



Leitfaden

**zum Aufbau eines Landschafts-Informationssystems
zur Erfassung diffuser Nährstoffeinträge
aus der Landwirtschaft
am Beispiel der Seefelder Aach**

Auftraggeber: Regierungspräsidium Tübingen
Auftragnehmer: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Landespflege
Prof. Dr. Werner Konold
Bearbeiter: Dipl.-Ing. sc. agr. Elmar Schlecker
Internet: <http://www.seefelder-aach.de>



Landespflege Freiburg

Dieser Leitfaden entstand im Rahmen des Werkvertrages zwischen dem Land Baden-Württemberg, vertreten durch das Regierungspräsidium Tübingen, und der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Landespflege, über das Geographische Landschafts-Informationssystem Seefelder Aach (LISA) zur Erfassung diffuser Nährstoffquellen aus der Landwirtschaft.

Der Aufbau des Landschafts-Informationssystems Seefelder Aach war Teil des Projektes „Integrierter Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Seefelder Aach“. Das Teilprojekt wurde vom Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg finanziert. Die Projektlaufzeit erstreckte sich über drei Jahre von April 1999 bis März 2002.

Unser Dank gilt allen, die das Projekt ermöglicht und zum Gelingen dieses Leitfadens beigetragen haben.

Prof. Dr. Werner Konold & Elmar Schlecker

Freiburg, im Juni 2003

Inhaltsverzeichnis:

| | |
|--|----|
| Abbildungsverzeichnis..... | II |
| Tabellenverzeichnis | V |
| Zusammenfassung | IX |
| | |
| 1 Einleitung..... | 1 |
| 2 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage | 5 |
| 2.1 Das Einzugsgebiet der Seefelder Aach | 5 |
| 2.2 Datengrundlage und Stand der Kenntnis | 9 |
| 2.2.1 Klima | 14 |
| 2.2.2 Topographie..... | 16 |
| 2.2.3 Boden..... | 18 |
| 2.2.4 Landnutzung | 20 |
| 3 Modellierung des Bodenabtrags im Einzugsgebiet der Seefelder Aach | 23 |
| 3.1 Allgemeine Bodenabtragungsgleichung..... | 23 |
| 3.2 Beschaffung der externen Daten | 24 |
| 3.3 Integration der Daten in das Landschafts-Informationssystem Seefelder Aach (LISA)..... | 26 |
| 4 Modellierung der Nitratauswaschung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach | 33 |
| 4.1 Modelle zur Berechnung der Nitratauswaschung | 33 |
| 4.2 Beschaffung der externen Daten | 38 |
| 4.3 Integration der Daten in das Landschafts-Informationssystem Seefelder Aach (LISA) | 39 |
| 5 Ergebnisse aus dem Einzugsgebiet der Seefelder Aach | 47 |
| 5.1 Bodenabtrag im Einzugsgebiet der Seefelder Aach (Ist-Soll-Zustand) | 47 |
| 5.2 Nitratauswaschung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach (Ist-Soll-Zustand) | 63 |
| 6 Übertragbarkeit und Umsetzung in andere Einzugsgebiete | 73 |
| 7 Literatur..... | 79 |

Abbildungsverzeichnis:**Abbildung 1:**

Ablaufschema zur Erosionsmodellierung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach..... X

Abbildung 2:

Ablaufschema zur Modellierung der Auswaschung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach..... XI

Abbildung 3:

Nährstoffeinträge in oberirdische Gewässer der Bundesrepublik Deutschland – (Angaben 1995 in 1000 t) (BMU & UBA, 2001)..... 1

Abbildung 4: Das Einzugsgebiet der Seefelder Aach..... 5

Abbildung 5:

Geologische Reliefkarte von Oberschwaben (WAGNER & KOCH, 1961)..... 6

Abbildung 6:

Aufbau des Landschafts-Informationssystems Seefelder Aach (LISA)..... 9

Abbildung 7:

Lage der im Landschaftsinformationssystem verwendeten Niederschlagsstationen . 14

Abbildung 8:

Lage der im Landschaftsinformationssystem verwendeten Klimastationen..... 15

Abbildung 9:

Flächen des ALK im Einzugsgebiet der Seefelder Aach (weiß: noch nicht erfasste Flächen) 17

Abbildung 10:

Topographie des Einzugsgebiets der Seefelder Aach..... 18

Abbildung 11:

Bodenarten im Einzugsgebiet der Seefelder Aach (weiß: keine Daten vorhanden) .. 19

Abbildung 12:

Landnutzung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach nach ALK (weiß: keine Daten vorhanden) 20

Abbildung 13:

Berechnete Jahresniederschläge im Einzugsgebiet der Seefelder Aach 26

Abbildung 14:

Faktoren zur Berechnung von Nitrat im Sickerwasser..... 34

Abbildung 15:

Feldkapazität im durchwurzelbaren Boden (FK_{WE}) im Einzugsgebiet der Seefelder Aach..... 40

Abbildung 16:

Pflanzenverfügbares Wasser (W_{Pfl}) im Einzugsgebiet der Seefelder Aach..... 42

Abbildung 17:

Mittlere Winterniederschlagshöhe (links) und mittlere Sommerniederschlagshöhe (rechts) im Einzugsgebiet der Seefelder Aach..... 44

Abbildung 18:

Potenzielle Evapotranspiration nach Haude im Einzugsgebiet der Seefelder Aach ... 44

Abbildung 19:

R-Faktoren für das Einzugsgebiet der Seefelder Aach 47

Abbildung 20:

K-Faktoren der Ackerflächen im Einzugsgebiet der Seefelder Aach 49

Abbildung 21:

LS-Faktoren der Ackerflächen im Einzugsgebiet der Seefelder Aach 50

Abbildung 22:

C-Faktoren der Ackerflächen im Einzugsgebiet der Seefelder Aach 51

Abbildung 23:

Standortbedingte Erosionsgefährdung der Ackerflächen im Einzugsgebiet der Seefelder Aach..... 53

Abbildung 24:

Nach ABAG berechneter Bodenabtrag im Einzugsgebiet der Seefelder Aach 55

Abbildung 25:

Erosionsrisiko im Einzugsgebiet der Seefelder Aach 57

Abbildung 26:

Bodenabtrag im Einzugsgebiet der Seefelder Aach nach Anwendung von konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren auf 100 % der Ackerflächen 59

Abbildung 27:

Ackerflächen mit einer sehr hohen standortbedingten Erosionsgefährdung, sehr hohen tatsächlichen Bodenabträgen und sehr hohem Erosionsrisiko und daraus resultierender Beratungspriorität 61

Abbildung 28:

Potenzielle Sickerwassermenge [mm/a] im Einzugsgebiet der Seefelder Aach 64

Abbildung 29:

Auswaschungsfaktor im Einzugsgebiet der Seefelder Aach 66

Abbildung 30:

Gefährdungsklassen der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser im Einzugsgebiet der Seefelder Aach 67

Abbildung 31:

Gefährdungsklassen der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser nach reduzierter Düngung durch Beratung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach 71

Abbildung 32:

Landwirtschaftlich genutzte Flächen, die bezüglich Bodenabtrag und Nitratauswaschung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach austragsgefährdet sind.... 72

Abbildung 33:

Aufgabenteilung bei der Umsetzung von Landschafts-Informationssystemen zur Lokalisation austragsgefährdeter Flächen..... 77

Tabellenverzeichnis:**Tabelle 1:**

Mittlere Niederschlagsmengen der Niederschlagsstationen
des DWD vom 01.01.1987 bis 31.12.1996..... 15

Tabelle 2:

Mittlere potenzielle Evapotranspiration nach Haude der Klimastationen
des DWD vom 01.01.1987 bis 31.12.1996..... 16

Tabelle 3:

Flächenanteile der Hauptnutzungsarten nach ALK
im Einzugsgebiet der Seefelder Aach 21

Tabelle 4:

Externe Daten für die Berechnung des Bodenabtrags 24

Tabelle 5:

Mittlere K-Faktoren der Ackerbeschriebe der Bodenschätzung
nach SCHWERTMANN ET AL. (1990)..... 28

Tabelle 6:

C-Faktoren für häufige Fruchtfolgen nach FREDE & DABBERT (1998, verändert nach
SCHWERTMANN ET AL., 1990) 31

Tabelle 7:

Hauptwachstumszeitspannen für verschiedene Fruchtarten..... 35

Tabelle 8:

Bewertung des Gewässergefährdungspotenzials anhand der potenziellen
Nitratkonzentration im Sickerwasser nach FREDE & DABBERT (1998). 37

Tabelle 9:

Externe Daten für die Berechnung der Nitratauswaschung 38

Tabelle 10:

Feldkapazität (FK) und nutzbare Feldkapazität (nFK)
der Bodenarten der Bodenschätzung 39

Tabelle 11:

Zustandstufen nach Bodenschätzung,
mittlere effektive Durchwurzelungstiefe (W_e)
und Abstand zwischen Grundwasserspiegel und W_e 41

Tabelle 12:

Kapillare Aufstiegsraten (KR in mm/d) für Bodenarten der Bodenschätzung 43

Tabelle 13:

N-Überschüsse der Kulturarten im Einzugsgebiet der Seefelder Aach
auf Grundlage schlagbezogener Düngebilanzierungen..... 45

Tabelle 14:

Flächenanteile der Klassen des K-Faktors der ABAG
im Einzugsgebiet der Seefelder Aach
(je höher der K-Faktor, desto stärker die Bodenerosion) 48

Tabelle 15:

Flächenanteile der Klassen des LS-Faktors der ABAG
im Einzugsgebiet der Seefelder Aach
(je höher der LS-Faktor, desto stärker die Bodenerosion)..... 48

Tabelle 16:

Flächenanteile der Klassen des C-Faktors der ABAG
im Einzugsgebiet der Seefelder Aach
(je höher der C-Faktor, desto stärker die Bodenerosion) 52

Tabelle 17:

Flächenanteile der Klassen der standortbedingten Erosionsgefährdung der ABAG
nach FREDE & DABBERT (1998) im Einzugsgebiet der Seefelder Aach 54

Tabelle 18:

Flächenanteile der Gefährdungsklassen des Bodenabtrags der ABAG
nach FREDE & DABBERT (1998) im Einzugsgebiet der Seefelder Aach..... 54

Tabelle 19:

Flächenanteile der Gefährdungsklassen des Bodenabtrags nach ABAG im
Einzugsgebiet der Seefelder Aach unter der Annahme, dass die konservierende
Bodenbearbeitung auf 100 % der Ackerflächen angewendet wird..... 58

Tabelle 20:

Flächenanteile der Klassen der Sickerwassermenge
im Einzugsgebiet des Seefelder Aach 63

Tabelle 21:

Tolerierbares, maximales N-Auswaschungspotenzial
bei verschiedenen Sickerwassermengen,
bei denen der Grenzwert von 50 mg NO₃/l eingehalten wird 65

Tabelle 22:

Flächenanteile der Klassen des Gewässergefährdungspotenzials
anhand der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser
im Einzugsgebiet der Seefelder Aach 68

Tabelle 23:

Gegenüber dem Ist-Zustand reduzierte N-Überschüsse der Kulturarten
im Einzugsgebiet der Seefelder Aach
auf Grundlage schlagbezogener Düngebilanzierungen
nach einer landwirtschaftlicher Beratung 69

Tabelle 24:

Flächenanteile der Klassen des Gewässergefährdungspotenzials
anhand der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser
nach reduzierter Düngung durch Beratung
im Einzugsgebiet der Seefelder Aach 69

Zusammenfassung

Aufgrund der Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie, einen „guten Zustand“ der Gewässer zu erreichen, wurde im Einzugsgebiet der Seefelder Aach ein umsetzungsorientiertes Pilotprojekt eingerichtet. Ein Schwerpunkt des Projekts galt der Reduzierung der „diffusen Nährstoffeinträge“ aus der Landwirtschaft. Neben einer gewässerschutzbezogenen, landwirtschaftlichen Beratung sollte ein Verfahren entwickelt werden, um austragsgefährdete Flächen („hot spots“) zu lokalisieren. Das hier vorgestellte Landschafts-Informationssystem Seefelder Aach (LISA) stellt eine auf einem Geographischen Informationssystem (GIS) gestützte Vorgehensweise dar, „hot spots“ flächendetailliert zu erfassen. Diese austragsgefährdeten Flächen stellen Schwerpunkte für die Beratung und für die Umsetzung von Maßnahmen zum Gewässerschutz dar.

Das Landschafts-Informationssystem Seefelder Aach wurde auf dem Hintergrund einer landesweiten Übertragbarkeit entwickelt. Dies bedingt die Beschränkung auf Daten, die allgemein und landesweit verfügbar sind.

Als Verfahren zur Abschätzung des Bodenabtrags auf Ackerflächen im Einzugsgebiet der Seefelder Aach wurde die Allgemeine Bodenabtragungsgleichung (ABAG) verwendet. Die Berechnung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser der Acker- und Grünlandflächen bildete die Grundlage zur Modellierung der Nitratauswaschung. Diese empirisch entwickelten Schätzverfahren zu Bodenerosion und Stickstoffauswaschung können mit Hilfe allgemein verfügbarer Daten berechnet werden. Ein weiterer Vorteil der Modelle besteht in der Berücksichtigung standort- und bewirtschaftungsbedingter Einflussfaktoren.

Abbildungen 1 und 2 zeigen zusammengefasst die Struktur der Schätzverfahren sowie deren Integration in ein Datenbanksystem und ein Geographisches Informationssystem (GIS). Mit Hilfe mehrerer Datenbankfunktionen und Übersetzungsschlüssel wurden aus relevanten Parametern Modellfaktoren abgeleitet. In einem GIS wurden die Modellfaktoren analysiert und miteinander verschnitten.

In das Landschafts-Informationssystem Seefelder Aach wurden Daten integriert, die allgemein verfügbar, in naher Zukunft flächendeckend für Baden-Württemberg vorhanden sein werden und eine flächendetaillierte Modellierung von Bodenabtrag und Nitratauswaschung erlauben. Für die Landnutzungsdaten des „Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems“ ist die Verfügbarkeit eingeschränkt. Diese Daten stehen nur innerhalb der Landwirtschaftsverwaltung zur Verfügung.

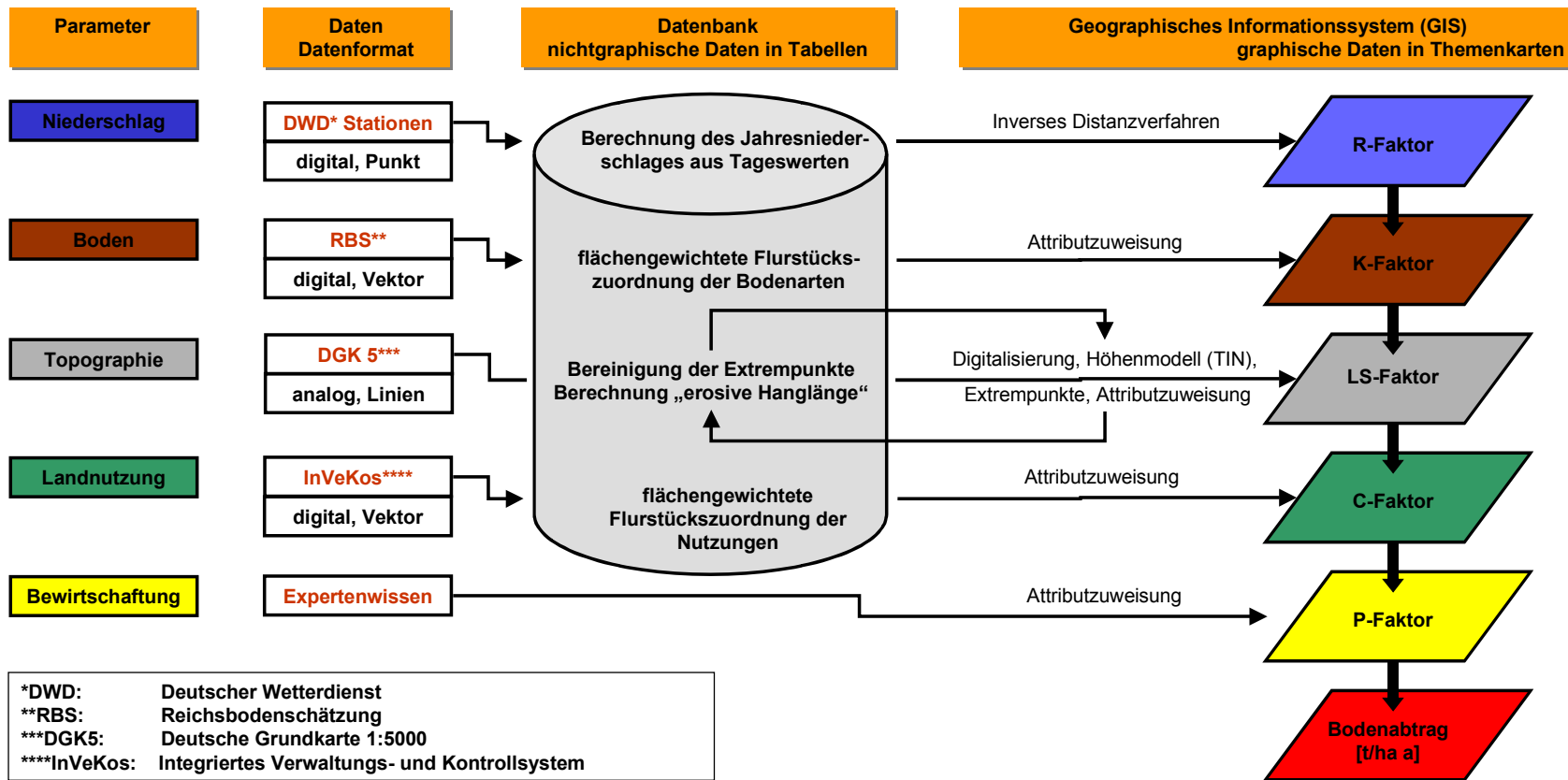


Abbildung 1:

Ablaufschema zur Erosionsmodellierung im Einzugsgebiet der Seefelder Ach

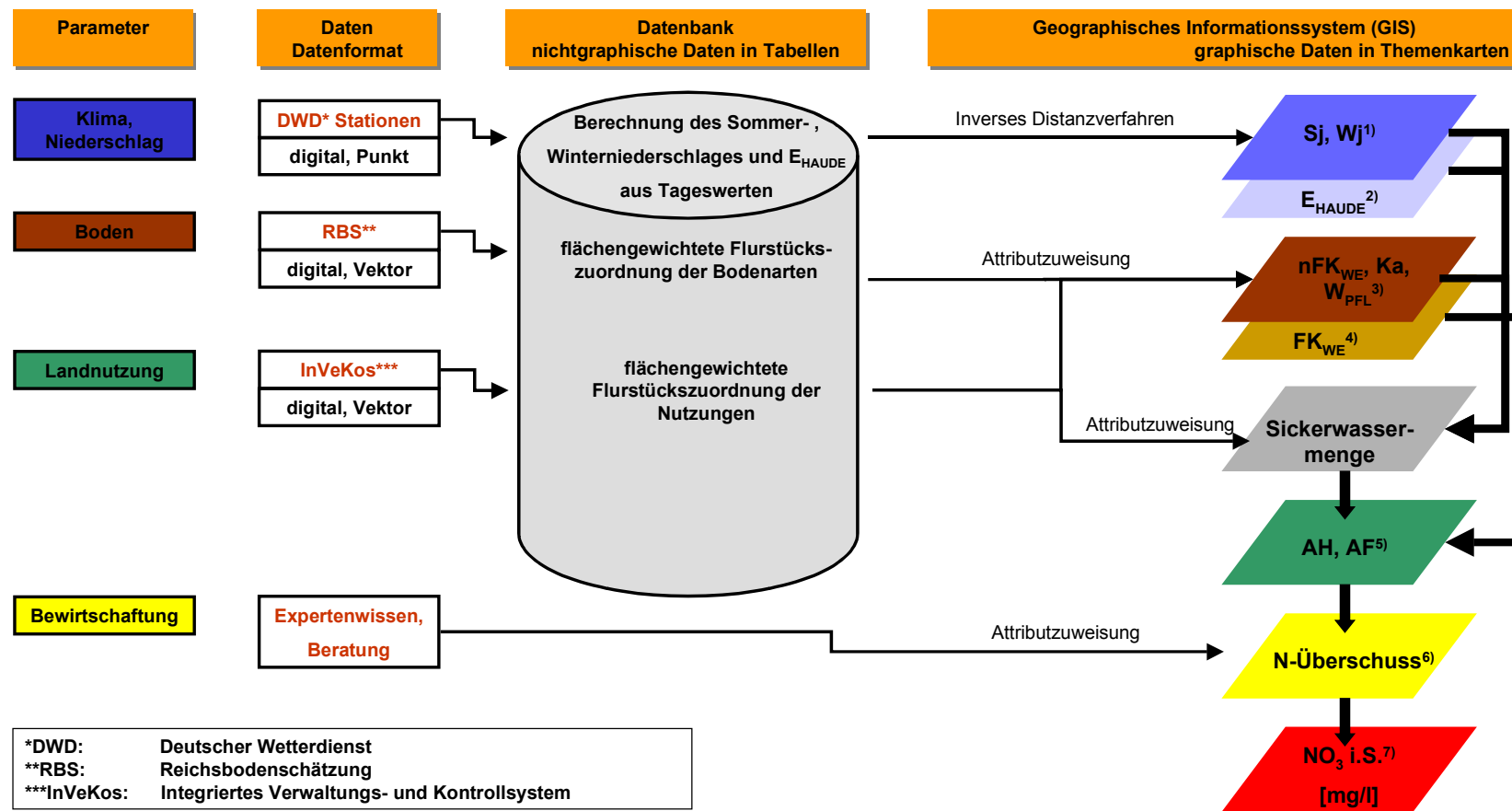


Abbildung 2:

Ablaufschema zur Modellierung der Auswaschung im Einzugsgebiet der Seefelder Ach

Über die GIS-gestützte Berechnung des Bodenabtrags der Ackerflächen wurde im Einzugsgebiet der Seefelder Aach ein mittlerer jährlicher Bodenabtrag von 6,5 t/ha·a ermittelt. Teilweise werden Maximalwerte von 40 t/ha·a erreicht. Bei einem Drittel der Ackerflächen des Einzugsgebietes wird der Bodenabtrag als „sehr hoch“ (> 8 t/ha·a) eingestuft. 40 % der Ackerflächen weisen ein erhöhtes Bodenerosionsrisiko auf, bei dem der berechnete, tatsächliche Bodenabtrag den tolerierbaren Abtrag übersteigt. Bei der Hälfte der Ackerflächen wird die standortbedingte Erosionsgefährdung (RKLS-Faktor) als „sehr hoch“ eingeschätzt. 20 % (1156 ha) der untersuchten Ackerflächen weisen gleichzeitig eine sehr hohe standortbedingte Erosionsgefährdung, sehr hohe tatsächliche Bodenabträge und ein hohes Erosionsrisiko auf (vgl. Abbildung 27). Diese Flächen stellen in Bezug auf Nährstoffeinträge über den Bodenabtrag Schwerpunkte einer gewässerschutzbezogenen Beratung dar.

Unter der Annahme, dass auf allen Ackerflächen im Einzugsgebiet der Seefelder Aach konservierende Bodenbearbeitungsverfahren eingesetzt werden, reduziert sich der Bodenabtrag auf durchschnittlich 2,7 t/ha·a. Bei 9 % der Ackerflächen liegt der Bodenabtrag aber dennoch in der Gefährdungsklasse „sehr hoch“ (> 8 t/ha·a). Hier müssen durch Beratung zusätzlich zur konservierenden Bodenbearbeitung weitere Maßnahmen (z.B. Veränderung der Fruchtfolge) umgesetzt werden.

Auf 63 % der untersuchten Acker- und Grünlandflächen des Einzugsgebietes der Seefelder Aach besteht ein hohes Nitratauswaschungsrisiko, das auf die vorherrschenden Standortbedingungen zurückzuführen ist. Auf Grundlage von schlagbezogenen Düngebilanzen wurde für das Einzugsgebiet eine durchschnittliche potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser von 29 mg NO₃-/l berechnet. 29 % der Acker- und Grünlandflächen weisen ein „hohes“ bis „sehr hohes“ Gewässergefährdungspotenzial (> 35 mg NO₃-/l) auf und stellen somit Schwerpunkte für eine Düngeberatung dar.

Durch eine pilothafte Düngeberatung von Landwirten konnten die schlag- und kulturartenbezogenen Stickstoffüberschüsse reduziert werden. Unter der Annahme einer flächendeckenden Reduzierung der Stickstoffüberschüsse wurde für das Einzugsgebiet der Seefelder Aach eine durchschnittliche potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser von 18 mg NO₃-/l ermittelt. Nur noch 1 % der Acker- und Grünlandflächen weist ein „hohes“ Gewässergefährdungspotenzial auf, das durch eine weitere Reduzierung der Stickstoffdüngung verringert werden muss.

Im Einzugsgebiet der Seefelder Aach besitzen insgesamt 468 ha (= 5 %) der untersuchten landwirtschaftlichen Nutzfläche hinsichtlich des Bodenabtrags bezogen auf Ackerflächen und in Bezug auf Acker- und Grünlandflächen hinsichtlich der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser ein „hohes“ bis „sehr hohes“ Gewässergefährdungspotenzial.

Durch den Aufbau des Landschafts-Informationssystems im Einzugsgebiet der Seefelder Aach (LISA) konnten hinsichtlich Bodenabtrag und Nitratauswaschung die austragsgefährdeten Flächen („hot spots“) lokalisiert werden. Durch dieses Verfahren kann die gewässerschutzbezogene, landwirtschaftliche Beratung gezielt auf diesen „hot spots“ ansetzen und somit ihre Effektivität erhöht werden. Das LISA stellt somit ein wichtiges Instrument für die gewässerschutzbezogene, landwirtschaftliche Beratung dar.

Es konnte gezeigt werden, dass das hier vorgestellte Verfahren zur Abschätzung austragsgefährdeter Flächen („hot spots“) auf Flurstücksebene auf andere Gewässereinzugsgebiete übertragbar ist. Voraussetzung für die Umsetzung in anderen Einzugsgebieten ist die Zusammenarbeit von Wasserwirtschafts- und Landwirtschaftsverwaltung und die Verbindung des Landschafts-Informationssystems mit der landwirtschaftlichen Beratung, da das Informationssystem als Instrument der Beratung eingesetzt werden soll und wichtige Daten als Expertenwissen aus der Beratung in das Landschafts- Informationssystem einfließen.

Abschließend kann festgestellt werden, dass durch die Entwicklung des Landschafts-Informationssystem Seefelder Aach (LISA) ein wichtiger Beitrag geleistet werden konnte, um die Effektivität der landwirtschaftlichen Beratung zum Gewässerschutz zu erhöhen und somit auf dem Hintergrund der EU-Wasserrahmenrichtlinie einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung der diffusen Nährstoffeinträge in die Gewässer geleistet werden kann.

1 Einleitung

Die Gewässer werden vor allem über Stickstoff- und Phosphorverbindungen mit Nährstoffen belastet. Beide Stoffgruppen sind aus ökologischer Sicht beim Gewässerschutz bedeutsam. Nährstoffe gelangen durch natürliche Vorgänge (natürliche Hintergrundlast) und durch menschliches Handeln (Siedlungs- und Industrieabwässer, Düngemittelausbringung) in die Gewässer. Dabei sind diffuse (flächenhaft, nicht genau lokalisierbar) und punktuelle Einträge zu unterscheiden. Die Landwirtschaft trägt überwiegend zum diffusen Nährstoffeintrag bei.

Für oberirdische Gewässer liegen Abschätzungen hinsichtlich der Eintragspfade aus unterschiedlichen Quellen vor. Abbildung 3 zeigt die Bedeutung der einzelnen Eintragspfade an der Gesamtbelastung in der Bundesrepublik Deutschland.

