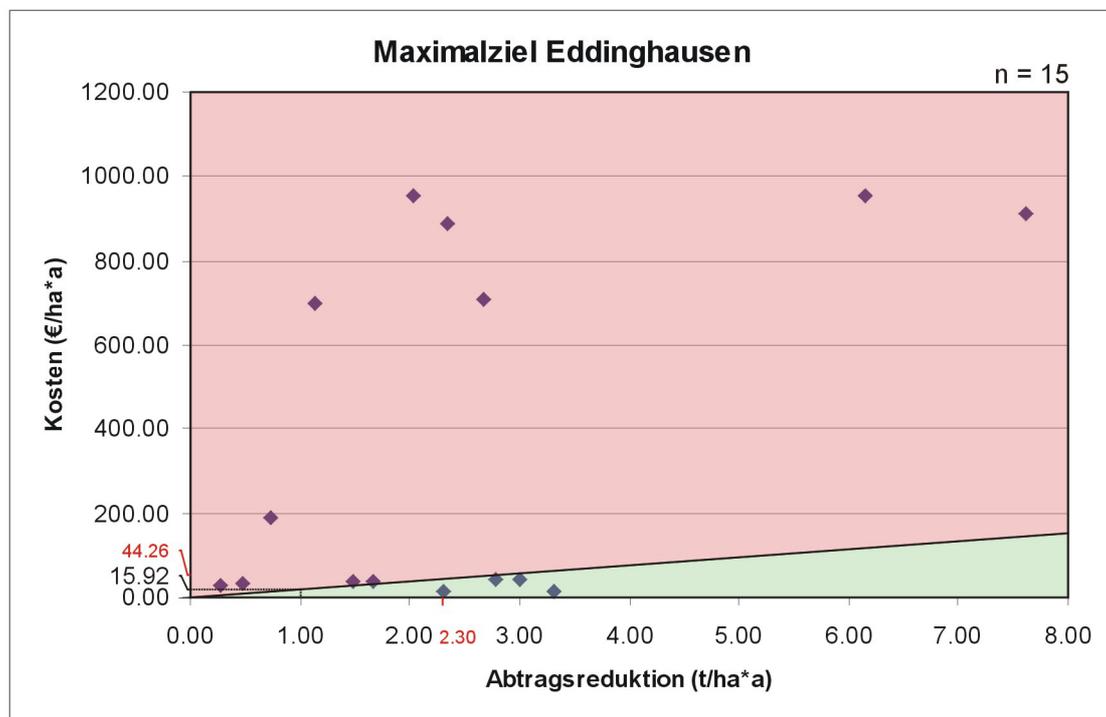


Abb. 7-3: Effizienz von Schutzmaßnahmen im Maximalziel, Teileinzugsgebiet Eddinghausen. Vier Maßnahmen im grün gekennzeichneten Bereich sind auf Grund der hohen Abstragsreduktion und der geringen Kosten effizient. Die Mediane sind in roter Schrift angegeben.

7.3 Die Effizienz von Maßnahmen in den Teileinzugsgebieten um Brüggen

In den Teileinzugsgebieten Brüggen Nord und Süd ist der Anteil von Schlägen mit Maßnahmen an der Gesamtanzahl der Schläge am größten. Beim Minimalziel sind auf 14 Schlägen, beim Maximalziel auf 22 Schlägen Maßnahmen notwendig (vgl. Tab. 7-2). Auch hier ist der überwiegende Anteil der Schläge direkt an ein Gewässer angeschlossen, nur drei Schläge (6-8, 6-11 und 4-3) sind indirekt angeschlossen. Für sie gelten geringere Abtragsrichtwerte von 4 bzw. 2 t/ha*a. Zwei Schläge (6-12 und 4-14) haben keinen Gewässeranschluss, hier werden Bodenschutzmaßnahmen zum Erreichen der Gefährdungsstufe 1 oder 0 vorgeschlagen.

Die Tabelle 7-2 wird auf der nächsten Seite fortgesetzt.

Betrieb-/Schlag-Nr.	Fläche (ha)	Abtrag (t/ha*a)	Minimalziel (Abtrag <4 bzw. <2 t/ha*a, Stufe 1)			Maximalziel (Abtrag <2 bzw. <1 t/ha*a, Stufe 0)		
			Abtragsreduktion (t/ha*a)	Kosten (€/ha*a)	Effizienz (€): „-1 t/ha*a kostet“	Abtragsreduktion (t/ha*a)	Kosten (€/ha*a)	Effizienz (€): „-1 t/ha*a kostet“
4-6	3,25	5,35	3,35	47,95	14,31	4,35	62,50	14,37
4-7	4,21	4,38	2,38	64,79	27,22	3,38	59,91	17,72
4-8	2,47	2,56	0,56	110,95	198,12	1,56	59,89	38,39
4-9	3,00	2,56	0,56	82,37	147,08	1,56	59,91	38,40
4-10	11,60	6,73	4,73	47,17	9,97	5,73	883,18	154,13
5-1	2,92	4,05	2,05	29,86	14,57	3,05	740,12	242,66
5-2	4,15	2,85	0,85	109,43	128,74	1,85	50,99	27,56
5-3	2,59	5,86	3,86	56,76	14,70	4,86	953,90	196,28
5-8	5,90	2,49	0,49	50,07	102,19	1,49	143,06	96,02
6-2	3,93	5,76	3,76	29,39	7,82	4,76	737,55	154,95
6-3	5,59	7,36	5,36	42,77	7,98	6,36	953,90	149,98
6-4	3,83	2,24	0,24	48,50	202,10	1,24	953,90	769,27
6-5	7,86	7,30	5,30	10,01	1,89	6,30	970,01	153,97
6-12	5,92	7,83	0,83	40,48	48,77	3,83	40,48	10,57

Betrieb-/ Schlag- Nr.	Fläche (ha)	Abtrag (t/ha*a)	Minimalziel (Abtrag <4 bzw. <2 t/ha*a, Stufe 1)			Maximalziel (Abtrag <2 bzw. <1 t/ha*a, Stufe 0)		
			Abtrags- reduktion (t/ha*a)	Kosten (€/ha*a)	Effizienz (€): „-1 t/ha*a kostet“	Abtrags- reduktion (t/ha*a)	Kosten (€/ha*a)	Effizienz (€): „-1 t/ha*a kostet“
4-13	2,87	1,83	Keine Maßnahmen beim Minimalziel erforderlich.			0,83	190,75	229,82
4-14	5-17	5,25				0,25	40,48	161,90
5-5	5,05	1,09				0,09	40,24	447,06
6-8	3,29	2,18				0,18	59,91	332,83
6-11	3,28	2,12				0,12	59,91	499,24
4-3	2,93	3,73				1,73	740,12	427,81
4-4	2,02	1,96				0,96	740,12	770,96
5-11	3,29	1,51				0,51	755,22	1480,82
Median					2,22	48,23		1,65
Arithm. Mittel				2,45	55,04		2,50	422,55
Stabw.				1,91	28,81		2,11	400,39

Tab. 7-2: Effizienz der Schutzmaßnahmen bei Minimal- und Maximalziel in den Teileinzugsgebieten Brügg Nord und Süd. Rote Schrift = Kosten oberhalb und Abtragsreduktion unterhalb des Medians. Grüne Schrift = Kosten unterhalb und Abtragsreduktion oberhalb des Medians. Grün hinterlegt = Maßnahme effizient, rot hinterlegt = Maßnahme ineffizient. Stabw. = Standardabweichung. Durchgeführte Maßnahmen: vgl. Tab. A3 und A4 im Anhang.

Im Minimalziel finden rechnerisch auf fünf von 14 Schlägen effiziente Maßnahmen statt. Zwei weitere Maßnahmen sind mit Kosten von 0,26 € bzw. 0,39 € für die Abtragsreduktion um 1 t/ha*a nur geringfügig ineffizient (vgl. Abb. 7-4). Unter Einbezug der Standardabweichungen könnte auch in diesen beiden Fällen von effizienten Maßnahmen gesprochen werden. Ein genauer Fehler- oder Toleranzbereich ist auf Grund des geringen Stichprobenumfangs nicht sinnvoll definierbar.

Beim Maximalziel besitzen nur vier von 22 Schlägen ein effizientes Kosten-Abtragsreduktions-Verhältnis. Alle weiteren Maßnahmen sind für die Höhe ihrer Abtragsreduktion zu kostenintensiv (vgl. Abb. 7-5). Besonders deutlich fallen, wie auch schon für das Maximalziel im Gebiet

Eddinghausen, die hohen Kosten bei der Herausnahme von Flächen aus der landwirtschaftlichen Produktion auf. Die Kosten pro Tonne Abtragsminderung reichen für diese Maßnahme von 150 € bis 1480 € (vgl. Tab. 7-2).

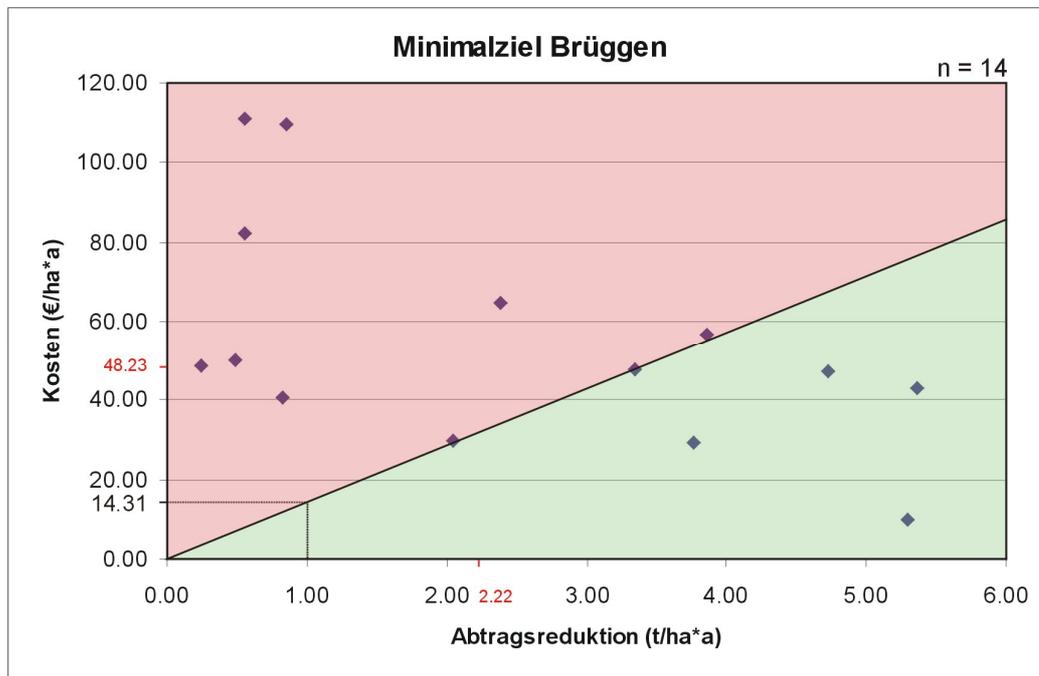


Abb. 7-4: Effizienz von Schutzmaßnahmen im Minimalziel, Teileinzugsgebiete Brüggen Nord und Süd. Fünf Maßnahmen im grün gekennzeichneten Bereich sind auf Grund der hohen Abtragsreduktion und der geringen Kosten effizient. Die Mediane sind in roter Schrift angegeben.

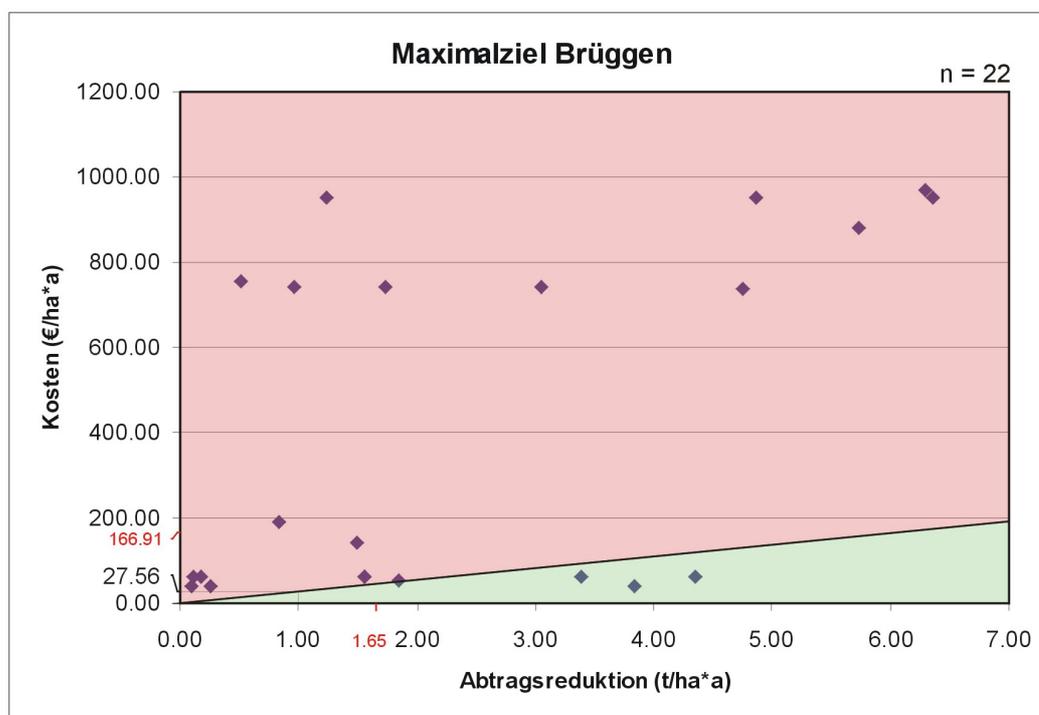


Abb. 7-5: Effizienz von Schutzmaßnahmen im Maximalziel, Teileinzugsgebiete Brüggen Nord und Süd. Vier Maßnahmen im grün gekennzeichneten Bereich sind auf Grund der hohen Abtragsreduktion und der geringen Kosten effizient. Die Mediane sind in roter Schrift angegeben.

7.4 Die Effizienz von Maßnahmen im Teileinzugsgebiet Hönze

Im Teileinzugsgebiet Hönze sind im Minimalziel lediglich vier Maßnahmen erforderlich. Die Aussagekraft zur Effizienz ist hier wegen der geringen Schlaganzahl eingeschränkt. Im Maximalziel werden zehn Maßnahmen berücksichtigt. Dies ist ebenfalls die geringste Anzahl aller Gebiete, aber die Aussagekraft zur Effizienz ist höher als beim Minimalziel. Insgesamt besitzen sieben Schläge einen direkten und drei (3-7, 3-9 und 2-4) einen indirekten Gewässeranschluss. Die Maßnahmen sind im Minimalziel bei nur einem Schlag effizient (vgl. Tab. 7-3), drei weitere Maßnahmen sind, bezogen auf ihre Wirkung, zu kostenintensiv (vgl. Abb. 7-6).

Betrieb-/ Schlag- Nr.	Fläche (ha)	Abtrag (t/ha*a)	Minimalziel (Abtrag <4 bzw. <2 t/ha*a, Stufe 1)			Maximalziel (Abtrag <2 bzw. <1 t/ha*a, Stufe 0)		
			Abtrags- reduktion (t/ha*a)	Kosten (€/ha*a)	Effizienz (€): „-1 t/ha*a kostet“	Abtrags- reduktion (t/ha*a)	Kosten (€/ha*a)	Effizienz (€): „-1 t/ha*a kostet“
2-7	2,37	3,12	1,12	52,38	46,77	2,12	100,63	47,47
2-8	6,43	2,27	0,27	27,80	102,95	1,27	180,68	142,27
2-10	1,53	3,48	1,48	51,53	34,82	2,48	179,50	72,38
3-13	2,38	5,14	3,14	41,01	13,06	4,14	995,45	240,45
3-1	1,1	2,06	Keine Maßnahmen beim Minimalziel erforderlich.			1,06	-20,14	-19,00
3-3	1,77	1,44				0,44	-10,07	-22,88
3-5	1,36	1,53				0,53	-20,13	-37,99
3-7	0,30	3,25				1,25	-10,07	-8,05
3-9	1,23	4,65				2,65	20,34	7,68
2-4	1,03	4,24				2,24	-20,14	-8,99
Median						1,30	46,27	
Arithm. Mittel			1,50	43,18		1,82	139,61	
Stabw.			1,20	11,49		1,13	311,42	

Tab. 7-3: Effizienz der Schutzmaßnahmen bei Minimal- und Maximalziel im Teileinzugsgebiet Hönze. Negative Kosten = Gewinn. Rote Schrift = Kosten oberhalb und Abtragsreduktion unterhalb des Medians. Grüne Schrift = Kosten unterhalb und Abtragsreduktion oberhalb des Medians. Grün hinterlegt = Maßnahme effizient, rot hinterlegt = Maßnahme ineffizient. Durchgeführte Maßnahmen: vgl. Tab. A1 und A2.

Beim Maximalziel im Gebiet Hönze ist die Hälfte aller durchgeführten Maßnahmen effizient. Dies ist der höchste Anteil an effizienten Maßnahmen im Vergleich aller Gebiete. Auf den Schlägen 3-1, 3-3, 3-5, 3-7 und 2-4 führen die vorgeschlagenen Maßnahmen zu höheren Richtwert-Deckungsbeiträgen (RDB). Auf diesen Schlägen werden bei der Durchführung einer Maßnahme in der Summe Gewinne erzielt. Erreicht wird dies in allen Fällen durch die Umstellung auf konservierenden Maisanbau. Diese Besonderheit tritt nur im Gebiet Hönze, auf den Schlägen mit der Fruchtfolge Mais – Winterweizen – Mais auf. Bei Berücksichtigung der gesamten dreijährigen Fruchtfolge ermöglicht die Umstellung auf konservierenden Anbau höhere RDB, gleichzeitig werden die Abträge um 0,4 bis 2,7 t/ha*a verringert.

Die Maßnahme auf Schlag 3-9 liegt ebenfalls nur knapp im ineffizienten Bereich. Auch sie könnte auf Grund der Modellunschärfen noch als effizient bezeichnet werden. Deutlich ineffizient ist die vorgeschlagene Stilllegung auf Schlag 3-13 mit Kosten von fast 1000 €/ha*a (vgl. Abb. 7-7).

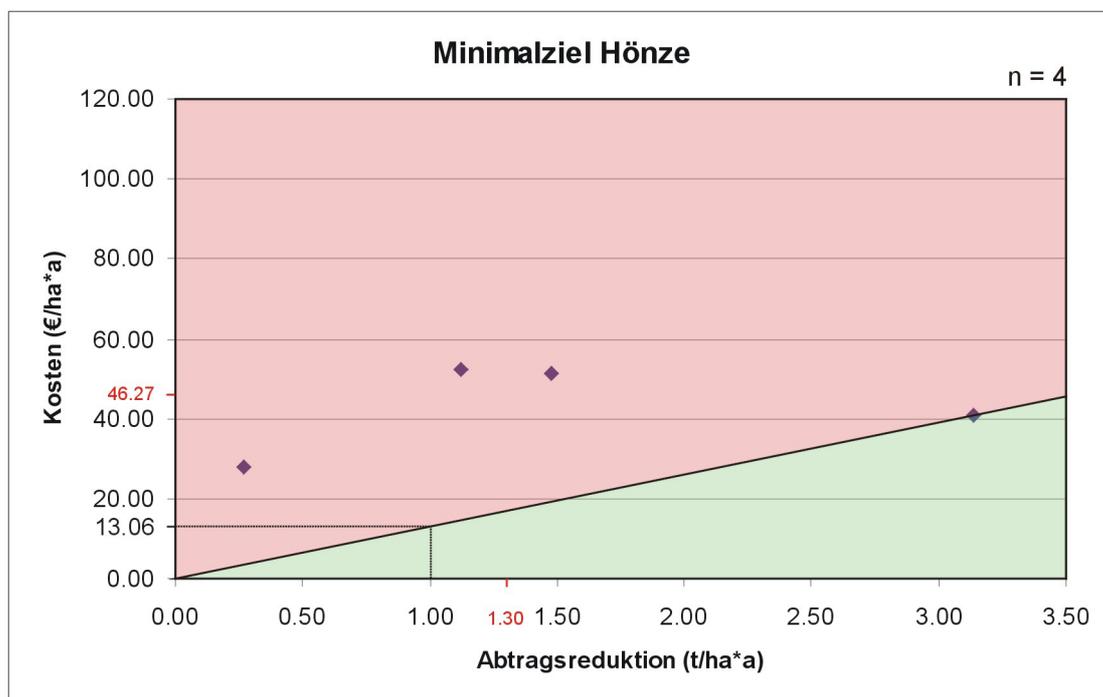


Abb. 7-6: Effizienz von Schutzmaßnahmen im Minimalziel, Teileinzugsgebiet Hönze. Eine Maßnahme im grün gekennzeichneten Bereich ist auf Grund der hohen Abtragsreduktion und der geringen Kosten effizient. Die Mediane sind in roter Schrift angegeben.

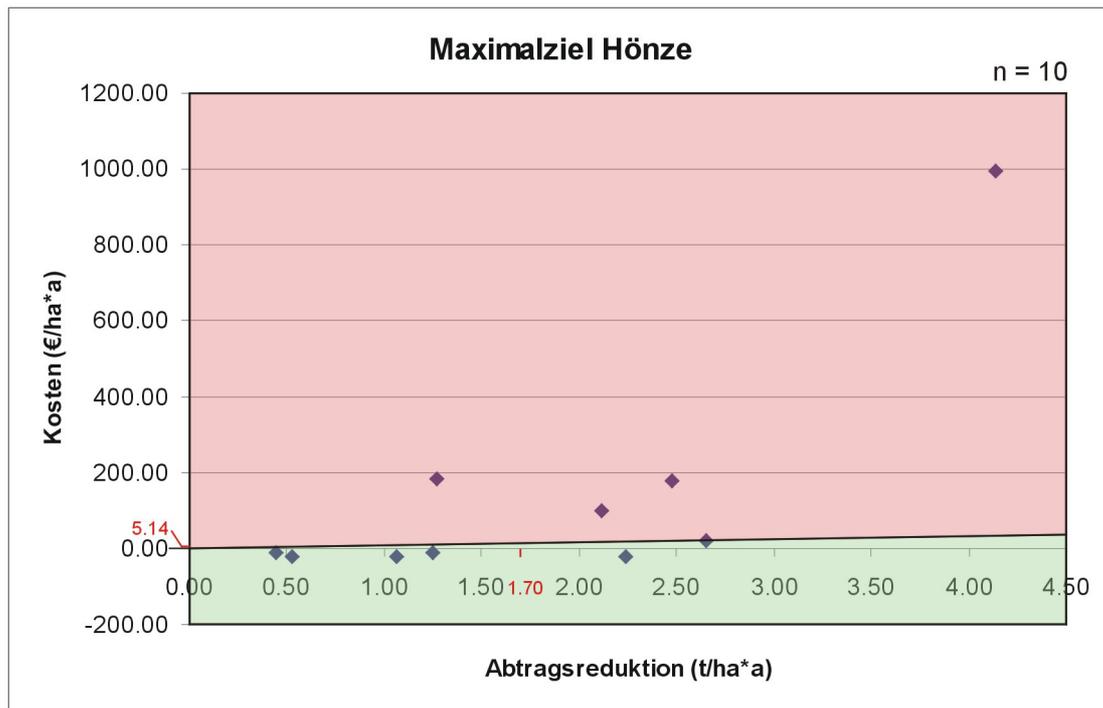


Abb. 7-7: Effizienz von Schutzmaßnahmen im Maximalziel, Teileinzugsgebiet Hönze. Fünf Maßnahmen im grün gekennzeichneten Bereich sind auf Grund der hohen Abtragsreduktion und der geringen Kosten bzw. allein wegen der Gewinne effizient. Mediane sind in roter Schrift angegeben.

7.5 Bewertung der Maßnahmeneffizienz

Die in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Effizienzberechnungen ermöglichen eine Klassifizierung der Schutzmaßnahmen in Abhängigkeit von ihrer Effizienzrate (Anteil effizienter Maßnahmen an der jeweiligen Anwendungshäufigkeit). Dazu werden alle im Minimal- und Maximalziel durchgeführten Maßnahmen betrachtet:

- das Anlegen von Gewässerrandstreifen,
- der Verzicht auf Hackfrüchte,
- Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge,
- die Schlagteilung und
- das Anlegen einer Rotationsbrache bzw. die Herausnahme der Fläche aus der landwirtschaftlichen Produktion.

Von jeder der fünf Maßnahmen wird jeweils die Häufigkeit ihres Einsatzes und die Anzahl effizienter und ineffizienter Einsätze gemäß den Berechnungen in Kapitel 7-2 bis 7-4 ermittelt.

Aus diesen Angaben resultiert die Effizienzrate. Je größer die Effizienzrate, desto öfter ist die Durchführung einer Maßnahme effizient (vgl. Tab. 7-4).

Maßnahme	Anwendungshäufigkeit	Anzahl effizient	Anzahl ineffizient	Effizienzrate (effizienter Anteil an der Häufigkeit)	Klasse
Schlagteilung	7	5	2	0,71	1
Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge	18	8	10	0,44	2
Gewässerrandstreifen	26	9	17	0,35	
Verzicht auf Hackfrüchte	6	0	6	0,00	3
Brache / Stilllegung	17	0	17	0,00	

Tab. 7-4: Klassifizierung der Schutzmaßnahmen anhand ihrer Effizienzrate. Klasse 1 = Maßnahmen überwiegend effizient, Klasse 2 = Maßnahmen teilweise effizient, Klasse 3 = Maßnahmen nicht effizient. Die Maßnahmenhäufigkeit bezieht sich auf Mini- und Maximalziel (vgl. Tab. 7-1 bis 7-3 und A1 bis A6).

In Klasse 1 fällt die Schlagteilung. Diese Maßnahme besitzt eine Effizienzrate von 0,71, d.h. absolut betrachtet werden von insgesamt sieben Einsätzen fünf effizient durchgeführt. Im Median treten bei der Schlagteilung die geringsten Kosten (32,05 €/ha*a) im Vergleich aller fünf Maßnahmen auf (vgl. Tab. 7-5). Zugleich erreicht sie die zweithöchste Abtragsreduktion (Median = 2,30 t/ha*a) nach der Rotationsbrache bzw. der Herausnahme aus der landwirtschaftlichen Produktion (Stilllegung). Die Schlagteilung wird also überwiegend effizient durchgeführt und die maximalen Kosten sind mit 62,50 €/ha*a akzeptabel. Dementsprechend ist dies eine empfehlenswerte Boden- und Gewässerschutzmaßnahme.

Die zweite Klasse beinhaltet die Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge und die Anlage von Gewässerrandstreifen. Diese beiden Maßnahmen werden weniger oft effizient durchgeführt, ihre Effizienzrate liegt bei 0,44 (Mulchsaat) bzw. 0,35 (Gewässerrandstreifen). Die Kosten beider Maßnahmen sind mit einem Median von etwa 40 €/ha*a ungefähr gleich hoch; die Abtragsreduktionskapazität des Gewässerrandstreifens liegt geringfügig höher (vgl. Tab. 7-5). Zwei Besonderheiten sind hervorzuheben: Mit der Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge ist bei einer bestimmten Kombination von Kulturen die Erwirtschaftung von Gewinnen (bis zu 20 €/ha*a) möglich. Die Abtragsreduktion ist dabei jedoch sehr schwankend, sie reicht von 0,09 bis 3,83 t/ha*a. Daher sollte bei dieser Maßnahme jeder Einzelfall bezüglich seiner Effizienz geprüft werden; eine allgemeingültige Empfehlung kann nicht gegeben werden. Die zweite Besonderheit betrifft die Verwendung des Gewässerrandstreifens. Wie in Kapitel 2.3.1

beschrieben wird diese Schutzmaßnahme nur im Minimalziel eingesetzt, weil die Reduktionskapazität den Anforderungen des Maximalziels nicht genügt. Die Kosten des Gewässerrandstreifens sind mit bis zu 111 €/ha*a teilweise hoch (vgl. Tab. 7-5). Die Höhe der Kosten ist abhängig vom Richtwert-Deckungsbeitrag (RDB) der angebauten Kulturen. Je höher der RDB ist, desto höher sind die Maßnahmekosten auf Grund des Flächenverlusts für den Anbau der Kulturen. Der Gewässerrandstreifen ist also nur bei einem mittleren Abtragsziel von 4 t/ha*a und direktem Gewässeranschluss sinnvoll. Empfehlenswert ist diese Maßnahme wenn Kulturen mit geringen RDB auf dem betreffenden Schlag angebaut werden, die Maßnahmekosten sind in diesem Fall gering.

Maßnahme	Faktor	Minimum	Median	Maximum
Schlagteilung	Abtragsreduktion (t/ha*a)	0,24	2,30	4,35
	Kosten (€/ha*a)	14,18	32,05	62,50
	Effizienz (€)	4,27	15,92	202,10
Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge	Abtragsreduktion (t/ha*a)	0,09	1,37	3,83
	Kosten (€/ha*a)	-20,14	40,36	59,91
	Effizienz (€)	-37,99	20,66	499,24
Gewässerrandstreifen	Abtragsreduktion (t/ha*a)	0,14	1,73	6,61
	Kosten (€/ha*a)	10,01	43,13	110,95
	Effizienz (€)	1,89	20,01	201,36
Verzicht auf Hackfrüchte	Abtragsreduktion (t/ha*a)	0,73	1,38	2,48
	Kosten (€/ha*a)	100,63	180,09	190,75
	Effizienz (€)	47,47	119,15	261,30
Rotationsbrache bzw. Stilllegung	Abtragsreduktion (t/ha*a)	0,51	3,05	7,61
	Kosten (€/ha*a)	699,36	890,11	995,45
	Effizienz (€)	119,61	242,66	1480,82

Tab. 7-5: Nach Schutzmaßnahmen getrennte Bewertung von Abtragsreduktion, Kosten und Effizienz. Die Bewertung basiert auf Minimal- und Maximalziel, sowie allen Teileinzugsgebieten. Negative Kosten = Gewinn. Die Farbhinterlegung dient der Übersichtlichkeit.

In Klasse 3 sind zwei Maßnahmen verzeichnet: der Verzicht auf Hackfrüchte und die Herausnahme aus der landwirtschaftlichen Produktion / Rotationsbrache (vgl. Tab. 7-4). Beide Maßnahmen sind in der vorliegenden Arbeit immer ineffizient bewertet worden (Effizienzrate 0,00). Der Hackfruchtverzicht führt auf Grund der hohen Richtwert-Deckungsbeiträge zu hohen Maßnahmekosten (im Median 180 €/ha*a). Zugleich ist seine Abtragsreduktionskapazität mit einem Median von 1,38 t/ha*a gering. Nur die Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge zeigt mit 1,37 t/ha*a einen ähnlich geringen Wert (vgl. Tab. 7-5). Auf Grund dieser Ineffizienz ist der Hackfruchtverzicht keine empfehlenswerte Schutzmaßnahme. Bei der Anlage einer Rotationsbrache bzw. einer Stilllegung entstehen durch die fehlende ackerbaulichen Nutzung immer hohe bis sehr hohe Kosten (im Median knapp 900 €/ha*a). Mit dieser Maßnahme geht jedoch die höchste Abtragsreduktion von bis zu 7,61 t/ha*a einher (vgl. Tab. 7-5). Trotzdem ist diese Maßnahme insgesamt ineffizient und daher grundsätzlich nicht empfehlenswert. Wegen ihrer hohen Reduktionskapazität ist sie allerdings bei besonders gefährdeten Schlägen als „letztes Mittel“ einsetzbar und auch erforderlich (vgl. Kap. 5).

