

Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen in der Landwirtschaft

7

Land- und Forstwirtschaft
Agriculture et sylviculture
Agricoltura e selvicoltura

Phosphorbelastung
der Oberflächengewässer
durch Abschwemmung

Die vom Bundesamt für Statistik (BFS) herausgegebene Reihe «Statistik der Schweiz» gliedert sich in folgende Fachbereiche:

- | | | | |
|----|---|----|---|
| 0 | Statistische Grundlagen und Übersichten | 11 | Verkehr und Nachrichtenwesen |
| 1 | Bevölkerung | 12 | Geldpolitik, Finanzmärkte und -akteure |
| 2 | Raum und Umwelt | 13 | Soziale Sicherheit |
| 3 | Arbeit und Erwerb | 14 | Gesundheit |
| 4 | Volkswirtschaft | 15 | Bildung und Wissenschaft |
| 5 | Preise | 16 | Kultur, Medien, Zeitverwendung |
| 6 | Industrie und Dienstleistungen | 17 | Politik |
| 7 | Land- und Forstwirtschaft | 18 | Öffentliche Finanzen |
| 8 | Energie | 19 | Rechtspflege |
| 9 | Bau- und Wohnungswesen | 20 | Gesellschaft in Bewegung (Querschnittsthemen) |
| 10 | Tourismus | | |
-

Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen in der Landwirtschaft

Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Abschwemmung

Eine Studie durchgeführt im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches,
Kanton Luzern

Autoren

Markus Braun

Bundesamt für Statistik

Caroline Wüthrich-Steiner, Natalie Aschwanden, Fritz Denoth

Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), Zürich-Reckenholz

Herausgeber

Bundesamt für Statistik

Auskunft: M. Braun, BFS, Tel. 032 713 62 14; V. Prasuhn, FAL, Tel. 01 377 71 11
Realisierung: M. Braun, BFS; N. Aschwanden, FAL
Vertrieb: Bundesamt für Statistik
CH-2010 Neuchâtel
Tel. 032 713 60 60 / Fax 032 713 60 61
Bestellnummer: 444-0100
Preis: Fr. 18.–
Reihe: Statistik der Schweiz
Fachbereich: 7 Land- und Forstwirtschaft
Grafik/Layout: BFS
Copyright: BFS, Neuchâtel 2001
Abdruck – ausser für kommerzielle Nutzung –
unter Angabe der Quelle gestattet.
ISBN: 3-303-07057-1

Inhaltsverzeichnis:

Zusammenfassung / Résumé / Abstract
Begriffe und Definitionen

1. Einleitung und Gesamtrahmen **9**

1.1 Auftrag

- 1.1.1 Zur Ausgangslage bei Projektbeginn anfangs 1996
- 1.1.2 Zwischenzeitliche Änderung der rechtlichen Grundlagen
- 1.1.3 Inhalt des Auftrages

1.2 Vorarbeiten

1.3 Strukturierung der Teilaufträge

1.4 Grundlagen zur Abschwemmung und zu den Drainageverlusten

- 1.4.1 Standortgerechter Futterbau und standortgerechte Düngung
- 1.4.2 Schonende Bewirtschaftung des Bodens
- 1.4.3 Bedarfsgerechte Düngung und ausgeglichene Phosphorbilanz
- 1.4.4 Zeitgerechte Düngung
- 1.4.5 Ökologische Ausgleichsflächen

1.5 Zielsetzungen

- 1.5.1 Zielsetzungen der Agrarpolitik
- 1.5.2 Zielsetzungen des Projektes

2. Konzept und Methodik **17**

2.1 Konzeptionelle Grundidee

2.2 Ökologische Entwicklung der Landwirtschaft

2.3 Entwicklung der Phosphorbelastung der Gewässer

- 2.3.1 Routine-Messungen
- 2.3.2 On-Line-Messungen

2.4 Modell zur Verknüpfung der Gewässerbelastung mit der Landwirtschaft

- 2.4.1 Standortbedingte Gefahr für Phosphorverluste
- 2.4.2 Bewirtschaftungsbedingte Gefahr für Phosphorverluste
- 2.4.3 Austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für Phosphorverluste
- 2.4.4 Gesamt-Gefahr für Phosphorverluste
- 2.4.5 Vorgehen bei der Erhebung der Daten für das Modell

2.5 Kausalzusammenhänge

- 2.5.1 Bezug der Frachtspitzen zu einzelnen Schlägen
- 2.5.2 Bezug der Konzentrationsspitzen zu einzelnen Schlägen
(„Gülleereignisse“)
- 2.5.3 Bezug der Jahresfracht zu einzelnen Schlägen

2.6 Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen

3. Grundlagen zur Modellanwendung **53**

- 3.1 Überblick über das Untersuchungsgebiet des Lippenrütibaches
- 3.2 Faktoren zur Modellanwendung
 - 3.2.1 Parameter Boden
 - 3.2.2 Parameter Topographie
 - 3.2.3 Parameter Lage zum Einleiter
 - 3.2.4 Parameter Bodennutzung 1998
 - 3.2.5 Parameter Betrieb 1998
 - 3.2.6 Parameter Pflanzenbauliche Nutzung 1998
 - 3.2.7 Parameter Massnahmen zur Reduktion der Phosphorverluste im Feld 1998

4. Ergebnisse für das Gebiet des Lippenrütibaches **77**

- 4.1 Ökologische Entwicklung der Landwirtschaft
- 4.2 Entwicklung der Phosphorbelastung der Gewässer
 - 4.2.1 Jahresabfluss und –fracht an Phosphor (P_{TOT}) für 1998
 - 4.2.2 C/Q-Beziehungen
 - 4.2.3 Monatsabfluss und –frachten an Phosphat (PO_4 -P) im 1998
 - 4.2.4 Tagesabfluss und –frachten an Phosphat (PO_4 -P) im 1998
- 4.3 Modell zur Verknüpfung der Gewässerbelastung mit der Landwirtschaft
 - 4.3.1 Standortbedingte Gefahr für Phosphorverluste
 - 4.3.2 Bewirtschaftungsbedingte Gefahr für Phosphorverluste
 - 4.3.3 Austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für Phosphorverluste
 - 4.3.4 Gesamt-Gefahr für Phosphorverluste
- 4.4 Kausalzusammenhänge
 - 4.4.1 Bezug der Frachtspitzen zu einzelnen Schlägen
 - 4.4.2 Bezug der Konzentrationsspitzen zu einzelnen Schlägen (‘Gülleereignisse‘)
 - 4.4.3 Bezug der Jahresfracht zu einzelnen Schlägen

5. Interpretation der Ergebnisse **119**

- 5.1 Indikatoren der Ökologisierung und Kausalzusammenhänge
 - 5.1.1 Ökologische Entwicklung in der Landwirtschaft
 - 5.1.2 Entwicklung der Phosphorbelastung der Gewässer
 - 5.1.3 Modell zur Verknüpfung der Gewässerbelastung mit der Landwirtschaft und Kausalzusammenhänge
- 5.2 Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen und Vergleich mit dem Umwelt-Qualitätsziel
- 5.3 Konsequenzen
- 5.4 Fortsetzung des Projektes und Ausblick
 - 5.4.1 Ökologische Entwicklung in der Landwirtschaft
 - 5.4.2 Entwicklung der Phosphorbelastung der Gewässer
 - 5.4.3 Modell zur Verknüpfung der Gewässerbelastung mit der Landwirtschaft
 - 5.4.4 Ausblick

Dank

Literaturverzeichnis

Anhang (wird aus Datenschutzgründen nur an beteiligte Amtsstellen abgegeben)

Zusammenfassung

Im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches, einem Zufluss zum Sempachersee, wird untersucht, in welchem Ausmass die Phosphorbelastung der Gewässer als Folge der Öko-Massnahmen in der Landwirtschaft seit 1993 zurückgeht.

Der vorliegende Bericht verfolgt zwei Ziele: Erstens stellt er die Methodik vor, wie in einem hydrologischen Einzugsgebiet die Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen in der Landwirtschaft durchgeführt werden kann. Zweitens zeigt er beispielhaft die Anwendung der Methodik für das Jahr 1998.

Die Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen umfasste drei Teilbereiche: Erstens wurde die ökologische Entwicklung der Landwirtschaft anhand ausgewählter ‚umweltrelevanter Landwirtschaftsindikatoren‘ über die Jahre verfolgt. Zweitens wurde die Entwicklung der Gewässerbelastung aufgezeichnet. Drittens wurde ein Modell aufgebaut, welches das reale Einzugsgebiet bestmöglich abbildet. Mit Hilfe des Modelles konnte die Gewässerbelastung mit der Landwirtschaft verknüpft und in einen kausalen Zusammenhang gestellt werden. Weil die gewählte Methodik es erlaubt, beeinflussbare und nicht beeinflussbare Faktoren voneinander zu entflechten, war es möglich, bereits nach kurzer Untersuchungszeit eine erste Hypothese über die Wirkung der Öko-Massnahmen aufzustellen.

Für das Jahr 1998, als ein trockenes Jahr, liessen sich folgende Hypothesen formulieren: (a) Die Jahresfracht an Gesamt-Phosphor im Lippenrütibach war im Jahr 1998 verglichen mit dem durchschnittlichen Wert von ca. 820 kgP/J in den Jahren 1988-1992 vor Einführung der Öko-Massnahmen um ca. 55% (= 460 kgP/J) auf 360 kgP/J gesunken. Diese Reduktion von 460 kgP/J war zu ca. 20% (= 94 kgP/J) auf die Öko-Massnahmen und zu ca. 80% (= 366 kgP/J) auf die besonderen Witterungsbedingungen im Jahr 1998 zurückzuführen. (b) Es muss davon ausgegangen werden, dass mit zunehmenden (durchschnittlichen) Niederschlägen und Abflüssen die Phosphorfracht im Lippenrütibach nach 1998 wieder steigen wird. (c) In folgenden Jahren mit durchschnittlichen Niederschlägen und Abflüssen wird die Jahresfracht an Gesamt-Phosphor im Lippenrütibach bei ungefähr 89% der Belastung in den Jahren 1988-1992 liegen (d.h. bei ca. 726 kgP/J), falls bei der Bewirtschaftung und bei den Düngerausträgen keine wesentlichen Änderungen stattfinden werden.

Mit der Reduktion der *landwirtschaftsbedingten* Phosphorbelastung gegenüber derjenigen in den Jahren 1988-1992 um 13% (= 94 kgP/J von 740 kgP/J) konnte das angestrebte Ziel einer Reduktion von 50% noch nicht erreicht werden.

Résumé

Dans le bassin versant du Lippenrütibach, un affluent du lac de Sempach, les chercheurs ont étudié dans quelle mesure la charge des eaux en phosphore avait baissé suite aux mesures écologiques mises en place depuis 1993.

Le présent rapport poursuit deux objectifs : dans un premier temps, il expose la méthode permettant de contrôler l'efficacité des mesures écologiques dans l'agriculture dans un bassin versant hydrologique. Dans un deuxième temps, il s'appuie sur des exemples pour montrer l'application de cette méthode en 1998.

Le contrôle de l'efficacité des mesures écologiques comprend trois éléments: premièrement, le développement écologique de l'agriculture a été étudié au fil des ans à l'aide d'indicateurs agricoles sélectionnés et importants pour l'environnement. Deuxièmement, l'évolution de la charge des eaux a été enregistrée. Enfin, troisièmement, une simulation a été établie afin de représenter au mieux le bassin versant réel. Cette simulation a permis de mettre en parallèle la charge des eaux et l'agriculture et d'établir un lien de cause à effet. La méthode choisie permettant de dissocier les facteurs influençables de ceux qui ne le sont pas, les chercheurs ont pu rapidement émettre une première hypothèse quant à l'efficacité des mesures écologiques.

Pour l'année 1998, qui fut une année sèche, voici les hypothèses qui ont été formulées : (a) En 1998, la charge annuelle en phosphore total dans le Lippenrütibach a baissé d'env. 55 % (= 460 kgP/an) par rapport à la valeur moyenne de 820 kgP/an affichée de 1988 à 1992 avant l'introduction des mesures écologiques. En 1998, la charge annuelle est de 360 kgP/an. Cette baisse de 460 kgP/an est due pour env. 20 % (= 94 kgP/an) aux mesures écologiques et pour environ 80 % (= 366 kgP/an) aux conditions météorologiques particulières à l'année 1998. (b) Il faut s'attendre à ce que la charge en phosphore du Lippenrütibach augmente à nouveau après 1998 étant donné la hausse des précipitations (moyennes) et des débits. (c) Les années suivantes, si l'on se base sur des précipitations et des débits moyens, la charge annuelle en phosphore total dans le Lippenrütibach représentera environ 89 % de la charge affichée de 1988 à 1992 (soit env. 726 kgP/an), dans la mesure où le mode d'exploitation et les apports d'engrais restent sensiblement inchangés.

La réduction de la charge de phosphore *d'origine agricole* de 13 % (= 94 kgP/an sur 740 kgP/an) par rapport aux années 1988-92 n'a pas encore permis d'atteindre les 50 % de baisse, fixés comme objectif.

Abstract

In order to research the extent to which phosphorus contamination in water has been reduced as a result of the environmental measures implemented in agriculture since 1993, an examination was made of the catchment area of the Lippenrüti river, which flows into Sempach lake.

This report has two aims: firstly, to describe how the effects of environmental measures in agriculture can be assessed in a hydrological catchment area. Secondly, to provide a detailed account of the procedures implemented in 1998.

There were three elements to assessing the effects of environmental measures: firstly, environmental progress in agriculture was monitored over several years, taking a selection of environmentally-relevant agricultural indicators as a reference. Secondly, the level of water contamination was recorded. Finally, a model representing the catchment area was built. Using this model, water contamination could be linked to agriculture and a causal connection established. As the chosen method allowed relevant and non-relevant factors to be separated, a first hypothesis on the effects of the environmental measures could be made after only a short period of examination.

The following hypotheses were established for 1998 – a dry year:

- a) Compared with the average value of approximately 820 kgP/y for the years 1988-92, before the introduction of the environmental measures, the total annual amount of phosphorus carried by the Lippenrüti river in 1998 decreased by approximately 55% (= 460 kgP/y) to 360 kgP/y. This reduction of 460 kgP/y was about 20% (= 94 kgP/y) due to the environmental measures and about 80% (= 366 kgP/y) due to the special weather conditions in 1998.
- b) It must be assumed that as precipitation and flow rates increase to nearer average figures, the phosphorus level of the Lippenrüti river will increase again after 1998.
- c) In subsequent years, with average precipitation and flows, the annual phosphorus level of the Lippenrüti river will be approximately 89% of the 1988-92 contamination (i.e. approximately 726 kgP/y) if no significant changes take place in cultivation and fertilizer use.

With an *agriculturally-related* reduction of phosphorus contamination of 13% compared with the level of 1988-92 (i.e. 94 kgP/y of 740 kgP/y), the target 50% reduction has yet to be achieved.

Begriffe und Definitionen

Ackerfläche	Kunstwiesen, Getreide-, Hackfrucht- und Gemüseflächen
BIO	<u>B</u> iologischer Landbau
BFS	Bundesamt für Statistik, Neuchâtel
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft, Bern
Dauergrünland	Naturwiesen, Dauerweiden, Obstwiesen und Obstanlagen
Einleiter	kleines, offenes Gewässer (z.B. Graben, Rinne) oder Einlaufschacht, welche die Nährstoffe in ein grösseres, offenes Gewässer (z.B. Bach, See) einleiten
Evaluation	Wirkungskontrolle, Erfolgskontrolle
EZG	<u>E</u> inzugsgebiet
Gesamt-Gefahr für Phosphorverluste	Risiko, dass es zu einer Gewässerbelastung mit Phosphor kommt
Gülleereignis	Abfliessen von Gülle in ein Gewässer, ohne dass ein ‚Niederschlagsereignis‘ stattgefunden hat: einerseits z.B. durch Direkteintrag vom Hof, andererseits durch oberflächennahe Drainagen, wenn Gülle nach dem Austrag durch Grobporen direkt und rasch in die Drainagen und damit ins Gewässer gelangt
GVE	<u>G</u> rossvieheinheit
IP	<u>I</u> ntegrierte <u>P</u> roduktion
IUL	<u>I</u> nstitut für <u>U</u> mweltschutz und <u>L</u> andwirtschaft, Liebefeld-Bern
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches: Dauergrünland (Naturwiesen, Dauerweiden, Obstwiesen, Obstanlagen), Ackerland (Kunstwiesen, Getreide, Hackfrüchte), Spezialkulturen und ökologische Ausgleichsflächen (extensive Wiesen, wenig intensive Wiesen)
Massnahmen im Feld	Massnahmen zur Reduktion der Phosphorverluste im Feld sind z.B. Filterzonen, Filterstreifen oder konservierende Bodenbearbeitung
Natürliche Hintergrundlast	Die natürliche Hintergrundlast umfasst jene Nährstoffeinträge in die Gewässer, die sich bei einer natürlichen Vegetation ohne jeglichen Einfluss des Menschen ergeben würden.
Ökologische Ausgleichsflächen	(1) Extensiv genutzte Wiesen, Hecken und Feldgehölze sowie Streueflächen, (2) wenig intensiv genutzte Wiesen, (3) Buntbrache und (4) extensiv genutzte Wiesen auf stillgelegtem Ackerland
Öko-Massnahmen	Ökologische Massnahmen nach Artikel 70 des Landwirtschaftsgesetzes: Integrierte Produktion, Biologischer Landbau und Ökologische Ausgleichsflächen
Phosphor gelöst	Im abfliessenden Wasser gelöster Phosphor
Phosphor partikulär	An erodierte Bodenpartikel gebundener Phosphor
P _{TOT}	Gesamt-Phosphor: Summe von gelöstem und partikulär gebundenem Phosphor
PO ₄ -P	Phosphat-Phosphor
	<u>Anmerkung</u> : Alle Angaben im Text wurden auf P umgerechnet
Schlag	Bearbeitetes Feld eines Landwirtschaftsbetriebes innerhalb einer Parzelle, welches bezüglich Nutzung, Kultur und Düngung eine Einheit bildet. Schläge sind nicht unbedingt deckungsgleich mit den Parzelleneinteilungen gemäss Grundbuch.

1. Einleitung und Gesamtrahmen

1.1 Auftrag

1.1.1 Zur Ausgangslage bei Projektbeginn anfangs 1996

Artikel 31b des Landwirtschaftsgesetzes (Änderung auf 1.1.1993, AS 93/1571) sowie die Öko-Beitragsverordnung (in Kraft auf 1.1.1993, AS 93/1581) bildeten die rechtlichen Grundlagen für die Förderung von besonders umweltschonenden Produktionsformen in der Schweizer Landwirtschaft. Zu den für den Gewässerschutz relevanten Programmen gehörten der 'Ökologische Ausgleich', die 'Integrierte Produktion' und der 'Biologische Landbau'. Bereits seit 1993 erhielten Landwirtschaftsbetriebe Direktzahlungen für 'besondere ökologische Leistungen' nach Art. 31b des Landwirtschaftsgesetzes (= 'Öko-Massnahmen'). Als Mindestanforderungen mussten die Bestimmungen der Umweltschutz- und Gewässerschutz-Gesetzgebung eingehalten sowie gewisse Auflagen in den Bereichen Fruchtfolge, Bodenschutz, Tierhaltung, Düngung, Pflanzenschutz und Ökologischer Ausgleich erfüllt werden. In der Öko-Beitragsverordnung wurde das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) verpflichtet, eine Wirkungs- und Erfolgskontrolle der Öko-Massnahmen durchzuführen.

1.1.2 Zwischenzeitliche Änderungen der rechtlichen Grundlagen

Im Juni 1996 wurde der Verfassungsartikel 31octies angenommen. Damit sprach sich das Stimmvolk für eine ökologische und marktwirtschaftlich orientierte Landwirtschaft aus. Im Zuge der Neuausrichtung wurde im April 1998 das neue Landwirtschaftsgesetz von der Bundesversammlung verabschiedet. In Art. 70 werden die Grundsätze und die Voraussetzungen für die Ausrichtung von Direktzahlungen festgelegt. Die entscheidendste Voraussetzung ist ab anfangs Januar 1999 der 'Ökologische Leistungsnachweis'. Dieser umfasst folgende wichtigen Punkte: eine ausgeglichene Nährstoffbilanz, einen festgelegten Anteil an ökologischen Ausgleichsflächen, eine geregelte Fruchtfolge und einen geeigneten Bodenschutz. Verschiedene neue Verordnungen ergänzen das Landwirtschaftsgesetz, unter anderem die Direktzahlungs-, die Bio- oder die Nachhaltigkeitsverordnung. In der zuletzt genannten Verordnung ist auch die Evaluation geregelt: Sie ist periodisch vorzunehmen und soll dazu dienen, festzustellen, inwieweit gesteckte Ziele erreicht werden. Die Evaluation soll auch dazu beitragen, die Öko-Massnahmen weiterzuentwickeln (BLW 1998).

1.1.3 Inhalt des Auftrages

Die Arbeiten zur Wirkungskontrolle wurden in folgende sechs Themen aufgeteilt: Tierhaltung, Wirtschaftlichkeit, Ökologische Vielfalt, Phosphor, Stickstoff und Pflanzenschutzmittel. Das Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL) erhielt anfangs 1996 u.a. folgende Teilaufträge (BLW 1998): Durchführung der Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen im Bereich Phosphorbelastung der Oberflächengewässer und im Bereich Stickstoffbelastung des Grundwassers sowie Aufzeigen von Kausalzusammenhängen zwischen den Öko-Massnahmen und der Gewässerbelastung. Diese Aufträge können durch folgende Fragen konkretisiert werden:

- Was bringen die Öko-Massnahmen für die Oberflächengewässer? Kann die Abschwemmung von gelöstem Phosphor verringert werden? Können die Drainageverluste gesenkt werden? Können der Anteil der von Bodenerosion betroffenen Flächen und die durchschnittlich pro Hektare verloren gegangene Boden- und Phosphormenge reduziert werden? Gehen die Phosphorfrachten aus der Landwirtschaft in den Bächen und die Eutrophierung der Mittellandseen zurück?
- Was bringen die Öko-Massnahmen für das Grundwasser? Kann die Auswaschung von Stickstoff reduziert werden? Sinkt als Folge dessen der Nitratgehalt im Grundwasser in belasteten Gebieten unter den Toleranzwert oder sogar unter das Qualitätsziel?

Die Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen dient nicht nur der Umwelt, sondern auch der Landwirtschaft. Es kann durchaus sein, dass z.B. infolge regenreicher Jahre die Gewässerbelastung vorläufig zunehmen könnte, obwohl die Öko-Massnahmen wirkungsvoll sind. Um so wichtiger ist es, eine wissenschaftlich abgesicherte Untersuchung der Kausalzusammenhänge sicherzustellen, in welcher landwirtschafts- und umweltrelevante Daten erfasst und miteinander in Beziehung gesetzt werden.

1.2 Vorarbeiten

In den vergangenen Jahren wurden am Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL) Stofffluss-Modelle zur Abschätzung der Gewässerbelastung durch die Landwirtschaft entwickelt und für vierzig hydrologische Einzugsgebiete getestet (z.B. BRAUN ET AL. 1991, HURNI ET AL. 1992, PRASUHN UND BRAUN 1994 sowie PRASUHN ET AL. 1996). Dieselben Stofffluss-Modelle konnten zur Abschätzung der Wirkung von Massnahmen in der Landwirtschaft zur Reduktion der Gewässerbelastung mit Nährstoffen beigezogen werden (BRAUN ET AL. 1997a, PRASUHN ET AL. 1997). Die Anwendung dieser Modelle führte zu einer ersten Prognose bezüglich der Wirkung der oben erwähnten Öko-Massnahmen. Es zeigt sich, dass je

nach Region mit einer Reduktion der Phosphorbelastung der Gewässer von 15 bis 40% zu rechnen ist. Beim Stickstoff liegt die prognostizierte Reduktion zwischen 2 und 24%. Würden die effektivsten Massnahmen als 'besondere ökologische Leistungen' gezielt gefördert, wären die möglichen Reduktionen höher (BRAUN UND PRASUHN 1997b). Diese prognostizierten Reduktionen werden beim Phosphor nach der Jahrtausendwende erwartet, beim Stickstoff später, je nach hydrologischem Einzugsgebiet und Fliesswegen.

Die Überprüfung dieser Modellberechnungen und Prognosen deckt sich mit dem Auftrag des BLW, eine Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen in den Bereichen Phosphor- und Stickstoffbelastung der Gewässer durchzuführen.

1.3 Strukturierung der Teilaufträge

Die Teilaufträge nach Kapitel 1.1 wurden wie folgt strukturiert: In einer Region (Teilprojekt A: Abb. 1) stehen die Verluste von gelöstem Phosphor durch Abschwemmung und Drainageabfluss im Vordergrund (vorliegender Bericht), in einer anderen die Verluste von partikulär gebundenem Phosphor durch Bodenerosion (Teilprojekt B: PRASUHN UND GRÜNIG 2001). In zwei weiteren Regionen (Teilprojekte C und D: Abb. 1) ist die Auswaschung von Stickstoff ins Grundwasser Schwerpunkt der Untersuchungen. Die Teilprojekte bestehen aus drei Elementen: (a) Erfassung wichtiger Parameter in der Landwirtschaft, (b) Messungen in der Umwelt und (c) Verknüpfung beider Seiten mit Hilfe von Modellrechnungen. Die wichtigen Parameter in der Landwirtschaft beziehen sich auf diejenigen Massnahmen, welche für die Gewässer die höchsten Reduktionspotenziale versprechen (BRAUN ET AL. 1997a und PRASUHN ET AL. 1997). Die Kriterien, welche für die Auswahl der Regionen beigezogen wurden, sowie ein Überblick über die Teilprojekte A - D sind in BRAUN ET AL. (1998) festgehalten.

Die Projekte zur Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen in den Bereichen Phosphorbelastung der Oberflächengewässer und Stickstoffbelastung des Grundwassers wurden 1996 gestartet. Da zuverlässige Aussagen erst nach Jahren möglich sind (von Jahr zu Jahr unterschiedliche Witterungsbedingungen, zeitliche Verzögerung der Wirkung der Öko-Massnahmen infolge langer Fliesswege des Grundwassers etc.) sollen die Projekte bis 2005 dauern.

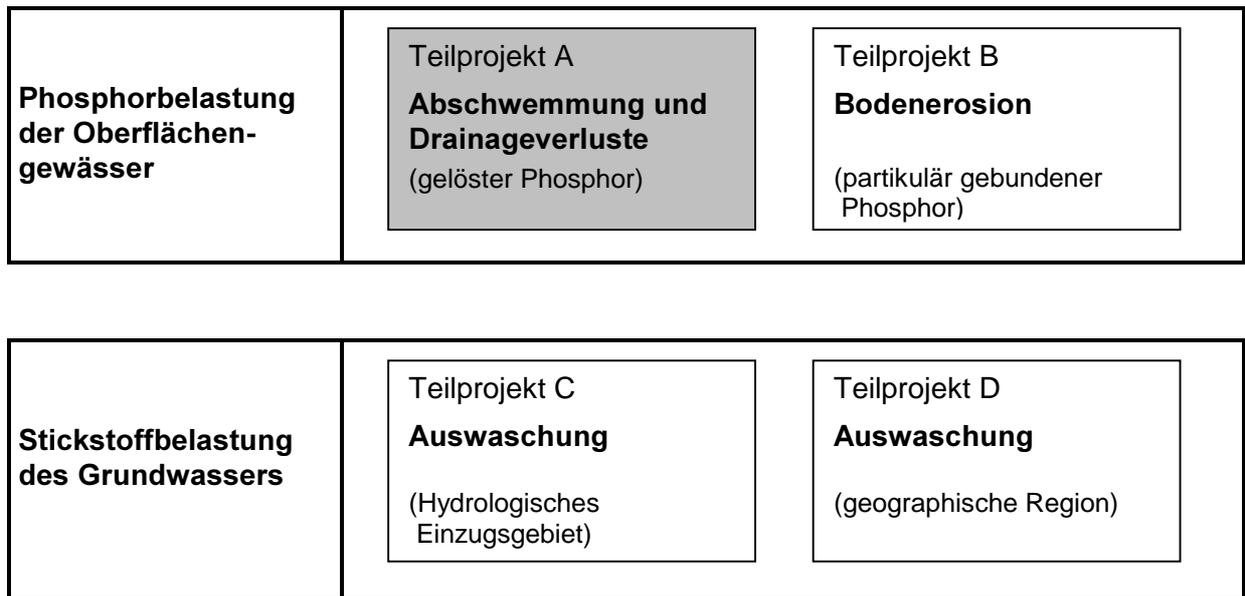


Abbildung 1: Übersicht über die vier Teilprojekte der Evaluation der Öko-Massnahmen im Bereich Phosphorbelastung der Oberflächengewässer und Stickstoffbelastung des Grundwassers. Inhalt des vorliegenden Berichtes ist nur Teilprojekt A, welches im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches durchgeführt wird.

1.4 Grundlagen zur Abschwemmung und zu den Drainageverlusten

Die wichtigen Punkte, welche zur Reduzierung der Verluste von gelöstem Phosphor durch Abschwemmung und Drainageabfluss zu beachten sind, werden im folgenden erklärt.

1.4.1 Standortgerechter Futterbau und standortgerechte Düngung

Nicht auf allen Schlägen ist die Gefahr für Phosphorverluste gleichermassen gross. Es gibt grosse, standortbedingte Unterschiede. Die wichtigsten Parameter, welche den Standort kennzeichnen und die Abschwemmung beeinflussen, sind der Boden, die Topographie sowie die Lage zu den Gewässern und Einlaufschächten (vergleiche auch MOLLENHAUER 1987). An Standorten mit undurchlässigen Böden, in Muldenlage oder angrenzend an einen Bach besteht eine grosse Gefahr von Phosphorverlusten und damit einer Phosphorbe-

lastung des Gewässers. Bei gut durchlässigen Böden in der Ebene und fern von Einleitern und Oberflächengewässern ist die Gefahr gering. Dafür kann dort ein anderes Problem bestehen: Weil das Wasser schlechter abfließt, wurden solche Standorte punktuell oder flächenhaft drainiert. Damit wurden die Voraussetzungen für eine Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung überhaupt erst geschaffen. Mit den Drainagen wird aber nicht nur Wasser abgeführt; es können auch bedeutende Nährstoffmengen verloren gehen (GÄCHTER ET AL. 1996, STAMM 1997). Die Massnahme, Standorte mit hohen Phosphorverlusten zu extensivieren, verspricht ein hohes Reduktionspotenzial bezüglich der Phosphorbelastung der Gewässer durch die Landwirtschaft (BRAUN ET AL. 1997a und PRASUHN ET AL. 1997).

1.4.2 Schonende Bewirtschaftung des Bodens

Für die schonende Bewirtschaftung der Böden müssen standortbedingte und bewirtschaftungsbedingte Faktoren in Betracht gezogen werden. Es gibt Böden, die wegen ihrer Bodenart und ihrem Wasserhaushalt natürlicherweise verdichtungsgefährdet sind. Je nach Kultur, Nutzungsintensität, Bodenbearbeitung und Beweidung kann diese natürliche Verdichtungstendenz verstärkt werden. Mit schonender Bewirtschaftung kann dem entgegen gewirkt werden. Auf verdichtungsgefährdeten Standorten ist z.B. eine humusmehrende Kultur mit dauernd geschlossener Pflanzendecke und extensiver Nutzung einer humuszehrenden Ackerkultur, welche den Boden nicht dauernd zu bedecken vermag oder eine intensive Bodenbearbeitung verlangt, vorzuziehen. Verdichtete Böden können weniger Regenwasser einsickern lassen, was die Abschwemmung von Phosphor begünstigt und damit die Gefahr für Phosphorverluste erhöht.

1.4.3 Bedarfsgerechte Düngung und ausgeglichene Phosphorbilanz

Schätzungen zeigen, dass in der Schweiz ungefähr zwei Prozent der ausgebrachten Hofdüngermenge in die Gewässer gelangen (BRAUN ET AL. 1994). Je grösser die auszutragende Hofdüngermenge ist, desto höher sind auch die Verluste. Diese allgemeine Annahme lässt sich auf Betriebsebene wie folgt erklären: In erster Linie werden für den Austrag von Hofdüngern pflanzenbaulich günstige Tage gewählt, in zweiter Linie arbeitsorganisatorisch günstige Tage. Jeder Landwirt wird sich auch Mühe geben, günstige Tage bezüglich Boden- und Witterungsbedingungen auszuwählen, um die Verluste gering zu halten. Je mehr Hofdünger aber verteilt werden müssen, umso grösser ist der Gefahr, dass an günstigen Tagen möglichst viel ausgebracht wird oder auf ungünstigere Tage bezüglich der Boden- und Witterungsbedingungen ausgewichen werden muss. Insbesondere letzteres erhöht die Gefahr für Phosphorverluste aus der Landwirtschaft in die Gewässer. Dass in Einzugsgebieten mit hohen Tierbeständen und folglich viel Hofdüngeranfall auch grosse Probleme mit der Eutro-

phierung der Seen bestehen, ist ein Indiz für obige Aussagen. Untersuchungen zeigen, dass mit der Massnahme der ausgeglichenen Phosphorbilanz und der bedarfsgerechten Düngung ein grosses Potenzial zur Verminderung der Gewässerbelastung mit Phosphor besteht (BRAUN ET AL. 1997a und PRASUHN ET AL. 1997).

1.4.4 Zeitgerechte Düngung

Werden Hofdünger über schneebedeckten, gefrorenen, wassergesättigten oder ausgetrockneten Boden ausgebracht, ist die Gefahr für Phosphorverluste erheblich. Feldversuche zeigen, dass Abschwemmereignisse unter solchen Bedingungen stark zur Belastung der Oberflächengewässer beitragen. Im Winterhalbjahr ist die Problematik des Hofdüngeraustrags bei ungünstigen Boden- und Witterungsbedingungen eng mit der Frage des Vorhandenseins von genügend Hofdüngerlagervolumen verbunden (BRAUN ET AL. 1996). Im Sommerhalbjahr ist die Beziehung zwischen dem Hofdüngeraustrag und einem folgenden Regenereignis entscheidend (BRAUN ET AL. 1993). In der zeitgerechten Düngung liegt ebenfalls ein grosses Potenzial zur Reduktion der Gewässerbelastung durch Phosphor.

1.4.5 Ökologische Ausgleichsflächen

Gleichsam eine Synthese der Themen standortgerechte, bedarfsgerechte und zeitgerechte Düngung sowie schonende Bodenbewirtschaftung stellen die ‚Ökologischen Ausgleichsflächen‘ dar. Wird auf einem ungünstigen, eventuell sogar verdichteten Standort zu viel Dünger erst noch zu einem ungünstigen Zeitpunkt bezüglich Boden- und Witterungsbedingungen ausgetragen, können die Phosphorverluste sehr hoch sein. Wird demgegenüber auf einem problematischen Standort kein Dünger mehr ausgetragen, ist die Gefahr für Phosphorverluste erheblich reduziert. Dies zeigt die grosse Bedeutung, welche der Standortwahl von Ökologischen Ausgleichsflächen zukommt, insbesondere wenn sie extensiv genutzt werden. Ökologische Ausgleichsflächen bieten die Möglichkeit, die Nutzungsintensität dem Standort anzupassen und damit Boden und Gewässer weniger zu belasten. Ökologische Ausgleichsflächen können bei geeigneter Standortwahl auch als Pufferstreifen oder Pufferzonen wirken.

1.5 Zielsetzungen

1.5.1 Zielsetzungen der Agrarpolitik

Zielsetzungen der Agrarpolitik wurden in zweierlei Hinsicht formuliert: als Umwelt-Qualitätsziele (= Wirkungsziele) und als Umwelt-Handlungsziele (= Umsetzungsziele). Bezogen auf die Gewässerbelastung durch Phosphor heisst dies:

- Auf der Seite der Immissionen ist das Ausmass der tolerierbaren Gewässerbelastung festzulegen. Es ist ein ‚Umwelt-Qualitätsziel‘ oder ‚Wirkungsziel‘ zu formulieren und es sind Massnahmen zu ergreifen, welche auf dieses Ziel so hinwirken, dass z.B. die Phosphorbelastung eines Sees einen bestimmten Wert nicht übersteigen darf. Die Messungen im Gewässer und die Verfolgung der Entwicklung der Gewässerbelastung durch Phosphor dienen der Kontrolle der Einhaltung der Umwelt-Qualitätsziele.
- Auf der Seite der Emission ist ein ‚Umwelt-Handlungsziel‘ oder ‚Umsetzungsziel‘ zu definieren. Handlungen der Landwirte sind so festzulegen, dass z.B. die Phosphorüberschüsse einen bestimmten Wert nicht übersteigen dürfen. Die Darstellung der Entwicklung bestimmter Indikatoren im Bereich der Landwirtschaft kann zur Kontrolle der Umsetzung und der Einhaltung der Umwelt-Handlungsziele durch die Landwirte dienen.

Im Rahmen der Ökologisierung der Landwirtschaft wurden im Bereich Phosphor folgende Wirkungs- und Umsetzungsziele festgelegt (nach BLW 1999):

- Zum Wirkungsziel: Die durch die Landwirtschaft verursachte Phosphorbelastung der Oberflächengewässer soll bis ins Jahr 2005 um 50% reduziert werden (bezogen auf die Belastung anfangs der neunziger Jahre und im Durchschnitt der Schweiz).
- Zum Umsetzungsziel: Der Input-Output-Bilanzüberschuss soll bis ins Jahre 2005 um 50% (bezogen auf den Überschuss anfangs der neunziger Jahre) verringert werden.

Um in der Schweiz im Durchschnitt das Wirkungsziel einer Reduktion der landwirtschaftsbedingten Phosphorbelastung der Oberflächengewässer von 50% (verglichen mit der Belastung anfangs der neunziger Jahre) erreichen zu können, ist es notwendig, in überdurchschnittlich belastenden Teileinzugsgebieten oder Regionen (z.B im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches) eine Reduktion von mehr als 50% zu erzielen.

1.5.2 Zielsetzungen des Projektes

Die Ziele des Projektes sind die folgenden: Entwickeln, Anwenden und Evaluieren eines Modelles zur Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen in der Landwirtschaft, Aufzeigen von Kausalzusammenhängen zwischen den Öko-Massnahmen und der Gewässerbelastung, Durchführung der Wirkungskontrolle sowie Aufzeigen, ob die Zielsetzungen der Agrarpolitik erfüllt werden.

2. Konzept und Methodik

2.1 Konzeptionelle Grundidee

Die Wirkungskontrolle in einem beliebigen Einzugsgebiet oder in einer Region basiert auf drei Elementen, wie sie in Abbildung 2 dargestellt sind. Der erste Pfeil zeigt die ökologische Entwicklung der Landwirtschaft im Verlaufe der Jahre vor und nach der Einführung der Öko-Massnahmen im Jahre 1993. Der zweite Pfeil steht für die Entwicklung der Phosphorbelastung der Gewässer ebenfalls vor und nach der Einführung der Öko-Massnahmen. Der Querbalken stellt das Modell zur Verknüpfung der Gewässerbelastung mit der Landwirtschaft dar. Mit dem Modell können Kausalzusammenhänge aufgezeigt werden. Alle drei Elemente werden im folgenden diskutiert.

An die Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen werden Anforderungen gestellt, welche sich teils zu widersprechen scheinen: Einerseits muss die Wirkungskontrolle wissenschaftlichen Kriterien genügen. Dies bedeutet, dass komplexe Zusammenhänge beschrieben, in Zahlen gefasst und interpretiert werden müssen. Andererseits sollte die Wirkungskontrolle einfach, pragmatisch, nachvollziehbar und auf andere Regionen anwendbar sein. Es ist unumgänglich, zwischen diesen Gegensätzen einen Kompromiss zu finden. Das Modell zur Verknüpfung der Entwicklung der Gewässerbelastung mit der ökologischen Entwicklung der Landwirtschaft ist ein solcher Kompromiss.

2.2 Ökologische Entwicklung der Landwirtschaft

Seit dem Jahr 1993 werden Direktzahlungen für besondere ökologische Leistungen ausbezahlt. Der hauptsächliche Inhalt dieser ersten Säule der Wirkungskontrolle ist der Vergleich der Entwicklung von umweltrelevanten Landwirtschaftsindikatoren während der Zeitperiode vor 1993 mit derjenigen nach 1993. Umweltrelevante Landwirtschaftsindikatoren sind Indikatoren, welche die Entwicklung der Landwirtschaft abbilden und einen Bezug zur Umwelt und zur Umweltbelastung aufweisen. Tabelle 1 enthält eine Liste von möglichen umweltrelevanten Landwirtschaftsindikatoren für eine Region mit Gewässerschutzproblemen.

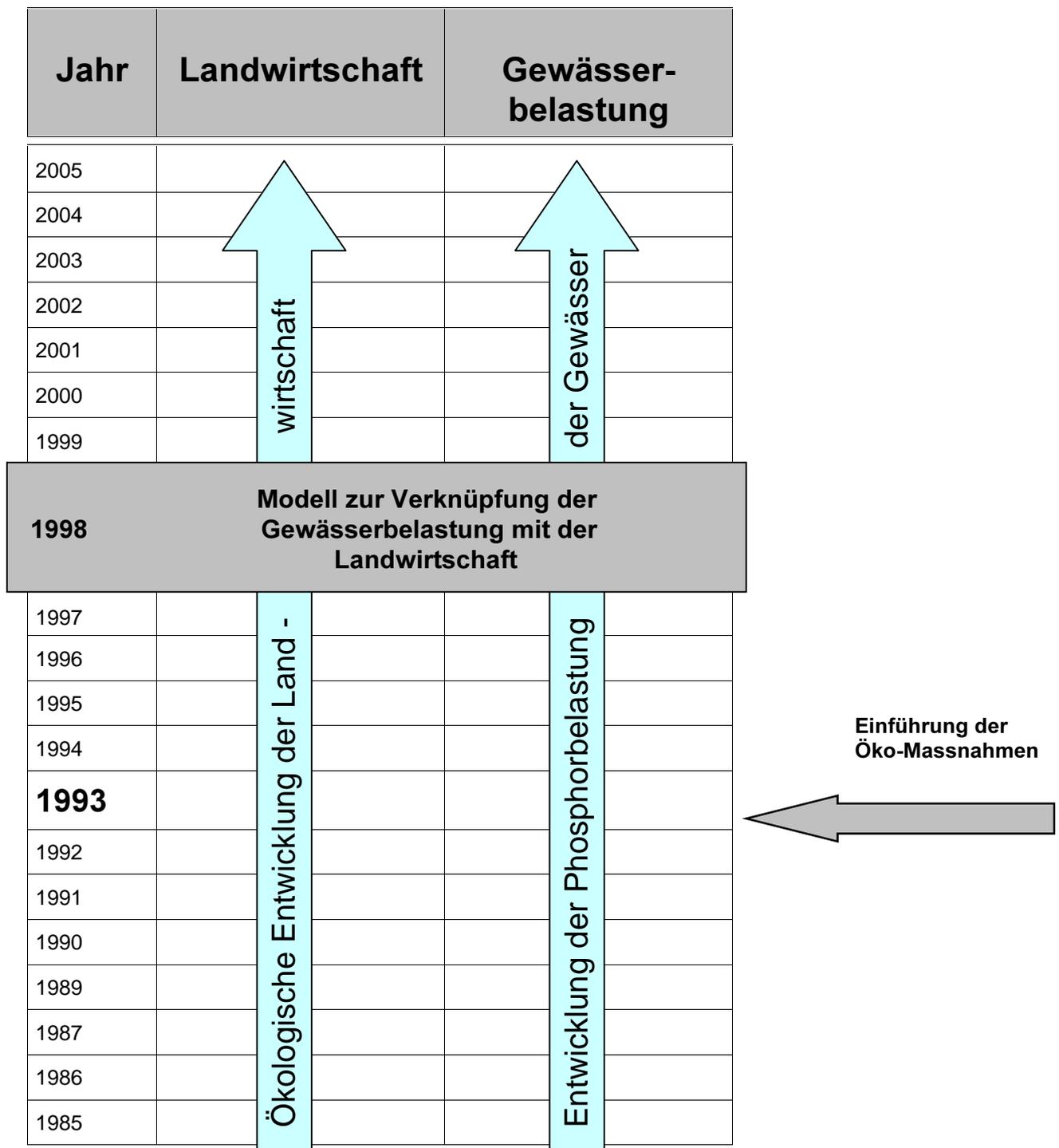


Abbildung 2: Konzeptionelle Grundidee zur Evaluation der Öko-Massnahmen im vorliegenden Projekt im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches.

Ausgehend von dieser Liste werden für das Einzugsgebiet des Lippenrütibaches für jeden Bereich ein oder zwei Indikatoren, welche eine besondere Relevanz für den Futterbau sowie für die Phosphorbelastung der Gewässer haben, ausgesucht. Diese ausgewählten Indikatoren sind in Tabelle 1 fett hervorgehoben.

- Die Entwicklung der Anzahl IP- und BIO-Betriebe, der im Rahmen von IP und BIO bewirtschafteten Flächen und der Ökologischen Ausgleichsflächen sind allgemeine Indikatoren, die Auskunft über die Beteiligung an den Programmen für besondere ökologische Leistungen geben.

Alle Betriebe, die an den Programmen teilnehmen, müssen unter anderem auch die Auflagen der Gewässerschutzgesetzgebung einhalten, was die bodenschonende Bewirtschaftung sowie die standortgerechte, bedarfsgerechte und zeitgerechte Düngung einschließt.

- Die Entwicklung der Tierbestände und der Betriebe mit zu hohem Phosphordeckungsgrad liefert Anhaltspunkte zur bedarfsgerechten Düngung und ausgeglichenen Phosphorbilanz. Diese stellen wichtige Voraussetzungen zur Reduktion der Phosphorbelastung der Gewässer dar.
- Die Zunahme der Betriebe mit genügend Lagerraum für die Hofdünger ist neben dem Abbau der Tierbestände eine wesentliche Voraussetzung zur zeitgerechten Düngung und als eine der wirksamsten Massnahmen zur Reduktion der Abschwemmung und der Verluste von gelöstem Phosphor anzusehen.

Diese fünf Indikatoren stehen alle in Zusammenhang zum im Kapitel 1.1 erwähnten 'Ökologischen Leistungsnachweis' und zu den im Kapitel 1.4 erläuterten Grundlagen zur Abschwemmung und zu den Drainageverlusten. Die Indikatoren liefern Indizien, welche auf eine Verringerung der Phosphorverluste in der Landwirtschaft und damit auf eine Verringerung der Phosphorbelastung der Gewässer hinweisen. Es sind jedoch keine Beweise für letzteres.

Die Daten, welche die Basis für die umweltrelevanten Landwirtschaftsindikatoren bilden, können einerseits der amtlichen Statistik entnommen werden (Bundesamt für Statistik: jährliche Betriebsstrukturerhebungen oder Betriebszählungen alle fünf Jahre). Andererseits liefern eigene Erhebungen ergänzende Informationen (siehe Kapitel 2.4.5). Aus Datenschutzgründen werden die einzelbetrieblichen Daten dann zu einem 'Einzugsgebietswert' zusammengezählt. Die ausgewählten Indikatoren beziehen sich folglich immer auf das ganze Einzugsgebiet des Lippenrütibaches und nicht auf die einzelnen Betriebe.

Tabelle 1: Beispiele von ‚umweltrelevanten Landwirtschaftsindikatoren‘ für eine Region mit zu hoher Phosphorbelastung der Oberflächengewässer. Fett hervorgehoben sind jene Indikatoren, welche im Projekt im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches betrachtet werden.

Bereich	Indikatoren
Betriebsformen	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung der Anzahl IP- und BIO-Betriebe
Flächennutzung	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung der IP- und BIO-Flächen • Entwicklung der Ökologischen Ausgleichsflächen • Entwicklung der Flächen mit erhöhter Gefahr für Abschwemmung • Entwicklung der Flächen (Kulturen) mit erhöhter Gefahr für Bodenerosion • Entwicklung der Flächen mit konservierender Bodenbearbeitung • Entwicklung von Zwischenkulturen und Untersaaten
Nährstoffbilanzierung	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung der Tierbestände (DGVE) • Entwicklung des Einsatzes von importierten Futtermitteln • Entwicklung des Phosphor-Mineraldüngereinsatzes • Entwicklung des Phosphor-Überschusses
Technische Ausrüstung	<ul style="list-style-type: none"> • Zunahme der Betriebe mit genügend Lagerraum für Hofdünger • Entwicklung von Hofdüngerausträgen zur Unzeit • Entwicklung der Mechanisierung

2.3 Entwicklung der Phosphorbelastung der Gewässer

Unabhängig von der ersten Säule kann als zweite Säule der Wirkungskontrolle die Entwicklung der Gewässerbelastung verfolgt werden. Dazu gehören folgende Indikatoren: Entwicklung der Jahresfracht an Gesamt-Phosphor, an gelöstem Phosphor und partikulär gebundenem Phosphor sowie Entwicklung der Konzentrationsspitzen während Hochwasserereignissen. Diese Indikatoren liefern ebenfalls Anhaltspunkte, ob die Gewässerbelastung als Folge der Öko-Massnahmen abgenommen hat oder nicht. Allerdings sind auch dies keine Beweise, denn es ist durchaus möglich, dass die Belastung zwar abgenommen hat, dies

aber auf eine geringere Niederschlagsmenge, auf das Ausbleiben extremer Niederschlagsereignisse oder auf andere Einflüsse (z.B. punktuelle Quellen) zurückzuführen ist. Deshalb sind alleine aufgrund der Entwicklung der Gewässerbelastung keine eindeutigen Aussagen über die Wirkung der Öko-Massnahmen in der Landwirtschaft möglich.