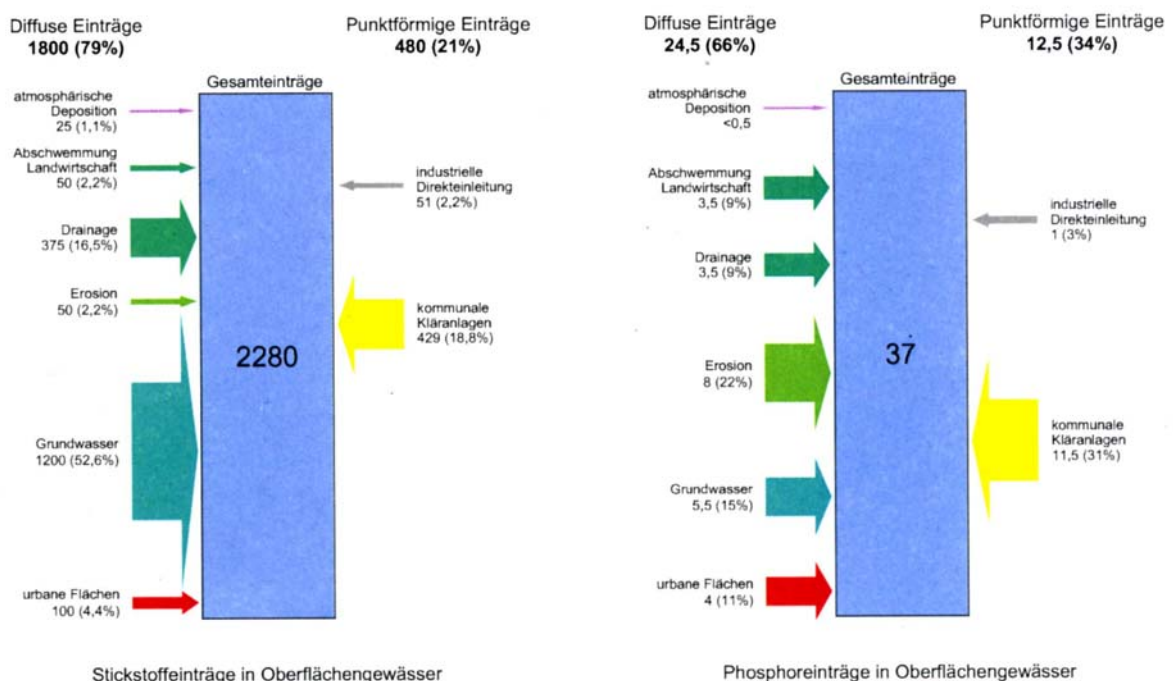


Abbildung 3:

Nährstoffeinträge in oberirdische Gewässer der Bundesrepublik Deutschland – (Angaben 1995 in 1000 t) (BMU & UBA, 2001)

Sowohl bei Stickstoff als auch bei Phosphor stammen die diffusen Einträge überwiegend von landwirtschaftlichen Nutzflächen. Der überwiegende Teil (60 %) der Stickstoffeinträge in die Fließgewässer stammt aus diffusen Quellen, vor allem über die Nitratauswaschung in das Grundwasser. Dabei bestimmt die Nitratversickerung unter landwirtschaftlich genutzten Flächen die Grundwasserbelastung maßgeblich. N-Einträge über Erosion, Dränwasser und Direkteinträge spielen dagegen eine untergeordnete Rolle, sie können jedoch regional bedeutsam werden.

Phosphor gelangt ebenfalls überwiegend über diffuse Quellen in Oberflächengewässer, wobei der diffuse P-Eintrag größtenteils auf Erosion beruht. Direkteinträge stellen die zweitgrößte Quelle diffuser Gewässerbelastung dar. Grund- und Dränwasser sind für die P-Belastung der oberirdischen Gewässer dagegen kaum bedeutsam (BMU & UBA, 2001).

Die Bilanzierung der Nährstoffeinträge mit dem Modell MONERIS zeigt, dass diese in Baden-Württemberg in die Gewässer überwiegend diffus eingetragen werden: Stickstoff zu 75 % (rund 59 % über das Grundwasser) und Phosphor zu ca. 60 % (rund 28 % über Erosion). Insgesamt wurden über MONERIS Stickstoffeinträge in die Fließgewässer Baden-Württembergs von 82580 t N/a und Phosphoreinträge von 3280 t P/a für die Bezugsjahre 1993-1996 berechnet (LEHMANN, 2002).

Im Bereich des Gewässerschutzes wird erstmals durch die EU-WASSERRAHMENRICHTLINIE (2000) der Schritt von einer sektoralen zu einer ganzheitlichen Betrachtungsweise vollzogen. Als neuen Aspekt berücksichtigt die Wasserrahmenrichtlinie die Einbeziehung des gesamten Einzugsgebiets und die differenzierte Betrachtung der Gewässerbelastung nach Punkt- und diffusen Quellen.

Im Einzugsgebiet der Seefelder Aach wurde vom Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg unter Federführung des Regierungspräsidiums Tübingen bereits 1998 vor der Verabschiedung der EU-Wasserrahmenrichtlinie ein Pilotprojekt ins Leben gerufen, um erste Erfahrungen zur Umsetzung der Richtlinie auf der lokalen Ebene zu sammeln.

Die Seefelder Aach wird im Vergleich zu anderen Bodenseezuflüssen überdurchschnittlich mit Nährstoffen aus diffusen Quellen belastet, die vor allem aus der Landwirtschaft stammen (PRASUHN ET AL., 1996). Nach BORCHARDT (1999) gelangten im Jahre 1998 insgesamt 10 t Phosphor und 348 t Stickstoff über die Seefelder Aach in den Bodensee. Dabei stammen ca. 90 % der Stickstoffeinträge und ca. 40 % der Phosphoreinträge aus diffusen Quellen. Im Rahmen des Aktionsprogramms „Integrierter Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Seefelder Aach“ besteht somit eine wichtige Aufgabe darin, die diffusen Nährstoffquellen aus der Land(wirt)schaft zu reduzieren, um einen „guten Zustand“ der Seefelder Aach zu erreichen, wie von der EU-WASSERRAHMENRICHTLINIE (2000) gefordert wird. Im Bereich Landwirtschaft wurde eigens dafür eine zusätzliche Beratungsstelle beim Amt für Landwirtschaft, Landschafts- und Bodenkultur Markdorf eingerichtet.

Um zukünftig die landwirtschaftliche Beratung und die Umsetzung von landwirtschaftlichen Maßnahmen zum Gewässerschutz auf Flächen zu konzentrieren, die hinsichtlich Bodenabtrag und Nitratauswaschung austragsgefährdet sind, ist es das Ziel dieses Leitfadens, eine GIS-gestützte Methodik vorzustellen, die diese so genannten „hot spots“ identifiziert.

Am Beispiel des Einzugsgebiets der Seefelder Aach werden anhand einer Landschafts- und Belastungsanalyse die austragsgefährdeten Flächen lokalisiert. Die Methodik zur Ermittlung der austragsgefährdeten landwirtschaftlichen Nutzflächen wurde im Hinblick auf eine landesweite Übertragbarkeit entwickelt, d.h. unter Verwendung allgemein verfügbarer Daten. Mit Hilfe des geographischen „Landschafts-Informationssystems Seefelder Aach“ (LISA) werden der Ist-Zustand des Einzugsgebietes hinsichtlich der Gewässerbelastung bewertet und Szenarien dargestellt, die zur Reduzierung der Nährstoffeinträge in die Seefelder Aach beitragen. Zur Berechnung des Bodenabtrags werden im LISA die Ackerflächen betrachtet. Die Höhe der Nitratkonzentration im Sickerwasser wird für Acker- und Grünlandflächen berechnet.

2 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

2.1 Das Einzugsgebiet der Seefelder Aach

Das Einzugsgebiet der Seefelder Aach liegt im Südosten Baden-Württembergs und besitzt eine Fläche von 280,25 km². Es erstreckt sich über die Landkreise Sigmaringen, Konstanz und Bodenseekreis. 19 Gemeinden mit 53 Gemarkungen befinden sich im Einzugsgebiet.

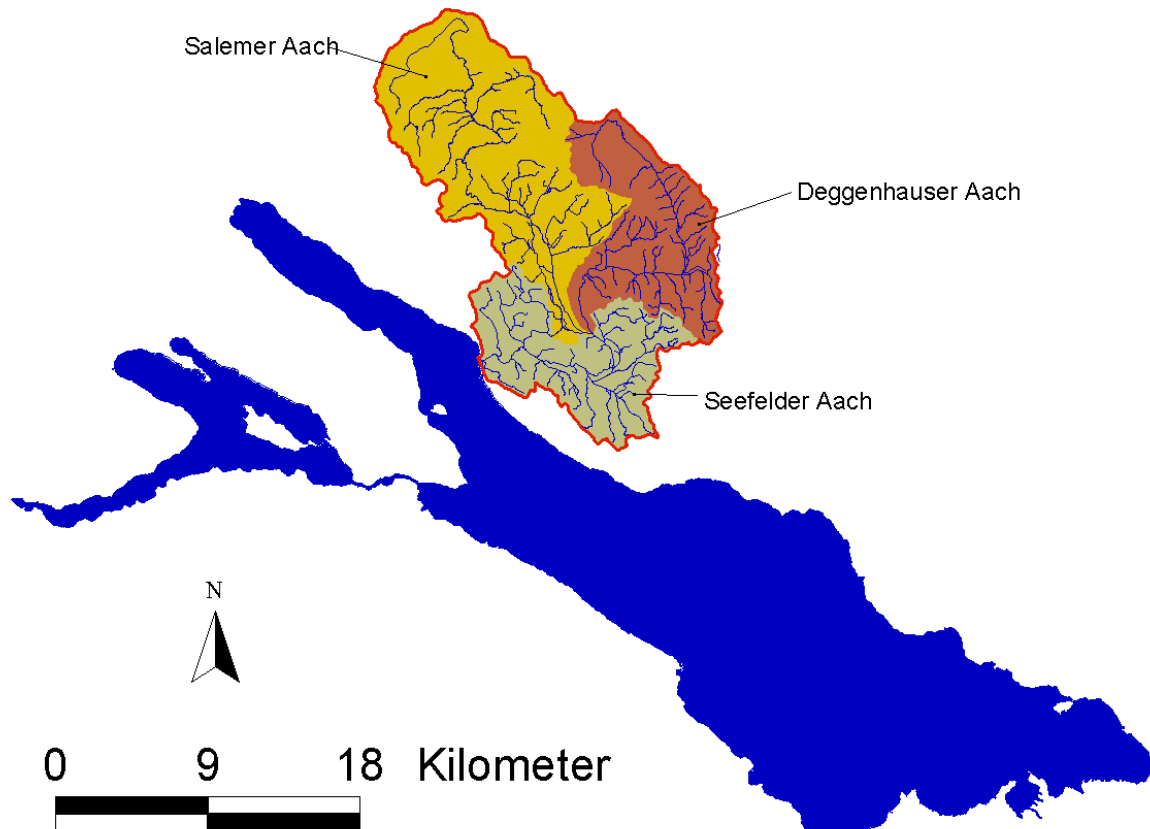


Abbildung 4:

Das Einzugsgebiet der Seefelder Aach

Es umfasst die Teileinzugsgebiete der Salemer, Deggenhauser und Seefelder Aach und ist Teil des Bodensee-Einzugsgebiets. Deggenhauser Aach und Salemer Aach vereinigen sich bei Buggensegel zur Seefelder Aach, die bei Uhdlingen-Mühlhofen in den Bodensee mündet. Die Gewässer I. und II. Ordnung besitzen eine Gesamtlänge von 381 km. Das Einzugsgebiet besitzt somit eine hohe Fließgewässerdichte von 1,4 km/km². Sehr hohe Flussdichten (2 km/km²) gibt es in Baden-Württemberg im mittleren Oberrheintiefland. Im Gegensatz dazu sind beispielsweise auf der Schwäbischen Alb die Flussdichten mit Werten bis gegen 0 km/km² sehr gering (BMU, 2001).

Die Geologie des Untersuchungsgebiets ist eng mit der Entstehung der Alpen und des Bodensees verbunden. Durch Faltung bzw. durch Übereinanderschichten der tektonischen Platten bei der Entstehung der Alpen bildete sich durch Absenken ein Trog im Bereich des heutigen schwäbisch-bayrischen Alpenvorlandes (FEIERABEND, 1997). Dieser Trog wurde mit Geröll, Sand, Mergel und Ton durch die Urströme aufgefüllt. Durch Heben und Senken des Alpenkammes wurde der Trog mehrmals im Wechsel von Meerwasser und Süßwasser überflutet, wobei die verschiedenen Molasseschichten entstanden. Die tertiären Molassegesteine sind im Bereich des Untersuchungsgebietes weitgehend von glazialen und glazifluvialen Ablagerungen des Pleistozäns überlagert (GEYER & GWINNER, 1991).

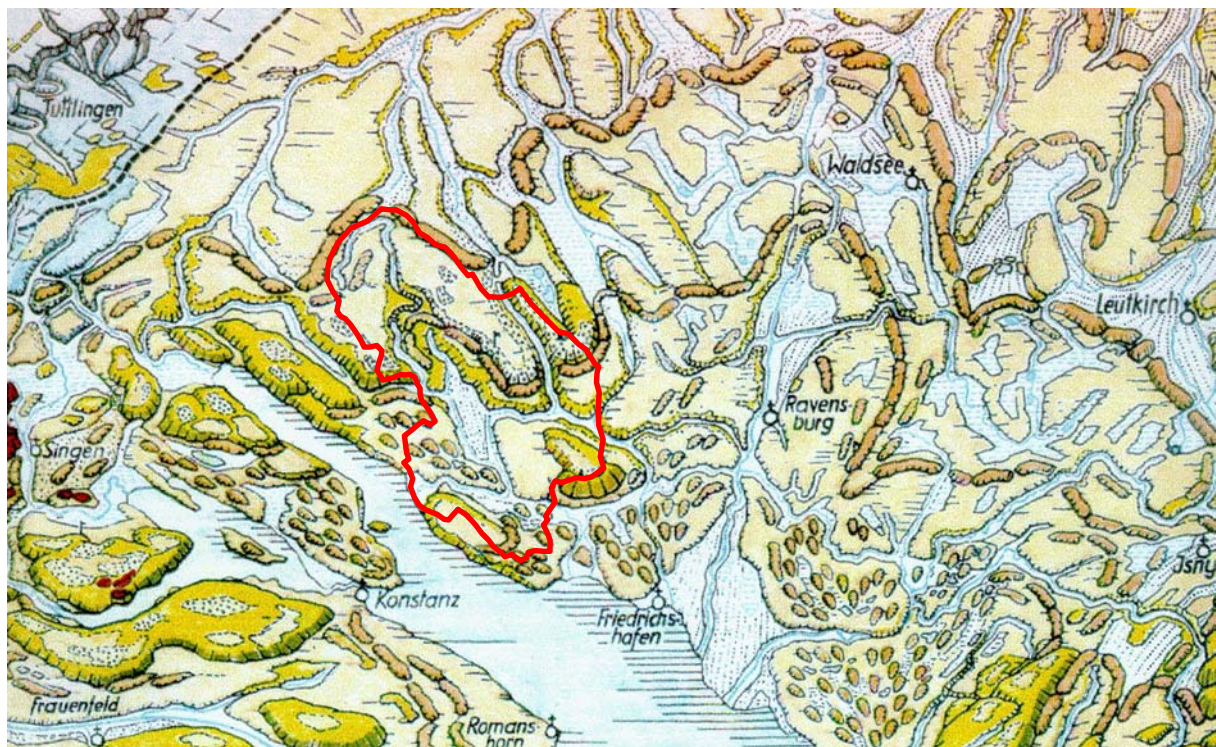


Abbildung 5:

Geologische Reliefkarte von Oberschwaben (WAGNER & KOCH, 1961)

Das heutige Landschaftsbild Oberschwabens und des Bodenseebeckens entstand vor allem durch quartäre Bildungen. Während der Eiszeiten des Pleistozäns formte der Rheingletscher das Relief. Die abgelagerten quartären Lockergesteine mit ihren glazialen, glazifluvialen und glazilimnischen Akkumulations- und Erosionsformen prägen das heutige Landschaftsbild (siehe Abbildung 5). Man kann die landschaftliche Gliederung in die Jungmoränenlandschaft, die aus den Aufschüttungen der Würmeiszeit entstanden ist, und die Altmoränenlandschaft, die aus glazialen Bildungen älterer Eiszeiten stammt, einteilen.

Die Jungmoränenlandschaft nimmt nur den inneren Teil des Rheingletscherbeckens ein, der äußere Bereich ist durch glazifluviale Schotterfluren gekennzeichnet. Im Gebiet der Jungmoränen zeigen die Endmoränenzüge den Maximalvorstoß des Rheingletschers, während die inneren Züge die Rückzugsstadien (Stadiale) markieren.

Die Ausschüfung des Bodenseebeckens fand vor allem in der Riss- und Würmeiszeit statt. In der jüngsten Eiszeit (Würm) teilte sich der Rheingletscher in mehrere Eisloben von Ost nach West und kleine Zweiggletscher lagen im Becken des Überlinger Sees, im Stockacher Becken und im Frickinger Becken, in dem ein großer Teil des Untersuchungsgebietes liegt. Beim Abschmelzen der Gletscherzungen bildeten sich Schmelzwasserrinnen, denen die heutigen größeren Fließgewässer wie die Stockacher und die Seefelder Aach folgen. Durch die rückschreitende Erosion des Hochrheins liefen die Schmelzwässer nach Westen ab. So entwässern heute die Fließgewässer der Gegend in den Bodensee (GEYER & GWINNER, 1991).

Im Einzugsgebiet der Seefelder Aach überwiegen Parabraunerden aus steinigem, lehmigen Sand bis sandigem Lehm auf Geschiebemergel der Moränen, Pseudogleye auf Schotter der Würmeiszeit und Süßwassermolasse (GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG, 1995). Die durchschnittliche Ertragsmesszahl liegt bei 50.

Die Nähe zum Bodensee und der Einfluss der Alpen und die damit einhergehende Klimagunst (durchschnittliche Jahrestemperatur zwischen 6,6 °C und 9,0 °C; durchschnittliche Jahresniederschläge zwischen 780 mm und 1200 mm, mit einem Maximum in den Sommermonaten) tragen dazu bei, dass im Einzugsgebiet der Seefelder Aach sowohl Ackerbau und Grünlandbewirtschaftung, als auch Obstbau und entlang des Bodenseeufer und im Bereich Bermatingen sogar Weinbau möglich sind (LEL, 1994).

Der Anteil der landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF) an der Gesamtfläche liegt im Einzugsgebiet der Seefelder Aach mit rund 59 % deutlich über dem baden-württembergischen Durchschnitt von 48 %. Die Anteile der Ackerfläche und des Dauergrünlandes an der landwirtschaftlich genutzten Fläche liegen mit 52 % bzw. 38 % unter dem Landesdurchschnitt (57 % bzw. 39,5 %). Einen weiteren Schwerpunkt bildet am Bodensee der Obstbau (7 %). Der Getreideanteil von knapp 70 % an der Ackerfläche und der Hackfruchtanteil von 3 % an der landwirtschaftlich genutzten Fläche entsprechen den durchschnittlichen Verhältnissen im Land (STALA, 1996).

Die Fruchtfolge ist in typischen Betrieben stark vereinfacht und wird durch die Kulturen Winterweizen, Wintergerste und Mais dominiert. Die Bodenbearbeitung wird weitgehend konventionell durchgeführt. Alternative Verfahren wie Mulch- oder Direktsaat werden kaum angewendet, wurden aber durch ein pilothaftes Beratungsprojekt innerhalb des Modellvorhabens „Integrierter Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Seefelder Aach“ angestoßen (SCHLECKER & KONOLD, 2002).

2.2 Datengrundlage und Stand der Kenntnis

Das Landschafts-Informationssystem Seefelder Aach (LISA) soll dazu dienen, die nährstoffaustragsgefährdeten Flächen bezüglich Erosion und Nitratauswaschung zu lokalisieren, um darauf eine qualifizierte landwirtschaftliche Beratung aufzubauen. Aus Abbildung 6 ist die Struktur des Landschafts-Informationssystems Seefelder Aach (LISA) ersichtlich.

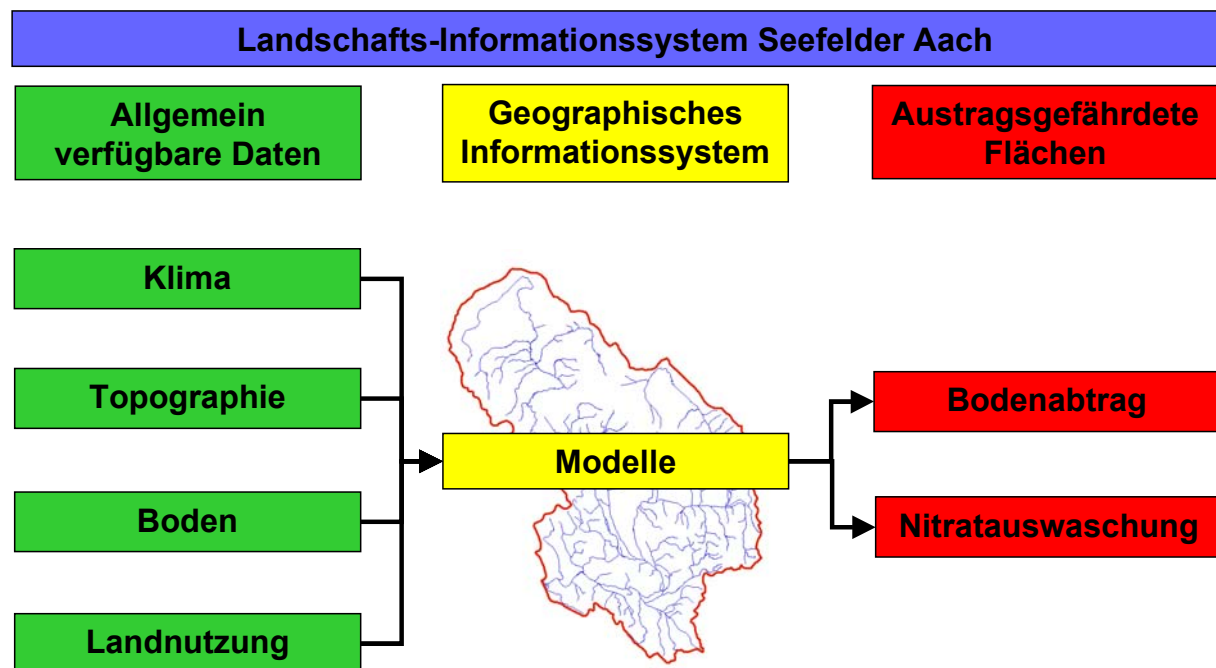


Abbildung 6:

Aufbau des Landschafts-Informationssystems Seefelder Aach (LISA)

Grundlage für das Landschafts-Informationssystem Seefelder Aach (LISA) bildet die Software ArcView™ Version 3.2 der Firma ESRI mit den lizenzpflichtigen Erweiterungen „Spatial Analyst“ und „3D Analyst“. Zur Modellierung der Erosion wurden zusätzliche Erweiterungen verwendet, die unter <http://www.esri.com> kostenlos zur Verfügung gestellt werden. Als Datenbank wurde MS Access™ eingesetzt. Die Software war auf einem Rechner mit einem 500 MHz Prozessor, mit 128 MB RAM unter dem Betriebssystem MS Windows NT™ installiert. Diese Hard- und Softwareausstattung ist als Mindeststandard für die Bearbeitung des LISA anzusehen.

Das Landschafts-Informationssystem Seefelder Aach (LISA) ist ein geographisches Informationssystem (GIS). Geographische Informationssysteme dienen

- als Daten- und Informationsspeicher und deren Verwaltung,
- der Verarbeitung und Verknüpfung von Punkt-, Linien- und Flächendaten,
- zur Datenaggregation, -analyse, -synthese,
- zur Simulation von Modellen (Erosion u. Nitratauswaschung),
- zur Simulation von Szenarien,
- zur Kartendarstellung.

Um die diffusen Nährstoffquellen lokalisieren zu können, sind Modelle notwendig, da Messungen zu arbeits- und kostenaufwändig sind. Eine Aufgabe innerhalb des Projektes besteht darin, auf vorhandene Modelle zurückzugreifen.

In das LISA werden verschiedene Daten zu Klima, Topographie, Boden und Landnutzung integriert, um anschließend eine Landschafts- und Belastungsanalyse hinsichtlich Nitratauswaschung und Erosion durchzuführen.

Die Daten lassen sich in Punkt-, Linien- und Flächendaten, analoge und digitale Daten unterscheiden. Digitale Daten, die nicht direkt vom GIS verarbeitet werden können, und analoge Daten müssen zunächst umgewandelt werden (z.B. durch Digitalisierung), um in das GIS integriert werden zu können. Die Daten müssen im Hinblick auf die Fragestellung der Übertragbarkeit auf andere Einzugsgebiete folgenden Anforderungen genügen. Sie sollten

- flächendeckend vorhanden,
- bezahlbar,
- landesweit verfügbar und
- relevant für die Beratung sein.

Im Bereich der Modellierung von Erosion und Nitratauswaschung ist in Deutschland eine Vielzahl von Projekten durchgeführt worden. Anhand der folgenden Beispiele soll der derzeitige Kenntnisstand aufgezeigt werden.

Methodik zur GIS-gestützten Berechnung von Nährstoffeinträgen in Fließgewässer durch Oberflächenabfluss mit dem Modell AGNPS (RODE ET AL., 1996)

Hier wurde eine Methodik vorgestellt, die ein GIS mit dem mathematischen, ereignisorientierten Wasser- und Stofftransportmodell Agricultural Non-Point Source (AGNPS) koppelt und damit den Eintrag von Sediment, gelösten sowie partikulär gebundenem Stickstoff und Phosphor in die Fließgewässer simuliert.

Die Verknüpfung von GIS und AGNPS erlaubt durch die rechnergestützte Erstellung von Inputdatensätzen eine räumlich hochaufgelöste Erfassung des Einzugsgebietes der Lumda ($A_{EO} = 129 \text{ km}^2$). Die Einsatzmöglichkeiten des Modells wurden durch den Vergleich unterschiedlicher Nutzungsszenarien aufgezeigt. Durch die Anbindung der Fläche an das Fließgewässer über den Oberflächenabfluss konnten die Prozesse der Erosion, der Deposition sowie des Nährstofftransports flächendetailliert erfasst werden. Dies stellt eine entscheidende Weiterentwicklung gegenüber der Gefahrenabschätzung mittels der rein empirischen Erosionsberechnung durch die ABAG dar.

Gewässerbelastung durch landwirtschaftliche Flächennutzung im Einzugsgebiet der Lahn (BACH & FREDE, 1996):

Zur Lokalisation von Minderungsmaßnahmen hinsichtlich Stoffeinträgen in Gewässer wurde beispielhaft die Nitrataustragsgefährdung der Landwirtschaftsflächen abgeschätzt. Die räumliche Differenzierung mittels GIS wurde auf der Basis von Fernerkundungs- und weiteren Flächendaten durchgeführt. Das Einzugsgebiet umfasst 3565 km^2 .

Die Stickstoff- und Phosphateinträge aus der Landwirtschaft wurden wie folgt ermittelt:

- Berechnung der Gewässerfracht: Konzentrations-Abfluss-Beziehung
- Gesamtjahresfracht - Punktuelle Quellen = Diffuse Quellen

Des Weiteren wurden Maßnahmen zur Belastungsminderung regionalisiert. Zur Erfassung dienten folgende Rasterdaten:

- vieljährige mittlere Tagessummen der Niederschläge (interpoliert zwischen Niederschlagsstationen des DWD),
- Relief (Digitales Höhenmodell),
- Bodenart (Sonderauswertung der Bodenschätzungsdaten),
- Gewässernetz (aus TK 25 digitalisiert),
- Landnutzung (klassifizierte LANDSAT TM-Szene).

Die Daten wurden mit einem GIS auf der Basis von $25\text{m} \times 25\text{m}$ Rasterzellen ausgewertet und miteinander verknüpft.

Zur regionalen Differenzierung von Maßnahmen zur Verminderung der N-Emissionen wurde flächendeckend das standorts- und bewirtschaftungsabhängige Nitrataustragspotenzial ermittelt. Die Standorteigenschaften wurden anhand der Kenngröße der „mittleren jährlichen Austauschhäufigkeit der Bodenlösung in der Wurzelzone“ bewertet.