Zusammenfassend ergibt sich mit abnehmender Effizienzrate folgende Empfehlung zur Durchführung von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen:

1. Schlagteilung
2. Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge
3. Gewässerrandstreifen
4. Verzicht auf Hackfrüchte
5. Rotationsbrache bzw. Herausnahme aus der landwirtschaftlichen Produktion

Es bleibt jedoch zu beachten, dass die Übertragbarkeit der in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Effizienzberechnungen durch die Verallgemeinerung in der Aussage auf andere Betriebe begrenzt wird. Ob eine Maßnahme effizient ist hängt in der Praxis von der individuellen Betriebsstruktur ab. Manche Betriebe haben bei der Durchführung einer Maßnahme eine geringere Kostenbelastung, so ist eine Maßnahme hier effizienter als in anderen Betrieben (wenn beispielsweise Spezialgeräte schon vorhanden sind). Dies hätte zur Folge, dass sich die in den Abbildungen 7-2 bis 7-7 berechneten Effizienzschnellen betriebspezifisch verschieben. Demzufolge ist die oben genannte Maßnahmenempfehlung am besten bei vergleichbaren Betriebsstrukturen übertragbar.

8 Gültigkeit der Ergebnisse für andere Gebiete: das Beispiel Sandlössgebiet

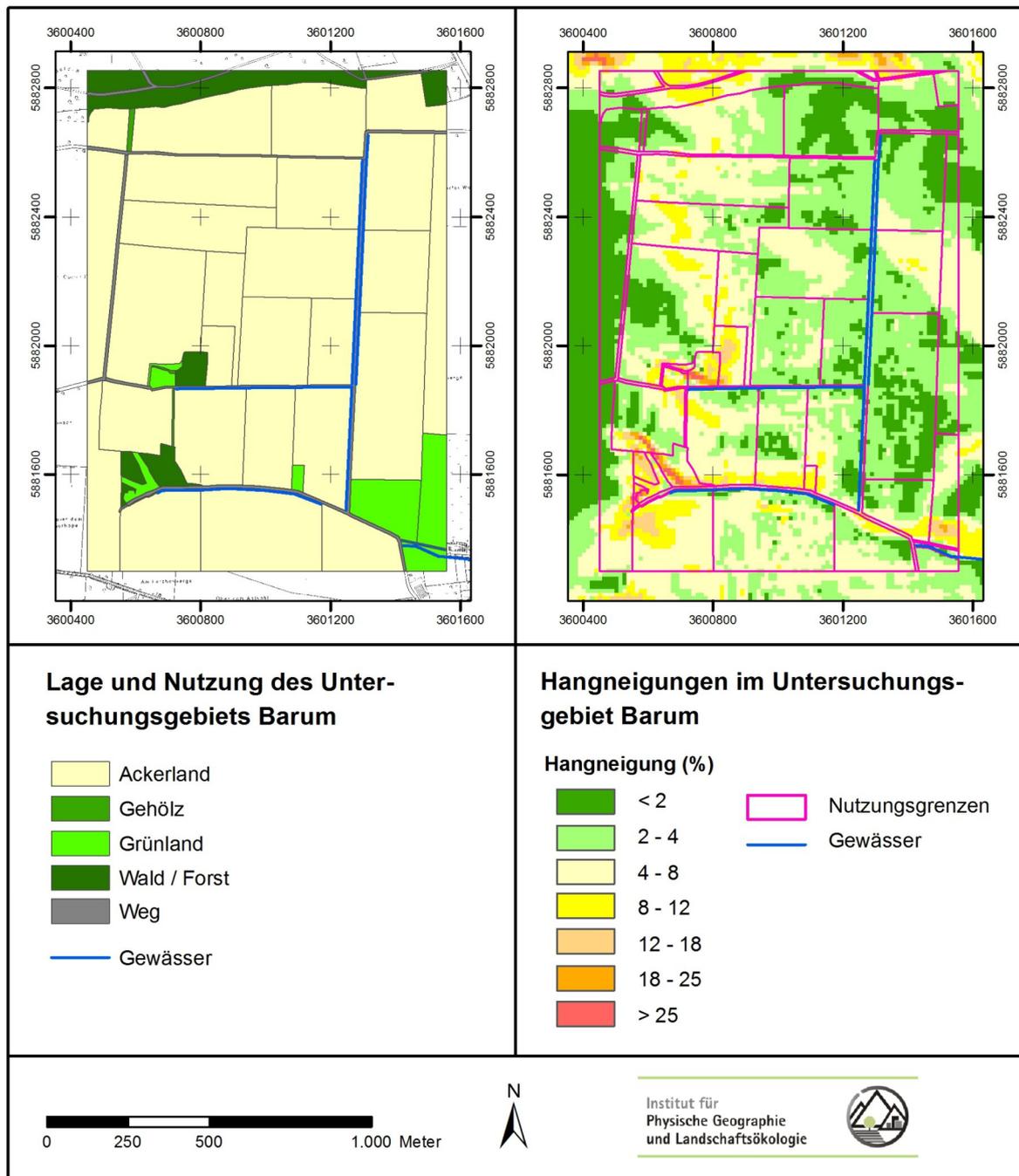
In der vorliegenden Arbeit sind die Kosten von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen, sowie deren Effizienz berechnet worden (vgl. Kap. 6 und 7). Die Ermittlung, ob die Ergebnisse dieser Berechnungen auch für andere Gebiete gültig sind, erfolgt in diesem Kapitel. Dazu wird die Methodik der vorliegenden Arbeit beispielhaft im Untersuchungsgebiet Barum im nordniedersächsischen Sandlössgebiet angewendet. Hierbei ist zu prüfen, ob andere Rahmenbedingungen (Bodenparameter, Landnutzung, Bodenbearbeitung etc.) zu Ergebnissen führen, die den Veränderungen entsprechen.

8.1 Das nordniedersächsische Gebiet Barum – Eigenschaften und Nutzung

Das Untersuchungsgebiet Barum ist Bestandteil der Bodenerosionsdauerbeobachtung in Niedersachsen (MOSIMANN ET AL. 2007) und liegt im Landkreis Uelzen, ca. fünf Kilometer südwestlich von Bad Bevensen. Es grenzt direkt nordwestlich an die Ortschaft Barum (vgl. Karte 8-1). Das Gebiet gehört, als Teileinheit des Uelzener und Bevenser Beckens, zu den Emmendorfer Moränen. Diese trennen das Uelzener und Bevenser Becken voneinander (vgl. MEIBEYER 1980). Das Relief ist durch wenige kleine, flache muldenförmige Tiefenlinien gekennzeichnet, ist aber insgesamt nur gering geneigt (vgl. Karte 8-1). Die durchschnittliche Hangneigung der Ackerflächen beträgt 4 %. Nach Norden wird das Gebiet durch das Seedorfer Holz begrenzt, nach Süden schließen sich Ackerflächen an.

Der Raum Barum gehört zum Sandlössverbreitungsgebiet, gekennzeichnet durch die Bodenart sandig-lehmiger Schluff (Uls). Laut Bodenschätzungskarte Niedersachsen (1:5.000) prägt diese Bodenart im Untersuchungsgebiet mit einer Verbreitung von ca. 85 % den obersten Bodenhorizont. Die hier vorhandene Lössdecke besteht aus Flottsanden. Es handelt sich um eine kalkarme Lössart, welche auf der Grundmoräne abgelagert wurde. Das Material wurde äolisch aus dem Talbereich der Ilmenau verfrachtet (vgl. VON DER OHE 1963). Die Mächtigkeit reicht durchschnittlich von 1 bis 2 m. Es enthält kein Geröll oder Geschiebe, die Körnung liegt zwischen 0,01 und 0,1 mm (vgl. SANDERS 2000). Die Zusammensetzung des Feinerdematerials und die Verbindung mit Abtrag fördernden Tiefenlinien bewirkt eine hohe Erosionsgefähr-

dung der vorhandenen Böden. Insbesondere die linienhafte Erosion hat im Gebiet Barum einen großen Anteil am gesamten Erosionsgeschehen (MOSIMANN ET AL. 2007).



Karte 8-1: Lage und Nutzung sowie Hangneigungen im Untersuchungsgebiet Barum.

Die Größe des betrachteten Gebiets beträgt 171 Hektar, davon werden rund 87 % ackerbau-lich genutzt, 5 % sind Dauergrünland. Die restliche Nutzung entfällt auf Gehölze, Waldflächen, Straßen und Wege sowie Gewässer (vgl. Karte 8-1). Erhebungen im Rahmen der Dauerbeobachtung (MOSIMANN ET AL. 2007) ergeben als Hauptanbaukulturen die Hackfrüchte Kartoffel und Zuckerrübe sowie Wintergetreide (Winterweizen und Wintergerste). Zu einem geringen

Anteil wird auch Winterraps angebaut; Mais ist nicht vertreten. Der Hackfruchtanteil in der Fruchtfolge kann bis zu 50 % erreichen. Die Hauptbodenbearbeitung erfolgt mit dem Pflug. Insbesondere Kartoffeln, Winterraps, Winterweizen und Wintergerste werden aktuell ausschließlich konventionell angebaut. Eine konservierende Bodenbearbeitung wird anteilig bei Zuckerrüben durchgeführt. Tabelle 8-3 im Kapitel 8.2.2 fasst die Kultur- und Bearbeitungsanteile für die Modellierung mit EROSION 3D zusammen.

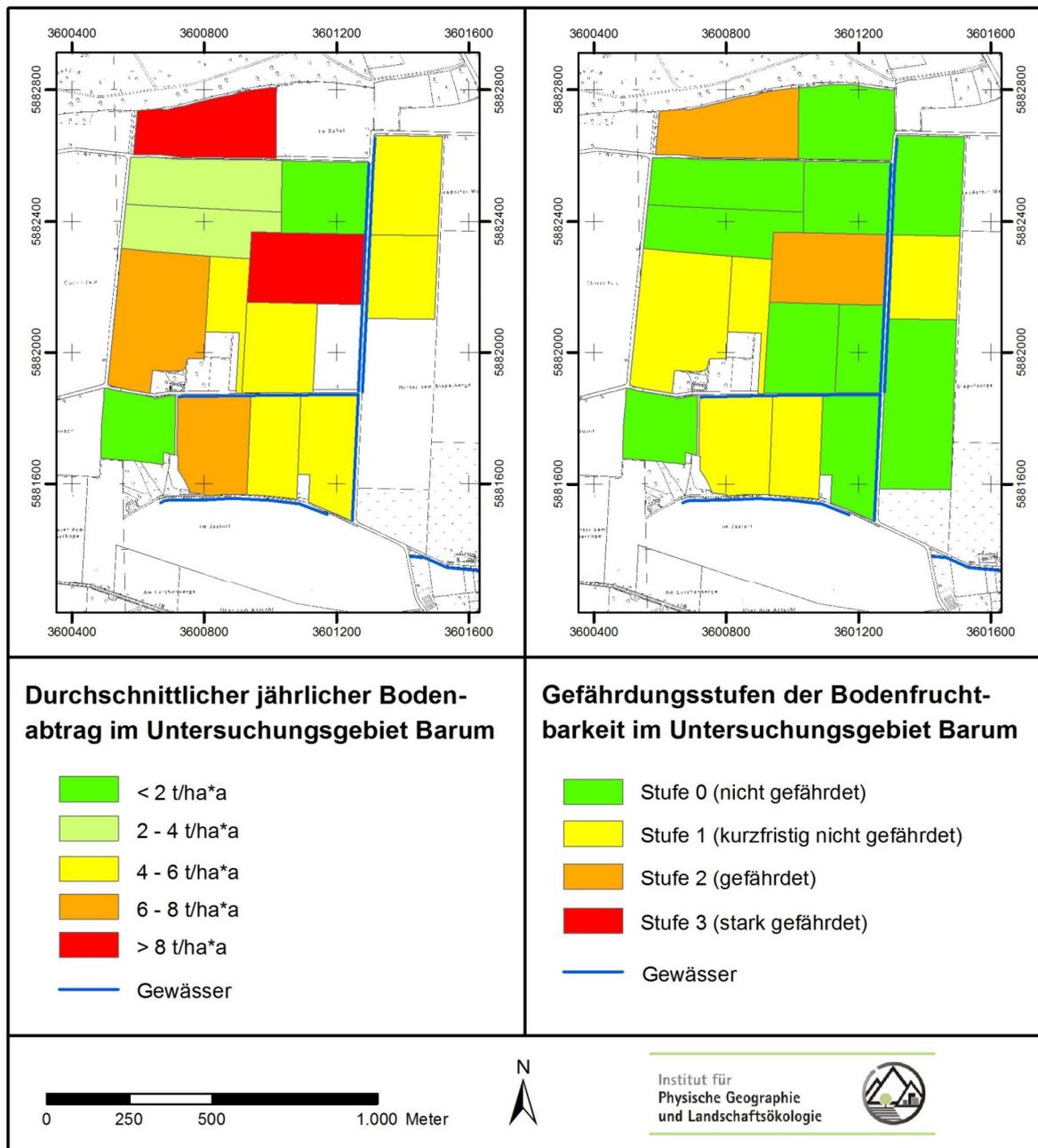
8.2 Bodenerosionsgeschehen

8.2.1 Gebietsausträge gemäß Bodenerosionsschlüssel

Der durchschnittliche jährliche Bodenabtrag liegt auf zwei Schlägen bei über 8 t/ha*a (vgl. Karte 8-2). In einem Fall führen hohe lineare Erosionsbeträge (laut Bodenerosionsschlüssel erforderlicher Zuschlag von 4 t/ha*a) zu dem hohen Gesamtabtrag. Nur 2 von 14 Schlägen erfahren keinen Zuschlag für die lineare Erosion. Im Vergleich zu den vier südniedersächsischen Teileinzugsgebieten liegt ein hohes Abtragsniveau vor. Auf knapp 75 % der Fläche werden in Barum mindestens 4 t/ha*a abgetragen, dieser Anteil liegt in Südniedersachsen bei nur 40 %. Bei Abträgen von mehr als 6 t/ha*a ist der Unterschied der Flächenanteile noch größer: Barum: 37 %, Südniedersachsen: 15 %. Insgesamt ist der Flächenanteil mit einem hohen durchschnittlichen jährlichen Bodenabtrag in Barum rund doppelt so hoch wie in Südniedersachsen (vgl. Kap. 3.1). Allerdings ist die betrachtete Gesamtfläche in Barum knapp zwölfmal kleiner (86 ha zu 1003 ha), so dass einzelne Schläge mit hohen Abträgen das Ergebnis in Barum stärker als in Südniedersachsen beeinflussen.

Durchschnittlicher jährlicher Bodenabtrag	Fläche (ha)	Flächenanteil (%)
< 2 t/ha*a	10,2	12,0
2 – 4 t/ha*a	13,0	15,0
4 - 6 t/ha*a	31,0	36,0
6 - 8 t/ha*a	16,9	20,0
> 8 t/ha*a	14,9	17,0

Tab. 8-1: Absolute und relative Flächenanteile unterschiedlich hoher Abtragsstufen im Untersuchungsgebiet Barum.



Karte 8-2: Durchschnittlicher jährlicher Bodenabtrag und Gefährdungsstufen der Bodenfruchtbarkeit im Untersuchungsgebiet Barum.

Bei der Einschätzung der Gefährdungsstufen der Bodenfruchtbarkeit ergibt sich ein ebenso positives Bild wie in Südniedersachsen (vgl. Karte 8-2). In Barum besitzen alle Schläge große Bodenmächtigkeiten von mindestens 100 cm. Daher wird, trotz Bodenabträgen von 5 t/ha*a, auf fast 60 % der Schläge die Gefährdungsstufe 0 erreicht (vgl. Tab. 8-2). In Barum sind 86 % der betrachteten Ackerflächen nicht oder kurzfristig nicht gefährdet. Wegen geringerer Anteile linearer Erosion, Hackfrüchten und konventioneller Bodenbearbeitung steigt dieser Anteil in Südniedersachsen auf 98 %. In Barum werden zwei Schläge als gefährdet eingestuft. Dort

werden zu 50 % Hackfrüchte angebaut und die konventionelle Bodenbearbeitung hat einen Anteil von bis zu 75 %. Beide Faktoren und lange Fließstrecken führen zur Einordnung in die Stufe 2. In Südniedersachsen werden mit acht Schlägen deutlich mehr in die Stufe 2 eingeordnet, diese Schläge entsprechen allerdings nur einem Flächenanteil von 2 %.

Gefährdungsstufe der Bodenfruchtbarkeit	Fläche (ha)	Flächenanteil (%)
Stufe 0 (nicht gefährdet)	62,1	58,0
Stufe 1 (kurzfristig nicht gefährdet)	30,0	28,0
Stufe 2 (gefährdet)	14,9	14,0
Stufe 3 (stark gefährdet)	0,0	0,0

Tab. 8-2: Absolute und relative Flächenanteile der Gefährdungsstufen der Bodenfruchtbarkeit im Untersuchungsgebiet Barum.

8.2.2 Mit EROSION 3D ermittelte Gebietsausträge

Im Gebiet Barum sind mit EROSION 3D neben dem IST-Zustand drei weitere Szenarien modelliert worden: „zunehmend konservierend“ (Szenario 1), „vollständig konservierend“ (Szenario 2) und „vollständig konservierend außer Kartoffeln“ (Szenario 3). Im Vergleich zum IST-Zustand wird in Szenario 1 der Anteil konservierender Bearbeitung um 50 % gesteigert. Zur realitätsnahen Umsetzung wurde in diesem Szenario auf die Steigerung der konservierenden Bearbeitung bei Wintergerste verzichtet. Entsprechend werden Winterweizen, Winterraps und Kartoffeln zu 50 % und Zuckerüben zu 75 % konservierend bearbeitet (vgl. Tab. 8-3). Im zweiten Szenario werden alle Kulturen vollständig konservierend angebaut. Gleiches trifft für Szenario 3 zu, lediglich die Kartoffeln verbleiben hier bei der konventionellen Bodenbearbeitung. Tabelle 8-3 zeigt für jedes Szenario die Kulturanteile mit ihren jeweiligen Bearbeitungsformen. Die Verteilung der Kulturen auf die Schläge im Gebiet Barum erfolgte zufällig. Wegen der Bindung an die Größe eines Schlages sind die Flächenanteile, bei je zur Hälfte konservierender und konventioneller Bearbeitung, nicht genau gleich groß.

Kultur	Bodenbearbeitung	Flächenanteile der Kulturen (%)			
		IST-Zustand	Szenario 1 Zunehmend konservierend	Szenario 2 Vollständig konservierend	Szenario 3 Vollständig konservierend, außer Kartoffeln
Zuckerrüben	Konservierend	10,0	14,2	20,0	20,0
	Konventionell	10,0	5,7	--	--
Winterweizen	Konservierend	--	19,8	39,5	39,5
	Konventionell	39,5	19,6	--	--
Wintergerste	Konservierend	--	--	14,9	14,9
	Konventionell	14,9	14,9	--	--
Kartoffeln	Konservierend	--	8,6	15,7	--
	Konventionell	15,7	7,2	--	15,7
Winterrapsp	Konservierend	--	5,0	10,0	10,0
	Konventionell	10,0	5,0	--	--

Tab. 8-3: Flächenanteile der Kulturen aller vier Szenarien im Gebiet Barum, getrennt nach der Bodenbearbeitung. Die Farbhinterlegung dient der Übersichtlichkeit.

Entsprechend den Verteilungen von Kultur- und Bearbeitungsformen ergeben sich unterschiedliche Gebietsausträge. Die höchsten Austragswerte erreicht die aktuelle Nutzung im IST-Zustand, mit zunehmend konservierender Bodenbearbeitung sinken die Werte. Szenario 2 („vollständig konservierend“) erreicht eine Abnahme um rund 40 %. Abbildung 8-1 zeigt die relativen Gebietsausträge aller drei Szenarien im Vergleich zum IST-Zustand (= 100 %). Für das Niederschlagsereignis wurde eine Wiederkehrwahrscheinlichkeit von zehn Jahren ausgewählt (10a-Ereignis). Laut KOSTRA-DWD (ITWH 2005) hat dieses Ereignis eine Niederschlagshöhe von 29,3 mm. Damit ist eine Vergleichbarkeit zu den Modellierungen in Südniedersachsen gegeben. Aufgrund der Modellunschärfen, und um die Vergleichbarkeit mit den Modellierungsergebnissen der vier Teileinzugsgebiete in Südniedersachsen zu gewährleisten, werden wie in Kapitel 3.2.3 relative Werte verglichen.

Abbildung 8-1 verdeutlicht, dass ein zunehmend konservierender Bearbeitungsanteil zu deutlich geringeren Gebietsausträgen führt. Die Zunahme der konservierenden Bearbeitung um 50 % senkt den Austrag um 15 % ab (Szenario 1). Eine Austragsabnahme um mindestens 40 % ist nur mit vollständig konservierender Bodenbearbeitung zu erreichen (Szenario 2). Werden

nur die schlecht pfluglos zu bearbeitenden Kartoffeln konventionell angebaut, sinkt der Aus-
trag um 30 % (Szenario 3).

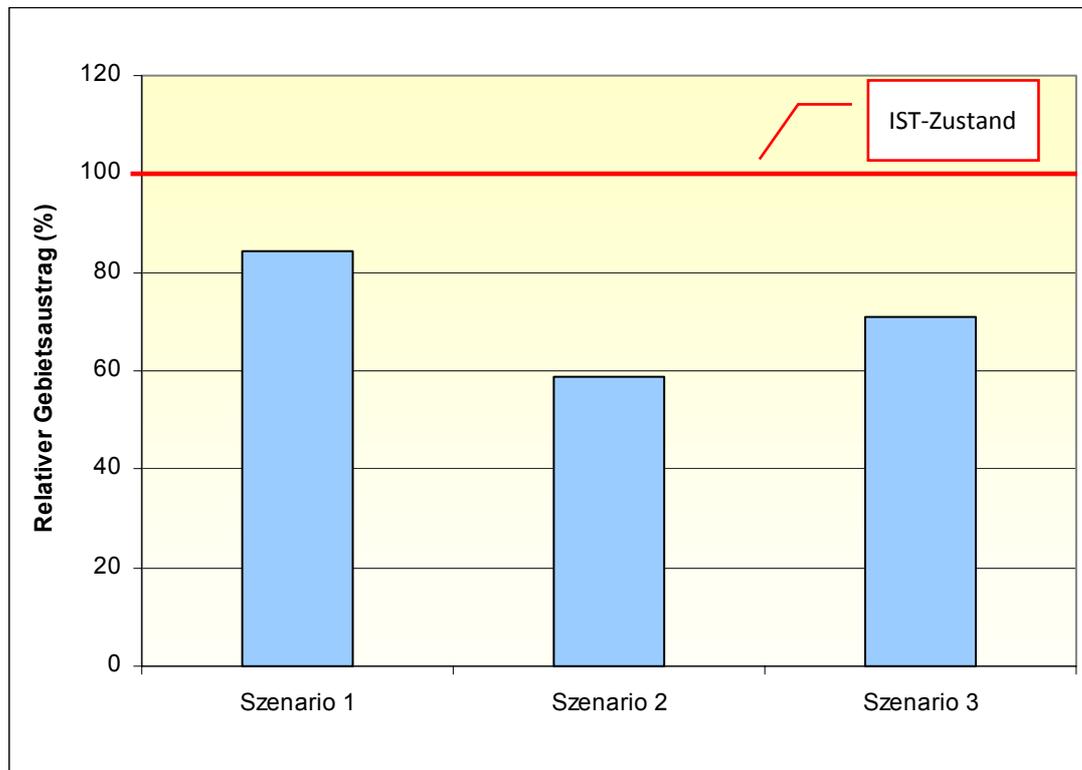


Abb. 8-1: Vergleich der relativen Gebietsausträge von drei Szenarien zum IST-Zustand (= 100 %) im Untersuchungsgebiet Barum.

Zur Charakterisierung des Modellierungsgebiets und des simulierten Gebietsaustrags (IST-Zustand) werden drei Kriterien betrachtet: der Anteil konservierender Bearbeitung (inkl. Dauergrünland), der Anteil Hackfrüchte in der Fruchtfolge und die durchschnittliche Hangneigung der Ackerflächen. Tabelle 8-4 zeigt die Werte der Kriterien im Vergleich mit den vier Teileinzugsgebieten in Südniedersachsen.

Kriterium	Anteil bzw. Wert	
	Barum	Durchschnitt der 4 Teileinzugsgebiete
Anteil der konservierenden Bodenbearbeitung (inkl. Dauergrünland) (%)	14,0	63,0
Anteil der Hackfrüchte (%)	35,0	24,0
Durchschnittliche Hangneigung der Ackerflächen (%)	4,0	6,2

Tab. 8-4: Vergleich von Nutzungs- und Reliefparametern des Untersuchungsgebiets Barum und der vier Teileinzugsgebiete (vgl. Abb. 3-5).

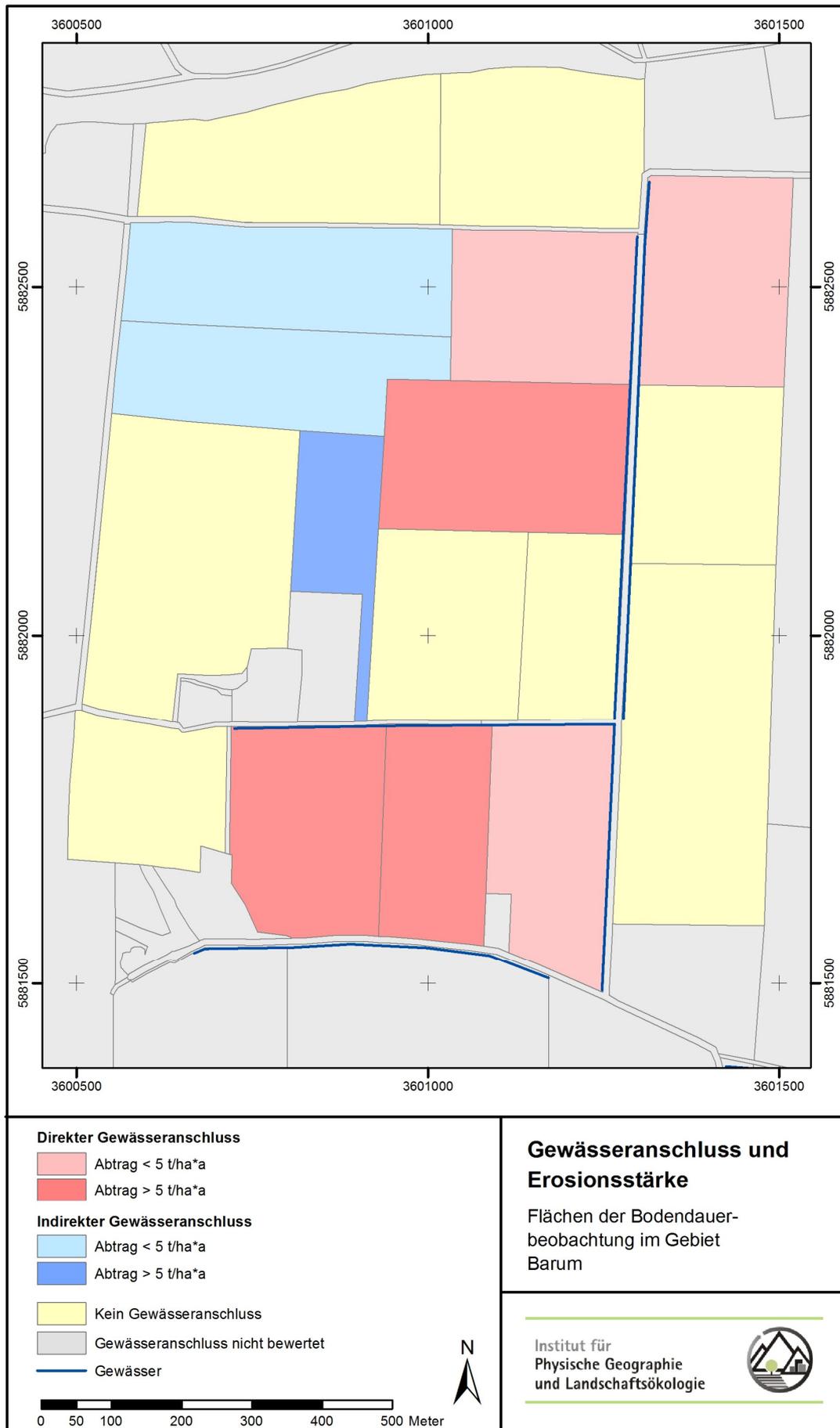
Im Vergleich zu Südniedersachsen ist das Gebiet Barum durch einen höheren Hackfruchtanteil (35 % gegenüber 24 %) und die deutlich seltener durchgeführte konservierende Bodenbearbeitung (14 % gegenüber 63 %) gekennzeichnet (vgl. Tab. 8-4). Beide Faktoren führen bei der Betrachtung eines gleich starken Niederschlagsereignisses in Barum zu 10-20 % höheren Gebietsausträgen als in Südniedersachsen. Nur die in Barum um ein Drittel geringere durchschnittliche Hangneigung der Ackerflächen (4,0 % zu 6,2 % in Südniedersachsen) kompensiert einen noch deutlich höheren Anstieg der Gebietsausträge als 10-20 %.

8.3 Gewässeranschlusssituation in Barum

Karte 8-3 zeigt die Gewässeranschlusssituation in Barum. Die Hälfte aller Flächen ist nicht an ein Gewässer angeschlossen. Das hat mehrere Gründe: eine oft geringe Hangneigung, die häufige Präsenz von Sedimentationsflächen und ein nur gering ausgeprägtes Gewässernetz. Insbesondere Sedimentationsflächen, also Bereiche mit Hangneigungen < 2 %, die direkt an ein Gewässer angrenzen, ermöglichen die Ablagerung des erodierten Bodenmaterials vor dem Übertritt in ein Gewässer. Dieser Gewässerschutz wirkt meistens für einen, zum Teil aber auch für mehrere Schläge (vgl. Karten 8-1 und 8-3).

Zu den direkt angeschlossenen Flächen kommen drei Schläge mit indirektem Gewässeranschluss. Einer von ihnen besitzt hohe Abträge von mehr als 5 t/ha*a, eine leicht ausgeprägte Tiefenlinie wirkt Abfluss fördernd und Sedimentationsräume fehlen. In diesem Fall führt also ein Schlag „aus der zweiten Reihe“ zu einem Eintrag von Bodenmaterial in das Gewässer (vgl. Karte 8-3).