2.3.1 Routine-Messungen

Der Lippenrütibach wird seit Jahren durch das Amt für Umweltschutz (AFU Luzern) routinemässig beprobt. Die Messstation befindet sich wenige hundert Meter vor der Mündung in den See und erfasst mit 95% praktisch das ganze hydrologische Einzugsgebiet des Lippenrütibaches. Das Probenahmeprogramm umfasst eine periodische Probenahme alle 22 Tage und zusätzlich eine automatische Hochwasserbeprobung. Die Abflussmenge wird mit einem Limnigraphen erfasst. Ein Methodenbeschrieb ist in KUNZE (1994) nachzulesen.

Da zwischen der Phosphorkonzentration (C) und der Abflussmenge (Q) eine Beziehung besteht (C/Q-Beziehung), lassen sich via Abflussmengen Jahres- oder Monatsfrachten errechnen. Damit der Fehler nicht zu gross wird, werden die C/Q-Beziehungen gleitend über eine Periode von drei Jahren bestimmt, indem aufgrund der Messwerte jedes Jahres, seines Vorjahres und seines Folgejahres eine angenäherte Funktion innerhalb des zwischen Abflusswert und Konzentrationswert aufgespannten Koordinatensystems bestimmt wird. Für 1998 wurden ausnahmsweise die beiden Vorjahre hinzugezogen anstelle von 1999, da dieses Jahr mit überdurchschnittlichen Hochwasserereignissen aufwartete, was ganz im Gegensatz zu 1998 stand. Der Fehler der berechneten Jahresfracht liegt im Bereich von $\pm 20-30\%$ (BUTSCHER 1998).

Die erhaltenen Jahresfrachten hängen stark von den Abflussmengen ab. In einem Trockenjahr sind geringere Phosphorfrachten zu erwarten als in niederschlagsreichen Jahren. Auch die Verteilung der Niederschläge und des Abflusses über das Jahr kann unterschiedlich sein und hat ebenfalls einen Einfluss auf die Phosphorfrachten. Dies erschwert eine Trendanalyse. Um die Entwicklung der Gewässerbelastung über die Jahre trotzdem erkennen zu können, werden die C/Q-Beziehungen verglichen. Dies geschieht anhand einer Abflussnormierung. Dazu werden Jahresabflüsse verschiedener Jahre und eine fiktive Annahme als Abflussnorm verwendet und so für jeden Tagesabfluss anhand der für jedes Jahr bestimmten Formel der C/Q-Beziehung eine Tagesfracht berechnet. Die aufsummierten Tagesfrachten ergeben so fiktive Jahresfrachten, die von der Abflussmenge abgekoppelt sind.

Als weiterer Indikator kann die Entwicklung der Konzentrationsspitzen während Hochwasserereignissen hinzugezogen werden. Dazu werden die hohen Abflussmengen und die dazugehörigen Messwerte der Phosphorkonzentrationen aus der Routinemessung nach Jahreszeiten sortiert (Dezember-Februar, März-Mai, Juni-August und September-November) und anschliessend für die Periode vor und nach der Einführung der Öko-Massnahmen miteinander verglichen.

2.3.2 On-Line-Messungen

Zusätzlich zu den Routine-Messungen wurde im Jahr 1998 im Lippenrütibach ein On-Line-Messgerät installiert. Phosphat, Nitrat, Ammonium, Temperatur, pH und Abflussmenge wurden im Stundenrhythmus bestimmt. Dank der detaillierten zeitlichen Auflösung der Nährstoffkonzentrationen konnten auch aussergewöhnliche Ereignisse (z.B. ‚Gülleereignisse‘: siehe Kap. 2.5.2) erfasst und Hochwasserereignisse genauer aufgeschlüsselt werden. Die On-Line-Messungen wurden ebenfalls durch das Amt für Umweltschutz durchgeführt.

2.4 Modell zur Verknüpfung der Gewässerbelastung mit der Landwirtschaft

Der Querbalken in Abbildung 2 beinhaltet das Modell zur Verknüpfung der Gewässerbelastung mit der Landwirtschaft. Damit ist es möglich, die Kausalzusammenhänge zwischen der Entwicklung der Gewässerbelastung und der ökologischen Entwicklung der Landwirtschaft für jedes Jahr darzulegen. Der Querbalken in Abbildung 2 ist somit in der Vertikalen verschiebbar. Mit der Sequenz der Jahre 1998 bis 2005 (z.B. mit unterschiedlichen Witterungsbedingungen) wird eine wissenschaftlich abgesicherte Aussage über die Kausalzusammenhänge möglich sein.

Das Modell ist als ‚virtuelles Einzugsgebiet im Computer‘ zu verstehen, welches dank zahlreicher Informationen aus dem realen Einzugsgebiet so weit wie möglich an dieses angenähert ist. Die Informationen in Form von Parametern und Faktoren (z.B. über den Boden, den Betrieb oder den Düngeraustrag: siehe Abb. 3 und Tabellen 2-4) werden mittels eines gemeinsamen Klassierungssystems zueinander in Beziehung gesetzt. Im virtuellen Einzugsgebiet können durch Aufteilung und Isolation einzelner Faktoren Zusammenhänge studiert werden, was im realen Einzugsgebiet nicht möglich ist.

In Kapitel 1.5 wurde auf die Ziele eingegangen. Wichtig ist es, die Kongruenz zwischen den formulierten Umwelt-Qualitätszielen (= Wirkungsziele) und Umwelt-Handlungszielen (= Umsetzungsziele) zu garantieren. Führen die Handlungen der Landwirte und die Einhaltung der Umwelt-Handlungsziele tatsächlich zu einer Entlastung der Gewässer und zur Einhaltung der Umwelt-Qualitätsziele? Das Modell versucht auch, diese Kongruenz sicherzustellen.

Das Modell zur Verknüpfung der Gewässerbelastung mit der Landwirtschaft besteht aus drei Bausteinen (Abb. 3):

- Im ersten Baustein wird die ‚standortbedingte Gefahr für Phosphorverluste‘ für jeden Schlag (= landwirtschaftlich genutztes Feld innerhalb einer Parzelle, das in sich eine Einheit bildet und als solche durch den Landwirt bewirtschaftet wird) abgeschätzt. Die standortbedingte Gefahr für Phosphorverluste umfasst die Beurteilung der Gebietshydrologie, des Bodens, der Topographie und der Lage zu den Einleitern. Die standortbedingte Gefahr ist weitgehend natürlich bedingt und bezieht Parameter ein, welche der Landwirt nicht direkt und unmittelbar beeinflussen kann.
- Der zweite Baustein ist die ‚bewirtschaftungsbedingte Gefahr für Phosphorverluste‘. Dazu gehören die Parameter der Bodennutzung, des Betriebes, der pflanzenbaulichen Nutzung und der im Feld ergriffenen Massnahmen zur Reduktion der Phosphorverluste. Alle diese Parameter kann der Landwirt direkt beeinflussen. Strukturveränderungen eines Betriebes werden in erster Linie durch diesen Baustein erfasst.
- Der dritte Baustein ist die Beurteilung der ‚austragungs- und ereignisbedingten Gefahr‘ für Phosphorverluste. Beurteilt werden dazu die Niederschlagsereignisse, der Bodenzustand und die Düngung. Dieser Baustein erfasst speziell die einzelnen Handlungen der Landwirte beim Düngeraustrag, insbesondere die Einschätzung der Boden- und Witterungsbedingungen.
- Das Resultat ist die ‚Gesamt-Gefahr‘ für Phosphorverluste für jeden Schlag, d.h. die Gefahr, dass es tatsächlich zu einer Phosphorbelastung der Gewässer kommt. Sie setzt sich aus der standortbedingten, der bewirtschaftungsbedingten sowie der austragungs- und ereignisbedingten Gefahr zusammen.

Die standortbedingte, bewirtschaftungsbedingte sowie austragungs- und ereignisbedingte Gefahr haben unterschiedliche Zeithorizonte. Eine erhöhte standortbedingte Gefahr für Phosphorverluste besteht *dauernd* und kann über die Zeit als konstant angesehen werden. Eine erhöhte bewirtschaftungsbedingte Gefahr für Phosphorverluste ist *mittel- bis langfristig* konstant. Deren Parameter können zwar durch den Landwirt beeinflusst werden, sind aber relativ träge. Eine erhöhte austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für Phosphorverluste besteht nur *kurzfristig* während wenigen Tagen.

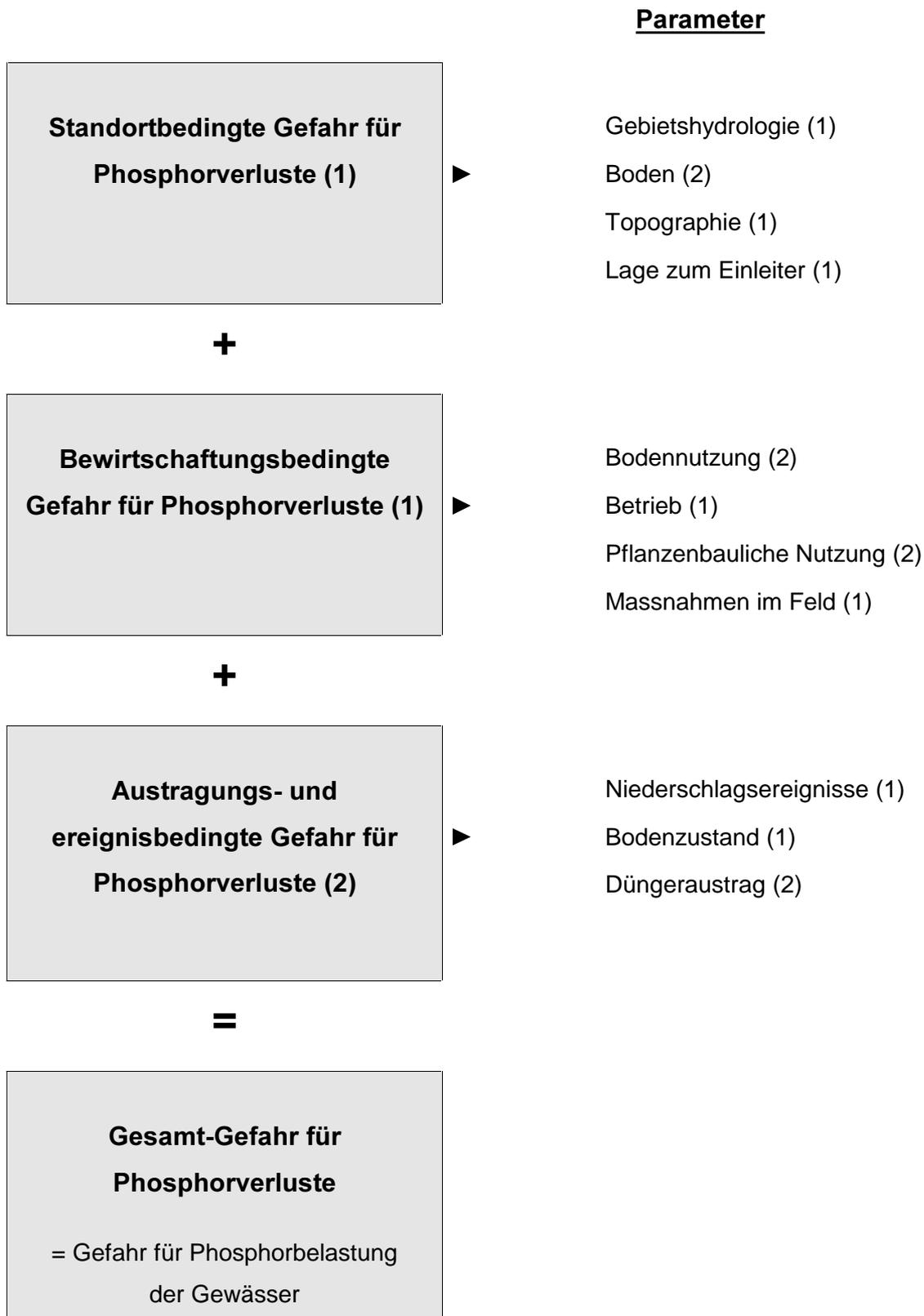


Abbildung 3: Modell zur Verknüpfung der Gewässerbelastung mit der Landwirtschaft. (Die Zahlen in Klammern entsprechen den Gewichtungen der einzelnen Parameter respektive der einzelnen Teilgefahren. Erklärungen folgen in den Kap. 2.4.1 bis 2.4.4)

2.4.1 Standortbedingte Gefahr für Phosphorverluste

Die Beurteilung der standortbedingten Gefahr für Phosphorverluste stützt sich auf die Beurteilung der Parameter Gebietshydrologie, Boden, Topographie und Lage zum Einleiter. Diese werden im folgenden diskutiert; zudem werden die Klassierungen festgelegt. Der Klassenwert 1 bedeutet in der Regel ‚keine Gefahr für Phosphorverluste‘, der Wert 4 dagegen ‚sehr hohe Gefahr für Phosphorverluste‘. Was dies bedeutet, wird im folgenden für jeden Faktor einzeln erklärt. Tabelle 2 zeigt eine Zusammenstellung von Parametern und Faktoren, welche zur Beurteilung der standortbedingten Gefahr einbezogen werden können.

Tabelle 2: Standortbedingte Gefahr für Phosphorverluste.

Parameter	Faktoren
Gebietshydrologie	<ul style="list-style-type: none"> • (Niederschlagsmenge) • (Evapotranspiration) • (Totaler Wasserabfluss)
Boden	<ul style="list-style-type: none"> • Bodeneinheit * • Bodenart * • Bodentyp * • Durchlässigkeit • Physiologische Gründigkeit • Wasserhaushalt • Natürliche Verdichtungsgefährdung
Topographie	<ul style="list-style-type: none"> • Hangneigung • Geländeform • Hanglänge des Schlages • Fremdwasserzufluss
Lage zum Einleiter	<ul style="list-style-type: none"> • Distanz zum Gewässer • Distanz zu Einlaufschächten

(..) nicht berücksichtigte Faktoren im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches
 * dienen als Grundlage zur Klassierung anderer Faktoren (wurden selber aber nicht klassiert)

a) Gebietshydrologie

Die Gebietshydrologie wird durch das langjährige Mittel des Niederschlages, der Evapotranspiration und des totalen Abflusses charakterisiert. Diese Faktoren werden innerhalb eines so kleinen Einzugsgebietes wie demjenigen des Lippenrütibaches für alle Schläge als einheitlich angenommen. Auf den Parameter der Gebietshydrologie wird deshalb im folgenden nicht eingegangen; er wäre erst wieder für den Vergleich mit anderen Gebieten einzubeziehen. Die Drainagen werden im Parameter ‚Bodennutzung‘ behandelt.

b) Boden

Die Faktoren, welche in Zusammenhang mit den Phosphorverlusten durch Abschwemmung und durch Drainagen den Parameter Boden näher beschreiben, sind die Bodeneinheit, die Bodenart, der Bodentyp, die Durchlässigkeit, die physiologische Gründigkeit, der Wasserhaushalt und die natürliche Verdichtungsgefährdung.

- Bodeneinheit, Bodenart und Bodentyp: Mit der codierten Ansprache der Bodeneinheit gemäss AGBA (1993) liessen sich die Bodeneigenschaften für jeden Schlag bestimmen. Jedem Schlag wurde aufgrund der Bodenkarte eine Bodeneinheit zugeordnet; sie sollte bestmöglich die Bodeneigenschaften repräsentieren. Dabei wurden folgende Zuordnungskriterien befolgt: In erster Linie wurde die Bodeneinheit mit dem grössten Flächenanteil am Schlag gewählt. Dabei kamen nur auf dem Schlag vorhandene Bodeneinheiten in Frage. Wenn verschiedene Bodeneinheiten auf einem Schlag zu finden waren und keine dominierte, so wurde jene gewählt, die den Schlag durchschnittlich bezüglich der Risikoklassen repräsentierte. In Zweifelsfällen wurde zu Gunsten der Einheit mit dem höheren Risiko entschieden. Die Nomenklatur beruht auf den Definitionen der Bodenkartierung durch die Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich. Die Bodeneinheit, die Bodenart und der Bodentyp sind für jeden Schlag im Anhang definiert; sie dienen als Basisinformationen und wurden nicht klassiert. Die nachfolgenden Faktoren lassen sich aus dem alphanumerischen Code der Bodeneinheit ableiten.
- Durchlässigkeit: Mit abnehmender Durchlässigkeit eines Bodens nimmt der Beitrag zur Oberflächenabflussbildung zu. Von DENOTH (1997 und 1998) wurde deshalb die Durchlässigkeit der Böden im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches abgeschätzt und klassiert. Dieser Ansatz wurde für die vorliegende Arbeit übernommen: Die Verbindung der Bodeneinheit mit der errechneten kritischen Flusssdichte erfolgte nach Tabelle 3.4 in DENOTH (1997). Die kritische Flusssdichte ist identisch mit jener Niederschlagsintensität, die das Porensystem eines Bodens zu verkräften vermag, ohne dass an der Oberfläche vollständige Wassersättigung erreicht wird. Jenseits dieser Marke ist mit Oberflächenabfluss zu rechnen.

Kritische Flussdichten	Durchlässigkeit	Klassierung
> 20 cm / Tag	sehr hoch	1
15 - 20 cm / Tag	hoch	2
10 – 14.9 cm / Tag	mittel	3
< 10 cm / Tag	gering	4

- Physiologische Gründigkeit: Gemäss der Definition der Bodenkartierung wird die physiologische Gründigkeit, die den verfügbaren Speicherplatz für Bodenwasser angibt, mit der ersten Stelle der Bodeneinheit festgelegt. Sie ist ein Mass für die Aufnahme- und Rückhaltefähigkeit des Bodens für Wasser, welche den Zeitpunkt für das Entstehen von Oberflächenabfluss entscheidend mitbestimmt. Die Klassierung der physiologischen Gründigkeit erfolgte auf der Grundlage von FAP (1992) nach DENOTH (1997).

Physiologische Gründigkeit		Klassierung
≥ 70 cm	tiefgründig	1
50 - 69 cm	mässig tiefgründig	2
30 - 49 cm	ziemlich flachgründig	3
< 30 cm	flachgründig	4

- Wasserhaushalt: Die erste Stelle der Bodeneinheit definiert auch den durchschnittlichen Wassersättigungsgrad des Bodens. Den Informationen aus der Bodenkarte sind die Angaben der Bewirtschaftenden zum Vernässungsgrad des Schlages gegenübergestellt. Bei Differenzen der beiden Aussagen wird auf die Angaben der Landwirte abgestützt und in Richtung ihrer Aussagen die Klassierung um den Wert 1 korrigiert. Die Beurteilung des Wasserhaushaltes stützt sich auf AGBA (1992) und DENOTH (1997).

Wasserhaushalt		Klassierung
senkrecht durchwaschene Böden	nie porengesättigt	1
Stau-, Grund- oder Hangwasser beeinflusste Böden	selten porengesättigt	2
Stau-, Grund- oder Hangwasser beeinflusste Böden	häufig porengesättigt	3
Grund- oder Hangwasser beeinflusste Böden	meist porengesättigt	4

- Natürliche Verdichtungsgefährdung: In DENOTH (1997) wurde für alle Bodeneinheiten im Einzugsgebiet der ‚potentielle Verdichtungsindex‘ nach WEISSKOPF ET AL. (1988) ermittelt. Dieser Index wird aufgrund der im Profil gefundenen Vernässungszeichen definiert und basiert vor allem auf dem Einfluss von Boden und Klima. Allerdings blieben für die vorliegende Arbeit die zwei unterschiedlichen Klimazonen im Einzugsgebiet (B4 respektive C1-4) unberücksichtigt; ansonsten wurde die Klassierung von DENOTH (1997) übernommen. Der Einfluss der Bewirtschaftung (Kultur, Bodenbearbeitung etc.) auf die Verdichtungsgefährdung wird bei der bewirtschaftungsbedingten Gefahr einbezogen.

Vernässungszeichen	Natürliche Verdichtungsgefährdung	Klassierung
keine oder $\leq G1$	gering	1
I1, G2,	mittel	2
I2, G3, R1, R2	hoch	3
$\geq I3, \geq G4, \geq R3$	sehr hoch	4

(G = Fremdnässe, I = Staunässe, R = dauernde Fremdnässe)

c) Topographie

Um den Parameter Topographie zu beschreiben, wird auf die Faktoren Hangneigung, Geländeform, Hanglänge des Schlages in Fließrichtung und Fremdwasserzufluss abgestützt.

- Hangneigung: Die Hangneigung ist für die Entstehung von Bodenerosion ein wichtiger Faktor, da sich mit zunehmender Hangneigung die Schleppkraft des Wassers erhöht. Dadurch können aber nicht nur mehr Bodenteilchen mitgerissen werden, sondern auch die an den Pflanzen anhaftende Gülle kann vermehrt abgeschwemmt werden (SCHMITT 1996). Im folgenden wird angenommen, dass mit der Entstehung von Oberflächenabfluss erst ab etwa 3% Hangneigung zu rechnen ist (BRAUN ET AL. 1991 und PRASUHN UND BRAUN 1994). Weitere Einteilungen sind aufgrund der Literaturlage schwierig vorzunehmen (vergleiche z.B. FELDWISCH 1995). Die vorgenommene Einteilung ist deshalb ein möglicher Vorschlag, der bei zukünftigen Erkenntnissen angepasst werden kann.

Das in DENOTH (1997) erstellte Geländemodell (Rasterdatensatz mit einer Kantenlänge von sieben Metern, basierend auf den Übersichtsplänen des Vermessungsamtes mit einer Äquidistanz von zehn Metern) wird zur Bestimmung von Hangneigungen verwendet. Die in 5%-Klassen gruppierten Hangneigungen sind in das Vektorformat gebracht worden. Dann wurde anhand dieser digitalen Karte schlagweise eine maximale Hangneigung ausgewiesen. Im Feld wurde zudem die durchschnittliche Hangneigung jedes Schlages gemessen und mit der maximalen Hangneigung aus dem Geländemodell verglichen. Bei Abweichungen wurde die Repräsentativität der maximalen Hangneigung für den Schlag überprüft und bei einer erneuten Feldbegehung angeglichen.

Hangneigung		Klassierung
≤ 3%	ebene Lage	0
4 - 15%	leicht geneigt	2
16 – 32%	stark geneigt	3
> 32%	steil	4

- Geländeform: Nach dem von BURT UND BUTSCHER (1985) aufgezeigten Zusammenhang zwischen der Hanggeometrie und dem präferentiellen Abflussverhalten wurden neun Geländeformen in Anlehnung an MARKS ET AL. (1989), FRIELINGHAUS (1996) sowie PRASUHN UND GRÜNIG (2001) unterschieden, die aus der Kombination der drei Grundformen konkav, konvex und gestreckt resultieren (Abb. 4). Vor allem Mulden in Gefällsrichtung wirken Abfluss konzentrierend. Aus dem Höhenmodell liessen sich die Hangkrümmung der Geländeoberfläche in Richtung des grössten Gefälles und in Richtung der Höhenlinien bestimmen. Die Bestimmung der Geländeform war damit aber nur beschränkt möglich, da die Dominanz einer Form daraus nicht ersichtlich wurde. Somit erfolgte die Zuordnung der Geländeform zu jedem Schlag primär im Feld. Die kartierten Formen wurden wie folgt klassiert:

Geländeform ¹		Klassierung
längs gestreckt quer konvex; allseitig konvex	verteilend	1
allseitig gestreckt; längs konkav quer konvex	gleichmässig	2
längs gestreckt quer konkav; längs konkav quer gestreckt; längs konvex quer gestreckt	konzentrierend	3
allseitig konkav; längs konvex quer konkav	stark konzentrierend, Mulden	4

¹ *längs* bezieht sich auf die Richtung des Gefälles, *quer* auf die Richtung der Höhenlinien

- Hanglänge des Schlages: Mit zunehmender Hanglänge des Schlages in Fliessrichtung nimmt die Wahrscheinlichkeit zu, dass sich Wasser auf dem Schlag selber zu erheblichen Mengen aufsummiert, die dann nicht mehr versickern können. Die Hanglänge wurde im Feld geschätzt und auf der Karte überprüft. Sie ist in Zusammenhang mit der Abschwemmung als die Hanglänge in Fliessrichtung *auf dem betrachteten Schlag* zu verstehen. Die Klassierung wurde wie folgt vorgenommen:

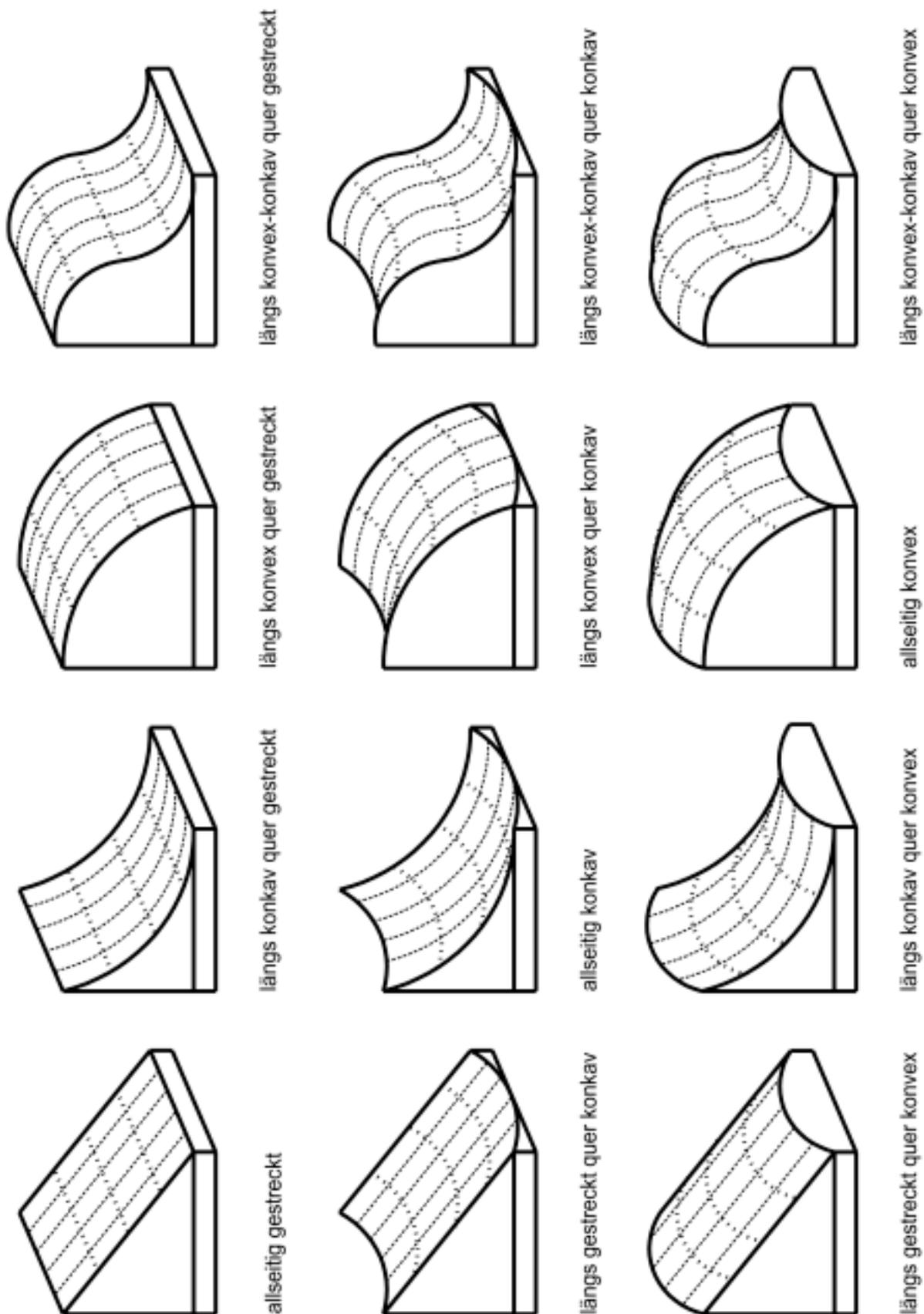


Abbildung 4: Geländeformen nach PRASUHN UND GRÜNIG (2001).

Hanglänge des Schlages		Klassierung
≤ 25 m	gering	1
26 - 50 m	mittel	2
51 - 100 m	gross	3
> 100 m	sehr gross	4

- Fremdwasserzufluss: Durch diesen Faktor wird das darüber liegende Umfeld jedes Schlages miteinbezogen. Im Feld wurde die Wahrscheinlichkeit von Fremdwasserzufluss aus darüber liegenden Schlägen oder von Strassen, welche das Wasser auf darunter liegende Schläge ableiten, abgeschätzt und wie folgt relativ zueinander klassiert:

Fremdwasserzufluss		Klassierung
kein		1
geringe Mengen		2
mittlere Mengen		3
grosse Mengen		4

d) Lage zum Einleiter

MOLLENHAUER (1987) weist auf die Bedeutung des Weg- und Grabennetzes und der Lage zum Vorfluter für den Oberflächenabfluss hin, welche mit diesem Parameter erfasst werden: Einerseits wird die Distanz des Schlages in Fliessrichtung zu einem offenen Gewässer und andererseits die Distanz des Schlages in Fliessrichtung zu einem Einlaufschacht oder einer Strasse mit Einlaufschächten einbezogen. Die Einlaufschächte weisen oft einen direkten Zugang zu einem Bach auf. Beide Faktoren sind gleichwertig zu betrachten und können nicht wie bei den Parametern Boden und Topographie addiert werden: Ist die Klassierung für einen der Faktoren ‚Distanz zum Gewässer‘ oder ‚Distanz zu Einlaufschächten‘ hoch, ist die Gefahr für den ganzen Parameter hoch. Das heisst, dass sich die Gefahr für den Parameter ‚Lage zum Einleiter‘ jeweils aus dem höher eingestuftem Faktor ergibt.

- Distanz zum Gewässer: Die Distanz eines Schlages zu einem offenen Gewässer (Bachlauf, Graben etc.) wurde auf der Karte in Fliessrichtung gemessen und im Feld zwischen dem in Fliessrichtung nächstgelegenen Punkt eines Schlages und dem Gewässer geschätzt. Sollte sich eine Strasse mit Einlaufschächten zwischen dem Schlag und dem Gewässer befinden, wird nur die Distanz in Fliessrichtung zur Strasse beurteilt, da das Wasser auf der Strasse abgeführt wird und das Gewässer via Einlaufschacht erreicht.

- Distanz zu Einlaufschächten: Einerseits wurde im Feld die Distanz zu Einlaufschächten im landwirtschaftlich genutzten Land abgeschätzt. Andererseits wurden auch die Einlaufschächte auf Strassen in die Betrachtungen miteinbezogen. Strassen sammeln und kanalisieren abfließendes Wasser und führen es via Einlaufschächte in die Gewässer. Strassen, welche das Wasser auf einen anderen Schlag ableiten, wurden hier nicht berücksichtigt (siehe aber Faktor ‚Fremdwasserzufluss‘). Kritische Fälle, wie z.B. paralleler Verlauf der Strasse zur Fließrichtung auf dem Schlag, wurden im Feld beurteilt. Bei Schlägen mit verteilendem Abfluss wurde immer die höhere Gefahrenstufe gewählt.

Die Klassierung für die Distanz in Fließrichtung zum Gewässer und zu Einlaufschächten ist untenstehender Tabelle zu entnehmen. Die drei Meter entsprechen dem gesetzlich einzuhaltenden Abstand zu Fließgewässern.

Distanz zum Gewässer oder zu Einlaufschächten		Klassierung
> 100 m	fern	1
31 – 100 m	mittel	2
4 – 30 m	nah	3
≤ 3 m	angrenzend	4

Eigentlich ist der Faktor ‚Distanz zu Einlaufschächten‘ nicht zu denjenigen Faktoren zu zählen, welche natürliche Bedingungen beschreiben, denn Einlaufschächte sind anthropogenen Ursprungs. Da allerdings die Landwirte meistens das Vorhandensein von Einlaufschächten nicht beeinflussen können, wurde dieser Faktor zur Beurteilung der standortbedingten Gefahr verwendet. Zudem ist ein enger Bezug zum Faktor ‚Distanz zum Gewässer‘ gegeben.

e) Standortbedingte Gefahr

Zur Berechnung der standortbedingten Gefahr eines Parameters wurde der Mittelwert der Klassierungen der einzelnen Faktoren gebildet und gerundet (Ausnahme: siehe Bemerkung beim Parameter ‚Lage zum Einleiter‘). Zur Berechnung der standortbedingten Gefahr wurden die ungerundeten Werte aller Parameter gewichtet, gemittelt und gerundet. Die Gewichte der Parameter wurden auf der Basis von langjähriger Erfahrung und Expertenwissen wie folgt verteilt: Der ‚Boden‘ erhielt das Gewicht 2, die ‚Topographie‘ das Gewicht 1 und die ‚Lage zum Einleiter‘ das Gewicht 1. Damit soll die Bedeutung des Bodens betont werden: Ist der Boden aufnahmefähig und kann das Wasser gespeichert werden, spielt es eine geringe Rolle, ob der Schlag in Hanglage oder nahe an einem Einleiter liegt. Kann der Boden dagegen das Niederschlagswasser nicht aufnehmen, kann es auch bei geringer Hangneigung oberflächlich und über weite Strecken abfließen. Die Bezeichnungen der Klassen für die standortbedingte Gefahr sind: gering, mittel, hoch und sehr hoch.

2.4.2 Bewirtschaftungsbedingte Gefahr für Phosphorverluste

Für die Beurteilung der bewirtschaftungsbedingten Gefahr werden die Parameter Bodennutzung, Betrieb, pflanzenbauliche Nutzung und Massnahmen zur Reduktion der Phosphorverluste im Feld berücksichtigt. Im folgenden wird auf alle Parameter und die sie beschreibenden Faktoren sowie die Klassierungen eingegangen. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Parameter und Faktoren zur Beurteilung der bewirtschaftungsbedingten Gefahr für Phosphorverluste.

Tabelle 3: Bewirtschaftungsbedingte Gefahr für Phosphorverluste.

Parameter	Faktoren
Bodennutzung 1998	<ul style="list-style-type: none"> • Kulturen 1998 * • (Art und Höhe der Bodenbedeckung) • Verdichtungsgefährdung durch Bewirtschaftung 1998 • Drainagedichte
Betrieb 1998	<ul style="list-style-type: none"> • Phosphordeckungsgrad 1998 • (Phosphorgehalt des Bodens)
Pflanzenbaul. Nutzung 1998	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzungsintensität * • Düngerbedarf 1998
Massnahmen zur Reduktion der Phosphorverluste im Feld 1998	<ul style="list-style-type: none"> • Effektivität der Massnahmen im Feld

(..) nicht berücksichtigte Faktoren im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches

* dienen als Grundlage zur Klassierung anderer Faktoren (wurden selber aber nicht klassiert)

a) Bodennutzung 1998

Die Faktoren, welche zur Beschreibung des Parameters der Bodennutzung hinzugezogen werden können, sind die Kulturen, die Art und Höhe der Bodenbedeckung, die Verdichtungsgefährdung durch die Bewirtschaftung sowie die Drainagedichte.

- Kulturen 1998: Beim Grasland werden für jedes Jahr die verschiedenen Nutzungsarten unterschieden: Naturwiesen, Obstwiesen mit Hochstammobstbäumen, Obstanlagen mit Niederstammobstbäumen, Weiden oder Kunstwiesen; beim Ackerland die verschie-

denen Hauptkulturen: Triticale, Gerste, Weizen, Mais, Rüben, Gemüse, Erdbeeren oder Sonnenblumen. Zwischenkulturen werden im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches nicht berücksichtigt, weil sie unbedeutend sind. Die Kultur wird nicht klassiert, ist aber für andere Faktoren eine Basisgrösse.

- Art und Höhe der Bodenbedeckung: Sie haben einen Einfluss auf die Interzeption des Niederschlagswassers und auf die Bildung von Oberflächenabfluss. Je dichter die Bodenbedeckung ist, um so mehr wird zudem der Oberflächenabfluss gebremst (VON ALBERTINI 1990 und VON ALBERTINI ET AL. 1993). Da die Erhebungen zur Art und Höhe der Bodenbedeckung sehr aufwendig sind, wurde dieser Faktor im vorliegenden Projekt nicht berücksichtigt.
- Verdichtungsgefährdung durch Bewirtschaftung 1998: Zur natürlichen Verdichtungsgefährdung, die bereits in Kapitel 2.4.1 abgehandelt wurde, kommt noch die vom Menschen verursachte Bodenverdichtung hinzu. Sie ergibt sich durch die je nach Kultur und Nutzungsintensität unterschiedliche Bodenbewirtschaftung (z.B. maschinelle Bodenbearbeitung, Befahrung oder Beweidung). Die Verdichtungsgefährdung durch die Bewirtschaftung wurde auf der Grundlage von HÄFLINGER (1996) und von DENOTH (1997) wie folgt klassiert:

Nutzungsart	Verdichtungsgefahr	Klassierung
Extensive Naturwiesen	gering	1
Wenig intensive Naturwiesen, Obstwiesen, Weiden, Gemüsegarten	mittel	2
Intensive Naturwiesen, Obstanlagen, Kunstwiesen, Getreide, Gemüse	hoch	3
Mais, Futterrüben	sehr hoch	4

- Drainagedichte: Drainagen haben aus zweierlei Gründen höhere Phosphorverluste zur Folge: erstens durch Abschwemmung und zweitens durch Drainageabfluss (siehe auch ARMSTRONG UND HARRIS 1996).

Zum ersten: Drainagen erniedrigen zwar durch ihre Entwässerung die Gefahr für Oberflächenabfluss. Sie erhöhen aber die Phosphorkonzentration im oberflächlich abfliessenden Wasser, weil als Folge der Drainagen auf vielen Schlägen überhaupt erst eine intensivere landwirtschaftliche Nutzung möglich geworden ist. Wären drainierte Schläge nicht drainiert, würde zwar mehr Wasser oberflächlich abfliessen, allerdings mit einer geringeren Phosphorkonzentration.

Zum zweiten: Es ist möglich, dass insbesondere bei oberflächennahen Drainagen Schwundrisse, Spalten oder Kanäle von der Bodenoberfläche bis zu den Drainagerohren reichen und z.B. Gülle auf solchen bevorzugten Bahnen rasch und auf kürzestem Wege in die Gewässer gelangen kann. Dieses Phänomen wird in Kapitel 2.5.2 („Gülleereignisse“) diskutiert.

Drainagen erhöhen folglich die Phosphorverluste von einem Schlag auf doppelte Weise, weshalb angenommen wurde, dass mit zunehmend drainiertem Flächenanteil eines Schlages auch die Gefahr für Phosphorverluste zunimmt. Bei der Befragung der Bewirtschafter im Rahmen der Feldbegehungen konnten bei vielen Schlägen keine gesicherten Informationen über das Vorhandensein von Drainagen gewonnen werden. Deshalb wurde zusätzlich auf einen Drainageplan der AGBA (1988a und 1988b) zurückgegriffen. Dabei wurde jeweils die Angabe mit der höheren Dichte gewählt. Das heisst z.B.: Wenn dem Bewirtschafter unbekannt war, ob ein Schlag drainiert ist oder nicht, jedoch auf dem Drainageplan knapp die Hälfte des Schlages als drainierte Fläche eingetragen war, wurde der Schlag als punktuell drainiert klassiert.

Drainagen	Gefahr für Phosphorverluste	Klassierung
keine (deklariert und keine auf der Karte eingezeichnet)	gering	1
unbekannt (sind aber eventuell trotzdem vorhanden)	mittel	2
punktuell (vom Bewirtschafter so deklariert und auf der Karte ist weniger als die Hälfte des Schlages drainiert oder Drainagen sind nur auf der Karte eingezeichnet)	hoch	3
flächenhaft (vom Bewirtschafter so deklariert oder auf der Karte ist mehr als die Hälfte des Schlages drainiert)	sehr hoch	4

b) Betrieb 1998

Um den Parameter Betrieb zu charakterisieren, sollten der Phosphordeckungsgrad auf dem Betrieb und der Phosphorgehalt des Bodens berücksichtigt werden.

- Phosphordeckungsgrad 1998: Ein Phosphordeckungsgrad von mehr als 100% führt zu einer Überversorgung und Anreicherung der Böden mit Phosphor. Die Möglichkeit der Rücklösung von Phosphor, wenn Wasser über oder durch den Boden fliesst, ist dann grösser (siehe auch GÄCHTER UND MÜLLER 1999). Es besteht auch die Gefahr, dass

mehr Phosphor in die Gewässer gelangt, falls es zu Bodenerosion kommt. Hinzu kommt, dass bei hohem Phosphordeckungsgrad und hohem Gülleanfall die Wahrscheinlichkeit steigt, einen ungünstigen Düngezeitpunkt zu wählen. Für jeden Betrieb im Einzugsgebiet wurde die Nährstoffbilanz eingeholt oder selber erstellt. Darin wird der Phosphordeckungsgrad ausgewiesen. Diese Prozentzahl gilt für alle Schläge des jeweiligen Betriebes, ungeachtet allfälliger Unterschiede in der Nutzungsintensität, welche beim nächsten Parameter berücksichtigt wird. Die Klassierung des Phosphordeckungsgrades ist untenstehender Tabelle zu entnehmen.

Phosphordeckungsgrad 1998		Klassierung
≤ 90%	gering	1
91 – 100%	mittel	2
101 – 110%	hoch	3
> 110%	sehr hoch	4

- Phosphorgehalt des Bodens: Der Phosphorgehalt des Bodens ist ein Indiz für die mögliche Phosphorüberdüngung und -anreicherung im Boden während der letzten Jahrzehnte (EGLI 1998). Da im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches flächendeckende Bodenproben erst im Jahr 2000 erhoben werden, wird dieser Faktor im Jahr 1998 noch nicht berücksichtigt.

c) Pflanzenbauliche Nutzung 1998

Der Parameter ‚pflanzenbauliche Nutzung‘ stützt sich auf die Kulturen, die Nutzungsintensität, die Anzahl Schnitte und Weidegänge sowie den Düngerbedarf ab. Auf die Kulturen wurde beim Parameter ‚Bodennutzung‘ eingegangen; die anderen Faktoren werden unten erläutert. Wegen der Verknüpfung der vier Faktoren wird nur der ‚Düngerbedarf‘ klassiert.

- Nutzungsintensität (Anzahl Schnitte und Weidegänge): Die Beurteilung der Nutzungsintensität folgte den Angaben aus dem Fragebogen, welcher anlässlich der Feldbegehung aller Schläge mit dem jeweiligen Bewirtschafter ausgefüllt wurde. Weil die Nutzungsintensität durch die Bewirtschafter teils unterschiedlich taxiert wurde, diente bei den Wiesen und Weiden die Anzahl Schnitte und Weidegänge, d.h. die Nutzungshäufigkeit, als Kontrolle der Beurteilung der Nutzungsintensität.
- Düngerbedarf 1998: Je intensiver die Nutzung ist, desto grösser der Düngerbedarf. Je grösser der Düngerbedarf ist, desto grösser ist auch die auf dem jeweiligen Schlag ausgebrachte Düngermenge in einem Jahr. Umso grösser ist dann wiederum die Gefahr für Phosphorverluste.

Als Leitfaden für die Definition der Intensitätsstufen und des Düngerbedarfs für Grasland und Ackerland dienen die Angaben in FAP, RAC UND FAC (1994) sowie BLW UND BUWAL (1994). Der Faktor des Düngerbedarfs berücksichtigt in erster Linie den *mengenmässigen* Bedarf; die Häufigkeit der Düngerausbringung wird bei der Beurteilung der austragungs- und ereignisbedingten Gefahr berücksichtigt. Auf den Spezialfall, dass ein Schlag nicht gedüngt wird, wird in Kapitel 2.4.4 eingegangen.

Nutzungsintensität	Düngerbedarf pro Jahr		Klassierung
extensiv	0 kg P ₂ O ₅ / ha	null	0
wenig intensiv	30 – 40 kg P ₂ O ₅ / ha	gering	2
mittel intensiv	50 – 70 kg P ₂ O ₅ / ha	mittel	3
intensiv	80 – 110 kg P ₂ O ₅ / ha	hoch	4

d) Massnahmen zur Reduktion der Phosphorverluste im Feld 1998

- Effektivität der Massnahmen im Feld: Es ist möglich, mit verschiedenen Massnahmen im Feld die Gefahr für Phosphorverluste zu senken. Solche Massnahmen, die in Zusammenhang mit Artikel 70 und 76 des Landwirtschaftsgesetzes angelegt wurden oder bereits vorher bestanden, sind z.B. Filterstreifen entlang von Gewässern, Hecken oder eine angrenzende extensive Fläche, die als Filterzone dient. Die Wirksamkeit einer einzelnen Massnahme bezieht sich einerseits auf den Schlag selber, auf dem die Massnahme getroffen wurde; andererseits kann sie sich auch auf den darunter- und darüberliegenden Schlag auswirken. Weil die Massnahmen den Phosphorverlusten entgegen wirken, wurden für die Klassierung dieses Faktors negative Werte gewählt. Auf die Massnahme der Extensivierung eines Schlages wird in Kapitel 2.4.4 eingegangen. Die Massnahmen wurden bei der Befragung der Landwirte aufgenommen und durch Kartierungen im Feld ergänzt (nach LBL UND SRVA 1999). Es ist keine Kumulierung von Massnahmen möglich. Sind auf einem Schlag mehrere Massnahmen ergriffen worden, wurde die höchste Klassierung gewählt.

Art der Massnahme im Feld	Effektivität der Massnahme im Feld	Klassierung
<u>Filterzone unterhalb Schlag:</u> z.B. Hecke mit Krautsäumen, extensive Fläche. Breite > 5 m	gross	-3
<u>Filterstreifen unterhalb Schlag:</u> z.B. Gewässerrandstreifen, Hecken ohne Krautsäume. Breite 3-5 m <u>Konservierende Bodenbearbeitung:</u> im Ackerbau	mittel	-2
<u>wenig wirksame Filter:</u> z.B. Pflugfurche, zu schmaler Filterstreifen. Breite < 3 m	gering	-1
<u>unwirksame Filter:</u>	keine	0

e) Bewirtschaftungsbedingte Gefahr 1998

Um die bewirtschaftungsbedingte Gefahr jedes einzelnen Parameters zu bestimmen, wurden die Klassierungen der Faktoren (ohne zu gewichten) gemittelt und gerundet. Zur Berechnung der bewirtschaftungsbedingten Gefahr wurden die ungerundeten Werte der Parameter ‚Bodennutzung‘, ‚Betrieb‘ und ‚pflanzenbauliche Nutzung‘ gewichtet, um den Wert des Parameters ‚Massnahmen zur Reduktion der Phosphorverluste im Feld‘ korrigiert und dann gemittelt sowie gerundet. Die Gewichte wurden folgendermassen festgelegt: Der Parameter ‚Bodennutzung‘ erhielt das Gewicht 2, der Parameter ‚Betrieb‘ das Gewicht 1, der Parameter ‚pflanzenbauliche Nutzung‘ das Gewicht 2 und der Parameter ‚Massnahmen im Feld‘ das Gewicht 1. Die Bodennutzung wurde höher gewichtet, um der Drainagenproblematik mehr Bedeutung zu verleihen. Die pflanzenbauliche Nutzung erhielt ein höheres Gewicht, weil erst durch den Austrag von Düngern die Gefahr entsteht, dass Phosphor in grösseren Mengen abgeschwemmt oder durch Drainagerohre verloren gehen kann. Die Bezeichnungen der Klassen für die bewirtschaftungsbedingte Gefahr sind die folgenden: keine oder gering, mittel, hoch und sehr hoch.

2.4.3 Austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für Phosphorverluste

Zur Beurteilung der austragungs- und ereignisbedingten Gefahr für 1998 wurden folgende Parameter einbezogen: Niederschlagsereignisse, Bodenzustand, Düngungszeitpunkte (Tab. 4) und als Kontrolle die Spitzenereignisse im Bach (Kap. 2.5). Die Abschätzung der austragungs- und ereignisbedingten Gefahr für Phosphorverluste nach einem Düngeraustrag zieht einerseits Faktoren in die Betrachtungen mit ein, welche nicht direkt im Einflussbereich der Landwirte liegen (z.B. die Niederschlagsmenge). Andererseits kann der Landwirt mit der Wahl des Zeitpunktes des Düngeraustrages direkten Einfluss auf die Höhe der Phosphorverluste nehmen.

Tabelle 4: Austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für Phosphorverluste.