Die Nutzungsintensität als Faktor der potenziellen Nitratauswaschung wird durch den N-Überschuss charakterisiert, der nach verschiedenen Ansätzen auf Gemeindeebene, für einzelne Betriebe sowie Parzellen erhoben werden kann.

Forschungsverbund Agrarökosysteme München (FAM): Modellierung von Erosion und Nitrataustrag in Agrarlandschaften (LANG, 1997):

Ziel dieser Arbeit war es, Modelle zu entwickeln, die für einen größeren Landschaftsraum eine Abschätzung des Bodenabtrags durch Wasser und des Nitrataustrags mit dem Sickerwasser landwirtschaftlicher Flächen ermöglichen. Auf dieser Grundlage wurde die untersuchte Agrarlandschaft bewertet und unter Berücksichtigung des Schutzes dieser Ressourcen neu- bzw. umgestaltet. Das Untersuchungsgebiet umfasste eine Größe von 547 km². Der Bearbeitungsmaßstab betrug 1:25 000.

Auf dieser Maßstabsebene waren Fragen in Bezug auf die Bewertung von Auswirkungen verschiedener Landnutzungsformen und generalisierter Fruchtfolgen in einem mittel- oder längerfristigen zeitlichen Rahmen von Bedeutung.

Der Bodenabtrag wurde mit Hilfe der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung ABAG ermittelt.

Der Nitrataustrag wurde mit einem Wasserhaushaltsmodell berechnet, das sich in drei Teilmodelle (Interzeptions-, Oberflächenabfluss- und Bodenfeuchtemodell) gliedert.

Landschaftsmodellierung für die Umweltplanung am Beispiel des Kraichgaus und des Westallgäuer Hügellands (DABBERT ET AL., 1999)

In einem interdisziplinären Projekt aus den Bereichen Bodenkunde, Landschaftsökologie und Ökonomie wurde ein ökologisch-ökonomisches Regionalmodell entwickelt, mit dem der Einfluss der Landbewirtschaftung auf die Umweltgüter Boden, Wasser und Vegetation auf regionaler Ebene beurteilt werden kann. Dieses Modell wurde beispielhaft für die zwei intensiv genutzten baden-württembergischen Agrarlandschaften Kraichgau und Westallgäuer Hügelland erstellt.

Regionale Umweltqualitätsziele sind Grundlage für Vorschläge zur Nutzungsänderung landwirtschaftlicher Flächen. Diese werden in Szenarien dargestellt und aus ökologischer sowie sozioökonomischer Sicht beurteilt. Anhand dieser Ergebnisse können regionalspezifische Zielkonzepte für eine nachhaltig umweltgerechte, landwirtschaftliche Nutzung dargestellt werden.

Der Aufbau einer Datenbank und der Einsatz eines Geographischen Informationssystems waren notwendige Schritte für die Entwicklung und den Einsatz dieses Regionalmodells.

Das Modell basiert auf einem einheitlichen 100m x 100m - Raster. Für die Anpassung des Modells werden in Untersuchungs- und Testgebieten Detailstudien durchgeführt. Mit diesem Modellansatz sollten darüber hinaus Erkenntnisse über die Problematik der Verwendung unscharfer Daten auf regionaler Ebene gewonnen werden.

Nährstoffbilanzierung der Flussgebiete Deutschlands mit dem Modell MONERIS (Behrendt et al., 1999):

Zur Ermittlung der Nährstoffeinträge über die verschiedenen punktuellen und diffusen Eintragspfade in die Flussgebiete Deutschlands wurde das Modelle MONERIS (**MO**delling **N**utrient **E**missions in **RI**ver **S**ystems) entwickelt und angewendet. Die Grundlagen für das Modell bilden Abfluss- und Gütedaten der zu untersuchenden Flussgebiete sowie ein GIS.

Innerhalb des Modells werden sieben Eintragspfade unterschieden:

- Punktquellen,
- atmosphärische Deposition,
- Erosion,
- Abschwemmung,
- Grundwasser,
- Dränagen und
- versiegelte urbane Flächen.

Mit MONERIS wurde versucht, für die einzelnen Eintragspfade und Transformations- und Rückhalteprozesse auf der Basis vorhandener Ansätze zur großräumigen Modellierung neue konzeptionelle Modelle abzuleiten. Ein GIS wurde eingesetzt, um die Nährstoffeinträge regional differenziert quantifizieren zu können.

Die oben genannten Modelle dienen zur Abschätzung diffuser Nährstoffausträge der Landwirtschaft in Gewässer. Eine weitere Gemeinsamkeit der Modelle ist die Verwendung eines Geographischen-Informations-Systems. Für die Eintragspfade Erosion, Oberflächenabschwemmung und Auswaschung werden unterschiedliche Verfahren und Methoden angewendet, die teilweise auf Daten basieren, die nicht allgemein verfügbar sind und somit nicht zielführend für die Fragestellung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach sind. Die vorhanden Modelle arbeiten auf Rasterbasis unterschiedlicher Genauigkeit. Für die landwirtschaftliche Beratung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach werden flächenscharfe bzw. schlag- und flurstücksbezogene Aussagen benötigt. Die vorgestellten Modelle dienen grundsätzlich der Fragestellung des Projektes, müssen aber hinsichtlich ihrer Aussageschärfe durch den Einsatz hochauflösender Daten verbessert werden.

2.2.1 Klima

Aus Abbildung 7 ist die Lage der Niederschlagsstationen ersichtlich, die im Landschafts-Informationssystem Seefelder Aach (LISA) verwendet wurden. Es fällt auf, dass nur zwei Stationen im Einzugsgebiet liegen. Sechs Stationen sind weniger als 5 km vom Einzugsgebiet entfernt.

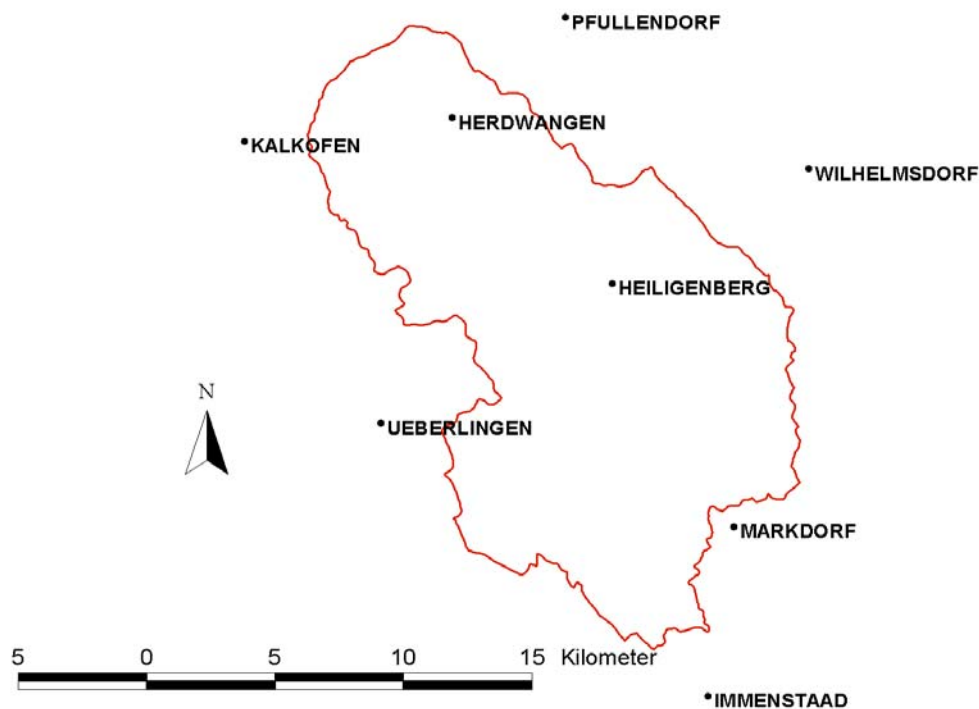


Abbildung 7

Lage der im Landschaftsinformationssystem verwendeten Niederschlagsstationen

Die vom DWD¹ bereitgestellten Niederschlagsdaten sind Tageswerte für den Zeitraum vom 01.01.1987 bis 31.12.1996. Aus den Tageswerten wurden mittlere Niederschlagswerte berechnet, die in Tabelle 1 dargestellt sind. Der Jahresniederschlag bildet die Grundlage für die Berechnung des R-Faktors (vgl. Kapitel 3.3) zur Erosionsmodellierung. Winter- (01.10. – 31.03.) und Sommerniederschlag (01.04. – 30.09.) werden zur Berechnung der Sickerwassermenge benötigt (vgl. Kapitel 4.1).

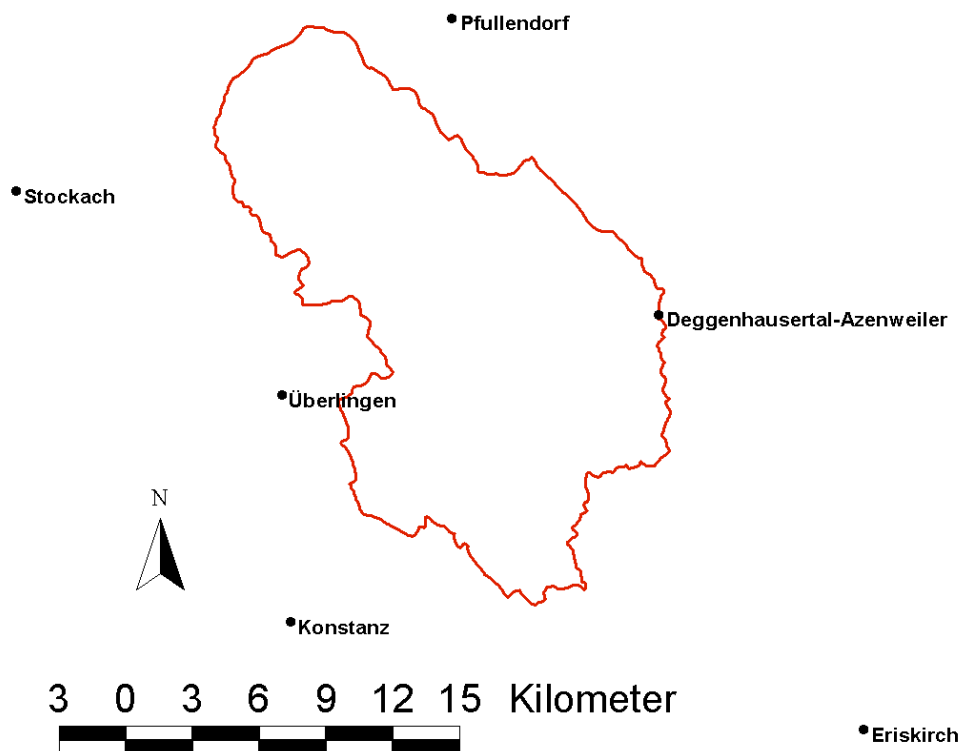
¹ DWD: Deutscher Wetterdienst

Tabelle 1:

Mittlere Niederschlagsmengen der Niederschlagsstationen des DWD vom 01.01.1987 bis 31.12.1996

| | Stationsnummer | Jahresniederschlag [mm] | Sommerniederschlag [mm] | Winterniederschlag [mm] |
|--------------|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Herdwangen | 70161 | 876 | 529 | 347 |
| Wilhelmsdorf | 70152 | 1009 | 579 | 430 |
| Immerstaad | 70155 | 845 | 499 | 346 |
| Markdorf | 70157 | 981 | 592 | 389 |
| Heiligenberg | 70163 | 1099 | 647 | 452 |
| Überlingen | 70165 | 893 | 550 | 342 |
| Kalkofen | 70169 | 880 | 536 | 345 |
| Pfullendorf | 90148 | 872 | 548 | 324 |

Zur Berechnung der Evapotranspiration werden Klimadaten (z.B. Temperatur, rel. Luftfeuchte) benötigt, die von Klimastationen des DWD erfasst werden. Aus Abbildung 8 ist die Lage der Klimastationen ersichtlich, die im LISA verwendet wurden. Zur Berechnung der Evapotranspiration wurden die Daten von sechs Klimastationen verwendet, die am nächsten zum Einzugsgebiet liegen.

**Abbildung 8:**

Lage der im Landschaftsinformationssystem verwendeten Klimastationen

Die vom DWD bereitgestellten Klimadaten sind Tageswerte für den Zeitraum vom 01.01.1987 bis 31.12.1996. Aus den Tageswerten wurde die Evapotranspiration nach Haude berechnet und über die Jahre gemittelt (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2:

Mittlere potenzielle Evapotranspiration [mm] nach Haude der Klimastationen des DWD vom 01.01.1987 bis 31.12.1996

| | Stationsnummer | Potentielle Evapotranspiration |
|----------------------------|----------------|--------------------------------|
| Pfullendorf | 90148 | 372 |
| Überlingen | 70165 | 473 |
| Konstanz | 70181 | 570 |
| Stockach | 70173 | 510 |
| Deggenhausertal-Azenweiler | 70153 | 495 |
| Eriskirch | 70149 | 520 |

2.2.2 Topographie

2.2.2.1 Amtliches Liegenschaftskataster (ALK)

Topographische Daten sind die Grundlage für die Erstellung des Flächenbezugs der Parameter des Landschafts-Informationssystems Seefelder Aach (LISA). Das Einzugsgebiet der Seefelder Aach wurde von der Gewässerdirektion Donau/Bodensee-Bereich Ravensburg abgegrenzt. Die zu betrachtenden Flächen werden für das Einzugsgebiet vom Amtlichen Liegenschaftskataster (ALK) abgeleitet. Das ALK wurde von der Landesanstalt für Umweltschutz (LFU) Baden-Württemberg zur Verfügung gestellt und vom Landesvermessungsamt erstellt. Aus Abbildung 9 ist ersichtlich, dass für das Einzugsgebiet der Seefelder Aach das ALK noch nicht flächendeckend vorliegt. Ende 2001 waren 30216 Flurstücke im Einzugsgebiet erfasst. Dies entspricht einem Deckungsgrad von 86 %.

Im ALK werden Flurstücksgrenzen abgebildet. Die Nutzungs- bzw. Schlaggrenze entspricht meist nicht der Flurstücksgrenze. Die Bezugsgröße für das LISA stellt das Flurstück dar. Parameter (z.B. Daten der Reichbodenschätzung, Nutzung), die pro Flurstück in unterschiedlicher Ausprägung auftreten, wurden nach ihren Flächenanteilen den Flurstücken zugeordnet. Dabei wurden jeweils die Ausprägungen mit dem größten Flächenanteil den Flurstücken zugeteilt.

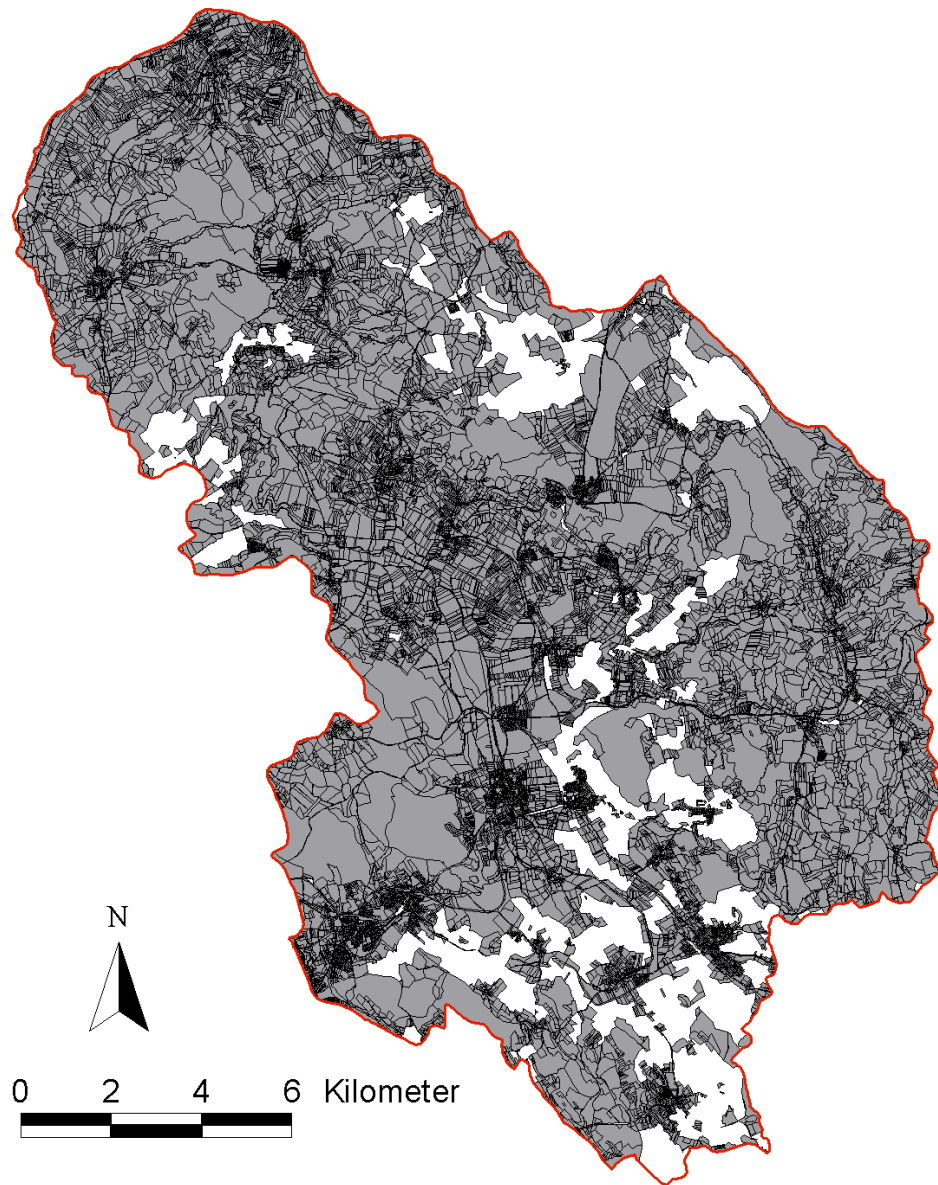


Abbildung 9:

Flächen des ALK im Einzugsgebiet der Seefelder Aach (weiß: noch nicht erfasste Flächen)

2.2.2.2 Topographie

Die Form der Oberfläche ist ein entscheidender Faktor für den Bodenabtrag. Aus Abbildung 10 erkennt man, dass es sich beim Einzugsgebiet der Seefelder Aach um eine hügelige, stark reliefierte Jungmoränenlandschaft handelt mit zwei von Nordwest nach Südost verlaufenden Erhebungen im Nordwesten (729 m über NN) und Nordosten (837 m über NN). Der niedrigste Punkt befindet sich am Gebietsauslass in einer Höhe von 390 m über NN.

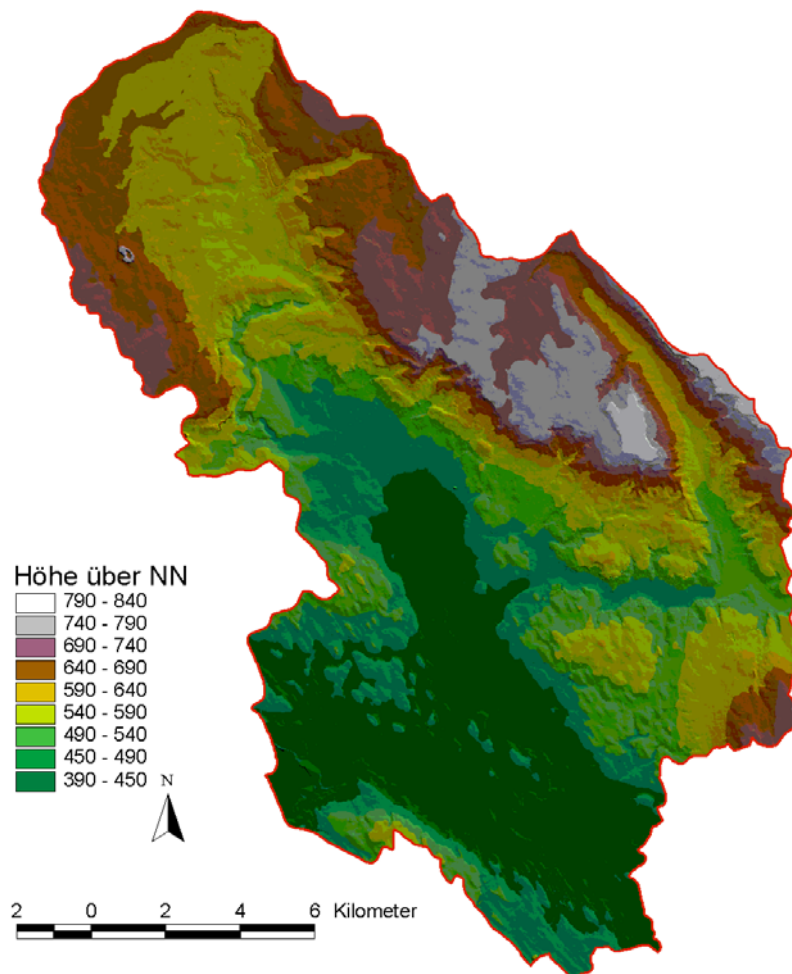


Abbildung 10:

Topographie des Einzugsgebiets der Seefelder Aach

2.2.3 Boden

Die Bodendaten, die in den Modellen verwendet wurden, basieren auf dem Automatisierten Liegenschaftsbuch (ALB) des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg. Das ALB enthält Angaben über Flurstücke und Gebäude sowie die Ergebnisse der amtlichen Bodenschätzung bei landwirtschaftlichen Flächen. Das ALB liegt flächendeckend für ganz Baden-Württemberg vor.

Die Daten der Bodenschätzung wurden digital vom Landesvermessungsamt Baden-Württemberg in Form des Ausgabesatzes WLDGE bezogen. Im Ausgabesatz WLDGE sind neben der Flurstückskennziffer und Flächenangaben folgende Angaben der Bodenschätzung enthalten: Bodenart, Entstehung, Acker- bzw. Grünlandzahl. Für das Einzugsgebiet der Seefelder Aach lagen zum Bearbeitungsstand Januar 2001 für diesen Ausgabesatz insgesamt 28 613 Datensätze vor.

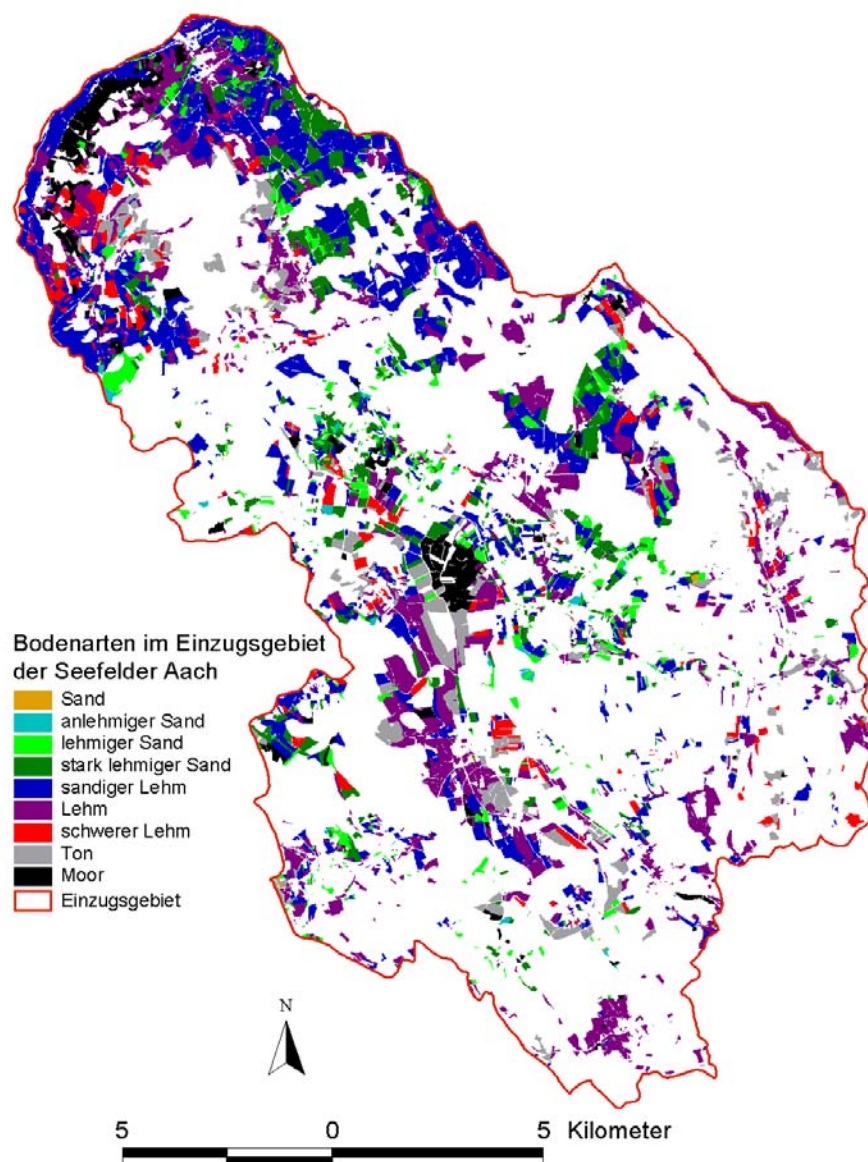


Abbildung 11:

Bodenarten im Einzugsgebiet der Seefelder Aach (weiß: keine Daten vorhanden)

Aus Abbildung 11 ist die Verteilung der Bodenarten im Einzugsgebiet der Seefelder Aach ersichtlich. Insgesamt lagen für knapp 10 000 ha Angaben zur Bodenart vor. Knapp 8 % der Flächen sind als Moorstandorte ausgewiesen. 28 % der Acker- und Grünlandflächen weisen Lehm als Bodenart auf. Die Bodenarten anlehmiger Sand bis sandiger Lehm nehmen mit 50 % der Fläche den größten Anteil im Einzugsgebiet der Seefelder Aach ein. Tonige, schwere Böden (9 %) sind vor allem im Salemer Becken und entlang des südlichen Bogens der Seefelder Aach vorhanden. Die Bodenarten bilden die Ausgangsparameter für den K-Faktor (vgl. Kapitel 3.3) der ABAG und den Bodenwasserhaushalt im Modell der Nitratauswaschung (vgl. Kapitel 4.3).

2.2.4 Landnutzung

In Abbildung 12 ist die Landnutzung auf Grundlage des ALK im Einzugsgebiet der Seefelder Aach dargestellt.

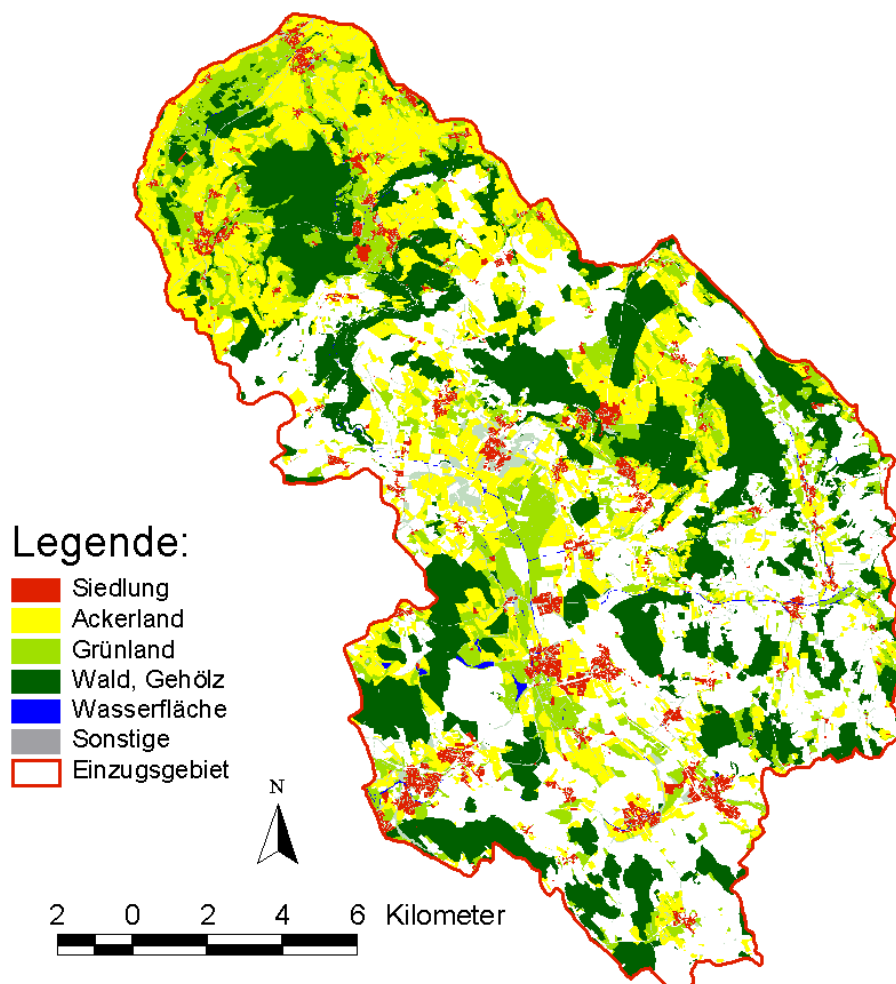


Abbildung 12:

Landnutzung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach nach ALK (weiß: keine Daten vorhanden)

Tabelle 3 zeigt die Flächenanteile der Hauptnutzungsarten im Einzugsgebiet der Seefelder Aach.