Insgesamt erfolgt die Gewässerbelastung in Barum nicht wie in Südniedersachsen von zu meist vielen Schlägen mit durchschnittlicher Eintragsintensität, sondern durch wenige Schläge mit hoher Intensität (vgl. Karte 8-3). Diese Situation korrespondiert stark mit dem Auftreten der linearen Erosion im Untersuchungsgebiet. Der Gewässereintrag wird in Barum also hauptsächlich durch die lineare Erosion hervorgerufen.



Karte 8-3: Gewässeranschluss und Erosionsstärke im Untersuchungsgebiet Barum.

8.4 Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz

Für das Untersuchungsgebiet Barum werden insgesamt 17 Schläge mit 107 ha Fläche auf einen Maßnahmenbedarf hin überprüft. Grundlagen zur Maßnahmenplanung sind in Kapitel 2.2 und in Kapitel 5 erläutert. Im Folgenden werden die erforderlichen Maßnahmen für Minimal- und Maximalziel geschildert.

8.4.1 Maßnahmen im Minimalziel (vgl. Karte A13)

Abbildung 8-2 verdeutlicht, dass mehr als 60 % der Fläche im Minimalziel maßnahmenfrei bleibt. Auf etwa einem Drittel (6 Schläge) sind Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz erforderlich. Als Maßnahme ist dabei zumeist die Mulchsaat, entweder zu weitreihigen Sommerfrüchten oder in der gesamten Fruchtfolge, notwendig. Zwei Schläge müssen geteilt werden um die Abflusslänge und damit den Abtrag zu minimieren. Auf einem Schlag ist eine Bodenschutzmaßnahme erforderlich.

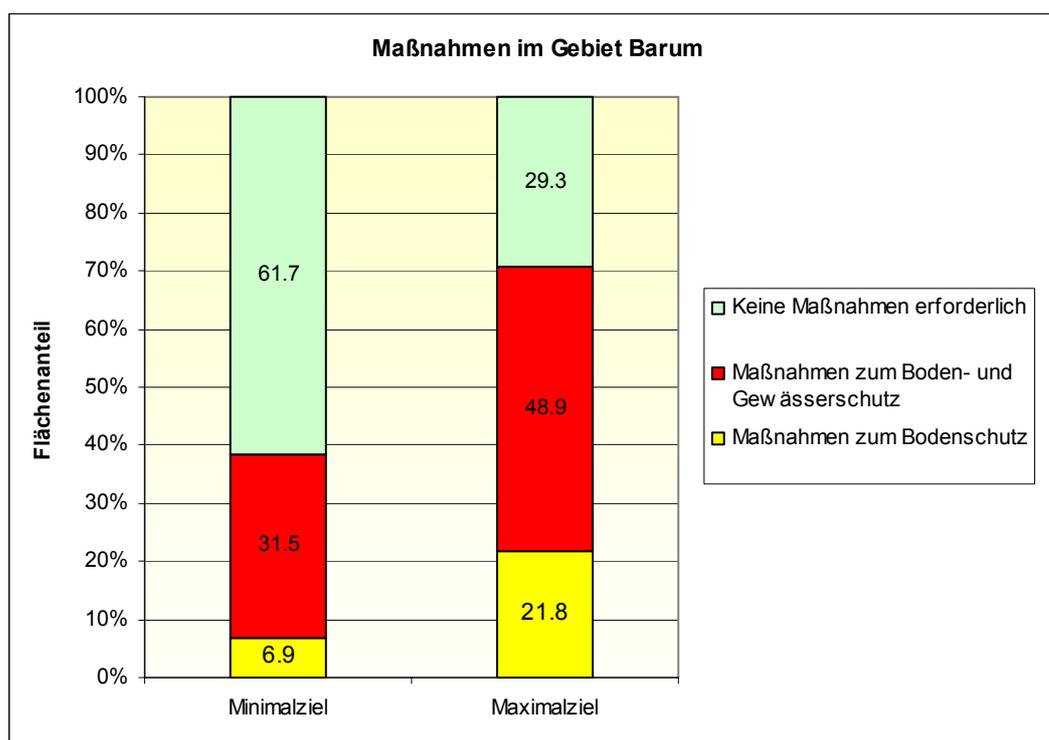


Abb. 8-2: Anteil der Flächen im Gebiet Barum mit notwendigen Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz und zum Bodenschutz allein.

Karte A13 (im Anhang) erläutert schlaggenau wo Maßnahmen im Minimalziel erforderlich sind. Verbunden mit der zur Karte A13 gehörenden Tabelle (ebenfalls im Anhang) sind die

Maßnahmen, bzw. das Kriterium warum keine Maßnahmen erforderlich sind, für jeden betrachteten Schlag aufgeführt.

8.4.2 Maßnahmen im Maximalziel (vgl. Karte A14)

Die schlaggenauen Maßnahmen des Maximalziels zeigt Anhang-Karte A14. Auf Grund der Zielvorgabe sinkt der Anteil mit maßnahmefreien Flächen von 62 % im Minimalziel auf 29 % ab. Auf knapp der Hälfte der Flächen (9 Schläge) sind Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz notwendig (vgl. Abb. 8-2). Laut Karte A14 sind Mulchsaat zu weitreihigen Sommerfrüchten und standortangepasste Fruchtfolgen als Schutzmaßnahmen nötig. Als intensivste Maßnahme wird in Barum der Ersatz von Hackfrüchten wie Kartoffeln oder Zuckerrüben durch Getreide oder Winterraps notwendig. Rotationsbrachen oder die Stilllegung, wie in den südniedersächsischen Teileinzugsgebieten oft vorkommend (vgl. Karten A1 bis A12), sind in Barum auch im Maximalziel nicht erforderlich. Die Schutzwirkung einer standortidealen Fruchtfolge (inkl. Bodenbearbeitung) ist ausreichend.

Für drei Schläge mit einem Flächenanteil von rund 22 % sind jeweils Bodenschutzmaßnahmen nötig. In allen drei Fällen müssen die weitreihigen Sommerfrüchte konservierend angebaut werden (vgl. Abb. 8-2 und Karte A14).

8.5 Kosten der Maßnahmenvorschläge

Die Kosten der in Kapitel 8.4 vorgeschlagenen Maßnahmen werden über die Richtwert-Deckungsbeiträge (RDB) berechnet. Grundlegende Schritte der Berechnung sind in Kapitel 2.3 erläutert, die Ergebnisse der Berechnung für die vier Teileinzugsgebiete in Südniedersachsen werden in Kapitel 6 dargestellt. Tabelle 8-5 nennt kulturabhängig die im Gebiet Barum zu erwartenden durchschnittlichen Erträge und deren RDB pro Hektar. Auf dieser Grundlage können die Maßnahmenkosten sowohl für schlaggenaue Maßnahmen auf Basis des Boden-erosionsschlüssels (Kap. 8.5.1), als auch für gebietsbezogene Maßnahmen auf Basis der Modellierungen mit EROSION 3D (Kap. 8.5.2) ermittelt werden.

Kultur	Bodenbearbeitung	Ertrag (dt/ha)	RDB (€/ha*a)
Zuckerrübe	Konventionell	600	949,48
	Konservierend	600	980,04
Blattfruchtweizen	Konventionell	80	830,91
	Konservierend	80	861,11
Stoppelweizen	Konventionell	70	679,28
	Konservierend	60	533,71
Wintergerste	Konventionell	60	491,13
	Konservierend	50	365,25
Kartoffeln	Konventionell	450	3640,73
	Konservierend	400	3129,29
Winterraps	Konventionell	30	243,86
	Konservierend	30	274,06

Tab. 8-5: Auszug der Richtwert-Deckungsbeiträge 2007 der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK 2007) für das Gebiet Barum. Die im Gebiet vorkommenden Kulturen werden bezüglich ihrer Bearbeitung in „konventionell“ (Pflug) und „konservierend“ (pfluglos) unterschieden. Die Farbhinterlegung dient der Übersichtlichkeit.

8.5.1 Kostenermittlung schlaggenauer Maßnahmen

◆ Aufwand zum Erreichen des Minimalziels

Im Minimalziel finden auf sieben von 17 Schlägen Maßnahmen statt (38 % der Fläche). Auf Schlag 1011 wird eine Bodenschutzmaßnahme durchgeführt, alle weiteren Schläge erfahren Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz (vgl. Karten A13 und A14). Tabelle A8 listet die Maßnahmenkosten schlaggenau auf. Bezogen auf die Gesamtfläche aller 17 Schläge mit 107 ha treten Gesamtkosten von 22,33 €/ha*a auf (vgl. Tab. 8-6). Der Kostenanteil liegt bei nur 1,3 % des auf den Maßnahmeflächen erwirtschafteten RDB. Dieser Anteil liegt in der gleichen Größenordnung wie für die Teileinzugsgebiete Eddinghausen, Brüggen und Hönze berechnet (vgl. Tab. 6-1). Die Kosten sind absolut betrachtet etwas höher, in Südniedersachsen liegen sie zwischen 10 und 19 €/ha*a. Trotzdem sind sie, gerade auch auf Grund des geringeren relativen Anteils (nur 1,3 % statt \varnothing 1.7 %), ebenso betriebswirtschaftlich umsetzbar wie in

Südniedersachsen. Der größte Kostenfaktor ist die konservierende Bearbeitung von Kartoffeln. Hier sinkt der RDB im Vergleich zum heute üblichen Bearbeitungsverfahren mit dem Pflug stark ab (vgl. Tab. A8).

◆ Aufwand zum Erreichen des Maximalziels

Der Flächenanteil mit Maßnahmen steigt im Maximalziel auf 71 % an; auf 12 von 17 Schlägen werden Maßnahmen durchgeführt. Drei Schläge erhalten ausschließlich Bodenschutzmaßnahmen (1011, 1051 und 1102), alle weiteren Maßnahmen dienen auch dem Gewässerschutz. Die Kosten steigen im Vergleich zum Minimalziel fast um das Zehnfache an, sie betragen mit Bezug auf die Gesamtfläche 212,35 €/ha*a. Ihr Anteil liegt bei gut 7 % der auf den Maßnahmenflächen erwirtschafteten RDB (vgl. Tab. 8-6). Damit sind sie absolut betrachtet um ca. 60 €/ha*a höher als in den südniedersächsischen Teileinzugsgebieten. Relativ gesehen ist ihr Anteil allerdings geringer (7,2 % statt Ø 12,7 %). Die Umsetzungskosten der Maßnahmen sind beim Maximalziel von den Betrieben vermutlich nicht mehr tragbar. Die relativen Kosten sind zwar deutlich geringer als in Südniedersachsen, aber mit rund 7 % des Gesamt-RDB der Maßnahmenflächen zu hoch um durch betriebseigene Mittel finanziert zu werden.

Gebiet	Ziel	Durchgeführte Maßnahmen	Anteil der Fläche mit Maßnahmen an der Betriebsfläche im Gebiet (%)	Veränderung des RDB (€/ha*a)		Anteil der Aufwendungen am RDB der von Maßnahmen betroffenen Flächen (%)
				für die Schlagflächen mit Maßnahmen	für die gesamte bewirtschaftete Fläche (mit maßnahmenfreien Flächen)	
Barum	Minimal	Mulchsaat, Schlagteilung	38,4	-87,95	-22,33	1,3
	Maximal	Mulchsaat, Fruchtwechsel	70,7	-300,55	-212,35	7,2

Tab. 8-6: Übersicht der Veränderungen der Richtwert-Deckungsbeiträge im Gebiet Barum. Die Kosten des Bodenschutzes allein wurden nicht extra ausgewiesen, da selbst beim Maximalziel nur 3 von 17 Schlägen betroffen sind. RDB = Richtwert-Deckungsbeitrag. Der Anteil der Maßnahmekosten (1. Spalte von rechts) ist auf die Summe der auf den Maßnahmenflächen erwirtschafteten RDB bezogen.

Besonders kostenintensiv sind auch im Maximalziel der konservierende Kartoffelanbau und die Umstellung von Hackfrucht auf Getreide: von Kartoffeln/Zuckerrüben auf Wintergerste/Winterweizen (vgl. Tab. A9). Die Umstellung von Zuckerrübe auf Blattfruchtweizen ist dabei nahezu kostendeckend, da die RDB beider Kulturen nur geringe Unterschiede aufweisen (vgl. Tab. 8-5).

8.5.2 Kostenermittlung gebietsbezogener Nutzungsänderungen

Mit EROSION 3D werden der IST-Zustand und drei Szenarien modelliert: „zunehmend konservierend“, „vollständig konservierend“ und „vollständig konservierend, außer Kartoffeln“ (vgl. Kap. 8.2.2). Jedes Szenario wird anhand seiner Kulturanteile (vgl. Tab. 8-3) und deren RDB (vgl. Tab. 8-5) monetär bewertet. Tabelle A10 im Anhang weist die RDB der einzelnen Kulturen für jedes Szenario aus. Dabei zeigt sich eine nur relativ geringe Veränderung der RDB. Bei vollständig konservierendem Anbau sinken sie um bis zu 7,1 % ab (vgl. Abb. 8-3).

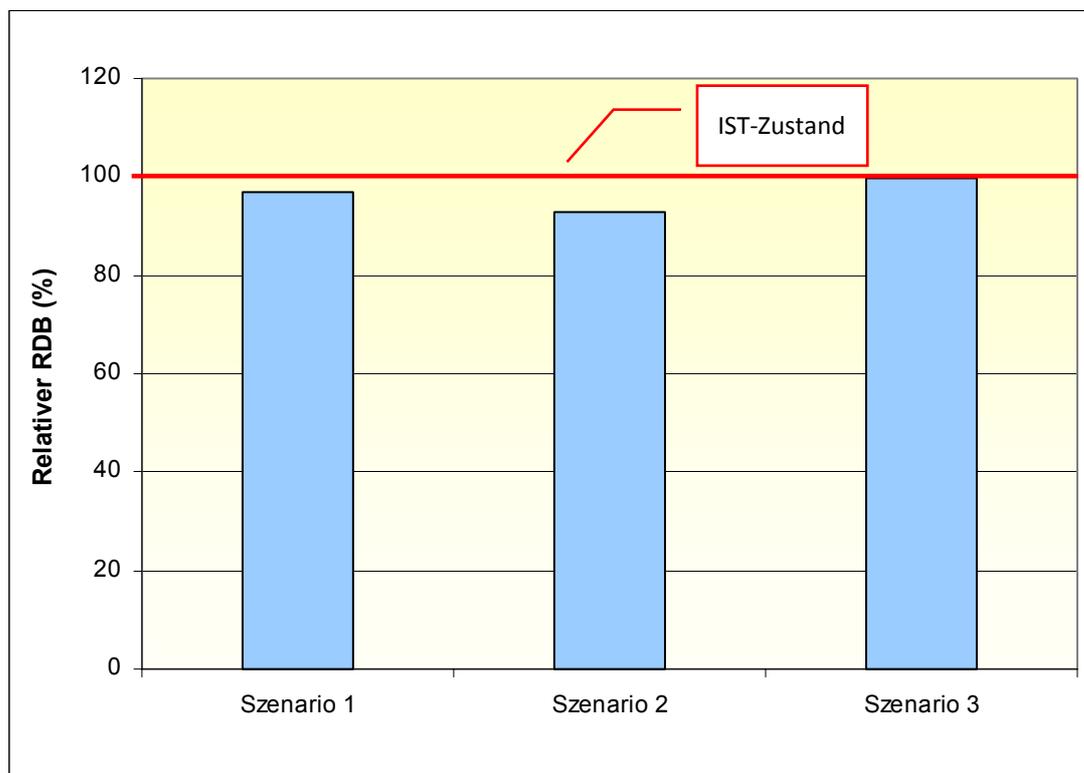


Abb. 8-3: Szenariengebundene Veränderung der Richtwert-Deckungsbeiträge (RDB) im Gebiet Barum. Der RDB des IST-Zustands beträgt 100 % (rot eingezeichnet).

In den Teileinzugsgebieten Eddinghausen, Brüggen Nord und Süd sowie Hönze wurden zwei Szenarien mit dem dortigen IST-Zustand verglichen: IST-konservierend und das Positiv-Szenario (optimale, zukünftige Mais-Fruchtfolge) (vgl. Kap. 6.2). Ein ähnlicher Szenarienvergleich ist in Barum mit dem Szenario 2 („vollständig konservierend“) und dem Szenario 3 („optimale Kartoffel-Fruchtfolge“) möglich. Sowohl in Barum als auch in Südniedersachsen entstehen, neben einer deutlichen Abnahme des Gebietsaustrags, nur geringe Kosten bzw. sogar Gewinne (vgl. Tab. 6-2, 6-3 und Abb. 8-3).

◆ IST-Zustand versus Szenario 2 („vollständig konservierend“)

Bei diesem Vergleich geht ein sinkender Gebietsaustrag mit einem geringeren RDB einher. Laut Abbildung 8-1 sinkt der Austrag um 41 %, absolut ausgedrückt nimmt er um 21 t/ha ab. Auch der RDB sinkt um 7,1 % (vgl. Abb. 8-3); absolut gesehen sinkt er pro Hektar um 83,40 €. Die Kosten sind damit im Vergleich zum Maximalziel (212 €/ha*a) um 60 % geringer. Trotzdem dürften sie die betriebswirtschaftlichen Möglichkeiten der Einzelbetriebe überschreiten.

Bei der Betrachtung von RDB einzelner Kulturen innerhalb der Szenarien (Tab. A10) fällt der deutlich geringere RDB von konservierend angebaute Wintergerste (WG) und Kartoffeln (KAR) auf. Sie sinken um etwa 14 % (KAR) und 26 % (WG). Alle weiteren Kulturen verzeichnen durch den konservierenden Anbau höhere RDB. An diesem Punkt knüpft das Szenario 3 an.

◆ IST-Zustand versus Szenario 3 („vollständig konservierend, außer Kartoffeln“)

Die konservierende Bodenbearbeitung beim Kartoffelanbau wird zurzeit erprobt (SPIESS ET AL. 1999 und LFL 2006, Internetquelle), ist jedoch keinesfalls der aktuelle Standard beim Kartoffelanbau. Fortschreitende Entwicklungen in der Anbautechnik werden laut DÖRING ET AL. (2005) erst mittelfristig zu einer Verbreitung des konservierenden Kartoffelanbaus beitragen. Demzufolge wurde das Szenario 3 konzipiert, bei dem der Boden beim Kartoffelanbau weiterhin konventionell bearbeitet wird. Dies führt zu einer etwas geringeren Reduktion des Gebietsaustrags um 29 % (-15 t/ha*a) (vgl. Abb. 8-1). Der RDB bleibt im Vergleich zum IST-Zustand nahezu konstant, er verzeichnet einen Verlust von lediglich 0,2 % (-2,88 €/ha) (vgl. Abb. 8-3). Eine Steigerung des RDB, wie sie teilweise in Südniedersachsen durch die konservierende Bodenbearbeitung erreicht wird, ist hier nicht möglich. Grund dafür ist der hohe Wintergersteanteil in der Fruchtfolge (15 %). Konservierend angebaute Gerste ist mit sinkenden RDB verbunden (vgl. Tab. 2-3 und Tab. 8-5).

Szenario 3 bietet, mit Kosten von nur einem Zehntel des Minimalziels, einen guten Kompromiss zwischen betriebswirtschaftlich umsetzbaren Maßnahmen und einem hohen Boden- und Gewässerschutz.

8.6 Effizienz der Maßnahmen im Gebiet Barum

Im Minimalziel werden im Gebiet Barum auf einem Schlag Bodenschutzmaßnahmen und auf sechs Schlägen Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz durchgeführt (vgl. Karte A13). 43 % der durchgeführten Maßnahmen sind effizient (vgl. Tab. 8-7), damit liegt die Quote etwas höher als in den südniedersächsischen Teileinzugsgebieten (Ø 33 % effizient).

Schlag-Nr.	Fläche (ha)	Abtrag (t/ha*a)	Minimalziel (Abtrag <4 bzw. <2 t/ha*a, Stufe 1)			Maximalziel (Abtrag <2 bzw. <1 t/ha*a, Stufe 0)		
			Abtragsreduktion (t/ha*a)	Kosten (€/ha*a)	Effizienz (€): „-1 t/ha*a kostet“	Abtragsreduktion (t/ha*a)	Kosten (€/ha*a)	Effizienz (€): „-1 t/ha*a kostet“
1011	7,4	9,6	1,6	120,31	75,19	4,6	120,31	26,15
1052	3,1	5,7	1,7	105,21	61,89	3,7	796,22	215,19
1091	6,3	6,4	4,4	31,89	7,25	5,4	267,22	49,49
1092	4,7	5,4	3,4	31,89	9,38	4,4	267,22	60,73
1093	5,8	4,5	2,5	31,89	12,76	3,5	267,22	76,35
1061	7,5	8,5	6,5	45,03	6,93	7,5	995,37	132,72
1101	6,3	4,9	2,9	47,48	16,37	3,9	811,32	208,03
1031	6,9	3,9	Keine Maßnahmen beim Minimalziel erforderlich			1,9	-10,07	-5,30
1032	6,0	3,8				1,8	-10,07	-5,59
1041	5,7	1,3				0,3	-10,07	-33,56
1051	10,6	6,2				1,2	170,48	142,07
1102	5,3	5,9				0,9	127,86	142,07
Median						2,90	45,03	
Arithm. Mittel			3,30	59,10		3,30	316,08	
Stabw.			1,72	37,48		2,11	351,42	

Tab. 8-7: Effizienz der Schutzmaßnahmen bei Minimal- und Maximalziel im Gebiet Barum. Negative Kosten = Gewinn. Rote Schrift = Kosten oberhalb und Abtragsreduktion unterhalb des Medians. Grüne Schrift = Kosten unterhalb und Abtragsreduktion oberhalb des Medians. Grün hinterlegt = Maßnahme effizient, rot hinterlegt = Maßnahme ineffizient. Stabw. = Standardabweichung.

Im Maximalziel sind in Barum auf drei Schlägen Bodenschutzmaßnahmen und neunmal Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen nötig (vgl. Karte A14). Hier ist bei 33 % der Maßnahmen die Durchführung effizient (vgl. Tab. 8-7); im Vergleich zu Südniedersachsen (\varnothing 44 %) eine etwas schlechtere Quote. In Barum führt der Verzicht auf Hackfrüchte (vor allem Kartoffeln) zu hohen Kosten und somit vergleichsweise weniger oft zu effizienten Maßnahmen.

Im Gebiet Barum tritt im Maximalziel, ebenso wie im Teileinzugsgebiet Hönze die Besonderheit auf, dass durch einzelne Maßnahmen keine Kosten sondern Gewinne entstehen (vgl. Abb. 7-7 und 8-5). Auch wenn die Gewinne mit Abtragsreduktionen unterhalb des Medians einhergehen, werden diese Maßnahmen insgesamt als effizient bewertet. Bemerkenswert ist, dass in Barum selbst beim Maximalziel keine Rotationsbrachen oder Stilllegungen erforderlich sind, welche weitaus höhere Kosten verursachen würden.

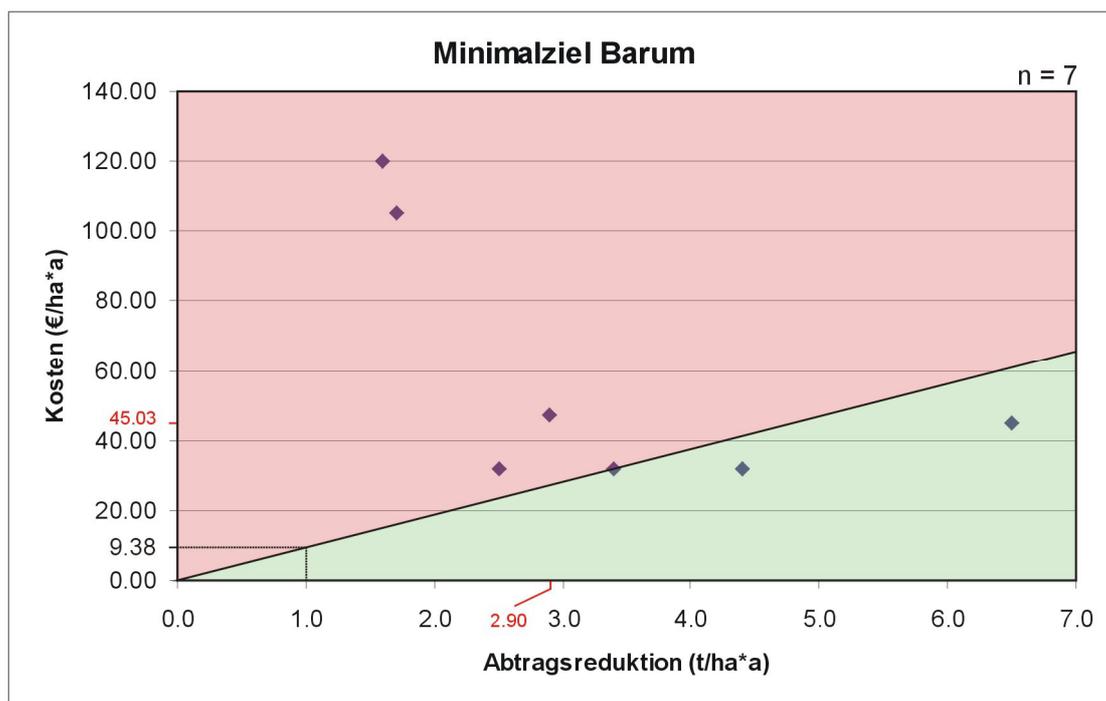


Abb. 8-4: Effizienz von Schutzmaßnahmen im Minimalziel, Untersuchungsgebiet Barum. Drei Maßnahmen im grün gekennzeichneten Bereich sind auf Grund der hohen Abtragsreduktion und der geringen Kosten effizient. Die Mediane sind in roter Schrift angegeben.

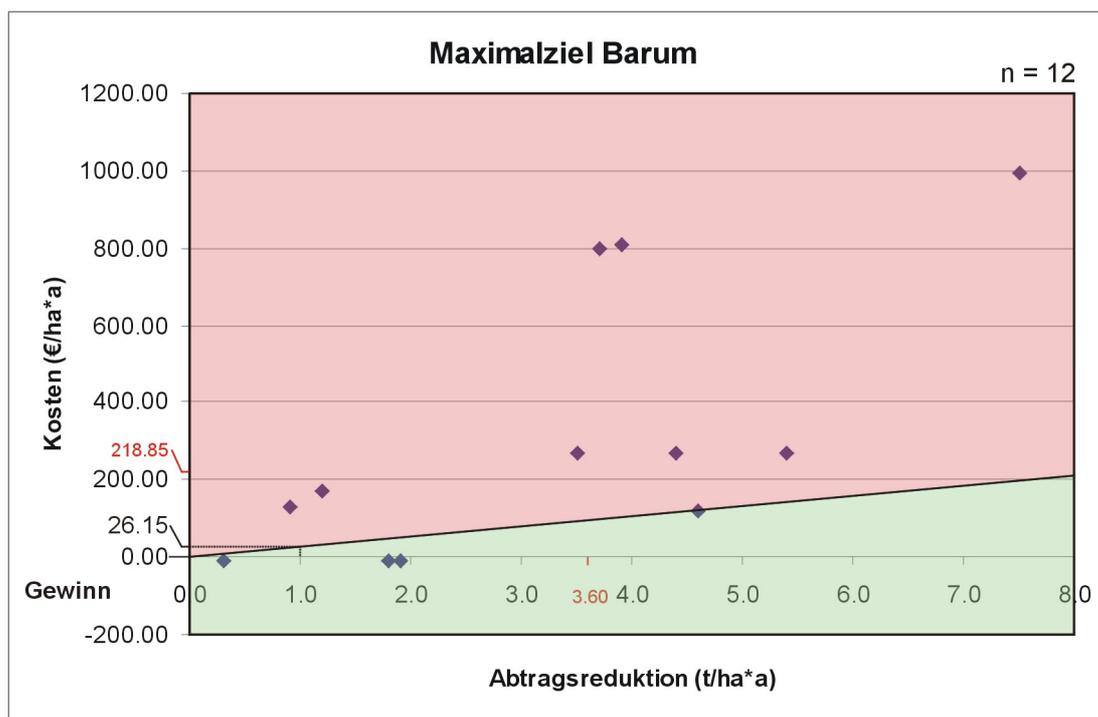


Abb. 8-5: Effizienz von Schutzmaßnahmen im Maximalziel, Untersuchungsgebiet Barum. Vier Maßnahmen im grün gekennzeichneten Bereich sind auf Grund der hohen Abtragsreduktion und der geringen Kosten bzw. der Gewinne effizient. Die Mediane sind in roter Schrift angegeben.

Im Gebiet Barum werden insgesamt vier Schutzmaßnahmen zum Erreichen von Minimal- und Maximalziel angewendet: die Mulchsaat zu weitreihigen Sommerfrüchten und in der gesamten Fruchtfolge, die Schlagteilung sowie der vollständige Verzicht auf Hackfrüchte. Tabelle 8-8 zeigt wie oft diese Maßnahmen angewendet werden und wie hoch die jeweilige Effizienzrate, also der effiziente Anteil an der Gesamthäufigkeit, ist.

Maßnahme	Anwendungshäufigkeit	Anzahl effizient	Anzahl ineffizient	Effizienzrate (effizienter Anteil an der Häufigkeit)	Klasse
Mulchsaat zu weitreihigen Sommerfrüchten	6	4	2	0,67	1
Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge	4	2	2	0,50	2
Schlagteilung	2	1	1	0,50	
Verzicht auf Hackfrüchte	7	0	7	0,00	3

Tab. 8-8: Klassifizierung der Schutzmaßnahmen anhand ihrer Effizienzrate in Barum. Klasse 1 = Maßnahme überwiegend effizient, Klasse 2 = Maßnahmen teilweise effizient, Klasse 3 = Maßnahme nicht effizient. Die Maßnahmenhäufigkeit bezieht sich auf Mini- und Maximalziel (vgl. Tab. 8-7 sowie A8 und A9).

Die Klassifizierung der Maßnahmen nach ihrer Effizienzrate ergibt eine ähnliche Verteilung wie in Südniedersachsen (vgl. Tab. 7-4). In die Klasse 1 fällt die Mulchsaat zu weitreihigen Sommerfrüchten mit einer Effizienzrate von 0,67. Sie wird in Südniedersachsen nicht angewandt, da sie entweder bereits der aktuellen Anbaupraxis entspricht oder auf den betrachteten Schlägen keine ausreichende Schutzwirkung aufweist. Bei der Maßnahmen entstehen, überwiegend durch die Umstellung auf konservierenden Zuckerrübenanbau, Kosten von bis zu 128 €/ha*a, aber auch Gewinne bis zu 10 €/ha*a (vgl. Tab. 8-9).