Parameter	Faktoren
Niederschlagsereignisse 1998	<ul style="list-style-type: none"> • Datum * • Niederschlagsmenge • (Maximale Intensität) • (Art des Ereignisses)
Bodenzustand 1998	<ul style="list-style-type: none"> • (Schneebedeckung) • (Bodenfrost) • Bodenfeuchte
Düngungszeitpunkte 1998	<ul style="list-style-type: none"> • Datum * • Zeitpunkt und Zeitdauer * • Abstand zu Niederschlagsereignis

(..) nicht berücksichtigte Faktoren im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches

* dienen als Grundlage zur Klassierung anderer Faktoren (wurden selber aber nicht klassiert)

a) Niederschlagsereignisse 1998

- Datum und Niederschlagsmenge: Als Grundlage für die Niederschlagswerte dienten die täglichen Messungen der Station der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) in Sempach, die stündlichen Messungen des Amtes für Umweltschutz (AfU) und die täglichen und ereignisbezogenen Messungen von vier Landwirten im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches. Zur Festlegung des Zeitpunktes eines Niederschlagsereignisses wurde auf die Station der SMA abgestützt, da die Messstation bei der ARA Sempach von

Mai bis Dezember 1998 ausser Betrieb war. Die Niederschlagsmengen jedes Tages, welche für die Klassierung dienten, wurden aus dem Durchschnitt aller erwähnten Messungen bestimmt. Niederschlagsereignisse mit einer Niederschlagsmenge von weniger als fünf Millimetern werden als unbedeutend angenommen, da die Interzeption eines Grasbestandes bereits in dieser Grössenordnung liegen kann. Eine Klassierung der Niederschlagsereignisse erfolgt nach untenstehender Tabelle.

Niederschlagswert jedes Tages	Niederschlagsereignis	Klassierung
< 5 mm	keines oder unbedeutend	0
5 – 9.9 mm	gering	2
10 – 14.9 mm	mittel	3
≥ 15 mm	bedeutend	4

- Maximale Intensität und Art des Ereignisses: Die maximale Intensität des Niederschlagsereignisses und die Art des Ereignisses (z.B. ob ein langanhaltender Regen oder ein Schneefall mit anschliessender Schmelze) werden als Faktoren im Projekt Lippenrütibach für das Jahr 1998 nicht einbezogen, weil die notwendigen Daten fehlen.

b) Bodenzustand 1998

Schneebedeckte, gefrorene, wassergesättigte oder ausgetrocknete Böden sind für das Zustandekommen eines Abschwemmereignisses besonders kritisch (BLW und BUWAL 1996). Der Bodenzustand wurde von vier Landwirten mittels Messprotokoll für die Monate November bis März festgehalten.

- Schneebedeckung und Bodenfrost: Da die Landwirte im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches über genügend Güllelagervolumen verfügen, sind Austräge im Winter über schneebedeckten und gefrorenen Boden nicht notwendig, weshalb diese Faktoren nicht berücksichtigt wurden. In anderen Gebieten müssten sie aber einbezogen werden.

Bodenfeuchte: Die Bodenfeuchte respektive die Abtrocknung des Bodens nach Niederschlägen wurde für jeden Tag unter Berücksichtigung der Jahreszeit und der Zeitdauer seit dem letzten Niederschlagsereignis (mit einer Niederschlagsmenge von mindestens zehn Millimetern am Vortag oder mehr als zwanzig Millimetern an drei vorangegangenen Tagen) klassiert. Der bedeutendste Einflussfaktor für den Abtrocknungsverlauf eines Bodens ist der Niederschlag (LUDER 1996). Für Lehmböden, die praktisch ausnahmslos auf allen Schlägen im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches anzutreffen sind, wurde die Klassierung nach untenstehender Tabelle gewählt. Die Klassierung im Sommer für einen ausgetrockneten Boden ist deshalb hoch, weil der Benetzungswiderstand zu erheblichem Oberflächenabfluss führen kann.

<u>Sommer (Mai bis Oktober):</u>		
Tage nach dem Niederschlag	Bodenfeuchte	Klassierung
> 20. Tag	ausgetrocknet	3
11. – 20. Tag	abgetrocknet	1
4. – 10. Tag	feucht	2
≤ 3. Tage	wassergesättigt, sehr nass	4

<u>Winter (November bis April):</u>		
Tage nach dem Niederschlag	Bodenfeuchte	Klassierung
> 20. Tag	abgetrocknet	1
11. – 20. Tag	feucht	2
4. – 10. Tag	nass	3
≤ 3. Tage	wassergesättigt, sehr nass	4

Da ein Landwirt an einem Regentag mit grosser Wahrscheinlichkeit Gülle vor und nicht nach dem Regen austrägt, d.h. auf den Boden mit der Bodenfeuchte des Vortages, wurde zur Abschätzung der austragungs- und ereignisbedingten Gefahr immer auf den Klassierungswert der Bodenfeuchte des Vortages abgestützt. Das heisst auch, dass z.B. ein Niederschlagsereignis vom 15.6.98 zur Bodenfeuchte vom 16.6.98 führte.

c) Düngungszeitpunkte 1998

- Datum und Abstand zum Niederschlagsereignis: Die Zeitspanne zwischen dem Düngeraustrag und dem ersten Abflussereignis ist wichtig (SHARPLEY ET AL. 1993). Kritisch sind die ersten zwei Tage nach dem Austrag, während denen erhebliche Phosphormengen abgeschwemmt werden können, wie ein Feldversuch im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches (BRAUN ET AL. 1993) zeigte. Als massgebend wird ein Niederschlagsereignis mit einer Niederschlagsmenge von mehr als fünf Millimetern angesehen. Auf Grund der folgenden Tabelle erhielt jeder Schlag für jeden Tag einen Klassierungswert, in Abhängigkeit vom zeitlichen Abstand zum letzten Düngeraustrag, zugewiesen. Gülle- und Mistaustrag wurden gleich behandelt. Mehrfach beweidete Flächen erhielten während der Beweidungsdauer die Klassierung 1. Herbstweiden wurden vernachlässigt. Dünger, welche keinen Phosphor enthalten (z.B. Ammonsalpeter), wurden nicht in die Betrachtungen einbezogen. Auf den Spezialfall, dass auf einem Schlag an keinem Tag des Jahres Dünger ausgebracht wurde, wird in Kapitel 2.4.4 eingegangen.

Dauer nach dem Düngeraustrag ¹⁾	Gefahr für Phosphorverluste	Klassierung
> 20 Tage	null	0
11 - 20 Tage sowie Beweidung	gering	1
3 – 10 Tage	mittel	2
≤ 2 Tage	sehr hoch	4

¹⁾ bis zu einem Niederschlagsereignis mit > 5 mm Niederschlagsmenge

d) Austragungs- und ereignisbedingte Gefahr 1998

Zur Berechnung der austragungs- und ereignisbedingten Gefahr für jeden Tag wurden die Werte der einzelnen Parameter gewichtet und danach das gewichtete Mittel berechnet und gerundet. Die Gewichte wurden wie folgt verteilt: Der Parameter Niederschlagsereignisse erhielt das Gewicht 1, der Parameter Bodenzustand das Gewicht 1 und der Parameter Düngungszeitpunkt das Gewicht 2. Damit soll die Bedeutung des Düngeraustrages betont werden. Ist die Klassierung der Parameter ‚Niederschlagsereignisse‘ und ‚Bodenzustand‘ hoch (z.B., wenn ein Starkregen auf ausgetrocknetem Boden zu einem Hochwasser führt), sollte die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für diesen Tag nur hoch sein, wenn die Klassierung des Parameters ‚Düngungszeitpunkt‘ hoch ist, d.h. kurz zuvor Dünger ausgebracht wurde. Wurde aber zuvor längere Zeit nicht gedüngt und ist die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr des Parameters ‚Düngungszeitpunkt‘ tief oder null, sollte auch die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für diesen Tag tief oder null sein. Dann kann es zwar zu Oberflächenabfluss, nicht aber zu bedeutenden Phosphorverlusten kommen.

Die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr pro Schlag für das ganze Jahr wurde, ausgehend von der austragungs- und ereignisbedingten Gefahr aller Tage, nach der folgenden Tabelle festgelegt: Ist die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr aller Tage auf einem Schlag null, ist auch die Gefahr für das ganze Jahr null (siehe auch Kapitel 2.4.4: Spezialfälle). Ist die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr eines einzelnen Tages sehr hoch (Wert 4), kann die an diesem Tag abgeschwemmte Fracht über die Hälfte der abgeschwemmten Jahresfracht auf diesem Schlag ausmachen (BRAUN ET AL. 1993). Ein ungünstiger Düngeraustrag kann so die Bemühungen eines ganzen Jahres zunichte machen. Tritt ein solcher Fall mehr als einmal pro Jahr auf, ist die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für das ganze Jahr sehr hoch (Wert 4). Hat ein Schlag für die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr eines einzelnen Tages fünfmal den Wert 3 oder einmal den Wert 4 erhalten, ist die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für das ganze Jahr hoch. Alle restlichen Fälle werden bezüglich austragungs- und ereignisbedingter Gefahr für das ganze Jahr als gering eingestuft.

Austragungs- und ereignisbedingte Gefahr einzelner Tage	Austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für das ganze Jahr	Klassierung
alle Werte aller Tage des Jahres sind null	keine	0
restliche Fälle (z.B. auch beweidete Flächen ohne Gülleausträge)	gering	1
fünfmal Wert 3 oder einmal Wert 4 im Jahr vorhanden	hoch	3
mehr als einmal Wert 4 im Jahr vorhanden	sehr hoch	4

2.4.4 Gesamt-Gefahr für Phosphorverluste

Die Gesamt-Gefahr für Phosphorverluste kann für jeden Schlag und für jeden Tag beurteilt werden, ausgehend von der austragungs- und ereignisbedingten Gefahr für jeden Tag. Die Gesamt-Gefahr für Phosphorverluste kann aber auch für jeden Schlag und für das ganze Jahr abgeschätzt werden, ausgehend von der austragungs- und ereignisbedingten Gefahr für das ganze Jahr. Die Gewichtung der einzelnen Parameter zur Beurteilung der standortbedingten, bewirtschaftungsbedingten und austragungs- und ereignisbedingten Gefahr wurden in den vorangegangenen Kapiteln besprochen. Um die Gesamt-Gefahr für Phosphorverluste abzuschätzen, wird ebenfalls gewichtet, gemittelt und auf den nächsten ganzen Wert aufgerundet. Die Gewichte werden wie folgt festgelegt: Die standortbedingte Gefahr hat das Gewicht 1, die bewirtschaftungsbedingte Gefahr das Gewicht 1 und die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr das Gewicht 2.

Damit soll ausgedrückt werden, wie wichtig die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr ist: Wenn z.B. die bewirtschaftungsbedingte Gefahr hoch ist, die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für einen Tag aber gering (z.B. weil das Niederschlagsereignis gering ist und der Düngeraustrag lange zurück liegt), sollte die Gesamt-Gefahr für Phosphorverluste für diesen Tag gering sein. Ist die bewirtschaftungsbedingte Gefahr gering, die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für einen Tag aber hoch (z.B. wegen Starkniederschlägen kurz nach einem Gülleaustrag), sollte die Gesamt-Gefahr für Phosphorverluste für diesen Tag hoch sein. Eine hohe bewirtschaftungsbedingte Gefahr bedeutet nicht, dass es zu einer Abschwemmung von Phosphor kommen muss. Eine hohe austragungs- und ereignisbedingte Gefahr steht aber immer in Zusammenhang mit einem Niederschlags- und Spitzenereignis im Bach. Auf die Gülleereignisse wird im Kapitel 2.5 gesondert eingegangen.

Zu erwähnen sind noch drei **Spezialfälle**:

- Auf Schlägen mit extensiver Nutzung oder ohne Düngeraustrag und ohne Beweidung (ausser Herbstweide) werden die bewirtschaftungsbedingte Gefahr, die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für jeden Tag und für das ganze Jahr sowie die Gesamt-Gefahr für Phosphorverluste in die geringsten Klassen eingeteilt.
- An Tagen ohne Niederschläge wird die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für diese Tage als null angenommen (unter besonderer Beachtung der Möglichkeit eines Gülleereignisses Kapitel 2.5).
- An allen Tagen, welche nach dem zwanzigsten Tag nach dem letzten Düngeraustrag folgen, wird die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr als null angenommen.

2.4.5 Vorgehen bei der Erhebung der Daten für das Modell

Während die vorangegangenen Kapitel sich der Frage des Inhaltes der Untersuchungen widmeten, steht im Zentrum dieses Kapitels die Frage der Art und Weise, wie die Untersuchungen und die Datenerhebung durchgeführt wurden.

- Sammlung bestehender Unterlagen: In Zusammenarbeit mit den kantonalen Fach- und Beratungsstellen sowie privaten Ingenieurbüros wurden bereits vorhandene Informationen zusammengetragen. Dazu gehörten vor allem Pläne über das Einzugsgebiet, Auszüge zu den Besitzstandsverhältnissen und Pazellenaufteilungen gemäss Grundbuch, Zusammenstellungen über die Landwirtschaftsbetriebe sowie diverse Literatur über das Einzugsgebiet des Lippenrütibaches.
- Betriebsbesuche: Beim Besuch jedes Landwirtschaftsbetriebes wurden die betriebsspezifischen Informationen ergänzt. Im Zentrum standen die Ausrichtung der Betriebe, die Phosphorbilanzierung anhand der Nährstoffbilanz sowie die Schlageinteilung. Durch die Betriebsbesuche konnten vor allem Daten zu den Themen der bedarfsgerechten Düngung und ausgeglichenen Phosphorbilanz (siehe Kapitel 1.4) gesammelt werden. Mit Hilfe der gewässertechnischen Abklärung (GTA) wurde das Verhältnis zwischen der anfallenden Hofdüngermenge und dem benötigten Lagerraum ermittelt.
- Feldbegehungen: Mit jedem Landwirt wurden seine Schläge im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches einzeln besucht und besprochen sowie die Eigenschaften für die Beurteilung der standortbedingten und bewirtschaftungsbedingten Gefahr aufgenommen. Der im Feld für jeden Schlag ausgefüllte Fragebogen beinhaltete Fragen zum Standort (Beurteilung der Bodeneigenschaften und des Wasserhaushaltes durch den Landwirt, Aussagen über die Drainagen etc.) und zur Nutzung (Intensität, Düngung etc.). Es handelt

sich um Fragen zum standortgerechten Futterbau und zur standortgerechten Düngung. Weitere Feldbegehungen durch das Projektteam dienten der Vervollständigung und der Kontrolle der über jeden Schlag gesammelten Daten.

- Fragebogen und Messprotokolle: Mit der Post erhielten die Landwirtschaftsbetriebe quartalsweise einen Fragebogen zur Düngung („Düngeblatt“). Darauf notierten sie die ausgebrachte Düngermenge, die Düngerart sowie Datum und Tageszeit des Austrages für alle Schläge. Vier Landwirte erhielten zusätzlich ein Messprotokoll, auf dem sie täglich die Niederschlagsmenge und im Winter die Boden- und Witterungsbedingungen (Schnee, Bodenfrost, Bodenfeuchte etc.) festhielten. Die Fragebogen deckten vor allem Fragen in Zusammenhang mit der zeitgerechten Düngung ab.
- Informationsveranstaltungen: Jährlich wurde mindestens eine Orientierungsveranstaltung einerseits mit den beteiligten Fachstellen und andererseits mit den Landwirten durchgeführt, um über den Stand der Arbeiten zu informieren und die geplanten Arbeiten des kommenden Jahres zu erläutern.

2.5 Kausalzusammenhänge

Eine wichtige Aufgabe des Modells ist es, die Entwicklung der Phosphorbelastung der Gewässer und die ökologische Entwicklung der Landwirtschaft miteinander in Beziehung zu setzen (Abb. 2). Mit Hilfe der erhobenen Daten über jeden landwirtschaftlich genutzten Schlag und mit Hilfe des Modelles ist es möglich, einerseits Fracht- und Konzentrationsspitzen im Bach einzelnen Schlägen innerhalb der landwirtschaftlichen Nutzfläche zuzuordnen und andererseits die Jahresfracht von Phosphor im Lippenrütibach auf die verschiedenen Flächen (Wald, landwirtschaftliche Nutzflächen und Siedlungsflächen) und insbesondere auf die verschiedenen Schläge innerhalb der landwirtschaftlichen Nutzfläche zu verteilen. Dank dieser zeitlichen und räumlichen Auflösung können problematische Schläge und Handlungen erkannt werden.

2.5.1 Bezug der Frachtspitzen zu einzelnen Schlägen

Treten eine Konzentrations- und eine Abflussspitze gemeinsam auf (= Hochwasserereignis), kann ein Bezug zu den Schlägen, welche massgeblich zu dieser Frachtspitze beitragen, herbeigeführt werden: Die Phosphatfracht und der Abfluss im Lippenrütibach werden für jeden Tag nach den unten stehenden Tabellen klassiert. Dann wird überprüft, bei welchen Schlägen an den Tagen mit sehr hoher oder hoher Phosphatfracht (bei gleichzeitig erhöhtem Abfluss) die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr sehr hoch oder hoch sind. Die

Wahrscheinlichkeit ist gross, dass vor allem diese Schläge einen bedeutenden Anteil zur Frachtspitze beitragen; dies umso mehr, wenn auf diesen Schlägen neben der austragungs- und ereignisbedingten Gefahr auch noch die standortbedingte und die bewirtschaftungsbedingte Gefahr (und damit die Gesamt-Gefahr) hoch sind. Schläge, auf denen an Tagen mit Fracht- und Abflussspitzen die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr gering ist, tragen auch keinen entscheidenden Anteil zur Frachtspitze bei.

Phosphatfracht im Lippenrütibach		Klassierung
< 0.25 kgP / Tag	gering	1
0.25 – 0.49 kgP / Tag	mittel	2
0.5 – 0.99 kgP / Tag	hoch	3
≥ 1 kgP / Tag	sehr hoch	4

Abfluss im Bach		Klassierung
< 3000 m ³ / Tag	gering	1
3000 - 4999 m ³ / Tag	mittel	2
5000 - 9999 m ³ / Tag	hoch	3
≥ 10'000 m ³ / Tag	sehr hoch	4

2.5.2 Bezug der Konzentrationsspitzen zu einzelnen Schlägen

(,Gülleereignisse')

Nicht erfasst durch die Beurteilung der austragungs- und ereignisbedingten Gefahr für jeden Tag werden die ,Gülleereignisse', d.h. das Abfliessen von Gülle in ein Gewässer, ohne dass ein Niederschlagsereignis und eine Abflussspitze auftritt. In einem solchen Fall ist die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr null (siehe Spezialfälle in Kapitel 2.4.4) und trotzdem können erhebliche Mengen Phosphor in die Gewässer gelangen. Das Abfliessen von Gülle kann auf dem Hof oder auf dem Feld geschehen sein. Handelt es sich um ein drainiertes Feld oder ein Feld nahe beim Einleiter, kann die Gülle via bevorzugte Bahnen in die oberflächennahen Drainagerohre oder durch oberflächliches Abfliessen über eine kurze Distanz ins Gewässer gelangen.

Im Falle eines ,Gülleereignisses' ist die Frachterhöhung nur auf eine Konzentrationsspitze, welche dank den On-Line-Messungen erkennbar ist, zurückzuführen. Solche Ereignisse werden im Falle des Lippenrütibaches wie folgt definiert:

- Tage ohne Niederschlagsereignisse
- stündliche Veränderung des Abflusses von weniger als 0.02 m³/s (natürliche und messtechnische Schwankungen)
- absoluter Wert für den Abfluss von maximal 0.05 m³/s (entspricht etwa einem mittleren Abfluss)
- Konzentrationsspitze, d.h. hohe oder sehr hohe Phosphatkonzentration im Bach (> 100 mgP/m³)
- Konzentrationsanstieg innerhalb einer Stunde von mehr als 40 mg/m³

Bei der Auswahl wird versucht, nur eindeutige Gülleereignisse einzubeziehen, was zusätzlich eine individuelle Betrachtung der einzelnen, nach obigen Merkmalen ausgewählten Ereignisse erforderlich macht. Hierbei werden unter anderem auch die gemessenen Ammonium- und Nitratkonzentrationen miteinbezogen. Die so ermittelten Tage werden anschliessend mit jenen Schlägen in Verbindung gebracht, auf denen bis zu zwölf Stunden zuvor oder während der Konzentrationserhöhung Gülle ausgebracht wurde.

Die Klassierungen werden in Abhängigkeit der Drainagedichte nach untenstehender Tabelle gewählt, weil das Zustandekommen von Gülleereignissen in engem Zusammenhang mit den oberflächennahen Drainagen zu sehen ist. Als ‚undrainiert‘ wird ein Schlag in diesem Zusammenhang bezeichnet, wenn dessen Drainagedichte in den unteren beiden Klassierungen (siehe Kap. 2.4.2 Abschnitt a) eingestuft ist, als ‚drainiert‘, wenn sie in den oberen beiden Klassierungen liegt.

Bezug von Düngerausträgen zu Konzentrationsspitzen im Bach		Klassierung
kein Bezug	gering	1
einmaliger Bezug	mittel	2
mehrmaliger Bezug, undrainiert	hoch	3
mehrmaliger Bezug, drainiert	sehr hoch	4

2.5.3 Bezug der Jahresfracht zu einzelnen Schlägen

Die Jahresfracht von Phosphor im Lippenrütibach kann auf alle Schläge verteilt werden. Der Verteilschlüssel ist in erster Linie die Gesamt-Gefahr für Phosphorverluste für das ganze Jahr sowie die Zuweisung vermuteter Gülleereignisse zu einzelnen Schlägen. Das Vorgehen ist im Detail das Folgende:

- Ausgehend von den Ergebnissen im Feldversuch anfangs der neunziger Jahre auf zwei Standorten im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches (BRAUN ET AL. 1993) werden flächenspezifische Verlustkoeffizienten in Abhängigkeit der Gesamt-Gefahr für Phosphorverluste für das ganze Jahr 1998 nach unten stehender Tabelle gewählt. Die wenigen Ackerflächen mit Bodenerosion werden für diese Abschätzung wie die Graslandflächen mit Abschwemmung behandelt.
- Schläge, auf denen ein einmaliges Gülleereignis vermutet wird, erhalten keinen Zuschlag, undrainierte Schläge, auf denen mehrmalige Gülleereignisse wahrscheinlich sind, einen Zuschlag von jährlich 0.25 kgP/ha und drainierte Schläge, auf denen mehrmalige Gülleereignisse wahrscheinlich sind, einen Zuschlag von jährlich 0.5 kgP/ha (in Anlehnung an HURNI ET AL. 1992).
- Für die Auswaschung wird für alle Schläge mit jährlich 0.1 kgP/ha gerechnet. Der gleiche Wert von jährlich 0.1 kgP/ha wird für die natürliche Erosion auf allen Schlägen angenommen (nach PRASUHN UND BRAUN 1994). Die Summe der Werte der Auswaschung und der natürlichen Erosion wird als Schätzwert für die natürliche Hintergrundlast angenommen.
- Für Waldflächen werden die Phosphorverluste mit einem Wert von jährlich 0.1 kgP/ha und für Siedlungs-, Verkehrs- und Gewässerflächen mit jährlich 0.9 kgP/ha (in Anlehnung an den Phosphorgehalt im Niederschlagswasser) in Rechnung gestellt.

Die so abgeschätzte Phosphorbelastung des Lippenrütibaches wird mit der gemessenen Jahresfracht verglichen. Auf diese Weise ist es möglich, abzuschätzen, welche Schläge welche Phosphorverluste (als Summe der Verluste durch Abschwemmung, Bodenerosion, Drainagenabfluss, Gülleereignisse sowie natürliche Hintergrundlast) aufweisen.

Gesamt-Gefahr für das ganze Jahr 1998	Flächenspezifischer Verlustkoeffizient *	Erklärung
gering	0.2 kg P / ha*J	Extensive Nutzung ohne Düngung
mittel	0.6 kg P / ha*J	Mittelwert für intensive Nutzung ohne grösseres Abschwemmereignis
hoch	1.5 kg P / ha*J	Mittelwert für intensive Nutzung mit einem grossen Abschwemmereignis
sehr hoch	3.0 kg P / ha*J	Mittelwert für intensive Nutzung mit mehreren grossen Abschwemmereignissen

* durch Abschwemmung und Drainageverluste

Wichtig sind nicht nur die abgeschätzten Phosphorverluste eines jeden Schlages, sondern auch die Relation der Schläge untereinander. Auf diese Weise können jene Schläge erkannt werden, welche über das Jahr gesehen am meisten zur Belastung des Lippenrütibaches beitragen. Dieser Bezug der Jahresfracht zu den einzelnen Schlägen ist die Voraussetzung, um mit dem Modell die Wirkung der Öko-Massnahmen abschätzen zu können.

2.6 Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen

Eine wichtige Aufgabe des Modells ist es, eine Möglichkeit zur Abgrenzung der verschiedenen Einflüsse auf die Phosphorbelastung des Lippenrütibaches zu zeigen, um erklären zu können, weshalb sich die Belastung ändert. Einerseits ist der Einfluss der Natur (Witterung und standortbedingte Gefahr) zu berücksichtigen, andererseits der Einfluss der Landwirte (bewirtschaftungsbedingte Gefahr sowie austragungs- und ereignisbedingte Gefahr: Abb. 5).

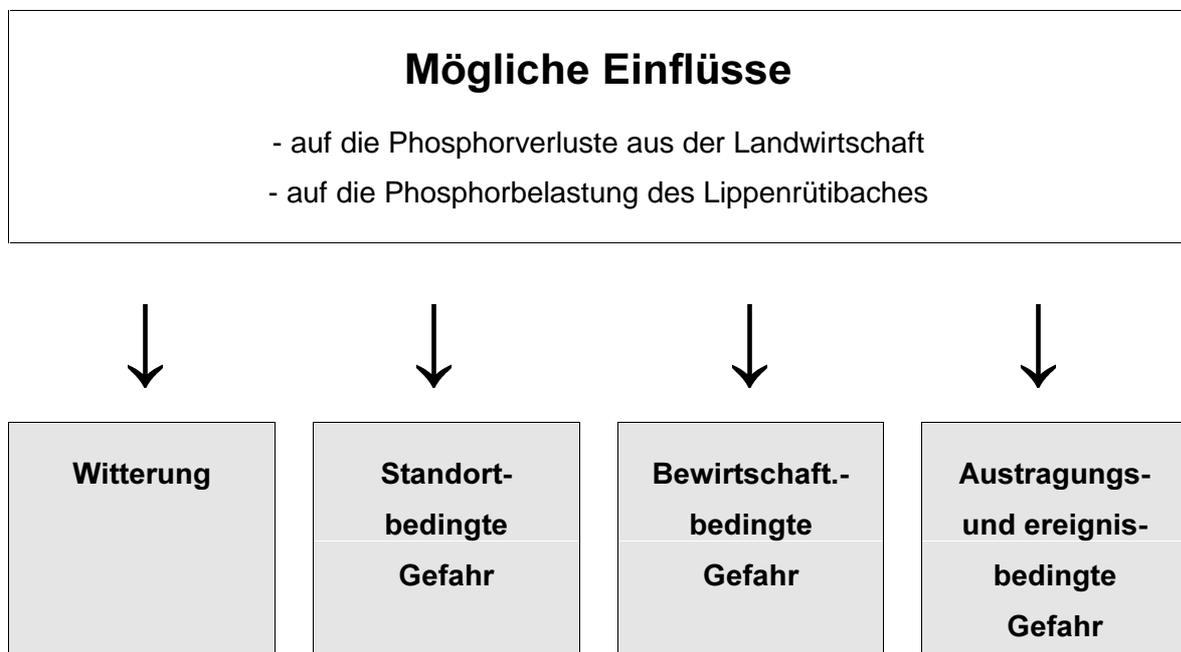


Abbildung 5: Einflüsse auf die Phosphorbelastung des Lippenrütibaches.

Ziel der Öko-Massnahmen ist die Abnahme der Phosphorbelastung des Lippenrütibaches. Die Voraussetzung für die Erreichung dieses Zieles ist, dass die Höhe der Phosphorverluste pro Schlag abnimmt. Dies gilt vor allem für jene Schläge, welche den grössten Anteil zur Belastung des Baches beitragen.

Die Öko-Massnahmen wirken auf folgende Parameter und Faktoren ein: Bodennutzung (Kulturen, Verdichtungsgefährdung durch Bewirtschaftung, Drainagedichte), Betrieb (Phosphordeckungsgrad), pflanzenbauliche Nutzung (Nutzungsintensität, Düngerbedarf), Massnahmen zur Reduktion der Phosphorverluste im Feld (Effektivität) und Düngungszeitpunkte. Es handelt sich hierbei um Parameter und Faktoren, welche zur Beurteilung der bewirtschaftungsbedingten sowie der austragungs- und ereignisbedingten Gefahr für Phosphorverluste einbezogen wurden. Wenn sich die Öko-Massnahmen tatsächlich auf diese Parameter und Faktoren in einem günstigen Sinne auswirken sollen, dann müssen die bewirtschaftungsbedingte und die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für Phosphorverluste abnehmen. Dann muss aber auch die Höhe der Phosphorverluste pro Schlag zurückgehen. Die standortbedingte Gefahr für Phosphorverluste hingegen kann durch die Öko-Massnahmen nicht verringert werden, da die Parameter und Faktoren der standortbedingten Gefahr nicht beeinflussbar sind. Obige Aussagen haben in Zusammenhang mit der Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen folgende Bedeutung:

- Geht die Belastung im Lippenrütibach zurück, kann der Rückgang aufgrund der Witterung und/oder wegen den Massnahmen zustande kommen (Abb. 6). Der erste Fall ist offensichtlich, wenn die Niederschlags- und Abflusswerte sowie die Zahl von Extremereignissen (Hochwasser) unterdurchschnittlich sind. Der zweite Fall kann nur eintreten, wenn die bewirtschaftungsbedingte Gefahr und die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für Phosphorverluste und damit die Höhe der Phosphorverluste auf den Schlägen zurückgehen.
- Geht die Belastung im Lippenrütibach nicht zurück, kann dies ebenfalls durch die Witterung und/oder durch die Massnahmen bedingt sein. Der erste Fall ist wiederum anhand überdurchschnittlicher Niederschlags- und Abflusswerte sowie anhand des Auftretens von Extremereignissen ersichtlich. Der zweite Fall tritt dann ein, wenn die bewirtschaftungsbedingte Gefahr und die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für Phosphorverluste auch nach dem Ergreifen der Öko-Massnahmen hoch bleiben.

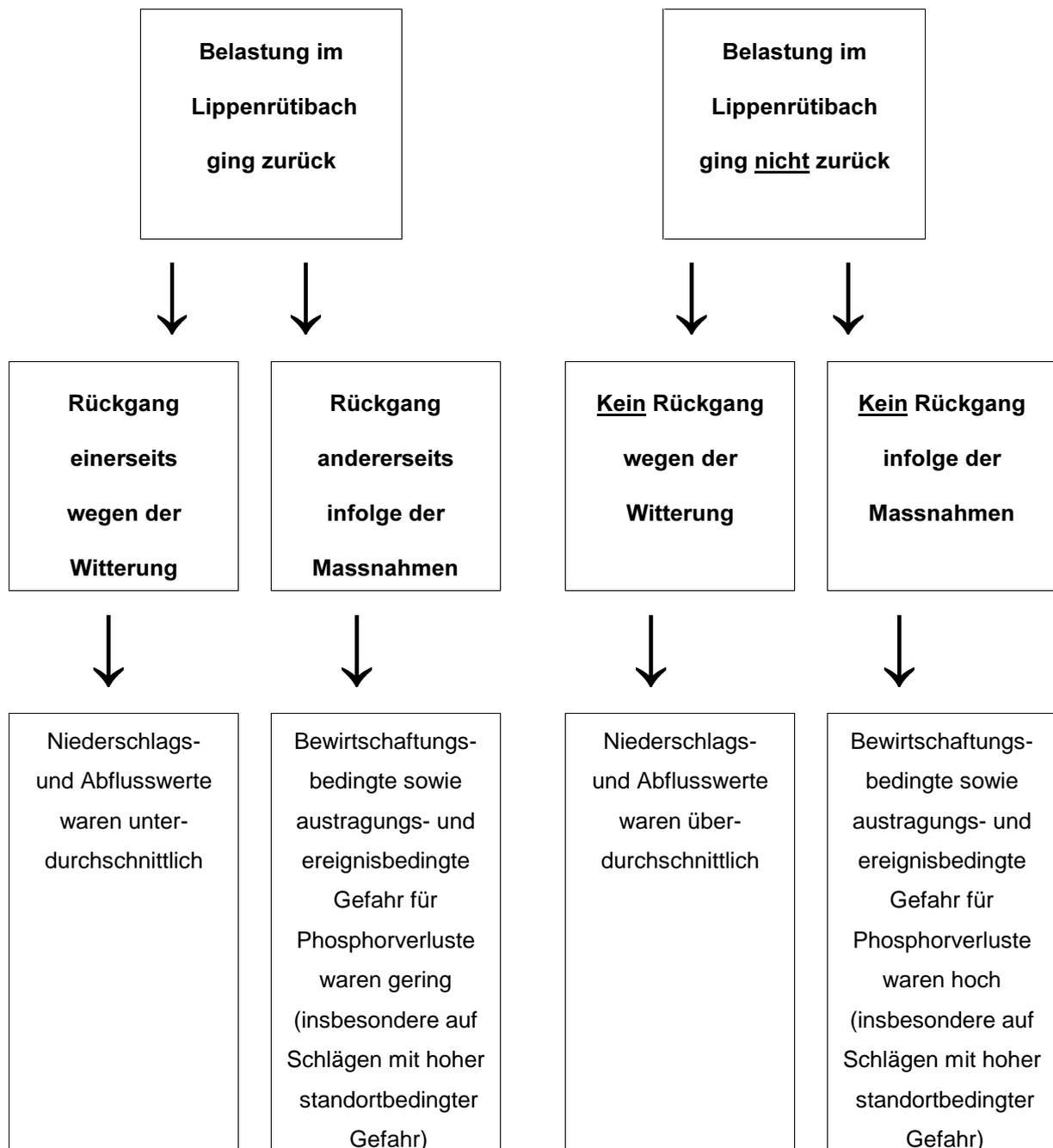


Abbildung 6: Mögliche Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen. Die Wirkungskontrolle soll aufzeigen, zu welchen Teilen ein möglicher Rückgang der Phosphorbelastung im Lippenrütibach auf die Witterung und auf die Massnahmen zurückzuführen ist.

Dank dem gewählten methodischen Vorgehen kann der Erfolg der Öko-Massnahmen losgelöst und unabhängig von der Witterung überprüft werden. Dies hat für die Landwirtschaft folgende Konsequenzen:

Falls die bewirtschaftungsbedingte sowie die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr auf den Schlägen im Verlaufe der Jahre zurückgehen, die Belastung des Baches aber hoch bleibt, kann der ausbleibende Rückgang der Belastung des Baches nicht der jeweiligen Praxis in der Landwirtschaft angelastet werden. Wenn andererseits die bewirtschaftungsbedingte und die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr auf den Schlägen nicht zurückgehen, die Belastung des Baches aber trotzdem sinkt, kann dieser Erfolg nicht zu Gunsten der Landwirtschaft ausgelegt werden.

3. Grundlagen zur Modellanwendung

3.1 Überblick über das Einzugsgebiet des Lippenrütibaches

Das Einzugsgebiet des Lippenrütibaches wurde für die Evaluation der Öko-Massnahmen ausgewählt, weil aus früheren Untersuchungen bereits umfangreiches Datenmaterial vorlag und weil dort andere Belastungsquellen, die von Bedeutung sein könnten (z.B. Abwasserreinigungsanlagen), ausgeschlossen werden konnten.

In diesem Kapitel wird das Untersuchungsgebiet vorgestellt. Es werden jene Faktoren beschrieben, welche für die Modellanwendung nicht klassiert wurden: die geographische Lage und naturräumliche Einordnung, die geologischen und geomorphologischen Verhältnisse, die klimatischen Verhältnisse, die hydrologischen Verhältnisse, die Landnutzung sowie die Betriebe.

Geographische Lage und naturräumliche Einordnung

Das Einzugsgebiet des Lippenrütibaches befindet sich zehn Kilometer nordwestlich von Luzern am südlichen Ufer des Sempachersees (Abb. 7). Der überwiegende Teil des 334 Hektaren grossen Gebietes gehört zur Gemeinde Neuenkirch, ein kleiner Teil zur Gemeinde Ruswil. Das an einem nordost-exponierten Abhang gelegene Einzugsgebiet erstreckt sich von 504 m.ü.M. auf Seeniveau bis auf 818 m.ü.M. Es macht flächenmässig fünf Prozent des gesamten Einzugsgebietes des Sempachersees aus.

Geologische und geomorphologische Verhältnisse

Beim geologischen Untergrund handelt es sich um die obere Süsswassermolasse. Die Geländeformen sind glazialen Ursprungs und wurden durch die starken erosiven Kräfte (Gletschervorland am Ende der Eiszeit) geprägt. Enge Tobel in einer stufigen Moränenlandschaft zeugen davon. Das Einzugsgebiet kann in vier nach oben immer steiler werdende Hangstufen gegliedert werden.

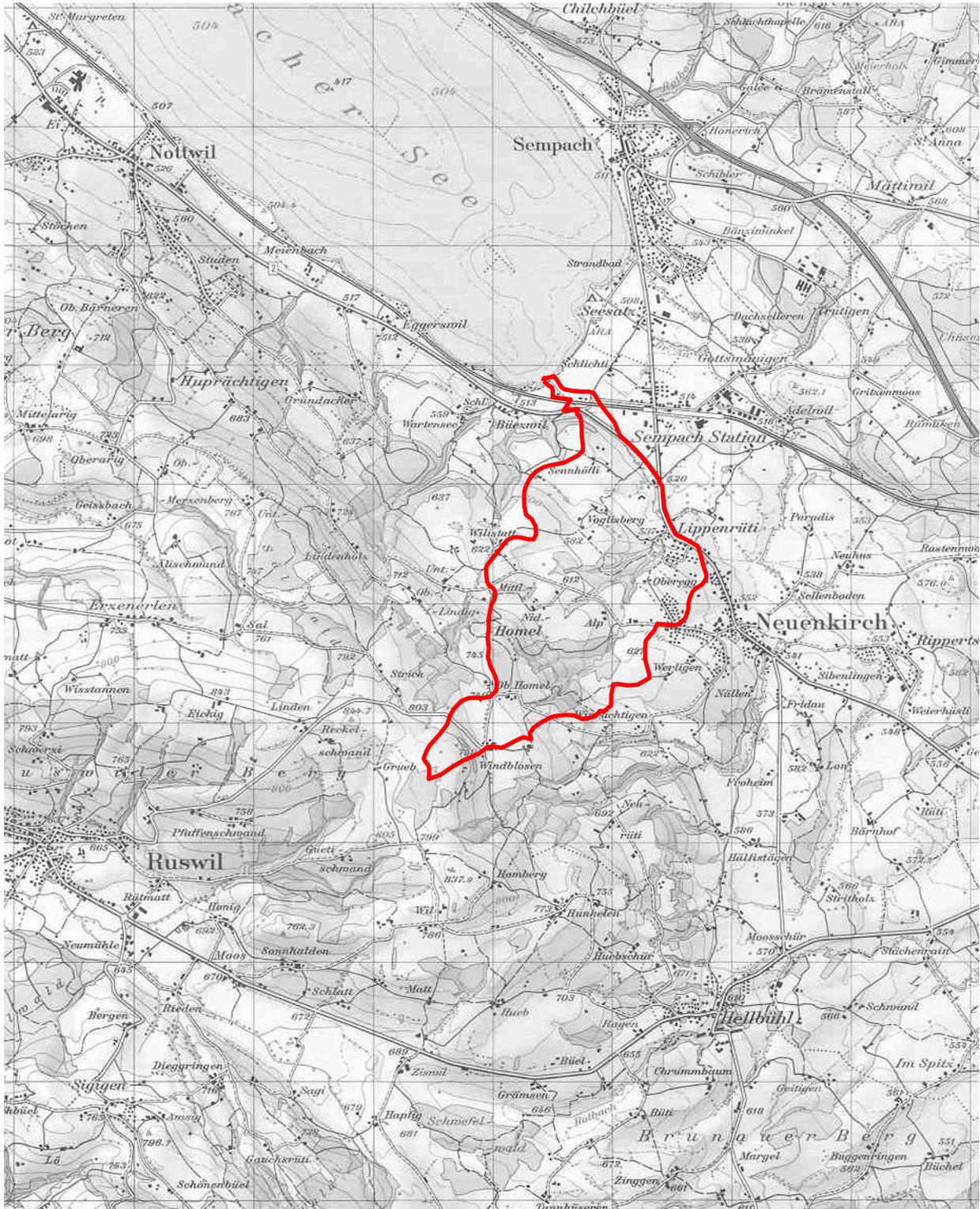


Abbildung 7: Übersichtskarte über das Einzugsgebiet des Lippenrütibaches (Ausschnitt aus der Landeskarte L+T 1:50'000, Zusammensetzung 5022, Willisau-Sursee-Luzern, 1992. Reproduziert mit freundlicher Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (BA4823) vom 22.12.1999).

Klimatische Verhältnisse

Die geringe Entfernung zu den Alpen, die nordöstliche Exposition sowie der Sempachersee prägen das lokale Klima des Einzugsgebietes. Von den im langjährigen Mittel 1040 Millimetern Niederschlag (Station Sempach: EAWAG 1990) fallen etwa 65 % in der Vegetationsperiode von Mai bis Oktober. Dabei sind Juni und Juli im langjährigen Mittel die regenreichsten Monate. Die mittlere Jahrestemperatur liegt zwischen 7.0 und 8.5 °C. Die Wassermasse des Sees hat auf den jährlichen Temperaturverlauf einen ausgleichenden Einfluss. Die Vegetationszeit dauert zwischen 180 und 210 Tagen pro Jahr. Bis auf eine Höhe von 600 m.ü.M. sind die klimatischen Bedingungen für Futterbau ausgesprochen gut. Auch Ackerbau ist möglich. Erschwerend wirken allerdings die häufigen Regentage (EJPD 1977).

Hydrologische Verhältnisse

Das im Einzugsgebiet reichlich vorhandene Quellwasser entwässerte ursprünglich in einem Bachsystem von ca. 10.3 km Länge. Heute sind davon noch 7.8 km übrig. Knapp 2.5 km wurden in den letzten 100 Jahren im Rahmen von Meliorationsmassnahmen eingedolt. Etwa ein Drittel des Landwirtschaftslandes soll künstlich entwässert sein (AGBA 1988a und 1988b). Im langjährigen Mittel fließen im Lippenrütibach ca. 600 mm Wasser pro Jahr ab, was knapp 60% des im langjährigen Mittel gefallenen Niederschlags von 1040 mm pro Jahr ausmacht. Die durchschnittliche, jährliche Evapotranspiration beträgt somit ca. 440 mm.

Landnutzung

Etwa drei Viertel des Einzugsgebietes gehören zur landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN). Mit nur 16% liegt der Anteil der bestockten Fläche an der Gesamtfläche deutlich unter dem Schweizer Durchschnitt von ca. 30%. Der Anteil der Gebäude-, Hofareal- sowie Siedlungsfläche beträgt etwa 6% (Tab. 5). Im Einzugsgebiet wird vorwiegend Futterbau betrieben (74% der LN sind Dauergrünland). Durch die Bodenverhältnisse und die Topographie limitiert beträgt die Ackerfläche nur etwa 20% der LN. Es werden vorwiegend Silomais und Futtergetreide angebaut, vereinzelt auch Rüben (siehe auch Abb. 19).

Betriebe

Das Einzugsgebiet des Lippenrütibaches wird durch 29 Betriebe bewirtschaftet, deren landwirtschaftliche Nutzfläche zwischen 0.3 und 41 Hektaren liegt, im Durchschnitt bei 18 Hektaren. Seit 1999 wirtschaften sämtliche Betriebe nach den Richtlinien der integrierten oder biologischen Produktion. In den letzten zehn Jahren bauten die Betriebe im Gebiet die Lagerkapazität für Hofdünger im Durchschnitt auf sieben Monate aus. Gesetzlich vorgeschrieben sind vier Monate.

Tabelle 5: Landnutzung im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches im Jahr 1998.

Landnutzung 1998	ha	%
Landwirtschaftliche Nutzfläche	255	76
Dauergrünland	188	(56)
Naturwiesen (nur intensive und mittel-intensive)	152	
Dauerweiden	31	
Obstwiesen	3	
Obstanlagen	2	
Fruchtfolgeflächen	52	(16)
Kunstpflanzen	30	
Getreide	9	
Hackfrüchte	13	
Spezialkulturen	4	(1)
Ökologische Ausgleichsflächen	11	(3)
extensive Wiesen	5	
wenig intensive Wiesen	6	
Bestockte Fläche (Wald, Gebüschwald, Gehölze)	53	16
Gebäude und Hofareale sowie Siedlungsgebiet	21	6
Strassen und Wege sowie Bahnlinie	4	1
Restflächen (z.B. Gewässer)	1	< 1
Gesamtfläche des Einzugsgebietes des Lippenrütibaches	334	100

3.2 Faktoren zur Modellanwendung

Dieses Kapitel dient der Darstellung der einzelnen Parameter und Faktoren, die für die Thematik der Phosphorbelastung der Gewässer von Bedeutung sind und die Grundlage für die Modellanwendung bilden (insbesondere für die Beurteilung der standortbedingten und bewirtschaftungsbedingten Gefahr für Phosphorverluste). Die klassierten Faktoren und Parameter werden im folgenden in Kartenform dargestellt. Bezugsbasis ist der ‚Schlag‘. Es werden immer vier Klassen unterschieden: geringe, mittlere, hohe und sehr hohe Gefahr für Phosphorverluste. Die Schlagnummerierung und alle schlagspezifischen Informationen sind im Anhang zusammengestellt.

3.2.1 Parameter Boden

Abbildung 8 zeigt die Bodentypen im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches. Im unteren, nord-östlichen Teil des Gebietes dominieren Braunerden, im oberen süd-westlichen Teil saure Braunerden und Gleye. Abbildung 9 zeigt die klassierte Durchlässigkeit jedes Schlages: 48% der Schläge haben eine geringe, 21% eine mittlere, 29% eine hohe und 2% eine sehr hohe Durchlässigkeit. Die meisten Schläge haben eine sehr hohe (28%) oder hohe (63%) physiologische Gründigkeit (Abb. 10). Die Mehrzahl der Schläge ist nie porengesättigt (40%) oder selten porengesättigt (55%) (Abb. 11). In Abbildung 12 ist die Klassierung der natürlichen Verdichtungsgefährdung zu sehen: 51% weisen eine sehr hohe und 32% eine hohe natürliche Verdichtungsgefährdung auf. Problematisch für die Phosphorabschwemmung sind die geringe Durchlässigkeit und die sehr hohe natürliche Verdichtungsgefährdung zahlreicher Schläge.

3.2.2 Parameter Topographie

In Abbildung 13 mit den Hangneigungen erkennt man die drei Geländestufen im Gebiet. Die steilen Hänge sind alle nach Nordosten exponiert. Flache Schläge existieren praktisch nicht (nur 4% aller Schläge). Die meisten Schläge sind leicht geneigt (45%) oder stark geneigt (40%), einzelne wenige sind steil (11%). Schläge, welche das oberflächlich abfließende Wasser verteilen, sind selten (3% aller Schläge). Die meisten weisen eine gleichmässige Geländeform auf (60%), doch viele wirken von der Geländeform her konzentrierend oder sogar stark konzentrierend auf oberflächlich abfließendes Wasser (35% resp. 2% der Schläge: Abb. 14). In Abbildung 15 ist für jeden Schlag die Hanglänge des Schlages in Fliessrichtung dargestellt: 40% aller Schläge haben eine grosse und 25% eine sehr grosse Hanglänge (> 50 m resp. >100 m). Diese Kategorie von Schlägen mit einer Hanglänge des Schlages von mehr als hundert Metern macht knapp 50% der Fläche aus. Auf 42% der Schläge gibt es keinen Fremdwasserzufluss (Abb. 16) oder nur in geringem Ausmass (29%). Auf 22% der Schläge ist mit einer mittleren, auf 7% mit einer grossen Fremdwasserzuflussmenge von darüber liegenden Schlägen oder Strassen zu rechnen.

3.2.3 Parameter Lage zum Einleiter

Die Hälfte aller Schläge liegt fern eines Gewässers. Andererseits liegen 14% nahe und 25% angrenzend an ein Gewässer (Abb. 17). Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Distanz zu Einlaufschächten: Die meisten Schläge (62%) sind fernab eines Einlaufschachtes (Abb. 18). Acht Prozent der Schläge liegen nahe und 21% angrenzend an einen Einlaufschacht. So liegen zwei Drittel aller Schläge entweder nahe oder angrenzend an ein Gewässer oder an einen Einlaufschacht.

3.2.4 Parameter Bodennutzung 1998

In Abbildung 19 sind schlagweise die Kulturen im Jahr 1998 festgehalten. Die meisten Schläge wurden als Grasland genutzt; nur etwa 10% der Schläge waren Ackerland. Die Verdichtungsgefährdung durch die Bewirtschaftung wird auf wenigen Schlägen als sehr hoch (4%) und auf den meisten als hoch eingestuft (62% aller Schläge: Abb. 20). Schläge, welche nicht drainiert sind, sind selten (13% aller Schläge). Bei 19% der Schläge ist unklar, ob und wie sie drainiert sind. Die meisten Schläge sind drainiert, wobei 31% punktuell und 37% flächenhaft (Abb. 21). Die drainierten Schläge machen 82% der Fläche aus. Die meisten Schläge sind verdichtungsgefährdet, was die Phosphorverluste durch Abschwemmung begünstigt, oder sie sind drainiert, was die Phosphorverluste durch Drainagenabfluss fördert.