Tabelle 3:

Flächenanteile der Hauptnutzungsarten nach ALK im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

| Nutzung: | Flächenanteil in % |
|------------------|---------------------------|
| Acker | 33 |
| Grünland | 19 |
| Wald | 38 |
| Siedlung | 6 |
| Sonstige Flächen | 4 |

Im Landschafts-Informationssystem Seefelder Aach (LISA) werden für die Erosionsmodellierung nur die Ackerflächen, im Modell der Nitratauswaschung die Acker- und Grünlandflächen berücksichtigt.

3 Modellierung des Bodenabtrags im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

3.1 Allgemeine Bodenabtragungsgleichung

Zwei Faktorengruppen beeinflussen die Höhe der landwirtschaftlich bedingten Einträge von Nährstoffen in Gewässer: die Standorteigenschaften und die Art der Bewirtschaftung. Die Standorteigenschaften bestimmen das Erosionsrisiko, das allerdings der Landwirt begrenzen kann, indem er die Flächen angepasst bewirtschaftet. Je höher das am Standort gegebene Erosionsrisiko ist, um so stärker muss der Landwirt seine Bewirtschaftung danach ausrichten.

Es gibt verschiedene Schätzverfahren, mit denen sich das Erosionsrisiko bestimmen lässt. Deren Ergebnisse dienen als Indikatoren, mit denen sich die potenzielle Gewässergefährdung abschätzen lässt. Die flächenhafte Bodenerosion lässt sich mit Hilfe einer empirischen Schätzgleichung hinreichend genau bestimmen. Dies ist die „Universal Soil Loss Equation“ (USLE) nach WISCHMEIER & SMITH (1978) bzw. deren an deutsche Verhältnisse angepasste Form, die „Allgemeine Bodenabtragungsgleichung“ (ABAG) nach SCHWERTMANN ET AL. (1990). Sie beschreibt in mathematischer Form den Zusammenhang zwischen sechs erosionsbestimmenden Faktoren und dem Bodenabtrag. In dieser Gleichung werden die erosionssteuernden Faktoren multiplikativ miteinander verknüpft. Die ABAG lautet (SCHWERTMANN ET AL., 1990):

$$A = R^{1)} \cdot K^{2)} \cdot L^{2)} \cdot S^{1)} \cdot C^{3)} \cdot P^{3)} \quad [t/ha \cdot a]$$

Dabei lauten die einzelnen Größen:

- A: langjähriger mittlerer Bodenabtrag [t/ha • a]
- R: Regen- und Oberflächenabflussfaktor [Newton/ ha • a]
Maß für die regionale Erosionskraft der Niederschläge eines Jahres
- K: Bodenerodierbarkeitsfaktor $[(t/(ha \cdot a))/(Newton/(ha \cdot a))]$
Abtrag eines bestimmten Bodens je R-Einheit auf einem Standardhang
(22 m Länge, 9 % Gefälle, Schwarzbrache)
- L: Hanglängenfaktor [dimensionslos]
Verhältnis zwischen dem Abtrag auf einem beliebig langen Hang zum Abtrag auf einem Standardhang mit 22 m Länge
- S: Hangneigungsfaktor [dimensionslos]
Verhältnis zwischen dem Abtrag auf einem beliebig steilen Hang zum Abtrag auf einem Standardhang mit 9 % Gefälle
- C: Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor [dimensionslos]
Verhältnis zwischen dem Abtrag auf einem Hang mit beliebiger Bewirtschaftung zum Abtrag auf einem Hang unter Schwarzbrache
- P: Erosionsschutzfaktor [dimensionslos]
Verhältnis zwischen dem Abtrag auf einem Hang mit speziellen Erosionsschutzmaßnahmen zum Abtrag auf einem Hang, der in Gefällerrichtung bearbeitet wird.

¹⁾: Vom Landwirt nicht beeinflussbare Faktoren = standörtliche Erosionsgefahr

²⁾: Vom Landwirt nur begrenzt beeinflussbare Faktoren

³⁾: Vom Landwirt beeinflussbare Faktoren = bewirtschaftungsabhängige Erosionsgefahr

3.2 Beschaffung der externen Daten

In Tabelle 4 sind die Datengrundlagen für die Berechnung der einzelnen Faktoren der ABAG, deren Format, Kosten und die Bezugsquelle dargestellt.

Tabelle 4:

Externe Daten für die Berechnung des Bodenabtrags

| Faktor: | Datengrundlage: | Format: | Bezugsquelle: | Kosten in €: |
|---------|--|---------|--------------------------------|--------------|
| R | Tageswerte Niederschlagsstationen | digital | Deutscher Wetterdienst | keine |
| K | Bodenschätzung des Amtlichen Liegenschaftsbuches | digital | Landesvermessungsamt | 700 € |
| LS | Höhenlinien der Deutschen Grundkarte 1:5000 | analog | Landesvermessungsamt | 2000 € |
| C | Integriertes Verwaltungs- und Kostrollsystem | digital | EBZI* | keine |
| P | Expertenwissen | | | |
| | Amtliches Liegenschaftskataster | digital | Landesanstalt für Umweltschutz | keine |

* Entwicklungs- und Betreuungszentrum für Informations- und Kommunikationstechnik (EBZI) des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum beim Landesamt für Flurneuordnung und Landentwicklung

Tageswerte der Niederschlagstationen können beim DWD bezogen werden. Für die Bereitstellung dieser Daten für wissenschaftliche Zwecke werden vom DMD keine Gebühren erhoben. Für andere Einzugsgebiete können bereits aggregierte Daten zum Jahresniederschlag aus dem Hydrologischen Atlas von Deutschland (BMU, 2001) oder aus dem Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (UVM & LFU, 2001) verwendet werden.

Die Daten der Bodenschätzung sind in den Gesamtdatensatz „10WLDG“ integriert, der beim Landesvermessungsamt käuflich erworben werden kann. Die Kosten des Gesamtdatensatzes „10WLDG“ berechnen sich nach folgendem Schema:

5000 bis 50000 Flurstücke: $1533,88 \text{ €} + 0,26 \text{ €} \times \text{Anzahl der Flurstücke}$

mehr als 50000 Flurstücke: $78227,66 \text{ €} + 0,1 \text{ €} \times \text{Anzahl der Flurstücke}$

Für die Bereitstellung der Daten der Bodenschätzung aus dem Datensatz „10WLDG“ werden 15 % der Kosten des Gesamtdatensatzes erhoben. Die Kosten für die Daten der Bodenschätzung beliefen sich für das Einzugsgebiet der Seefelder Aach auf 700 €.

Die Deutsche Grundkarte im Maßstab 1:5000 kann ebenfalls über die Vermessungsämter bezogen werden und kosten ca. 8 €/Karte. Da die Grundkarten in analoger Form vorliegen, wurden aus den Karten die Höhenlinien abdigitalisiert. Die Höhenlinien für das Einzugsgebiet der Seefelder Aach wurden von einer wissenschaftlichen Hilfskraft digitalisiert. Die Kosten beliefen sich auf 2000 €. In Zukunft kann auf die arbeitsintensive Digitalisierung verzichtet werden, da vom Landesvermessungsamt derzeit ein Höhenmodell mit hinreichender Genauigkeit zur Modellierung der Erosion auf Schlag- bzw. Flurstücksebene hergestellt wird.

Die Daten zur Landnutzung wurden vom Entwicklungs- und Betreuungszentrum für Informations- und Kommunikationstechnik (EBZI) des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum beim Landesamt für Flurneuordnung und Landentwicklung unentgeltlich bereitgestellt. Die Nutzung ist für diejenigen Flächen verfügbar, die im Rahmen des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKos) beim EBZI erfasst sind. Eine weitere Beschränkung zur Nutzung dieser Daten besteht darin, dass sie nur innerhalb der Landwirtschaftsverwaltung Baden-Württembergs genutzt werden können, sofern die Landwirte ihr Einverständnis gegeben haben.

Das amtliche Liegenschaftskataster wurde von der Landesanstalt für Umweltschutz unentgeltlich zur Verfügung gestellt.

3.3 Integration der Daten in das Landschafts-Informationssystem Seefelder Aach (LISA)

Regen- und Oberflächenabflussfaktor (R-Faktor):

Menge und Energie des Niederschlags bilden die Basis des erosionsauslösenden R-Faktors der ABAG. Er beschreibt die Zerstörung und Loslösung von Bodenteilchen durch aufprallende Regentropfen und den Transport der Bodenteilchen durch Oberflächenabfluss. Als erosiv gilt ein Regenereignis, wenn die Niederschlagshöhe bei mindestens 10 mm oder seine Intensität bei mindestens 5 mm/ 30 min liegt. Nach SAUERBORN (1994) korreliert der R-Faktor mit Jahres- bzw. Sommerniederschlagssummen. Somit werden aufwändige Berechnungen des R-Faktors über Intensität und Energie der Einzelniederschläge überflüssig.

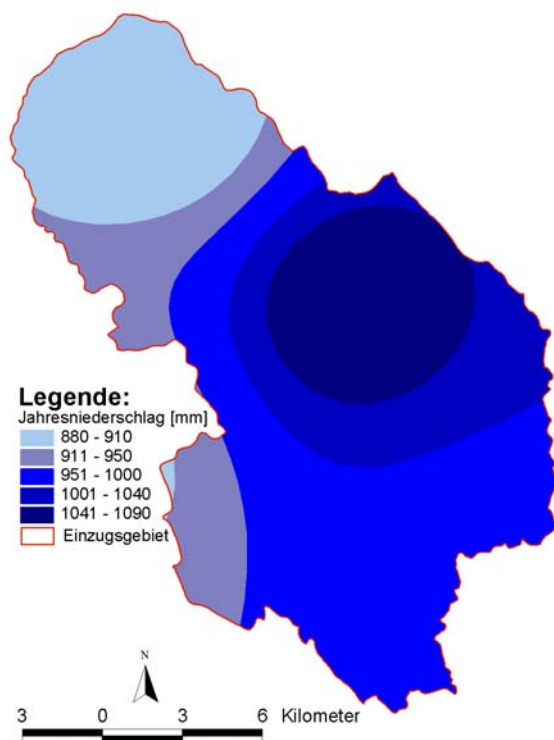


Abbildung 13:

Berechnete Jahresniederschläge im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

Zur Berechnung der erosiven Eigenschaften des Niederschlags wurden die Daten über langjährige Niederschlagshöhen von acht Klimastationen verwendet.

Die Punktdaten wurden im GIS ArcView™ nach dem „Inversen Distanzverfahren“ interpoliert. Der mittlere jährliche Niederschlag im Einzugsgebiet der Seefelder Aach liegt bei 982 mm. Abbildung 13 zeigt die berechneten Jahresniederschläge im Einzugsgebiet der Seefelder Aach. Wie aus Abbildung 13 zu ersehen ist, können mehrere Teilräume der Niederschlagsverteilung ausgemacht werden:

Ein zentraler Bereich um die Niederschlagstation Heiligenberg mit den höchsten Niederschlagswerten, ein Bereich im Nordwesten mit stark abnehmenden und im Süden mit leicht abnehmenden Niederschlagssummen.

Der R-Faktor wurde nach SAUERBORN (1994) berechnet, der durch Regressionsanalysen eine Beziehung zwischen Niederschlag und R-Faktoren ermittelte. Für Baden-Württemberg gilt demnach für den R-Faktor:

$$R = -7,31 + 0,1039 \cdot N_j \quad [N/ha \cdot a] \quad (r=0,9586)$$

N_j : Jahresniederschlag

Bodenerodierbarkeitsfaktor (K-Faktor):

Die Erosionsanfälligkeit des Bodens wird mit dem Bodenerodierbarkeitsfaktor (K-Faktor) der ABAG beschrieben. Besonders erosionsanfällig sind schluff- und feinstsandreiche Böden. Ein hoher Ton- oder Steingehalt wirkt der Erosionsanfälligkeit entgegen. Der K-Faktor wird nach WISCHMEIER UND SMITH (1978) aus der Korngrößenzusammensetzung, dem Humusgehalt, der Größe aggregierter Bodenteilchen und der Wasserdurchlässigkeit des Oberbodens bestimmt. Die Bestimmung dieser Faktoren ist für einzelne Ackerflächen in kleinen Einzugsgebieten ($A_{EO} < 5 \text{ km}^2$) möglich. Für die Ermittlung des K-Faktors in größeren Einzugsgebieten, bietet sich die Bodenschätzung an, die landesweit vorliegt. Der K-Faktor der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung wurde über die Klassenbeschreibungen der Bodenschätzung, die im Amtlichen Liegenschaftsbuch (ALB) digital und flurstücksbezogen vorhanden sind, berechnet. Die K-Faktoren wurden nach SCHWERTMANN ET AL. (1990) aus dem Beschrieb der Musterstücke der Bodenschätzung abgeleitet (siehe Tabelle 5).

Die Rohdaten des ALB wurden in eine Datenbank importiert. Mit Hilfe mehrerer SQL¹-Abfragen wurden die Bodenarten mit dem größten Flächenanteil den Flurstücken zugeordnet. Die bereinigten Tabellen wurden dann in das LISA exportiert und mit den Flächen der Flurstücke verknüpft.

¹ **SQL: Structured Query Language** – Abfragesprache relationaler Datenbanken

Table 5:

Mittlere K-Faktoren der Ackerbeschriebe der Bodenschätzung nach SCHWERTMANN ET AL. (1990)

| Bodenart nach Bodenschätzung | Entstehung* | K-Faktor Zustandsstufe | |
|------------------------------|-------------|------------------------|------|
| | | ≤ 4 | ≥ 5 |
| S (Sand) | D, Al, V | 0,10 | |
| SI (anlehmgiger Sand) | D, Al, V | 0,15 | |
| IS (lehmgiger Sand) | D, Al, V | 0,20 | |
| | Lö | 0,25 | |
| | Vg | 0,15 | |
| SL (stark lehmgiger Sand) | D, Al, V | 0,30 | 0,25 |
| | Lö | 0,35 | |
| | Vg | 0,15 | |
| sL (sandiger Lehm) | D, Al | 0,40 | |
| | Lö | 0,50 | |
| | V | 0,30 | |
| | Vg | 0,20 | |
| L (Lehm) | D, Al | 0,50 | |
| | Lö | 0,55 | |
| | V | 0,40 | 0,35 |
| | Vg | 0,25 | 0,20 |
| LT (schwerer Lehm) | D, Al | 0,40 | 0,35 |
| | V | 0,30 | 0,25 |
| | Vg | 0,20 | |
| T (Ton) | D, Al | 0,30 | |
| | V | 0,25 | |
| | Vg | 0,15 | |

* D: Diluvium (Pleistozän); Al: Alluvium (Holozän); V: Verwitterungsböden; Vg: Gesteinsböden; Lö: Löss

Topographiefaktor (LS-Faktor):

Durch den LS-Faktor wird der Einfluss des Reliefs auf den Prozess der Bodenerosion durch Oberflächenabfluss zum Ausdruck gebracht. Der Faktor gibt das Verhältnis des Bodenabtrags eines beliebig geneigten und beliebig langen Hanges zum Abtrag des Standardhanges (Länge = 22.1 m, Hangneigung = 9 %) unter sonst gleichen Bedingungen an (SCHWERTMANN ET AL., 1990).

Der Hanglängenfaktor (L) wird nach folgender Formel berechnet:

$$L = (l/22.1)^m$$

L = L-Faktor [dimensionslos]

l = Hanglänge [m]

m = Hanglängenexponent, abhängig von der Hangneigung (α) in %

- m = 0.15 für $\alpha \leq 0.5$ %
- m = 0.20 für 0.5 % $< \alpha \leq 1.0$ %
- m = 0.30 für 1 % $< \alpha \leq 3.5$ %
- m = 0.40 für 3.5 % $< \alpha \leq 5.0$ %
- m = 0.50 für $\alpha > 5.0$ %

Für den Hangneigungsfaktor gilt nach FELDWISCH (1995) folgende Beziehung:

Für Neigungen ≤ 9 % Hangneigung:

$$S = 10.641 \sin \alpha + 0.063 \quad \text{mit } \alpha \text{ Hangneigung in } ^\circ$$

Für Hangneigungen > 9 % Hangneigung:

$$S = 16.8 \sin \alpha - 0.5 \quad \text{mit } \alpha \text{ Hangneigung in } ^\circ$$

Die Hanglänge und Hangneigung werden gewöhnlich für einzelne Ackerflächen vor Ort durch Messung erhoben. Der LS-Faktor wird dann über ein Nomogramm bei SCHWERTMANN ET AL. (1990) ermittelt. Dieses Verfahren ist aufgrund der hohen Anzahl der Ackerflächen für das Einzugsgebiet der Seefelder Aach nicht praktikabel. Der LS-Faktor wurde deshalb im LISA, wie unter beschreiben, berechnet.

- *Erstellung eines Oberflächenmodells (TIN) aus den Höhenlinien der Deutschen Grundkarte 1:5000*
- *Erfassung von Hoch- und Tiefpunkten der Ackerflächen mit der ArcView™-Erweiterung Surface Tools, die unter <http://www.esri.com> als Download zur Verfügung steht.*

Bei der Berechnung der Hoch- und Tiefpunkte wurden durchschnittlich 11 Punkte/Ackerfläche gefunden. Die Berechnung der Extrempunkte ist sehr zeitintensiv und dauerte insgesamt 200 Std. (= 2 Min/Flurstück). Zur Berechnung der Hanglänge werden pro Ackerfläche jeweils ein Hoch- und ein Tiefpunkt benötigt. Die Punkte wurden anschließend in einer Datenbank bereinigt.

- *Berechnung der „erosiven Hanglänge“ zwischen Hoch- und Tiefpunkt.*
Mit Hilfe mehrerer SQL-Abfragen wurden die Extrempunkte mit der kürzesten Entfernung (= erosive Hanglänge) selektiert und wieder in das GIS importiert
- *Verbindung der Hoch- und Tiefpunkte im GIS.*
Mit Hilfe des ArcView™-Erweiterungsscripts „points to lines or polylines“ wurde ein Linienkarte der „erosiven Hanglänge“ erstellt.
- *Berechnung der Hangneigung.*
Mit dem ArcView™-Erweiterungsscripts „lineslope Analyst“ wurde die Hangneigung der „erosiven Hanglänge“ berechnet.
- *Verschneidung des berechneten LS-Faktors mit den Ackerflächen.*

Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor (C-Faktor):

Der C-Faktor, der ausschließlich durch den Landwirt beeinflusst wird, beschreibt die Wirkung der Bodenbedeckung mit Pflanzen oder Mulch sowie der Bodenbearbeitung auf die Bodenerosion. Er wird immer für eine gesamte Fruchtfolge angegeben und kann Werte zwischen 0,01 und 0,4 annehmen.

Der C-Faktor der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung im LISA wurde über die Daten zur Nutzung der landwirtschaftlichen Nutzflächen der Jahre 1997 – 2001 des „Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems“ (InVeKos) berechnet. Die C-Faktoren wurden aus FREDE & DABBERT (1998, verändert nach SCHWERTMANN ET AL., 1990) abgeleitet (siehe Tabelle 6).

Die InVeKos-Daten wurden in eine Datenbank importiert. Mit Hilfe mehrerer SQL-Abfragen wurden die Nutzungen mit dem größten Flächenanteil den jeweiligen Flurstücken zugeordnet. Die bereinigten Tabellen wurden dann in das LISA exportiert und mit den Flächen der Flurstücke verknüpft.

Erosionsschutzfaktor (P-Faktor):

Bei der Berechnung des Bodenabtrags im Einzugsgebiet der Seefelder Aach kann aufgrund einer Verifizierung im Gelände davon ausgegangen werden, dass keine besonderen Erosionsschutzmaßnahmen (Konturnutzung und Streifenanbau) angewendet werden. Der P-Faktor erhält den Wert 1 und hat somit keinen Einfluss auf den berechneten Bodenabtrag.

Tabelle 6:

C-Faktoren für häufige Fruchtfolgen nach FREDE & DABBERT (1998, verändert nach SCHWERTMANN ET AL., 1990)

| | | | |
|---|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 1. Fruchtfolgen mit 100 % Getreide | | | |
| | Konventionell ¹⁾ | Konservierend ²⁾ | Direktsaat ³⁾ |
| | 0,10 | 0,04 | 0,03 |
| 2. Raps-Getreidefruchtfolgen: Rapsanteil 25 – 33 % | | | |
| | Konventionell ¹⁾ | Konservierend ²⁾ | Direktsaat ³⁾ |
| | 0,08 | 0,04 | 0,03 |
| 3. Kartoffeln- bzw. Zuckerrüben-Getreidefruchtfolgen | | | |
| Hackfrucht | Konventionell ¹⁾ | Konservierend ^{2), 4)} | Direktsaat ^{3), 5)} |
| < 25 % | 0,11 | 0,08/0,04 | 0,03 |
| 25 % | 0,12 | 0,08/0,04 | 0,03 |
| 33 % | 0,14 | 0,08/0,05 | 0,04 |
| 40 % | 0,16 | 0,08/0,05 | 0,04 |
| 4. Mais-Getreidefruchtfolgen | | | |
| Maisanteil | Konventionell ¹⁾ | Konservierend ^{2), 4)} | Direktsaat ³⁾ |
| < 25 % | 0,12 | 0,08/0,04 | 0,03 |
| 25 % | 0,13 | 0,08/0,04 | 0,03 |
| 33 % | 0,16 | 0,08/0,05 | 0,04 |
| 40 % | 0,22 | 0,08/0,05 | 0,04 |
| 50 % | 0,28 | 0,08/0,05 | 0,05 |
| 66 % | 0,40 | 0,10/0,08 ⁶⁾ | 0,06 |
| 5. Fruchtfolgen mit mehreren Hackfruchtgliedern und 50 % Getreide ⁷⁾ | | | |
| a) Fruchtfolgen mit Zuckerrüben und Kartoffeln ⁷⁾ | | | |
| | Konventionell ¹⁾ | Konservierend ^{2), 4)} | Direktsaat ³⁾ |
| | 0,20 | 0,08/0,05 | 0,05 |
| b) Fruchtfolgen mit Mais und Zuckerrüben oder Kartoffeln ⁷⁾ | | | |
| Maisanteil | Konventionell ¹⁾ | Konservierend ^{2), 4)} | Direktsaat ³⁾ |
| < 25 % | 0,20 | 0,08/0,05 | 0,05 |
| 25 % | 0,20 | 0,08/0,05 | 0,05 |
| 33 % | 0,23 | 0,08/0,05 | 0,05 |
| 40 % | 0,24 | 0,08/0,05 | 0,05 |
| 6. Ackerfutter-Getreidefruchtfolgen mit mehrjährigen Futterpflanzen (25 – 50 % Klee, Klee gras, Luzerne) | | | |
| Futterpflanzenanteil | Konventionell ¹⁾ | Konservierend ²⁾ | Direktsaat ³⁾ |
| 25 % | 0,05 | 0,03 | 0,02 |
| 33 % | 0,03 | 0,02 | 0,01 |
| 50 % | 0,02 | 0,01 | 0,01 |

¹⁾ Nach der Ernte verbleiben keine oder sehr wenig Ernterückstände auf der Bodenoberfläche und die Zeit zwischen wendender Bodenbearbeitung und der Aussaat der Folgefrucht ist sehr lang. Zwischenfrüchte, die eingearbeitet werden, bewirken keine Änderung des C-Faktors.

²⁾ Nach der Ernte verbleiben die Ernterückstände auf der Bodenoberfläche oder werden nur flach eingearbeitet. Zwischenfrüchte werden in ein raues, mit Rückständen bedecktes Saatbett gesät. Steht in der Fruchtfolge eine Sommerung, dann erfolgt eine Sommerfurche mit anschließender Zwischenfruchtaussaat zur Vorbereitung des Mulchsaatverfahrens für die Sommerung. Der Zeitraum zwischen wendender Bodenbearbeitung und Aussaat der Folgefrucht/Zwischenfrucht ist kurz (< 1 Woche).

³⁾ Es erfolgt keinerlei Bodenbearbeitung. Die Aussaat erfolgt mit Direktsaatmaschinen.

⁴⁾ Die Zwischenfrucht wird vor der Aussaat der Sommerung oberflächlich eingearbeitet (linke Werte), bzw. Sommerungen werden im Mulchsaatverfahren ausgesät (rechte Werte).

⁵⁾ Gilt nur für Zuckerrübenfruchtfolgen, da bei Kartoffeln keine Direktsaat möglich.

⁶⁾ Nur mit Untersaat im Mais realisierbar.

⁷⁾ Ist in Fruchtfolgen mit mehreren Hackfruchtgliedern der Getreideanteil kleiner oder größer als 50 %, so sind die C-Faktoren je nach Hackfrucht nach Punkt 3 oder 4 zu ermitteln. Überwiegt bei dem Hackfruchtanteil der Mais, so sind die übrigen Hackfruchtanteile dem Mais hinzuzurechnen.

4 Modellierung der Nitratauswaschung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

4.1 Modelle zur Berechnung der Nitratauswaschung

Zwei Faktorengruppen beeinflussen die Höhe der landwirtschaftlich bedingten Einträge von Nährstoffen in Gewässer:

- Standortbedingungen (relative Austauschhäufigkeit des Bodenwassers),
- Art der Bewirtschaftung (N-Flächenbilanz).

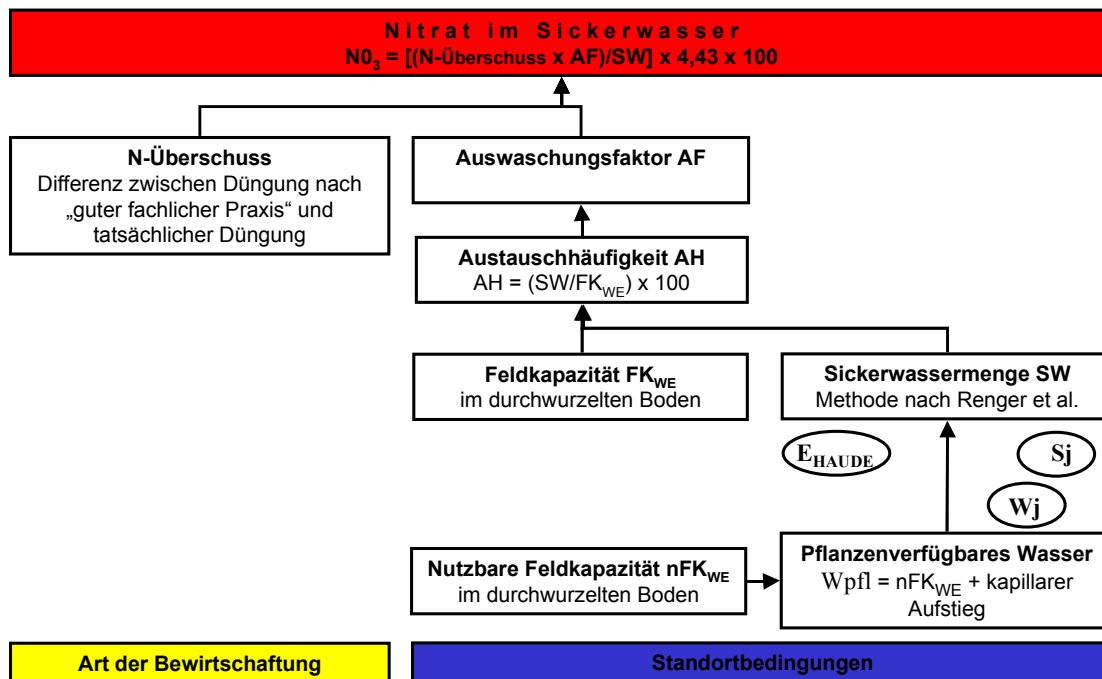
Die Standorteigenschaften bestimmen das Auswaschungsrisiko, das allerdings der Landwirt begrenzen kann, indem er die Flächen angepasst bewirtschaftet. Je höher das am Standort gegebene Auswaschungsrisiko ist, um so stärker muss der Landwirt seine Bewirtschaftung danach ausrichten.