In Klasse 2 sind die Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge und die Schlagteilung, jeweils mit einer Effizienzrate von 0,50 vertreten. Die Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge besitzt in Südniedersachsen eine Effizienzrate von 0,44 und liegt damit auf gleichem Niveau. Die Reduktion des Bodenabtrags um 1 t/ha*a kostet mit dieser Maßnahme in Südniedersachsen durchschnittlich 21 €, in Barum sind die Kosten mit 11 € etwa halb so hoch (vgl. Tab. 7-5 und 8-9). Die Höhe der Kosten ist abhängig von den angebauten Kulturen. Je öfter Kulturen mit geringeren Richtwert-Deckungsbeiträgen bei konservierendem Anbau vertreten sind, desto teurer und damit in der Regel seltener ist eine Maßnahme effizient. Die Schlagteilung besitzt in Barum eine Effizienzrate von nur 0,50 (Südniedersachsen 0,71). Damit wird diese Maßnahme in der Klasse 2 (teilweise effizient) verzeichnet. Die durchschnittlichen Kosten für die Abtragsreduktion um 1 t/ha*a sind ähnlich groß: 12 € in Barum und 16 € in Südniedersachsen (vgl. Tab. 7-5 und 8-9). Die Schlagteilung wird in Barum allerdings nur zweimal durchgeführt (in Südniedersachsen siebenmal, vgl. Tab. 7-4), so dass die Aussagekraft für die Werte der Schlagteilung in Barum vergleichsweise gering ist.

Der Verzicht auf Hackfrüchte bildet sowohl in Barum als auch in Südniedersachsen die Klasse 3 (ineffiziente Schutzmaßnahmen). Diese Maßnahme wird in beiden Gebieten auf Grund der hohen Kosten immer ineffizient durchgeführt (vgl. Tab. 7-4 und 8-8). Auch die Maßnahmekosten pro Tonne Abtragsreduktion liegen ähnlich hoch bei 133 € (Barum, vgl. Tab. 8-9) und 120 € (Südniedersachsen, vgl. Tab. 7-5).

Es bleibt zu beachten, dass für diesen Vergleich im Gebiet Barum insgesamt weniger Maßnahmen berücksichtigt werden konnten; auch die Maßnahmenvielfalt ist in Barum geringer als in Südniedersachsen, weil die intensivsten Schutzmaßnahmen (Rotationsbrache, Stilllegung) nicht angewandt werden müssen. Das trifft insbesondere für die Schlagteilung zu, die in Barum nur zweimal vorgeschlagen wird. Diese Rahmenbedingungen machen einen direkten Vergleich nur bedingt möglich.

Maßnahme	Faktor	Minimum	Median	Maximum
Mulchsaat zu weitreihigen Sommerfrüchten	Abtragsreduktion (t/ha*a)	0,30	1,70	4,60
	Kosten (€/ha*a)	-10,07	55,12	127,86
	Effizienz (€)	-33,56	10,43	142,07
Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge	Abtragsreduktion (t/ha*a)	1,70	2,95	4,40
	Kosten (€/ha*a)	31,89	31,89	105,21
	Effizienz (€)	7,25	11,07	61,89
Schlagteilung	Abtragsreduktion (t/ha*a)	2,90	4,70	6,50
	Kosten (€/ha*a)	45,03	46,26	47,48
	Effizienz (€)	6,93	11,65	16,37
Verzicht auf Hackfrüchte	Abtragsreduktion (t/ha*a)	1,20	3,90	7,50
	Kosten (€/ha*a)	170,48	267,22	995,37
	Effizienz (€)	49,49	132,72	215,19

Tab. 8-9: Nach Schutzmaßnahmen getrennte Bewertung von Abtragsreduktion, Kosten und Effizienz in Barum. Die Bewertung basiert auf Minimal- und Maximalziel. Negative Kosten = Gewinn. Die Farbhinterlegung dient der Übersichtlichkeit.

8.7 Fazit zur Übertragbarkeit der Kosten- und Effizienzanalysen

◆ Inhaltliche Übertragbarkeit

Die Maßnahmenkosten differieren gebietsbezogen. Dies betrifft nicht nur den Vergleich zwischen Barum und den vier südniedersächsischen Teileinzugsgebieten, auch innerhalb der Teileinzugsgebiete bestehen zum Teil deutliche Unterschiede. Ein großer Anteil an Kulturen mit hohen Richtwert-Deckungsbeiträgen (Kartoffeln, Zuckerrüben, Winterweizen) beeinflusst die Maßnahmenkosten überdurchschnittlich stark. Je öfter Flächen dieser Kulturen von Maßnahmen betroffen sind, desto höher sind die Maßnahmenkosten des Gebiets.

Ähnlich verhält es sich mit der Höhe der Abtragsreduktion. Sie variiert ebenfalls, sowohl im Vergleich Barum – Südniedersachsen, als auch innerhalb der vier Teileinzugsgebiete Südnie-

dersachsens. Daher wird die Effizienz, also die Kosten der Abtragsreduktion um 1 t/ha*a zum Vergleich der Maßnahmen sowohl innerhalb der Teileinzugsgebiete, als auch im Vergleich zum Gebiet Barum herangezogen. Der Effizienzvergleich erfolgt für drei Maßnahmen (Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge, Schlagteilung und der Verzicht auf Hackfrüchte), denn nur sie werden sowohl in Barum als auch in Südniedersachsen angewandt. Die Effizienz zeigt bei jeder Maßnahme Werte der gleichen Größenordnung (vgl. Tab. 7-5 und 8-9), so dass die inhaltliche Übertragbarkeit der Ergebnisse gewährleistet ist.

◆ **Methodische Übertragbarkeit**

Die Übertragbarkeit der methodischen Schritte dieser Arbeit ist an die Anwendbarkeit der verwendeten Modelle gekoppelt. Daher muss zunächst überprüft werden, ob das Modell generell anwendbar ist, ob die Eingangsdaten des Modells für das Zielgebiet vorliegen und ob damit plausible Ergebnisse erstellt werden können.

Der Bodenerosionsschlüssel ist als einschränkender Faktor bei der methodischen Übertragbarkeit anzusehen. Er wurde bisher für Nord- und Südniedersachsen (MOSIMANN & SANDERS 2004), die Schweiz (MOSIMANN 1995) und in einer Abwandlung für Baden-Württemberg (LANDESANSTALT FÜR PFLANZENBAU BADEN-WÜRTTEMBERG 2005) entwickelt. Da er grundlegend für die Ermittlung von schlaggebundenen Maßnahmen ist, muss er in dem gewünschten Gebiet anwendbar sein.

Die ökonomische Basis, die Richtwert-Deckungsbeiträge, werden deutschlandweit von den Landwirtschaftskammern ermittelt und stehen entsprechend zur Verfügung. Für Niedersachsen werden die Kennzahlen jährlich angepasst (LWK 2007). Die Übertragbarkeit der ökonomischen Bewertung ist also problemlos möglich.

Zusammenfassend ist die methodische Übertragbarkeit überall dort gegeben, wo die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Modelle plausibel anwendbar sind und die benötigten Eingangsinformationen (Modellparameter, Richtwert-Deckungsbeiträge etc.) vorhanden sind. Zielsetzungen, und damit die Intensität und die Kosten der Maßnahmevorschläge, müssen für jedes Gebiet individuell getroffen werden.

9 Fazit und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit werden zum einen die Kosten zum anderen die Wirksamkeit von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen ermittelt und einander gegenübergestellt. Dies ermöglicht die Berechnung einer maßnahmenspezifischen Effizienzrate und einer der Rate entsprechenden Klassifizierung der Schutzmaßnahmen nach ihrer Wirtschaftlichkeit.

Die Höhe der Kosten für die jeweils notwendige Maßnahme wird anhand von Richtwert-Deckungsbeiträgen (RDB) ermittelt (vgl. Tab. A1-A6, A8 und A9). Die Höhe der Maßnahmenkosten ist von den angebauten Kulturen abhängig. Je öfter Kulturen mit hohen (RDB) wie Zuckerrüben, Winterweizen und insbesondere Kartoffeln von Schutzmaßnahmen betroffen sind, desto höher sind die Maßnahmenkosten insgesamt. Gerade die Hackfrüchte sind oft von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen betroffen, da sie auf Grund ihrer typischen Bearbeitungsart (konventionell bei Kartoffeln) und der geringen Bodenbedeckung im Frühjahr höhere Bodenabträge verursachen.

Um zu beurteilen ob ein Betrieb die Kosten tragen kann, werden diese in Relation zum RDB der von Maßnahmen betroffenen Flächen gesetzt. Dies geschieht in den vier südniedersächsischen Teileinzugsgebieten und in Barum. Der Kostenanteil liegt im Minimalziel bei 1-2 % (vgl. Tab. 6-1 und 8-6). Die im Minimalziel geforderte Bewirtschaftung entspricht der guten fachlichen Praxis (§ 17 BBodSchG) und stellt einen relativ guten Boden- und Gewässerschutz dar. Ein Viertel der in der vorliegenden Arbeit untersuchten ackerbaulich genutzten Gesamtfläche wird bereits dementsprechend bewirtschaftet. Das heißt, zum Erreichen des Minimalziels sind auf diesen Schlägen keine Maßnahmen erforderlich. Die geringen Kosten für das Minimalziel sind vertretbar.

Das Maximalziel entspricht einem langfristig zu erreichenden, optimalen Boden- und Gewässerschutz. Seine Anforderungen gehen weit über die gute fachliche Praxis hinaus. Nur sehr wenige bis keine Schläge werden bereits dem Ziel entsprechend bewirtschaftet. Die Schutzmaßnahmen erreichen einen Kostenanteil von 7-15 % (vgl. Tab. 6-1 und 8-6) und sind in dieser Höhe von den Landwirten allein nicht tragbar. Das Maximalziel stellt also dar, was in Hinblick auf den Boden- und Gewässerschutz ökologisch machbar ist. Die Umsetzung dieses Ziels funktioniert nur mit finanzieller Unterstützung für die Betriebe, zum Beispiel durch Ausgleichszahlungen oder Zuschüsse.

Ob sich eine Maßnahme für den Landwirt lohnt wird in der Effizienzanalyse betrachtet. Für jede Maßnahme wird eine Effizienzrate berechnet, anhand dieser werden die Maßnahmen eingestuft. Klasse 1 fasst überwiegend effiziente Maßnahmen zusammen, Klasse 2 teilweise effiziente und Klasse 3 ineffiziente Maßnahmen.

Ein größtmöglicher Boden- und Gewässerschutz ist mit hohen Kosten verbunden. So führen die Maßnahmen der Klasse 3 (Rotationsbrache, Stilllegung und Verzicht auf Hackfrüchte) zu einer wünschenswerten Abtragsreduktion von bis zu 7,6 t/ha*a. Die Kosten für diese Maßnahmen betragen jedoch bis zu 1000 €/ha*a (vgl. Tab. 7-5 und 8-9). Die Maßnahmen sind aus Sicht des Landwirts also nicht empfehlenswert.

Ein sehr effizienter Bodenschutz wird mit den Maßnahmen der Klasse 1 erreicht. Die Mulchsaat zu weitreihigen Sommerfrüchten ist überwiegend effizient, da durch sie beispielsweise bei Mais oder Zuckerrüben die RDB steigen und somit keine Kosten sondern Gewinne bis zu 10 €/ha*a entstehen. Sie bewirkt Abtragsreduktionen von bis zu 4,6 t/ha*a (vgl. Tab. 8-9). Ähnliches gilt für die Schlagteilung mit Abtragsreduktionen bis zu 6,5 t/ha*a und Kosten zwischen 50 und 60 €/ha*a.

Um dennoch Böden- und Gewässer zu schützen und die Interessen der Landwirte zu berücksichtigen kommen neben der Schlagteilung die Maßnahmen der Klasse 2 in betracht. Sie verbinden eine hohe Abtragsreduktion von bis zu 6,6 t/ha*a mit vergleichsweise geringen Kosten von maximal 110 €/ha*a (vgl. Tab. 7-5 und 8-9).

Der bestmögliche Boden- und Gewässerschutz widerspricht mit seinen hohen Kosten zumeist den Interessen der Landwirte. Die individuelle Beratung jedes Betriebs wäre eine Möglichkeit beide Interessen zu vereinen. Da die damit verbundenen hohen Aufwendungen (Zeit, Expertenwissen, Darlegung der betriebswirtschaftlichen Kostenstruktur etc.) in der Praxis nur selten geleistet werden können, ist mit Hilfe des in der vorliegenden Arbeit geprüften Ansatzes eine Lösung des Konflikts möglich. Hierbei wird schlaggenau ermittelt, welche Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen eine dem Ziel entsprechende Schutzwirkung und vom Landwirt tragbare Kosten besitzen. Durch tragbare Kosten wird die Umsetzung des Boden- und Gewässerschutzes in der Praxis gewährleistet.

◆ *Methodisches Fazit*

Mit Hilfe des etablierten Bodenerosionsschlüssels in den Versionen für Nord- und Südniedersachsen werden die schlaggenaue Berechnung des durchschnittlichen jährlichen Bodenabtrags und die Einstufung der Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit durchgeführt. Der darauf aufbauende Gewässeranschlussschlüssel liefert eine methodisch einfache und im Ergebnis präzise Darstellung von Flächen mit direktem, indirektem oder ohne Gewässeranschluss.

Das Modell EROSION 3D wird zur Darstellung des Abtrags- und Sedimentationsgeschehens verwendet. Bei seinem Einsatz bleiben in der vorliegenden Arbeit die Modellierung von bisher noch nicht parametrisierten Kulturen (Dinkel, Klee gras; sowie Winterraps und Mais zum Zeitpunkt von Aussaat und Ernte) ungenau. Diese Lücken wurden durch Extra- und Interpolation bewährter Kennwerte geschlossen. Ein Vergleich von Modellergebnissen mit Messwerten aus der Bodendauerbeobachtung (MOSIMANN ET AL. 2007) zeigt für die Reduktion der Abtragsmengen bei konservierender Bodenbearbeitung eine Überschätzung (vgl. Kap. 3.2.4). Ausgehend von diesen Punkten führen eine Erweiterung der Grundlagenparameter sowie Korrekturen der modellinternen Abtragsberechnungen zu präziseren Ergebnissen.

Die schlaggenaue Maßnahmenplanung für das Erreichen der Ziele kann auf Grund exakter Ergebnisse von Bodenerosions- und Gewässeranschlussschlüssel gut umgesetzt werden. Das Auftreten linearer Erosion wird auf Basis von Einzelereignissen mit EROSION 3D präzise ermittelt. Die auf den Maßnahmen aufbauende Kostenabschätzung geschieht anhand der von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen herausgegebenen Richtwert-Deckungsbeiträge. Die vorgeschlagenen Maßnahmen können so flächenscharf und monetär exakt bewertet werden.

Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere naturräumliche Gebiete ist mit dem Praxisbeispiel „Barum“ geprüft worden. Unter Einbezug teilweise anderer Landnutzung, Bodenbearbeitung und naturräumlicher Gegebenheiten liefert der Vergleich plausible Ergebnisse.

Die Effizienzbewertung der einzelnen Maßnahmen liefert eine klare Abgrenzung von größtenteils effizienten, teilweise effizienten und ineffizienten Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen. Die generelle Charakterisierung der Schutzmaßnahmen kann auf diesem Wege also gut erfolgen. Allerdings bleibt offen wo die betriebsspezifische Grenze von effizienten und ineffizienten Maßnahmen verläuft. Diese ist von der betriebswirtschaftlichen Situation und der technischen Ausstattung des Betriebs anhängig. Um diese Grenze festzulegen ist eine exakte betriebswirtschaftliche Analyse erforderlich.

◆ *Ausblick*

Um die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit in der Praxis zu überprüfen, sollten die vorgeschlagenen Maßnahmen umgesetzt und die Praxisergebnisse in einer Dauerbeobachtung festgehalten werden. Damit kann ermittelt werden, ob und in welcher Größe die Modellergebnisse der vorliegenden Arbeit in der Realität erzielt werden. Durch den Vergleich der Ergebnisse mit dem Praxisbeispiel „Barum“ ist bereits erkennbar, dass die Berechnungen für Nordniedersachsen mit denen Südniedersachsens plausibel übereinstimmen. Allerdings befinden sich in Barum nur 17 Schläge, so dass die Anzahl der einzelnen Maßnahmen gering ist.

Zukünftig denkbar ist die Entwicklung einer Software, mit der den Betriebsleitern im Hinblick auf den erforderlichen Boden- und Gewässerschutz möglichst effiziente Fruchtfolgen und Bodenbearbeitungsformen empfohlen werden. Dieses Programm würde die naturräumlichen Gegebenheiten (Hangneigung, Bodenarten, Relief etc.) in Form der für diese Arbeit angelegten Daten enthalten. Die Ermittlung von Bodenabtrag, Gefährdungsstufen und Gewässeranschlussituation kann der Betriebsleiter schlaggenau mit Hilfe von Bodenerosions- und Gewässeranschlusschlüssel bestimmen und in die Software eingeben. Das erforderliche Expertenwissen, also die Entscheidung für oder gegen den Einsatz einer Schutzmaßnahme kann das Programm durch Berechnungen ähnlich denen in der vorliegenden Arbeit umsetzen. Der Landwirt fügt seine betriebswirtschaftlichen Kennzahlen hinzu und bekommt so optimal auf seine finanziellen Möglichkeiten hin abgestimmte Maßnahmenempfehlungen zum Boden- und Gewässerschutz bei gleichzeitiger Berücksichtigung seiner Interessen.

10 Literatur

- APPEL, TH. (2008): Umweltvorteile: Ja, aber ..., in: DLG-Mitteilungen 12/2008, Panorama Spezial: Mulchsaat, 46-48.
- ARTMANN, R. & F.-J. BOCKISCH (Hrsg.) (2003): Nachhaltige Bodennutzung aus technischer, pflanzenbaulicher, ökologischer und ökonomischer Sicht, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 256, 114 S.
- AUERSWALD, K. (2006): Soil Erosion in Europe: Germany, in: BOARDMAN, J. & J. POESEN (Eds.) (2006): Soil Erosion in Europe, Chichester (England), 855 p.
- AUTH, S. ET AL. (2005): Nährstoffbelastungen der Gewässer durch die Landwirtschaft, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft – Institut für Agrarökonomie, München, 14 S.
- BLUME, H.-P. (Hrsg.) (2004): Handbuch des Bodenschutzes – Bodenökologie und -belastung, Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen, Landsberg, 916 S.
- BOARDMAN, J. (2006): Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches, in: Catena 68, 73-86.
- BOARDMAN, J. & J. POESEN (Eds.) (2006): Soil Erosion in Europe, Chichester (England), 855 p.
- BÖHM, E. ET AL. (2002): Kosten-Wirksamkeitsanalyse von nachhaltigen Maßnahmen im Gewässerschutz, UBA-Texte 12/02, Berlin, 344 S.
- BÖHRNSEN, A. & F. TEBRÜGGE (1993): Maschinenkosten senken – Direktsaat oder Pflug, Grubber oder Frässaat?, in: Agrar-Übersicht 8/1993, 18-21.
- BOJÖ, J. (1992): Cost-benefit-analysis of soil and water conservation projects: a review of 20 empirical studies, in: TATO, K. & H. HURNI (Eds.): Soil Conservation for Survival, 195-205.
- BORK, H.-R. ET AL. (1998) : Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa – Wirkungen des Menschen auf Landschaften, Gotha, 328 S.
- BREBURDA, J. (1983): Bodenerosion – Bodenerhaltung, Frankfurt (Main), 128 S.
- BRUNOTTE, J. (2003): Handlungsempfehlungen zur guten fachlichen Praxis: Bodenerosion mindern, Bodenleben fördern, in: ARTMANN, R. & F.-J. BOCKISCH (Hrsg.): Nachhaltige Bodennutzung aus technischer, pflanzenbaulicher, ökologischer und ökonomischer Sicht, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 256, 79-86.
- BRUNOTTE, J. ET AL. (2001): Bodenschonung und Kosteneinsparung, KTBL-Schrift 398, Darmstadt, 117 S.
- BRUNOTTE, J. ET AL. (1995): Was Erosionsschutz konkret bringt, in: DLG-Mitteilungen 8/1995, 20-25.

- CAPELLE, A. (1990): Die erosionsgefährdete Landesfläche in Niedersachsen und Bremen, in: Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung, 31, 11-17.
- DEUMLICH, D.; R. FUNK; M. FRIELINGHAUS; W.-A. SCHMIDT & O. NITZSCHE (2006): Basics of effective erosion control in German agriculture, in: Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 169 : 370-381.
- DEUMLICH, D.; W. MIODUSZEWSKI; I. KAJEWSKI; M. TIPPL & R. DANNOWSKI (2005): GIS-based risk assessment for indentifying source areas of non-point nutrient emissions by water erosion (Odra Basin and sub catchment Uecker), in: Archives of Agronomy and Soil Science 51(4): 447-458.
- DE VENTE, J.; J. POESEN; M. ARABKHEDRI & G. VERSTRAETEN (2007): The sediment delivery problem revisited, in : Progress in Physical Geography 31(2), 155-178.
- DIN 19700 (2005) : Neue Normenreihe für Stauanlagen – Tagungsband der DIN-Tagung, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 114 S.
- DÖRING, T. F. ET AL. (2005): Effects of straw mulch on soil nitrate dynamics, weeds, yield and soil erosion in organically grown potatoes, in : Field Crops Research 94: 238-249.
- DUTTMANN, R. (1999): Partikuläre Stoffverlagerungen in Landschaften – Ansätze zur flächenhaften Vorhersage von Transportpfaden und Stoffumlagerungen auf verschiedenen Maßstabsebenen unter besonderer Berücksichtigung räumlich-zeitlicher Veränderungen der Bodenfeuchte, Geosynthesis 10, Hannover, 234 S.
- EISELE, J. (2008): Aktueller Stand des Wissens zur Wassererosion, in: INSTITUT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT (Hrsg.): Strategien zum Bodenschutz – Sachstand und Handlungsbedarf, Heft 15/2008, Bonn, S. 143-146.
- FELDWISCH, N. (2004): Maßnahmen zur Minderung von Bodenerosion und Stoffabtrag von Ackerflächen, in: Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Band 19, Essen, 192 S.
- FELDWISCH, N.; H.-G. FREDE & F. HECKER (1998): Verfahren zum Abschätzen der Erosions- und Auswaschungsgefahr, in: FREDE, H.-G. & S. DABBERT (Hrsg.): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft, Landsberg, S. 22-57.
- FIENER, P. & K. AUERSWALD (2003): Concept and Effects of a multi-purpose grassed waterway, in: Soil Use and Management 19, 65-72.

- FORSTER, D. L. & C. MURRAY (2007): Effects of pesticide use and farming practices on water treatment costs in Maumee River basin communities, in: HITZHUSEN, F. J. (Ed.): Economic Valuation of River Systems, Cheltenham, USA, 217 p.
- FRASER, R.H. (1999): SEDMOD: A GIS-Based Delivery Model for Diffuse Source Pollutants, Ph.D. Dissertation, Yale University.
- FREDE, H.-G. & S. DABBERT (Hrsg.) (1998): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft, Landsberg, 451 S.
- FRIEDRICH, T. (2008): Degradation natürlicher Ressourcen und Maßnahmen zur Vermeidung – globale Entwicklungen und Anwendbarkeit für Deutschland, in: INSTITUT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT (Hrsg.): Strategien zum Bodenschutz – Sachstand und Handlungsbedarf, Heft 15/2008, Bonn, S. 121-141.
- FRIELINGHAUS, M. ET AL. (2004): Schutz vor Abtrag und Überflutung und deren Folgen, in: BLUME, H.-P. (Hrsg.) (2004): Handbuch des Bodenschutzes – Bodenökologie und -belastung, Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen, Landsberg, S. 684-695.
- FRIELINGHAUS, M. (1998): Bodenschutzprobleme in Ostdeutschland, in: RICHTER, G. (Hrsg.): Bodenerosion – Analyse und Bilanz eines Umweltproblems, Darmstadt, 204-221.
- GUNREBEN, M. & J. BOESS (2008): Schutzwürdige Böden in Niedersachsen, in: GeoBerichte 8, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, 48 S.
- HELMING, K. (Ed.) (2001): Multidisciplinary Approaches to Soil Conservation Strategies, ZALF-Bericht Nr. 47, Müncheberg, p. 191.
- HEMPEL, L. (1963): Bodenerosion in Nordwestdeutschland – Erläuterungen zu den Karten von Schleswig-Holstein, Hamburg, Niedersachsen, Bremen und Nordrhein-Westfalen, Forschungen zur deutschen Landeskunde, Band 144, Bad Godesberg, 16 S.
- HITZHUSEN, F. J. (Ed.) (2007): Economic Valuation of River Systems, Cheltenham, USA, 217 p.
- HOLLMANN, F. (2003): Ökonomische Bewertung pflugloser Anbauverfahren im nationalen und internationalen Vergleich, in: ARTMANN, R. & F.-J. BOCKISCH (Hrsg.): Nachhaltige Bodennutzung aus technischer, pflanzenbaulicher, ökologischer und ökonomischer Sicht, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 256, 97-100.
- INSTITUT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT (Hrsg.) (2008): Strategien zum Bodenschutz – Sachstand und Handlungsbedarf, Heft 15/2008, Bonn, 204 S.

- ITWH (2005): Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie, Programmpaket KOSTRA-DWD 2000: Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen auf Basisdaten des Deutschen Wetterdienstes (Beobachtungsjahre 1951-2000), Hannover.
- KÄCHELE, H.; M. FRIELINGHAUS & G. KÜHN (2001): Economic Assessment of Soil Conservation Systems in Northeast Germany, in: HELMING, K. (Ed.): Multidisciplinary Approaches to Soil Conservation Strategies, ZALF-Bericht Nr. 47, Müncheberg, p. 115-120.
- KILIAN, B. (2000): Betriebswirtschaftliche Beurteilung von Maßnahmen für einen flächendeckenden Gewässerschutz in der Landwirtschaft, in: Agrarwirtschaft, Sonderheft 165, 221 S.
- KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (2006): Thematische Strategie für den Bodenschutz (Bodenrahmenrichtlinie), Mitteilungen der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, Brüssel, 13 S.
- LANDESANSTALT FÜR PFLANZENBAU BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (2005): Der heimliche Verlust der Bodenfruchtbarkeit durch Wassererosion. Pflanzenbaulich-standortkundliche und betriebswirtschaftliche Bewertung von Bodenerosion mit Maßnahmen zu deren Vermeidung für Landwirte und Berater, in: Arbeitshilfen für die Umweltgerechte Landbewirtschaftung, Nr. 1, Forchheim, 29 S.
- LANDESUMWELTAMT NRW (Hrsg.) (2004): Merkblätter Band 46 – Ermittlung von Bemessungsabflüssen nach DIN 19700 in Nordrhein-Westfalen, Essen, 52 S.
- LANDESUMWELTAMT NRW (Hrsg.) (2001): Jahresbericht 2001, Essen, 237 S.
- LU, H.; C.J. MORAN & I.P. PROSSER (2006): Modelling Sediment delivery ratio over the Murray Darling Basin, in: Environmental Modelling & Software 21, 1297-1308.
- LWK (2007): Landwirtschaftskammer Niedersachsen: Richtwert-Deckungsbeiträge 2007, Bezirksstelle Hannover, Fachbereich 3.1.6 Betriebswirtschaft und Markt, Hannover.
- LWK (2006): Landwirtschaftskammer Niedersachsen: Richtwert-Deckungsbeiträge 2006, Bezirksstelle Hannover, Fachbereich 3.1.6 Betriebswirtschaft und Markt, Hannover.
- LWK NRW (2007): Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Bodenerosion durch Wasser – Ursachen, Bedeutung und Umgang in der landwirtschaftlichen Praxis von NRW, Münster.
- MANER, S.B. (1958): Factors affecting sediment delivery rates in the Red Hills physiographic area, in: Transactions of American Geophysics 39, 669-675.

- MARAHRENS, S. (2008): Strategien zum Bodenschutz – welche Auswirkungen der europäischen Politik sind in Deutschland zu erwarten?, in: INSTITUT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT (Hrsg.): Strategien zum Bodenschutz – Sachstand und Handlungsbedarf, Heft 15/2008, Bonn, S. 21-27.
- MEIBEYER, W. (1980): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 58 Lüneburg, Geographische Landesaufnahme 1:200.000 – Naturräumliche Gliederung Deutschlands, Bad Godesberg, S. 14-17.
- MICHAEL, A. ET AL. (2005): Impact of expected increase in precipitation intensities on soil loss – results of comparative model simulations, in: Catena 61, 155-164.
- MICHAEL, A. (2001): Anwendung des physikalisch begründeten Erosionsprognosemodells EROSION 2D/3D – empirische Ansätze zur Ableitung der Modellparameter, Freiberg, 147 S.
- MITTELHÄÜBER, K. ET AL. (1957): Der Landkreis Alfeld (Regierungsbezirk Hildesheim) – Die Landkreise in Niedersachsen, Reihe D, Band 14, Bremen-Horn, 381 S.
- MORGAN, R.P.C. (2005): Soil Erosion and Conservation, Third Edition, Malden (USA), 304 p.
- MOSIMANN, TH. (2008): Wie gut wirken Erosionsschutzmaßnahmen und was kann der Erosionsschutz noch erreichen?, in: INSTITUT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT (Hrsg.): Strategien zum Bodenschutz – Sachstand und Handlungsbedarf, Bonn, 204 S.
- MOSIMANN, TH.; J. BACKHAUS & H. WESTPHAL (2007): Gewässeranschluss von Ackerflächen – Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater in Niedersachsen, Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie, Leibniz Universität Hannover, 17 S.
- MOSIMANN, TH.; S. SANDERS; F. BEISIEGEL & J. WEIDANZ (2007): Dauerbeobachtung der Erosion in Niedersachsen – Zwischenbericht der Phase 2004-2006, Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie, Leibniz Universität Hannover, 26 S.
- MOSIMANN, TH.; S. SANDERS & C. RÖSEMANN (2006): Bodenerosion in Niedersachsen – Methodik der Dauerbeobachtung, Ausmaß und Verbreitung der Wassererosion (Beobachtungsjahre 2000-2003), in: Geoberichte (in Druck).
- MOSIMANN, TH. & S. SANDERS (2004): Bodenerosion selber abschätzen – Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater in Niedersachsen, Hannover, 28 S.
- MOSIMANN, TH. (1998): Beurteilungsmaßstäbe für die Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit durch Bodenerosion, in: RICHTER, G. (Hrsg.): Bodenerosion – Analyse und Bilanz eines Umweltproblems, Darmstadt, 176-179.
- MOSIMANN, TH. (1995): Schätzung der Bodenerosion in der Praxis und Beurteilung der Gefährdung in der Bodenfruchtbarkeit durch Bodenabtrag, in: ROSENKRANZ, D.; G. EINSELE & H.-M. HARREB (Hrsg.): Bodenschutz, Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlun-

gen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, Beitrag 4070, Berlin, S. 1-33.

MOSIMANN, TH. ET AL. (1991): Erosionsbekämpfung in Ackerbaugebieten, Prozesse und Ursachen der Bodenerosion – Bodenerhaltungsziel – Gefährdungsschätzung – Schutzmaßnahmen im Landwirtschaftsbetrieb und im Einzugsgebiet, Liebefeld-Bern, 187 S.

MÜLLER, I. (2001): Boden- und Stoffabtrag von Ackerflächen, in: LANDESUMWELTAMT NRW (Hrsg.): Jahresbericht 2001, Essen, 157-159.