3.2.5 Parameter Betrieb 1998

Im Jahre 1998 gehörten 95% der Schläge zu Betrieben mit einem Phosphordeckungsgrad von über 100%; nur 5% der Schläge (d.h. ein Betrieb) sind in der Kategorie mit einem Phosphordeckungsgrad von weniger als 100%. Sechzig Prozent der Schläge liegen in der Kategorie mit einem Phosphordeckungsgrad von 100-110%, 35% der Schläge sogar in der Kategorie mit einem Phosphordeckungsgrad des Betriebes von mehr als 110% (Abb. 22). Ein Deckungsgrad von 110% oder ein Überschuss von 10 kg P₂O₅/ha liegt im gesetzlichen Rahmen. Aufgezeigt wird in Abbildung 22 der Phosphordeckungsgrad. Liegt ein Betrieb über den erlaubten 110%, ist davon auszugehen, dass er für 1998 beim Überschuss die gesetzlichen Bestimmungen erfüllt.

Eng mit dem Phosphordeckungsgrad und den Phosphorüberschüssen verbunden ist die Phosphoranreicherung im Boden. Anhand einer Phosphorbilanz für das Einzugsgebiet des Sempachersees (1995 – 1997) wurde eine Phosphoranreicherung im Boden von etwa sechs Kilogramm Phosphor pro Hektare landwirtschaftliche Nutzfläche abgeschätzt (BLUM ET AL. 1999). Durch die jahrelange Überversorgung wird der Boden zunehmend aufgefüllt und die Retentionskapazität gesenkt (AFU 1998). GÄCHTER ET AL. (1997) erwarten deshalb zukünftig eine Zunahme der Austräge von Phosphor in die Gewässer.

3.2.6 Parameter Pflanzenbauliche Nutzung 1998

Neun Prozent aller Schläge im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches wurden 1998 nicht gedüngt. Bei 16% der Schläge sind infolge der Nutzungsintensität sowie der Anzahl Schnitte und Weidegänge der Düngerbedarf gering, bei 31% mittel und bei 44% hoch (Abb. 23). Dass drei Viertel aller Schläge (was knapp 90% der Fläche aller Schläge ergibt) eine mittlere oder hohe Düngemenge erhalten, steht in engem Zusammenhang damit, dass viele Betriebe einen Phosphordeckungsgrad von über 100% aufweisen.

3.2.7 Parameter Massnahmen zur Reduktion der Phosphorverluste

im Feld 1998

Auf 75% aller Schläge im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches sind keine Massnahmen im Feld (Filterstreifen, Filterzonen, konservierende Bodenbearbeitung) wirksam (Abb. 24). Die Effektivität der Massnahmen im Feld ist auf 4% der Schläge gering, auf 13% mittel und auf 8% gross. Rund 20% der Fläche im Gebiet profitiert von Massnahmen im Feld, welche zur Verminderung der Phosphorverluste beitragen.

Legende:

Bodentypen

-  Braunerde
-  Saure Braunerde
-  Fluviosol
-  Fahlgley
-  Pseudogley
-  Regosol
-  Braunerde-Gley
-  Buntgley
-  Braunerde-Pseudogley
-  nicht kartiert

 Einzugsgebietsgrenze

 Wald

 Verkehr und Siedlung

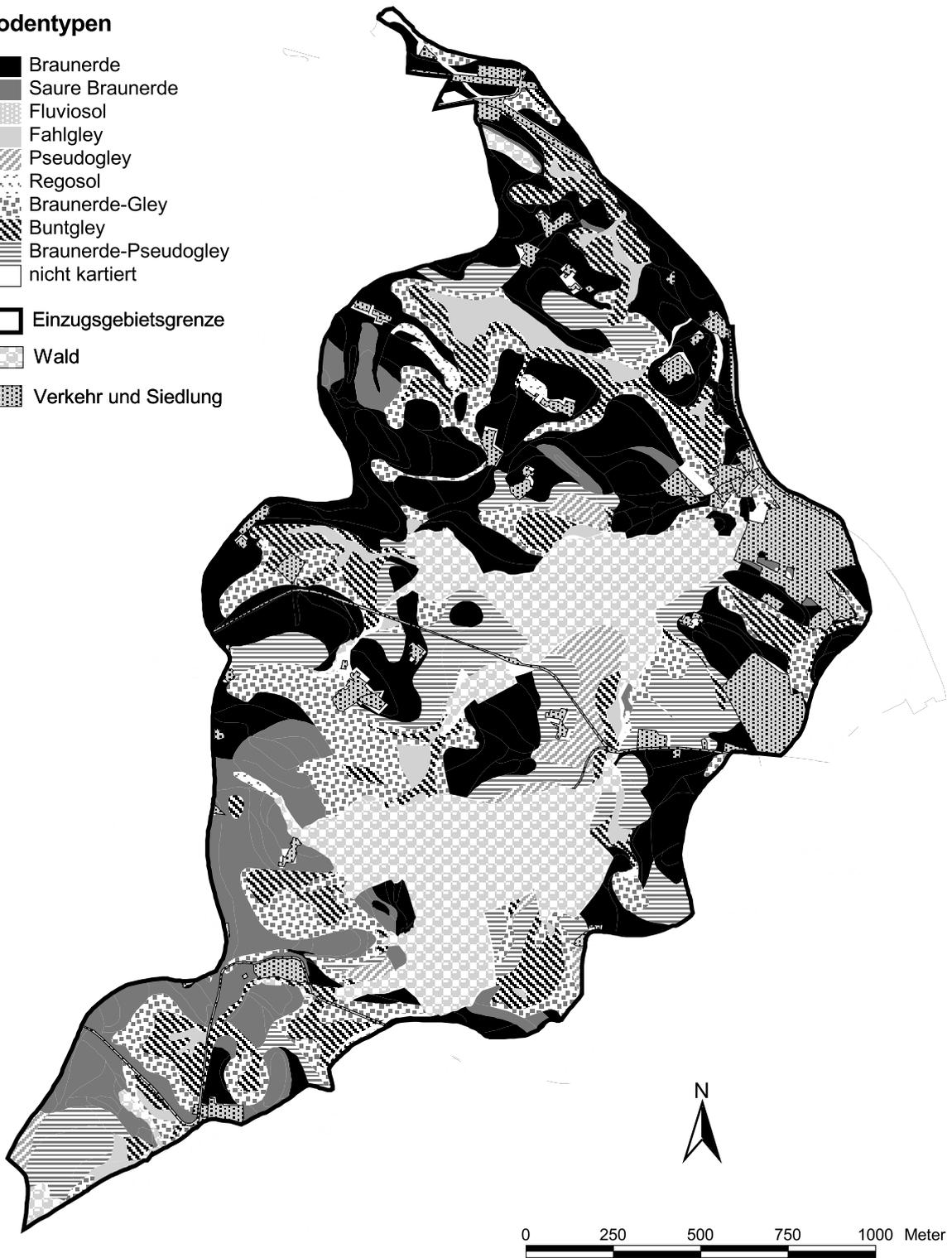


Abbildung 8: Bodenkarte mit den verschiedenen Bodentypen im Gebiet des Lippenrütibaches.

Legende:

Durchlässigkeit

sehr hoch

hoch

mittel

gering

Einzugsgebietsgrenze

Wald

Verkehr und Siedlung

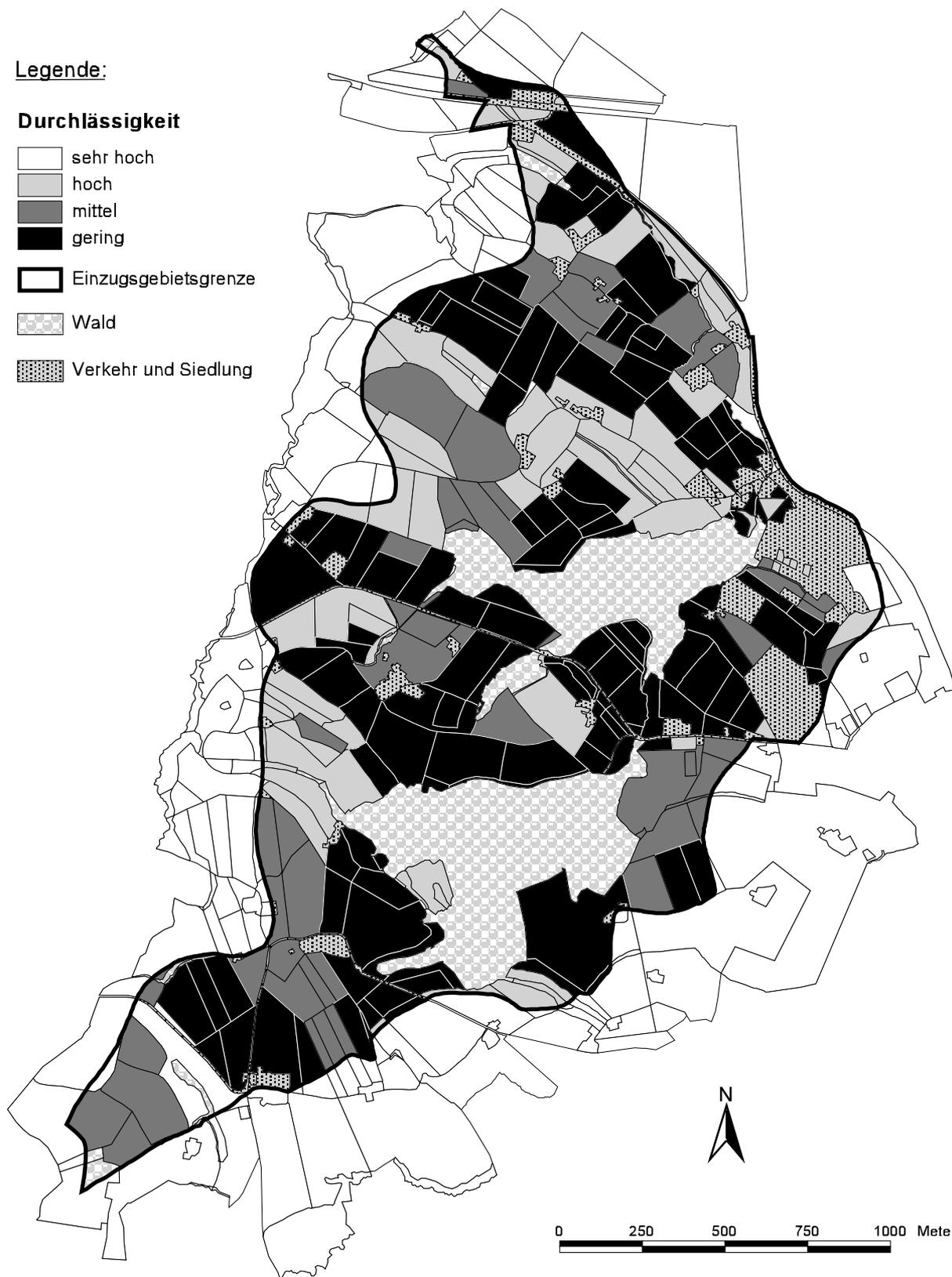


Abbildung 9: Durchlässigkeit des Bodens zur Beurteilung der standortbedingten Gefahr für Phosphorverluste.

Legende:

Physiologische Gründigkeit

-  tiefgründig
-  mässig tiefgründig
-  ziemlich flachgründig
-  flachgründig
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

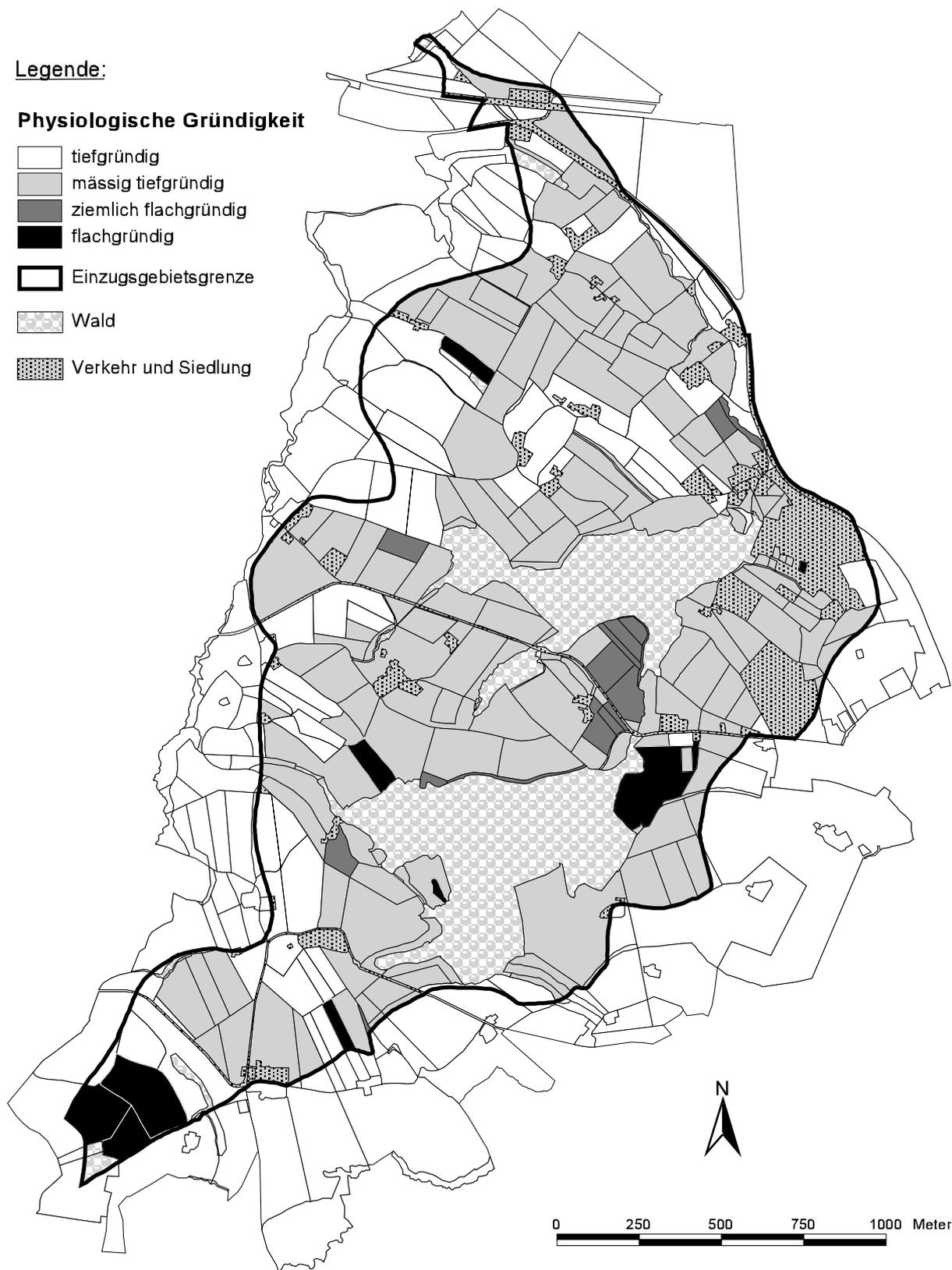


Abbildung 10: Physiologische Gründigkeit des Bodens zur Beurteilung der standortbedingten Gefahr für Phosphorverluste.

Legende:

Wasserhaushalt

-  nie porengesättigt
-  selten porengesättigt
-  häufig porengesättigt
-  meist porengesättigt
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

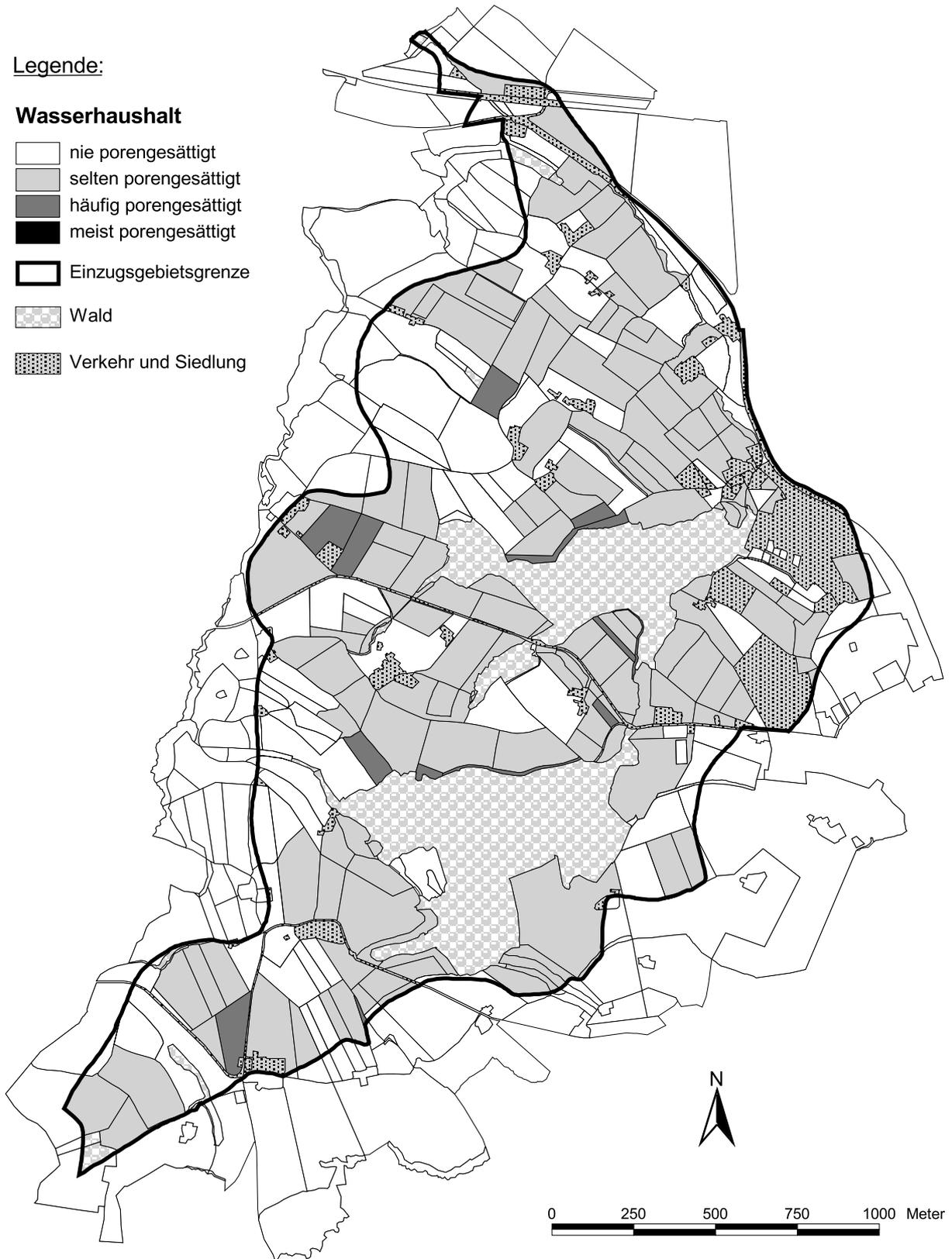


Abbildung 11: Wasserhaushalt des Bodens zur Beurteilung der standortbedingten Gefahr für Phosphorverluste.

Legende:

**Natürliche Verdichtungs-
gefährdung**

-  gering
-  mittel
-  hoch
-  sehr hoch
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

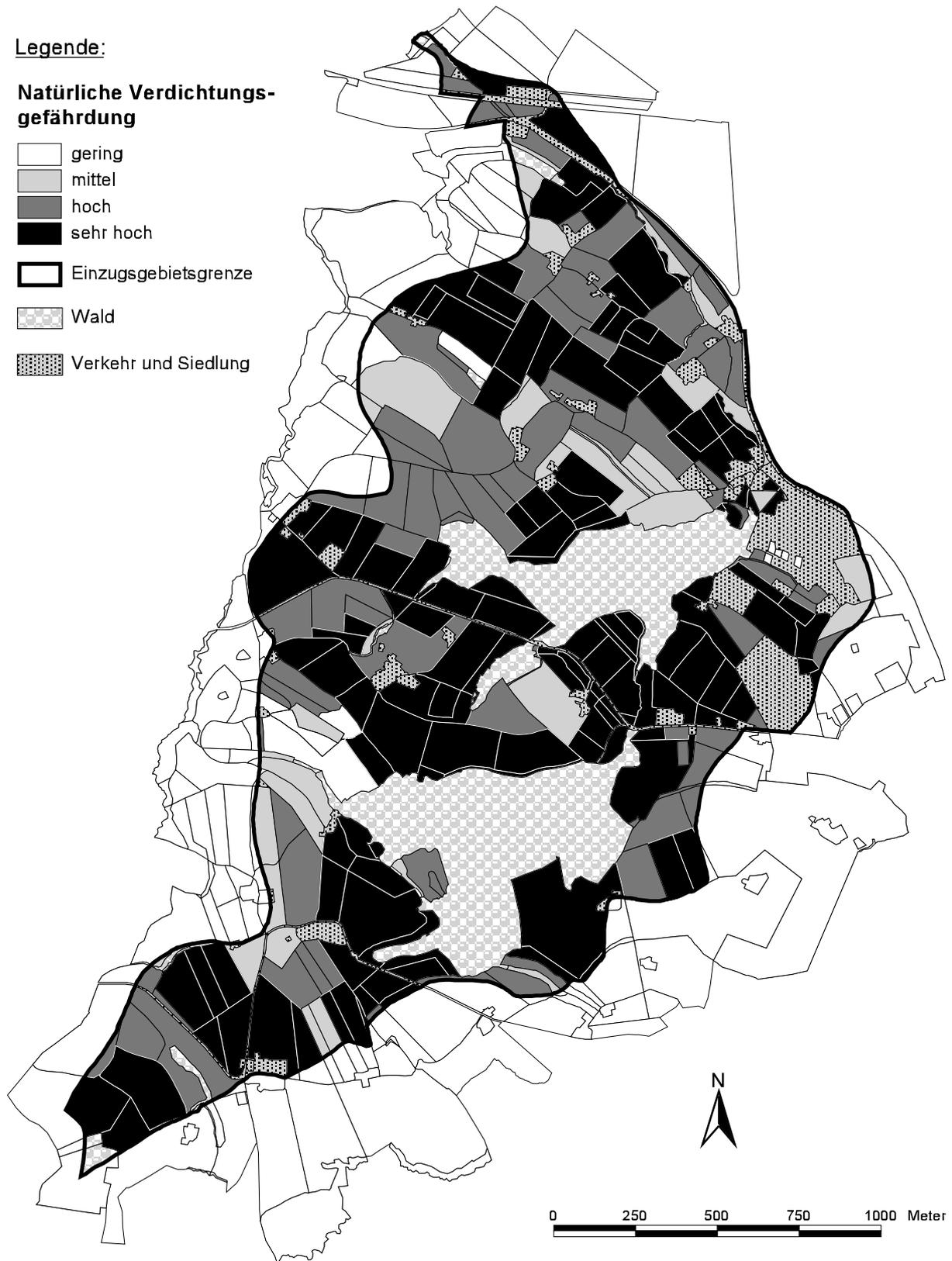


Abbildung 12: Natürliche Verdichtungsgefährdung des Bodens zur Beurteilung der standortbedingten Gefahr für Phosphorverluste.

Legende:

Hangneigung

-  ebene Lage
-  leicht geneigt
-  stark geneigt
-  steil

 Einzugsgebietsgrenze

 Wald

 Verkehr und Siedlung

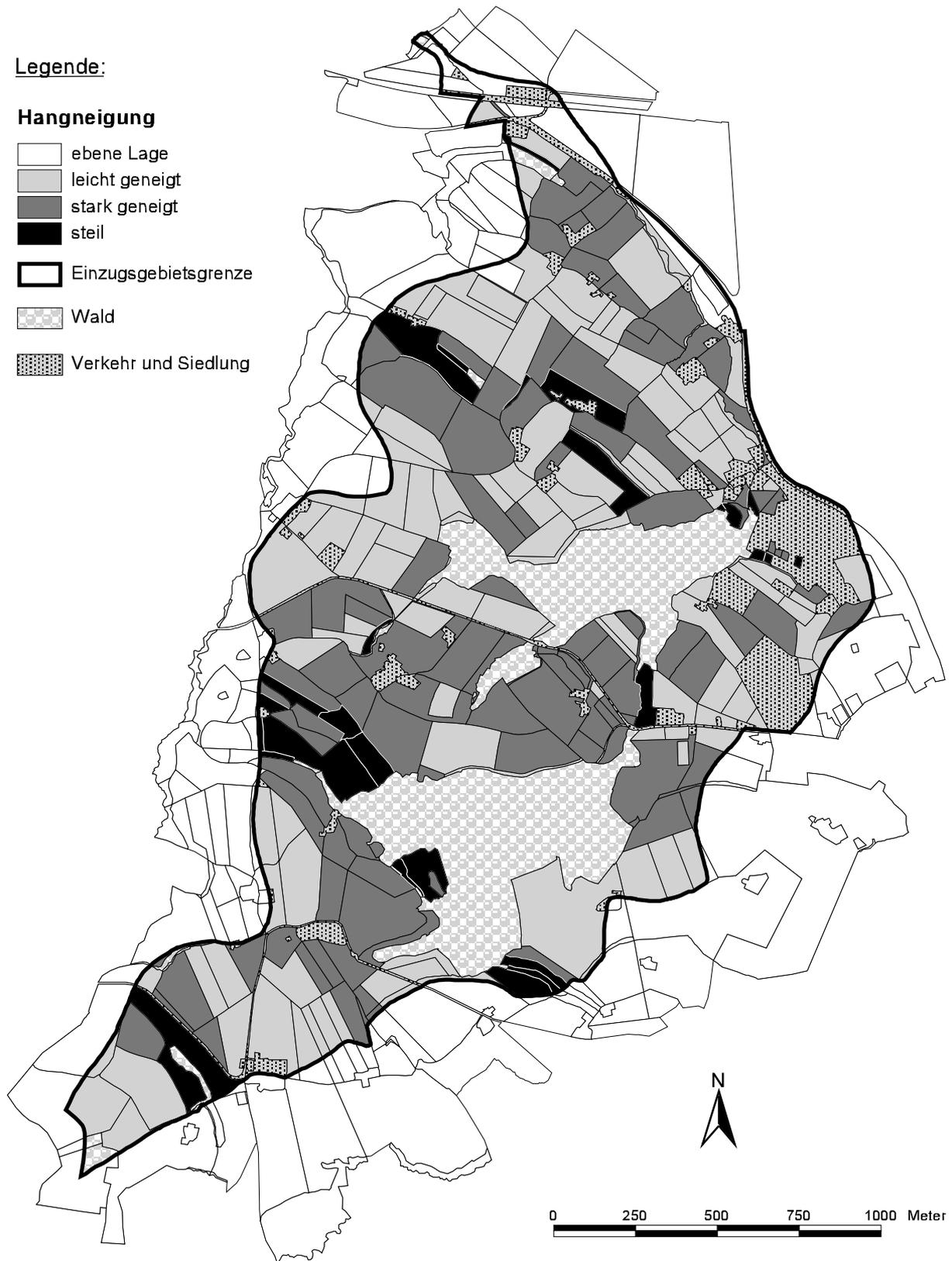


Abbildung 13: Hangneigung zur Beurteilung der standortbedingten Gefahr für Phosphorverluste.

Legende:

Geländeform

-  verteilt
-  gleichmässig
-  konzentrierend
-  stark konzentrierend
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

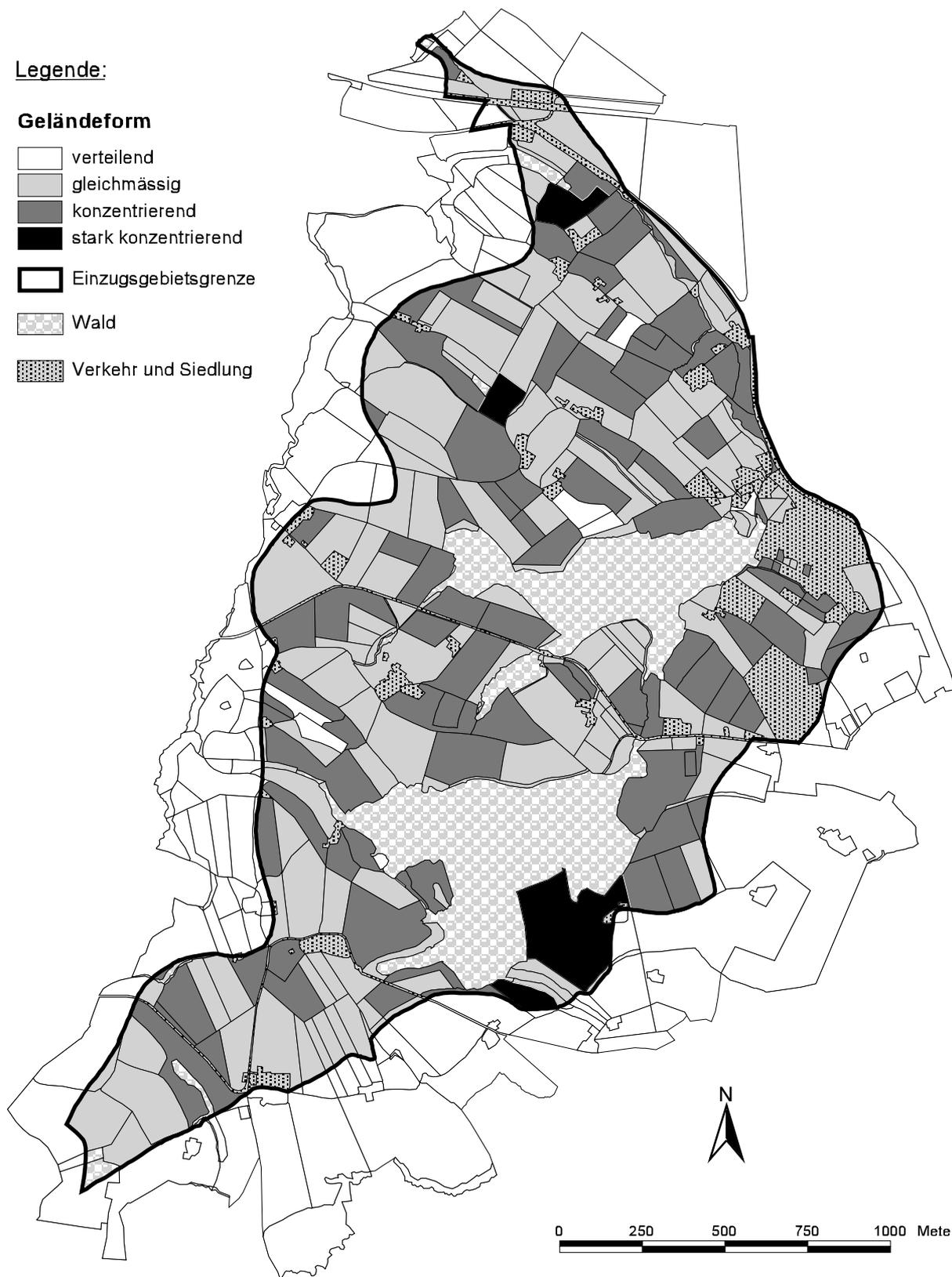


Abbildung 14: Geländeform zur Beurteilung der standortbedingten Gefahr für Phosphorverluste.

Legende:

Hanglänge des Schlages

-  gering
-  mittel
-  gross
-  sehr gross

 Einzugsgebietsgrenze

 Wald

 Verkehr und Siedlung

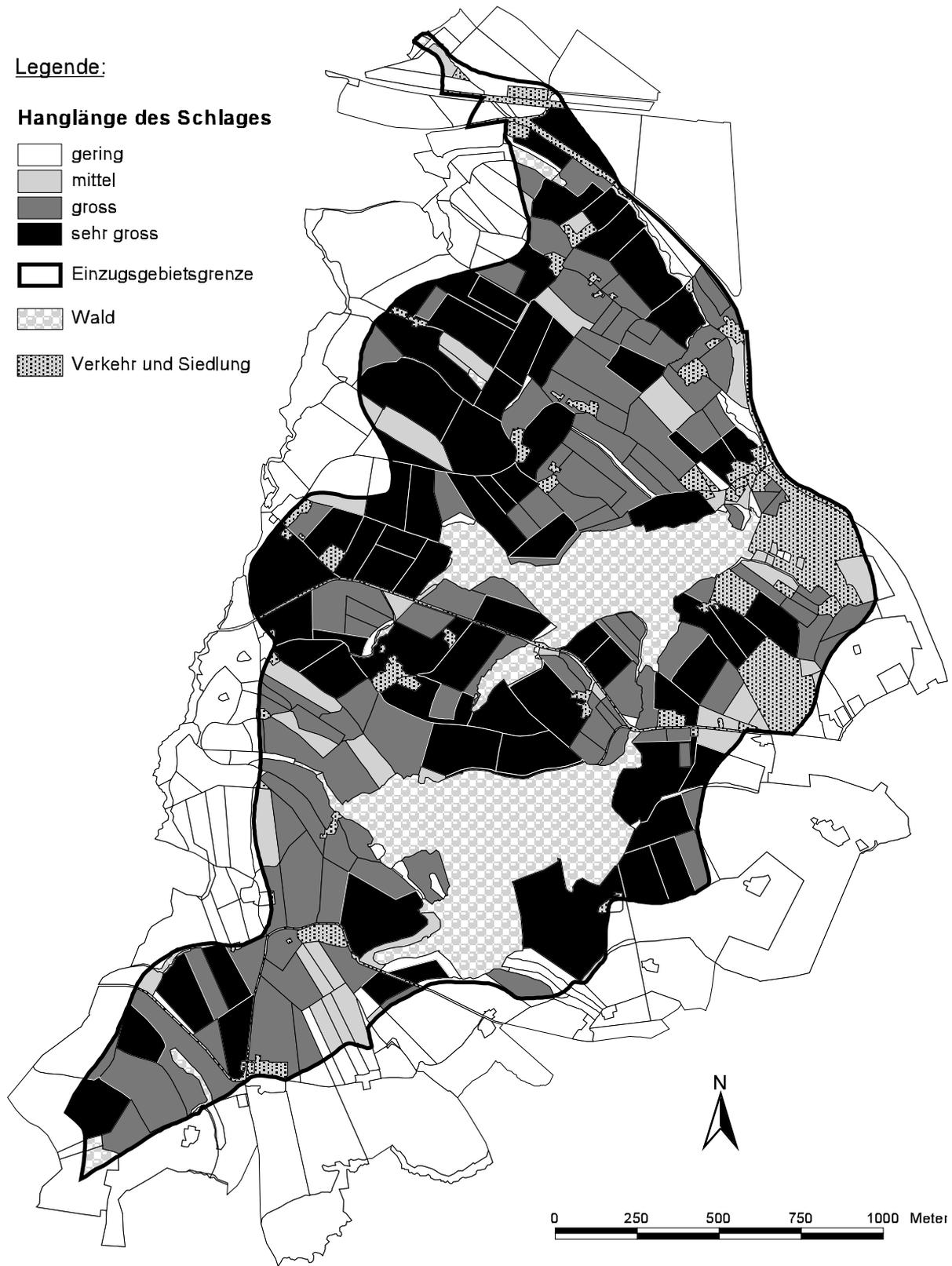


Abbildung 15: Hanglänge des Schlages zur Beurteilung der standortbedingten Gefahr für Phosphorverluste.

Legende:

Fremdwasserzufluss

-  kein
-  gering
-  mittel
-  gross
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

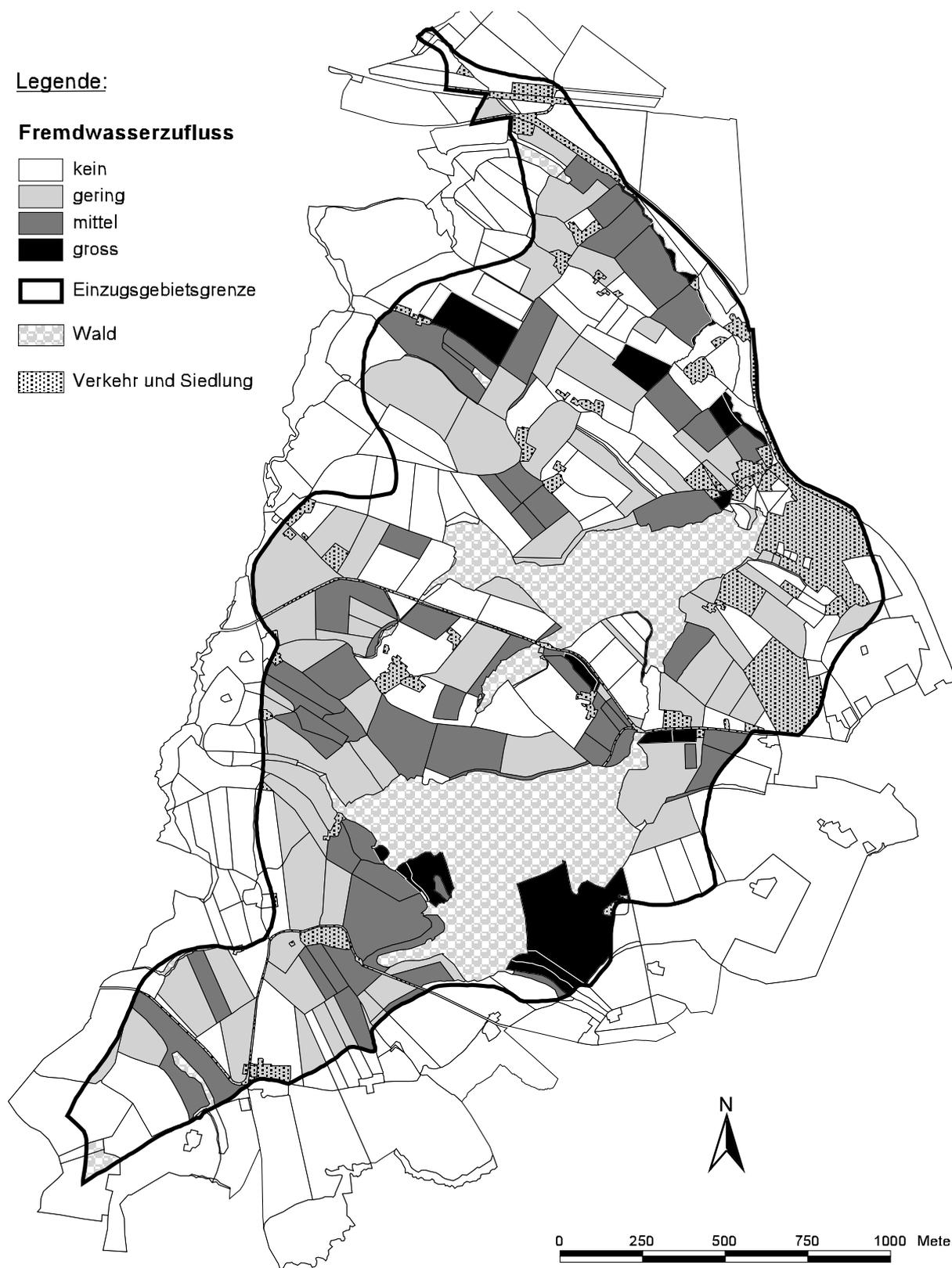


Abbildung 16: Fremdwasserzufluss zur Beurteilung der standortbedingten Gefahr für Phosphorverluste.

Legende:

Distanz zum Gewässer

-  fern
-  mittel
-  nah
-  angrenzend

 Gewässer

 Einzugsgebietsgrenze

 Wald

 Verkehr und Siedlung

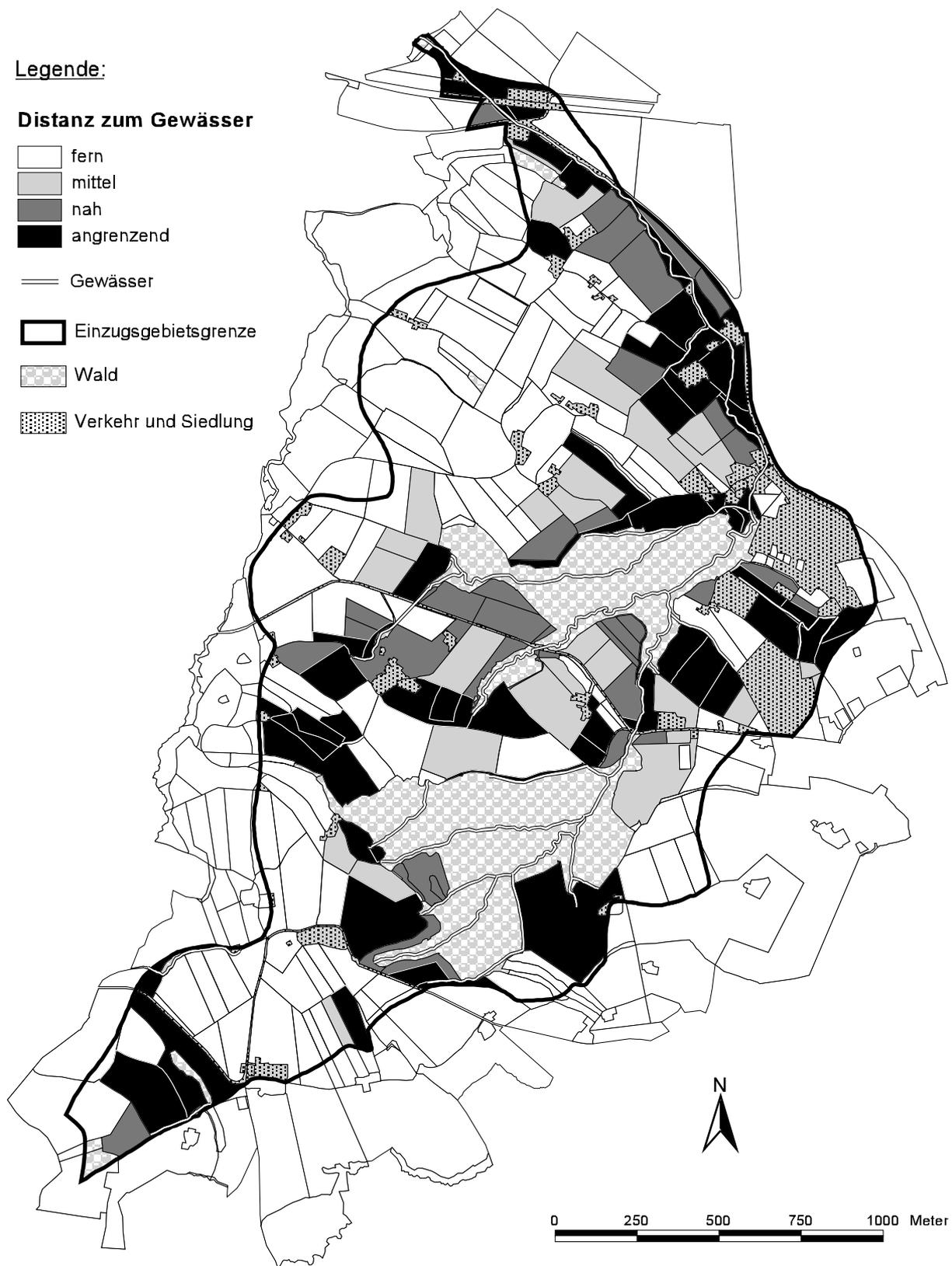


Abbildung 17: Distanz des Schlages zum Gewässer zur Beurteilung der standortbedingten Gefahr für Phosphorverluste.

Legende:

Distanz zu Einlaufschächten

-  fern
-  mittel
-  nah
-  angrenzend

 offene Einlaufschächte

 Einzugsgebietsgrenze

 Wald

 Verkehr und Siedlung

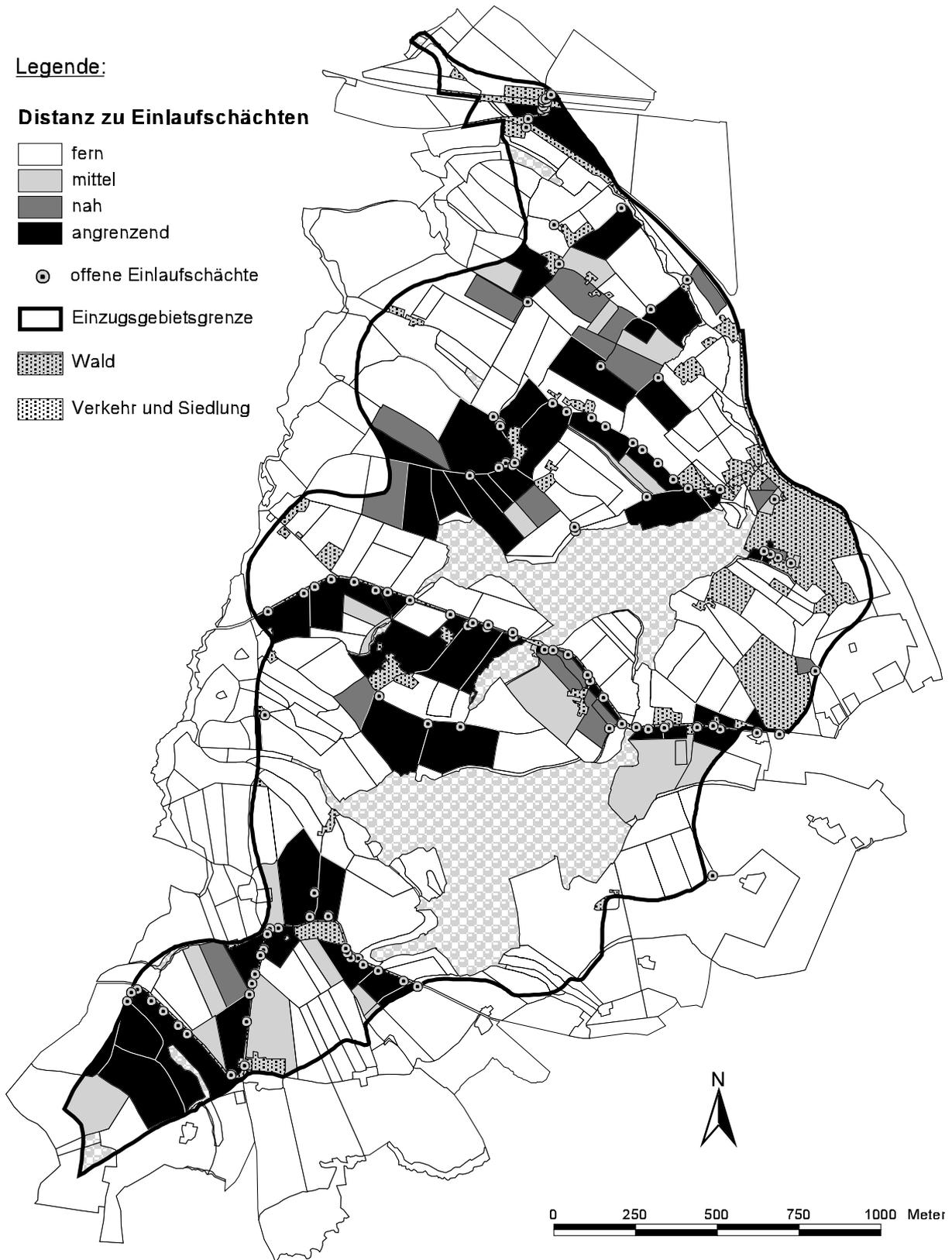


Abbildung 18: Distanz des Schlages zu Einlaufschächten zur Beurteilung der standortbedingten Gefahr für Phosphorverluste.

Legende:

Kulturen 1998

-  extensive Naturwiesen
-  wenig intensive Naturwiesen, Weiden
-  intensive Naturwiesen, Kunstwiesen
-  offenes Ackerland
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

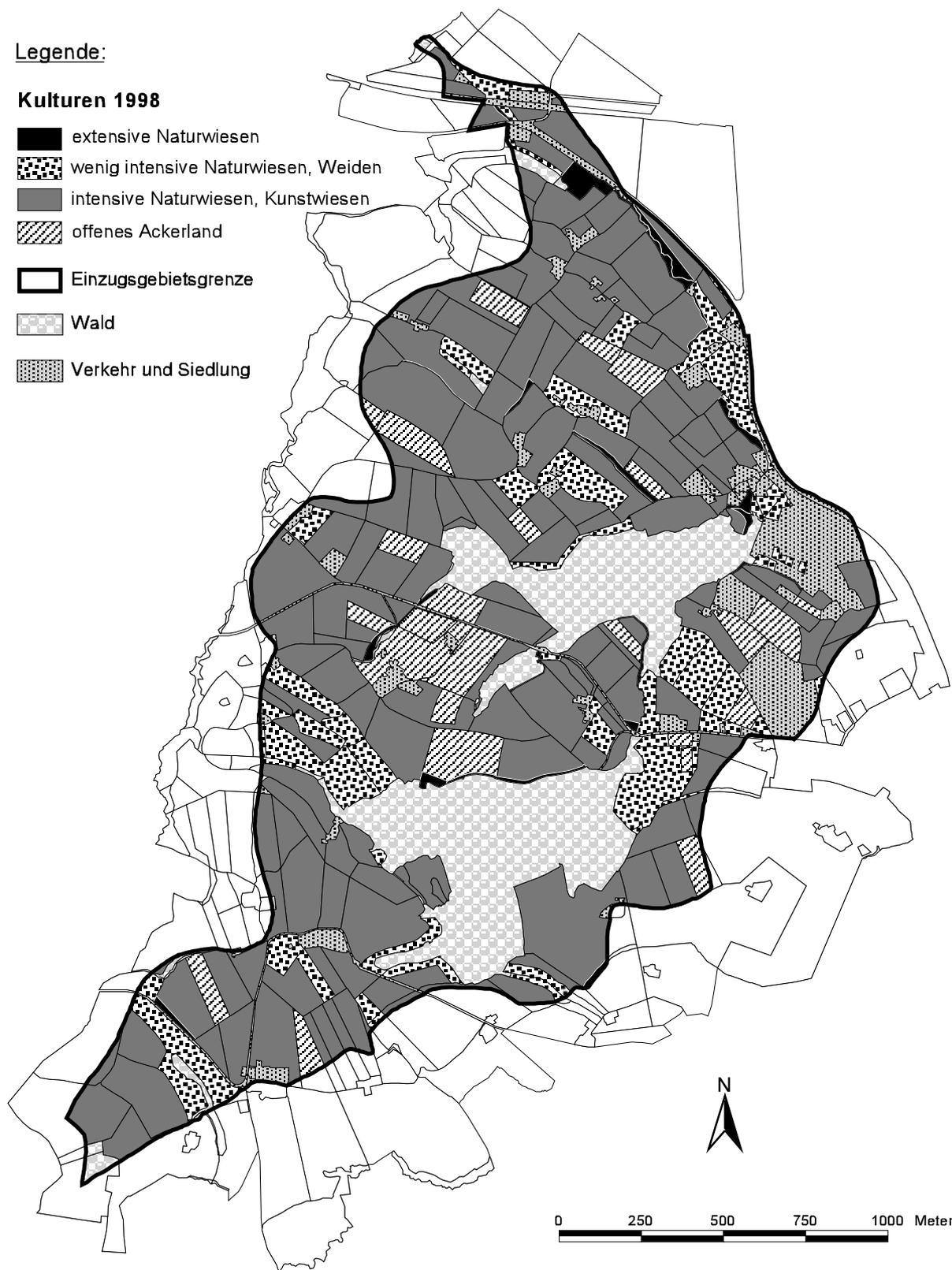


Abbildung 19: Kulturen 1998 im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches.