Das Risiko, dass Nitrat aus einem Boden ausgewaschen wird, lässt sich näherungsweise über die relative Austauschhäufigkeit des Bodenwassers quantifizieren (AG BODENNUTZUNG IN WASSERSCHUTZGEBIETEN 1992, DVWK 1996). Zur Abschätzung der Auswaschungsgefahr müssen das Wasserspeichervermögen des Bodens bzw. das pflanzenverfügbare Bodenwasser und die Sickerwassermenge ermittelt werden. Die Austauschhäufigkeit des Bodenwassers gibt an, wie oft das Bodenwasser innerhalb eines Jahres durch versickerndes Niederschlagswasser ausgetauscht, also in Richtung Grundwasser verdrängt wird. Je häufiger dies geschieht, desto größer ist die Gefahr, dass leicht verlagerbare Stoffe, wie z.B. Nitrat, ins Grundwasser gelangen.

Die Austauschhäufigkeit des Bodenwassers kann in vier Schritten bestimmt werden:

1. Schritt: Bestimmung der Bodenartenuntergruppe
2. Schritt: Ermittlung der nutzbaren Feldkapazität
bzw. des pflanzenverfügbaren Wassers
3. Schritt: Ermittlung der Sickerwassermenge
4. Schritt: Berechnung der Austauschhäufigkeit des Bodenwassers

Aus der Austauschhäufigkeit des Bodenwassers lässt sich ein Auswaschungsfaktor berechnen. Die potenzielle Nitratkonzentration des Sickerwassers wird dann aus dem Verhältnis zwischen N-Überschuss, Auswaschungsfaktor und der Sickerwassermenge berechnet. Abbildung 12 zeigt die Faktoren zur Berechnung von Nitrat im Sickerwasser.

**Abbildung 14:**

Faktoren zur Berechnung von Nitrat im Sickerwasser

Bestimmung der Bodenartenuntergruppe:

Die Hauptgruppen der Bodenarten (Sand, Lehm, Schluff, Ton) lassen sich in Untergruppen aufteilen, wobei die jeweiligen Anteile der Kornfraktionen die Untergliederung bestimmen. Die Bodenartenuntergruppen sind Basis für die bodenkundlichen Kennwerte Feldkapazität (FK) und nutzbare Feldkapazität (nFK).

Ermittlung der nutzbaren Feldkapazität bzw. des pflanzenverfügbaren Wassers:

Die Feldkapazität (FK) beschreibt die Fähigkeit des Bodens, Wasser zu speichern. Die nutzbare Feldkapazität (nFK) umfasst die gespeicherte Wassermenge des Bodens, die von den Pflanzen genutzt werden kann. Die Größe nFK_{WE} ist die Summe der nFK der durchwurzelten Bodenhorizonte. Bei grundwasserbeeinflussten Böden ergibt sich die gesamte, für Pflanzen verfügbare Wassermenge (W_{pfl}) aus der Summe von nFK_{WE} und der kapillar aus dem Grundwasser aufsteigenden Wassermenge. Die kapillare Aufstiegsmenge (Ka) berechnet sich nach:

$$Ka = KR * \text{Hauptwachstumszeitspanne} \quad [\text{mm}]$$

Die kapillare Aufstiegsrate (KR) hängt vom Abstand des Grundwasserhorizonts bis zur Untergrenze des effektiven Wurzelraums und der Bodenart ab.

Tabelle 7 zeigt die Hauptwachstumszeitspannen für verschiedene Kulturarten.

Tabelle 7:

Hauptwachstumszeitspannen für verschiedene Fruchtarten

| Kultur: | Tage: |
|--|--------------|
| Getreide | 60 |
| Hackfrüchte, Mais, einjähriger Futterbau | 90 |
| Grünland, mehrjähriger Futterbau, Getreide inkl. Zwischenfrüchte | 120 |

Durch Addition der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum und der kapillaren Aufstiegsmenge wird das pflanzenverfügbare Bodenwasser (W_{pfl}) ermittelt.

$$W_{\text{pfl}} = nFK_{\text{WE}} + K_a \quad [\text{mm}]$$

Ermittlung der Sickerwassermenge:

Die Sickerwassermenge lässt sich näherungsweise mit Hilfe des pflanzenverfügbaren Wassers, der Winter- und Sommerniederschlagsmenge und der potenziellen Evapotranspiration nach Haude – sie entspricht der maximalen Verdunstung auf der Boden- und Pflanzenoberfläche – bestimmen. RENGIER ET AL. (1990) haben folgende Gleichungen für die Acker- und Grünlandnutzung entwickelt, mit denen sich die Sickerwassermenge einfach ermitteln lässt:

Ackerflächen:

$$V = 0,92 \cdot W_j + 0,61 \cdot S_j - 153 \log W_{\text{pfl}} - 0,12 \cdot E_{\text{haude}} + 109$$

Grünlandflächen:

$$V = 0,90 \cdot W_j + 0,52 \cdot S_j - 286 \log W_{\text{pfl}} - 0,10 \cdot E_{\text{haude}} + 330$$

V: Sickerwassermenge [mm/a]

W_j: Winterniederschlag (01.10. – 31.03.) [mm]

S_j: Sommerniederschlag (01.04. – 30.09.) [mm]

W_{pfl}: pflanzenverfügbares Wasser [mm]

E_{Haude}: Evapotranspirationsfaktor nach Haude [mm/a]

Die Berechnung der Evapotranspiration nach Haude (DVWK, 1996) ist eine einfache Möglichkeit die potenzielle Verdunstung abzuschätzen. Sie kommt mit allgemein verfügbaren Eingabedaten aus und liefert Werte, die für längere Perioden (Monate) den Ergebnissen komplizierterer Modelle (z.B. Penman) nahe kommt. Zur Verdunstungsberechnung nach Haude werden folgende Daten benötigt:

- relative Luftfeuchte: f [%] um 14.00 Uhr
- Temperatur: T [$^{\circ}\text{C}$] um 14.00 Uhr
- Haude-Koeffizient: monatspezifische Haude-Faktoren [mm/hPa]

Die potenzielle Evapotranspiration leitet sich aus folgender Formel ab:

$$\text{ETP} = a * e_s * (1-f/100) \quad [\text{mm/d}]$$

a : Haude-Koeffizient

e_s : Sättigungsdampfdruck der Luft (berechnet nach Magnus-Formel aus der Lufttemperatur)

$$e_s = 6,11 * 10^{(7,5 * T / (237,3 + T))}$$

Berechnung der Austauschhäufigkeit des Bodenwassers:

Die Austauschhäufigkeit des Bodenwassers wird benötigt, um die Auswaschungswahrscheinlichkeit von Nitrat abzuschätzen. Die Austauschhäufigkeit (AH) lässt sich mit Hilfe der Sickerwassermenge und der Feldkapazität im durchwurzelten Boden (FK_{WE}) berechnen.

$$\text{AH} = (\text{SW}/\text{FK}_{\text{WE}}) * 100 \quad [\% \text{ je Jahr}]$$

Austauschhäufigkeiten unter 100 % bedeuten, dass das Bodenwasser im Jahresdurchschnitt nicht komplett ausgetauscht wird. Werte von mehr als 100 % bedeuten, dass das Bodenwasser mehr als einmal im Jahr ausgetauscht wird. Je höher die Austauschhäufigkeit, desto größer ist die Auswaschungswahrscheinlichkeit von Nitrat. Dieser Zusammenhang wird bei der Abschätzung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser durch den Auswaschungsfaktor (AF) berücksichtigt. Dabei gilt:

$$\text{AF} = 1 \quad \text{bei Austauschhäufigkeiten} \geq 100 \%$$

$$\text{AF} = \text{AH}/100 \quad \text{bei Austauschhäufigkeiten} < 100 \%$$

Potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser:

Die potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser (NO₃ i.S.) lässt sich mit einem einfachen Schätzverfahren bestimmen, das die aktuelle Bewirtschaftung hinsichtlich der Nitratauswaschungsgefahr bewertet. Um diese zu bestimmen, werden drei Angaben benötigt:

- das N-Auswaschungspotenzial,
- die Sickerwassermenge und
- der Auswaschungsfaktor.

$$\text{NO}_3 \text{ i.S.} = (\text{N-Überschuss} \cdot \text{AF/SW}) \cdot 4,43 \cdot 100 \quad [\text{mg/l}]$$

Die berechneten Konzentrationen sind nicht mit der tatsächlichen Nitratkonzentration des neugebildeten Grundwassers zu verwechseln. Zwischen dem durchwurzelten Boden und der Grundwasserschicht kann Nitrat im Sickerwasser denitrifiziert werden. Dieses Schätzverfahren zielt darauf ab, generell anwendbare Ergebnisse zu erhalten. Die vielfältigen Einflüsse und Wechselwirkungen des Bodens, der Witterung und der Formen früherer Bewirtschaftung berücksichtigt es nur unvollständig. Das N-Auswaschungspotenzial wird hier aus den N-Überschüssen auf Grundlage von schlagbezogenen Düngebilanzen für die verschiedenen Hauptkulturarten des Einzugsgebiets der Seefelder Aach berechnet, die im Rahmen der landwirtschaftlichen Beratung im Einzugsgebiet erstellt wurden. Es wird vereinfacht davon ausgegangen, dass sich der Stickstoffhaushalt der Böden im Gleichgewicht befindet, d.h. dass sich Mineralisation und Immobilisation gegenseitig ausgleichen und somit keine Netto-Mineralisation/ -Immobilisation unterstellt werden kann.

Der potenzielle Nitratgehalt des Sickerwassers kann nach FREDE & DABBERT (1998) in folgende Klassen unterschiedlicher Grundwassergefährdung eingeordnet werden.

Tabelle 8:

Bewertung des Gewässergefährdungspotenzials anhand der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser nach FREDE & DABBERT (1998).

| Gefährdungsklasse: | Nitrat im Sickerwasser [mg/l]: |
|---------------------------|---------------------------------------|
| sehr gering | < 15 |
| gering | 15 - ≤ 25 |
| mittel | 25 - ≤ 35 |
| hoch | 35 - ≤ 50 |
| sehr hoch | ≥ 50 |

4.2 Beschaffung der externen Daten

In Tabelle 9 sind die Datengrundlagen der einzelnen Faktoren zur Berechnung der Nitratauswaschung, deren Format, Kosten und die Bezugsquelle dargestellt.

Tabelle 9:

Externe Daten für die Berechnung der Nitratauswaschung

| Faktor: | Datengrundlage: | Format: | Bezugsquelle: | Kosten in €: |
|---------------------------|--|----------------|--------------------------------|---------------------|
| E_{Haude} | Tageswerte Klimastationen | digital | Deutscher Wetterdienst | Keine |
| W_j, S_j | Tageswerte Niederschlagsstationen | digital | Deutscher Wetterdienst | keine |
| FK, nFK, W_{Pfl} | Bodenschätzung des Amtlichen Liegenschaftsbuches | digital | Landesvermessungsamt | 2000 € |
| Landnutzung | Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem | digital | EBZI | keine |
| N-Überschuss | Expertenwissen, Erkenntnisse durch Beratung | | | |
| | Amtliches Liegenschaftskataster | digital | Landesanstalt für Umweltschutz | keine |

* Entwicklungs- und Betreuungszentrum für Informations- und Kommunikationstechnik (EBZI) des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum beim Landesamt für Flurneuordnung und Landentwicklung

Die N-Überschüsse wurden im Rahmen der gewässerschutzbezogenen, landwirtschaftlichen Beratung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach erhoben (SCHLECKER & KONOLD, 2002). Diese Vorgehensweise sollte auch in anderen Gewässereinzugsgebieten gewählt werden. Mit Ausnahme der Erhebung des N-Überschusses werden gegenüber der Erosionsmodellierung keine zusätzlichen Daten benötigt.

4.3 Integration der Daten in das Landschafts-Informationssystem Seefelder Aach (LISA)

Bestimmung der Bodenartenuntergruppe:

Die im LISA verwendeten Daten basieren auf der Bodenschätzung, die digital im Amtlichen Liegenschaftsbuch (ALB) vorhanden sind. Die Daten der Bodenschätzung wurden den Acker- und Grünlandflächen zugeordnet. Die Flurstücke des Amtlichen Liegenschaftskatasters (ALK) wurden mit den Daten des ALB, die den flächenmäßig größten Anteil besitzen, verschnitten.

Die angegebene Bodenart des Klassenzeichens der Bodenschätzung kennzeichnet das Gesamtgepräge des Bodens, wobei der Oberboden stärker in die Gewichtung eingeht als der Unterboden. Eine Bestimmung der Bodenartenuntergruppe aus den Klassenzeichen der Bodenschätzung ist nicht möglich. Mit Hilfe von Übersetzungsschlüsseln (AG BODENKUNDE, 1994; UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG, 1995, FREDE & DABBERT 1998) können den Klassenzeichen der Bodenschätzung verschiedene Parameter des Bodenwasserhaushalts zugeordnet werden.

Ermittlung der nutzbaren Feldkapazität bzw. des pflanzenverfügbaren Wassers:

Aus den Bodenarten der Bodenschätzung wurden die in Tabelle 10 dargestellten Werte für die Feldkapazität (FK) und die nutzbare Feldkapazität (nFK) nach LAP (2002) abgeleitet und im LISA den jeweiligen Flurstücken zugeordnet.

Tabelle 10:

Feldkapazität (FK) und nutzbare Feldkapazität (nFK) der Bodenarten der Bodenschätzung

| Bodenart | FK [Vol.-%] | nFK [Vol.-%] |
|--------------------------|--------------------|---------------------|
| S (Sand) | 10,5 | 8 |
| SI (anlehmiger Sand) | 19 | 13 |
| IS (lehmiger Sand) | 26 | 16 |
| SL (stark lehmiger Sand) | 32 | 17 |
| sL (sandiger Lehm) | 36 | 19 |
| L (Lehm) | 40 | 17 |
| LT (schwerer Lehm) | 41 | 15 |
| T (Ton) | 48 | 14 |

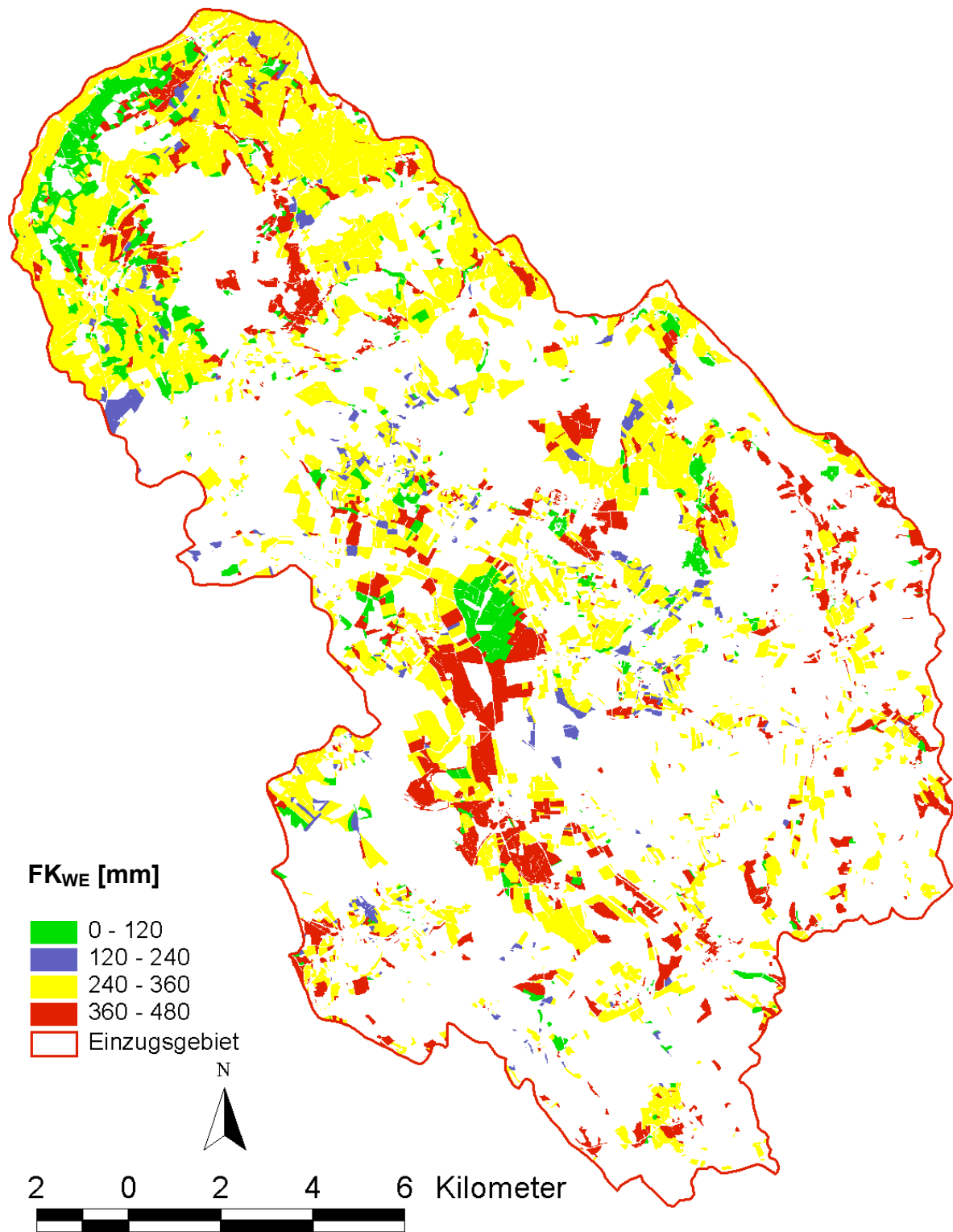


Abbildung 15:

Feldkapazität im durchwurzelbaren Boden (FK_{WE}) im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

Die Feldkapazität des durchwurzelbaren Bodens (FK_{WE}) bewegt sich zwischen 85 und 480 mm. Nach der Einteilung des Wasser- und Bodenatlas von Baden-Württemberg (UVM & LFU, 2001) befindet sich somit die FK_{WE} im Einzugsgebiet der Seefelder Aach zwischen „gering“ und „hoch“. Durchschnittlich beträgt die FK_{WE} 290 mm.

Die effektive Durchwurzelungstiefe wird benötigt, um die FK_{WE} - und nFK_{WE} -Anteile im durchwurzelbaren Boden zu bestimmen. Nach SAUER (1999) besteht ein Zusammenhang zwischen der Zustandsstufe nach Bodenschätzung und dem durchwurzelbaren Bodenraum.

Der Grundwasserflurabstand wird nach WENDLAND ET AL. (1993) für das Einzugsgebiet der Seefelder Aach mit 1,5 m angenommen. Der Abstand zwischen Grundwasserspiegel und durchwurzelbarem Boden wird neben der Bodenart zur Bestimmung der kapillaren Aufstiegsrate grundwasserbeeinflusster Böden benötigt.

Tabelle 11:

Zustandsstufen nach Bodenschätzung, mittlere effektive Durchwurzelungstiefe (W_e) und Abstand zwischen Grundwasserspiegel und W_e .

| Zustandsstufe nach Bodenschätzung | Durchwurzelungstiefe W_e [dm] | Abstand GW-Spiegel zu W_e [dm] |
|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 10 | 5 |
| 2 | 10 | 5 |
| 3, I | 9 | 6 |
| 4 | 8 | 7 |
| 5, II | 7 | 8 |
| 6 | 5 | 10 |
| 7, III | 3 | 12 |

Die kapillare Aufstiegsrate (KR) wurde nach einem Nomogramm bei FREDE & DABBERT (1998) ermittelt. Tabelle 12 zeigt die für das Einzugsgebiet der Seefelder Aach ermittelten kapillaren Aufstiegsraten. Es wird davon ausgegangen, dass Ackerböden der Entstehungsart Al (Niederungs- und Aueböden) grundwasserbeeinflusst sind. Für diese Böden wurde die kapillare Aufstiegsrate (KR) ermittelt. Bei Grünlandböden wurde für die KR in der Bodenschätzung angegebene Wasserstufe 5 (nass, sumpfig) ermittelt.

Der kapillare Aufstieg (K_a) wird für die Abschätzung des pflanzenverfügbaren Wassers (W_{Pfl}) benötigt. Die berechneten Werte des pflanzenverfügbaren Wassers sind in Abbildung 14 dargestellt. W_{Pfl} besitzt Werte zwischen 80 und 840 mm. Durchschnittlich beträgt der Wert 179 mm für das Einzugsgebiet der Seefelder Aach.

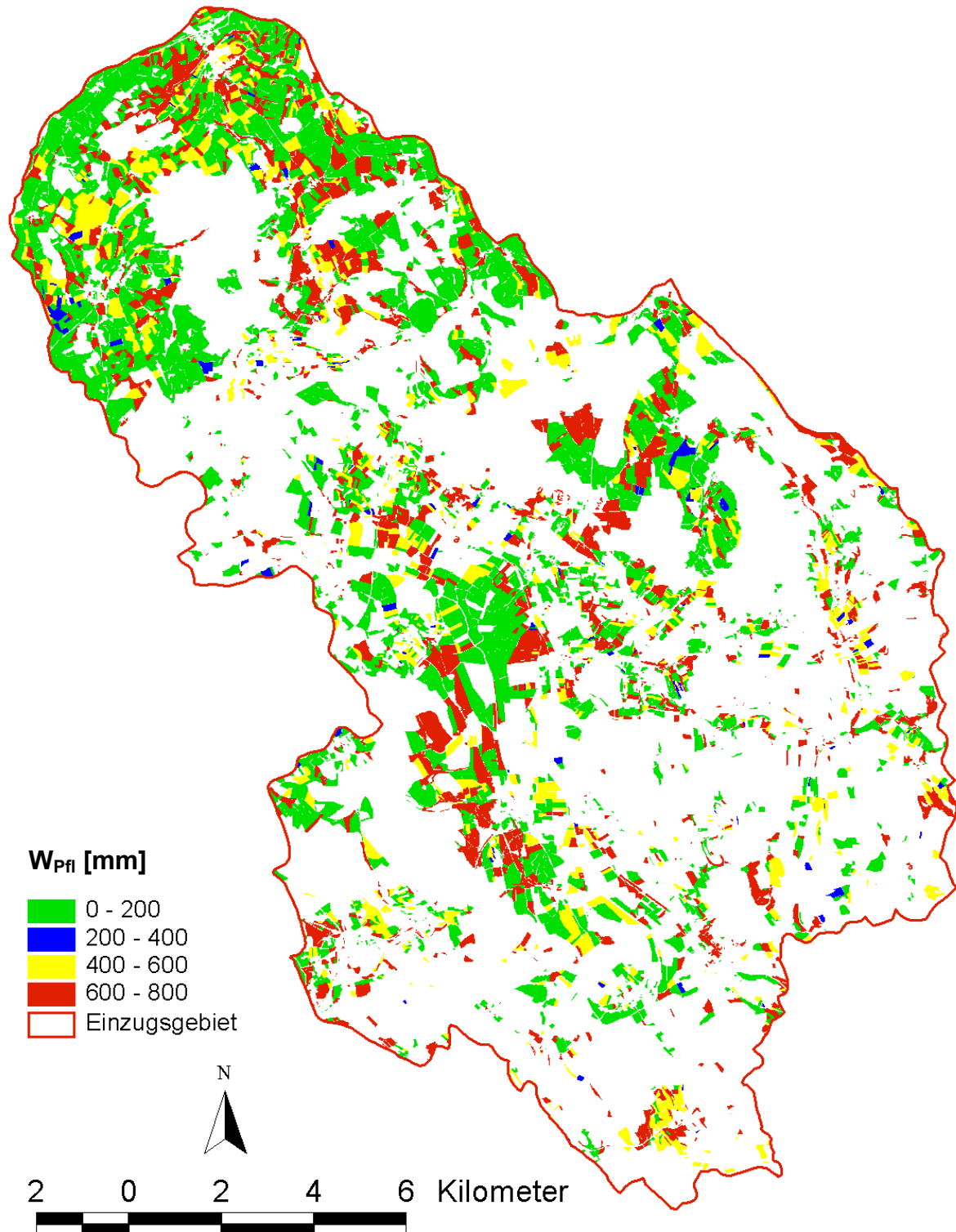


Abbildung 16:

Pflanzenverfügbares Wasser (W_{Pfl}) im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

Table 12:*Kapillare Aufstiegsraten (KR in mm/d) für Bodenarten der Bodenschätzung*

| Bodenart | Zustandsstufe | KR [mm/d] |
|--------------------------|---------------|-----------|
| IS (lehmiger Sand) | 2 | 5,0 |
| | 3 | 4,0 |
| | 4 | 3,0 |
| SL (stark lehmiger Sand) | 2 | 5,0 |
| | 3 | 4,0 |
| sL (sandiger Lehm) | 4 | 0,2 |
| | 5 | - |
| L (Lehm) | 2 | 5,0 |
| | 3 | 4,5 |
| | 4 | 4,0 |
| | 5 | 3,5 |
| LT (schwerer Lehm) | 2 | 5,0 |
| | 3 | 4,5 |
| | 4 | 4,0 |
| | 5 | 2,5 |
| T (Ton) | 3 | 0,5 |
| | 4 | 0,2 |
| | 5 | - |

Ermittlung der Sickerwassermenge:

Für die Abschätzung der Sickerwassermenge werden Sommerniederschlag, Winterniederschlag, der Evapotranspirationskoeffizient und das pflanzenverfügbare Wasser benötigt. Der Sommer – und Winterniederschlag wurde auf Grundlage der acht dem Einzugsgebiet der Seefelder Aach am nächsten gelegen Niederschlagsstationen des DWD ermittelt (siehe Abbildung 6). Die potenzielle Evapotranspiration wurde aus den Daten der Klimastationen (siehe Abbildung 7) berechnet. Die Punktdaten der Niederschlags- und Klimastationen wurden mit Hilfe des „Inversen Distanzverfahrens“ interpoliert, um flächenhafte Aussagen für das Einzugsgebiet zu bekommen. Abbildung 17 zeigt die Verteilung der Sommer- und Winterniederschläge des Einzugsgebiets. Die Sommerniederschläge (01.04. – 30.09.) liegen 100 – 200 mm über den Winterniederschlägen (01.10. – 31.03.). Die höchsten Niederschläge befinden sich im zentralen Bereich der Niederschlagsstation Heiligenberg, die geringsten Niederschläge sind im Norden und Westen des Einzugsgebiets. Aus Abbildung 18 sind die Werte des Haude-Faktors ersichtlich. Die potenzielle Evapotranspiration schwankt im Einzugsgebiet zwischen 400 und 520 mm/a und besitzt einen durchschnittlichen Wert von 470 mm/a.

Die Sickerwassermenge wurde direkt im LISA nach der Verschneidung von verschiedenen Themenkarten (Winter- und Sommerniederschlägen, Transpirationskoeffizient nach Haude und pflanzenverfügbarem Wasser) berechnet.