NEUFANG, L.; K. AUERSWALD & W. FLACKE (1989): Automatisierte Erosionsprognose- und Gewässerverschmutzungskarten mit Hilfe der dABAG – ein Beitrag zur standortgerechten Bodennutzung, in: Bayerische Landwirtschaftliche Jahrbücher, Band 66, Heft 7, 771-789.

NLÖ (Hrsg.) (2003): Niedersächsisches Landesamt für Ökologie: Bodenqualitätszielkonzept Niedersachsen, Teil 1: Bodenerosion und Bodenversiegelung, Hildesheim, 52 S.

NLÖ & NLFB (2003): Niedersächsisches Landesamt für Ökologie & Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung: Schutzwürdige und schutzbedürftige Böden in Niedersachsen, Heft 25, Hildesheim, 41 S.

OHE, H. VON DER (1963): Das Gesicht des Kreises Uelzen – Eine Heimatkunde, Uelzen, 184 S.

OSTERBURG, B. & T. RUNGE (Hrsg.) (2007): Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer – eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der WRRL, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 307, 302 S.

OUYANG, D.; J. BARTHOLIC & J. SELEGEAN (2005): Assessing Sediment from Agricultural Croplands in the Great Lakes Basin, in: The Journal of American Science 1(2), 14-21.

OUYANG, D. & J. BARTHOLIC (1997): Predicting Sediment Delivery Ratio in Saginaw Bay Watershed, in: The 22nd National Association of Environmental Professionals Conference Proceedings, Orlando/FL, USA, 659-671.

PIMENTEL, D. ET AL. (1995): Environmental Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits, in: Science, New Series, Vol. 267, No. 5201, p. 1117-1123.

PIMENTEL, D. (Ed.) (1993): World Soil Erosion and Conservation, Cambridge, 349 p.

RICHTER, G. (Hrsg.) (1998): Bodenerosion – Analyse und Bilanz eines Umweltproblems, Darmstadt, 264 S.

- RICHTER, G. (1965): Bodenerosion, Schäden und gefährdete Gebiete in der Bundesrepublik Deutschland, Forschungen zur deutschen Landeskunde, Band 152, Bad Godesberg.
- ROEHL, J.E. (1962): Sediment source areas and delivery ratios influencing morphological factors, in: International Association of Hydrological Sciences 59, 202-213.
- ROSENKRANZ, D.; G EINSELE & H.-M. HARREB (Hrsg.): Bodenschutz, Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, Berlin, 5846 S.
- RUIZ-FLANO, P; T. LASANTA-MARTINEZ; J. M. GARCIA-RUIZ & L. M. ORTIGOSA-IZQUIERDO (1991): The diversity of sediment yield from abandoned fields of the central spanish pyrenees, in: Sediment and Stream Water Quality in a Changing Environment: Trends and Explanation, no. 203: 103-110.
- SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1996): Parameterkatalog Sachsen, in: EROSION 2D/3D – Ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser, Dresden, 150 S.
- SANDERS, S. (2007): Erosionsmindernde Wirkung von Intervallbegrünung in Fahrgassen. Untersuchungen im Weizen- und Zuckerrübenanbau mit Folgerungen für die Anbaupraxis, Geosynthesis 13, Hannover, 138 S.
- SANDERS, S. (2000): Erfassung von Bodenerosion und Bewirtschaftung im Rahmen der Bodenerosionsdauerbeobachtung in Niedersachsen – Konzeption, Datenerhebung und Auswertung für die Jahre 1995-2000, unveröffentlichte Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Hannover, Abt. Physische Geographie und Landschaftsökologie, Hannover, 118 S.
- SCHIEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (1998): Lehrbuch der Bodenkunde, Stuttgart, 494 S.
- SCHMIDT, J. (Ed.) (2000): Soil Erosion: application of physically based models, Berlin, 318 p.
- SCHMIDT, J.; M. VON WERNER & A. MICHAEL (1999): Application of the EROSION 3D model to the CATSOP watershed, The Netherlands, in: Catena 37, 449-456.
- SCHMIDT, J. (1991): A mathematical model to simulate rainfall erosion, in: Catena Suppl. 19, 101-109.
- SCHMIDT, M. (2003): Die Anwendbarkeit von Bodenerosionsmodellen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Betrachtungsmaßstäbe, in: Eichstätter Geographische Arbeiten, Band 12, 153-178.
- SCHMIDTLEIN, E.-M. & A. HEIBENHUBER (1991): Möglichkeiten zur Quantifizierung der Auswirkungen der Bodenerosion auf dem Einzelstandort und Beurteilung von Erosionsschutzmaßnahmen aus mikroökonomischer Sicht, in: Berichte über Landwirtschaft, Bd. 69(3), 414-438.

- SCHMIDTLEIN, E.-M. ET AL. (1990): Probleme eines hohen Silomaisanteils in der Fruchtfolge und ökonomische Beurteilung ausgewählter Maßnahmen im Bereich des Bodenschutzes zur Minderung der negativen Auswirkungen, BMFT-Bericht, Freising-Weihenstephan, 294 S.
- SCHWERTMANN, U.; W. VOGEL & M. KAINZ (1990): Bodenerosion durch Wasser – Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen, Stuttgart, 64 S.
- SEEDORF, H. H. & H.-H. MEYER (1992): Landeskunde Niedersachsen – Natur- und Kulturgeschichte eines Bundeslandes, Band 1: Historische Grundlagen und naturräumliche Ausstattung, Neumünster, 517 S.
- SEVERIN, K.; M. SENGER; W. SCHÄFER; A. THIERMANN; J. BRUNOTTE; B. ORTMEIER; TH. MOSIMANN & S. SANDERS (2006): Pilotberatungsprojekt zur Verminderung von Bodenerosion durch gute fachliche Praxis, unveröffentlichter Projektbericht im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Hannover, 38 S.
- SPIESS, E. ET AL. (1999): Umweltrelevante Anbausysteme für Kartoffeln – Aktuelle Erkenntnisse, gerätetechnische Lösungen, ökologische und wirtschaftliche Aspekte beim Mulch- und Direktnulchlegen im pfluglosen Anbau, in: FAT-Berichte Nr. 540, Tänikon (CH), S. 1-11.
- STEINHAUSER, H.; C. LANGBEHN & U. PETERS (1992): Einführung in die landwirtschaftliche Betriebslehre, Band I: Allgemeiner Teil, Stuttgart, 339 S.
- STREUN, M. (2004): Einsatz von Grünbrachen zum Erosionsschutz – Ist-Zustand und Szenarien für Betriebe und zwei Einzugsgebiete im niedersächsischen Bergland, unveröffentlichte Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Hannover, 134 S.
- STROTDREES, J.; T. HEY; M. FITSCHEN; M. FRANKE; M. BARTSCH; S. ISRINGHAUSEN; J. BACKHAUS; H. WESTPHAL & TH. MOSIMANN (2007): Entwicklung einer Beratungskonzeption zur Minimierung von Bodenerosion und Stoffeinträgen in Gewässer – Integrierte Betrachtung von Hangeinzugsgebieten und Aue in einem Teileinzugsgebiet der Leine, unveröffentlichter Projektbericht im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Hannover, 303 S.
- TATO, K. & H. HURNI (Eds.) (1992): Soil Conservation for Survival.
- TEBRÜGGE, F. (2003): Konservierende Bodenbearbeitung gestern, heute, morgen – von wendender über nicht wendende Bodenbearbeitung zur Direktsaat, in: ARTMANN, R. & F.-J. BOCKISCH (Hrsg.): Nachhaltige Bodennutzung aus technischer, pflanzenbaulicher, ökologischer und ökonomischer Sicht, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 256, 49-59.

- USGS (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY) (Ed.) (2002):** A Watershed Scale Study on No-till Farming Systems for Reducing Sediment Delivery, in: Annual Technical Reports of the State Water Resources Research Institut (WRRRI) 2002, USA, Washinton, 51 p.
- VANDAELE, K. & J. POESEN (1995):** Spatial and temporal patterns of soil erosion rates in an agricultural catchment, central Belgium, in: *Catena* 25, 213-226.
- VOGES, J. (1999):** Empirisches Modell für die mittlere Maßstabebene zur GIS-gestützten Bestimmung der Anbindung erosionsgefährdeter Ackerflächen an Fließgewässer, Hannover, 231 S.
- WALLING, D.E. (1983):** The sediment delivery problem, in: *Journal of Hydrologie* 65, 209-237.
- WEIDANZ, J. & TH. MOSIMANN (2007):** Auswirkungen eines verstärkten Maisanbaus zur Biogasproduktion auf die Bodenerosion – Simulation von verschiedenen Nutzungsszenarien mit EROSION 3D im südlichen Niedersachsen, Geosynthesis online 02, Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie der Leibniz Universität Hannover, 96 S.
- WEIDANZ, J. (2007):** Auswirkungen eines verstärkten Maisanbaus zur Biogasproduktion auf die Bodenerosion – Simulation von verschiedenen Nutzungsszenarien mit EROSION 3D im südlichen Niedersachsen, unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie der Leibniz Universität Hannover, 146 S.
- WERNER, M. V. (2002):** EROSION 3D – Benutzerhandbuch und Beispiele, Version 3.0, 117 S.
- WERNER, M. V. (1995):** GIS-orientierte Methoden der digitalen Reliefanalyse zur Modellierung von Bodenerosion in kleineren Einzugsgebieten, Dissertation, Freie Universität Berlin.

Internetquellen

Landwirtschaftskammer Niedersachsen:

<http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/pflanze/nav/74/article/8033.html>

(Stand: 03.09.2007)

Niedersächsisches Umweltministerium:

http://www.umwelt.niedersachsen.de/master/C1153082_N7853602_L20_D0_I598.html

(Stand: 03.09.2007)

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL):

http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/7167_7184.htm

(Stand: 12.07.2008)

Gesetzestexte & Verordnungen

Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) vom 17.03.1998

<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bbodschg/gesamt.pdf> (09.01.2009)

Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12.07.1999

<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bbodschv/gesamt.pdf> (09.01.2009)

Düngerverordnung (DüV) Neufassung vom 27.02.2007

http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/mineralisch/15551/linkurl_0_5_0_0.pdf (09.01.2009)

Niedersächsisches Wassergesetz (NWG) vom 25.07.2007

<http://www.recht-niedersachsen.de/2820003/nwg.htm> (09.01.2009)

Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft (WRRL) vom 23.10.2000

<http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/wasserrichtlinie.pdf> (09.01.2009)

Verwendete Kartenblätter & Bodeninformationen

DGK5 (Deutsche Grundkarte 1 : 5.000):

verwendete Kartenblätter: 382429, 382430, 382433, 382434, 382435, 382436, 382526, 392402, 392403, 392404, 392405, 392406, 392408, 392409, 392410, 392411, 392412, 392414, 392415, 392416, 392417, 392418, 392421, 392422, 392423, 392424, 392427, 392428, 392429, 392430, 402404, 402405, 402406, 402410, 402411, 402412, 402501, 402506.

TK25 (Topographische Karte 1 : 25.000):

verwendete Kartenblätter: 3824, 3825, 3924, 3925, 4024, 4025.

ATKIS-DLM (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem – Digitales Landschaftsmodell):

Flächendeckend für das gesamte Untersuchungsgebiet, mit folgenden Grenzkordinaten: linke obere Ecke (3549089/5776724), rechte untere Ecke (3562570/5761200).

BS5 (Bodenschätzungskarte Niedersachsen 1 : 5.000):

Flächendeckend für das gesamte Untersuchungsgebiet, mit folgenden Grenzkordinaten: linke obere Ecke (3549089/5776724), rechte untere Ecke (3562570/5761200).

BUEK50 (Bodenkundliche Übersichtskarte 1 : 50.000):

Flächendeckend für das gesamte Untersuchungsgebiet, mit folgenden Grenzkordinaten: linke obere Ecke (3549089 / 5776724), rechte untere Ecke (3562570 / 5761200).

DGM5 (Digitales Geländemodell 1 : 5.000, Auflösung: 12,5 * 12,5 m):

Flächendeckend für das gesamte Untersuchungsgebiet, basierend auf den DGK5-Kartenblättern.

Orthofotos:

Flächendeckend für das gesamte Untersuchungsgebiet, basierend auf den DGK5-Kartenblättern.

Alle auf oben aufgelisteten Kartenblätter und Bodeninformationen wurden im Rahmen des Projekts „*Entwicklung einer Beratungskonzeption zur Minimierung von Bodenerosion und Stoffeintrag*“ (STROTDREES ET AL. 2007) vom niedersächsischen Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) zur Verfügung gestellt.

11 Anhang

Zu Kapitel 6.3

- Karte A1:** Erforderliche Schutzmaßnahmen in Betrieb 1 – Minimalziel
- Karte A2:** Erforderliche Schutzmaßnahmen in Betrieb 1 – Maximalziel
- Karte A3:** Erforderliche Schutzmaßnahmen in Betrieb 2 – Minimalziel
- Karte A4:** Erforderliche Schutzmaßnahmen in Betrieb 2 – Maximalziel
- Karte A5:** Erforderliche Schutzmaßnahmen in Betrieb 3 – Minimalziel
- Karte A6:** Erforderliche Schutzmaßnahmen in Betrieb 3 – Maximalziel
- Karte A7:** Erforderliche Schutzmaßnahmen in Betrieb 4 – Minimalziel
- Karte A8:** Erforderliche Schutzmaßnahmen in Betrieb 4 – Maximalziel
- Karte A9:** Erforderliche Schutzmaßnahmen in Betrieb 5 – Minimalziel
- Karte A10:** Erforderliche Schutzmaßnahmen in Betrieb 5 – Maximalziel
- Karte A11:** Erforderliche Schutzmaßnahmen in Betrieb 6 – Minimalziel
- Karte A12:** Erforderliche Schutzmaßnahmen in Betrieb 6 – Maximalziel

Zu Kapitel 7.1

- Tabelle A1:** Richtwert-Deckungsbeitragsänderung im Gebiet Hönze – Minimalziel
- Tabelle A2:** Richtwert-Deckungsbeitragsänderung im Gebiet Hönze – Maximalziel
- Tabelle A3:** Richtwert-Deckungsbeitragsänderung im Gebiet Brüggen – Minimalziel
- Tabelle A4:** Richtwert-Deckungsbeitragsänderung im Gebiet Brüggen – Maximalziel
- Tabelle A5:** Richtwert-Deckungsbeitragsänderung im Gebiet Eddinghausen – Minimalziel
- Tabelle A6:** Richtwert-Deckungsbeitragsänderung im Gebiet Eddinghausen – Maximalziel

Zu Kapitel 7.2

- Tabelle A7:** Ermittlung der Richtwert-Deckungsbeiträge je Szenario und Teileinzugsgebiet auf Basis der Modellierungen mit EROSION 3D.

Zu Kapitel 9.4

Karte A13: Erforderliche Schutzmaßnahmen im Gebiet Barum – Minimalziel

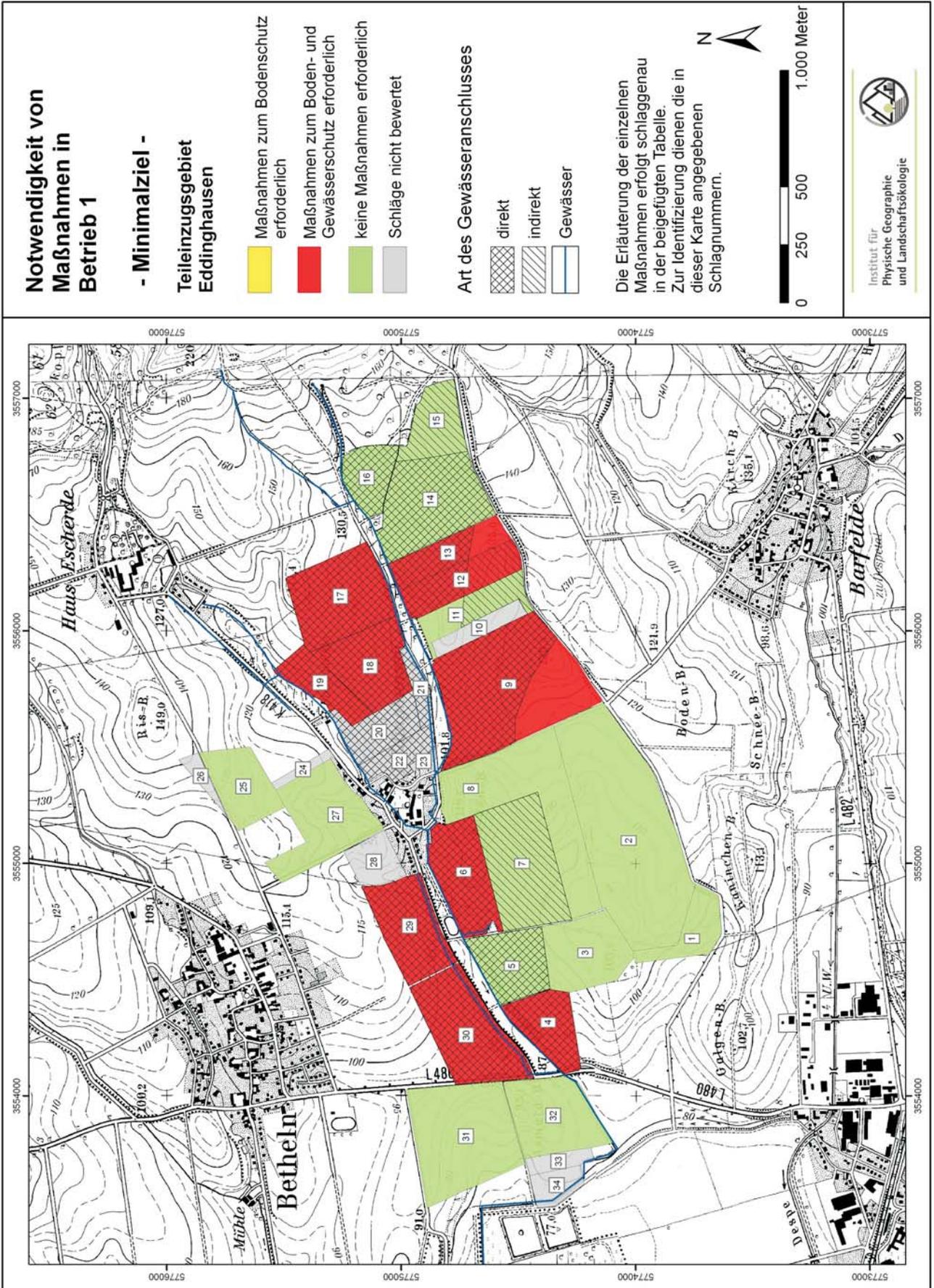
Karte A14: Erforderliche Schutzmaßnahmen im Gebiet Barum – Maximalziel

Zu Kapitel 9.5

Tabelle A8: Richtwert-Deckungsbeitragsänderung im Gebiet Barum – Minimalziel

Tabelle A9: Richtwert-Deckungsbeitragsänderung im Gebiet Barum – Maximalziel

Tabelle A10: Richtwert-Deckungsbeiträge der Kulturen im Gebiet Barum, bezogen auf die gesamte Anbaufläche der Kultur innerhalb des Szenarios.



Karte A1: Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 1, Minimalziel.

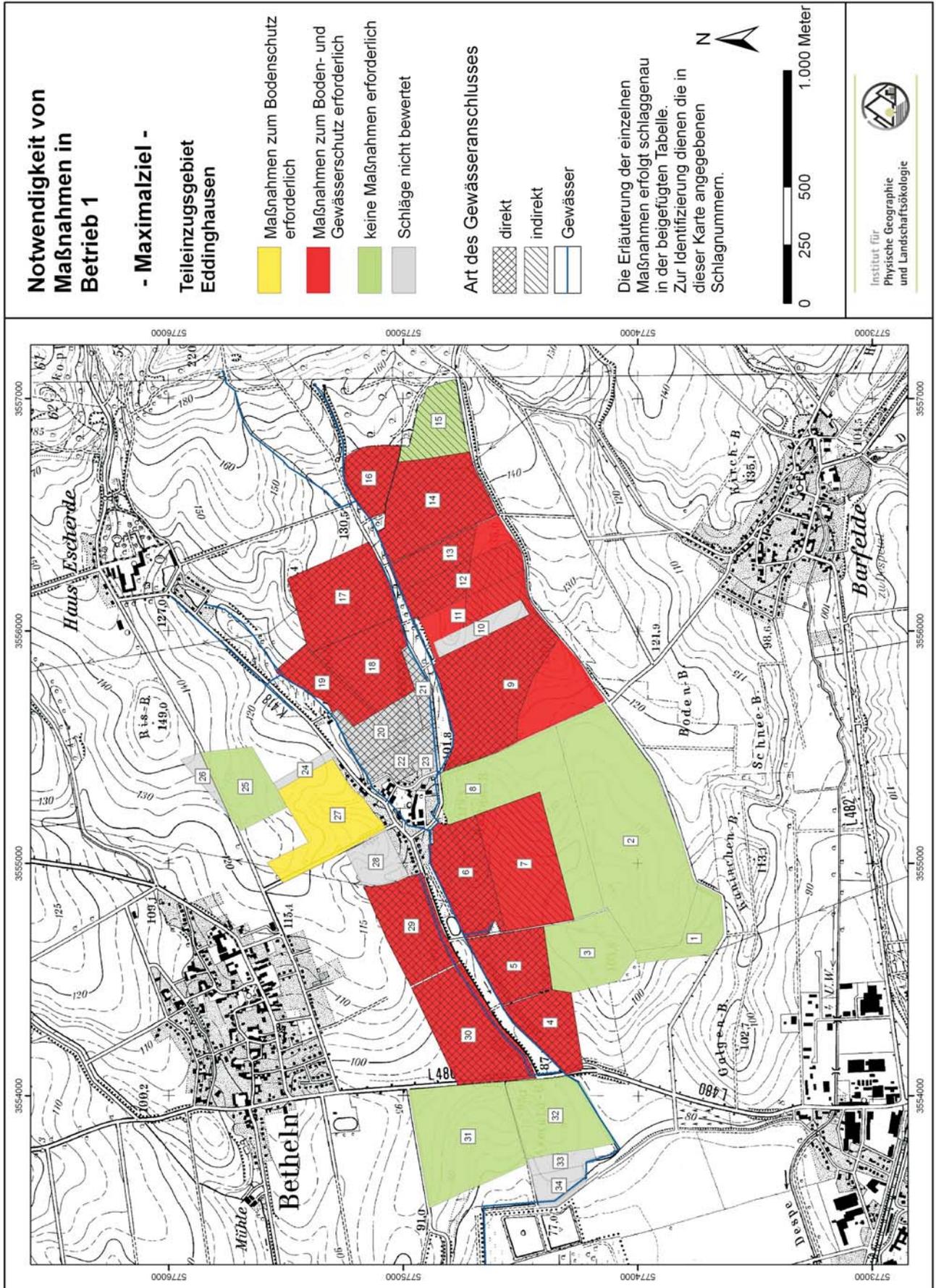


Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 1

Erläuterungen zur Karte A1

Minimalziel

Schlagnr.	Erforderliche Maßnahmen	Kriterium	Größe (ha)
1	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	5.1
2	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	36.0
3	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	10.0
4	10 m Grünstreifen oder Schlagteilung		7.1
5	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 2 t/ha*a ⁻¹	8.1
6	10 m Grünstreifen oder Schlagteilung oder Fruchtwechsel auf Triticale		10.3
7	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 4 t/ha*a ⁻¹	15.9
8	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	20.2
9	10 m Grünstreifen oder Brache auf Teilstück mit direktem GA		28.2
10	nicht bewertet		3.1
11	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	5.7
12	direkter GA: 10 m Grünstreifen oder Schlagteilung indirekter GA: Schlagteilung		7.4
13	direkter GA: 10 m Grünstreifen oder Mulchsaat in gesamter Fruchtfolge		6.5
14	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 2 t/ha*a ⁻¹	15.3
15	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 4 t/ha*a ⁻¹	6.5
16	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 2 t/ha*a ⁻¹	5.2
17	10 m Grünstreifen oder Schlagteilung oder Fruchtwechsel auf Triticale		13.7
18	10 m Grünstreifen oder Schlagteilung		9.8
19	10 m Grünstreifen oder Schlagteilung		5.4
20	nicht bewertet		6.0
21	nicht bewertet		2.0
22	nicht bewertet		3.7
23	nicht bewertet		0.4
24	nicht bewertet		1.1
25	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	7.5
26	nicht bewertet		1.3
27	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 1	12.8
28	nicht bewertet		3.8
29	10 m Grünstreifen oder Schlagteilung oder Wechsel der Fruchtfolge auf Raps		10.5
30	10 m Grünstreifen oder Mulchsaat in gesamter Fruchtfolge		14.3
31	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	18.8
32	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	11.2
33	nicht bewertet		2.0
34	nicht bewertet		2.8



Karte A2: Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 1,Maximalziel.

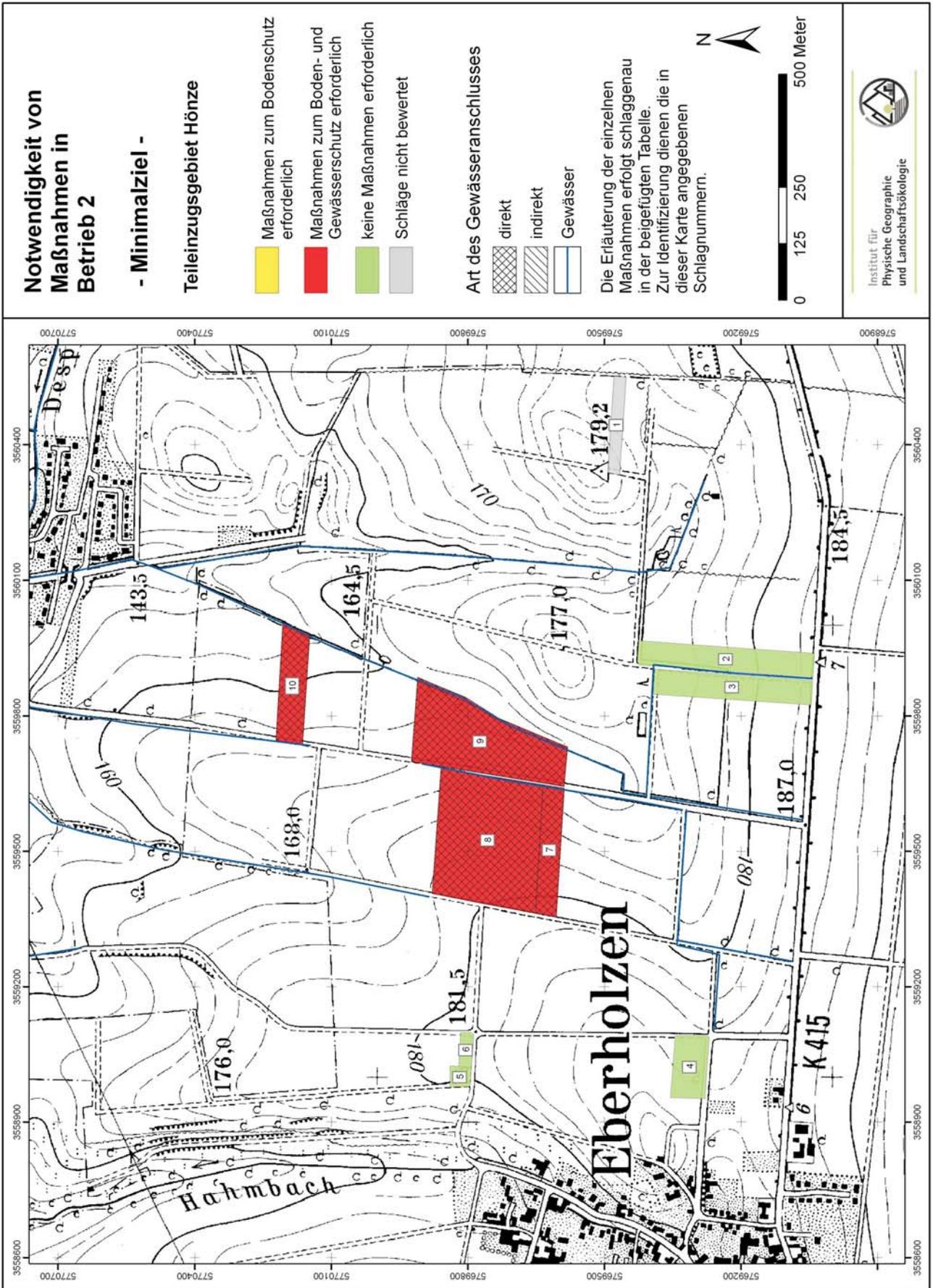


Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 1

Erläuterungen zur Karte A2

Maximalziel

Schlagnr.	Erforderliche Maßnahmen	Kriterium	Größe (ha)
1	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	5.1
2	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	36.0
3	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	10.0
4	Brache auf gesamtem Schlag		7.1
5	Schlagteilung		8.1
6	Brache auf gesamtem Schlag		10.3
7	Schlagteilung oder Wechsel der Fruchtfolge auf ZR-WW-Triticale		15.9
8	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	20.2
9	Brache auf gesamtem Schlag		28.2
10	nicht bewertet		3.1
11	Schlagteilung auf Teilstück mit indirektem Gewässeranschluss		5.7
12	direkter GA: Brache auf gesamtem Teilstück indirekter GA: Schlagteilung auf diesem Teilstück		7.4
13	Brache auf gesamtem Schlag		6.5
14	Wechsel auf Raps-Fruchtfolge		15.3
15	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 2 t/ha*a ⁻¹	6.5
16	Schlagteilung		5.2
17	Brache auf gesamtem Schlag		13.7
18	Schlagteilung und Wechsel auf Fruchtfolge Raps-WW-Triticale		9.8
19	Wechsel auf Raps-Fruchtfolge		5.4
20	nicht bewertet		6.0
21	nicht bewertet		2.0
22	nicht bewertet		3.7
23	nicht bewertet		0.4
24	nicht bewertet		1.1
25	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	7.5
26	nicht bewertet		1.3
27	Mulchsaat in gesamter Fruchtfolge		12.8
28	nicht bewertet		3.8
29	Schlagteilung und Wechsel auf Raps-Fruchtfolge		10.5
30	Schlagteilung und Wechsel auf Raps-Fruchtfolge		14.3
31	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	18.8
32	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	11.2
33	nicht bewertet		2.0
34	nicht bewertet		2.8



Karte A3: Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 2, Minimalziel.