Legende:

**Verdichtungsgefährdung durch
Bewirtschaftung 1998**

-  gering
-  mittel
-  hoch
-  sehr hoch
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

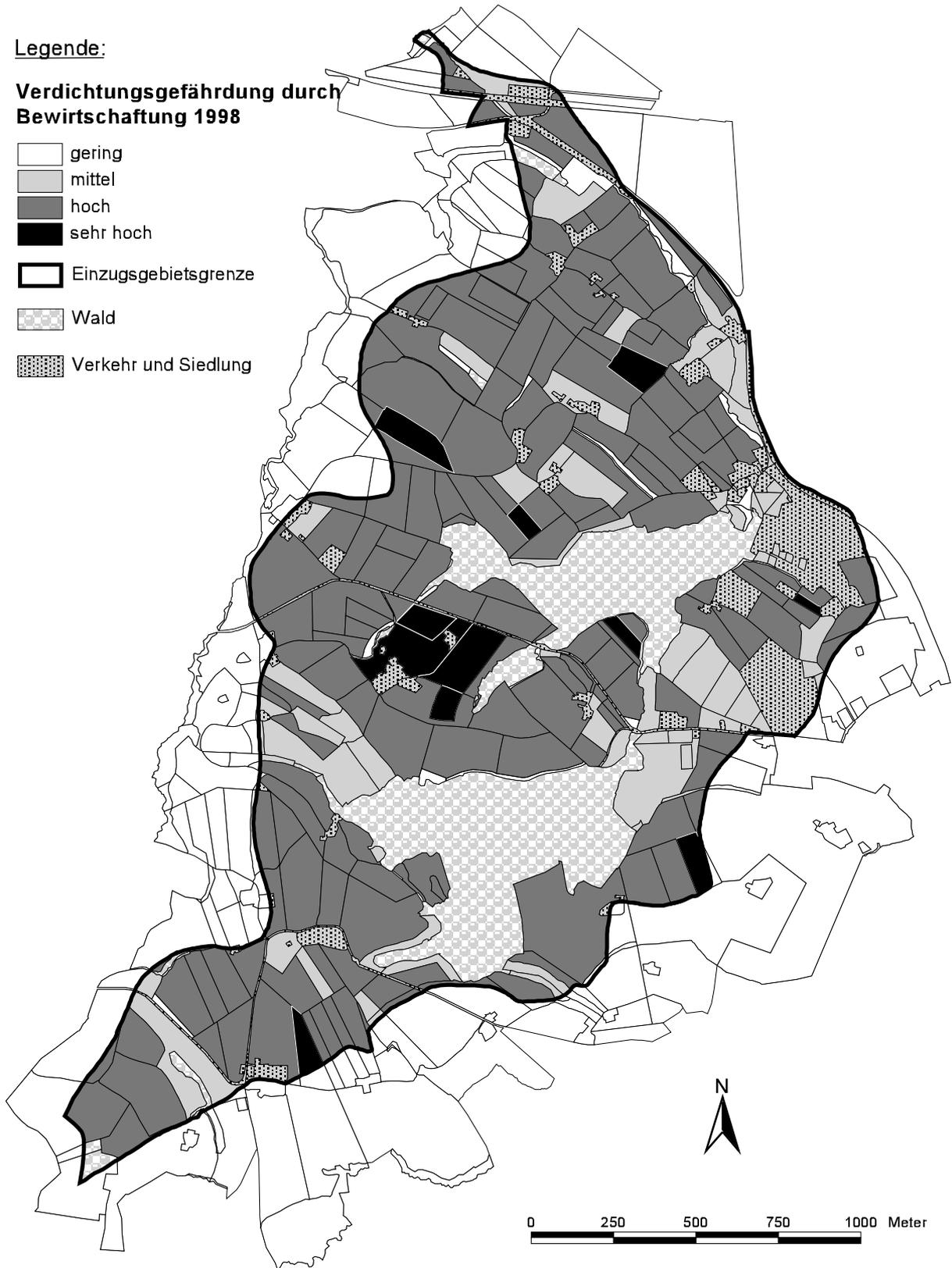


Abbildung 20: Verdichtungsgefährdung durch Bewirtschaftung 1998 zur Beurteilung der bewirtschaftungsbedingten Gefahr für Phosphorverluste.

Legende:

Drainagedichte

-  keine
-  unbekannt
-  punktuell
-  flächenhaft
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

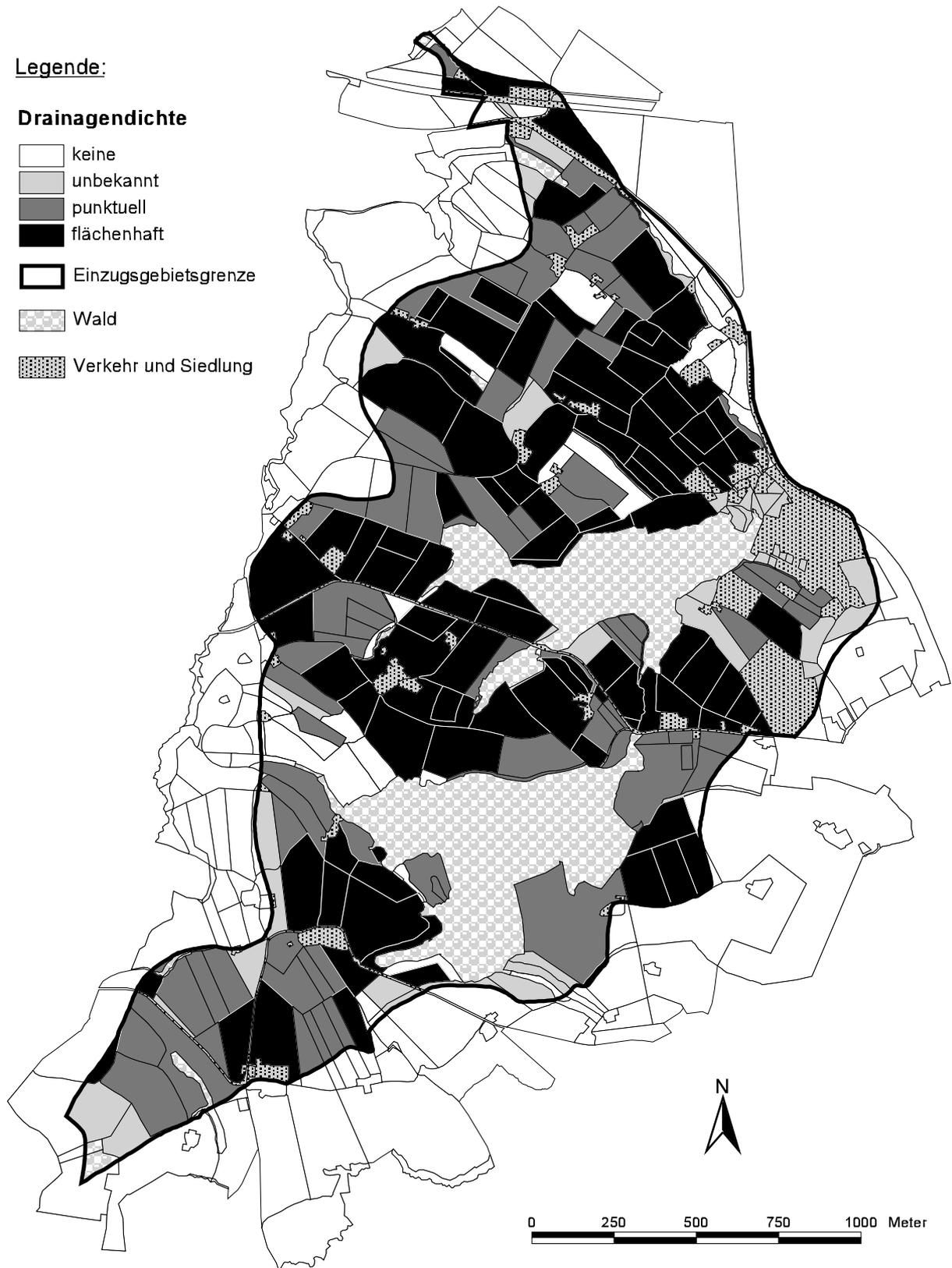


Abbildung 21: Drainagedichte zur Beurteilung der bewirtschaftungsbedingten Gefahr für Phosphorverluste.

Legende:

Phosphordeckungsgrad 1998

-  <= 90 %
-  91 - 100 %
-  101 - 110 %
-  > 110 %
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

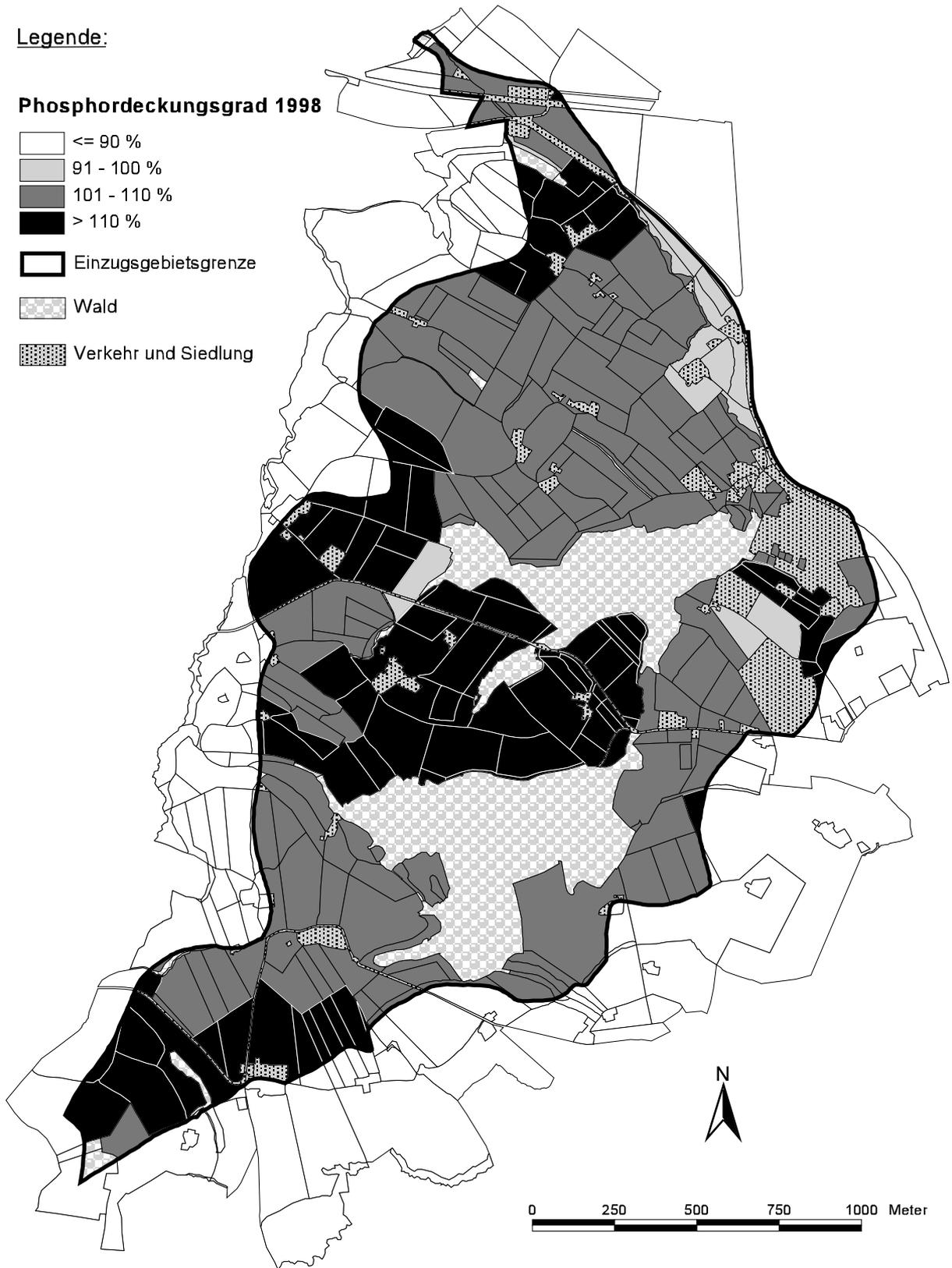


Abbildung 22: Phosphordeckungsgrad 1998 zur Beurteilung der bewirtschaftungsbedingten Gefahr für Phosphorverluste.

Legende:

Düngerbedarf 1998

-  null
-  gering
-  mittel
-  hoch
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

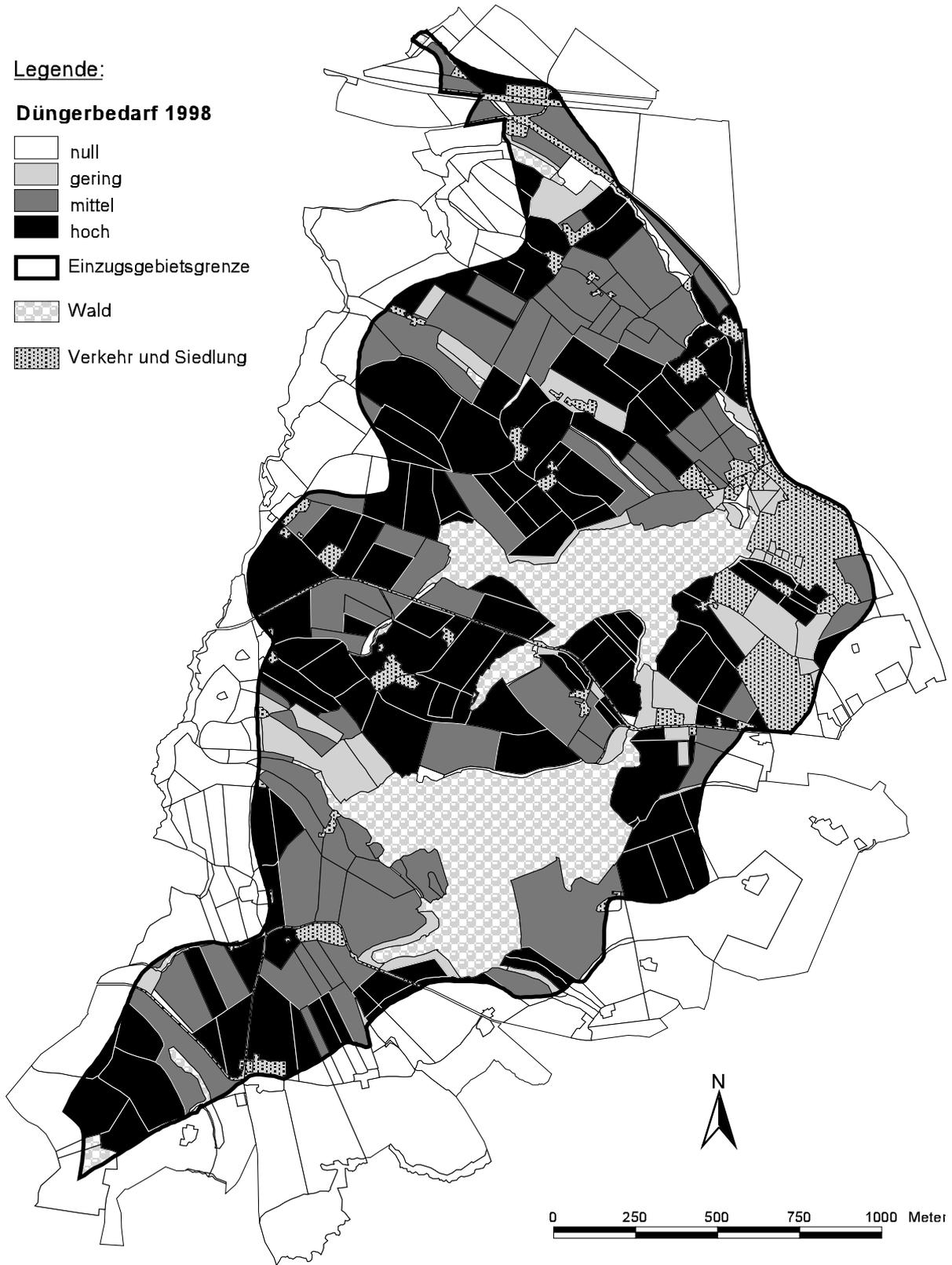


Abbildung 23: Düngerbedarf und -menge 1998 zur Beurteilung der bewirtschaftungsbedingten Gefahr für Phosphorverluste.

Legende:

Effektivität der Massnahmen im Feld

-  keine
-  gering
-  mittel
-  gross
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

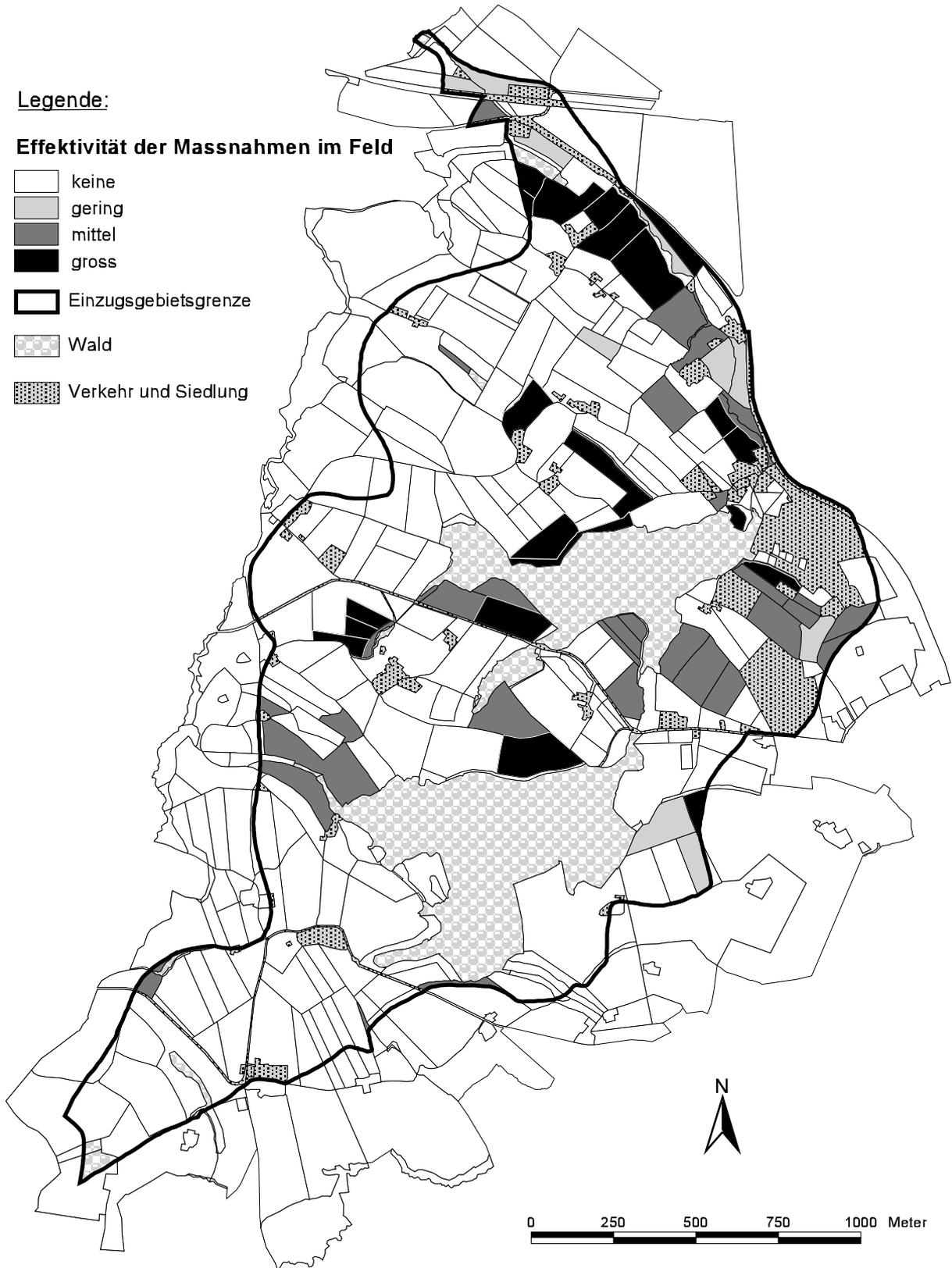


Abbildung 24: Effektivität der Massnahmen im Feld zur Reduktion der bewirtschaftungsbedingten Gefahr für Phosphorverluste.

4. Ergebnisse für das Gebiet des Lippenrütibaches

4.1 Ökologische Entwicklung der Landwirtschaft

In diesem Kapitel wird die Entwicklung der Landwirtschaft zwischen 1990 und 1998 anhand ausgewählter, umweltrelevanter Landwirtschaftsindikatoren aufgezeigt. Alle in Tabelle 6 dargestellten Indikatoren sind eine Aggregation der einzelbetrieblichen Werte; erfasst wurden alle im Projekt involvierten Betriebe.

Tabelle 6: Zusammenstellung der umweltrelevanten Landwirtschaftsindikatoren für die im Projekt involvierten Betriebe für verschiedene Jahre.

Umweltrelevante Indikatoren	1990	1993	1996	1998
<u>Betriebsformen</u>				
Anzahl IP- und BIO-Betriebe	0	Einführung der Öko- Massnahmen	24	28
<u>Flächennutzung im EZG</u>				
IP- und BIO-Flächen [ha]	0		221	252
IP- und BIO-Flächen [% LN ¹⁾]	0		87	99
Ökol. Ausgleichsflächen [ha]	ca. 1		ca. 9	11
Ökol. Ausgleichsflächen [% LN ¹⁾]	ca. 0.4		ca. 3.5	4.3 ²⁾
<u>Nährstoffbilanzen</u> ³⁾				
Tierbestand [DGVE]	1202		1195	1244
<u>Technische Ausrüstung</u> ³⁾				
Güllegruben-Volumen [m ³]	20'000		24'600	-

1) LN (Landwirtschaftliche Nutzfläche im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches) = 255 ha

2) Der restliche Anteil bis zu den geforderten 7% wird durch die Hochstammbäume erbracht, welche für die Fragestellung des Gewässerschutzes jedoch nicht relevant sind

3) Quelle: BFS (2000)

Im Jahr 1990 gab es im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches weder IP- noch BIO-Betriebe; im Jahr 1993 bei der Einführung der Öko-Massnahmen zählte man einen einzigen. Bis 1998 haben die meisten der 29 Betriebe, welche ins Projekt einbezogen wurden, auf IP oder BIO umgestellt: im Jahr 1996 gab es 24 IP- und BIO-Betriebe, deren 28 im Jahr 1998. Im Jahr 1996 wurde eine Fläche von 221 Hektaren und 1998 von 252 Hektaren nach IP- und BIO-Richtlinien bewirtschaftet, was 87% resp. 99% der im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches liegenden landwirtschaftlichen Nutzfläche ausmachte (Abb. 25).

Vor Einführung der Öko-Massnahmen wurden durch die Betriebe im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches Flächen im Umfang von etwa einer Hektare extensiv genutzt; jedoch bezeichnete man sie noch nicht als ‚Ökologische Ausgleichsflächen‘. Im Jahre 1996 umfassten die ökologischen Ausgleichsflächen etwa neun Hektaren (= ca. 3.5% der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) im Einzugsgebiet), im Jahr 1998 etwa elf Hektaren (= ca. 4.3% der LN). Hochstammbäume machen die Differenz zu den gesetzlich vorgegebenen sieben Prozent aus.

Die Entwicklung des Tierbestandes zeigt zwischen 1990 und 1998 keine abnehmende Tendenz und bewegt sich stets um 1200 Düngergrossvieheinheiten (DGVE) (BFS 2000). Diese Werte beziehen sich auf die *Betriebe*, welche in die Untersuchungen im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches einbezogen wurden (und welche z.T. auch Land ausserhalb des Einzugsgebietes des Lippenrütibaches bewirtschaften). Die auf die Schläge ausgebrachte Güllemenge resp. Nährstoffmenge nahm jedoch trotzdem ab. Die Gründe sind: Einsatz von Ökofutter bei Mast- und Zuchtschweinen, Hofdüngerabnahmeverträge, Separierung der Gülle. Im Jahre 1990 waren auf den Betrieben 20'000 Kubikmeter Güllegruben-Volumen vorhanden, im Jahr 1998 24'600, was einer Zunahme von 23% entspricht.

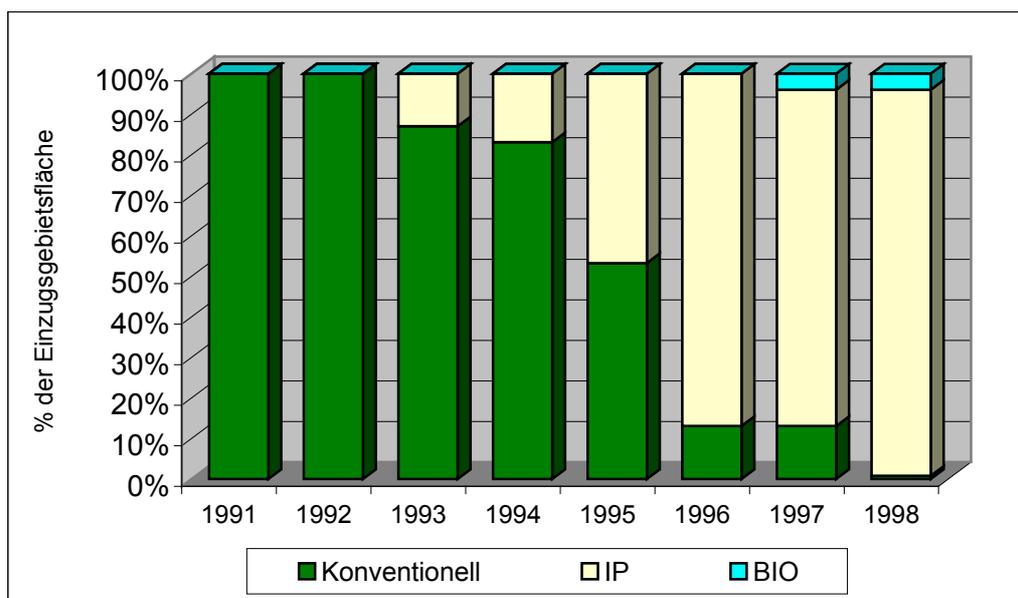


Abbildung 25: Entwicklung des Anteils von IP und BIO an der landwirtschaftlichen Nutzfläche des Einzugsgebietes des Lippenrütibaches.

4.2 Entwicklung der Phosphorbelastung der Gewässer

Um die Entwicklung der Gewässerbelastung im Lippenrütibach zu zeigen, werden als Parameter einerseits der Jahresabfluss und die Jahresfrachten an gelöstem Phosphor, partikulärem Phosphor und Gesamt-Phosphor dargestellt. Andererseits liefern die On-Line-Messungen die Abfluss- und die Phosphatmengen pro Monat resp. pro Tag für das Jahr 1998.

4.2.1 Jahresabfluss und -fracht an Phosphor (P_{TOT}) für 1998

Der Abfluss im Jahr 1998 lag mit ca. 1.0 Mio.m³/J deutlich unter dem Durchschnitt der Jahre 1988-1992 von ca. 1.8 Mio m³/J (Abb. 26). Es war der tiefste Abfluss der vergangenen dreizehn Jahre.

Im Jahr 1998 war die Jahresfracht an Gesamt-Phosphor mit ca. 360 kgP/J so tief, wie sie in den letzten dreizehn Jahre zuvor noch nie war. Sie lag damit deutlich unter dem Durchschnitt von ca. 820 kgP/J der Jahre 1988-1992 vor der Einführung der Öko-Massnahmen (Abb. 26). Die Jahresfracht an gelöstem Phosphor lag in den Jahren 1988-1992 im Durchschnitt bei ca. 320 kgP/J; im Jahr 1998 lag der Wert bei ca. 100 kgP/J. Die entsprechenden Werte für den partikulären Phosphor sind für den Durchschnitt der Jahre 1988-1992 ca. 500 kgP/J und für das Jahr 1998 ca. 260 kgP/J. Die extremen Witterungsverhältnisse im Jahr 1998, mit wenigen und wenig intensiven Niederschlagsereignissen und längeren Trockenperioden, während denen der Bach mehrfach vollständig austrocknete, trugen zu diesen tiefen Frachten bei.

4.2.2 C/Q-Beziehungen

Abbildung 27 zeigt zweierlei: Erstens kann bei den Frachten des gelösten Phosphors eine abnehmende Tendenz im Bereich von ca. 25% zwischen 1990 und 1997 beobachtet werden. Allerdings liegt diese Abnahme innerhalb des Fehlerbereiches von 20-30% (BUTSCHER 1998) und ist nicht signifikant. Sie müsste zudem durch die folgenden Jahre bestätigt werden, insbesondere weil die letzte einbezogene C/Q-Beziehung (Mittel 1996-1998) auf eher trockenen Jahren basieren. Eine eindeutige Aussage über eine effektive Abnahme kann deshalb nicht gemacht werden. Zweitens ist beim partikulären Phosphor keine Tendenz zu erkennen. Erstaunlich ist die sich in den letzten beiden Jahren abzeichnende Zunahme des partikulären Phosphors.

Bei Aussagen, welche die ersten drei Messjahre betreffen, ist noch zu berücksichtigen, dass damals eine andere Probenahmemethode (Stichproben mit Kessel) angewandt wurde, was die Vergleichbarkeit insbesondere beim partikulären Phosphor beeinträchtigen dürfte. Diese drei Jahre wurden in Abbildung 27 unten deshalb nicht dargestellt.

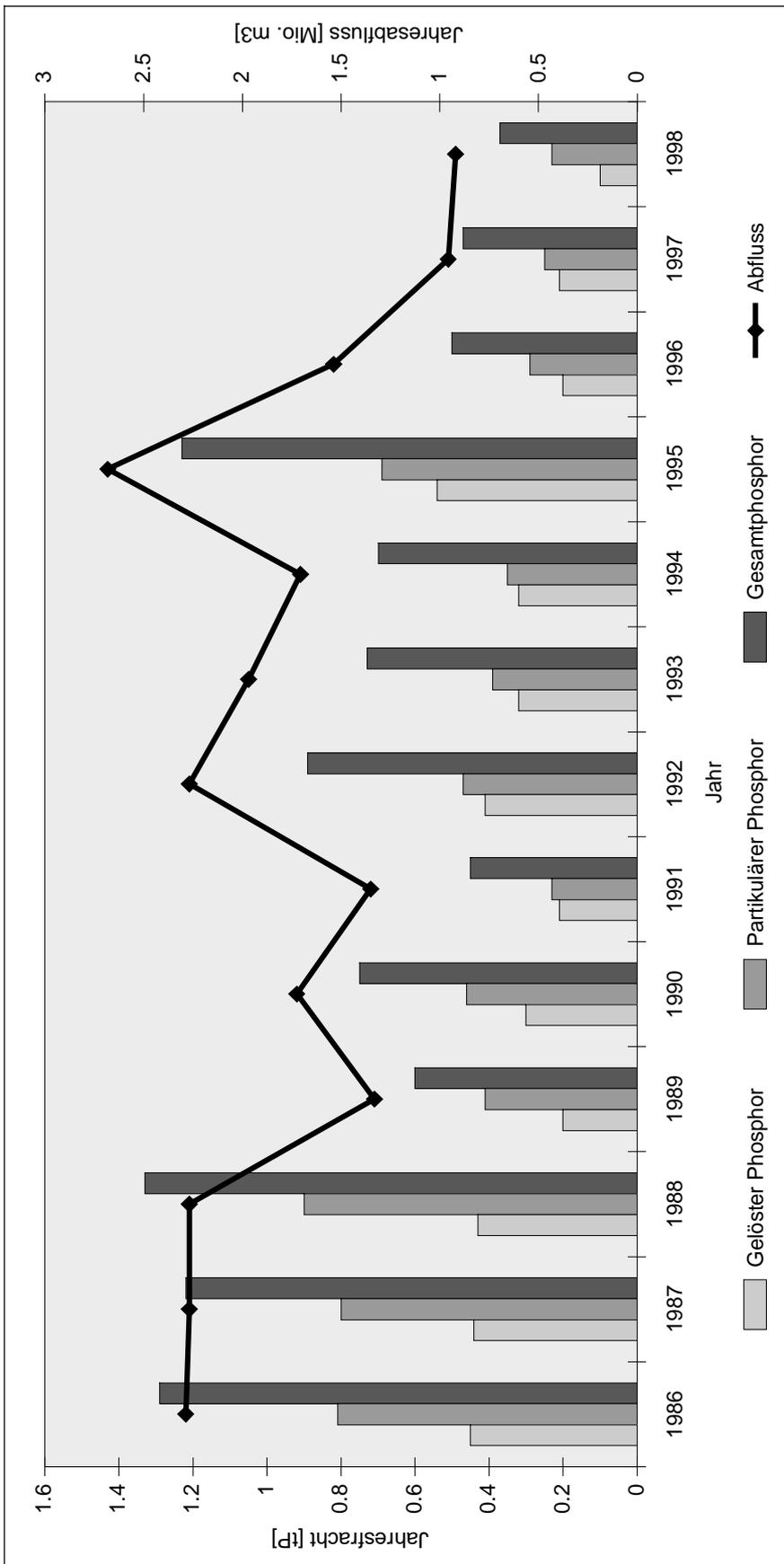


Abbildung 26: Jahresabfluss und Jahresfrachten an gelöstem und partikulärem Phosphor sowie Gesamt-Phosphor im Lippenrütibach 1986 bis 1998 (AFU 1999).

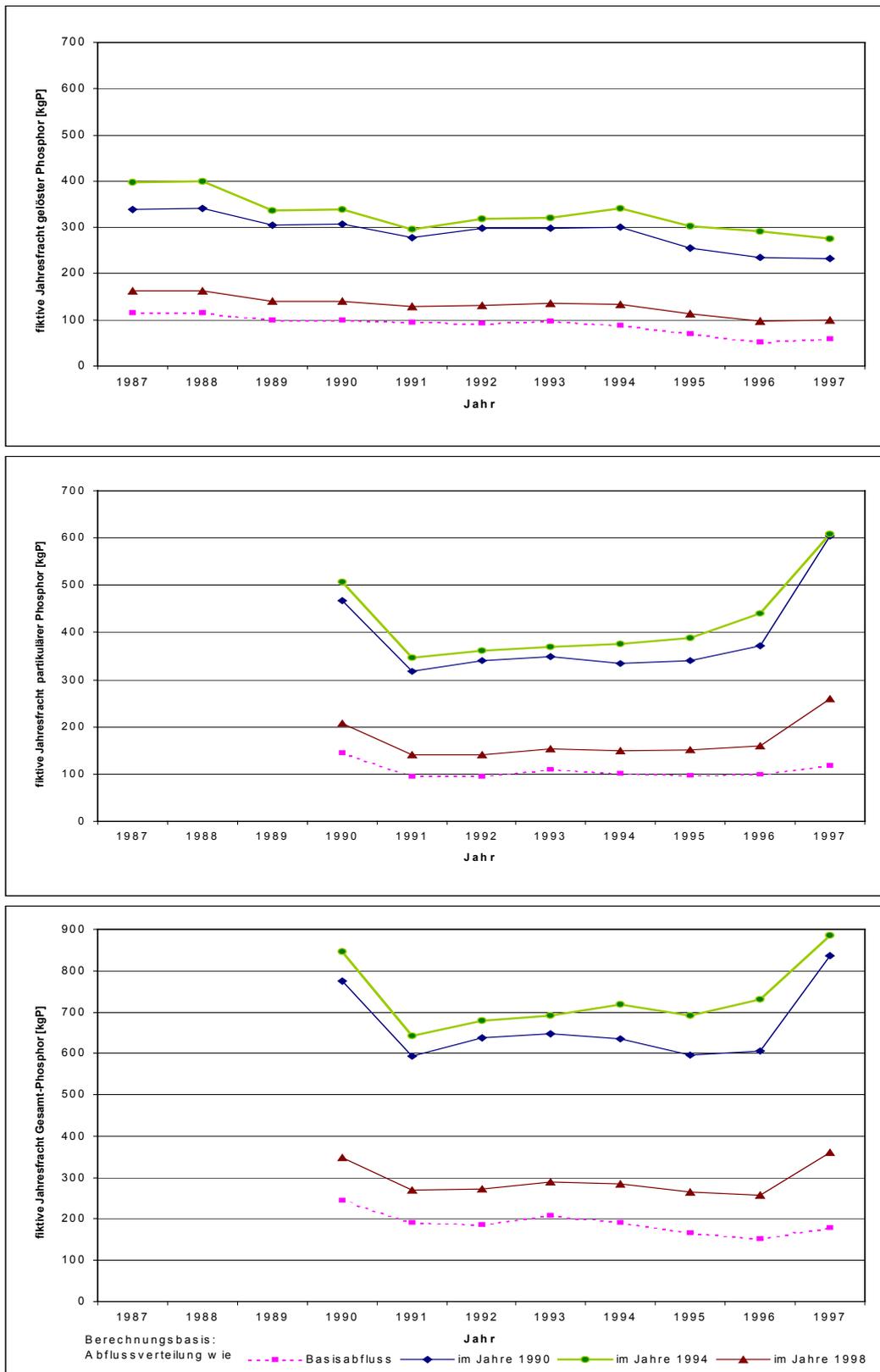


Abbildung 27: Vergleich der Jahresfrachten an gelöstem und partikulärem Phosphor 1986-1997 (berechnet aus den Abflussmengen unterschiedlicher Jahre mit über drei Jahre gleitenden C/Q-Beziehungen, weshalb die Werte von 1998 noch ausstehend sind: AFU 1999).

Ein nach Jahreszeiten unterteilter Vergleich der Konzentrations- und Abflussmesswerte der Hochwasser (ab $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$) vor und nach der Einführung der Öko-Massnahmen (Periode 1986-1992 resp. 1993-1998) ist in Abbildung 28 dargestellt. Für den Winter und den Frühling lassen sich kaum Unterschiede für die beiden Zeiträume ausmachen. Bei den Abbildungen der beiden anderen Jahreszeiten lässt sich vor allem im Herbst bei den Werten der Periode von 1993-1998 eine leichte Dämpfung der Phosphatkonzentrationen ($\text{PO}_4\text{-P}$) während der Hochwasser vermuten. Eine Mittelwertbetrachtung weist für diese Periode gesamthaft ebenfalls tendenziell leicht tiefere Phosphatkonzentrationen bei gleichem Abfluss auf. Die gesamthaft bei gleichem Abfluss etwa zehnpromzentige Abnahme der Konzentrationsmittelwerte liegt allerdings im Fehlerbereich der Messwerte und ist deshalb nicht signifikant.

4.2.3 Monatsabfluss und -frachten an Phosphat ($\text{PO}_4\text{-P}$) im 1998

Ein Blick auf den Jahresverlauf 1998 (Abb. 29) zeigt einen erhöhten Abfluss in den Herbstmonaten, wofür einzelne Abflussspitzen verantwortlich waren. Auch die Spitzenwerte bei den Monatsfrachten an Phosphat waren im September, Oktober und November festzustellen (17-24 kg P pro Monat).

In der Regel treffen in den Monaten Mai bis Juli drei Umstände zusammen, die zu erhöhten Phosphorverlusten und Phosphorfrachten im Bach führen: eine erhöhte Anzahl Gülleausträge, die Frühlingsniederschläge und damit verbunden eine relative hohe Bodenfeuchte. Deshalb wurde im Mittel der Jahre 1986 bis 1998 in den Monaten Mai bis Juli jeweils ein Drittel der Jahresfracht festgestellt (Tab. 7). Im Jahr 1998 waren die Monate Mai bis Juli aufgrund der Witterungsbedingungen aber nur gerade mit 2% an der Jahresfracht 1998 beteiligt, wohingegen in den Herbstmonaten September bis November ca. 67% der Jahresfracht gemessen wurden. Der Grund waren die bedeutenden Niederschlagsereignisse in jenen Monaten (siehe Tab. 11).

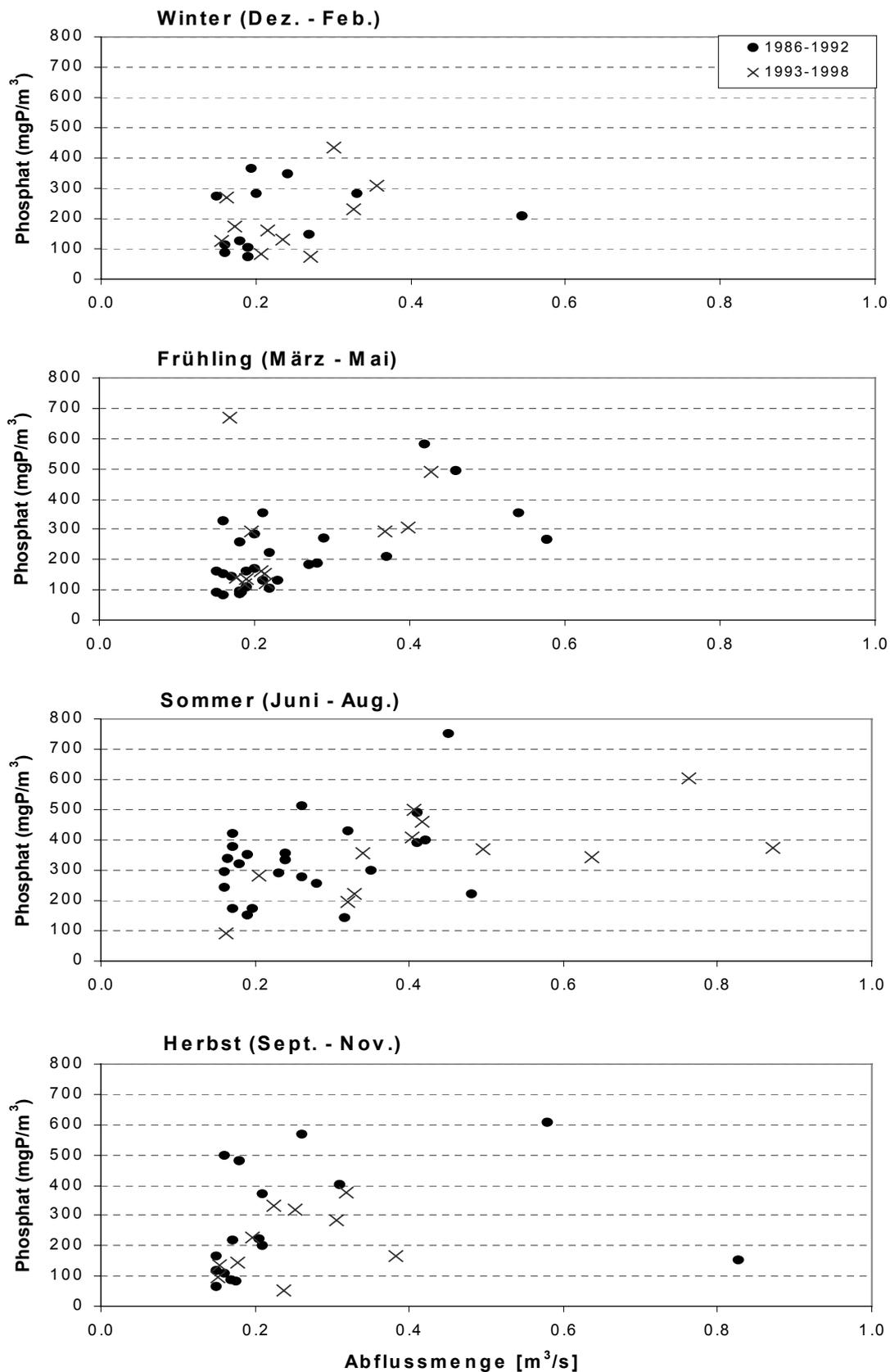


Abbildung 28: Hochwasserabflüsse (zwischen 0.15-1.0 m³/s) und Phosphat-Konzentrationen (PO₄-P) vor und nach der Einführung der Öko-Massnahmen, aufgeteilt nach Jahreszeiten. (Im Frühling liegt ein Hochwasser mit 1.65 m³/s und 480 mgP/m³ ausserhalb des Rahmens und wurde deshalb nicht abgebildet.)

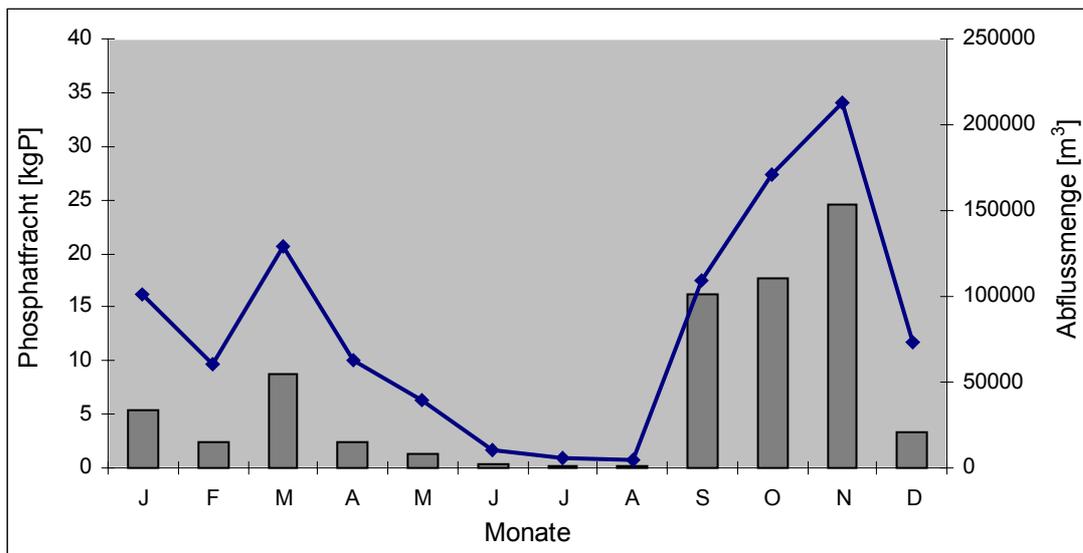


Abbildung 29: Monatsabfluss (Linie) und Monatsfrachten an Phosphat (PO₄-P) (Säulen) im Jahr 1998 (AFU 1999).

Tabelle 7: Anteil der Monatsfrachten an der Jahresfracht an Phosphat (PO₄-P) in [%] von 1986 bis 1998.

Monat		JAN	FEB	MÄR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
Jahr	1986	16	2	14	18	15	17	2	4	2	2	4	4
	1987	5	13	9	10	9	25	3	5	8	2	5	5
	1988	4	7	22	9	9	19	3	2	3	8	3	12
	1989	5	4	11	24	4	1	19	10	6	7	5	4
	1990	1	4	7	8	20	14	7	1	1	6	22	8
	1991	14	3	6	5	27	13	4	1	0	0	14	13
	1992	1	9	7	7	1	5	15	2	4	16	16	16
	1993	2	1	5	8	11	6	26	8	6	11	7	10
	1994	14	4	3	5	43	8	1	1	6	6	2	6
	1995	12	12	7	4	7	17	1	5	6	1	3	27
	1996	9	3	9	2	14	3	18	3	1	15	13	12
	1997	3	4	1	3	2	22	58	1	0	0	0	6
	1998	7	4	11	4	2	0	0	0	19	20	28	5
Mittel		7	5	9	8	13	11	12	3	5	7	9	10

4.2.4 Tagesabfluss und -frachten an Phosphat (PO₄-P) im 1998

Die On-Line-Messungen zeigten Tagesspitzen von 1.0-4.5 kg (PO₄-P) pro Tag in den Monaten Juli bis November (Tab. 8). Die Tage mit einem oder mehr Kilogramm Phosphatfracht lieferten zusammen 42% der Jahresfracht und traten alle in der zweiten Jahreshälfte auf. Bei sieben Ereignissen betrugen die Phosphatfrachten 2 kg pro Tag oder mehr. Ein Drittel der Jahresfracht ist diesen Ereignissen zuzuschreiben.