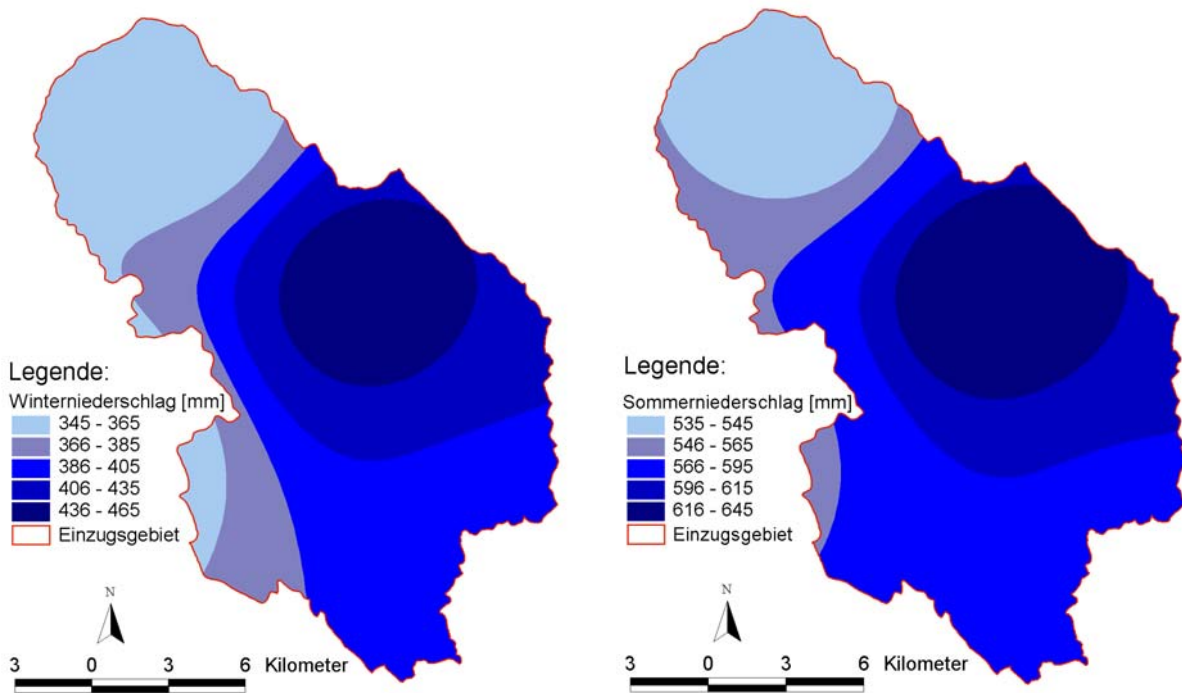


Abbildung 17:

Mittlere Winterniederschlagshöhe (links) und mittlere Sommerniederschlagshöhe (rechts) im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

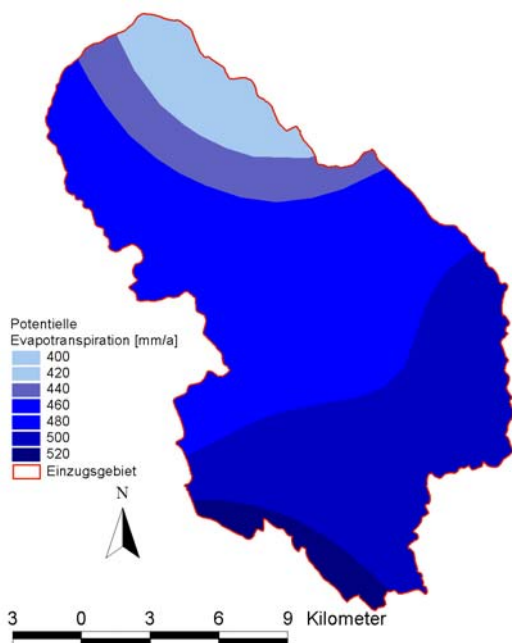


Abbildung 18:

Potenzielle Evapotranspiration nach Haude im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

Berechnung der Austauschhäufigkeit des Bodenwassers:

Nach Verschneidung der Themen „Sickerwassermenge“ und „Feldkapazität“ wurde die Austauschhäufigkeit und davon abgeleitet der Auswaschungsfaktor direkt im LISA in einem neuen Thema „Austauschhäufigkeit“ berechnet.

Potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser:

Auf Grundlage des „Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems“ (InVeKos) wurden den Flurstücken des Amtlichen Liegenschaftskatasters (ALK) die Nutzungen, mit den flächenmäßig größten Anteilen der Jahre 1997 – 2001 zugeordnet. Die Rohdaten des InVeKos wurden in eine Datenbank importiert. Mit Hilfe mehrerer SQL-Abfragen wurden die Nutzungen mit den flächenmäßig größten Anteilen gruppiert. Diese wurden dann im LISA mit den Flurstücken verbunden. Den einzelnen Kulturarten wurden N-Überschüsse zugeordnet. Grundlage der N-Überschüsse bilden schlagbezogene N-Düngebilanzen des Jahres 2000, die innerhalb der landwirtschaftlichen Beratung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach mit Landwirten erstellt wurden (SCHLECKER & KONOLD, 2002). Tabelle 13 zeigt die ermittelten N-Überschüsse der Hauptkulturarten im Einzugsgebiet der Seefelder Aach.

Tabelle 13:

N-Überschüsse der Kulturarten im Einzugsgebiet der Seefelder Aach auf Grundlage schlagbezogener Düngebilanzierungen

| Kulturart: | N-Überschuss [kg / ha • a] |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Weizen | 0 |
| Gerste | 34 |
| Raps | 31 |
| Mais | 66 |
| Hafer, Roggen, Dinkel | 5 |
| Kartoffeln | -10 |
| Zuckerrüben | 0 |
| Grünland, Wiesen, Mähweide | -12 |

5 Ergebnisse aus dem Einzugsgebiet der Seefelder Aach

5.1 Bodenabtrag im Einzugsgebiet der Seefelder Aach (Ist-Soll-Zustand)

Regen- und Oberflächenabflussfaktor (R-Faktor):

In Abbildung 19 sind die berechneten Werte und die räumliche Ausdehnung für den R-Faktor im Einzugsgebiet der Seefelder Aach dargestellt. Der R-Faktor der ABAG besitzt im Einzugsgebiet der Seefelder Aach Werte zwischen 84 und 106 Newton/ha·a. Aufgrund der Abhängigkeit des R-Faktors vom durchschnittlichen Jahresniederschlag ergibt sich die gleiche Differenzierung des R-Faktors wie bei den Niederschlägen.

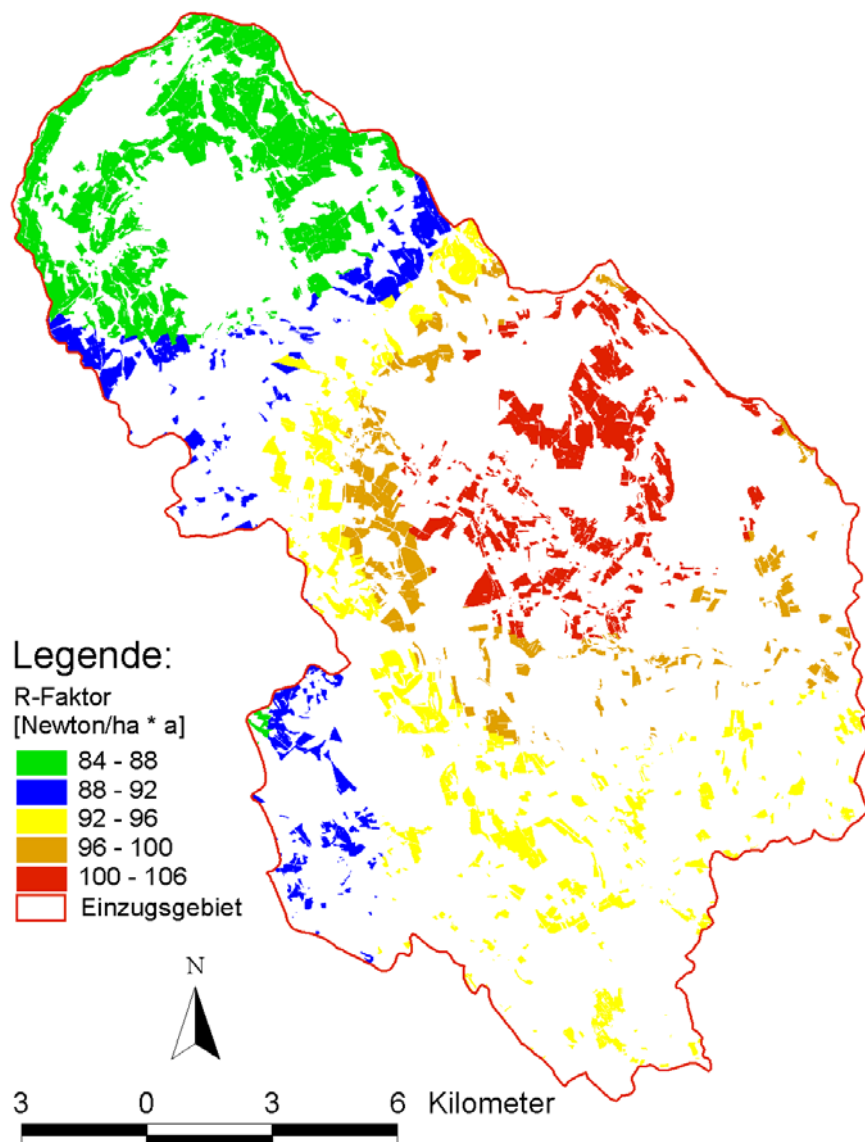


Abbildung 19:

R-Faktoren für das Einzugsgebiet der Seefelder Aach

Bodenerodierbarkeitsfaktor (K-Faktor):

Aus Abbildung 20 ist für die Ackerflächen im Einzugsgebiet der Seefelder Aach der K-Faktor und dessen Verteilung im Raum ersichtlich. Der K-Faktor der ABAG besitzt im Einzugsgebiet Werte zwischen 0,1 und 0,5. Der durchschnittliche K-Faktor für das Einzugsgebiet beträgt 0,34. Aus Tabelle 14 sind die Flächenanteile der Klassen des K-Faktors dargestellt. Über 50 % der Flächen besitzen einen K-Faktor zwischen 0,3 und 0,4. Ein Viertel der Ackerflächen besitzt einen geringen K-Faktor zwischen 0,1 und 0,2. 15 % der Ackerflächen sind aufgrund ihrer Bodenart besonders erosionsanfällig.

Tabelle 14:

Flächenanteile der Klassen des K-Faktors der ABAG im Einzugsgebiet der Seefelder Aach (je höher der K-Faktor, desto stärker die Bodenerosion)

| K-Faktor: | Flächenanteil in % |
|------------------|---------------------------|
| 0.1 - 0.2 | 26 |
| 0.2 – 0.3 | 7 |
| 0.3 – 0.4 | 52 |
| 0.4 – 0.5 | 15 |

Topographiefaktor (LS-Faktor):

In Abbildung 21 sind die Werte und die räumliche Verteilung für den LS-Faktor der ABAG im Einzugsgebiet der Seefelder Aach dargestellt. Der LS-Faktor der Ackerflächen schwankt zwischen 0 und 12. Der durchschnittliche LS-Faktor des Einzugsgebiets beträgt 1,34. Aus Tabelle 15 sind die Flächenanteile der LS-Faktoren ersichtlich.

Tabelle 15:

Flächenanteile der Klassen des LS-Faktors der ABAG im Einzugsgebiet der Seefelder Aach (je höher der LS-Faktor, desto stärker die Bodenerosion)

| LS-Faktor: | Flächenanteil in % |
|-------------------|---------------------------|
| 0 - 1 | 18 |
| 1 – 2 | 31 |
| 2 – 4 | 36 |
| 4 – 8 | 14 |
| 8 - 12 | 1 |

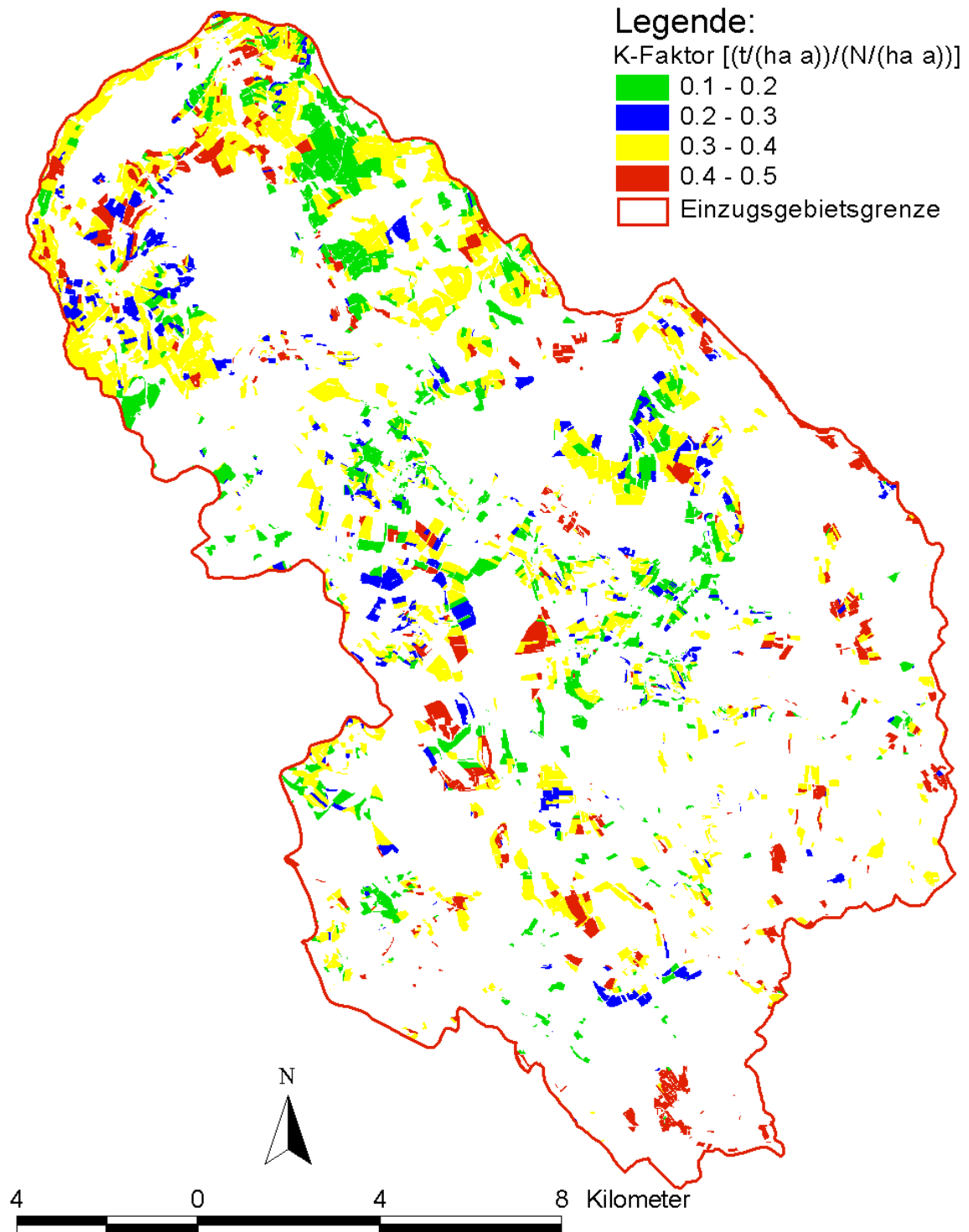


Abbildung 20:

K-Faktoren der Ackerflächen im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

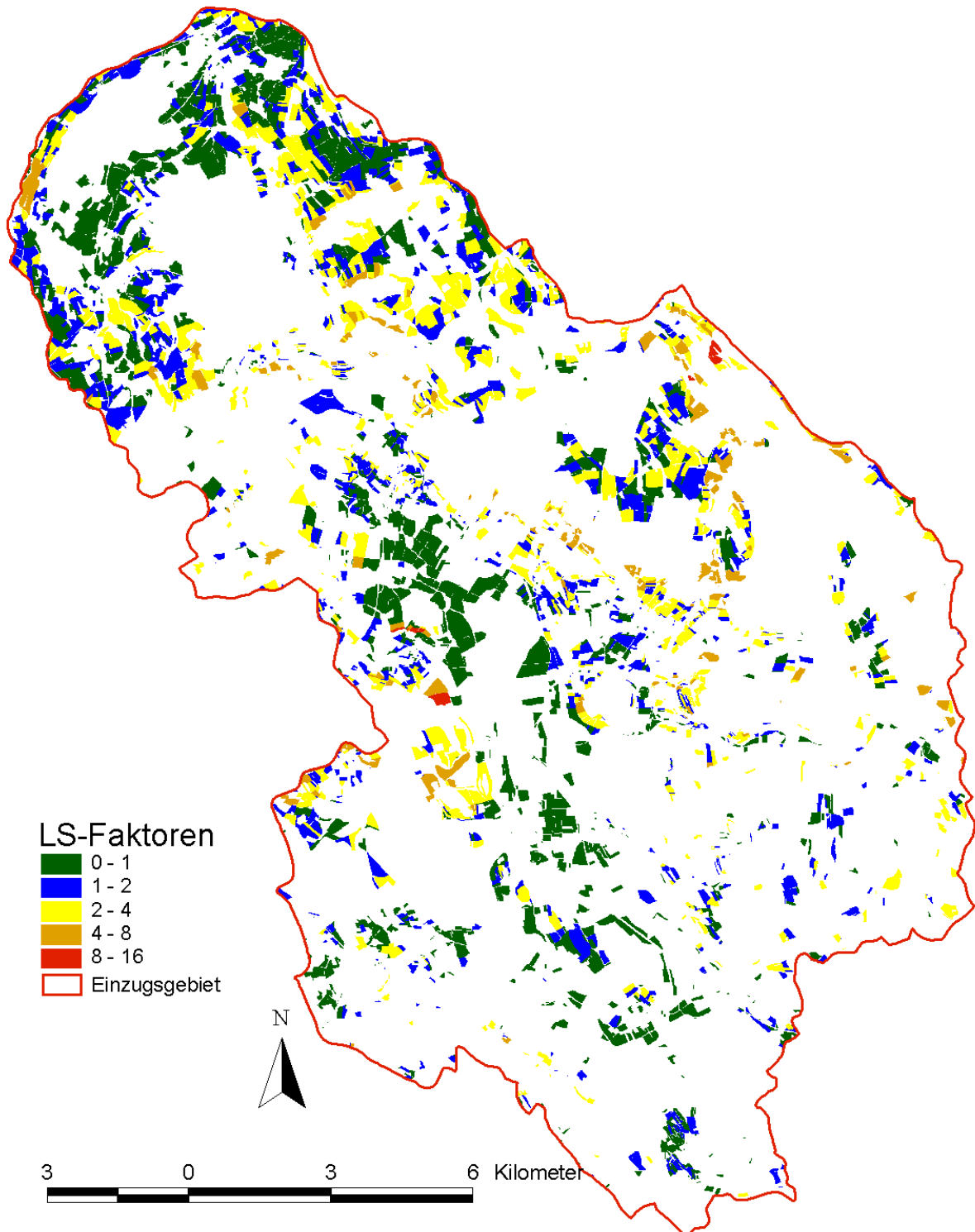


Abbildung 21:

LS-Faktoren der Ackerflächen im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

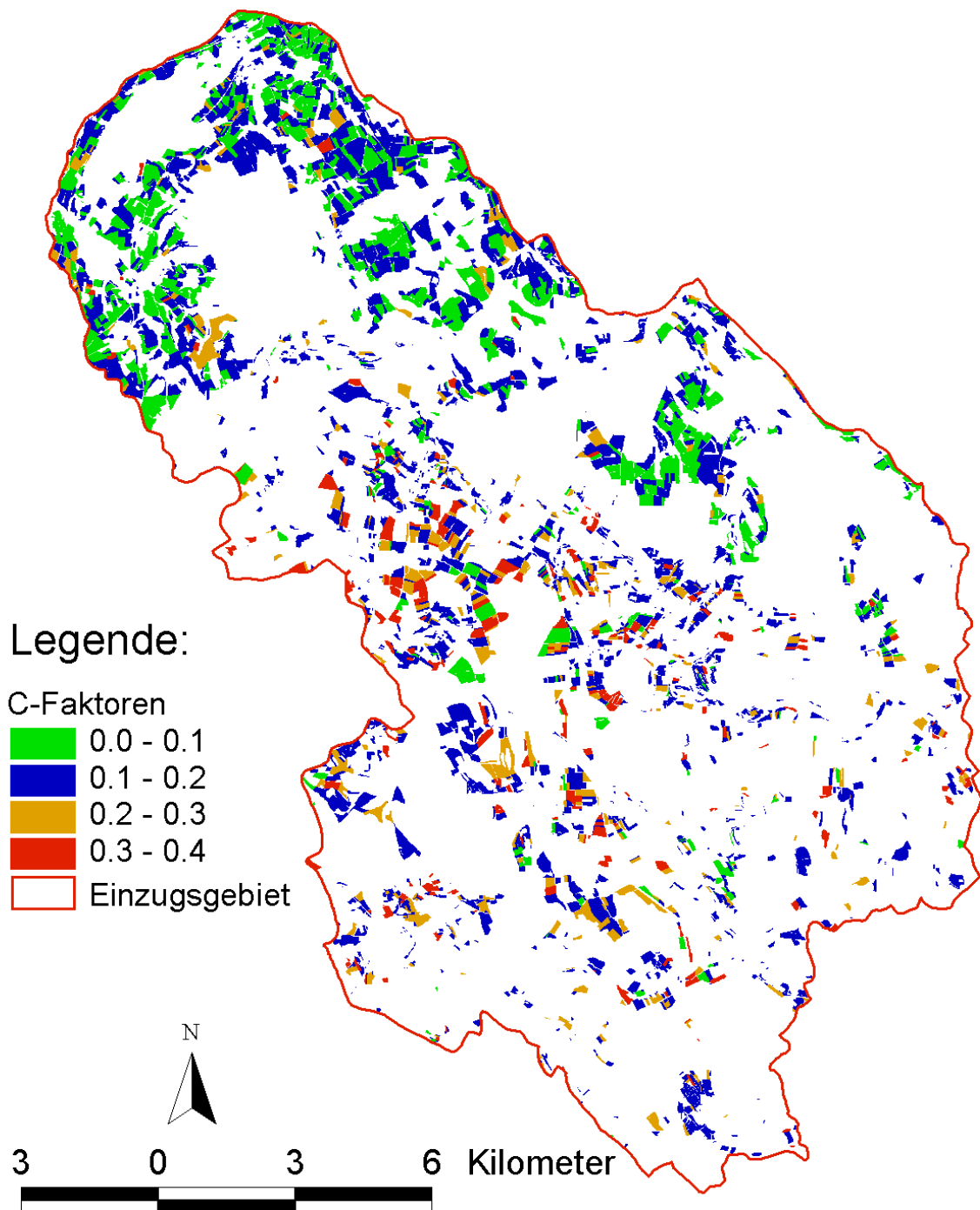


Abbildung 22:

C-Faktoren der Ackerflächen im Einzugsgebiet der Seefelder Ach

Bedeckungs- und Bewirtschaftungsfaktor (C-Faktor):

In Abbildung 22 sind die räumliche Verteilung und die Werte für den C-Faktor der ABAG im Einzugsgebiet der Seefelder Aach dargestellt. Der C-Faktor schwankt zwischen 0,1 und 0,4. 80 % der Ackerflächen besitzen einen „geringen“ bis „mittleren“ C-Faktor. Fruchtfolgen mit Kulturarten, die Erosion begünstigen (Mais, Hackfrüchte), sind vor allem zwischen Salem und Frickingen sowie Salem und dem Deggenhausertal anzutreffen.

Tabelle 16:

Flächenanteile der Klassen des C-Faktors der ABAG im Einzugsgebiet der Seefelder Aach (je höher der C-Faktor, desto stärker die Bodenerosion)

| C-Faktor: | Flächenanteil in % |
|------------------|---------------------------|
| 0.0 – 0.1 | 27 |
| 0.1 – 0.2 | 53 |
| 0.2 – 0.3 | 12 |
| 0.3 – 0.4 | 8 |

Erosionsschutzfaktor (P-Faktor):

Da im Einzugsgebiet der Seefelder Aach keine Kontur- und Streifennutzung stattfindet, wurde für den Erosionsschutzfaktor im LISA der Wert 1 verwendet.

Einfluss der Art der Bewirtschaftung auf die Erosion

Der C-Faktor repräsentiert den Einfluss der Art der Bewirtschaftung. Durch Veränderung der Fruchtfolge (z.B. Verringerung des Maisanteils) bzw. der Bodenbearbeitung (z.B. Mulchsaat) kann die standortbedingte Erosionsgefährdung minimiert werden.

Einfluss der Standortbedingungen

Die standortbedingte Gefährdung der Erosion ergibt sich, wenn man die Faktoren R, K, L und S miteinander multipliziert. Aus Abbildung 23 ist ersichtlich, dass die standortbedingte Erosionsgefährdung außerhalb des Salem-Frickinger Beckens als sehr hoch einzuschätzen ist. Dies ist vor allem auf den starken Einfluss des Reliefs und somit des LS-Faktors zurückzuführen.

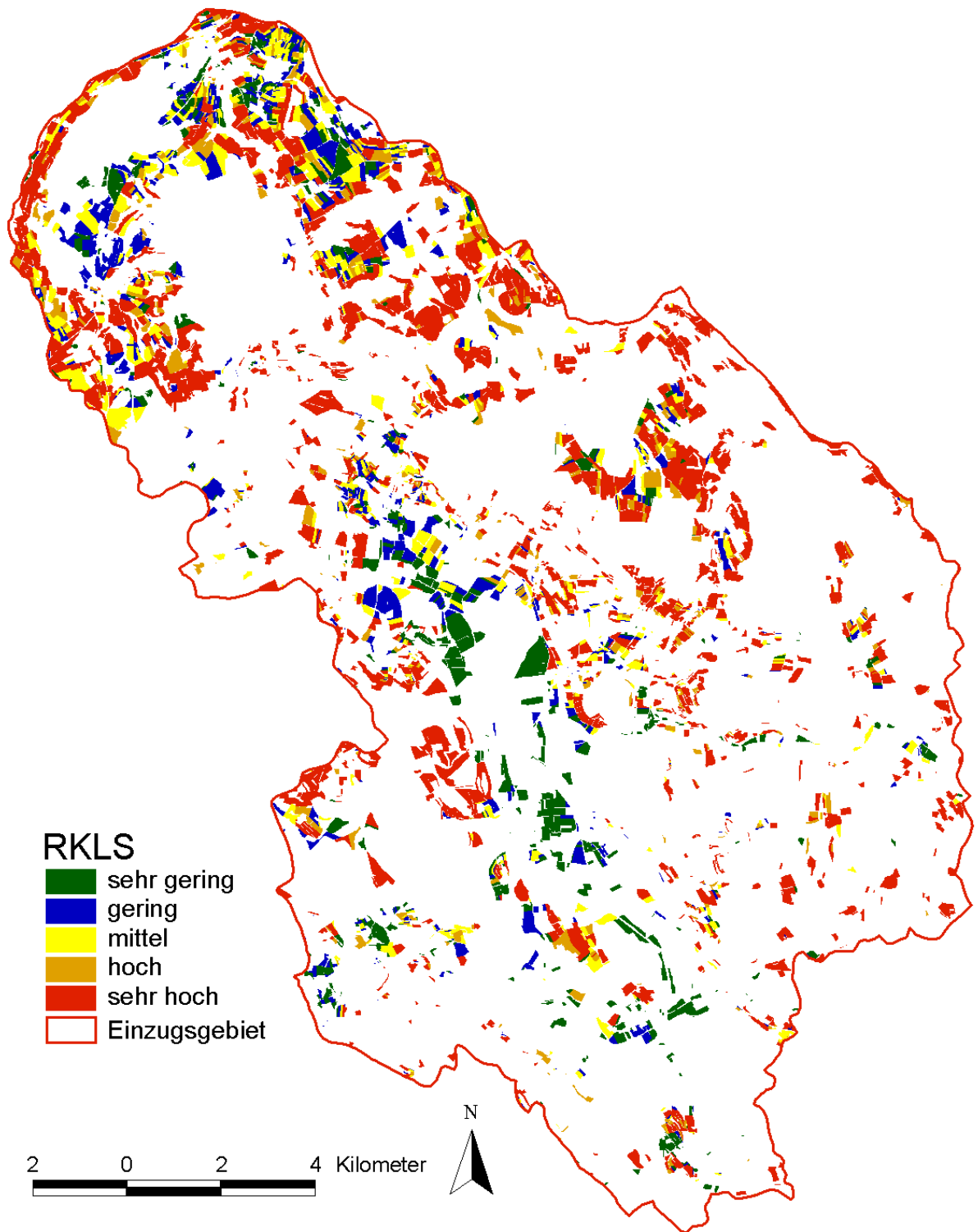


Abbildung 23:

Standortbedingte Erosionsgefährdung der Ackerflächen im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

In Tabelle 17 sind die Flächenanteile der Klassen der standortbedingten Erosionsgefährdung dargestellt, die aus FREDE & DABBERT (1998) übernommen wurden.