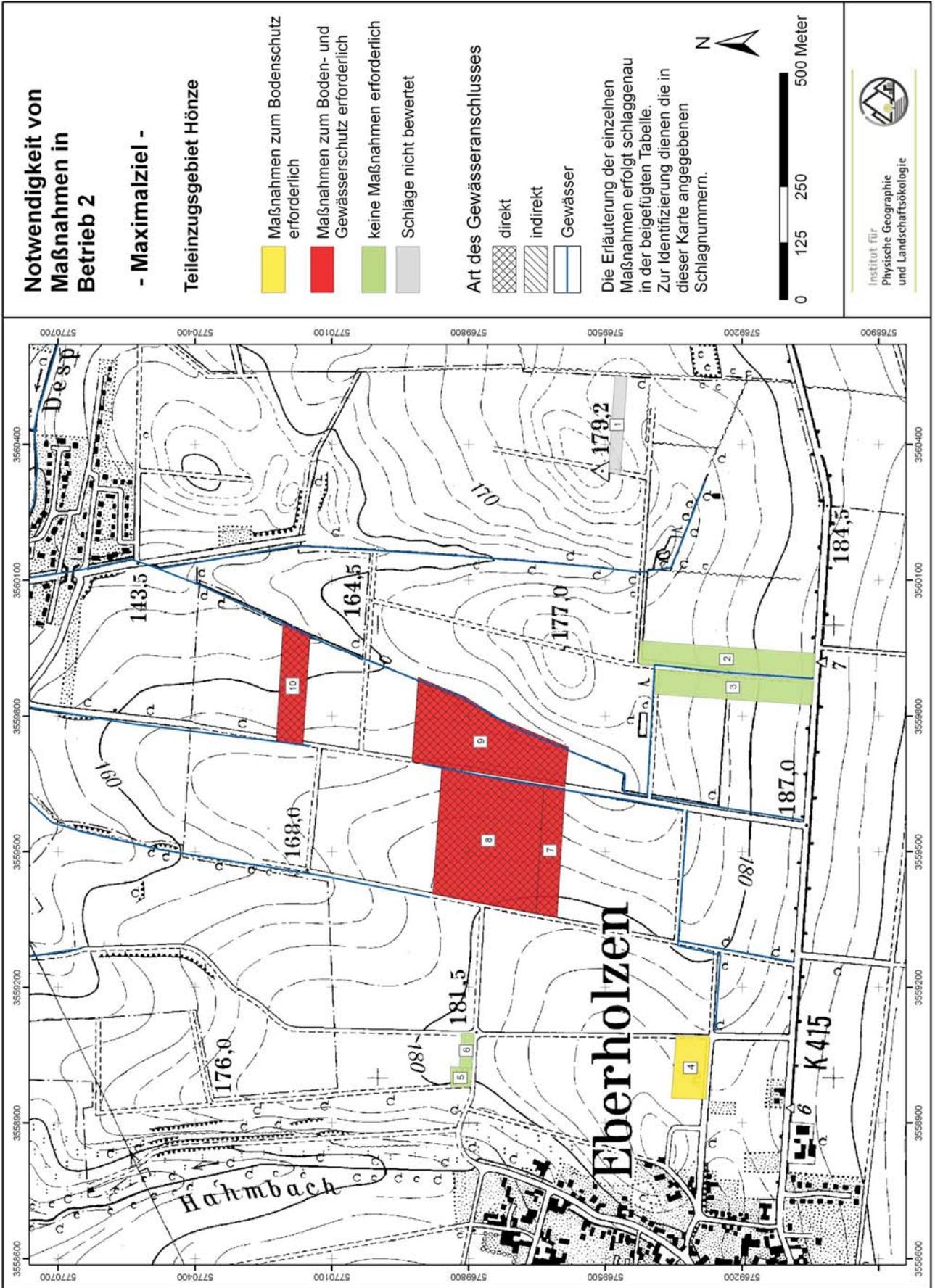


Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 2

Erläuterungen zur Karte A3

Minimalziel

Schlagnr.	Erforderliche Maßnahmen	Kriterium	Größe (ha)
1	nicht bewertet		0.6
2	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 1 t/ha*a ⁻¹	2.1
3	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 1 t/ha*a ⁻¹	1.9
4	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 1	1.0
5	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	0.2
6	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	0.2
7	Schlagteilung oder Fruchtwechsel oder 10 m Grünstreifen		1.3
8	Schlagteilung oder Fruchtfolge ZR-WW-Triticale (Mulchsaat) oder 10 m Grünstreifen erforderlich		6.4
9	Schlagteilung oder Fruchtwechsel oder 10 m Grünstreifen		4.6
10	Fruchtwechsel auf Winterraps oder 10 m Grünstreifen		1.5



Karte A4: Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 2, Maximalziel.

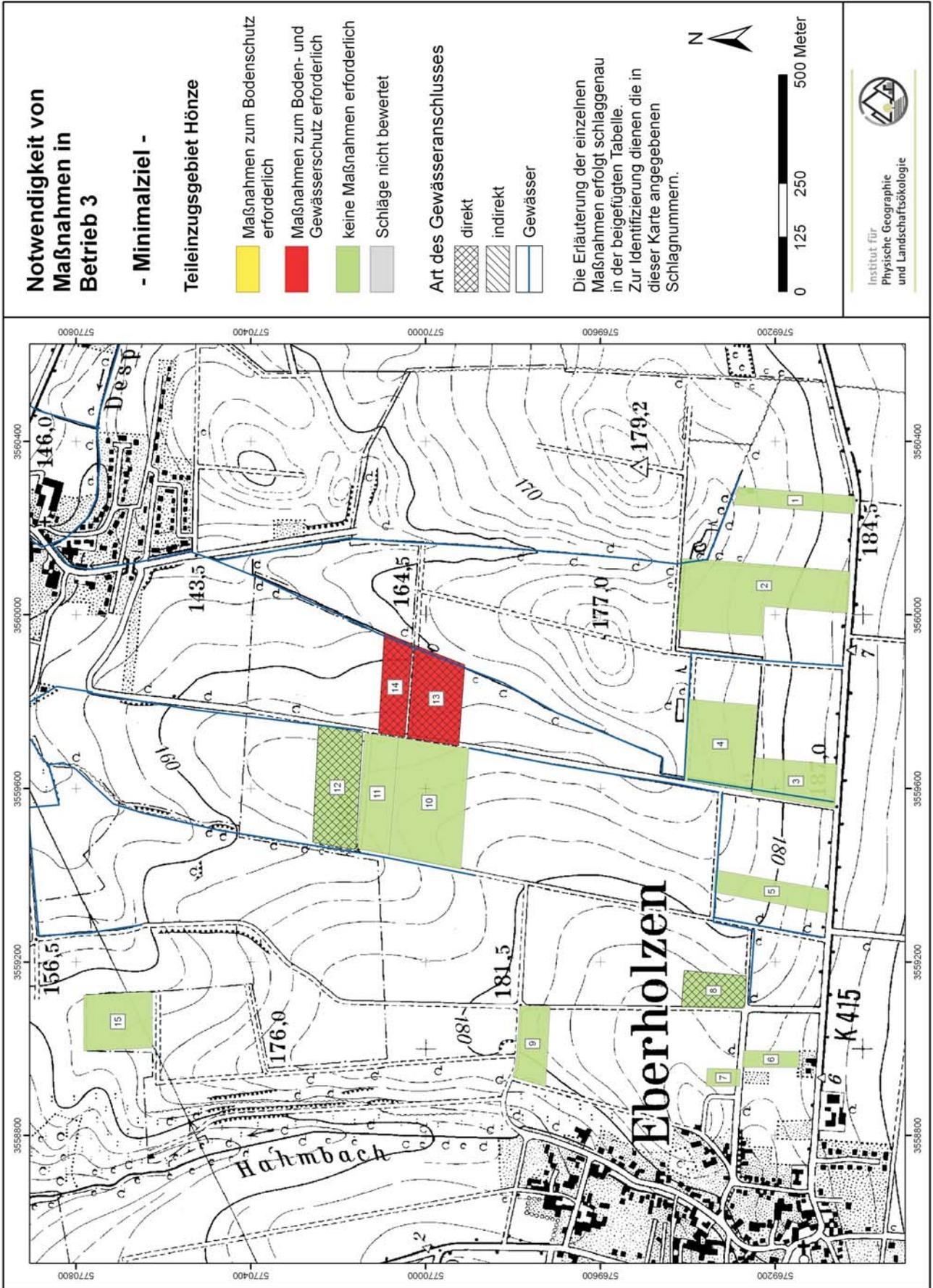


Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 2

Erläuterungen zur Karte A4

Maximalziel

Schlagnr.	Erforderliche Maßnahmen	Kriterium	Größe (ha)
1	nicht bewertet		0.6
2	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 1 t/ha*a ⁻¹	2.1
3	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 1 t/ha*a ⁻¹	1.9
4	Mulchsaat Hackfrüchte		1.0
5	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	0.2
6	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	0.2
7	Fruchtwechsel auf Winterraps		1.3
8	Fruchtwechsel auf Winterraps		6.4
9	Brache auf gesamtem Schlag		4.6
10	Fruchtwechsel auf Winterraps		1.5



Karte A5: Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 3, Minimalziel.

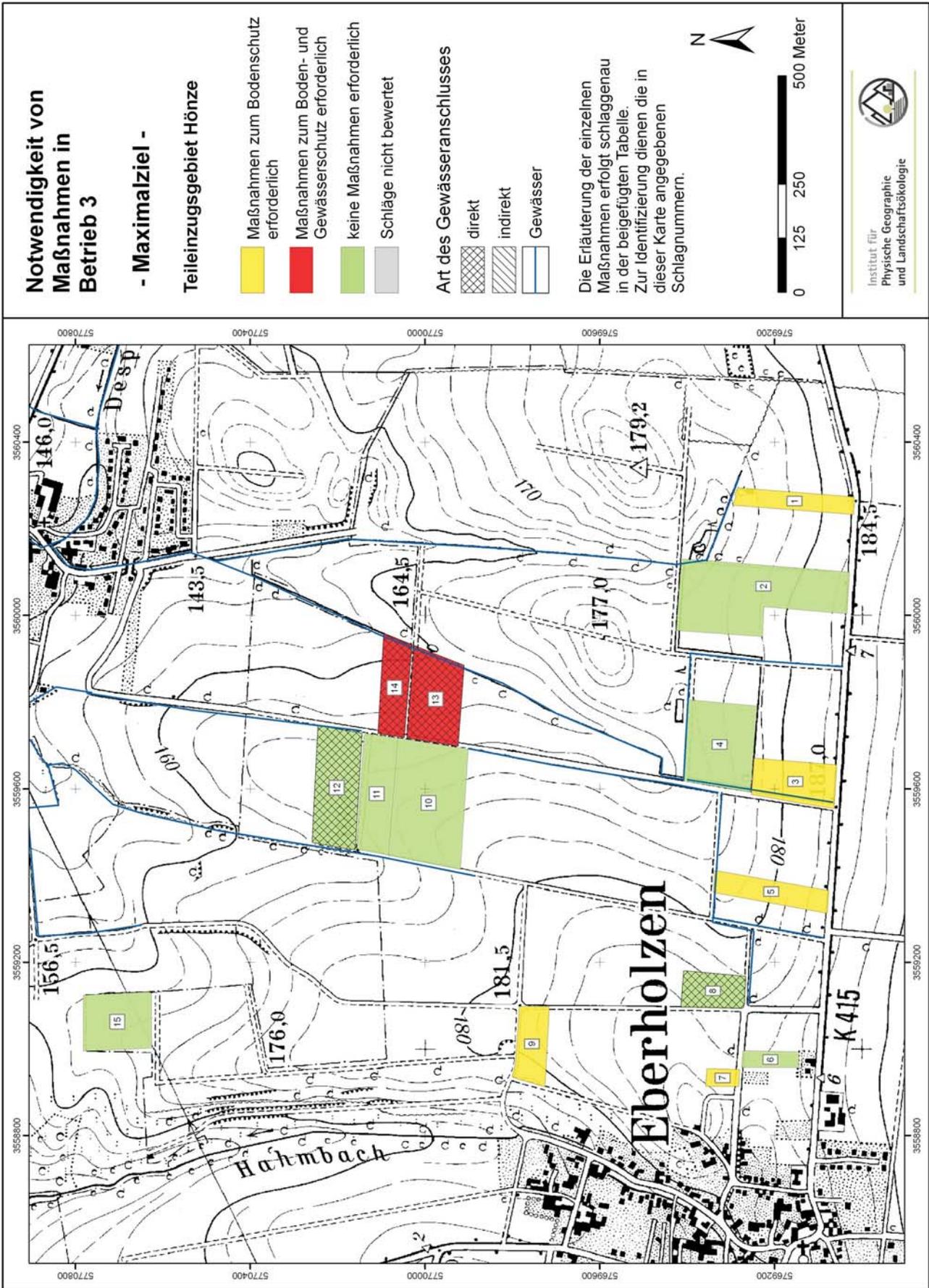


Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 3

Erläuterungen zur Karte A5

Minimalziel

Schlagnr.	Erforderliche Maßnahmen	Kriterium	Fläche (ha)
1	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 1	1.1
2	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 1 t/ha*a ⁻¹	5.0
3	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 1	1.8
4	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 1 t/ha*a ⁻¹	3.0
5	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 1	1.4
6	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	0.5
7	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 1	0.3
8	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 1 t/ha*a ⁻¹	1.1
9	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 1	1.2
10	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	4.5
11	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	2.0
12	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	2.7
13	10 m Gruenstreifen oder Schlagteilung und Fruchtwechsel		2.4
14	10 m Gruenstreifen oder Mulchsaat in gesamter Fruchtfolge		1.4
15	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	2.0



Karte A6: Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 3, Maximalziel.



Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 3

Erläuterungen zur Karte A6

Maximalziel

Schlagnr.	Erforderliche Maßnahmen	Kriterium	Fläche (ha)
1	Mulchsaat Hackfrüchte		1.1
2	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 1 t/ha*a ⁻¹	5.0
3	Mulchsaat Hackfrüchte		1.8
4	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 1 t/ha*a ⁻¹	3.0
5	Mulchsaat Hackfrüchte		1.4
6	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	0.5
7	Mulchsaat Hackfrüchte		0.3
8	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 1 t/ha*a ⁻¹	1.1
9	Mulchsaat in gesamter Fruchtfolge		1.2
10	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	4.5
11	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	2.0
12	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	2.7
13	Brache auf gesamtem Schlag		2.4
14	Fahrgassenbegrünung		1.4
15	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	2.0

Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 4

- Minimalziel -

Teileinzugsgebiete Brücken

- Maßnahmen zum Bodenschutz erforderlich
- Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz erforderlich
- keine Maßnahmen erforderlich
- Schläge nicht bewertet

Art des Gewässerschlusses

- direkt
- indirekt
- Gewässer

Die Erläuterung der einzelnen Maßnahmen erfolgt schlaggenau in der beigefügten Tabelle. Zur Identifizierung dienen die in dieser Karte angegebenen Schlagnummern.



Institut für
Physische Geographie
und Landschaftsökologie



Karte A7: Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 4, Minimalziel.

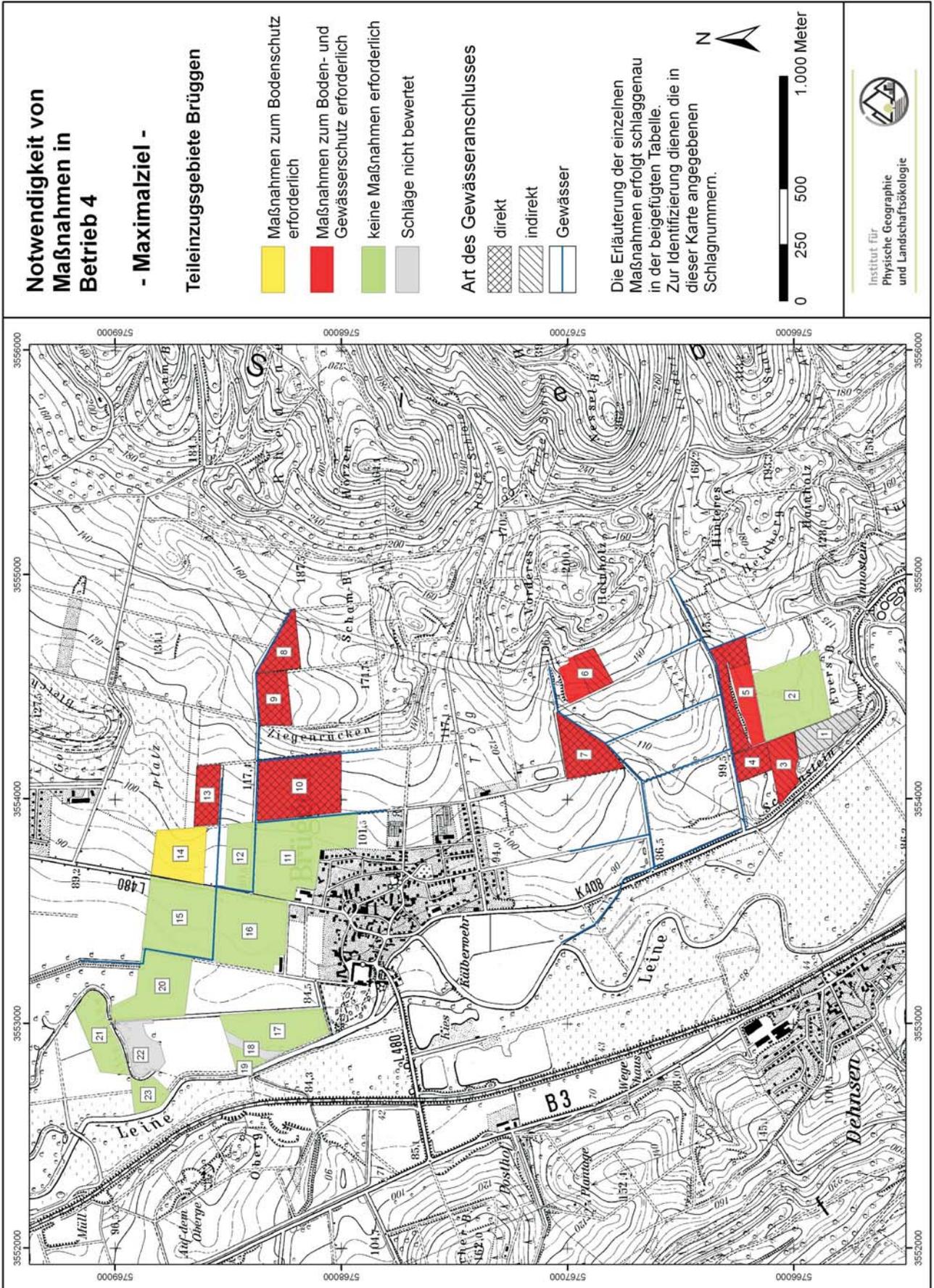


Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 4

Erläuterungen zur Karte A7

Minimalziel

Schlagnr.	Erforderliche Maßnahmen	Kriterium	Fläche (ha)
1	nicht bewertet		3.1
2	keine Maßnahmen erforderlich	GFB 0	9.3
3	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 4 t/ha*a ⁻¹	2.9
4	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 2 t/ha*a ⁻¹	2.0
5	10 m Grünstreifen oder Mulchsaat in gesamter Fruchtfolge		6.7
6	10 m Grünstreifen oder Mulchsaat in gesamter Fruchtfolge		3.5
7	10 m Grünstreifen oder Mulchsaat in gesamter Fruchtfolge		4.5
8	10 m Grünstreifen oder Mulchsaat in gesamter Fruchtfolge		2.9
9	10 m Grünstreifen oder Mulchsaat in gesamter Fruchtfolge		3.3
10	10 m Grünstreifen oder Schlagteilung und Fruchtwechsel auf Triticale		10.0
11	keine Maßnahmen erforderlich	GFB 0	12.0
12	keine Maßnahmen erforderlich	GFB 0	3.6
13	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 2 t/ha*a ⁻¹	2.9
14	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 1	5.2
15	keine Maßnahmen erforderlich	GFB 0	9.6
16	keine Maßnahmen erforderlich	GFB 0	10.0
17	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	6.5
18	nicht bewertet		1.0
19	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	1.0
20	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	7.4
21	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	4.5
22	nicht bewertet		3.3
23	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	1.9



Karte A8: Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 4, Maximalziel.

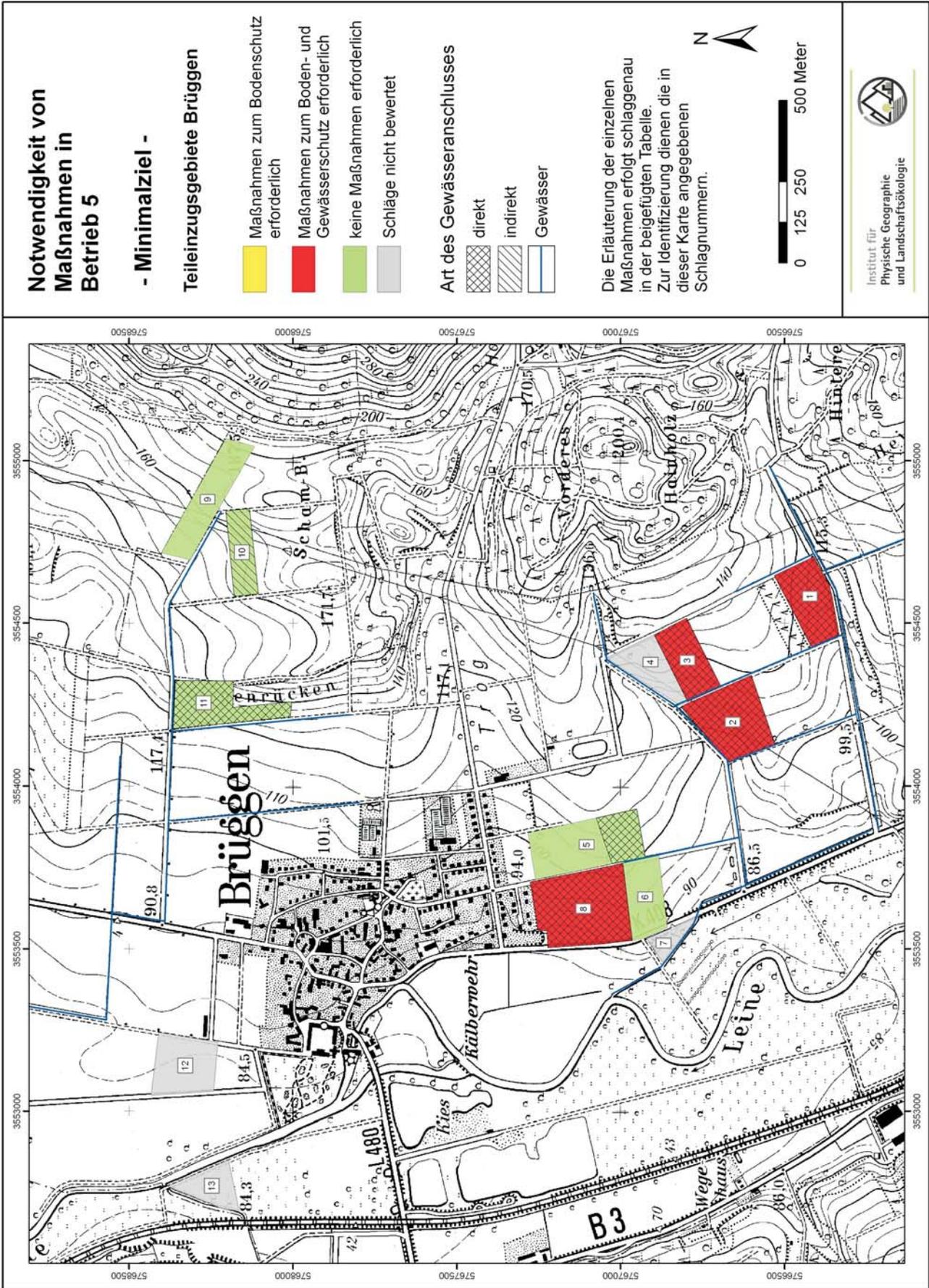


Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 4

Erläuterungen zur Karte A8

Maximalziel

Schlagnr.	Erforderliche Maßnahmen	Kriterium	Fläche (ha)
1	nicht bewertet		3.1
2	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	9.3
3	Brache auf gesamtem Schlag		2.9
4	Brache auf gesamtem Schlag		2.0
5	Brache im Bereich des direkten Gewässeranschlusses		6.7
6	Schlagteilung oder Fahrgassen begrünen		3.5
7	Wechsel auf Fruchtfolge Raps-WW-Triticale		4.5
8	Mulchsaat in gesamter Fruchtfolge		2.9
9	Mulchsaat in gesamter Fruchtfolge		3.3
10	Brache auf gesamtem Schlag		10.0
11	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	12.0
12	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	3.6
13	Wechsel auf Raps-Fruchtfolge		2.9
14	Mulchsaat in gesamter Fruchtfolge		5.2
15	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	9.6
16	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	10.0
17	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	6.5
18	nicht bewertet		1.0
19	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	1.0
20	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	7.4
21	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	4.5
22	nicht bewertet		3.3
23	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	1.9



Karte A9: Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 5, Minimalziel.

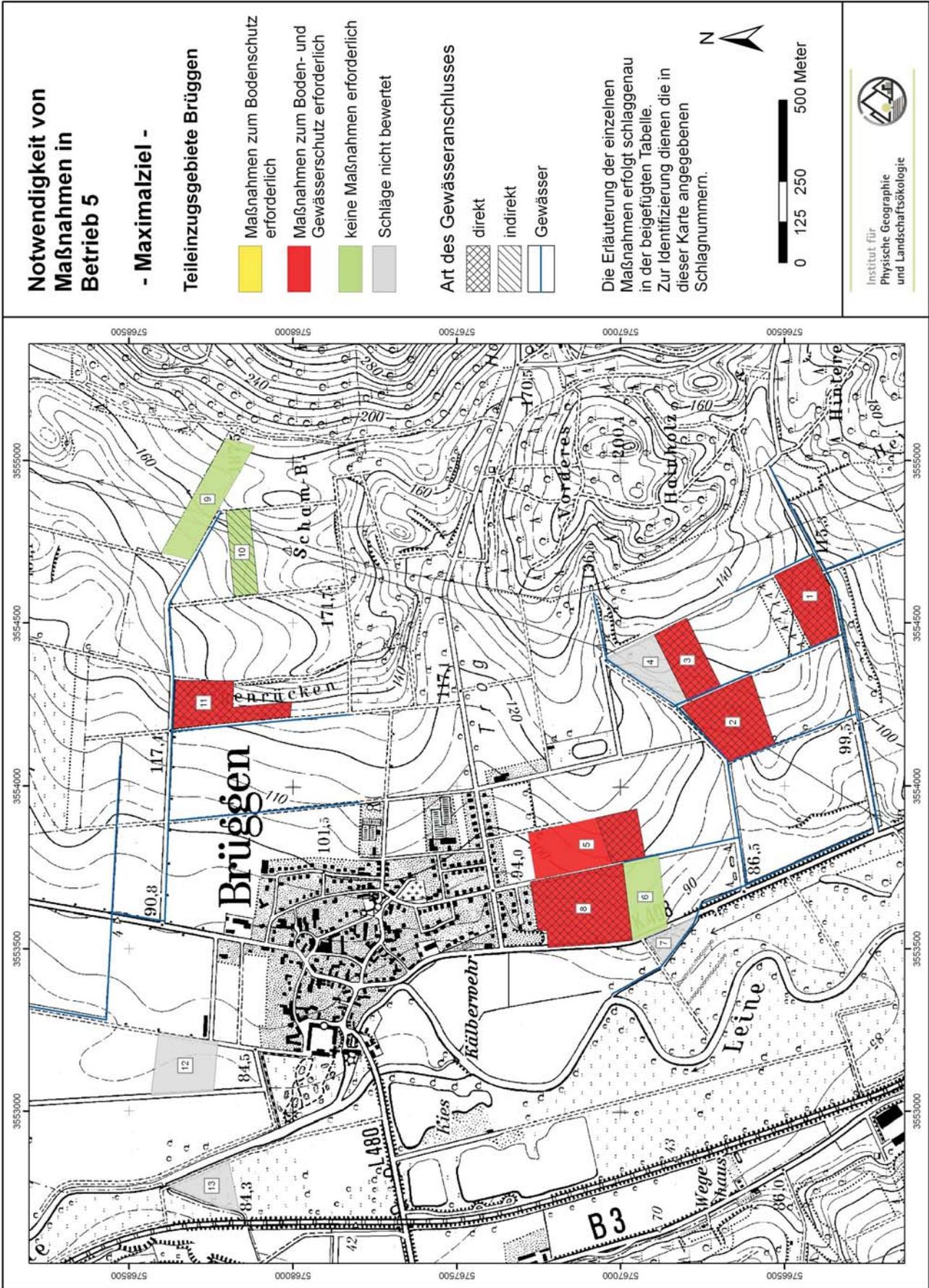


Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 5

Erläuterungen zur Karte A9

Minimalziel

Schlagnr.	Erforderliche Maßnahmen	Kriterium	Fläche (ha)
1	10 m Grünstreifen oder Schlagteilung mit Fruchtwechsel		3.0
2	10 m Grünstreifen oder Schlagteilung		4.3
3	10 m Grünstreifen oder Schlagteilung mit Fruchtwechsel auf Winterraps		2.6
4	nicht bewertet		2.2
5	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 2 t/ha*a ⁻¹	5.0
6	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	2.6
7	nicht bewertet		0.8
8	10 m Grünstreifen oder Mulchsaat und Fahrgassenbegrünung bei Zuckerrübe		6.2
9	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	3.5
10	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 4 t/ha*a ⁻¹	1.9
11	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 2 t/ha*a ⁻¹	3.3
12	nicht bewertet		3.2
13	nicht bewertet		1.7



Karte A10: Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 5, Maximalziel.