Die Hochwasserereignisse (bei Routinemessung ab einer Abflussmenge von ca. 0.15 m³/s) trugen mit einem Anteil von nur gerade 14% an der Jahresabflussmenge aber 35% zur Jahresfracht an Phosphat bei. Sie sind deckungsgleich mit den Tagen in der höchsten Abflussklasse (Abflüsse mit mehr als 10'000 m³/Tag: Tab. 9). Der grösste Beitrag an der Jahresfracht trug das Hochwasser vom 11. September mit 10% bei (entspricht fast 10 kg Phosphatfracht). Dass ein Drittel der Jahresfracht auf wenige grosse Ereignisse zurückzuführen ist, obwohl 1998 ein ereignisarmes Jahr mit Hochwasserereignissen mit vergleichsweise geringem Ausmass war, unterstreicht die Bedeutung von Einzelereignissen in Bezug auf die Jahresfrachten und somit auf den Austragsweg der Abschwemmung.

Tage mit maximalen Konzentrationen traten vor allem von Juni bis September auf (Tab. 10). Dabei handelt es sich neben Hochwasserereignissen auch um Gülleereignisse.

Tabelle 8: Anzahl Tage mit verschiedenen Phosphatfrachten (PO₄-P) pro Tag im Jahr 1998.

1998	Anzahl Tage mit < 0.25 kg/Tag	Anzahl Tage mit 0.25-0.49 kg/Tag	Anzahl Tage mit 0.5-0.99 kg/Tag	Anzahl Tage mit ≥ 1kg/Tag
Januar	23	7	1	0
Februar	27	1	0	0
März	29	1	1	0
April	30	0	0	0
Mai	31	0	0	0
Juni	21	7	2	0
Juli	26	4	0	1
August	21	6	3	1
September	18	2	7	3
Oktober	21	2	4	4
November	21	5	0	4
Dezember	27	2	2	0
Total	295	37	20	13

Tabelle 9: Anzahl Tage mit verschiedenen Abflüssen pro Tag im Jahr 1998.

1998	Anzahl Tage mit < 3000 m ³ /Tag	Anzahl Tage mit 3000-4999 m ³ /Tag	Anzahl Tage mit 5000-9999 m ³ /Tag	Anzahl Tage mit ≥ 10'000 m ³ /Tag
Januar	17	12	2	0
Februar	25	2	1	0
März	25	5	1	0
April	29	1	0	0
Mai	29	2	0	0
Juni	24	5	1	0
Juli	30	1	0	0
August	29	2	0	0
September	22	5	1	2
Oktober	4	18	5	4
November	12	9	6	3
Dezember	26	2	3	0
Total	272	64	20	9

Tabelle 10: Anzahl Tage mit verschiedenen maximalen Phosphatkonzentrationen (PO₄-P) pro Tag im Jahr 1998 (es liegt nicht an allen Tagen eine Messung vor).

1998	Anzahl Tage mit < 50 mg/m ³	Anzahl Tage mit 50-99 mg/m ³	Anzahl Tage mit 100-109 mg/m ³	Anzahl Tage mit ≥ 110 mg/m ³
Januar	8	3	0	1
Februar	11	6	0	2
März	17	4	1	2
April	29	0	0	1
Mai	9	13	2	2
Juni	1	15	1	13
Juli	2	10	8	11
August	0	0	0	11
September	1	9	0	13
Oktober	9	12	0	5
November	14	12	0	3
Dezember	10	12	3	6
Total	111	96	15	70

Da 1998 zum ersten Mal On-Line-Messungen im Lippenrütibach durchgeführt wurden, können noch keine Vergleiche mit anderen Jahren angestellt werden. Ein Vergleich zwischen der mittels On-Line-Messungen für 1998 ermittelten Jahresfracht und der berechneten Jahresfracht aus der Routinemessung ergab eine gute Übereinstimmung.

4.3 Modell zur Verknüpfung der Gewässerbelastung mit der Landwirtschaft

Mit Hilfe des Modelles werden die ökologische Entwicklung der Landwirtschaft und die Entwicklung der Gewässerbelastung durch Phosphor miteinander in Beziehung gesetzt. Das Modell verarbeitet dazu die in Kapitel 3 vorgestellten Parameter und Faktoren und stellt die Synthese der einzelnen klassierten Faktoren in Form von Gefahrenkarten dar.

4.3.1 Standortbedingte Gefahr für Phosphorverluste

a) Boden

Die Schläge mit einer geringen standortbedingten Gefahr für Phosphorverluste beim Parameter ‚Boden‘ sind selten (nur 1% aller Schläge). Die meisten Schläge weisen eine mittlere (46%) oder eine hohe standortbedingte Gefahr (50%) auf. Bei 3% der Schläge wird die standortbedingte Gefahr beim Parameter Boden als sehr hoch beurteilt (Abb. 30). Auf die Fläche bezogen haben 43% der Fläche aller Schläge eine mittlere und 55% eine hohe standortbedingte Gefahr.

b) Topographie

Auch beim Parameter ‚Topographie‘ gibt es nur einige wenige Schläge mit geringer standortbedingter Gefahr (2% aller Schläge). Praktisch alle liegen in der Klasse mit einer mittleren (43%) oder einer hohen standortbedingten Gefahr (54%). Eine sehr hohe standortbedingte Gefahr weisen 1% der Schläge auf (Abb. 31). Bezogen auf die Fläche aller Schläge liegen zwei Drittel der Fläche in der Kategorie der hohen standortbedingten Gefahr für Phosphorverluste.

c) Lage zum Einleiter

Bei 24% aller Schläge ist die standortbedingte Gefahr des Parameters ‚Lage zum Einleiter‘ gering, bei 14% ist sie mittel, bei 19% hoch und bei 44% sehr hoch (Abb. 32). Das bedeutet, dass fast zwei Drittel aller Schläge entweder nahe oder angrenzend zu einem Gewässer oder zu einem Einlaufschacht liegen. Die Schläge, welche eine sehr hohe standortbedingte Gefahr bezüglich Lage zum Einleiter aufweisen, nehmen 47% der Fläche aller Schläge ein, diejenigen mit einer hohen standortbedingten Gefahr ca. 14%.

d) Standortbedingte Gefahr

Praktisch alle Schläge weisen eine mittlere (38%) oder eine hohe (61%) standortbedingte Gefahr für Phosphorverluste auf (Abb. 33). Bezogen auf die Fläche sind die entsprechenden Werte 35% respektive 64%. Indem das Schwergewicht bei einer hohen standortbedingten Gefahr liegt, wird deutlich, dass die meisten Schläge standortbedingt zu hohen Phosphorverlusten neigen. Daran wird keine Massnahme etwas ändern können.

4.3.2 Bewirtschaftungsbedingte Gefahr für Phosphorverluste

a) Bodennutzung 1998

Schläge mit einer geringen bewirtschaftungsbedingten Gefahr beim Parameter ‚Bodennutzung‘ gibt es praktisch nicht (nur 2% aller Schläge: Abb. 34). Die Bodennutzung schafft bei 23% aller Schläge eine mittlere, bei 44% eine hohe und bei 31% eine sehr hohe bewirtschaftungsbedingte Gefahr. Dies kommt auch daher, dass viel Schläge punktuell oder flächenhaft drainiert sind. In Bezug auf die Fläche weisen 43% eine hohe und 46% eine sehr hohe bewirtschaftungsbedingte Gefahr auf.

b) Betrieb 1998

Praktisch alle Schläge gehören zu Betrieben mit einem Phosphordeckungsgrad in der Nähe der tolerierten Obergrenze von 110%, was deutlich bei der bewirtschaftungsbedingten Gefahr des Parameters ‚Betrieb‘ zum Ausdruck kommt, indem abgesehen von einzelnen Ausnahmen 60% der Schläge in der Kategorie hoch und 35% in der Kategorie sehr hoch liegen (Abb. 35).

c) Pflanzenbauliche Nutzung 1998

Die pflanzenbauliche Nutzung führt auf den meisten Schlägen zu einer hohen (31% aller Schläge) oder zu einer sehr hohen (44%) bewirtschaftungsbedingten Gefahr (Abb. 36). Bezogen auf die Fläche aller Schläge liegen 37% in der Kategorie einer hohen respektive 52% in der Kategorie einer sehr hohen bewirtschaftungsbedingten Gefahr für Phosphorverluste. Die bewirtschaftungsbedingte Gefahr ist auf 9% der Schläge und Fläche null, weil dort kein Dünger ausgetragen wurde und keine Beweidung stattgefunden hat.

d) Massnahmen zur Reduktion der Phosphorverluste im Feld 1998

Auf 75% der Schläge wird die bewirtschaftungsbedingte Gefahr durch keine Massnahme im Feld reduziert (Abb. 37). Auf 4% der Schläge ist die Reduktion der bewirtschaftungsbedingten Gefahr gering, auf 13% mittel und auf 8% hoch. Die analogen Werte auf die Fläche be-

zogen sind praktisch dieselben. Die häufigsten Massnahmen im Gebiet waren 1998 das Anbringen an eine darunterliegende extensiv genutzte Fläche und Filterstreifen am unteren Parzellenrand.

e) Bewirtschaftungsbedingte Gefahr 1998

Die bewirtschaftungsbedingte Gefahr für Phosphorverluste (Abb. 38) liegt als Folge der praktisch durchwegs hohen und sehr hohen Gefahr bei den einzelnen Parametern und fehlender Massnahmen im Feld bei der Mehrzahl der Schläge in den Kategorien hoch (50% aller Schläge) und sehr hoch (19%). Ungefähr 13% der Schläge weisen eine mittlere bewirtschaftungsbedingte Gefahr auf, 17% eine geringe oder keine bewirtschaftungsbedingte Gefahr. Bezogen auf die Fläche aller Schläge weisen 59% eine hohe und 29% eine sehr hohe bewirtschaftungsbedingte Gefahr auf. Auf den extensiv genutzten Schlägen ohne Düngerausstrag ist die bewirtschaftungsbedingte Gefahr null.

4.3.3 Austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für Phosphorverluste

a) Niederschlagsereignisse 1998

Der Jahresniederschlag bei der Station Sempach betrug 1998 lediglich 952 mm (Tab. 11), was vergleichbar mit den trockenen Jahren 1989 und 1991 ist. Das langjährige Mittel liegt bei ca. 1040 mm. An 26 Tagen wurden Niederschlagsmengen von mehr als 10 mm gemessen, was verglichen mit anderen Jahren gering ist (vergleiche auch KUNZE 1994). Erwähnenswert scheint auch, dass 1998 nur sieben solche Niederschlagsereignisse in der ersten Jahreshälfte auftraten und die höchsten Monatssummen in den Herbstmonaten zu verzeichnen waren. An 82% aller Tage hat es entweder nicht geregnet oder das Niederschlagsereignis war unbedeutend (< 5 mm), an 11% der Tage war das Ereignis gering (5-9.9 mm), an 3% der Tage mittel (10-14.9 mm) und an 4% der Tage bedeutend (≥ 15 mm). Die Mehrzahl der bedeutenden Ereignisse fiel auf die zweite Jahreshälfte.

Tabelle 11: Monatssummen des Niederschlages und Anzahl Tage mit verschiedenen Niederschlagshöhen für das Jahr 1998 (SMA-Station Sempach).

1998	Monatssumme [mm]	Anzahl Tage mit < 5 mm	Anzahl Tage mit 5-9.9 mm	Anzahl Tage mit 10-14.9 mm	Anzahl Tage mit ≥ 15 mm
Januar	61.0	26	4	1	0
Februar	35.4	25	2	0	1
März	53.2	26	5	0	0
April	65.8	25	5	0	0
Mai	47.4	26	3	2	0
Juni	89.5	23	4	1	2
Juli	101.4	24	3	3	1
August	84.7	25	3	0	3
September	153.5	24	1	0	5
Oktober	126.0	21	6	2	2
November	101.2	26	1	1	2
Dezember	32.7	28	3	0	0
Total	951.8	299	40	10	16
Anteil in %		82	11	3	4

b) Bodenzustand 1998

An 35% der Tage war der Boden abgetrocknet, an 25% der Tage feucht, an 14% der Tage ausgetrocknet (Klassierung 3 im Sommer) oder nass (Klassierung 3 im Winter) und an 25% der Tage wassergesättigt oder sehr nass (Tab. 12). In den Monaten Juli bis November gab es in jedem Monat mehr als zehn Tage mit einer Bodenfeuchte, welche eine sehr hohe ausstragungs- und ereignisbedingte Gefahr für Phosphorverluste bedeutete.

c) Düngungszeitpunkte 1998

Abbildung 39 zeigt, auf welchen Schlägen wieviele Gülleausträge im Jahr 1998 durchgeführt wurden. Auf 24% aller 272 Schläge (oder 10% der Fläche) wurde nie Dünger ausgetragen. Auf 46% aller Schläge erfolgten 1-4 Düngerausträge, auf 28% deren 5-8 und auf 3% (oder 6% der Fläche) mehr als acht. Die Beweidung ist in diesen Zahlen nicht berücksichtigt. Im ganzen Jahr 1998 erfolgten auf den 272 Schlägen gesamthaft 1676 Düngerausträge (siehe Anhang). Dass auf einzelnen Schlägen mehr als acht Düngerausträge durchgeführt wurden, ist darauf zurückzuführen, dass der Landwirt auf diesen Schlägen jeweils nur Teilflächen des Schlages düngte.

Tabelle 12: Anzahl Tage mit verschiedenen Klassierungen bezüglich Bodenzustand für das Jahr 1998.

1998	Anzahl Tage mit abgetrocknetem Boden	Anzahl Tage mit feuchtem Boden	Anzahl Tage mit ausgetrocknetem resp. nassem Boden	Anzahl Tage mit wassergesättigtem oder sehr nassem Boden
Januar	18	1	7	5
Februar	13	9	1	5
März	15	10	6	0
April	30	0	0	0
Mai	9	7	10	5
Juni	7	7	7	9
Juli	7	8	4	12
August	7	11	0	13
September	6	11	0	13
Oktober	5	9	1	16
November	0	8	9	13
Dezember	12	10	7	2
Total	129	91	52	93
Anteil in %	35	25	14	25

d) Austragungs- und ereignisbedingte Gefahr 1998

Aus den Tabellen im Anhang kann die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für jeden Schlag und jeden Tag entnommen werden. Sie ist besonders interessant für die zeitliche Auflösung der Gefahr für Phosphorverluste auf einem Schlag im Verlaufe des Jahres 1998 und den Bezug zu besonderen Ereignissen (siehe Kapitel 4.4.1). In Abbildung 40 ist die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für jeden Schlag während dem ganzen Jahr 1998 dargestellt. Auf 21% der Schläge ist die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für das ganze Jahr 1998 null, auf 26% gering, auf 43% hoch und auf 10% sehr hoch. Bezogen auf die Fläche liegen 53% in der Klasse hoch und 14% in der Klasse sehr hoch.

4.3.4 Gesamt-Gefahr für Phosphorverluste

a) Gesamt-Gefahr als Synthese der standortbedingten, bewirtschaftungsbedingten sowie austragungs- und ereignisbedingten Gefahr

Abbildung 41 stellt die Gesamt-Gefahr für alle Schläge für das Jahr 1998 dar. Demnach weisen 21% der Schläge keine oder eine geringe, 26% eine mittlere, 48% eine hohe und 4% eine sehr hohe Gesamt-Gefahr für Phosphorverluste auf. Bezogen auf die Fläche liegen 7% resp. 26% in den unteren beiden Klassen und 58% resp. 8% in den oberen beiden.

Die Gesamt-Gefahr ist die Grundlage, um die Jahresfracht im Lippenrütibach auf die 272 Schläge zu verteilen (siehe Kap. 4.4.3). Zur Beurteilung der Wirkung der Öko-Massnahmen ist es zudem wichtig, die verschiedenen Kombinationen der Teilgefahren anzusehen.

b) Kombination von problematischen Standorten, Bewirtschaftung und Düngerausträgen

Von den 272 Schlägen weisen 165 Schläge (= 61% aller Schläge oder 68% der LN) eine hohe oder sehr hohe standortbedingte Gefahr auf (Tab. 13 und 14):

- Von den 165 Schlägen hatten 118 Schläge (= 44% aller Schläge oder 58% der LN) nicht nur eine hohe oder sehr hohe standortbedingte Gefahr, *sondern auch noch* eine hohe oder sehr hohe bewirtschaftungsbedingte Gefahr im Jahr 1998.
- Von diesen 118 Schlägen war auf 82 Schlägen (= 31% aller Schläge oder 41% der LN) neben der hohen oder sehr hohen standortbedingten *und* der hohen oder sehr hohen bewirtschaftungsbedingten Gefahr *auch noch* die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr im Jahr 1998 hoch oder sehr hoch.
- Von den 165 Schlägen mit einer hohen oder sehr hohen standortbedingten Gefahr hatten 47 Schläge (= 17% aller Schläge oder 10% der LN) eine geringe oder mittlere bewirtschaftungsbedingte Gefahr im Jahr 1998.
- Von diesen 47 Schlägen war auf 39 Schlägen (= 14% aller Schläge oder 6% der LN) neben der hohen oder sehr hohen standortbedingten *und* der geringen oder mittleren bewirtschaftungsbedingten Gefahr *auch* die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr im Jahr 1998 null oder gering. Auf diesen 6% der landwirtschaftlichen Nutzfläche, welche standortbedingt für die Gewässer problematisch sind, hat man das Wunschziel bezüglich Gewässerschutz verwirklichen können: eine unproblematische Bewirtschaftung sowie unproblematische (oder keine) Düngerausträge mehr.

Abbildung 42 zeigt die verschiedene Kombination von standortbedingter, bewirtschaftungsbedingter sowie austragungs- und ereignisbedingter Gefahr für Phosphorverluste im Jahr 1998 für alle Schläge.

Legende:

Standortbedingte Gefahr: Boden

-  gering
-  mittel
-  hoch
-  sehr hoch
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

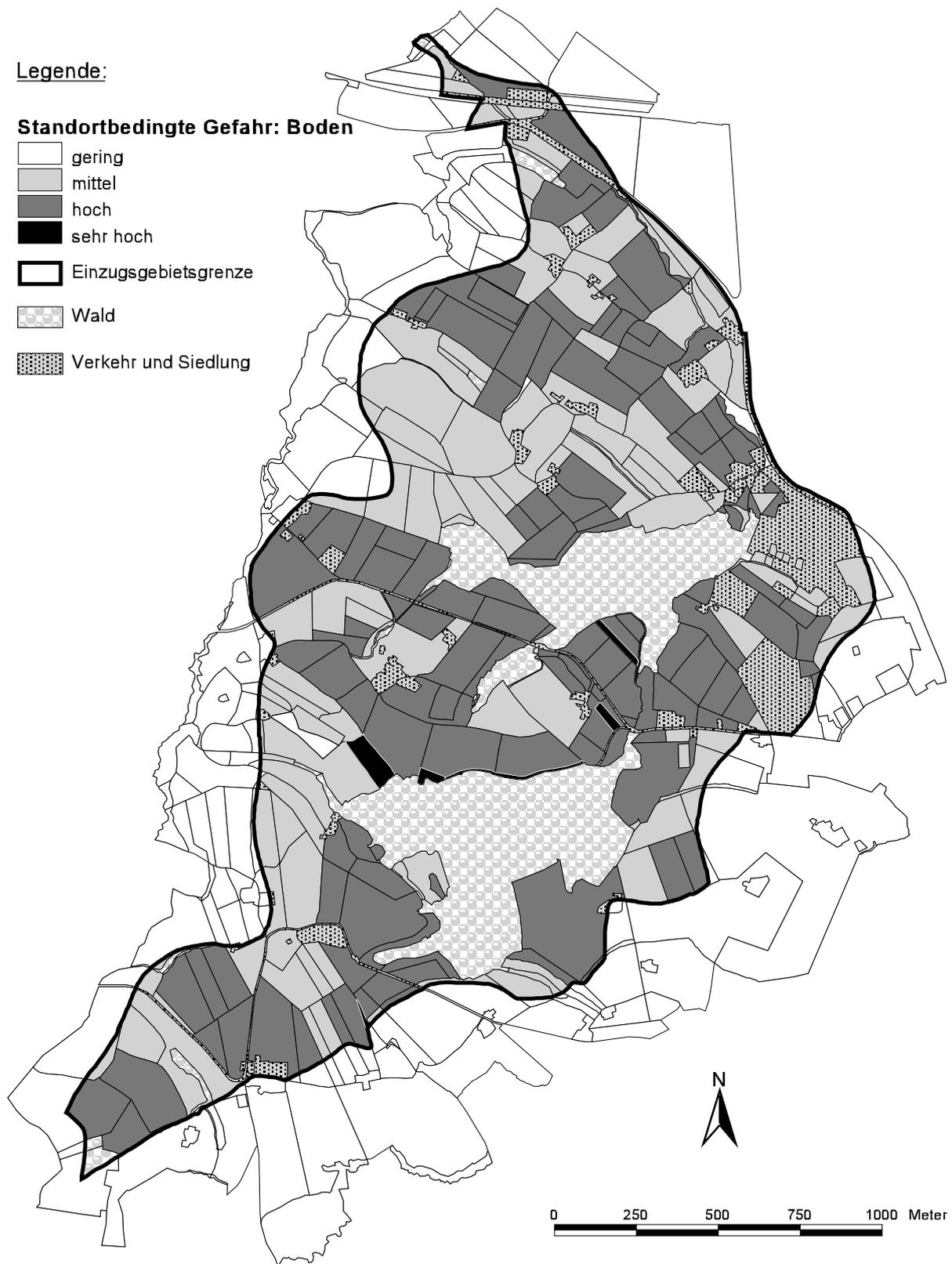


Abbildung 30: Standortbedingte Gefahr für Phosphorverluste: Parameter Boden.

Legende:

**Standortbedingte Gefahr:
Topographie**

-  gering
-  mittel
-  hoch
-  sehr hoch

 Einzugsgebietsgrenze

 Wald

 Verkehr und Siedlung

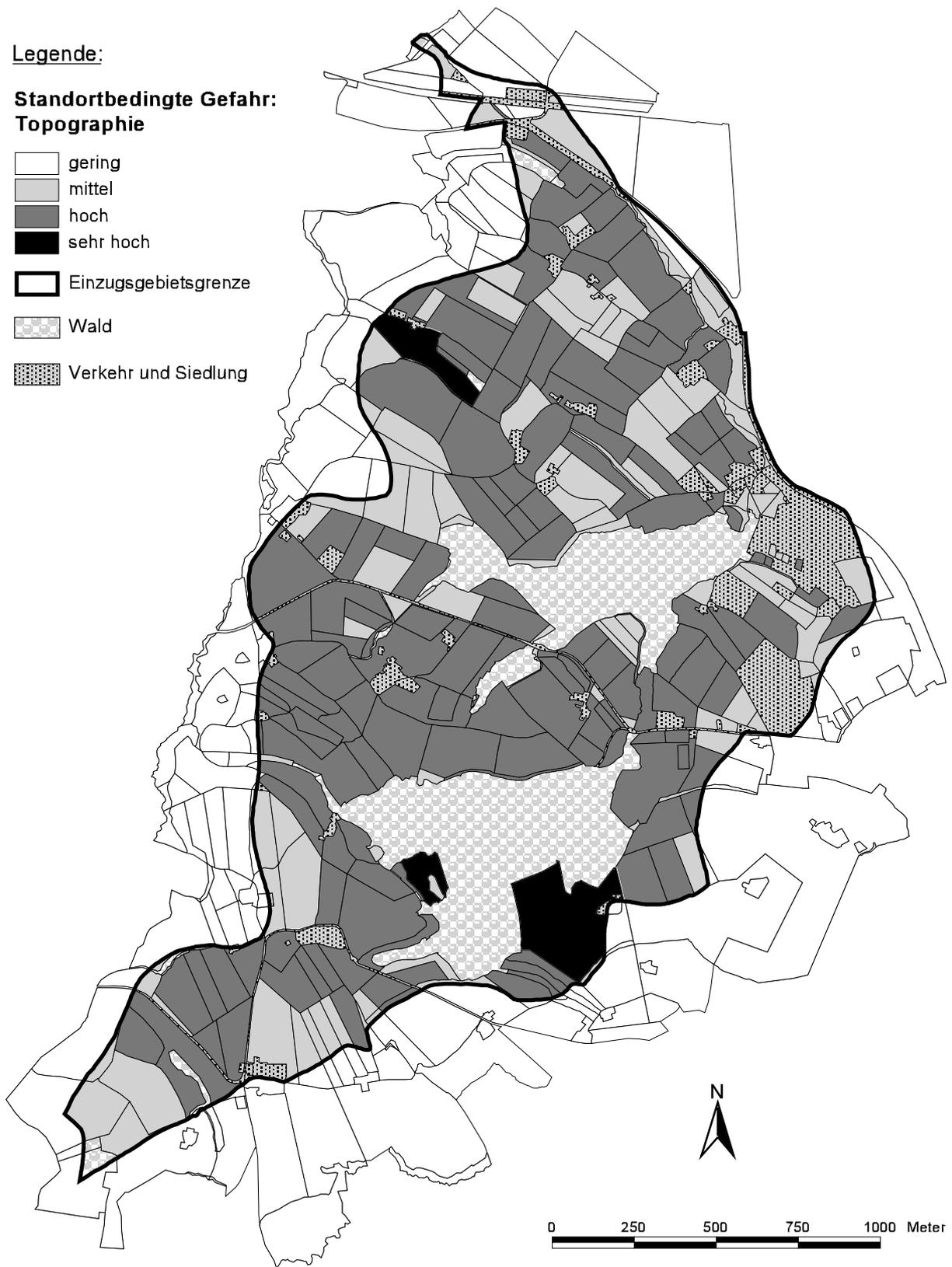


Abbildung 31: Standortbedingte Gefahr für Phosphorverluste: Parameter Topographie.

Legende:

**Standortbedingte Gefahr:
Lage zum Einleiter**

-  gering
-  mittel
-  hoch
-  sehr hoch

 offene Einlaufschächte

 Gewässer

 Einzugsgebietsgrenze

 Wald

 Verkehr und Siedlung

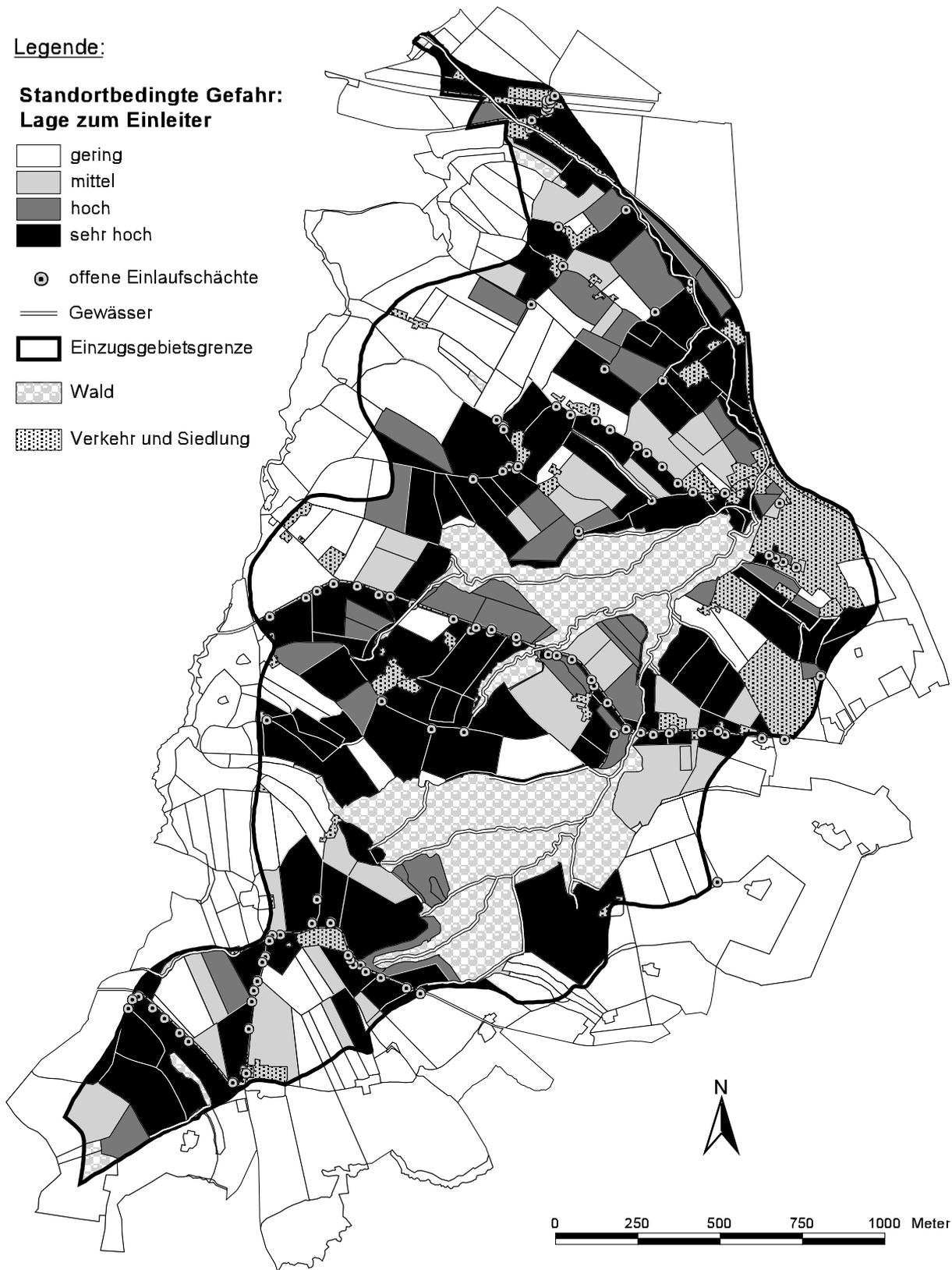


Abbildung 32: Standortbedingte Gefahr für Phosphorverluste: Parameter Lage zum Einleiter.

Legende:

Standortbedingte Gefahr

-  gering
-  mittel
-  hoch
-  sehr hoch

 Einzugsgebietsgrenze

 Wald

 Verkehr und Siedlung

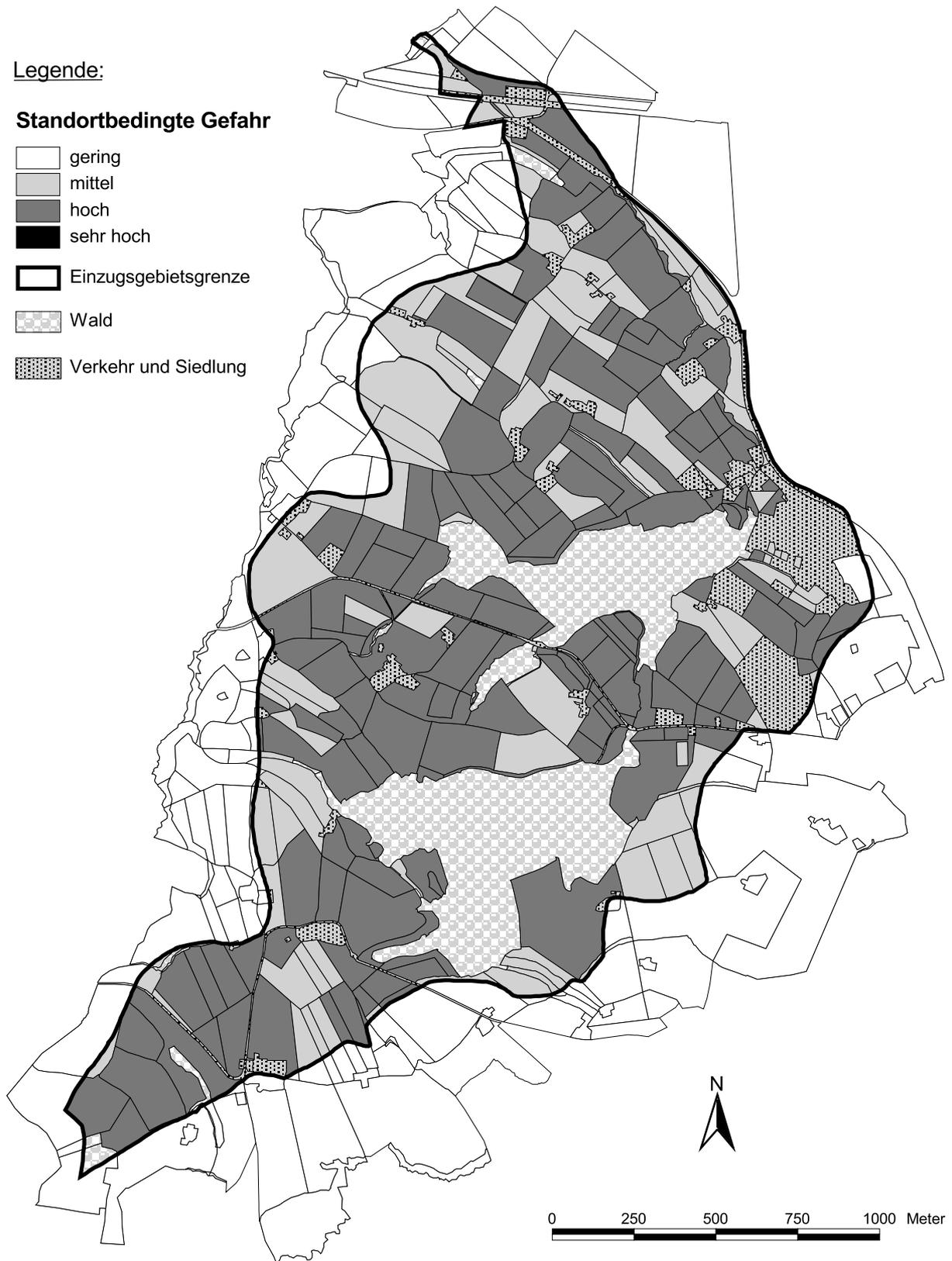


Abbildung 33: Standortbedingte Gefahr für Phosphorverluste.

Legende:

**Bewirtschaftungsbedingte Gefahr:
Bodennutzung 1998**

-  gering
-  mittel
-  hoch
-  sehr hoch
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

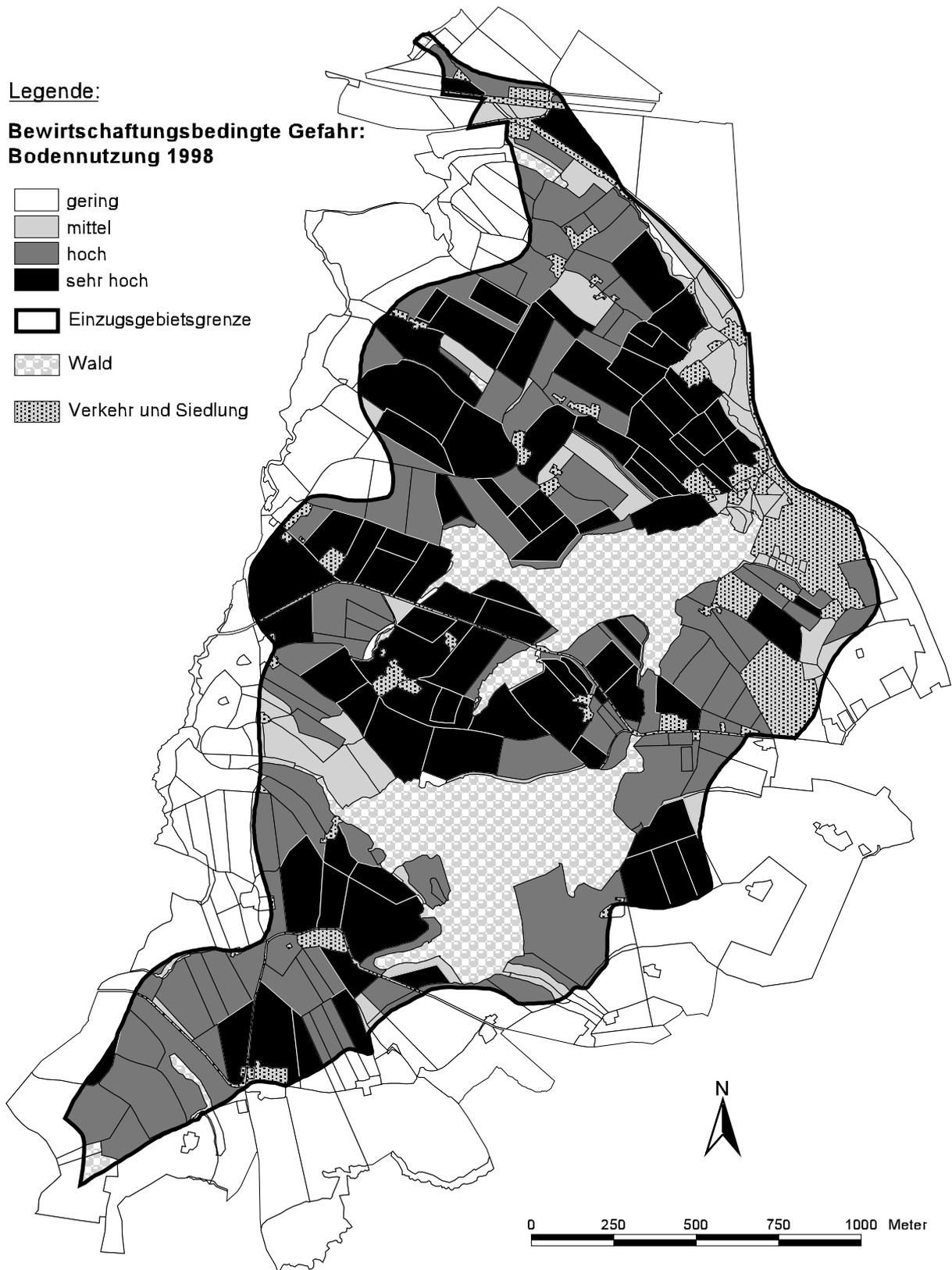


Abbildung 34: Bewirtschaftungsbedingte Gefahr für Phosphorverluste: Parameter Bodennutzung 1998.

Legende:

**Bewirtschaftungsbedingte Gefahr:
Betrieb 1998**

-  gering
-  mittel
-  hoch
-  sehr hoch
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

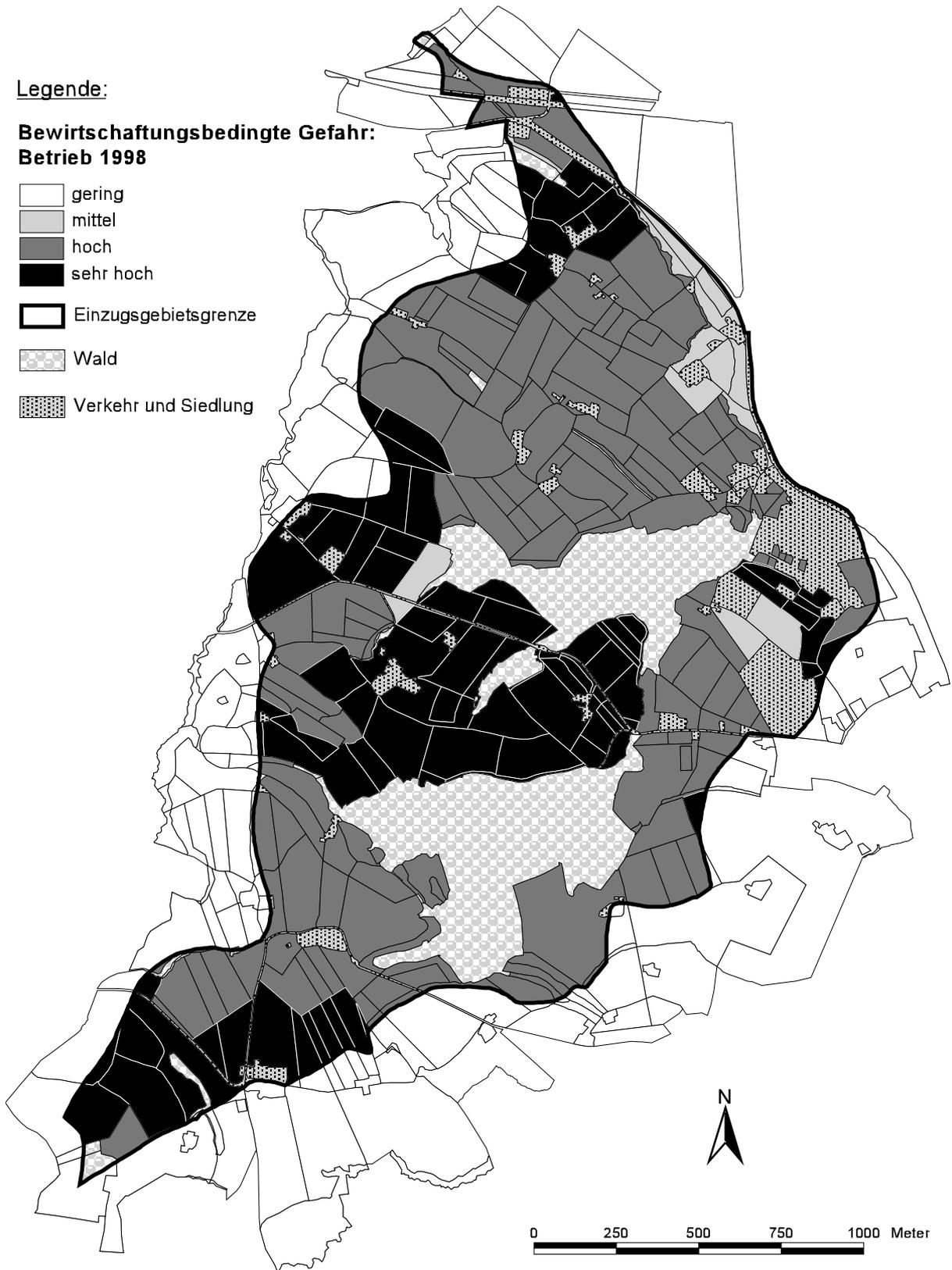


Abbildung 35: Bewirtschaftungsbedingte Gefahr für Phosphorverluste: Parameter Betrieb 1998.

Legende:

**Bewirtschaftungsbedingte Gefahr:
Pflanzenbauliche Nutzung 1998**

-  gering
-  mittel
-  hoch
-  sehr hoch
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

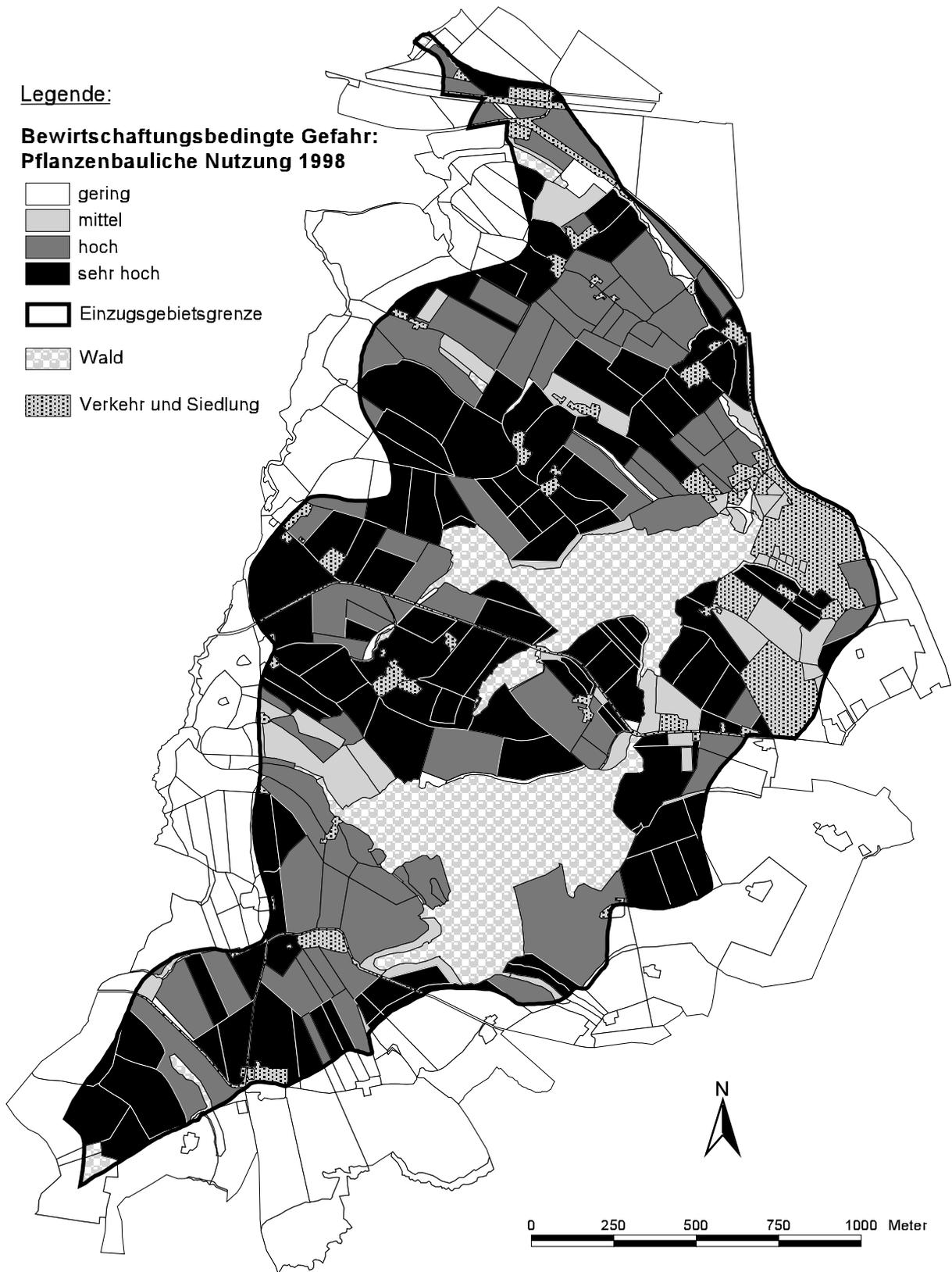


Abbildung 36: Bewirtschaftungsbedingte Gefahr für Phosphorverluste: Parameter pflanzenbauliche Nutzung 1998.

Legende:

**Reduktion der bewirtschaftungsbedingten Gefahr:
Massnahmen im Feld 1998**

-  keine
-  gering
-  mittel
-  gross
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

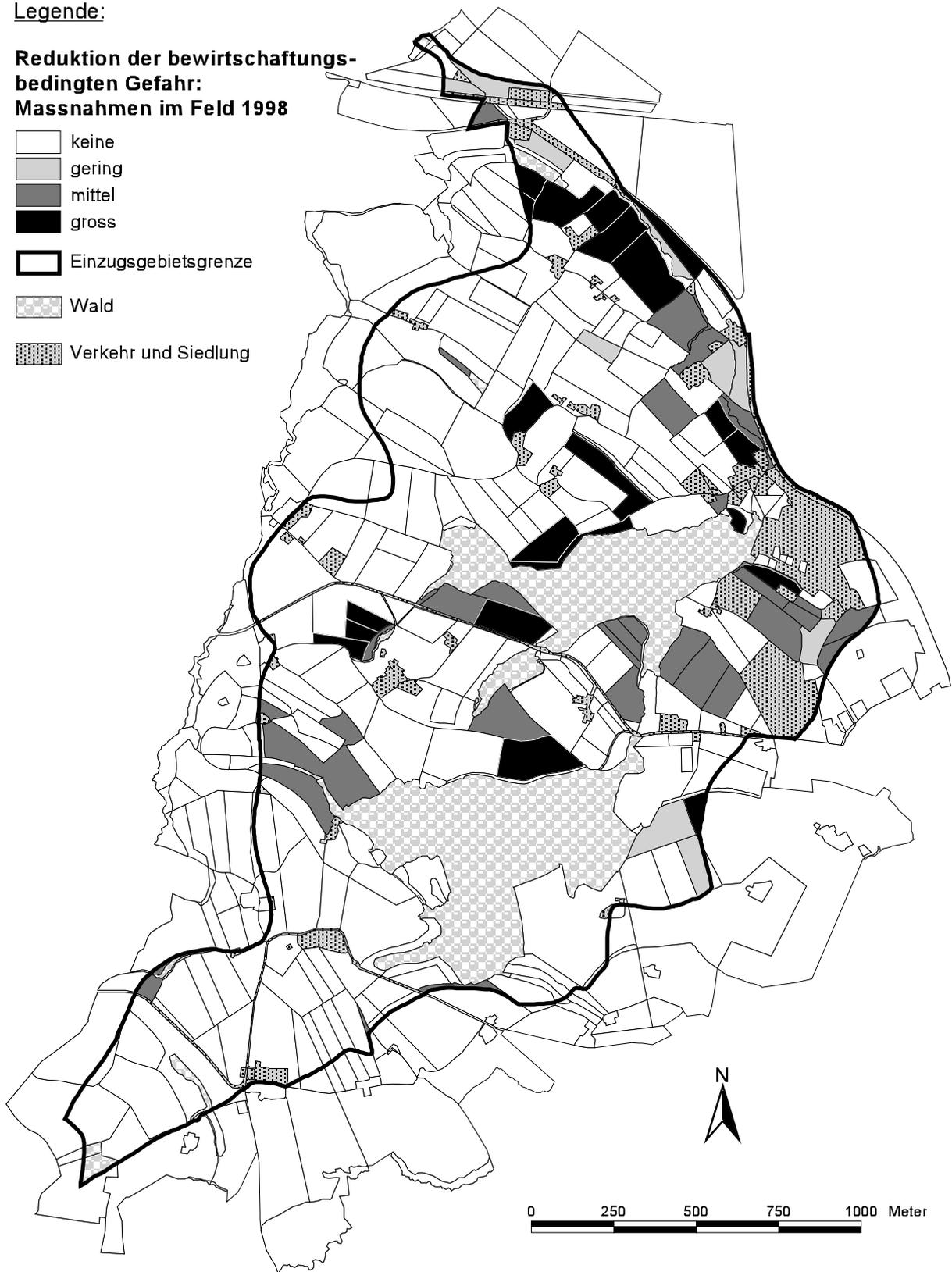


Abbildung 37: Reduktion der bewirtschaftungsbedingten Gefahr für Phosphorverluste: Parameter Massnahmen im Feld 1998.