Tabelle 17:

Flächenanteile der Klassen der standortbedingten Erosionsgefährdung der ABAG nach FREDE & DABBERT (1998) im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

| RKLS-Faktor | Bodenabtrag [t/ha • a]: | Flächenanteil in % |
|--------------------|--------------------------------|---------------------------|
| sehr gering | < 10 | 13 |
| gering | 10 – 20 | 14 |
| mittel | 20 – 30 | 13 |
| hoch | 30 - 40 | 10 |
| sehr hoch | > 40 | 50 |

Bodenabtrag im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

Wird zusätzlich zur standortbedingten Erosionsgefährdung (RKLS-Faktor) der Bewirtschaftungseinfluss (C- und P-Faktor) berücksichtigt, erhält man den durchschnittlichen Bodenabtrag [t /ha • a] der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung.

Der durchschnittliche nach ABAG berechnete Bodenabtrag im Einzugsgebiet der Seefelder Aach beträgt für die Ackerflächen 6,5 t/ha • a. Die Werte liegen zwischen 0 und 40 t/ha • a (Abbildung 24). Auf über einem Drittel der Ackerflächen wird der Bodenabtrag als „sehr hoch“ eingeschätzt. Auf 40 % der Flächen ist der berechnete Abtrag „sehr gering“ bis „gering“. Bei einem Viertel der Flächen liegt der Bodenabtrag zwischen 2 und 4 t/ha • a. Schwerpunkte mit Ackerflächen, die bezüglich des Bodenabtrags mit „sehr hoch“ bewertet werden, liegen östlich und westlich des Salemer – Frickinger Beckens und entlang der Deggenhauser Aach, südwestlich von Herdwangen sowie zwischen Herdwangen und Wintersulgen.

Tabelle 18:

Flächenanteile der Gefährdungsklassen des Bodenabtrags der ABAG nach FREDE & DABBERT (1998) im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

| Gefährdungsklasse | Bodenabtrag [t/ha • a]: | Flächenanteil in % |
|--------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| sehr gering | < 2 | 22 |
| gering | 2 – 4 | 18 |
| mittel | 4 – 6 | 13 |
| hoch | 6 - 8 | 12 |
| sehr hoch | > 8 | 35 |

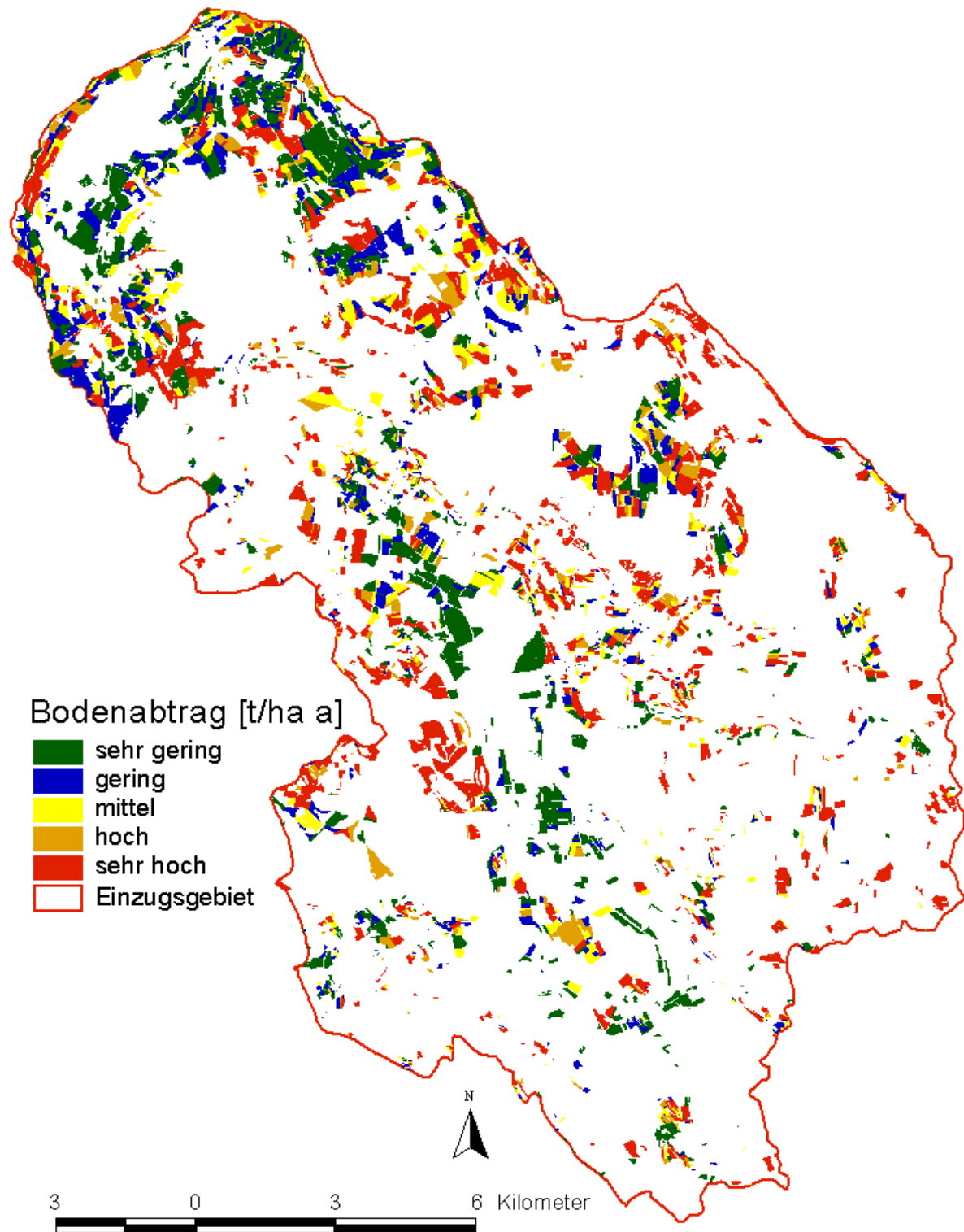


Abbildung 24:

Nach ABAG berechneter Bodenabtrag im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

Tolerierbarer Bodenabtrag im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

Nach GÜNDRA ET AL. (1995) erlaubt die Ausweisung eines tolerierbaren Bodenabtrags, das Ausmaß von gemessenen oder berechneten Bodenabträgen zu bewerten. Er dient der Abschätzung des Bodenerosionsrisikos und ist somit als Entscheidungshilfe für Erosionsschutzmaßnahmen geeignet.

Der tolerierbare Abtrag errechnet sich aus folgender Formel und ist aus der Bodenschätzung ableitbar:

$$\text{tolerierbarer Abtrag [t/ha} \cdot \text{a]} = \frac{\text{Acker- oder Grünlandzahl}}{8}$$

Der durchschnittliche tolerierbare Bodenabtrag liegt im Einzugsgebiet der Seefelder Aach bei 6,88 t/ha · a. Er bewegt sich zwischen 1,88 und 10 t/ha · a.

Bodenerosionsrisiko

Das Bodenerosionsrisiko stellt nach GÜNDRA ET AL. (1995) die Berechnung des Verhältnisses von berechnetem Bodenabtrag und tolerierbarem Bodenabtrag dar.

$$\text{Risiko} = \frac{\text{Bodenabtrag [t/ha} \cdot \text{a]}}{\text{tolerierbarer Bodenabtrag [t/ha} \cdot \text{a]}}$$

Ist das Verhältnis für das Bodenerosionsrisiko kleiner 1, ist der berechnete Bodenabtrag niedriger als der tolerierbare Abtrag. Bei einem Verhältnis über 1 übersteigt der berechnete Bodenabtrag tolerierbare Werte. Liegt das Verhältnis über 2, kann davon ausgegangen werden, dass der berechnete Bodenabtrag den tolerierbaren Abtrag deutlich übersteigt. Das Bodenerosionsrisiko gibt somit Auskunft über die Dringlichkeit eines Handlungsbedarfs zum Schutz der Böden vor Erosion durch Wasser.

Abbildung 25 zeigt, dass bei 60 % der Ackerflächen im Einzugsgebiet der Seefelder Aach das Erosionsrisiko kleiner 1 ist und somit der berechnete Abtrag unter dem tolerierbaren Abtrag liegt. Bei 40 % der Ackerflächen liegt der berechnete über dem tolerierbaren Abtrag. Hier besteht dringender Handlungsbedarf, um den Bodenabtrag zu reduzieren.

Ackerflächen mit hohem Erosionsrisiko befinden sich vor allem westlich des Salem-Frickinger Beckens, bei Heiligenberg und entlang der Deggenhauser Aach. Die Ursachen für das hohe Erosionsrisiko der Ackerflächen innerhalb dieser Gebiete sind zum einen die topographischen Verhältnisse (stark reliefierte Landschaften) und zum anderen Bewirtschaftungseinflüsse (z.B. hoher Maisanteil in der Fruchtfolge).

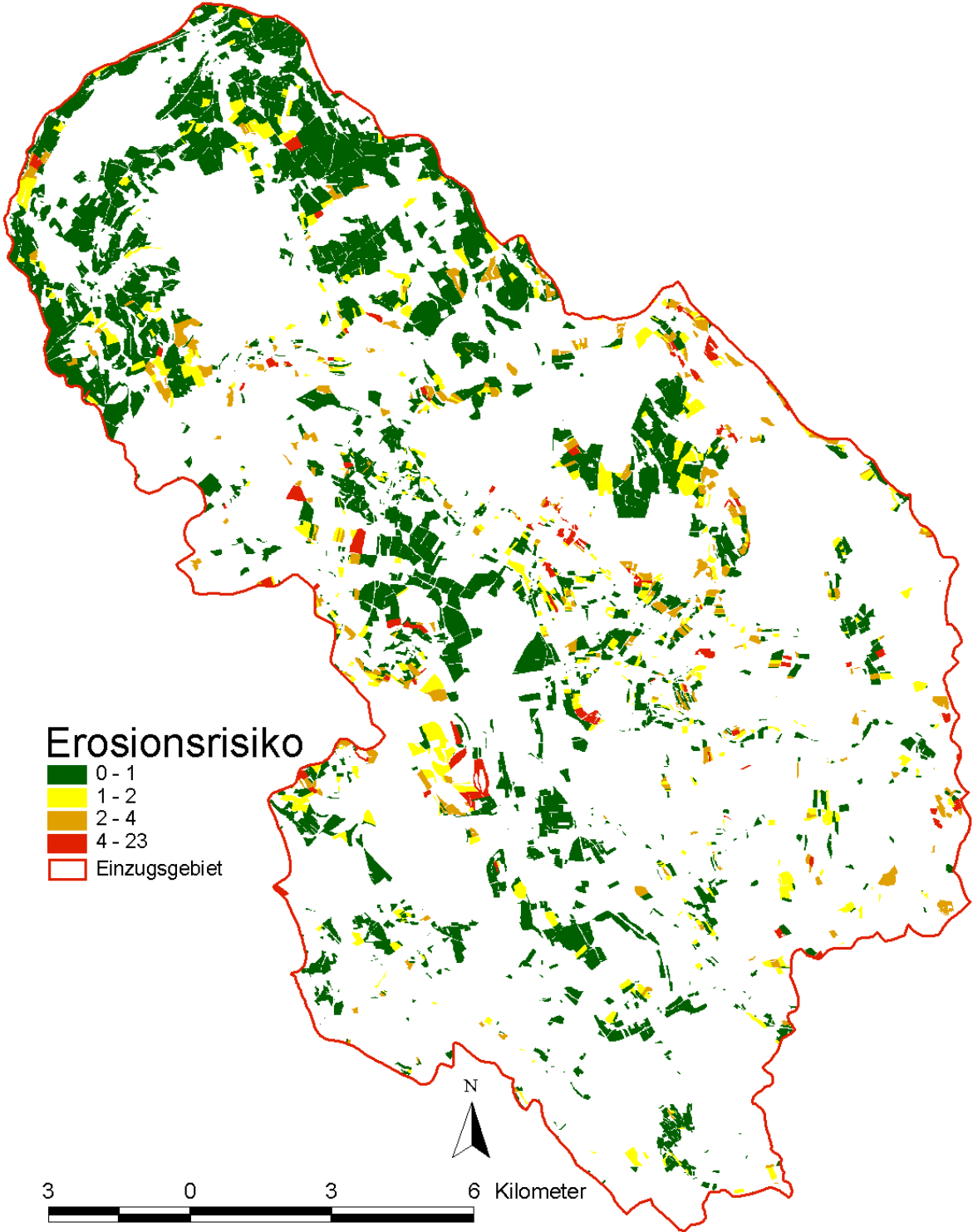


Abbildung 25:
Erosionsrisiko im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

Bodenabtrag und Bodenerosionsrisiko im Einzugsgebiet der Seefelder Aach unter Veränderung der Bodenbearbeitung

Die konservierende Bodenbearbeitung (z.B. Mulchsaat) stellt eine wirksame Maßnahme zur Reduzierung des Bodenabtrags dar. Durch das Verbleiben von Ernteresten auf der Bodenoberfläche und deren flache Einarbeitung werden die Energie des Niederschlags und der Oberflächenabfluss reduziert, das Wasseraufnahmevermögen des Bodens erhöht und die Stabilität des Bodengefüges verbessert. Dieser Einfluss der Bodenbearbeitung wird durch reduzierte C-Faktoren der ABAG berücksichtigt.

Abbildung 26 zeigt den veränderten berechneten Bodenabtrag für die Ackerflächen im Einzugsgebiet der Seefelder Aach unter der Annahme, dass auf 100 % der Ackerflächen konservierende Bodenbearbeitungsverfahren eingesetzt werden.

Der durchschnittliche Bodenabtrag bei vollständiger Umsetzung der konservierenden Bodenbearbeitung beträgt 2,7 t/ha•a. Durch konservierende Bodenbearbeitung kann auf 72 % der Flächen der Bodenabtrag unter 4 t/ha•a reduziert werden. 28 % der Fläche fallen trotz konservierender Bodenbearbeitung in die Gefährdungsklassen „mittel“ bis „sehr hoch“.

Ackerflächen, die trotz des Einsatzes von konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren bezüglich des Bodenabtrags mit „sehr hoch“ bewertet werden, befinden sich südwestlich von Salem und entlang der Deggenhauser Aach. Für die Beratung bedeutet dies, dass auf diesen Ackerflächen weitere Maßnahmen ergriffen werden müssen, um den Bodenabtrag auf ein tolerierbares Maß zu reduzieren.

Tabelle 19:

Flächenanteile der Gefährdungsklassen des Bodenabtrags nach ABAG im Einzugsgebiet der Seefelder Aach im Vergleich zwischen konventioneller Bodenbearbeitung und der Annahme, dass konservierende Bodenbearbeitungsverfahren auf 100 % der Ackerflächen angewendet werden.

| Gefährdungsklasse | Bodenabtrag [t/ha•a] | Flächenanteil in % | |
|-------------------|-------------------------|--------------------|---------------|
| | | konservierend | konventionell |
| sehr gering | < 2 | 46 | 13 |
| gering | 2 – 4 | 26 | 14 |
| mittel | 4 – 6 | 12 | 13 |
| hoch | 6 - 8 | 7 | 10 |
| sehr hoch | > 8 | 9 | 50 |

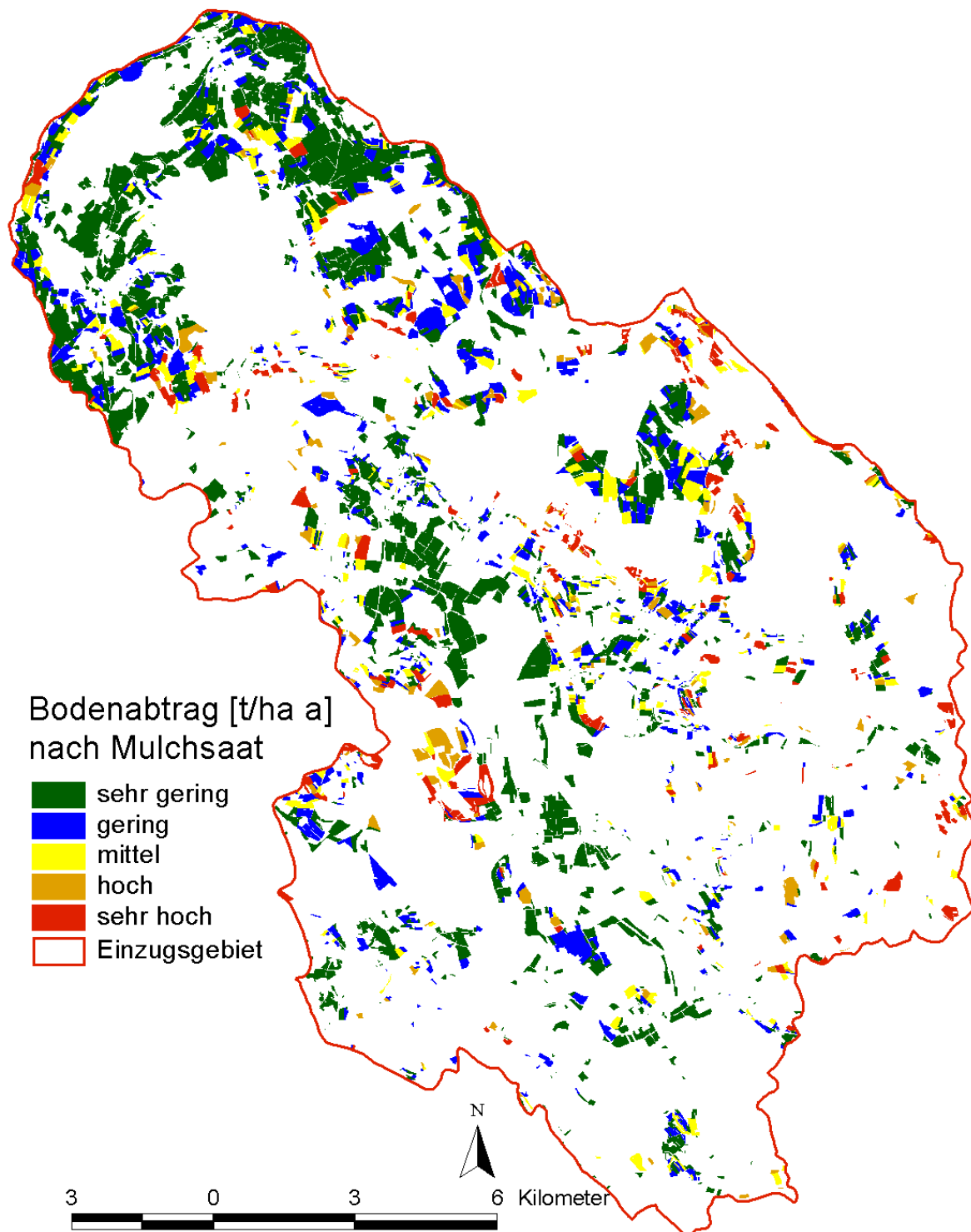


Abbildung 26:

Bodenabtrag im Einzugsgebiet der Seefelder Aach nach Anwendung von konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren auf 100 % der Ackerflächen

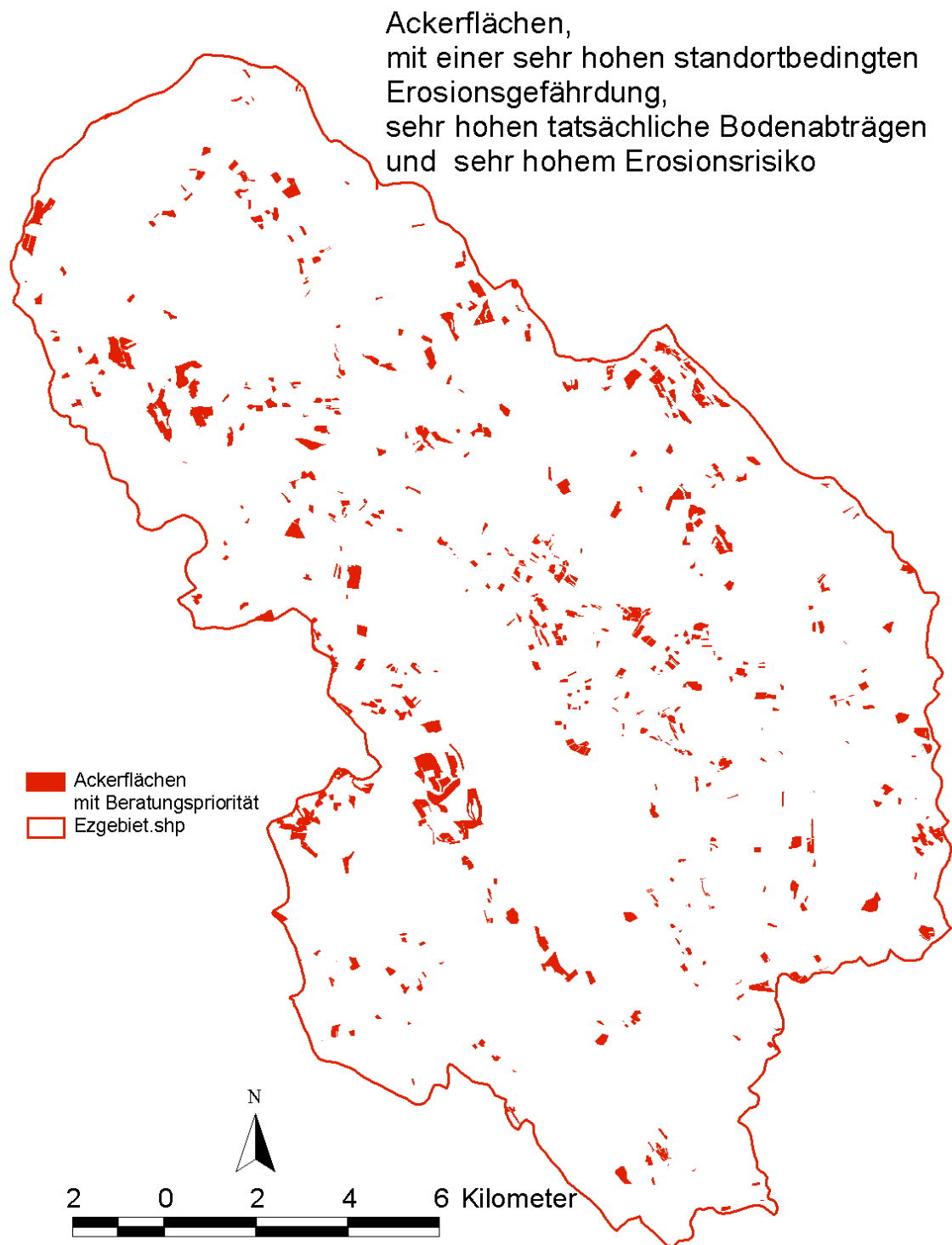
Durch die GIS-gestützte Berechnung der standortbedingten Erosionsgefährdung, des Erosionsrisikos und des tatsächlichen Bodenabtrags mit der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung können Flächen lokalisiert werden, die Schwerpunkte für eine gewässerschutzbezogene, landwirtschaftliche Beratung darstellen. Dabei handelt es sich um Ackerflächen, die

- eine sehr hohe standortbedingte Erosionsgefährdung (RKLS-Faktor),
- sehr hohe tatsächliche Bodenabträge und
- ein sehr hohes Erosionsrisiko (Bodenabtrag / tolerierbarer Abtrag)

besitzen.

Durch die Verschneidung dieser drei Themenkarten wurden 20 % (1156 ha) der untersuchten Ackerflächen mit vorrangigem Beratungsbedarf ermittelt (Abbildung 27).

Ackerflächen, die trotz des Einsatzes von konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren hohe Bodenabträge aufweisen, stellen Flächen mit höchster Beratungspriorität dar (Abbildung 26).

**Abbildung 27:**

Ackerflächen mit einer sehr hohen standortbedingten Erosionsgefährdung, sehr hohen tatsächlichen Bodenabträgen und sehr hohem Erosionsrisiko und daraus resultierender Beratungspriorität

5.2 Nitratauswaschung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach (Ist-Soll-Zustand)

Sickerwassermengen

Aus Abbildung 28 ist für die Acker- und Grünlandflächen des Einzugsgebiets der Seefelder Aach die potenzielle Sickerwassermenge [mm/a] und deren räumliche Verteilung ersichtlich. Die Sickerwassermenge schwankt zwischen 49 und 570 mm/a. Die durchschnittliche Sickerwasserhöhe im Einzugsgebiet beträgt 307 mm/a. Aus Abbildung 28 wird deutlich, dass die Sickerwassermenge sehr stark von der Niederschlagsverteilung abhängt (vgl. Abbildung 17). Die höchsten Sickerwassermengen treten im zentralen Bereich des Einzugsgebiets der Seefelder Aach auf. Im nördlichen Teil des Einzugsgebiets treten die geringsten Werte auf. In Richtung Südosten nimmt die Sickerwassermenge weniger stark ab.

Aus Tabelle 20 sind die Flächenanteile der Klassen der Sickerwassermenge dargestellt.

Tabelle 20:

Flächenanteile der Klassen der Sickerwassermenge im Einzugsgebiet des Seefelder Aach

| Sickerwassermenge [mm/a] | Flächenanteil [%] |
|--------------------------|-------------------|
| 0-200 | 18 |
| 200-300 | 15 |
| 300-400 | 39 |
| 400-500 | 25 |
| 500-600 | 3 |

Grundsätzlich erhöht sich – aufgrund des Verdünnungseffektes – mit steigender Sickerwassermenge die Toleranzgrenze des auswaschbaren Stickstoffs. Um etwa den Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 50 mg NO₃/l Sickerwasser einzuhalten, dürfen die in Tabelle 21 aufgeführten maximalen N-Auswaschungspotenziale nicht überschritten werden.