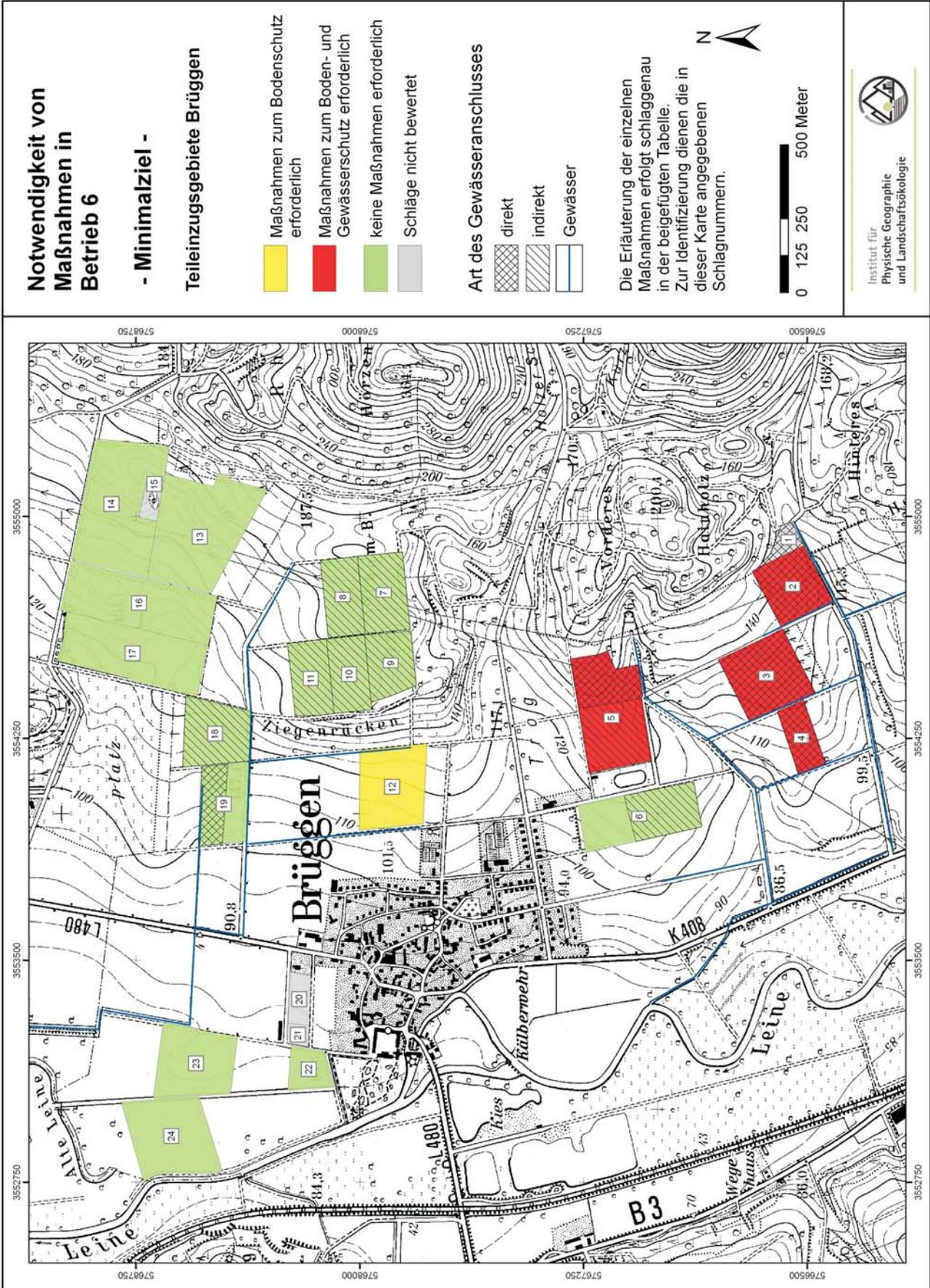


Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 5

Erläuterungen zur Karte A10

Maximalziel

Schlagnr.	Erforderliche Maßnahmen	Kriterium	Fläche (ha)
1	Brache auf gesamtem Schlag		3.0
2	Schlagteilung mit Fruchtwechsel auf Winterraps		4.3
3	Brache auf gesamtem Schlag		2.6
4	nicht bewertet		2.2
5	Zwischenfrucht vor der Zuckerrübe		5.0
6	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	2.6
7	nicht bewertet		0.8
8	Fruchtwechsel auf Winterraps		6.2
9	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	3.5
10	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 2 t/ha*a ⁻¹	1.9
11	Brache auf gesamtem Schlag		3.3
12	nicht bewertet		3.2
13	nicht bewertet		1.7



Karte A11: Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 6, Minimalziel.

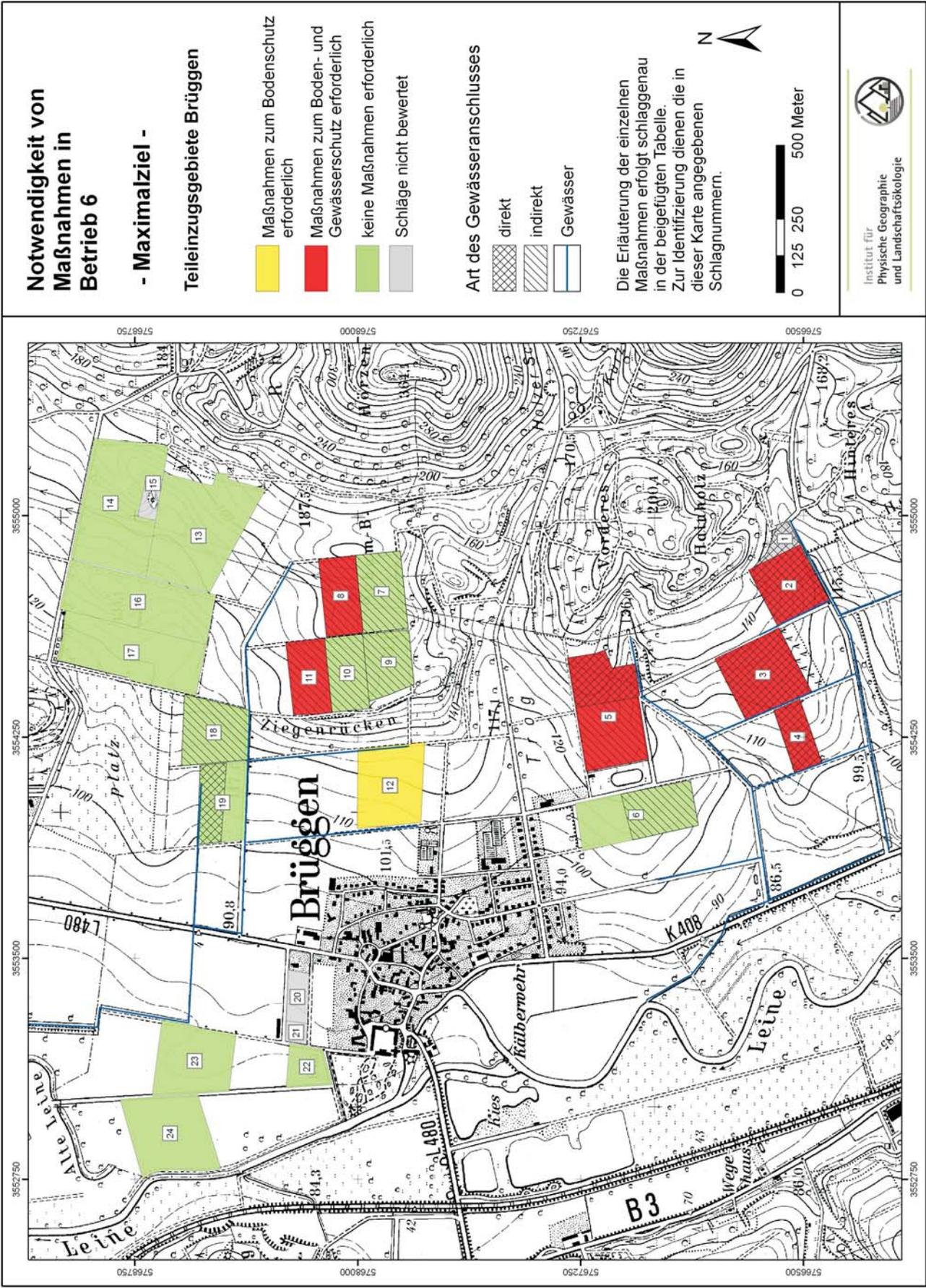


Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 6

Erläuterungen zur Karte A11

Minimalziel

Schlagnr.	Erforderliche Maßnahmen	Kriterium	Fläche (ha)
1	nicht bewertet		0.9
2	10 m Grünstreifen oder Brache auf gesamtem Schlag		4.2
3	10 m Grünstreifen oder Schlagteilung und Wechsel der Fruchtfolge		5.8
4	10 m Grünstreifen oder Schlagteilung und Fahrgassenbegrünung bei ZR		2.2
5	direkter GA: 10 m Grünstreifen oder Brache auf gesamtem Schlag; indirekter GA: Wechsel der Fruchtfolge		7.9
6	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 4 t/ha*a ⁻¹	6.3
7	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 4 t/ha*a ⁻¹	4.0
8	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 4 t/ha*a ⁻¹	3.3
9	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 4 t/ha*a ⁻¹	3.3
10	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 4 t/ha*a ⁻¹	3.2
11	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 4 t/ha*a ⁻¹	3.3
12	Anbau von Zwischenfrüchten		5.9
13	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	10.5
14	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	10.2
15	nicht bewertet		0.7
16	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	8.6
17	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	8.4
18	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 4 t/ha*a ⁻¹	4.6
19	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 2 t/ha*a ⁻¹	4.3
20	nicht bewertet		1.2
21	nicht bewertet		0.5
22	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	1.8
23	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	5.8
24	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	6.8



Karte A12: Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 6, Maximalziel.



Notwendigkeit von Maßnahmen in Betrieb 6

Erläuterungen zur Karte A12

Maximalziel

Schlagnr.	Erforderliche Maßnahmen	Kriterium	Fläche (ha)
1	nicht bewertet		0.9
2	Brache auf gesamtem Schlag		4.2
3	Brache auf gesamtem Schlag		5.8
4	Brache auf gesamtem Schlag		2.2
5	Brache auf gesamtem Schlag		7.9
6	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 2 t/ha*a ⁻¹	6.3
7	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 2 t/ha*a ⁻¹	4.0
8	Wechsel in der Fruchtfolge von Wintergerste auf Triticale		3.3
9	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 2 t/ha*a ⁻¹	3.3
10	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 2 t/ha*a ⁻¹	3.2
11	Wechsel in der Fruchtfolge von Wintergerste auf Triticale		3.3
12	Anbau von Zwischenfrüchten und Fahrgassenbegrünung		5.9
13	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	10.5
14	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	10.2
15	nicht bewertet		0.7
16	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	8.6
17	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	8.4
18	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 2 t/ha*a ⁻¹	4.6
19	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 1 t/ha*a ⁻¹	4.3
20	nicht bewertet		1.2
21	nicht bewertet		0.5
22	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	1.8
23	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	5.8
24	keine Maßnahmen erforderlich	geringe Neigung	6.8

Tab. A1: Maßnahmenbedingte Änderungen des Richtwert-Deckungsbeitrags im Gebiet Hönze - Minimalziel

Betrieb	Schlag	Schlaggröße (ha)	Fläche der Maßnahmen (ha)	Fruchtfolge alt	Fruchtfolge neu	Ohne Maßnahmen		Mit Maßnahmen		Veränderung des RDB (€)	Veränderung des RDB (€/a) -ganzer Schlag-	Maßnahmen
						RDB (€/ha)	RDB (€/Schlag)	RDB (€/ha)	RDB (€/Schlag)			
2	7	2.37	0.13	ZR	ZR	949.48	2250.27	892.21	2114.54	-135.73	-124.14	Gewässerrandstreifen
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	2338.81	927.55	2198.29	-140.52		
				WG	WG	639.53	1515.69	598.95	1419.51	-96.17		
2	8	5.34	0.18	ZR	ZR	949.48	5070.22	912.88	4874.78	-195.44	-178.73	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	5269.73	948.96	5067.45	-202.28		
				WG	WG	639.53	3415.09	613.60	3276.62	-138.47		
2	9	4.61	0.39	Mais	Mais	873.45	4026.60	790.55	3644.44	-382.17	-391.31	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	4549.33	894.42	4123.28	-426.06		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	3830.50	751.58	3464.78	-365.71		
2	10	1.53	0.08	ZR	ZR	949.48	1452.70	893.14	1366.50	-86.20	-78.84	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	1509.87	928.52	1420.64	-89.23		
				WG	WG	639.53	978.48	599.61	917.40	-61.08		
3	13	2.38	0.09	ZR	ZR	949.48	2259.76	909.18	2163.85	-95.91	-97.60	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	2348.68	945.12	2249.39	-99.29		
3	14	1.46	0.08	ZR	ZR	949.48	1386.24	893.93	1305.14	-81.10	-82.53	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	1440.79	929.34	1356.84	-83.95		
Σ (ha)		17.69	0.95			Σ (€)		43642.75			Σ (€/a)	-953.10

Ebene	Größe (ha)	Veränderung des RDB (€/ha*a)
Betrachtete Betriebsflächen im Gebiet	50.40	-18.91
Gesamtfläche der Schläge die von Maßnahmen betroffen ist	17.69	-53.88



Tab. A2: Maßnahmenbedingte Änderungen des Richtwert-Deckungsbeitrags im Gebiet Hönze - Maximalziel

Betrieb	Schlag	Schlaggröße (ha)	Fläche der Maßnahmen (ha)	Fruchtfolge alt	Fruchtfolge neu	Ohne Maßnahmen		Mit Maßnahmen		Veränderung des RDB (€)	Veränderung des RDB (€/a -ganzer Schlag-	Maßnahmen
						RDB (€/ha)	RDB (€/Schlag)	RDB (€/ha)	RDB (€/Schlag)			
2	4	1.03	1.03	Mais konv.	Mais kons.	873.45	899.65	903.65	930.76	31.11	20.74	Frucht- und/oder Bodenbearbeitungswechsel
				Mais konv.	Mais kons.	873.45	899.65	903.65	930.76	31.11		
				Brache	Brache	-31.49	-32.43	-31.49	-32.43	0.00		
2	7	1.32	1.32	ZR konv	W-Raps kons.	949.48	1253.31	407.43	537.81	-715.51	-238.50	
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	1342.49	1017.04	1342.49	0.00		
				WG konv.	WG konv.	639.53	844.18	639.53	844.18	0.00		
2	8	6.43	6.43	ZR konv	W-Raps kons.	949.48	6105.16	407.43	2619.77	-3485.38	-1161.79	
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	6539.57	1017.04	6539.57	0.00		
				WG konv.	WG konv.	639.53	4112.18	639.53	4112.18	0.00		
2	10	1.52	1.52	ZR konv	W-Raps kons.	949.48	1443.21	407.43	619.29	-823.92	-274.64	
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	1545.90	1017.04	1545.90	0.00		
				WG konv.	WG konv.	639.53	972.09	639.53	972.09	0.00		
3	1	1.10	1.10	Mais konv.	Mais kons.	873.45	960.80	903.65	994.02	33.22	22.15	
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	1118.74	1017.04	1118.74	0.00		
				Mais konv.	Mais kons.	873.45	960.80	903.65	994.02	33.22		
3	3	1.77	1.77	Mais konv.	Mais kons.	873.45	1546.01	903.65	1599.46	53.45	17.82	
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	1800.16	1017.04	1800.16	0.00		
				WG konv.	WG konv.	639.53	1131.97	639.53	1131.97	0.00		
3	5	1.36	1.36	Mais konv.	Mais kons.	873.45	1187.89	903.65	1228.96	41.07	27.38	
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	1383.17	1017.04	1383.17	0.00		
				Mais konv.	Mais kons.	873.45	1187.89	903.65	1228.96	41.07		
3	7	0.30	0.30	Mais konv.	Mais kons.	873.45	262.04	903.65	271.10	9.06	3.02	
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	305.11	1017.04	305.11	0.00		
				WG konv.	WG konv.	639.53	191.86	639.53	191.86	0.00		
3	9	1.23	1.23	Mais konv.	Mais kons.	873.45	1074.34	903.65	1111.49	37.15	-25.02	
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	986.84	1213.81	1017.04	1250.96	37.15		
				WW-Stoppel konv.	WW-Stoppel kons.	830.91	1022.02	709.48	872.66	-149.36		
3	13	2.37	2.37	ZR konv.	Stilllegung	949.48	2250.27	-31.49	-74.63	-2324.90	-2369.17	
				WW-Blatt		986.84	2338.81	-31.49	-74.63	-2413.44		
Σ (ha)		18.43	18.43			Σ (€)		45860.64	Σ (€/a)		-3978.00	

Ebene	Größe (ha)	Veränderung des RDB (€/ha*a)
Betrachtete Betriebsflächen im Gebiet	50.40	-78.93
Gesamtfläche der Schläge die von Maßnahmen betroffen ist	18.43	-215.84



Tab. A3: Maßnahmenbedingte Änderungen des Richtwert-Deckungsbeitrags im Gebiet Brügglen - Minimalziel

Betrieb	Schlag	Schlaggröße (ha)	Fläche der Maßnahmen (ha)	Fruchtfolge alt	Fruchtfolge neu	Ohne Maßnahmen		Mit Maßnahmen		Veränderung des RDB (€)	Veränderung des RDB (€/a) -ganzer Schlag-	Maßnahmen
						RDB (€/ha)	RDB (€/Schlag)	RDB (€/ha)	RDB (€/Schlag)			
4	5	6.25	0.49	W-Raps	W-Raps	377.23	2357.69	338.82	2117.63	-240.06	-401.98	Gewässeranstreifen
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	6167.75	900.77	5629.81	-537.94		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	5193.19	757.03	4731.44	-461.75		
				WG	WG	639.53	3997.06	580.62	3628.88	-368.19		
4	6	3.25	0.19	W-Raps	W-Raps	377.23	1226.00	348.60	1132.95	-93.05	-155.84	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	3207.23	922.67	2998.68	-208.55		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	2700.46	775.83	2521.45	-179.01		
				WG	WG	639.53	2078.47	595.61	1935.73	-142.74		
4	7	4.21	0.33	W-Raps	W-Raps	377.23	1588.14	338.54	1425.25	-162.88	-272.77	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	4154.60	900.14	3789.59	-365.01		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	3498.13	756.49	3184.82	-313.31		
				WG	WG	639.53	2692.42	580.18	2442.56	-249.86		
4	8	2.47	0.33	W-Raps	W-Raps	377.23	931.76	310.98	768.12	-163.64	-274.04	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	2437.49	838.37	2070.77	-366.72		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	2052.35	703.47	1737.57	-314.78		
				WG	WG	639.53	1579.64	537.90	1328.61	-251.03		
4	9	3.00	0.30	W-Raps	W-Raps	377.23	1131.69	328.04	984.12	-147.57	-247.10	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	2960.52	876.62	2629.86	-330.66		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	2492.73	736.30	2208.90	-283.83		
				WG	WG	639.53	1918.59	564.08	1692.24	-226.35		
4	10	11.60	0.57	ZR	ZR	949.48	11013.97	897.54	10411.46	-602.50	-547.14	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	11447.34	933.07	10823.61	-623.73		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	9638.56	784.76	9103.22	-535.34		
				WG	WG	639.53	7418.55	602.72	6991.55	-427.00		
5	1	2.92	0.11	W-Raps	W-Raps	377.23	1101.51	359.40	1049.45	-52.06	-87.20	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	2881.57	946.88	2764.89	-116.68		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	2426.26	796.61	2326.10	-100.16		
				WG	WG	639.53	1867.43	612.17	1787.54	-79.89		
5	2	4.15	0.44	ZR	ZR	949.48	3940.34	837.19	3474.34	-466.00	-454.13	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	4095.39	870.61	3613.03	-482.35		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	3448.28	731.14	3034.23	-414.05		
5	3	2.59	0.14	ZR	ZR	949.48	2459.15	891.24	2308.31	-150.84	-147.01	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	2555.92	926.55	2399.76	-156.15		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	2152.06	779.16	2018.02	-134.03		
5	8	5.90	0.31	ZR	ZR	949.48	5601.93	894.33	5276.55	-325.39	-295.44	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	5822.36	929.76	5485.58	-336.77		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	4902.37	781.91	4613.27	-289.10		
				WG	WG	639.53	3773.23	600.46	3542.71	-230.51		
6	2	3.93	0.14	W-Raps	W-Raps	377.23	1482.51	359.68	1413.54	-68.97	-115.50	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	3878.28	947.51	3723.71	-154.57		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	3265.48	797.15	3132.80	-132.68		
				WG	WG	639.53	2513.35	612.61	2407.56	-105.80		
6	3	5.59	0.23	ZR	ZR	949.48	5307.59	905.60	5062.30	-245.29	-239.07	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	5516.44	941.41	5262.48	-253.95		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	4644.79	791.92	4426.83	-217.95		
6	5	7.86	0.08	ZR	ZR	949.48	7462.91	939.21	7382.19	-80.72	-78.68	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	7756.56	976.21	7673.01	-83.55		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	6530.95	821.78	6459.19	-71.76		
6	4	3.83	0.18	ZR	ZR	949.48	3636.51	899.71	3445.89	-190.62	Schlagteilung	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	3779.60	935.32	3582.28	-197.32		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	3182.39	786.69	3013.02	-169.36		
6	12	5.92	5.92	ZR kons.	ZR kons.	979.68	5799.71	979.68	5799.71	0.00	Mulchsaat	
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	6020.88	1017.04	6020.88	0.00		
				WW-Stoppel konventionell	WW-Stoppel konservierend	830.91	4918.99	709.48	4200.12	-718.87		
Σ (ha)		73.47	9.76			Σ (€)		216609.03	Σ (€/a)		-3741.30	

Ebene	Größe (ha)	Veränderung des RDB (€/ha*a)
Betrachtete Betriebsflächen im Gebiet	271.23	-13.79
Gesamtfläche der Schläge die von Maßnahmen betroffen ist	73.47	-50.92



Tab. A4: Maßnahmenbedingte Änderungen des Richtwert-Deckungsbeitrags im Gebiet Brüggen - Maximalziel

Betrieb	Schlag	Schlaggröße (ha)	Fläche der Maßnahmen (ha)	Fruchtfolge alt	Fruchtfolge neu	Ohne Maßnahmen		Mit Maßnahmen		Veränderung des RDB (€)	Veränderung des RDB (€/a) -ganzer Schlag-	Maßnahmen
						RDB (€/ha)	RDB (€/Schlag)	RDB (€/ha)	RDB (€/Schlag)			
4	7	4.21	4.21	W-Raps kons.	W-Raps kons.	407.43	1715.28	407.43	1715.28	0.00	-252.21	Frucht- und/oder Bodenbearbeitungswechsel
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	4281.74	1017.04	4281.74	0.00		
				WW-Stoppel konv.	WW-Stoppel kons.	830.91	3498.13	709.48	2986.91	-511.22		
				WG konv.	WG kons.	639.53	2692.42	521.33	2194.80	-497.62		
4	8	2.47	2.47	W-Raps kons.	W-Raps kons.	407.43	1006.35	407.43	1006.35	0.00	-147.97	
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	2512.09	1017.04	2512.09	0.00		
				WW-Stoppel konv.	WW-Stoppel kons.	830.91	2052.35	709.48	1752.42	-299.93		
				WG konv.	WG kons.	639.53	1579.64	521.33	1287.69	-291.95		
4	9	3.00	3.00	W-Raps kons.	W-Raps kons.	407.43	1222.29	407.43	1222.29	0.00	-179.72	
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	3051.12	1017.04	3051.12	0.00		
				WW-Stoppel konv.	WW-Stoppel kons.	830.91	2492.73	709.48	2128.44	-364.29		
				WG konv.	WG kons.	639.53	1918.59	521.33	1563.99	-354.60		
4	13	2.87	2.87	ZR kons.	W-Raps kons.	979.68	2811.68	407.43	1169.32	-1642.36	-547.45	
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	2918.90	1017.04	2918.90	0.00		
				WW-Stoppel konv.	WW-Stoppel kons.	830.91	2384.71	830.91	2384.71	0.00		
				ZR kons.	ZR kons.	979.68	5064.95	979.68	5064.95	0.00		
4	14	5.17	5.17	WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	5258.10	1017.04	5258.10	0.00	-209.26	
				WW-Stoppel konv.	WW-Stoppel kons.	830.91	4295.80	709.48	3668.01	-627.79		
				ZR kons.	ZR kons.	979.68	4917.99	979.68	4917.99	0.00		
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	5105.54	1017.04	5105.54	0.00		
5	5	5.02	5.02	WW-Stoppel konv.	WW-Stoppel kons.	830.91	4171.17	709.48	3561.59	-609.58	-203.19	
				ZR	W-Raps	979.68	5780.11	407.43	2403.84	-3376.28		
				WW-Blatt	WW-Blatt	1017.04	6000.54	1017.04	6000.54	0.00		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	4902.37	830.91	4902.37	0.00		
5	8	5.90	5.90	WG	WG	639.53	3773.23	639.53	3773.23	0.00	-844.07	
				W-Raps kons.	W-Raps kons.	407.43	1340.44	407.43	1340.44	0.00		
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	3346.06	1017.04	3346.06	0.00		
				WW-Stoppel konv.	WW-Stoppel kons.	830.91	2733.69	709.48	2334.19	-399.50		
6	8	3.29	3.29	WG konv.	WG kons.	639.53	2104.05	521.33	1715.18	-388.88	-197.10	
				W-Raps kons.	W-Raps kons.	407.43	1336.37	407.43	1336.37	0.00		
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	3335.89	1017.04	3335.89	0.00		
				WW-Stoppel konv.	WW-Stoppel kons.	830.91	2725.38	709.48	2327.09	-398.29		
6	11	3.28	3.28	WG konv.	WG kons.	639.53	2097.66	521.33	1709.96	-387.70	-196.50	
				ZR kons.	ZR kons.	979.68	5799.71	979.68	5799.71	0.00		
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	6020.88	1017.04	6020.88	0.00		
				WW-Stoppel konv.	WW-Stoppel kons.	830.91	4918.99	709.48	4200.12	-718.87		
4	6	3.25	0.19	W-Raps	W-Raps	377.23	1226.00	342.52	1113.19	-112.81	-203.13	
				WW-Blatt	WW-Blatt	1017.04	3305.38	944.83	3070.70	-234.68		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	2700.46	767.76	2495.22	-205.24		
				WG	WG	639.53	2078.47	559.59	1818.67	-259.81		
5	2	4.15	0.19	ZR	ZR	979.68	4065.67	931.68	3866.47	-199.20	-211.59	
				WW-Blatt	WW-Blatt	1017.04	4220.72	961.10	3988.57	-232.15		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	3448.28	781.89	3244.84	-203.43		
				W-Raps	W-Raps	377.23	1226.00	342.52	1113.19	-112.81		
4	3	2.93	2.93	WW-Blatt	Stilllegung	986.84	2891.44	-31.49	-92.27	-1197.55	-2168.54	
				WW-Stoppel	Stilllegung	830.91	2434.57	-31.49	-92.27	-2526.83		
				WG	Stilllegung	639.53	1873.82	-31.49	-92.27	-1966.09		
				W-Raps	Stilllegung	377.23	1105.28	-31.49	-92.27	-825.61		
4	4	2.02	2.02	WW-Blatt	Stilllegung	986.84	1993.42	-31.49	-63.61	-2057.03	-1495.04	
				WW-Stoppel	Stilllegung	830.91	1678.44	-31.49	-63.61	-1742.05		
				WG	Stilllegung	639.53	1291.85	-31.49	-63.61	-1355.46		
				ZR	Stilllegung	949.48	11013.97	-31.49	-365.28	-11379.25		
4	10	11.60	11.60	WW-Blatt	Stilllegung	986.84	11447.34	-31.49	-365.28	-11812.63	-10244.89	
				WW-Stoppel	Stilllegung	830.91	9638.56	-31.49	-365.28	-10003.84		
				WG	Stilllegung	639.53	7418.55	-31.49	-365.28	-7783.83		
				W-Raps	Stilllegung	377.23	1101.51	-31.49	-91.95	-1193.46		
5	1	2.92	2.92	WW-Blatt	Stilllegung	986.84	2881.57	-31.49	-91.95	-2973.52	-2161.14	
				WW-Stoppel	Stilllegung	830.91	2426.26	-31.49	-91.95	-2518.21		
				WG	Stilllegung	639.53	1867.43	-31.49	-91.95	-1959.38		
				ZR	Stilllegung	949.48	2459.15	-31.49	-81.56	-2540.71		
5	3	2.59	2.59	WW-Blatt	Stilllegung	986.84	2555.92	-31.49	-81.56	-2637.47	-2470.60	
				WW-Stoppel	Stilllegung	830.91	2152.06	-31.49	-81.56	-2233.62		
				W-Raps	Stilllegung	407.43	1340.44	-31.49	-103.60	-1444.05		
				WW-Blatt	Stilllegung	1017.04	3346.06	-31.49	-103.60	-3449.66		
5	11	3.29	3.29	WW-Stoppel	Stilllegung	830.91	2733.69	-31.49	-103.60	-2837.30	-2484.67	
				WG	Stilllegung	639.53	2104.05	-31.49	-103.60	-2207.66		
				W-Raps	Stilllegung	377.23	1482.51	-31.49	-103.60	-1586.12		
				WW-Blatt	Stilllegung	986.84	3878.28	-31.49	-103.60	-3981.88		
6	2	3.93	3.93	WW-Stoppel	Stilllegung	830.91	3265.48	-31.49	-123.76	-3389.23	-2898.58	
				WG	Stilllegung	639.53	2513.35	-31.49	-123.76	-2637.11		
				ZR	Stilllegung	949.48	5307.59	-31.49	-176.03	-5483.62		
				WW-Blatt	Stilllegung	986.84	5516.44	-31.49	-176.03	-5692.46		
6	3	5.59	5.59	WW-Stoppel	Stilllegung	830.91	4644.79	-31.49	-176.03	-4820.82	-5332.30	
				ZR	Stilllegung	949.48	3636.51	-31.49	-120.61	-3757.12		
				WW-Blatt	Stilllegung	986.84	3779.60	-31.49	-120.61	-3900.20		
				WW-Stoppel	Stilllegung	830.91	3182.39	-31.49	-120.61	-3302.99		
6	4	3.83	3.83	ZR	Stilllegung	949.48	7462.91	-31.49	-247.51	-7710.42	-7624.26	
				WW-Blatt	Stilllegung	986.84	7756.56	-31.49	-247.51	-8004.07		
				WW-Stoppel	Stilllegung	830.91	6530.95	-31.49	-247.51	-6778.46		
				WW-Blatt	Stilllegung	986.84	7756.56	-31.49	-247.51	-8004.07		
Σ (ha)		95.09	88.07	Σ (€)		287443.23		Σ (€/a)		-43965.30		

Ebene	Größe (ha)	Veränderung des RDB (€/ha*a)
Betrachtete Betriebsflächen im Gebiet	271.23	-162.10
Gesamtfläche der Schläge die von Maßnahmen betroffen ist	95.09	-462.35



Tab. A5: Maßnahmenbedingte Änderungen des Richtwert-Deckungsbeitrags im Gebiet Eddinghausen - Minimalziel

Betrieb	Schlag	Schlaggröße (ha)	Fläche der Maßnahmen (ha)	Fruchtfolge alt	Fruchtfolge neu	Ohne Maßnahmen		Mit Maßnahmen		Veränderung des RDB (€)	Veränderung des RDB (€/a) -ganzer Schlag-	Maßnahmen
						RDB (€/ha)	RDB (€/Schlag)	RDB (€/ha)	RDB (€/Schlag)			
1	4	7.21	0.53	W-Raps	W-Raps	377.23	2719.83	341.46	2461.93	-257.90	-410.49	Gewässerrandstreifen
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	7115.12	906.68	6537.16	-577.95		
				WG	WG	639.53	4611.01	584.66	4215.40	-395.61		
1	6	10.14	0.37	W-Raps	W-Raps	377.23	3825.11	359.52	3645.53	-179.58	-285.85	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	10006.56	947.15	9604.10	-402.46		
				WG	WG	639.53	6484.83	612.36	6209.33	-275.50		
1	9	27.05	0.47	ZR	ZR	949.48	25683.43	931.09	25185.98	-497.45	-454.98	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	26694.02	967.80	26178.99	-515.03		
				WG	WG	639.53	17299.29	626.50	16946.83	-352.46		
1	12	6.73	0.08	ZR	ZR	949.48	6390.00	937.42	6308.84	-81.16	-79.08	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	6641.43	974.36	6557.44	-83.99		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	5592.02	820.20	5519.95	-72.08		
1	13	6.47	0.10	ZR	ZR	949.48	6143.14	932.51	6033.34	-109.80	-107.01	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	6384.85	969.27	6271.18	-113.68		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	5375.99	815.83	5278.42	-97.57		
1	17	12.29	0.36	ZR	ZR	949.48	11669.11	918.06	11282.96	-386.15	-353.13	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	12128.26	954.32	11728.59	-399.67		
				WG	WG	639.53	7859.82	617.27	7586.25	-273.58		
1	18	11.99	0.17	ZR	ZR	949.48	11384.27	934.79	11208.13	-176.13	-152.47	
				WG	WG	639.53	7667.96	629.12	7543.15	-124.82		
				WW-Stoppel	WW-Stoppel	830.91	9962.61	817.86	9806.14	-156.47		
1	19	5.21	0.37	W-Raps	W-Raps	377.23	1965.37	342.17	1782.71	-182.66	-290.74	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	5141.44	908.27	4732.09	-409.35		
				WG	WG	639.53	3331.95	585.75	3051.76	-280.19		
1	29	10.09	0.33	W-Raps	W-Raps	377.23	3806.25	360.95	3641.99	-164.27	-287.50	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	9957.22	950.36	9589.13	-368.08		
				Mais	Mais	873.45	8813.11	840.73	8482.97	-330.14		
1	30	13.41	0.68	W-Raps	W-Raps	377.23	5058.65	352.39	4725.55	-333.10	-583.11	
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	13233.52	931.17	12486.99	-746.53		
				Mais	Mais	873.45	11712.96	823.51	11043.27	-669.70		
Σ (ha)		110.59	3.46			Σ (€)		264659.1518			Σ (€/a)	-3004.40