Legende:

Bewirtschaftungsbedingte Gefahr 1998

-  keine oder gering
-  mittel
-  hoch
-  sehr hoch
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

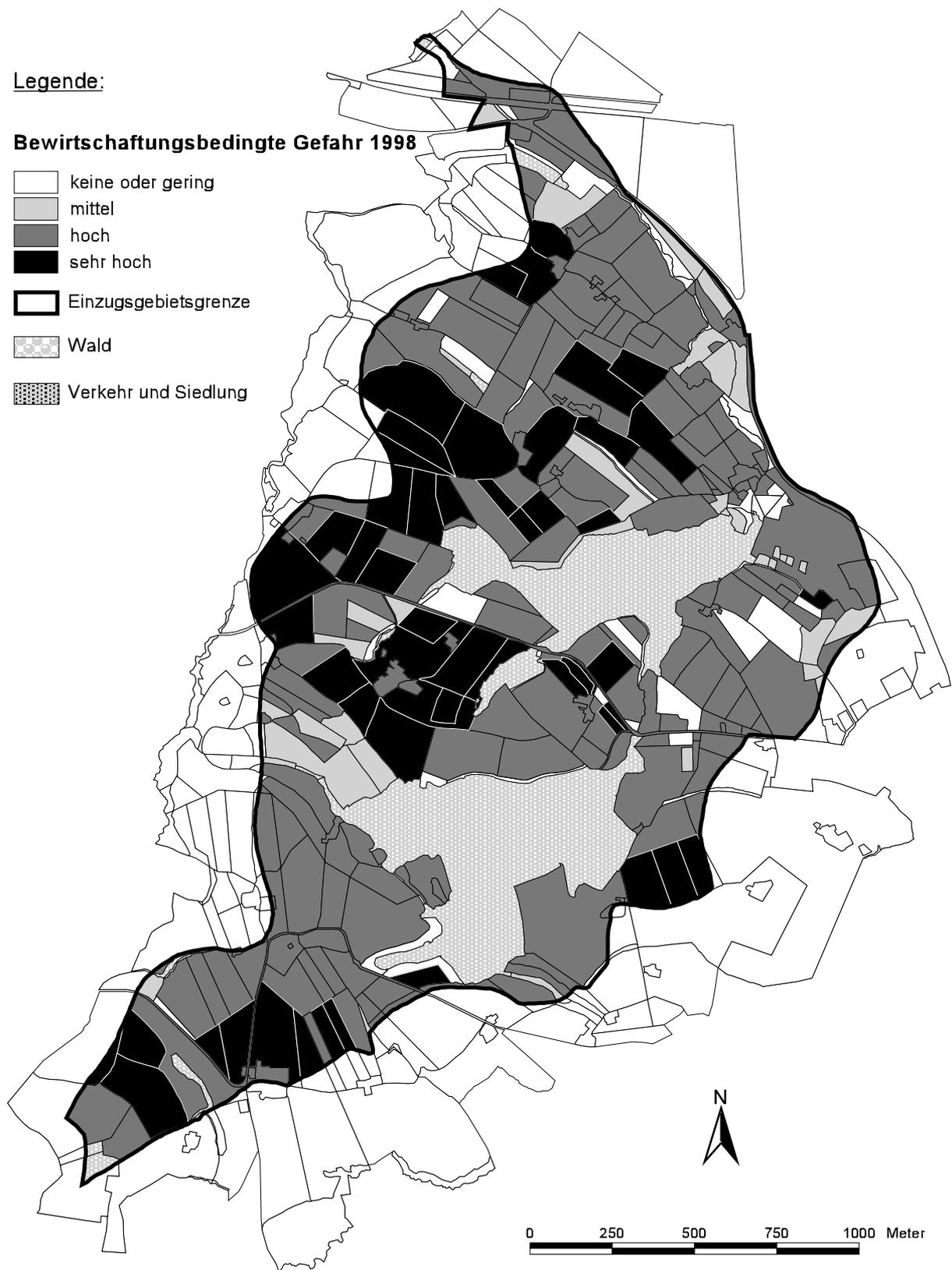


Abbildung 38: Bewirtschaftungsbedingte Gefahr für Phosphorverluste 1998.

Legende:

Anzahl Gülleausträge 1998

-  0
-  1 - 4
-  5 - 8
-  > 8
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

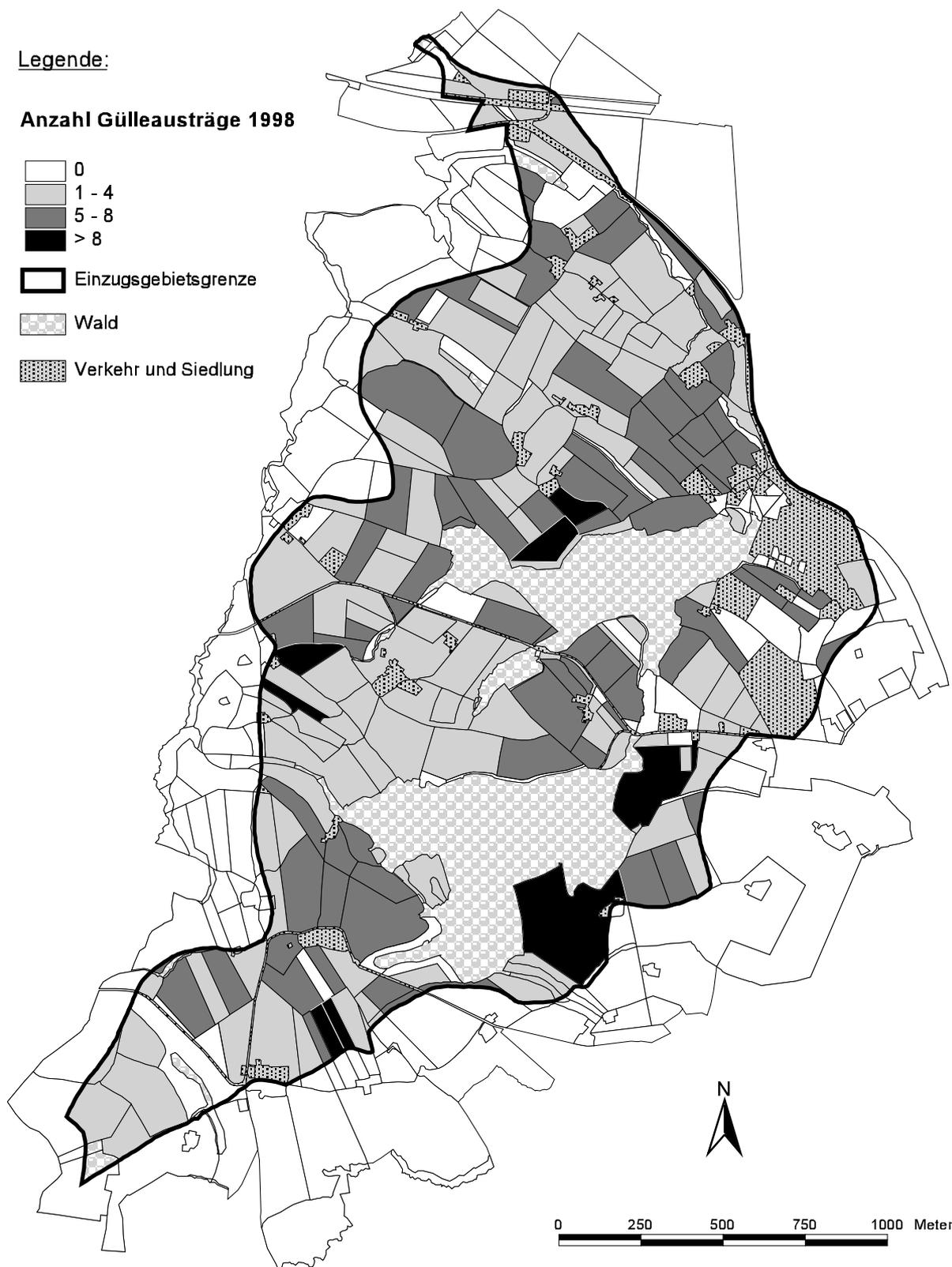


Abbildung 39: Anzahl Gülleausträge pro Schlag 1998.

Legende:

**Austragungs- und ereignis-
bedingte Gefahr 1998**

-  keine
-  gering
-  hoch
-  sehr hoch
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

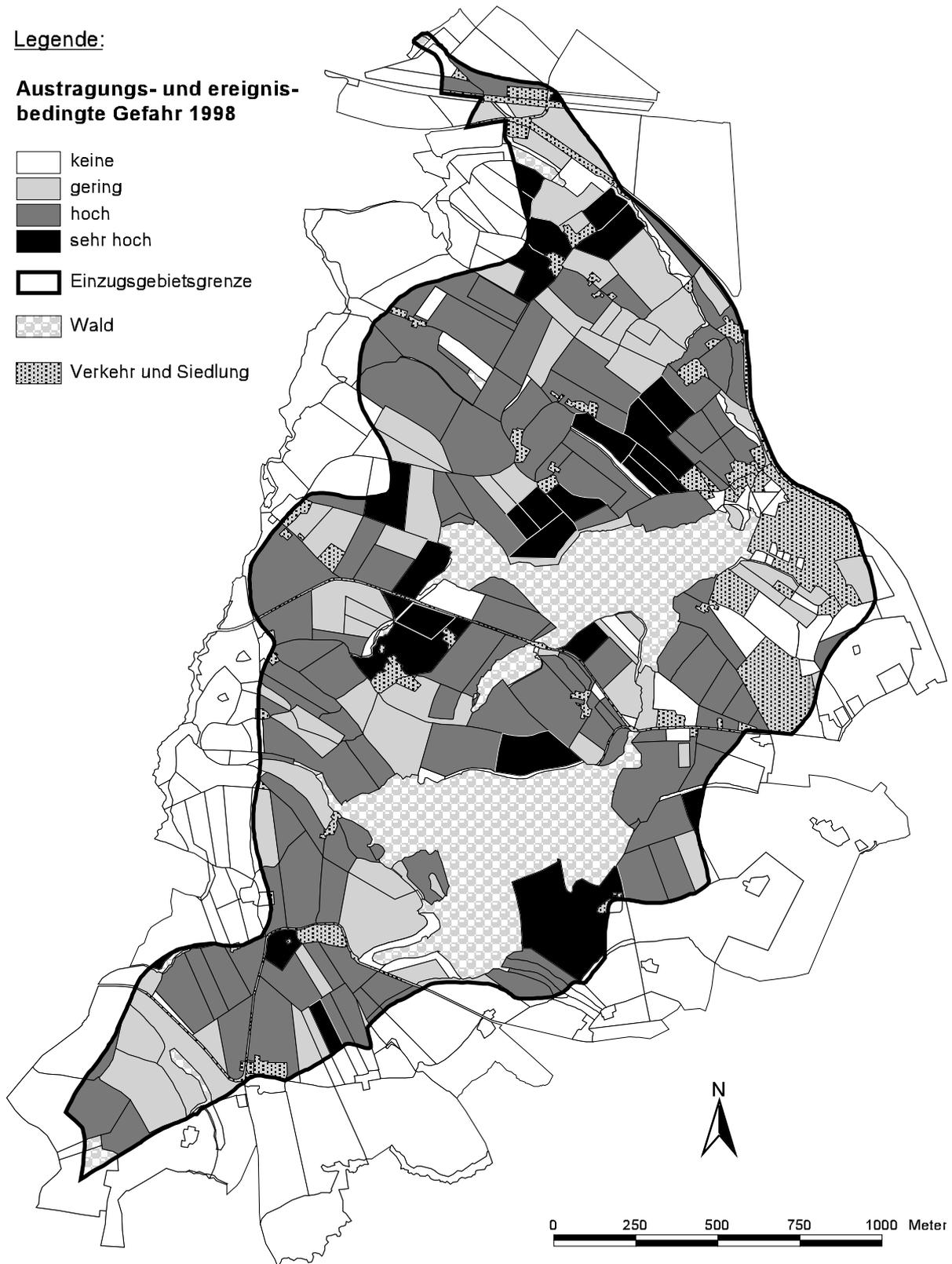


Abbildung 40: Austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für Phosphorverluste 1998.

Legende:

Gesamt-Gefahr 1998

-  gering
-  mittel
-  hoch
-  sehr hoch
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

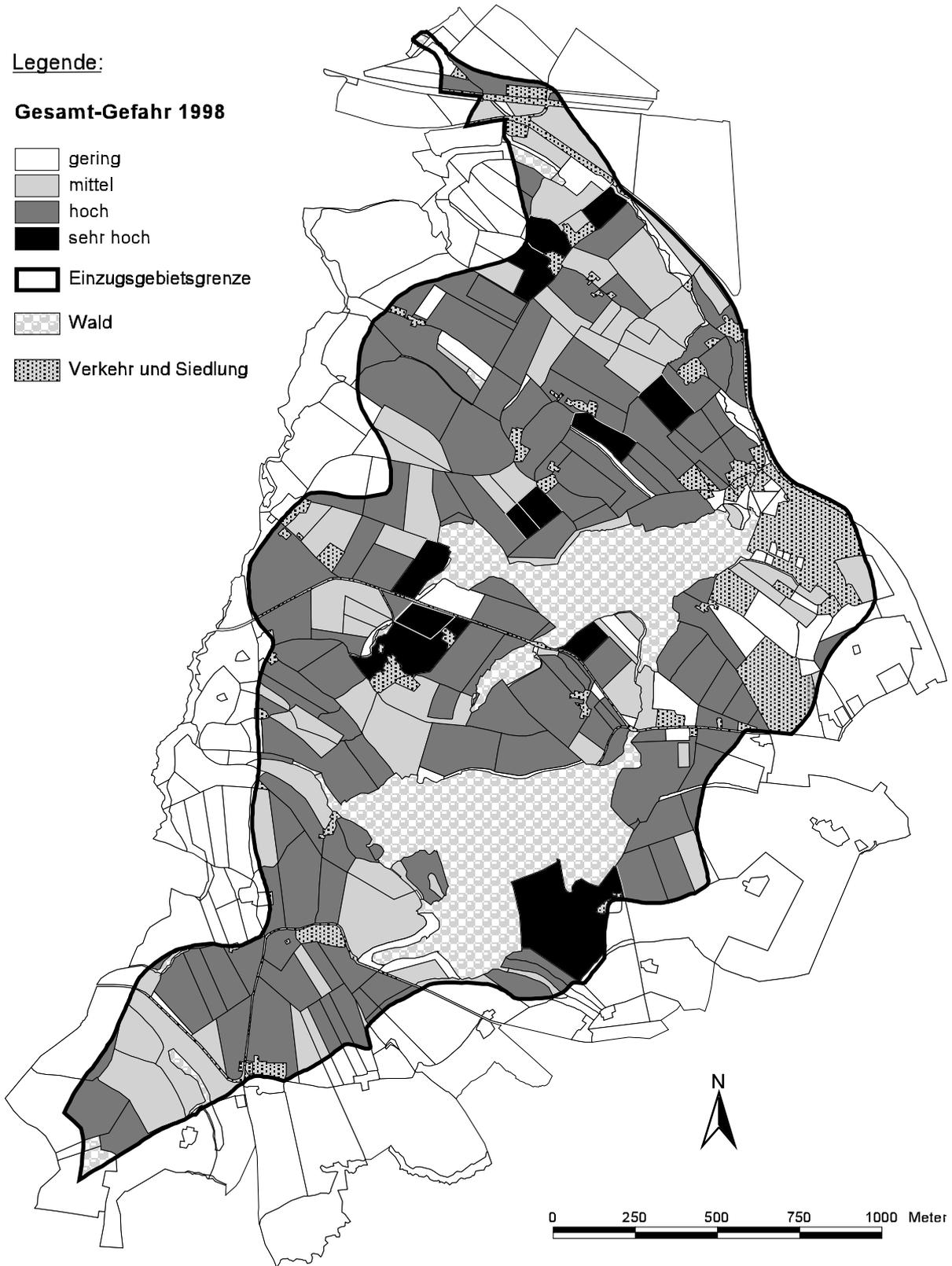


Abbildung 41: Gesamt-Gefahr für Phosphorverluste 1998.

Legende:

Kombinationen im 1998

-  standortbedingte Gefahr ist in den unteren beiden Gefahrenklassen
-  standortbedingte Gefahr ist hoch oder sehr hoch, die anderen beiden Gefahren sind in den unteren zwei Gefahrenklassen
-  standort- und bewirtschaftungsbedingte Gefahr sind hoch oder sehr hoch, austragungs- und ereignisbedingte Gefahr ist in den unteren beiden Gefahrenklassen
-  alle Gefahren sind hoch oder sehr hoch
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

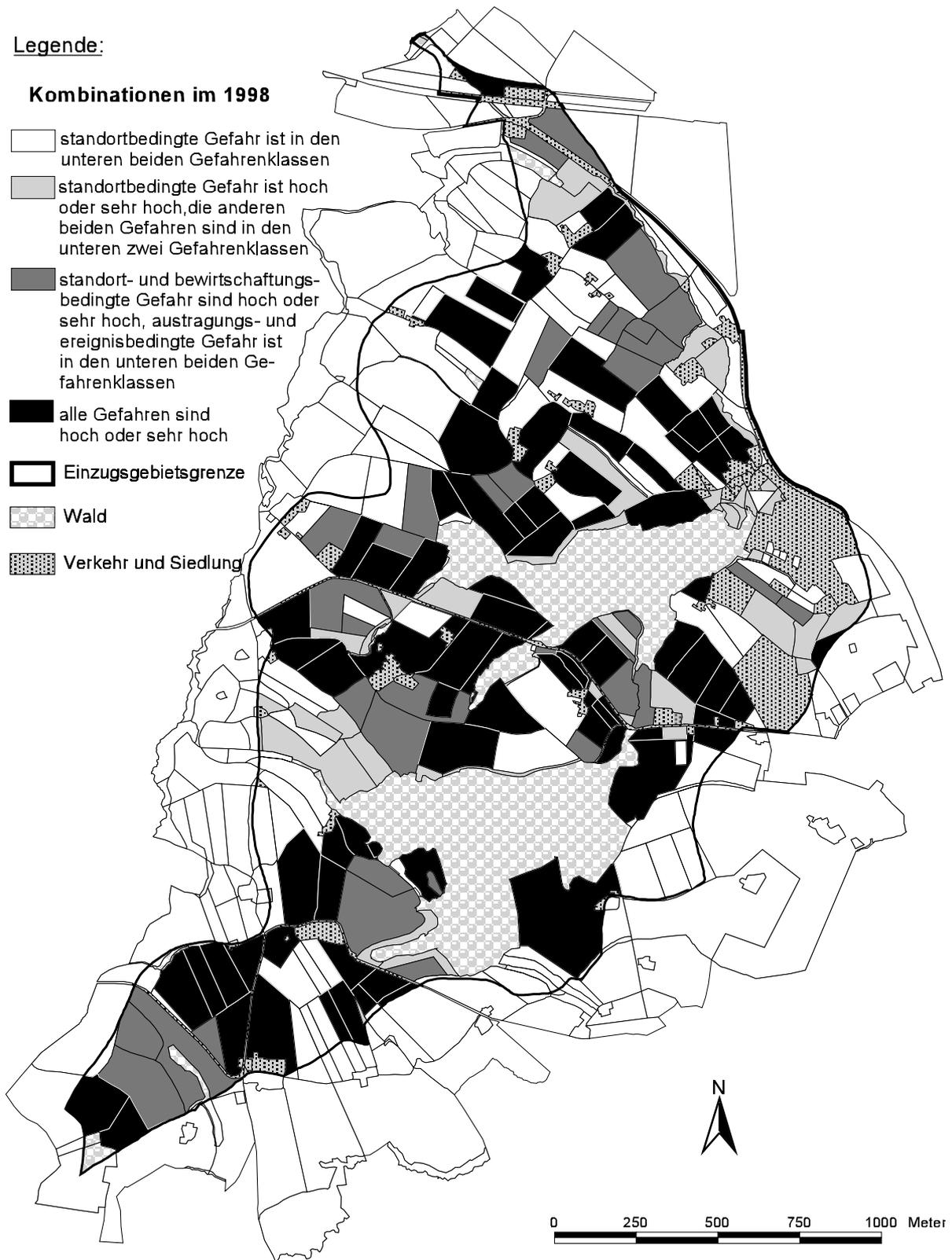


Abbildung 42: Kombinationen von standortbedingter, bewirtschaftungsbedingter sowie austragungs- und ereignisbedingter Gefahr für alle Schläge im Jahr 1998.

Etwa ein Drittel der extensiv und wenig intensiv genutzten Wiesen (bezogen auf die Fläche und auf die Anzahl Schläge) wurden auf unproblematischen Standorten (mit einer standortbedingten Gefahr für Phosphorverluste in den unteren beiden Klassen) angelegt, etwa zwei Drittel auf problematischen Standorten (mit einer standortbedingten Gefahr für Phosphorverluste in den oberen beiden Klassen). Die 384 Aren auf unproblematischen resp. 670 Aren auf problematischen Standorten machen von der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche des Einzugsgebietes 1.5 % resp. 2.6 % aus (oder 5 % resp. 14 % aller Schläge).

4.4 Kausalzusammenhänge

4.4.1 Bezug der Frachtspitzen zu einzelnen Schlägen

In Abbildung 43 werden für 1998 die Niederschläge, die Verteilung der Düngehäufigkeit, die Tagesfrachten an Phosphat ($\text{PO}_4\text{-P}$) und die maximale austragungs- und ereignisbedingte Gefahr zueinander in Beziehung gesetzt. Daraus lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Hohe oder sehr hohe Phosphatfrachten im Lippenrütibach ($> 0.5 \text{ kg/Tag}$ resp. $> 1.0 \text{ kg/Tag}$) stehen praktisch immer in Zusammenhang mit einem mittleren oder bedeutenden Niederschlagsereignis ($> 10 \text{ mm/Tag}$ resp. $> 15 \text{ mm/Tag}$).
- Die Phosphatfracht im Bach steht nicht in direktem Zusammenhang mit der Düngehäufigkeit; so kam es z.B. in den Monaten April und Mai zu keinen hohen oder sehr hohen Phosphatfrachten ($> 0.5 \text{ kg/Tag}$ resp. $> 1.0 \text{ kg/Tag}$), obwohl im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches viel Gülle ausgebracht wurde.
- Ereignisse mit sehr hohen Phosphatfrachten ($> 1.0 \text{ kg/Tag}$), welche 42% der Jahresfracht brachten, fallen auf Tage, für welche die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr auf einzelnen Schlägen als hoch oder sehr hoch eingeschätzt wurde (Klasse 3 resp. 4). Damit entsteht ein kausaler Zusammenhang zwischen den Phosphatfrachten und den Schlägen mit hoher oder sehr hoher austragungs- und ereignisbedingter Gefahr für die Tage unmittelbar vor dem Frachtanstieg im Bach (≤ 2 Tage). Dieser Zusammenhang ist umso ausgeprägter, je mehr mittlere und bedeutende Niederschlagsereignisse ($> 10 \text{ mm/Tag}$ resp. $> 15 \text{ mm/Tag}$) in kurzer Zeit aufeinander folgen und je feuchter resp. nasser demzufolge der Boden ist, wie dies Ende August/Anfang September oder Ende Oktober/Anfang November in Abbildung 43 deutlich erkennbar ist.
- Mitte Dezember kam es zu einer Erhöhung der Phosphatfracht im Lippenrütibach, ohne dass zuvor Gülle ausgebracht wurde und ohne dass ein mittleres oder bedeutendes Niederschlagsereignis auftrat ($> 10 \text{ mm/Tag}$ resp. $> 15 \text{ mm/Tag}$). Dies ist darauf zurückzuführen, dass nach einer Zeitperiode mit schneebedecktem und oberflächlich angefrorenem Boden Mitte Dezember eine Schneeschmelze stattfand.

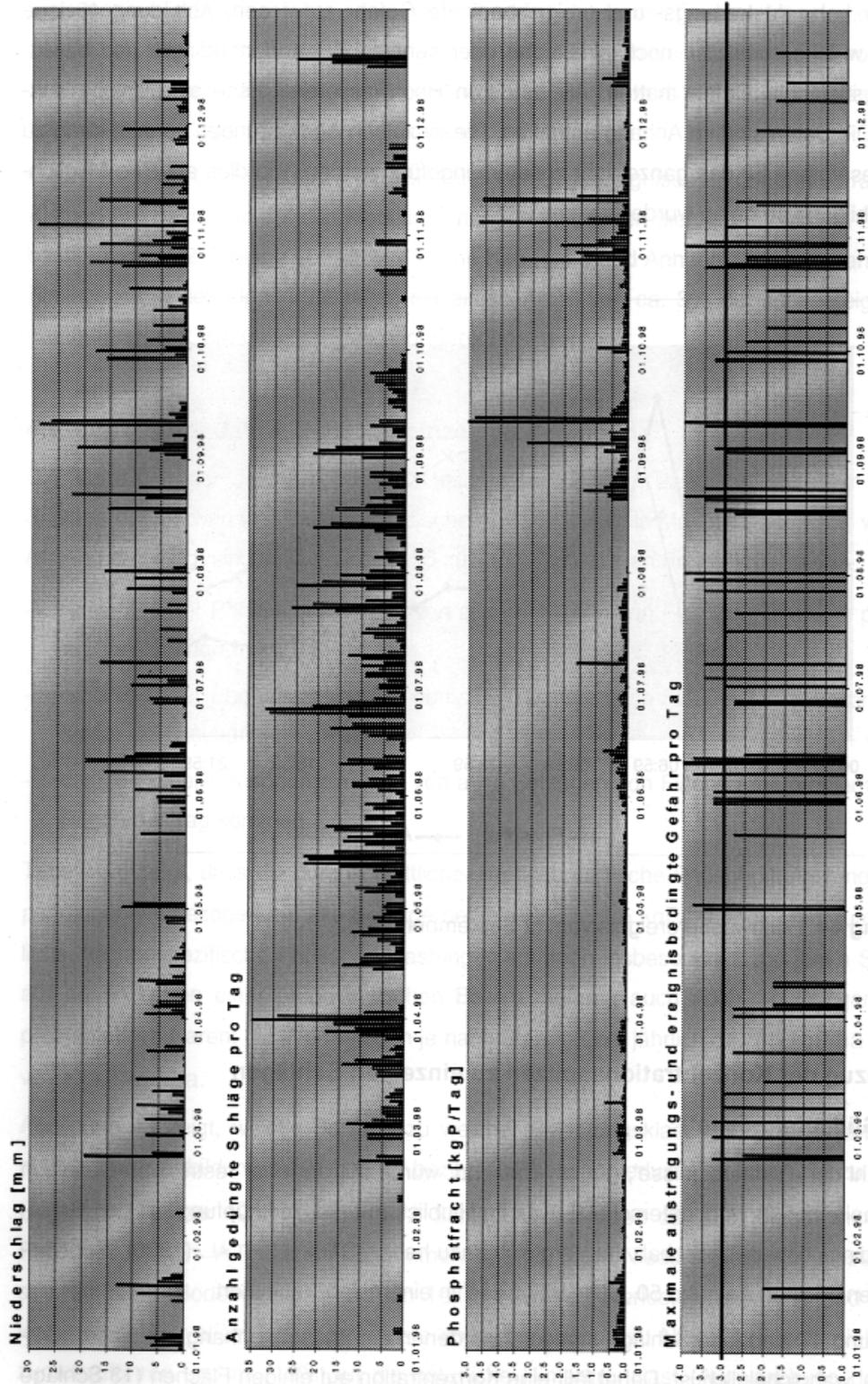


Abbildung 43: Zusammenhang zwischen Phosphatfracht und maximaler austragungs- und ereignisbedingter Gefahr für einzelne Tage des Jahres 1998.

Für das Hochwasserereignis vom 5.9.1998 (Abb. 44) hebt Abbildung 45 beispielhaft die Schläge hervor, welche an den beiden Tagen vor dem Frachtanstieg im Bach eine hohe oder sehr hohe austragungs- und ereignisbedingte Gefahr aufwiesen, Abbildung 46 jene Schläge, welche *zusätzlich* noch eine hohe oder sehr hohe standortbedingte *und* bewirtschaftungsbedingte Gefahr hatten. Alle anderen Hochwasserereignisse sind analog auswertbar. Die Daten sind im Anhang enthalten. Die einzelnen Auswertungen können dann zu einem Gesamtbild für das ganze Jahr zusammengefügt werden, wie dies als eine Möglichkeit in Abbildung 42 getan wurde.

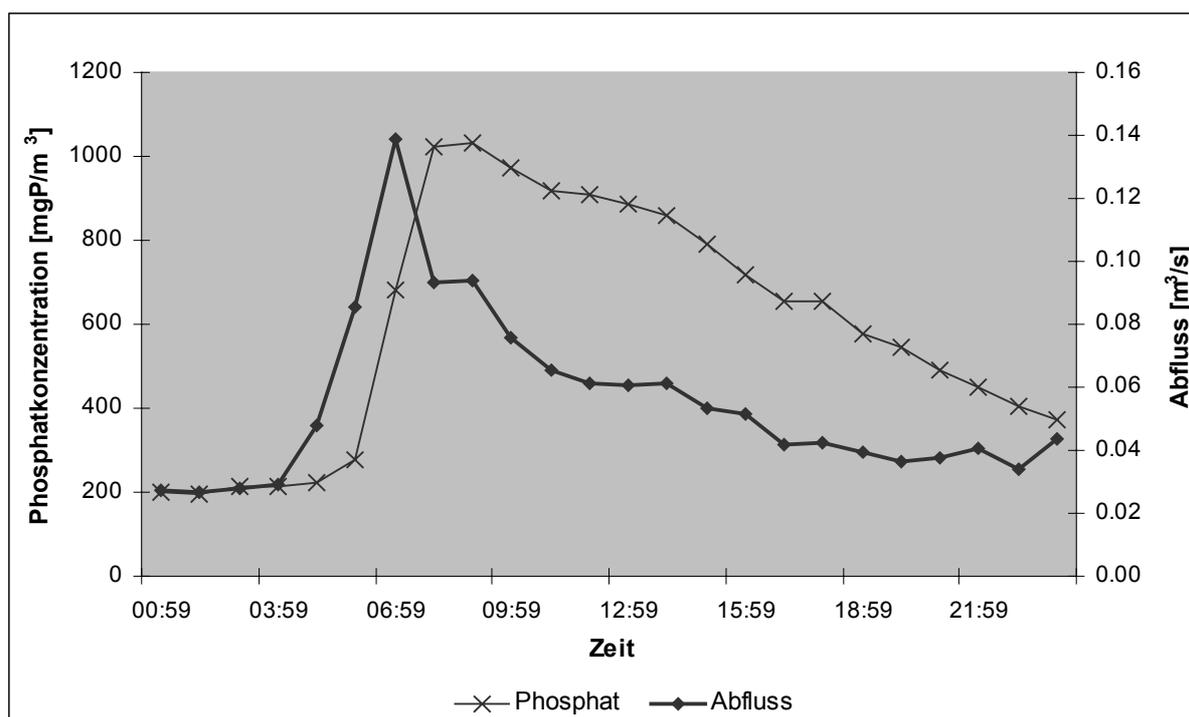


Abbildung 44: Hochwasserereignis vom 5. September 1998.

4.4.2 Bezug der Konzentrationsspitzen zu einzelnen Schlägen

(,Gülleereignisse‘)

Die Anzahl der ‚Gülleereignisse‘, gut ein Dutzend, wurde mit der eher restriktiven Definition (siehe Kapitel 2.5.2) wohl unterschätzt, was im Hinblick auf die Verknüpfung mit den Schlägen allerdings bewusst geschah. Im Vergleich dazu haben GÄCHTER ET AL. (1996) in der benachbarten ‚Kleinen Aa‘ rund 50 ‚Gülleereignisse‘ in einem Jahr registriert.

In Abbildung 47 sind jene Schläge markiert, bei denen ein Zusammenhang mit einem ‚Gülleereignis‘ wahrscheinlich ist. Dabei fällt eine Konzentration auf einigen Flächen (13 Schläge mit 9% Flächenanteil) auf, die mit grosser Wahrscheinlichkeit mehrmals an einem solchen

Ereignis beteiligt waren. Ungefähr 20% der landwirtschaftlich genutzten Fläche konnte im Jahr 1998 einmal in Verbindung mit einem ‚Gülleereignis‘ gebracht werden, 70% der landwirtschaftlich genutzten Fläche nie. Die folgenden Jahre mit On-Line-Messungen werden zeigen, ob bestimmte Schläge wiederholt in Verbindung mit einer erhöhten Phosphatkonzentration im Bach gebracht werden können, was ein Hinweis auf sehr durchlässige Ausstragswege von diesen Schlägen ins Gewässer wäre.

GÄCHTER ET AL. (1996) rechnen mit 2% Anteil der Gülleereignisse an der Jahresfracht in der Kleinen Aa. Basierend auf den Modellrechnungen, mit denen die Jahresfracht im Lippenrütibach auf die 272 Schläge verteilt wird (siehe Kap. 4.4.3 und Anhang), kann im Jahr 1998 im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches mit einem Anteil von ca. 3% der ‚Gülleereignisse‘ an der Jahresfracht von Gesamt-Phosphor gerechnet werden.

4.4.3 Bezug der Jahresfracht zu einzelnen Schlägen

Die Verteilung der Jahresfracht von Gesamt-Phosphor im Jahr 1998 auf die einzelnen Schläge der landwirtschaftlichen Nutzfläche geschieht mittels Modellrechnungen, wie sie im Anhang dargelegt sind. Die in Tabelle 15 zusammengefassten Ergebnisse zeigen,

- dass 69% der Phosphorbelastung von allen Schlägen von Flächen auf einem problematischen Standort herrühren,
- dass 92% der Phosphorbelastung von allen Schlägen von Flächen mit einer problematischen Bewirtschaftung stammen,
- dass 84% der Phosphorbelastung von allen Schlägen von Flächen mit problematischem Düngeraustrag kommen.

Tabelle 16 zeigt, dass die durchschnittliche, flächenspezifische Phosphorbelastung des Lippenrütibaches bezogen auf alle Schläge bei jährlich ca. 1.5 kgP/ha liegt. Überdurchschnittliche, flächenspezifische Phosphorbelastungen kommen insbesondere von jenen Schlägen, auf denen neben einer problematischen Bewirtschaftung auch noch die Düngerausträge problematisch waren; die Werte liegen je nach Standort bei jährlich ca. 1.8 kgP/ha respektive bei 2.0 kgP/ha.

Abbildung 48 zeigt, welche Schläge zu welcher Belastungsklasse gehören. Insbesondere sind in dieser Abbildung die ‚hot spots‘ bezüglich Phosphorverluste im Jahr 1998 zu sehen.

Ungefähr 84% der 1998 von den 272 Schlägen verlorenen ca. 389 Kilogramm Gesamt-Phosphor stehen in direktem Zusammenhang zu den Niederschlagsereignissen (Abschwemmung, Bodenerosion und ein Teil der Drainageverluste). Etwa 3% sind auf Gülleereignisse (vor allem Drainageverluste aber ohne Bezug zu Niederschlägen: siehe oben) zurückzuführen und ca. 13% auf die natürliche Hintergrundlast (Auswaschung durch den Boden und natürliche Erosion).

Tabelle 15: Übersicht über Standort (standortbedingte Gefahr für Phosphorverluste), Bewirtschaftung (bewirtschaftungsbedingte Gefahr) und Düngeraustrag (austragungs- und ereignisbedingte Gefahr) und Anteil der Schläge an der Jahresfracht des Lippenrütibaches.

Einzugsgebiet des Lippenrütibaches	
Im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches ist die Phosphorbelastung des Baches von allen Schlägen 389 kgP/J (= 100%) .	
Problematischer Standort	Unproblematischer Standort
268 kgP/J (= 69% Phosphorbelastung von allen Schlägen) kommen von Flächen mit einer hohen oder sehr hohen standortbedingten Gefahr.	121 kgP/J (= 31% der Phosphorbelastung von allen Schlägen) kommen von Flächen mit einer geringen oder mittleren standortbedingten Gefahr.
Problematische Bewirtschaftung	Unproblematische Bewirtschaftung
245 kgP/J (= 63%) kommen von Flächen, wo zudem die bewirtschaftungsbedingte Gefahr hoch oder sehr hoch ist.	23 kgP/J (= 6%) stammen von Flächen, wo die bewirtschaftungsbedingte Gefahr gering oder mittel ist.
Problematische Bewirtschaftung	Problematische Bewirtschaftung
114 kgP/J (= 29%) kommen aber von Flächen, wo die bewirtschaftungsbedingte Gefahr hoch oder sehr hoch ist.	7 kgP/J (= 2%) stammen von Flächen, wo die bewirtschaftungsbedingte Gefahr gering oder mittel ist.
Problematischer Düngeraustrag	Unproblematischer Düngeraustrag
207 kgP/J (= 53%) kommen von Flächen, wo zudem eine hohe oder sehr hohe austragungs- und ereignisbedingte Gefahr vorliegt.	38 kgP/J (= 10%) kommen von Flächen mit keiner oder geringer austragungs- und ereignisbedingter Gefahr.
Problematischer Düngeraustrag	Problematischer Düngeraustrag
15 kgP/J (= 4%) kommen von Flächen, wo eine hohe oder sehr hohe austragungs- und ereignisbedingte Gefahr vorliegt.	8 kgP/J (= 2%) kommen von Flächen mit keiner oder geringer austragungs- und ereignisbedingter Gefahr.
Problematischer Düngeraustrag	Problematischer Düngeraustrag
101 kgP/J (= 26%) kommen von Flächen, wo auch eine hohe oder sehr hohe austragungs- und ereignisbedingte Gefahr vorliegt.	13 kgP/J (= 3%) kommen von Flächen mit keiner oder geringer austragungs- und ereignisbedingter Gefahr.
Problematischer Düngeraustrag	Problematischer Düngeraustrag
3 kgP/J (= 1%) kommen von Flächen, wo eine hohe oder sehr hohe austragungs- und ereignisbedingte Gefahr vorliegt.	4 kgP/J (= 1%) kommen von Flächen mit keiner oder geringer austragungs- und ereignisbedingter Gefahr.

Tabelle 16: Übersicht über Standort (standortbedingte Gefahr für Phosphorverluste), Bewirtschaftung (bewirtschaftungsbedingte Gefahr) und Düngeraustrag (austragungs- und ereignisbedingte Gefahr) und durchschnittlicher, flächenspezifischer Anteil der Schläge an der Jahresfracht des Lippenrütibaches.

<p>Einzugsgebiet des Lippenrütibaches Im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches ist die Phosphorbelastung des Baches von allen Schlägen bezogen auf die LN im Schnitt 1,5 kgP/ha*J.</p>			
<p>Problematischer Standort Hier ist die Phosphorbelastung des Baches von allen Schlägen bezogen auf die LN im Schnitt 1,6 kgP/ha*J.</p>	<p>Unproblematischer Standort Hier ist die Phosphorbelastung des Baches von allen Schlägen bezogen auf die LN im Schnitt 1,5 kgP/ha*J.</p>		
<p>Problematische Bewirtschaftung Durchschnittlich 1,7 kgP/ha*J</p>	<p>Unproblematische Bewirtschaftung Durchschnittlich 0,9 kgP/ha*J</p>	<p>Problematische Bewirtschaftung Durchschnittlich 1,6 kgP/ha*J</p>	<p>Unproblematische Bewirtschaftung Durchschnittlich 0,6 kgP/ha*J</p>
<p>Problematischer Düngeraustrag Durchschnittlich 2,0 kgP/ha*J</p>	<p>Unproblematischer Düngeraustrag Durchschnittlich 0,9 kgP/ha*J</p>	<p>Problematischer Düngeraustrag Durchschnittlich 1,8 kgP/ha*J</p>	<p>Unproblematischer Düngeraustrag Durchschnittlich 0,4 kgP/ha*J</p>
	<p>Problematischer Düngeraustrag Durchschnittlich 1,7 kgP/ha*J</p>	<p>Unproblematischer Düngeraustrag Durchschnittlich 0,8 kgP/ha*J</p>	<p>Problematischer Düngeraustrag Durchschnittlich 1,5 kgP/ha*J</p>
	<p>Unproblematischer Düngeraustrag Durchschnittlich 0,5 kgP/ha*J</p>	<p>Problematischer Düngeraustrag Durchschnittlich 0,8 kgP/ha*J</p>	<p>Unproblematischer Düngeraustrag Durchschnittlich 0,4 kgP/ha*J</p>

Mit der Modellrechnung und den Annahmen von Kapitel 2.5.3 ist es möglich, den landwirtschaftsbedingten Anteil an der Jahresfracht an Gesamt-Phosphor im Lippenrütibach im Jahr 1998 vom nicht-landwirtschaftsbedingten Anteil zu trennen. Bedeutende punktuelle Belastungsquellen sind im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches keine bekannt.

	Gesamt- Phosphor 1998	Anteil an der Jahresfracht 1998
- Messung der Jahresfracht im Bach	360 kgP/J	
- Modellberechnung der Jahresfracht im Bach	418 kgP/J	100 %
Wald-, Siedlungs- u. Verkehrsflächen sowie Gewässer	29 kgP/J	7 %
Natürliche Hintergrundlast der 272 Schläge	51 kgP/J	12 %
Landwirtschaftsbedingte Belastung	338 kgP/J	81 %

Legende:

**Hochwasser vom 5.9.98:
austragungs- und ereignis-
bedingte Gefahr**

-  keine
-  gering
-  hoch
-  sehr hoch
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

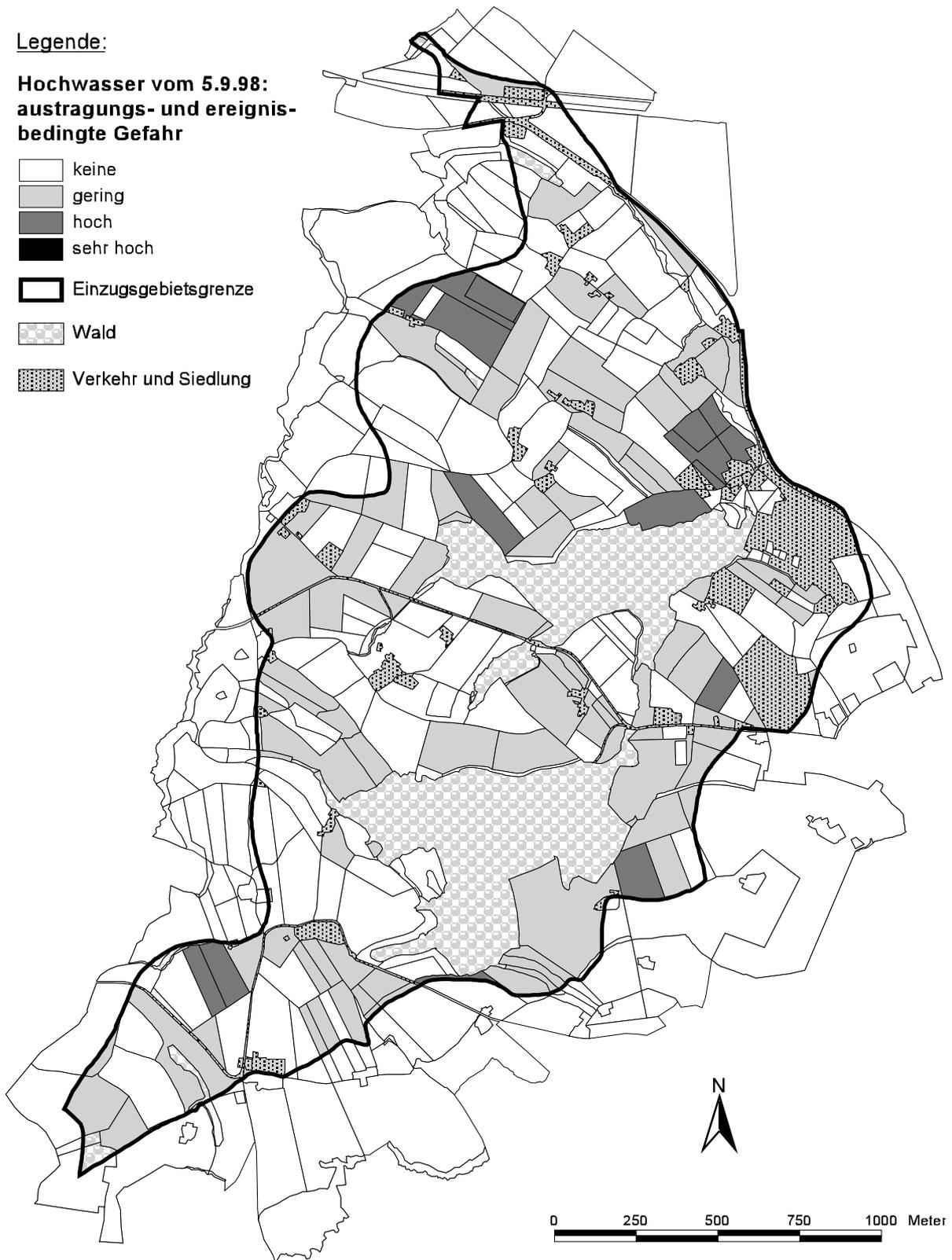


Abbildung 45: Hochwasser vom 5. September 1998 mit der austragungs- und ereignis-
bedingten Gefahr zu diesem Zeitpunkt.

Legende:

Hochwasser vom 5.9.98

-  keine oder geringe austragungs- und ereignisbedingte Gefahr
-  Austragungs- und ereignisbedingte Gefahr ist hoch oder sehr hoch, die anderen beiden Gefahren sind in den unteren beiden Gefahrenklassen
-  alle Gefahren sind hoch oder sehr hoch
-  Einzugsgebietsgrenze
-  Wald
-  Verkehr und Siedlung

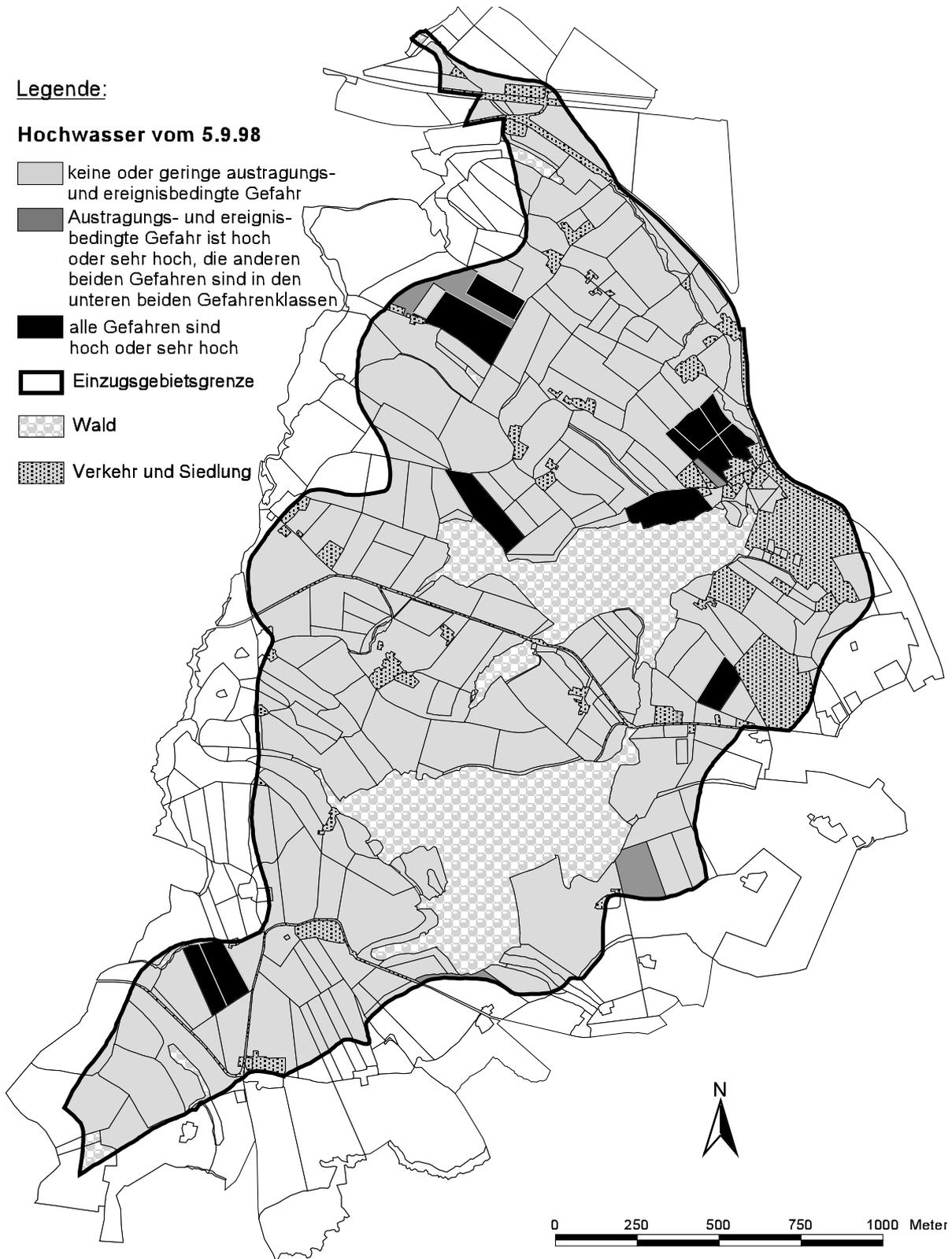


Abbildung 46: Hochwasser vom 5. September 1998 mit der austragungs- und ereignisbedingten Gefahr zu diesem Zeitpunkt und in Kombination mit der standort- und bewirtschaftungsbedingten Gefahr.

Legende:

**Bezug zu Konzentrationsspitzen
im Bach**

-  kein Bezug
-  einmaliger Bezug
-  mehrmaliger Bezug, undrainiert
-  mehrmaliger Bezug, drainiert

 Einzugsgebietsgrenze

 Wald

 Verkehr und Siedlung

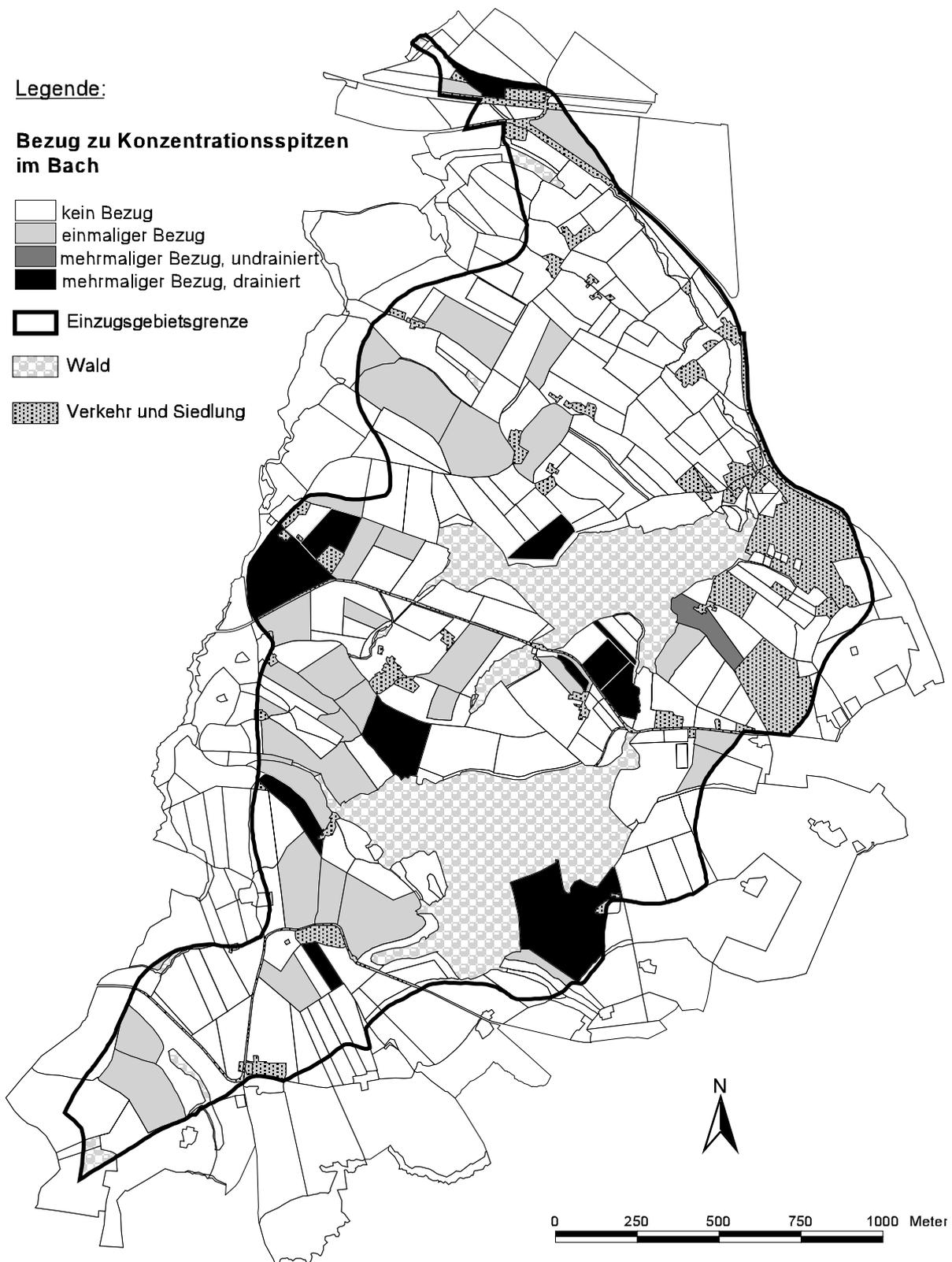


Abbildung 47: Zeitliche Korrelation zwischen Konzentrationsspitzen im Bach (ohne Niederschlag und Abflusserhöhung) und Gülleausträgen auf den Schlägen (sogenannte "Gülleereignisse").

Legende:

Geschätzte flächenspezifische Phosphorverluste

-  ≤ 0.40 kgP/ha und Jahr
-  0.41-0.80 kgP/ha und Jahr
-  0.81-2.20 kgP/ha und Jahr
-  > 2.20 kgP/ha und Jahr

 Einzugsgebietsgrenze

 Wald

 Verkehr und Siedlung

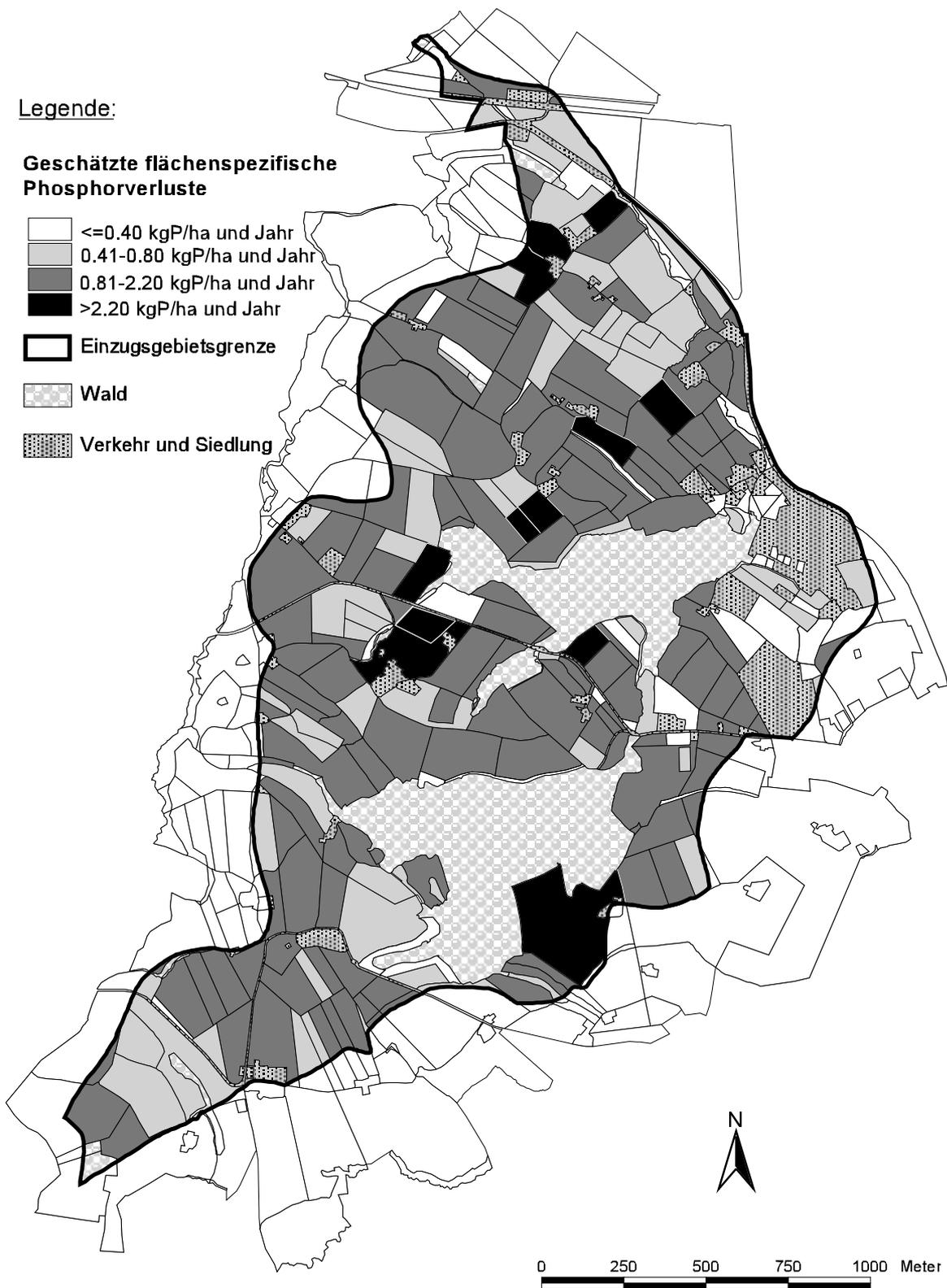


Abbildung 48: Geschätzte flächenspezifische Phosphorverluste und damit Anteil der einzelnen Schläge an der Jahresfracht im Lippenrütibach im Jahr 1998.

5. Interpretation der Ergebnisse

5.1 Indikatoren der Ökologisierung und Kausalzusammenhänge

In diesem Kapitel folgt die Interpretation der wesentlichen Ergebnisse von Kapitel 4. Die Aussagen sind als Hypothesen zu verstehen, welche durch mehrjährige Datenreihen zu überprüfen sind. Die Methodik und das Modell zur Verknüpfung der Gewässerbelastung mit der Landwirtschaft wurden jedoch derart gewählt und aufgebaut, dass bereits aus den Daten einer kurzen Untersuchungsperiode eine erste Schätzung der Wirkung der Öko-Massnahmen möglich ist.

5.1.1 Ökologische Entwicklung in der Landwirtschaft

Im Jahr 1990 gab es im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches weder IP- noch BIO-Betriebe; im Jahr 1998 zählte man 28 IP- und BIO-Betriebe. Einer der in die Untersuchungen einbezogenen Betriebe wirtschaftete 1998 noch konventionell. Die ökologischen Ausgleichsflächen nahmen von gesamthaft ungefähr einer Hektare im Jahr 1990 auf elf Hektaren im Jahr 1998 zu, d.h. von ca. 0.4% der landwirtschaftlichen Nutzfläche auf ca. 4.3%.

Die Entwicklung des Tierbestandes zeigt zwischen 1990 und 1998 keine abnehmende Tendenz. Die anfallende Güllemenge blieb in dieser Zeit folglich praktisch konstant. Die auf die Schläge im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches ausgebrachte Gülle- und Nährstoffmenge nahm in dieser Zeit jedoch wegen dem Abschluss von Hofdüngerabnahmeverträgen, dem Einsatz von Ökofutter und der Separierung der Gülle ab.

Das Güllegruben-Volumen hat zwischen 1990 und 1996 um 23% zugenommen. Die Konsequenz ist, dass die Landwirte praktisch auf Gülleausträge während den Wintermonaten und auf notfallmässige Gülleausträge bei ungünstigen Boden- und Witterungsbedingungen verzichten können.

Die oben erwähnten umweltrelevanten Landwirtschaftsindikatoren entwickelten sich seit der Einführung der Öko-Massnahmen im Jahr 1993 alle in Richtung mehr Ökologie. Allein auf der Basis dieser Indikatoren kann der Anteil der Reduktion der Belastung des Lippenrütibaches infolge der Öko-Massnahmen jedoch nicht beziffert werden.

5.1.2 Entwicklung der Phosphorbelastung der Gewässer

Die Jahresfracht an Gesamt-Phosphor lag 1998 ungefähr auf der Höhe von 45% des durchschnittlichen Wertes der Jahre 1988-1992. Der Rückgang um 55% dürfte allerdings zum grösseren Teil witterungsbedingt sein, weil 1998 die Niederschläge und die Abflüsse unterdurchschnittlich waren. Somit wäre nur der kleinere Teil landwirtschaftsbedingt (siehe Kap. 5.2).

Der Vergleich der Jahresfrachten, berechnet aus normierten Abflussmengen mit über drei Jahre gleitenden C/Q-Beziehungen, lassen eine abnehmende Tendenz beim gelösten Phosphor im Bereich von 25% vermuten. Diese Abnahme dürfte landwirtschaftsbedingt sein. Da sie innerhalb des Fehlerbereiches liegt, ist sie jedoch nicht gesichert. Beim partikulären Phosphor ist keine abnehmende Tendenz, im Gegenteil in den letzten Jahren sogar eine zunehmende Entwicklung festzustellen.

Die oben erwähnten Indikatoren, welche die Entwicklung der Phosphorbelastung der Gewässer und damit die Wirkung der Öko-Massnahmen in der Umwelt abbilden, weisen insbesondere beim gelösten Phosphor auf eine mögliche Entlastung hin.

5.1.3 Modell zur Verknüpfung der Gewässerbelastung mit der Landwirtschaft und Kausalzusammenhänge

Im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches wurde 1998 auf 86% der landwirtschaftlichen Nutzfläche die bewirtschaftungsbedingte Gefahr für Phosphorverluste als hoch oder sehr hoch und damit bezüglich der Gefahr für Phosphorverluste als problematisch eingestuft (Tab. 14). Auf diesen Flächen wurden für das Jahr 1998 die durchschnittlichen, flächenspezifischen Phosphorverluste je nach unproblematischem oder problematischem Standort auf durchschnittlich 1.6 resp. 1.7 kgP/ha geschätzt (Tab. 16). Auf den verbleibenden 14% der landwirtschaftlichen Nutzfläche lag der Wert je nach Standort bei durchschnittlich 0.6 resp. 0.9 kgP/ha. Auf maximal 14% der landwirtschaftlichen Nutzfläche (= 36 ha) hätte somit 1998 der Fall auftreten können, dass infolge der Öko-Massnahmen eine zuvor problematische Bewirtschaftung in eine unproblematische umgewandelt wurde. Dies beinhaltet ein landwirtschaftsbedingtes Reduktionspotential bezüglich der Phosphorverluste von jährlich ca. 32 kgP.

Betrachtet man jedoch nicht nur die bewirtschaftungsbedingte sondern auch die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für Phosphorverluste, sieht man, dass 1998 auf 68% der landwirtschaftlichen Nutzfläche die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr hoch oder sehr hoch war und somit bezüglich der Phosphorverluste als problematisch beurteilt wurde (Tab. 14). Auf diesen Flächen lagen 1998 die durchschnittlichen, flächenspezifischen Phosphorverluste je nach Standort zwischen 1.5 und 2.0 kgP/ha (Tab. 16). Auf den verbleiben-

den 32% der landwirtschaftlichen Nutzfläche mit unproblematischen Düngerausträgen wurde der Wert je nach Standort auf durchschnittlich ca. 0.4 bis 0.9 kgP/ha geschätzt. Folglich kann 1998 auf maximal 32% der Fläche (= 85 ha) der Fall vorliegen, dass infolge der Öko-Massnahmen keine problematischen Düngerausträge mehr stattfanden. Dies entspricht einem maximalen, landwirtschaftsbedingten Reduktionspotential von jährlich ca. 94 kgP.

5.2 Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen und Vergleich mit dem Umwelt-Qualitätsziel

Die Belastung an Gesamt-Phosphor im Lippenrütibach lag in den Jahren 1988-1992 vor Einführung der Öko-Massnahmen durchschnittlich bei ca. 820 kgP/J. Zieht man davon die Belastung der Wald-, Siedlungs-, Verkehrs- und Gewässerflächen (= ca. 29 kgP/J: Kap. 4.4.3) sowie die natürliche Hintergrundlast der 272 Schläge (= ca. 51 kgP/J) ab, erhält man eine landwirtschaftsbedingte Belastung an Gesamt-Phosphor im Lippenrütibach in den Jahren 1988-1992 von durchschnittlich ca. 740 kgP/J.

Gemäss Zielsetzung sollte die Belastung an Gesamt-Phosphor des Lippenrütibaches durch die Landwirtschaft als Folge der Öko-Massnahmen bis ins Jahr 2005 um ca. 370 kgP/J sinken, was einer Halbierung der landwirtschaftsbedingten Belastung von durchschnittlich ca. 740 kgP/J in den Jahren 1988-1992 unmittelbar vor der Einführung der Öko-Massnahmen entsprechen würde (Kap. 1.5.1). Verglichen mit diesem Wert von 740 kgP/J macht die im Jahr 1998 erreichte Reduktion von maximal 94 kgP/J (siehe 5.1.3) ungefähr 13% aus.

Das gesteckte Ziel einer Reduktion von 370 kgP/J wurde im Jahr 1998 folglich erst zu 25% erreicht. Die Reduktion von 13% bezogen auf die landwirtschaftsbedingte Belastung in den Jahren 1988-1992 vor Einführung der Öko-Massnahmen liegt auch unterhalb der Prognose von 38-40% für Gebiete des Mittellandes und der Voralpen (BRAUN UND PRASUHN 1997b).

Die Analyse der ökologischen Entwicklung der Landwirtschaft und der Entwicklung der Gewässerbelastung sowie die Ergebnisse des Modelles zur Darlegung der Kausalzusammenhänge lassen folgende Hypothesen zu (Abb. 49 und 50):

- Die Reduktion der Jahresfracht an Gesamt-Phosphor im Lippenrütibach um ungefähr 460 kgP/J im Jahr 1998 verglichen mit den Jahren 1988-1992 vor Einführung der Öko-Massnahmen (= ca. 55% von 820 kgP/J) ist ungefähr zu 20% auf die Öko-Massnahmen (= 94 kgP/J von 460 kgP/J) und ungefähr zu 80% auf die besonderen Witterungsbedingungen im 1998 zurückzuführen (= 366 kgP/J von 460 kgP/J).
- Es muss davon ausgegangen werden, dass mit zunehmenden, durchschnittlichen Niederschlägen und Abflüssen die Phosphorfracht im Lippenrütibach nach 1998 wieder steigen wird.
- In folgenden Jahren mit durchschnittlichen Niederschlägen und Abflüssen wird demzufolge die Jahresfracht an Gesamt-Phosphor im Lippenrütibach bei ungefähr 89% der durchschnittlichen Jahresfracht an Gesamt-Phosphor der Jahre 1988-1992 liegen (= ca. 726 kgP/J), falls bei der Bewirtschaftung und bei den Düngerausträgen keine wesentlichen Änderungen stattfinden werden.
- Falls in den folgenden Jahren zusätzliche Massnahmen (z.B. weitere Extensivierungen problematischer Standorte) ergriffen würden, so würde die landwirtschaftsbedingte Belastung und damit die Jahresfracht an Gesamt-Phosphor im Lippenrütibach noch weiter zurückgehen.

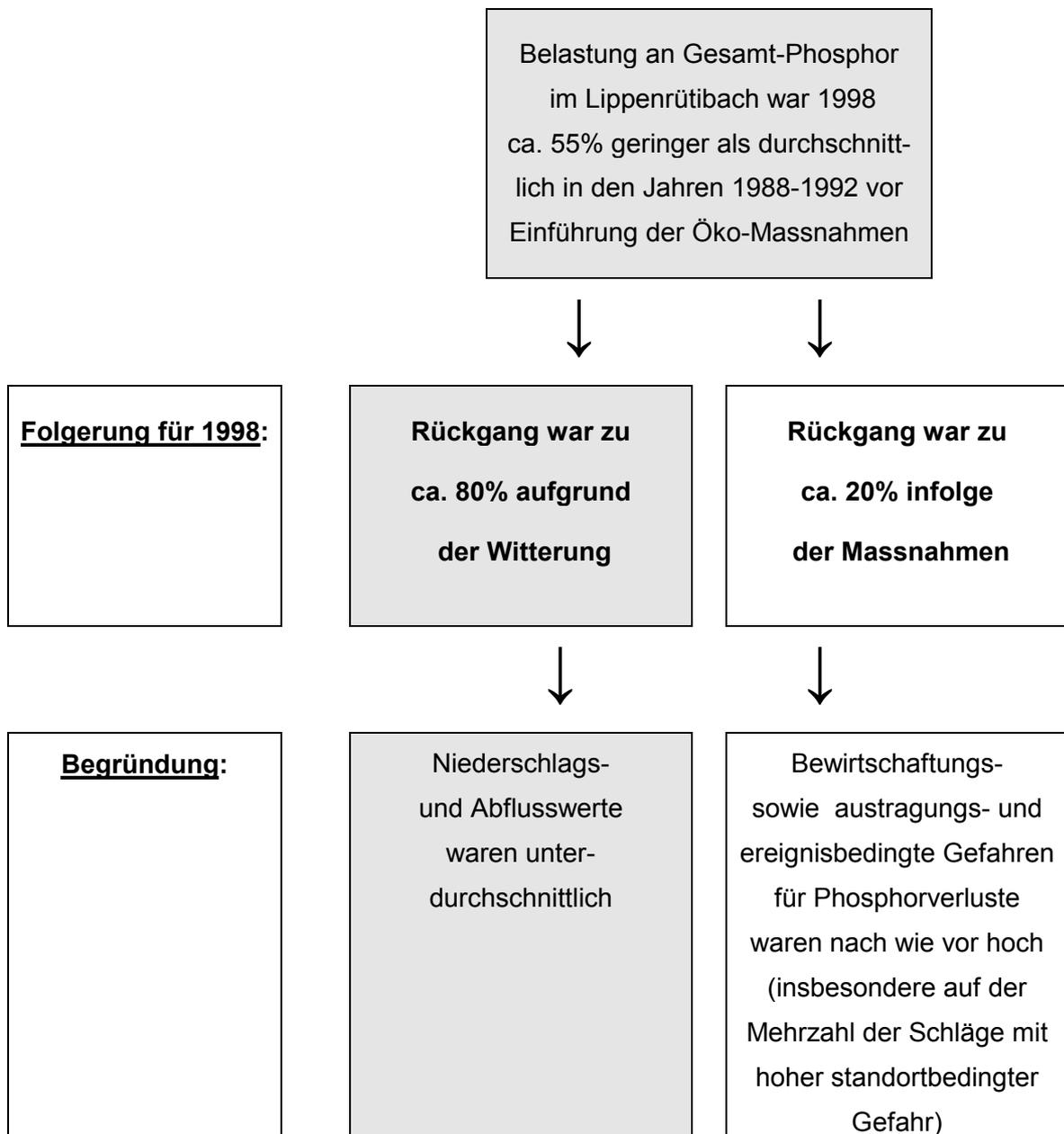


Abbildung 49: Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen für das Jahr 1998.

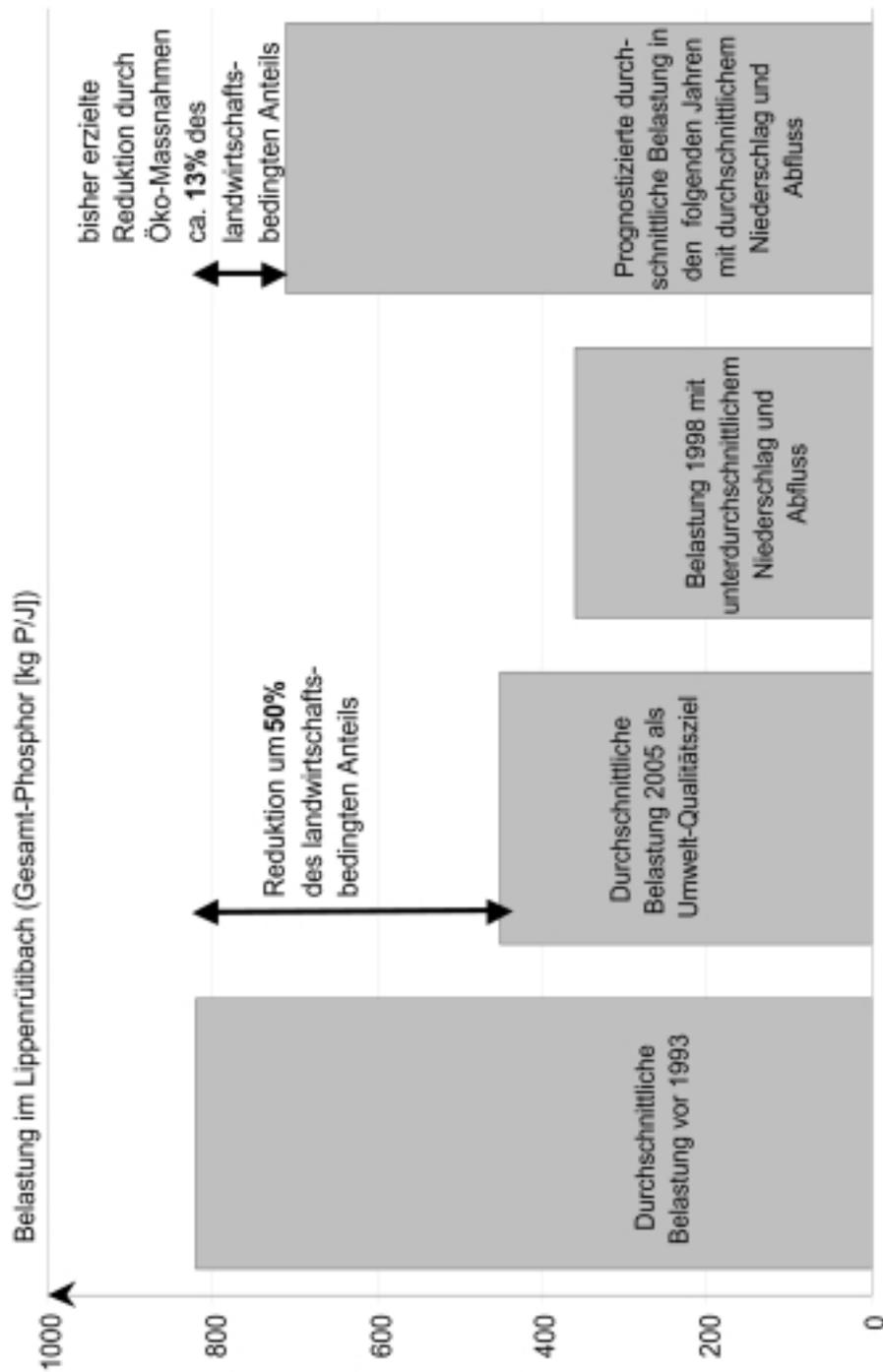


Abbildung 50: Vergleich der Belastung im Lippenrütibach vor 1993 und im Jahr 1998 sowie eine Prognose für die folgenden Jahre.

5.3 Konsequenzen

Es ist durchaus eine Wirkung der Öko-Massnahmen feststellbar. Das gesteckte Umwelt-Qualitätsziel (als Wirkungsziel) wurde aber noch nicht erreicht und kann unter den bestehenden Umständen auch kaum erreicht werden. Es könnte nur erreicht werden,

- wenn die Bewirtschaftung auf weiteren Schlägen mit hoher oder sehr hoher bewirtschaftungsbedingter Gefahr derart geändert wird, dass die bewirtschaftungsbedingte Gefahr in die unteren beiden Klassen (gering oder mittel) zu liegen kommt,
- wenn der Düngeraustrag auf weiteren Schlägen mit hoher oder sehr hoher austragungs- und ereignisbedingter Gefahr derart erfolgt, dass die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr in die unteren beiden Klassen (null und gering) fällt.

Als ‚zusätzliche Schläge‘ drängen sich besonders jene 126 resp. 20 Schläge auf, welche 1998 hohe oder sehr hohe flächenspezifische Phosphorverluste hatten (jährlich 0.81-2.20 kgP/ha resp. > 2.20 kgP/ha). Gesamthaft machen diese Schläge ungefähr 69% der Fläche aller 272 Schläge im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches aus.

5.4 Fortsetzung des Projektes und Ausblick

Ausgehend von der konzeptionellen Grundidee (Abb. 2) und der bestehenden Methodik könnte eine Fortsetzung des Projektes wie folgt aussehen:

5.4.1 Ökologische Entwicklung in der Landwirtschaft

Die vorgeschlagenen, umweltrelevanten Landwirtschaftsindikatoren basieren im wesentlichen auf Daten der Agrarstatistik (z.B. Betriebsstrukturhebungen und Betriebszählungen) und sind beim Bundesamt für Landwirtschaft (Bern) oder Bundesamt für Statistik (Neuchâtel) erhältlich. Es ist auch möglich, in Zukunft noch weitere umweltrelevante Landwirtschaftsindikatoren für das Einzugsgebiet des Lippenrütibaches einzubeziehen.

5.4.2 Entwicklung der Phosphorbelastung der Gewässer

Die On-Line-Messungen wurden bis 2000 weiter durchgeführt; damit sind die Jahre 1999 und 2000 gleich auswertbar wie das Jahr 1998. Eine Fortsetzung der On-Line-Messungen bis 2005 wurde beantragt. Insbesondere muss der Frage nachgegangen werden, weshalb die Frachten beim partikulären Phosphor eine eher zunehmende Tendenz zeigen.

5.4.3 Modell zur Verknüpfung der Gewässerbelastung mit der Landwirtschaft

Das Modell steht für zukünftige Anwendungen an der Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (Zürich) zur Verfügung. Die fixen Parameter und Faktoren zur Abschätzung der standortbedingten Gefahr und von Teilen der bewirtschaftungsbedingten Gefahr sind alle erhoben worden und liegen verarbeitet vor. Zu den Parametern und Faktoren, welche in Zukunft und jährlich für jeden Schlag neu erhoben werden müssen, gehören: Kulturen, Verdichtungsgefährdung durch die Bewirtschaftung, Phosphordeckungsgrad, Anzahl Schnitte und Weidegänge, Nutzungsintensität, Düngerbedarf und -menge, Effektivität der Massnahmen, Niederschlagsmenge, Bodenfeuchte, Düngerausträge. Diese Daten können mit den in Kapitel 2.4.5 beschriebenen Verfahren (Betriebsbesuche, Feldbegehungen oder Fragebogen) gesammelt werden.

Es wäre auch denkbar, das Modell durch weitere Faktoren zu ergänzen. Eine solche mögliche Lücke, die im Jahr 2000 geschlossen wurde, ist z.B. die systematische Erhebung von Bodenproben zur Bestimmung des Phosphorgehaltes jedes Schlages. Damit soll das Modell noch verbessert werden.

5.4.4 Ausblick

Für die Anwendung des Modells zur Verknüpfung der Gewässerbelastung mit der Landwirtschaft kann es verschiedene Möglichkeiten geben: die Anwendung auf andere Regionen, die Anwendung für verschiedene Jahre und die Anwendung im Rahmen des Umwelt-Qualitäts-Managements:

- Anwendung auf andere Regionen: Das vorgestellte Modell kann auch auf andere Regionen angewandt werden, wenn die dazu notwendigen Eingangsdaten zum Beispiel zur naturräumlichen Ausstattung, zur Bewirtschaftung und zur Hydrologie vorliegen. Insbesondere eignet sich das Modell für Grasland-Regionen. Für Ackerland-Regionen wird auf den Ansatz von PRASUHN UND GRÜNIG (2001) verwiesen. Für gemischte Regionen ist eine Kombination der beiden Ansätze denkbar.

Ein wichtiger Punkt bei der Anwendung auf andere Gebiete ist die Notwendigkeit, zusätzliche Parameter und Faktoren einzubeziehen (z.B. die Schneebedeckung oder der Bodenfrost), falls in diesen Regionen andere Bewirtschaftungsweisen vorliegen (z.B. Gülleaustrag im Winter). Andererseits ist bei der Wahl der Parameter und Faktoren dem Gesichtspunkt der Vergleichbarkeit verschiedener Regionen Beachtung zu schenken.

- **Anwendung für andere Jahre:** Das Modell kann für beliebige Jahre angewandt werden. Die jährlich notwendigen Arbeiten wurden oben erklärt. Damit ist es möglich, eine Sequenz von Jahren zur Beurteilung der Wirkung der Öko-Massnahmen einzubeziehen, was unbedingt notwendig ist, um die Aussagekraft der Wirkungskontrolle und auch die Zuverlässigkeit bei der Identifikation von problematischen Standorten und Handlungen zu erhöhen. Die Anwendung auf die folgenden Jahre wird insbesondere Aufschluss darüber geben, ob sich die im Jahr 1998 herauskristallisierten ‚hot spots‘ bestätigen werden.

Die Klassierungen einzelner Faktoren können von Jahr zu Jahr verändert werden, weil innerhalb eines Jahres in erster Linie die Relation der verschiedenen Schläge zueinander interessiert. Dies gilt besonders für jene Faktoren, welche von Jahr zu Jahr stark schwanken können (z.B. die Niederschlagsmenge oder die Bodenfeuchte). So ist es möglich, für das feuchte Jahr 1999 andere Klassierungen besagter Faktoren zu wählen als für das trockene Jahr 1998. Für den Vergleich über mehrere Jahre (z.B. für die Sequenz der Jahre 1998 bis 2005) muss die Klassierung aber über alle Jahre konstant gehalten werden, um die Relation der verschiedenen Jahre zueinander aufzuzeigen und die Entwicklung festzuhalten.

Es wäre auch denkbar, das Modell auf frühere Jahre anzuwenden und z.B. ohne extensiv genutzte Flächen oder mit höherem Phosphordeckungsgrad oder mit kleineren Güllegruben und damit mit mehr Gülleausträgen bei ungünstigen Boden- und Witterungsbedingungen zu rechnen. Die Aussagekraft der Wirkungskontrolle könnte damit noch verbessert werden, weil ein Vergleich von Jahren vor dem Einführen der Öko-Massnahmen mit Jahren danach möglich wäre.

- **Anwendung im Rahmen des Umwelt-Qualitäts-Managements:** Mit dem Modell kann untersucht werden, welches die entscheidenden Handlungen und Prozesse in Zusammenhang mit der Phosphorbelastung der Gewässer sind und welche Auswirkungen weitere Massnahmen haben könnten. Es kann z.B. untersucht werden, wie sich die Belastung im Bach verändern würde, falls besonders auf problematischen Standorten (mit einer hohen oder sehr hohen standortbedingten Gefahr) die Nutzung extensiviert (und damit die bewirtschaftungsbedingte Gefahr gesenkt) oder die Sorgfalt beim Düngeraustrag erhöht (und damit die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für Phosphorverluste verringert) würden. Dabei ist es wichtig, immer im Auge zu behalten, dass es bei dieser Fragestellung nicht um absolute Werte geht, sondern um die Relation der Schläge untereinander.

Mit dem Modell als Prognoseinstrument wäre abschätzbar, welches Reduktionspotential noch vorhanden wäre und welche Aussichten auf eine weitere Reduktion der Gewässerbelastung bestünden, was ein weiterer Mosaikstein in der Beurteilung des Erfolgs der

Öko-Massnahmen sein könnte. Denn der Erfolg liesse sich dann nicht nur an dem messen, was erreicht wurde, sondern auch an dem, was überhaupt erreicht werden könnte. Diese zusätzliche Möglichkeit ist vor allem in stark belasteten Gebieten und in Zusammenhang mit der Weiterentwicklung der Öko-Massnahmen von Interesse.

Mit dem Modell könnten auch verschiedene Massnahmen-Varianten und Massnahmen-Szenarien durchgespielt werden, was im realen Einzugsgebiet nicht möglich ist, jedoch im virtuellen Einzugsgebiet des Modells. So könnte zum Beispiel eine andere Lage einer ökologischen Ausgleichsfläche simuliert und deren Wirkung an einem anderen Ort abgeschätzt werden. Diese Erkenntnisse sind wichtig zur Optimierung der Wirkung der Massnahmen und der Ökologisierung der Landwirtschaft sowie zur Ausscheidung und Entschädigung von besonders problematischen Flächen in Zusammenhang mit Art. 62a des Gewässerschutz-Gesetzes.

Dank:

Wir bedanken uns bei allen Beteiligten für den grossen Einsatz: insbesondere bei allen Familien der Betriebe im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches für die angenehme Zusammenarbeit, bei P. Stadelmann und E. Butscher vom Amt für Umweltschutz (AFU) in Luzern sowie bei J. Blum von der Fachstelle für Ökologie (FÖK) in Sursee für die breite Unterstützung, bei J.-M. Besson, W. Stauffer, V. Prasuhn, E. Spiess, M. Wäger und K. Grünig vom Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL) in Bern-Liebelfeld für die interessanten Anregungen und Diskussionen.

Literaturverzeichnis

- AFU (Amt für Umweltschutz Luzern), 1998. Entwicklung der P-Konzentration im Boden in Abhängigkeit der Nährstoffbelastung, Abschätzung und langfristige Perspektiven, 26 Seiten.
- AFU, 1999. Digitale Übermittlung der Daten zu den Jahresabflüssen und -frachten für Phosphor. Luzern.
- AGBA (Arbeitsgemeinschaft Beratender Agronomen), 1988a. Konzept für Schutzmassnahmen im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches. Grundlagen, Ebikon, 72 Seiten und Anhang.
- AGBA, 1988b. Konzept für Schutzmassnahmen im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches. Schlussbericht, Ebikon, 22 Seiten und Anhang.
- AGBA, 1992. Konzept für Schutzmassnahmen im Einzugsgebiet der Grossen Aa. Grundlagen, Teil Boden. Ebikon.
- AGBA, 1993. Einzugsgebiet des Sempachersees. Übersichtskarte 1:5'000 und 1:10'000. Ebikon.
- ALBERTINI N., 1990. Oberflächenabfluss und Phosphorabschwemmung von Grasland. Diplomarbeit am Institut für Terrestrische Oekologie der ETH Zürich, Fachbereich Bodenphysik, 56 Seiten.
- ALBERTINI N., BRAUN M. UND HURNI P., 1993. Oberflächenabfluss und Phosphorabschwemmung von Grasland. Untersuchungen im Einzugsgebiet des Sempachersees. Landwirtschaft Schweiz 6 (10), 575-582.
- ARMSTRONG A.C. UND HARRIS G.L., 1996. Movement for Water and Solutes from Agricultural Land: The Effects of Artificial Drainage. Advances in Hillslope Processes 1, 187-211.
- BFS (Bundesamt für Statistik), 2000. Digitale Übermittlung der Daten zu den Betriebsformen, Flächennutzungen und Tierbeständen. Neuchâtel.
- Blum, J., Koller, P. & B. Koch (1999): Projekt Sempachersee. Verminderung der Phosphorbelastung von oberirdischen Gewässern aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung. - Gemeindeverband Sempachersee, Kantonales Amt für Umweltschutz, Kantonales Landwirtschaftsamt, Kantonale Fachstelle für Ökologie, 53 S.
- BLW (Bundesamt für Landwirtschaft), 1998. Evaluation der Öko-Massnahmen und Tierhaltungsprogramme. Zwischenbericht.
- BLW, 1999. Evaluation der Öko-Massnahmen und Tierhaltungsprogramme. Konzeptbericht. Bern. 23 Seiten und Anhang.

- BLW und BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 1994. Wegleitung für den Gewässerschutz in der Landwirtschaft (Bereich Hofdünger). Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ), Bern, 125 Seiten.
- BLW und BUWAL, 1996. Merkblatt 'Düngen zur richtigen Zeit'. EDMZ Form. Nr. 319.012. In deutscher, französischer oder italienischer Sprache.
- BRAUN M., FREY M., HURNI P. UND SIEBER U., 1991. Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus diffusen Quellen in die Gewässer im Rheineinzugsgebiet der Schweiz unterhalb der Seen (Stand 1986). Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern, sowie Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 87 Seiten.
- BRAUN M., HURNI P. UND VON ALBERTINI N., 1993. Abschwemmung von Phosphor auf Grasland an zwei verschiedenen Standorten im Einzugsgebiet des Sempachersees. Landwirtschaft Schweiz 6 (10): 615-620.
- BRAUN M., HURNI P. UND SPIESS E., 1994. Phosphor- und Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft und Para-Landwirtschaft. Schriftenreihe der FAC Liebefeld Nr. 18. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern. 70 Seiten.
- BRAUN M., HURNI P., ANDRINI M., HÄNI M. UND STURNY W., 1996. Hofdünger-Bulletin im Kanton Bern. Agrarforschung 3 (11-12): 523-526.
- BRAUN M., KOPSE ROLLI D. UND PRASUHN V., 1997a. Verminderung des Nährstoffeintrags in die Gewässer durch Massnahmen in der Landwirtschaft. Schriftenreihe Umwelt Nr. 293, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern. 100 Seiten.
- BRAUN M. UND PRASUHN V., 1997b. Massnahmen, um die Gewässerbelastung zu vermindern. Agrarforschung 4(8): 339-342.
- BRAUN M., WÜTHRICH-STEINER C., SPIESS E., STAUFFER W. UND PRASUHN V., 1998. Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen im Gewässerschutz. Agrarforschung 5 (3): 129-132.
- BURT T.P. UND BUTSCHER D.P., 1985. Topographic controls of soil moisture distribution. Journal of Soil Science 36, 469-486.
- BUTSCHER E., 1998. Schriftliche Mitteilungen. Amt für Umweltschutz Luzern.
- DENOTH F., 1997. Oberflächenabfluss und Phosphorverluste auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Eine räumliche Analyse. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich. 79 Seiten und Anhang.
- DENOTH F., 1998. P-Verluste durch Abschwemmung – Ein Bewertungsmodell. Agrarforschung 5(4): 165-168.

- EAWAG (Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz), 1990. Sanierung des Sempachersees: Auswertung der Zuflussuntersuchungen Messperiode Januar 1986 bis Dezember 1988. 117 Seiten.
- EGLI M., 1998. Entwicklung der P-Konzentration im Boden in Abhängigkeit der Nährstoffbelastung, Abschätzung und langfristige Perspektiven. Amt für Umweltschutz, Luzern. 26 Seiten.
- EJPD (Eidg. Justiz- und Polizeidepartement), 1977. Wärmegliederungskarte der Schweiz.
- FAP (Eidg. Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau), 1992. Klassifikation der Böden der Schweiz. Profiluntersuchung, Klassifikationssystem, Definition der Begriffe, Anwendungsbeispiele. Zürich.
- FAP, RAC (Station fédérale de recherches agronomiques de Changins) und FAC (Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene), 1994. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. Agrarforschung 1(7), Beilage.
- FELDWISCH N., 1995. Hangneigung und Bodenerosion. In: Boden und Landschaft 3. Justus-Liebig-Universität, Giessen. 164 Seiten.
- FRIELINGHAUS M., 1996. Handbuch der Bodenkunde, Kapitel Erosionsformen (21 Seiten).
- GÄCHTER R., MARES A., STAMM CH., KUNZE U. UND BLUM J., 1996. Dünger düngt Sempachersee. Agrarforschung 3 (7): 329-332.
- GÄCHTER R., MÜLLER B. UND WEHRLI B., 1997. Landwirtschaft und Gewässerschutz im Einzugsgebiet des Sempachersees. Naturforschende Gesellschaft Luzern (Vortrag vom 14. November 1997).
- GÄCHTER R. UND MÜLLER B., 1999. Die bodenbürtige P-Belastung des Sempachersees. Gas Wasser Abwasser 6/99, 460-466.
- HÄFLINGER S., 1996. GIS-gestützte Planung eines Amphibien-Laichplatzverbundes in der Gemeinde Neuenkirch. Diplomarbeit am Geograph. Institut der Universität Zürich.
- HURNI P., BRAUN M. und SCHÄRER F., 1992. Abschätzung der P-Einträge in den Sempachersee aus diffusen Quellen und Massnahmen zu deren Reduktion. EAWAG-Mitteilungen 34 D, 33 - 36.
- KUNZE, U., 1994. Sanierung des Sempachersees: Auswertung der Zufluss-Untersuchungen 1989 bis 1991, Amt für Umweltschutz Luzern, Luzern, 65 Seiten.
- LBL (Landwirtschaftliche Beratungszentrale) und SRVA (Service Romand de Vulgarisation Agricole), 1999. Wegleitung für den ökologischen Ausgleich auf dem Landwirtschaftsbetrieb, 11 Seiten.
- LUDER W., 1996. Wetterrisiko und verfügbare Feldarbeitstage in der Schweiz. FAT-Berichte Nr. 490, Tänikon. 8 Seiten.

- MARKS R., MÜLLER M.J., LESER H. UND KLINK H-J., 1989. Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes. Forschung zur deutschen Landeskunde Band 229, 222 Seiten.
- MOLLENHAUER K., 1987. Oberflächenabfluss sowie Fest- und Nährstoffverlagerung landwirtschaftlicher Nutzflächen. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 28, 166-175.
- PRASUHN V. UND BRAUN M., 1994. Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Bern. Schriftenreihe der FAC Liebefeld Nr. 17. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern. 113 Seiten und Anhang.
- PRASUHN V., SPIESS E. UND BRAUN M., 1996. Methoden zur Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den Bodensee. Bericht der Internationalen Gewässerschutzkommission Bodensee (IGKB), Nr. 45. 113 Seiten und Anhang.
- PRASUHN V., BRAUN M. UND KOPSE ROLLI D., 1997. Massnahmen zur Verminderung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus der Landwirtschaft in die Gewässer - dargestellt am Beispiel von 20 hydrologischen Einzugsgebieten im Kanton Bern. Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern (GSA). 200 Seiten.
- PRASUHN V. UND GRÜNIG K., 2001. Evaluation der Ökomassnahmen: Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Bodenerosion. Schriftenreihe der FAL Nr. 37. Zürich-Reckenholz, 152 Seiten.
- SCHMITT M., 1996. Zuviel Gülle für den Sempachersee. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich. 92 Seiten.
- SHARPLEY A.N., DANIEL T.C. UND EDWARDS P.R., 1993. Phosphorus Movement in the Landscape. J. Prod. Agric. 6 (4), 492-500.
- STAMM CH., 1997. Rapid transport of phosphorus in drained grassland soils. Diss. ETH Zürich, Nr. 12486, 125 Seiten.
- WEISSKOPF P., SCHWAB P., JÄGGLI F., KRAMER E., PEYER K. und STUDER R., 1988. Die Verdichtungsgefährdung schweizerischer Ackerböden. Bericht Nr. 51 des Nationalen Forschungsprogrammes 'Nutzung des Bodens in der Schweiz', Liebefeld-Bern.

Publikationsprogramm BFS

Das Bundesamt für Statistik (BFS) hat – als zentrale Statistikstelle des Bundes – die Aufgabe, statistische Informationen breiten Benutzerkreisen zur Verfügung zu stellen.

Die Verbreitung der statistischen Information geschieht gegliedert nach Fachbereichen (vgl. Umschlagseite 2) und mit verschiedenen Mitteln:

Diffusionsmittel	Kontakt
Medienmitteilungen zur raschen Information der Öffentlichkeit über die neusten Ergebnisse	032 713 60 50
Publikationen zur vertieften Information (zum Teil auch als Diskette)	032 713 60 60
Online-Datenbank	032 713 60 86
Individuelle Auskünfte	032 713 60 11
Das BFS im Internet	http://www.statistik.admin.ch

Nähere Angaben zu den verschiedenen Diffusionsmitteln liefert das jährlich nachgeführte **Publikationsverzeichnis**. Es kann gratis bezogen werden über 032 713 60 60.

Land- und Forstwirtschaft

Für Auskünfte über den ersten Wirtschaftssektor wenden Sie sich bitte an den Informationsdienst der Sektion Land- und Forstwirtschaft, welcher die nötigen Kontakte zu Spezialisten und Spezialistinnen der spezifischen Bereiche vermittelt. Auskunftsdienst der Sektion Land- und Forstwirtschaft: Telefon: 032 713 61 00 oder 032 713 67 20

Eine Auswahl von Publikationen aus dem Fachbereich 7 Land- und Forstwirtschaft

- Einblicke in die schweizerische Landwirtschaft, Ausgabe 2000 (Bestell-Nr. 214-0000)
- Der Bereich Land- und Forstwirtschaft ist auch auf Internet vertreten.
Sie finden ihn unter http://www.statistik.admin.ch/stat_ch/ber07/dber07.htm

Statistique suisse
7 Agriculture et sylviculture 

 <u>Survol</u>	 <u>Communiqués de presse</u>
 <u>Statistique régionale</u>	 <u>Publications</u>
 <u>Entrons dans le vif ...</u>	 <u>Renseignements</u>
 <u>Derniers développements</u>	 <u>Autres sources de statistiques</u>



Renseignements: Service d'information de l'OFPS, tél. 032 713 60 11
E-mail: [Service d'information de l'OFPS \(Informations@bfs.admin.ch\)](mailto:Service_d'information_de_l'OFPS_(Informations@bfs.admin.ch))
Derniers changements: 20 avril 1998

Seit 1993 erhalten Landwirtschaftsbetriebe Direktzahlungen für ‚besondere ökologische Leistungen‘. Im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches, einem Zufluss zum Sempachersee, wird untersucht, in welchem Ausmass die Phosphorbelastung der Gewässer als Folge der Ökologisierung der Landwirtschaft abnimmt.

Der vorliegende Bericht verfolgt zwei Ziele: Erstens stellt er die Methodik vor, wie in einem hydrologischen Einzugsgebiet die Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen in der Landwirtschaft durchgeführt werden kann. Zweitens zeigt er beispielhaft die Anwendung der Methodik auf das Jahr 1998.