Ebene	Größe (ha)	Veränderung des RDB (€/ha*a)
Betrachtete Betriebsflächen im Gebiet	317.79	-9.45
Gesamtfläche der Schläge die von Maßnahmen betroffen ist	110.59	-27.17



Tab. A6: Maßnahmenbedingte Änderungen des Richtwert-Deckungsbeitrags im Gebiet Eddinghausen - Maximalziel

Betrieb	Schlag	Schlaggröße (ha)	Fläche der Maßnahmen (ha)	Fruchtfolge alt	Fruchtfolge neu	Ohne Maßnahmen		Mit Maßnahmen		Veränderung des RDB (€)	Veränderung des RDB (€/a) -ganzer Schlag-	Maßnahmen
						RDB (€/ha)	RDB (€/Schlag)	RDB (€/ha)	RDB (€/Schlag)			
1	7	15.89	15.89	ZR kons.	ZR kons.	979.68	15567.12	979.68	15567.12	0.00		Frucht- und/oder Bodenbearbeitungswechsel
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	16160.77	1017.04	16160.77	0.00	-626.07	
				WG konv.	WG kons.	639.53	10162.13	521.33	8283.93	-1878.20		
1	14	15.26	15.26	ZR kons.	W-Raps kons.	979.68	14949.92	407.43	6217.38	-8732.54		Frucht- und/oder Bodenbearbeitungswechsel
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	15520.03	1017.04	15520.03	0.00	-2910.85	
				WW-Stoppel konventionell	WW-Stoppel konventionell	830.91	12679.69	830.91	12679.69	0.00		
1	19	5.21	5.21	W-Raps kons.	W-Raps kons.	407.43	2122.71	407.43	2122.71	0.00		Frucht- und/oder Bodenbearbeitungswechsel
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	5298.78	1017.04	5298.78	0.00	-205.27	
				WG konv.	WG kons.	639.53	3331.95	521.33	2716.13	-615.82		
1	27	12.82	12.82	W-Raps kons.	W-Raps kons.	407.43	5223.25	407.43	5223.25	0.00		Frucht- und/oder Bodenbearbeitungswechsel
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	13038.45	1017.04	13038.45	0.00	-518.91	
				WW-Stoppel konventionell	WW-Stoppel konservierend	830.91	10652.27	709.48	9095.53	-1556.73		
1	29	10.09	10.09	W-Raps kons.	W-Raps kons.	407.43	4110.97	407.43	4110.97	0.00		Frucht- und/oder Bodenbearbeitungswechsel
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	10261.93	1017.04	10261.93	0.00	-143.08	
				Mais konv.	WW-Stoppel konventionell	873.45	8813.11	830.91	8383.88	-429.23		
1	30	13.41	13.41	W-Raps kons.	W-Raps kons.	407.43	5463.64	407.43	5463.64	0.00		Frucht- und/oder Bodenbearbeitungswechsel
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	1017.04	13638.51	1017.04	13638.51	0.00	-190.15	
				Mais konv.	WW-Stoppel konventionell	873.45	11712.96	830.91	11442.50	-570.46		
1	5	7.24	0.30	W-Raps	W-Raps	377.23	2731.15	357.09	2585.33	-145.81		Schlagteilung
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	7144.72	941.71	6817.98	-326.74	-232.07	
				WG	WG	639.53	4630.20	608.64	4406.55	-223.64		
1	16	4.85	0.19	W-Raps	W-Raps	377.23	1829.57	358.56	1739.02	-90.55		Schlagteilung
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	4786.17	945.01	4583.30	-202.88	-144.09	
				WG	WG	639.53	3101.72	610.90	2962.87	-138.86		
1	18	11.99	0.55	ZR	ZR	949.48	11384.27	901.09	10804.07	-580.20		Schlagteilung
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	11832.21	936.75	11231.63	-600.58	-530.64	
				WG	WG	639.53	7667.96	605.24	7256.83	-411.14		
1	29	10.09	0.46	ZR	ZR	949.48	9580.25	901.62	9097.35	-482.91		Schlagteilung
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	9957.22	937.30	9457.36	-499.86	-441.64	
				WG	WG	639.53	6452.86	605.62	6110.71	-342.15		
1	30	13.41	0.46	ZR	ZR	949.48	12732.53	913.32	12247.62	-484.91		Schlagteilung
				WW-Blatt	WW-Blatt	986.84	13233.52	949.41	12731.59	-501.94	-443.47	
				WG	WG	639.53	8576.10	613.91	8232.53	-343.56		
1	4	7.21	7.21	W-Raps	Stilllegung	407.43	2937.57	-31.49	-227.04	-3164.61		Stilllegung
				WW-Blatt	Stilllegung	986.84	7115.12	-31.49	-227.04	-7342.16	-5114.94	
				WG	Stilllegung	639.53	4611.01	-31.49	-227.04	-4838.05		
1	6	10.14	10.14	W-Raps	Stilllegung	377.23	3825.11	-31.49	-319.31	-4144.42		Stilllegung
				WW-Blatt	Stilllegung	986.84	10006.56	-31.49	-319.31	-10325.87	-7091.48	
				WG	Stilllegung	639.53	6484.83	-31.49	-319.31	-6804.14		
1	9	27.05	27.05	ZR	Stilllegung	979.68	26500.34	-31.49	-851.80	-27352.15		Stilllegung
				WW-Blatt	Stilllegung	1017.04	27510.93	-31.49	-851.80	-28362.74	-24621.99	
				WG	Stilllegung	639.53	17299.29	-31.49	-851.80	-18151.09		
1	12	6.73	6.73	ZR	Stilllegung	949.48	6390.00	-31.49	-211.93	-6601.93		Stilllegung
				WW-Blatt	Stilllegung	986.84	6641.43	-31.49	-211.93	-6853.36	-6419.75	
				WW-Stoppel	Stilllegung	830.91	5592.02	-31.49	-211.93	-5803.95		
1	13	6.47	6.47	ZR	Stilllegung	949.48	6143.14	-31.49	-203.74	-6346.88		Stilllegung
				WW-Blatt	Stilllegung	986.84	6384.85	-31.49	-203.74	-6588.60	-6171.73	
				WW-Stoppel	Stilllegung	830.91	5375.99	-31.49	-203.74	-5579.73		
1	17	12.29	12.29	ZR	Stilllegung	949.48	11669.11	-31.49	-387.01	-12056.12		Stilllegung
				WW-Blatt	Stilllegung	986.84	12128.26	-31.49	-387.01	-12515.28	-10939.41	
				WG	Stilllegung	639.53	7859.82	-31.49	-387.01	-8246.84		
Σ (ha)		190.15	144.53			Σ (€)		468824.02			Σ (€/a)	-66745.50

Ebene	Größe (ha)	Veränderung des RDB (€/ha*a)
Betrachtete Betriebsflächen im Gebiet	317.79	-210.03
Gesamtfläche der Schläge die von Maßnahmen betroffen ist	190.15	-351.01



Tab. A7: Ermittlung der Richtwert-Deckungsbeiträge je Szenario und Teileinzugsgebiet auf Basis der Modellierungen mit EROSION 3D

Eddinghausen		Brüggen Nord		Brüggen Süd		Hönze	
IST-Zustand Fruchtfolge nach Befragung, meist W-Raps - WW-Blatt - WG ZR - WW-Blatt - WW-Stoppel		IST-Zustand Fruchtfolge nach Befragung, meist W-Raps - WW-Blatt - WW-Stoppel - WG ZR - WW-Blatt - WW-Stoppel		IST-Zustand Fruchtfolge nach Befragung, meist W-Raps - WW-Blatt - WW-Stoppel - WG ZR - WW-Blatt - WW-Stoppel - WG		IST-Zustand Fruchtfolge nach Befragung, meist ZR - WW-Blatt - WW-Stoppel W-Raps - WW-Blatt - WW-Stoppel Mais - WW-Blatt - Mais	
Zeitpunkt	RDB/€	Zeitpunkt	RDB/€	Zeitpunkt	RDB/€	Zeitpunkt	RDB/€
a1	522471	a1	196763	a1	101734	a1	292191
a2	440171	a2	167109	a2	89401	a2	238775
a3	446756	a3	151613	a3	80324	a3	268457
a1-a3	1409398	a1-a3	515485	a1-a3	271459	a1-a3	799423
Ø p.a.	469799	Ø p.a.	171828	Ø p.a.	90486	Ø p.a.	266474
betr. Fläche (ha) 545		betr. Fläche (ha) 205		betr. Fläche (ha) 111		betr. Fläche (ha) 308	
RDB (€/ha) 2586		RDB (€/ha) 2515		RDB (€/ha) 2446		RDB (€/ha) 2596	
Ø p.a.	862	Ø p.a.	838	Ø p.a.	815	Ø p.a.	865
IST-Zustand, konservierend vollständig konservierend, Fruchtfolge: siehe IST-Zustand (oben)		IST-Zustand, konservierend vollständig konservierend, Fruchtfolge: siehe IST-Zustand (oben)		IST-Zustand, konservierend vollständig konservierend, Fruchtfolge: siehe IST-Zustand (oben)		IST-Zustand, konservierend vollständig konservierend, Fruchtfolge: siehe IST-Zustand (oben)	
Zeitpunkt	RDB/€	Zeitpunkt	RDB/€	Zeitpunkt	RDB/€	Zeitpunkt	RDB/€
a1	523473	a1	197245	a1	102836	a1	292872
a2	391874	a2	151726	a2	82321	a2	226261
a3	430831	a3	145292	a3	55418	a3	264366
a1-a3	1346178	a1-a3	494263	a1-a3	240575	a1-a3	783499
Ø p.a.	448726	Ø p.a.	164754	Ø p.a.	80192	Ø p.a.	261166
betr. Fläche (ha) 545		betr. Fläche (ha) 205		betr. Fläche (ha) 111		betr. Fläche (ha) 308	
RDB (€/ha) 2470		RDB (€/ha) 2411		RDB (€/ha) 2167		RDB (€/ha) 2544	
Ø p.a.	823	Ø p.a.	804	Ø p.a.	722	Ø p.a.	848
Zukünftige, optimierte Mais-Fruchtfolge (Basierend auf dem Positiv-Szenario) ZR - WW-BI. - Mais - WW-BI. - WW-St.		Zukünftige, optimierte Mais-Fruchtfolge (Basierend auf dem Positiv-Szenario) ZR - WW-BI. - Mais - WW-BI. - WW-St.		Zukünftige, optimierte Mais-Fruchtfolge (Basierend auf dem Positiv-Szenario) ZR - WW-BI. - Mais - WW-BI. - WW-St.		Zukünftige, optimierte Mais-Fruchtfolge (Basierend auf dem Positiv-Szenario) ZR - WW-BI. - Mais - WW-BI. - WW-St.	
Zeitpunkt u. Frucht	RDB/€	Zeitpunkt u. Frucht	RDB/€	Zeitpunkt u. Frucht	RDB/€	Zeitpunkt u. Frucht	RDB/€
a1 (ZR)	563149	a1 (ZR)	203109	a1 (ZR)	110860	a1 (ZR)	321121
a2 (Bfw.)	584411	a2 (Bfw.)	210778	a2 (Bfw.)	115046	a2 (Bfw.)	333245
a3 (Mais)	519476	a3 (Mais)	187358	a3 (Mais)	102263	a3 (Mais)	296218
a4 (Bfw.)	584411	a4 (Bfw.)	210778	a4 (Bfw.)	115046	a4 (Bfw.)	333245
a5 (Stw.)	407421	a5 (Stw.)	146943	a5 (Stw.)	80204	a5 (Stw.)	232321
a1-a5	2658868	a1-a5	958966	a1-a5	523419	a1-a5	1516150
Ø p.a.	531774	Ø p.a.	191793	Ø p.a.	104684	Ø p.a.	303230
betr. Fläche (ha) 545		betr. Fläche (ha) 205		betr. Fläche (ha) 111		betr. Fläche (ha) 308	
RDB (€/ha) 4879		RDB (€/ha) 4678		RDB (€/ha) 4715		RDB (€/ha) 4923	
Ø p.a.	976	Ø p.a.	936	Ø p.a.	943	Ø p.a.	985



Karte A13: Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen im Gebiet Barum, Minimalziel.

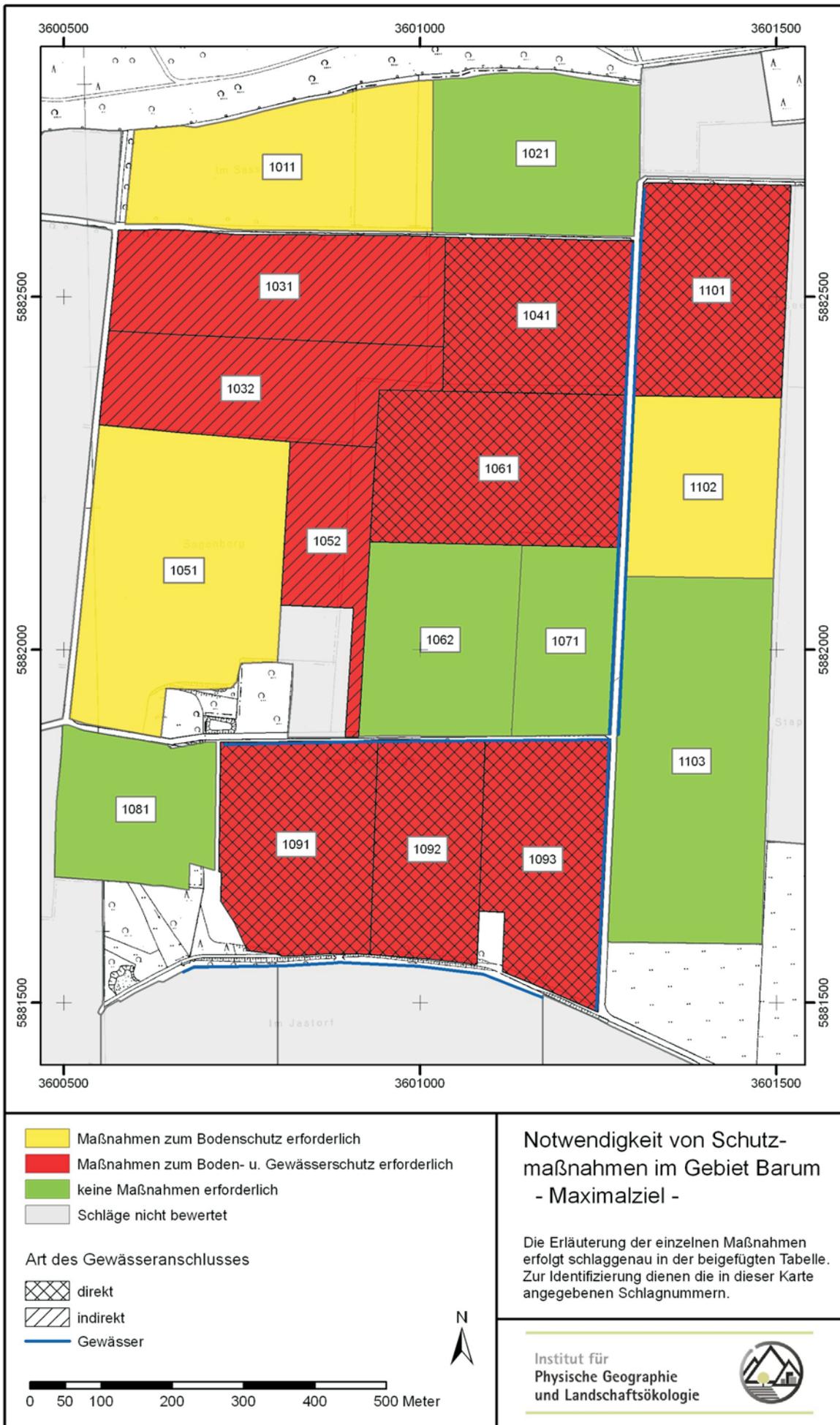


Notwendigkeit von Maßnahmen im Gebiet Barum

Erläuterungen zur Karte A 13

Minimalziel

Schlagnr.	Erforderliche Maßnahmen	Kriterium	Größe (ha)
1011	Mulchsaat zu weitreihigen Sommerfrüchten		7.4
1021	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	6.4
1031	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 4 t/ha*a	6.9
1032	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 4 t/ha*a	6.0
1041	keine Maßnahmen erforderlich	Abtrag < 4 t/ha*a	5.7
1051	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 1	10.6
1052	Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge		3.1
1061	Schlagteilung		7.5
1062	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	5.8
1071	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	3.7
1081	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	4.5
1091	Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge		6.3
1092	Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge		4.7
1093	Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge		5.8
1101	Schlagteilung		6.3
1102	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 1	5.3
1103	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	11.0



Karte A14: Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen im Gebiet Barum, Maximalziel.



Notwendigkeit von Maßnahmen im Gebiet Barum

Erläuterungen zur Karte A 14

Maximalziel

Schlagnr.	Erforderliche Maßnahmen	Kriterium	Größe (ha)
1011	Mulchsaat zu weitreihigen Sommerfrüchten		7.4
1021	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	6.4
1031	Mulchsaat zu weitreihigen Sommerfrüchten		6.9
1032	Mulchsaat zu weitreihigen Sommerfrüchten		6.0
1041	Mulchsaat zu weitreihigen Sommerfrüchten		5.7
1051	Mulchsaat zu weitreihigen Sommerfrüchten		10.6
1052	Standortangepasste Fruchtfolge		3.1
1061	Standortangepasste Fruchtfolge		7.5
1062	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	5.8
1071	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	3.7
1081	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	4.5
1091	Standortangepasste Fruchtfolge		6.3
1092	Standortangepasste Fruchtfolge		4.7
1093	Standortangepasste Fruchtfolge		5.8
1101	Standortangepasste Fruchtfolge		6.3
1102	Mulchsaat zu weitreihigen Sommerfrüchten		5.3
1103	keine Maßnahmen erforderlich	GBF 0	11.0

Tab. A8: Änderungen des Richtwert-Deckungsbeitrags im Gebiet Barum - Minimalziel

Schlag	Schlaggröße (ha)	Fläche der Maßnahmen (ha)	Flächenanteil der Maßnahmen	Fruchtfolge alt	Fruchtfolge neu	Ohne Maßnahmen		Mit Maßnahmen		Veränderung des RDB (€)	Veränderung des RDB (€/a) -ganzer Schlag-	Maßnahmen
						RDB (€/ha)	RDB (€/Schlag)	RDB (€/ha)	RDB (€/Schlag)			
1011	7.4	7.4	100.0%	ZR konv.	ZR kons.	949.84	7028.82	980.04	7252.30	223.48	-890.29	Mulchsaat zu weitreichenden Sommerfrüchten
				WW-Blatt konv.	WW-Blatt kons.	830.91	6148.73	830.91	6148.73	0.00		
				KAR konv.	KAR kons.	3640.73	26941.40	3129.29	23156.75	-3784.66		
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	861.11	6372.21	861.11	6372.21	0.00		
1091	6.3	6.3	100.0%	WG konv.	WG kons.	491.13	3094.12	365.25	2301.08	-793.04	-200.93	Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge
				ZR konv.	ZR kons.	949.84	5983.99	980.04	6174.25	190.26		
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	861.11	5424.99	861.11	5424.99	0.00		
1092	4.7	4.7	100.0%	WG konv.	WG kons.	491.13	2308.31	365.25	1716.68	-591.64	-149.90	Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge
				ZR konv.	ZR kons.	949.84	4464.25	980.04	4606.19	141.94		
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	861.11	4047.22	861.11	4047.22	0.00		
1093	5.8	5.8	100.0%	WG konv.	WG kons.	491.13	2848.55	365.25	2118.45	-730.10	-184.98	Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge
				ZR konv.	ZR kons.	949.84	5509.07	980.04	5684.23	175.16		
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	861.11	4994.44	861.11	4994.44	0.00		
1052	3.1	3.1	100.0%	WW-Blatt konv.	WW-Blatt kons.	830.91	2575.82	861.11	2669.44	93.62	-326.15	Mulchsaat in der gesamten Fruchtfolge
				W-Raps konv.	W-Raps kons.	243.86	755.97	274.06	849.59	93.62		
				WW-Blatt konv.	WW-Blatt kons.	830.91	2575.82	861.11	2669.44	93.62		
				KAR konv.	KAR kons.	3640.73	11286.26	3129.29	9700.80	-1585.46		
1061	7.5	0.2	2.7%	KAR konv.	KAR kons.	3640.73	27305.48	3540.22	26551.62	-753.85	-337.72	Schlagteilung
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	861.11	6458.33	835.65	6267.35	-190.98		
				ZR kons.	ZR kons.	980.04	7350.30	951.36	7135.24	-215.06		
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	861.11	6458.33	835.65	6267.35	-190.98		
1101	6.3	0.2	3.2%	WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	861.11	5424.99	830.93	5234.86	-190.13	-299.11	Schlagteilung
				W-Raps konv.	W-Raps konv.	243.86	1536.32	233.43	1470.62	-65.69		
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	861.11	5424.99	830.93	5234.86	-190.13		
				KAR konv.	KAR kons.	3640.73	22936.60	3521.60	22186.10	-750.50		
Σ (ha)		41.1	27.7			Σ (€)		185255.31			Σ (€/a)	-2389.09

Ebene	Größe (ha)	Veränderung des RDB (€/ha*a)
Betrachtete Betriebsflächen im Gebiet	107.0	-22.33
Gesamtfläche der Schläge die von Maßnahmen betroffen ist	41.1	-87.95



Tab. A9: Änderungen des Richtwert-Deckungsbeitrags im Gebiet Barum - Maximalziel

Schlag	Schlaggröße (ha)	Fläche der Maßnahmen (ha)	Flächenanteil der Maßnahmen	Fruchtfolge alt	Fruchtfolge neu	Ohne Maßnahmen		Mit Maßnahmen		Veränderung des RDB (€)	Veränderung des RDB (€/a) -ganzer Schlag-	Maßnahmen
						RDB (€/ha)	RDB (€/Schlag)	RDB (€/ha)	RDB (€/Schlag)			
1011	7.4	7.4	100.0%	ZR konv.	ZR kons.	949.84	7028.82	980.04	7252.30	223.48		
				WW-Blatt konv.	WW-Blatt konv.	830.91	6148.73	830.91	6148.73	0.00		
				KAR konv.	KAR kons.	3640.73	26941.40	3129.29	23156.75	-3784.66	-890.29	
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	861.11	6372.21	861.11	6372.21	0.00		
1031	6.9	6.9	100.0%	WG konv.	WG konv.	491.13	3388.80	491.13	3388.80	0.00		
				ZR konv.	ZR kons.	949.84	6553.90	980.04	6762.28	208.38	69.46	
				WW-Blatt konv.	WW-Blatt konv.	830.91	5733.28	830.91	5733.28	0.00		
1032	6.0	6.0	100.0%	ZR konv.	ZR kons.	949.84	5699.04	980.04	5880.24	181.20		
				WW-Blatt konv.	WW-Blatt konv.	830.91	4985.46	830.91	4985.46	0.00	60.40	
				WG konv.	WG konv.	491.13	2946.78	491.13	2946.78	0.00		
1041	5.7	5.7	100.0%	WG konv.	WG konv.	491.13	2799.44	491.13	2799.44	0.00		
				ZR konv.	ZR kons.	949.84	5414.09	980.04	5586.23	172.14	57.38	
				WW-Blatt konv.	WW-Blatt konv.	830.91	4736.19	830.91	4736.19	0.00		
1051	10.6	10.6	100.0%	KAR konv.	KAR kons.	3640.73	38591.74	3129.29	33170.47	-5421.26		
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	861.11	9127.77	861.11	9127.77	0.00	-1807.09	
				ZR kons.	ZR kons.	980.04	10388.42	980.04	10388.42	0.00		
1102	5.3	5.3	100.0%	WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	861.11	4563.88	861.11	4563.88	0.00		
				W-Raps konv.	W-Raps konv.	243.86	1292.46	243.86	1292.46	0.00	-677.66	
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	861.11	4563.88	861.11	4563.88	0.00		
				KAR konv.	KAR kons.	3640.73	19295.87	3129.29	16585.24	-2710.63		
1052	3.1	3.1	100.0%	WW-Blatt konv.	WW-Blatt kons.	830.91	2575.82	861.11	2669.44	93.62		
				W-Raps konv.	W-Raps kons.	243.86	755.97	274.06	849.59	93.62	-2468.28	
				WW-Blatt konv.	WW-Blatt kons.	830.91	2575.82	861.11	2669.44	93.62		
				KAR konv.	WG kons.	3640.73	11286.26	365.25	1132.28	-10153.99		
1091	6.3	6.3	100.0%	WG konv.	WG kons.	491.13	3094.12	365.25	2301.08	-793.04		
				ZR konv.	W-Raps kons.	949.84	5983.99	274.06	1726.58	-4257.41	-1683.49	
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	861.11	5424.99	861.11	5424.99	0.00		
1092	4.7	4.7	100.0%	WG konv.	WG kons.	491.13	2308.31	365.25	1716.68	-591.64		
				ZR konv.	W-Raps kons.	949.84	4464.25	274.06	1288.08	-3176.17	-1255.93	
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	861.11	4047.22	861.11	4047.22	0.00		
1093	5.8	5.8	100.0%	WG konv.	WG kons.	491.13	2848.55	365.25	2118.45	-730.10		
				ZR konv.	W-Raps kons.	949.84	5509.07	274.06	1589.55	-3919.52	-1549.88	
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	861.11	4994.44	861.11	4994.44	0.00		
1061	7.5	7.5	100.0%	KAR konv.	WW-Blatt kons.	3640.73	27305.48	861.11	6458.33	-20847.15		
				WW-Blatt kons.	W-Raps kons.	861.11	6458.33	274.06	2055.45	-4402.88	-7465.24	
				ZR kons.	WW-Blatt kons.	980.04	7350.30	861.11	6458.33	-891.97		
				WW-Blatt kons.	WG kons.	861.11	6458.33	365.25	2739.38	-3718.95		
1101	6.3	6.3	100.0%	WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	861.11	5424.99	861.11	5424.99	0.00		
				W-Raps konv.	W-Raps kons.	243.86	1536.32	274.06	1726.58	190.26	-5111.32	
				WW-Blatt kons.	WW-Blatt kons.	861.11	5424.99	861.11	5424.99	0.00		
				KAR konv.	WG kons.	3640.73	22936.60	365.25	2301.08	-20635.52		

Σ (ha) 75.6 75.6 Σ (€) 315336.30 Σ (€/a) -22721.93

Ebene	Größe (ha)	Veränderung des RDB (€/ha*a)
Betrachtete Betriebsflächen im Gebiet	107.0	-212.35
Gesamtfläche der Schläge die von Maßnahmen betroffen ist	75.6	300.55



Tab. A10: Richtwert-Deckungsbeiträge der Kulturen im Gebiet Barum, bezogen auf die gesamte Anbaufläche der Kultur innerhalb des Szenarios.

Kultur	Bearbeitung	Summen der RDB pro Kultur und Szenario (€)			
		IST-Zustand	Sz. 1 zunehmend konservierend	Sz. 2 vollständig konservierend	Sz. 3 vollständig konservierend, außer Kartoffeln
Winterweizen (95% Blattfruchtweizen, 5% Stoppelweizen)	konservierend		24426.53	48537.13	48537.13
	konventionell	47074.71	23384.15		
Wintergerste	konservierend			8075.68	8075.68
	konventionell	10858.88	10858.88		
Winterraps	konservierend		2017.08	4067.05	4067.05
	konventionell	3618.88	1824.07		
Kartoffeln	konservierend		39773.28	73037.63	
	konventionell	84974.64	38700.96		84974.64
Zuckerrüben	konservierend	14524.19	20669.04	28979.78	28979.78
	konventionell	14010.14	8054.64		
Summe der RDB (€)		175061.45	169708.64	162697.27	174634.28
Gesamtfläche (ha)		148.24	148.24	148.24	148.24
RDB (€/ha)		1180.93	1144.82	1097.53	1178.05
Relativer Anteil		100.0%	96.9%	92.9%	99.8%

Erklärung zur Dissertation

Hierdurch erkläre ich, dass die Dissertation

„Wirksamkeit und Kosten von Maßnahmen zur Verringerung von Bodenerosion und Stoffaustrag in Gewässer. Untersuchungen im Leineinzugsgebiet bei Gronau (Niedersachsen).“

selbstständig verfasst und alle benutzten Hilfsmittel sowie evtl. zur Hilfeleistung herangezogene Institutionen vollständig angegeben wurden.

Die Dissertation wurde nicht schon als Diplom- oder ähnliche Prüfungsarbeit verwendet.

Hannover, den 09.03.2009

Heiko Westphal

Veröffentlichungen

- 2008 „Entwicklung einer Beratungskonzeption zur Minimierung von Bodenerosion und Stoffeinträgen in Gewässer – Arbeitsbereich 1: Bodenerosion in den Hangeinzugsgebieten“, Projektbericht, Hannover, 75 S.
- 2007 „Gewässeranschluss von Ackerflächen – Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater in Niedersachsen“, Hannover, 15 S.
- 2007 „Boden- und Gewässerschutz verknüpfen: Bilanzierung und Optimierung der Wirksamkeit von Maßnahmen zum Schutz vor Erosion und Stoffaustrag“, in: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Band 110/Heft 2, S. 703-704.
- 2007 „Einfluss von Klimaänderungen auf die Bodenerosion in Niedersachsen – Prognose der Bodenabträge 2000-2050 in den Modellgebieten Barum und Lamspringe“, Bericht im Auftrag des LBEG, Hannover, 25 S.
- 2006 „Einfluss von Klimaänderungen auf die Bodenerosion in Niedersachsen“, in: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Band 108, S. 89-90.
- 2003 „Sommerfrüchte im Winter – Eine multimediale Präsentation zum Obstbau und zu den Auswirkungen des Fruchtekonsums auf Umwelt und Landschaft“, CD-ROM, Hannover.