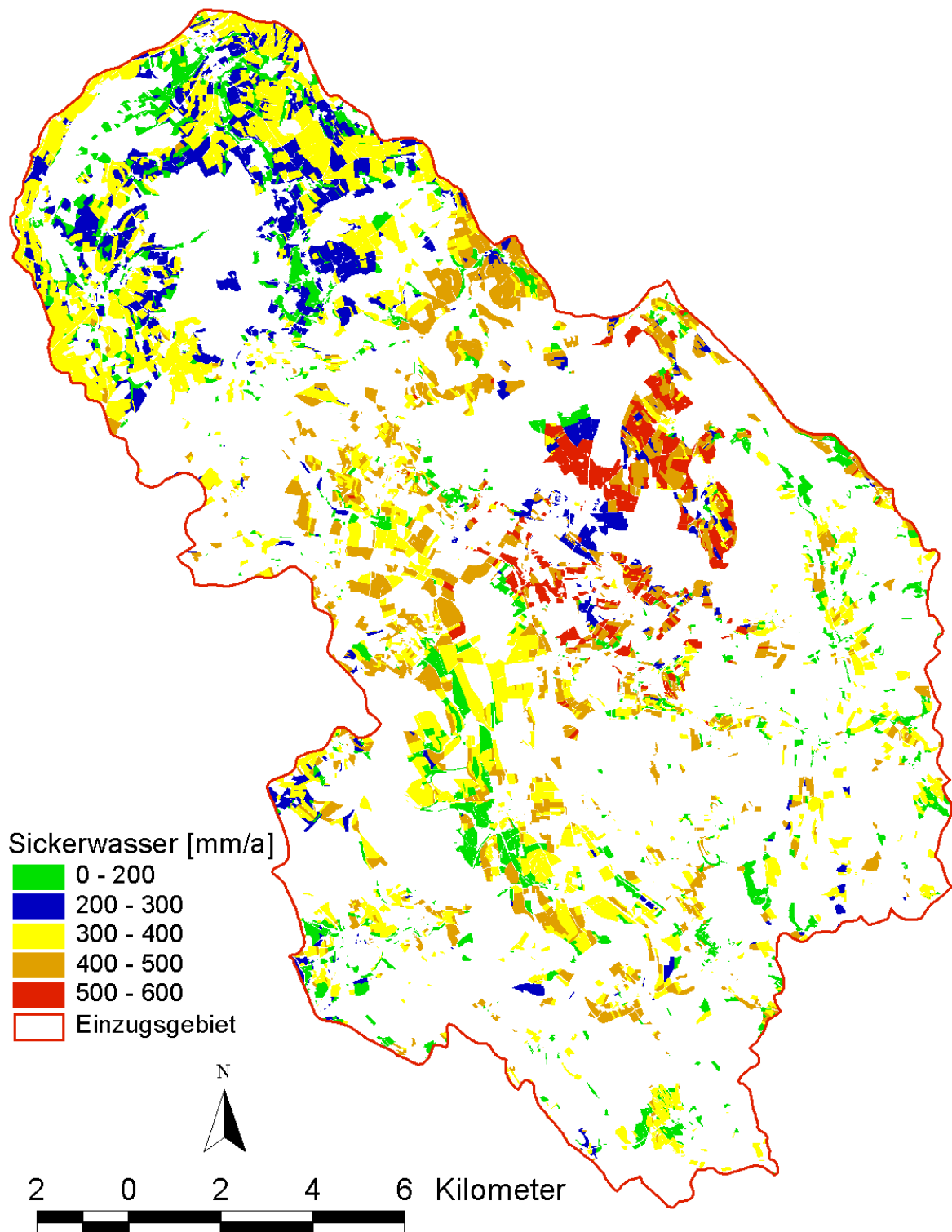


Abbildung 28:

Potenzielle Sickerwassermenge [mm/a] im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

Tabelle 21:

Tolerierbares, maximales N-Auswaschungspotenzial bei verschiedenen Sickerwassermengen, bei denen der Grenzwert von 50 mg NO₃/l eingehalten wird

| Sickerwassermenge [mm/a] | Tolerierbares N-Auswaschungspotenzial [kg N/ha] |
|--------------------------|---|
| 100 | 11 |
| 200 | 23 |
| 300 | 34 |
| 400 | 45 |
| 500 | 68 |

Austauschhäufigkeit und Auswaschungsfaktor

Der Auswaschungsfaktor (AF) ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit, dass Nitrat mit dem Sickerwasser aus dem durchwurzelten Boden ausgewaschen wird. Er wird aus der Austauschhäufigkeit (AH) abgeleitet.

Abbildung 29 zeigt den Auswaschungsfaktor für das Einzugsgebiet der Seefelder Aach. Auf 63 % der betrachteten Acker- und Grünlandflächen ist der Austauschfaktor 1, d.h. dass das Bodenwasser mindestens einmal pro Jahr ausgetauscht wird und somit die Wahrscheinlichkeit der Auswaschung von Nitrat sehr hoch ist. Bei 27 % der Flächen wird das Bodenwasser nicht komplett ausgetauscht. Durch das Sickerwasser wird nicht unbedingt der gesamte verlagerungsfähige Nitratvorrat im Boden ausgewaschen. Auf 63 % der betrachteten Acker- und Grünlandflächen besteht somit standortbedingt ein hohes Auswaschungsrisiko, das bei der Bewirtschaftung berücksichtigt werden sollte. So können beispielsweise durch eine kultur- und schlagbezogene Düngeplanungen auf diesen Flächen N-Düngebilanzüberschüsse vermieden werden.

Nitrat im Sickerwasser

Aus Abbildung 30 sind die Gefährdungsklassen der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l] für das Einzugsgebiet der Seefelder Aach dargestellt. Die Berechnung basiert auf Durchschnittswerten für die Jahre 1997 bis 2001, wobei die Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren sehr gering sind und nicht stark vom Mittelwert abweichen. Negative N-Düngebilanzen (z.B. bei Weizen) wurden mit dem Wert 0 in das LISA integriert, um negative Nitratgehalte im Sickerwasser zu vermeiden. Das Gewässergefährdungspotenzial anhand der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser wurde in Anlehnung an FREDE & DABBERT (1998) bewertet. Tabelle 22 zeigt die Flächenanteile der Klassen des Gewässergefährdungspotenzials.

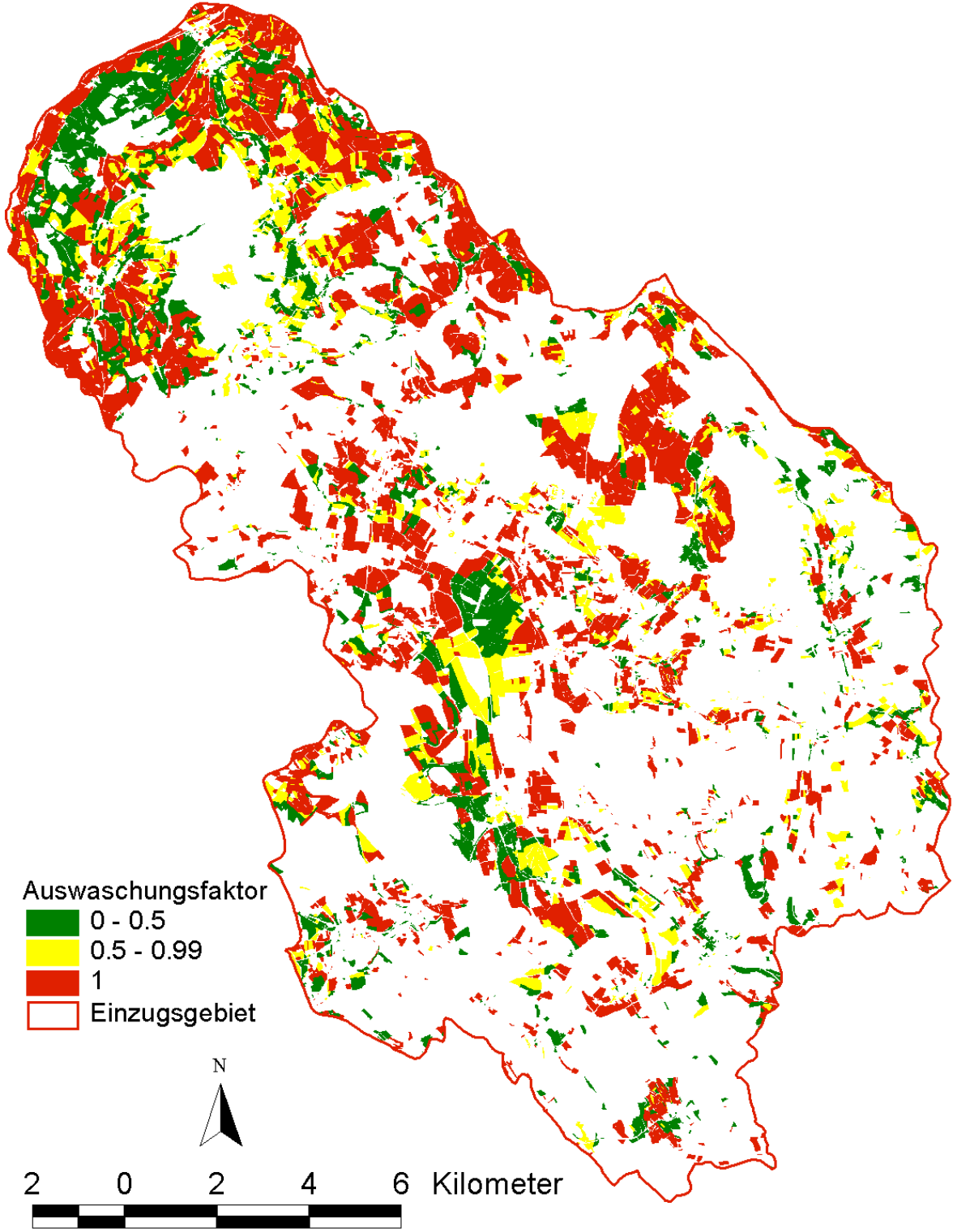


Abbildung 29:
Auswaschungsfaktor im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

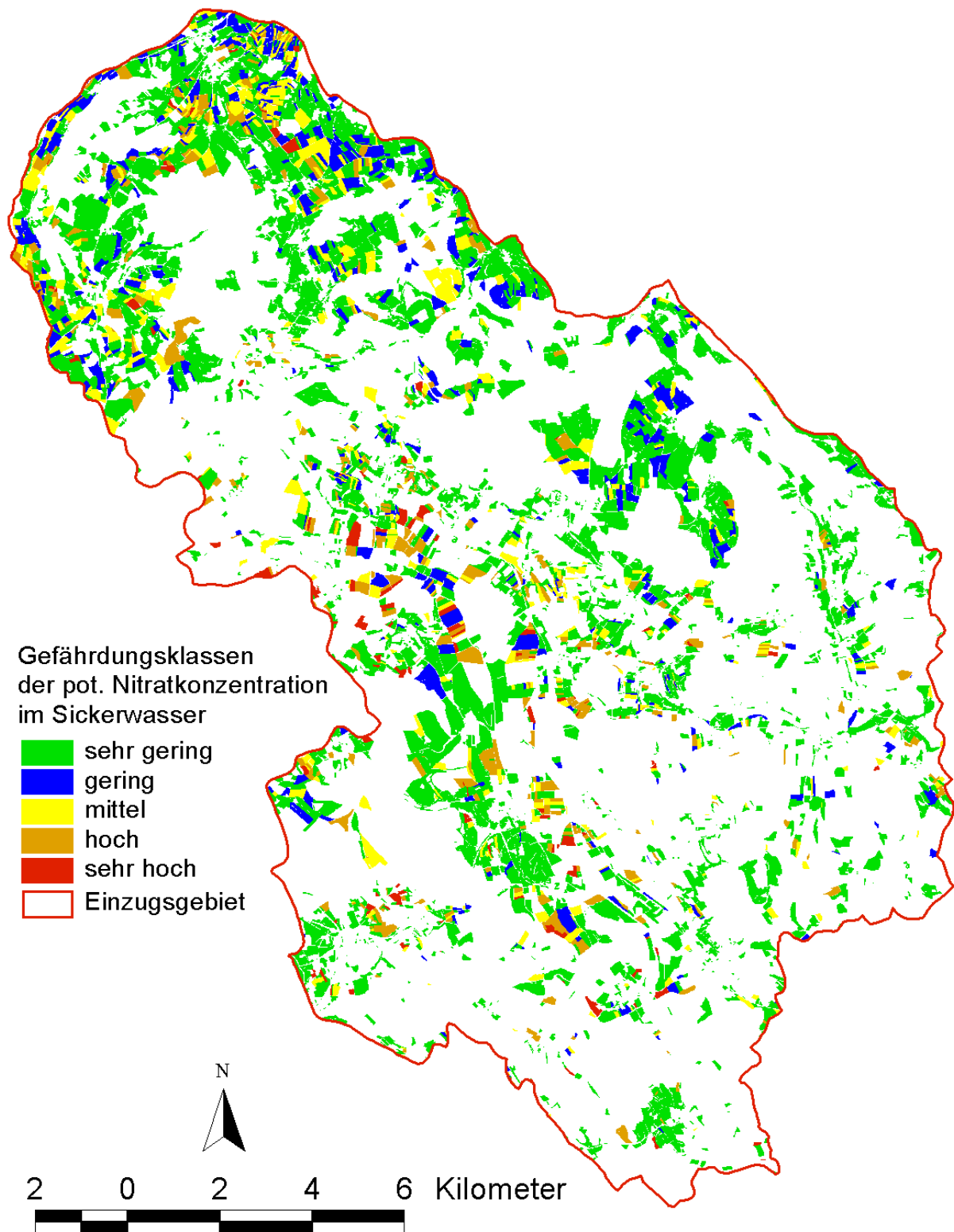


Abbildung 30:

Gefährdungsklassen der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser im Einzugsgebiet der Seefelder Ach

Table 22:

Flächenanteile der Klassen des Gewässergefährdungspotenzials anhand der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

| Gefährdungsklasse | Nitrat im Sickerwasser [mg/l] | Flächenanteil [%] |
|-------------------|-------------------------------|-------------------|
| sehr gering | < 15 | 15 |
| gering | 15 - < 25 | 29 |
| mittel | 25 - < 35 | 27 |
| hoch | 35 - < 50 | 23 |
| sehr hoch | ≥ 50 | 6 |

Die durchschnittliche potenzielle Nitratkonzentration des Sickerwassers im Einzugsgebiet der Seefelder Aach beträgt 29 mg NO₃/l. Als höchster Wert wurden 82 mg NO₃/l ermittelt.

Auf 71 % der Acker- und Grünlandflächen ist das Gewässergefährdungspotenzial anhand der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser als „sehr gering“ bis „mittel“ einzustufen. Aufgrund des relativ hohen standortbedingten Auswaschungsrisikos im Einzugsgebiet der Seefelder Aach kann davon ausgegangen werden, dass diese Flächen angepasst bewirtschaftet werden. Knapp 30 % der Flächen werden den Gefährdungsklassen „hoch“ und „sehr hoch“ zugeordnet. Die Flächen mit hohen potenziellen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser („hot spots“) sind ungleichmäßig über das Einzugsgebiet der Seefelder Aach verteilt. Diese „hot spots“ sind Flächen mit einem hohen Anteil an Kulturarten, die einen hohen N-Bilanzüberschuss (z.B. Mais) und gleichzeitig einen hohen standortbedingten Auswaschungsfaktor aufweisen. Bei diesen Flächen sollte das hohe Auswaschungsrisiko stärker berücksichtigt und die Bewirtschaftung darauf angepasst werden. Diese Flächen stellen somit Schwerpunkte einer gewässerschutzbezogenen, landwirtschaftlichen Beratung dar.

Nitrat im Sickerwasser auf Grundlage einer reduzierten Düngung durch landwirtschaftliche Beratung

Durch eine gewässerschutzbezogene, landwirtschaftliche Beratung konnten die Stickstoffdüngungsüberschüsse für die Hauptkulturarten des Ackerlandes Weizen, Gerste, Mais und Raps reduziert werden (SCHLECKER & KONOLD, 2002). Tabelle 23 zeigt die N-Überschüsse auf Grundlage von schlagbezogenen Düngebilanzierungen nach der Beratung.

In das LISA werden diese N-Bilanzen übernommen, um die positive Wirkung einer standortangepassten Bewirtschaftung auf das Gewässergefährdungspotenzial zu zeigen. Es wird davon ausgegangen, dass durch eine flächendeckende Beratung auf allen Acker- und Grünlandflächen die Stickstoffdüngung reduziert wird.

In Abbildung 30 sind die Gefährdungsklassen der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l] für das Einzugsgebiet der Seefelder Aach nach reduzierter Düngung auf Grundlage einer gewässerschutzbezogenen, landwirtschaftlichen Beratung dargestellt.

Tabelle 23:

Gegenüber dem Ist-Zustand reduzierte N-Überschüsse der Kulturarten im Einzugsgebiet der Seefelder Aach auf Grundlage schlagbezogener Düngebilanzierungen nach einer landwirtschaftlicher Beratung (vgl. Tabelle 13)

| Kulturart: | N-Bilanz |
|------------|----------|
| Weizen | -8 |
| Gerste | 28 |
| Raps | 3 |
| Mais | 33 |

Das Gewässergefährdungspotenzial anhand der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser wurde ebenfalls in Anlehnung an FREDE & DABBERT (1998) bewertet. Tabelle 24 zeigt die Flächenanteile der Klassen des Gewässergefährdungspotenzials anhand der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser nach reduzierter Düngung durch Beratung.

Tabelle 24:

Flächenanteile der Klassen des Gewässergefährdungspotenzials anhand der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser im Vergleich zwischen nicht reduzierter Düngung vor einer Beratung und nach reduzierter Düngung durch eine pilothafte Beratung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach (vgl. Tabelle 22)

| Gefährdungsklasse | Nitrat im Sickerwasser [mg/l] | Flächenanteil [%] | |
|-------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------|
| | | reduziert | nicht reduziert |
| sehr gering | < 15 | 40 | 15 |
| gering | 15 - < 25 | 42 | 29 |
| mittel | 25 - < 35 | 17 | 27 |
| hoch | 35 - < 50 | 1 | 23 |
| sehr hoch | ≥ 50 | 0 | 6 |

Auf 82 % der Acker- und Grünlandflächen kann aufgrund reduzierter Düngung durch eine flächendeckende, gewässerschutzbezogene Beratung der Landwirte das Gewässergefährdungspotenzial anhand der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser als „sehr gering“ bis „gering“ eingestuft werden. Auf 17 % der Flächen kann durch Beratung die Klasse „mittel“ des Gewässergefährdungspotenzials erreicht werden. Nach einer flächendeckenden Beratung kann die durchschnittliche potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser rechnerisch auf 18 mg NO_3/l abgesenkt werden. Als höchste Konzentration wurden 45 mg NO_3/l ermittelt.

Durch die GIS-gestützte Berechnung des Auswaschungsfaktors konnte gezeigt werden, dass 63 % der Acker- und Grünlandflächen im Einzugsgebiet der Seefelder Aach ein hohes, standortbedingtes Nitratauswaschungspotenzial aufweisen. Auf 29 % der untersuchten Flächen, die mit der Gefährdungsklasse „hoch“ bis „sehr hoch“ bewertet wurden, kann davon ausgegangen werden, dass die Düngung nicht standortangepasst durchgeführt wird und hier somit ein vorrangiger Beratungsbedarf besteht.

In Abbildung 32 sind landwirtschaftliche Nutzflächen dargestellt, die bezogen auf Ackerflächen hinsichtlich des Bodenabtrags ($> 6 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$) und bezogen auf Acker- und Grünlandflächen hinsichtlich der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser ($> 35 \text{ mg NO}_3/\text{l}$) ein „hohes“ bis „sehr hohes“ Gewässergefährdungspotenzial besitzen. Diese Flächen besitzen eine Gesamtgröße von 468 ha (= 5 % der betrachteten landwirtschaftlichen Nutzflächen). Um eine gewässerschutzbezogene Beratung von Landwirten effektiv durchzuführen, sollte die Beratung bei diesen „hot spots“ beginnen.

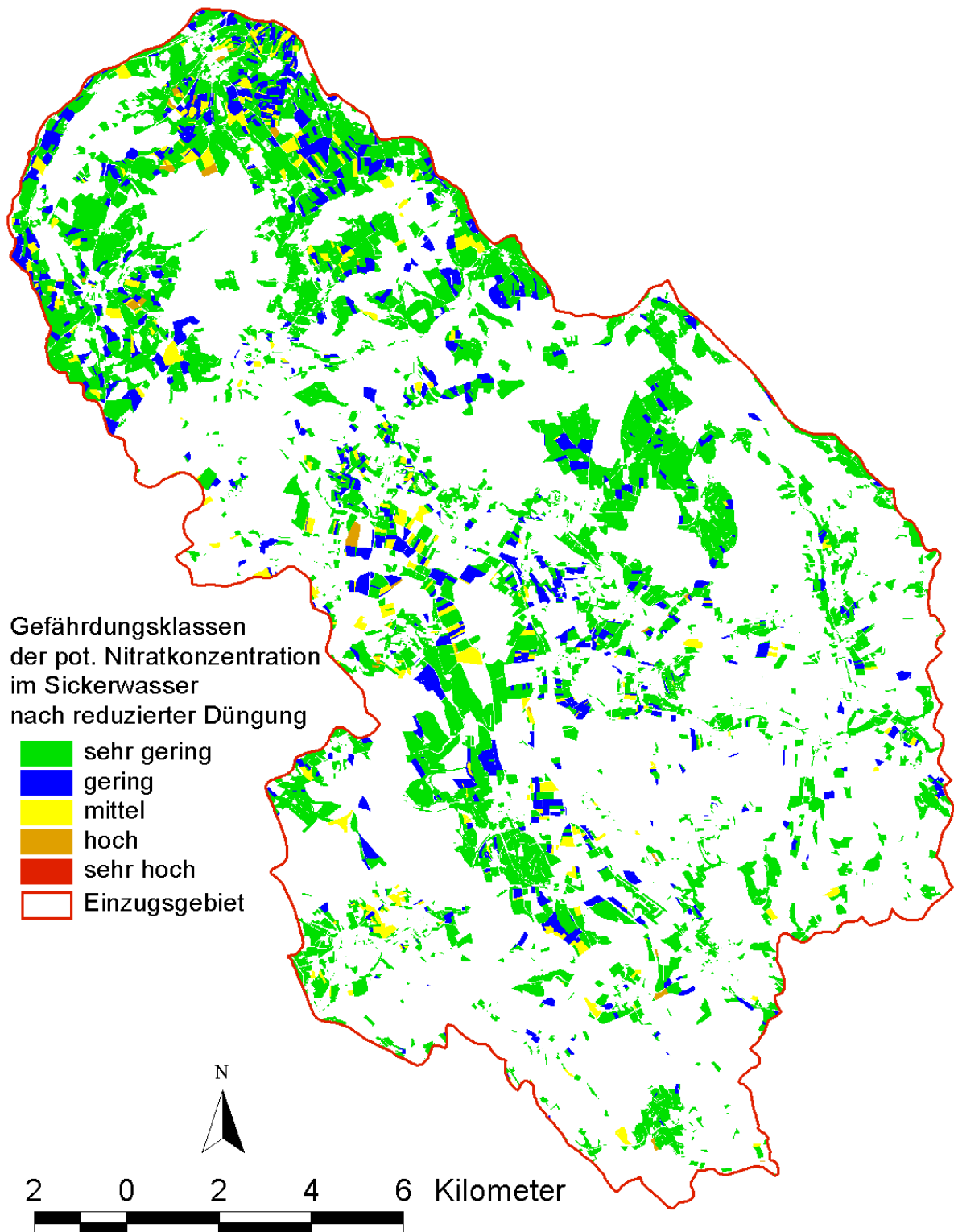


Abbildung 31:

Gefährdungsklassen der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser nach reduzierter Düngung durch Beratung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach

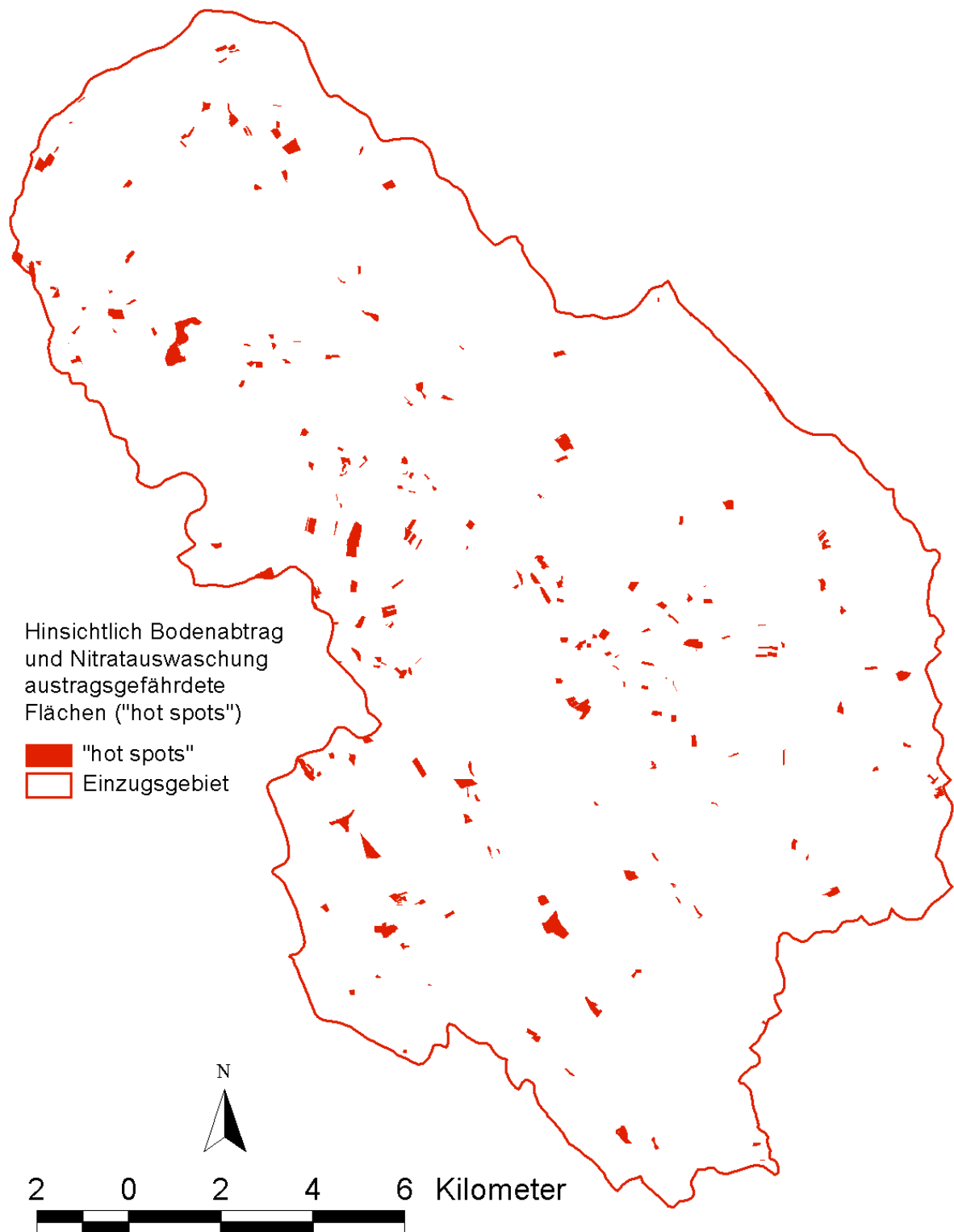


Abbildung 32:

*Landwirtschaftlich genutzte Flächen, die bezüglich Bodenabtrag **und** Nitratauswaschung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach austragsgefährdet sind*

6 Übertragbarkeit und Umsetzung in andere Einzugsgebiete

Das hier beschriebene Landschafts-Informationssystem Seefelder Aach (LISA) besitzt den Charakter eines Werkzeugs, das auch in anderen Gewässereinzugsgebieten innerhalb der landwirtschaftlichen Officialberatung einsetzbar ist. Da über das Landschafts-Informationssystem flächendetaillierte Aussagen gewonnen wurden, kann die gewässerschutzbezogene Beratung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach gezielt bei diesen „hot spots“ ansetzen.

Um das Landschafts-Informationssystem auf andere Einzugsgebiete übertragen zu können, wurden im LISA Schätzverfahren (Allgemeine Bodenabtragsgleichung, potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser) verwendet, die, auf Grundlage allgemein verfügbarer Daten, Aussagen zur Erosions- bzw. Nitratauswaschungsfährdung auf Flurstücksebene liefern. Ein weiterer Vorteil dieser Modelle ist die Abbildung von Standort- und Bewirtschaftungseinflüssen. Das Landschafts-Informationssystem stellt somit ein wichtiges Instrument für die landwirtschaftliche Beratung dar, um standort- und bewirtschaftungsbedingte Einflüsse von Gewässerbelastungen aufzuzeigen. Wegen der Verständlichkeit der eingesetzten Modelle kann das Landschafts-Informationssystem in der landwirtschaftlichen Beratung eingesetzt werden und einen Beitrag zur Sensibilisierung der Landwirte für die Belange des Gewässerschutzes leisten.

Die Klärung der Frage nach der Übertragbarkeit von Landschafts-Informationssystemen muss nach DABBERT ET AL. (1999) auf unterschiedlichen Ebenen vorgenommen werden. Bei der Übertragung von Landschafts-Informationssystemen müssen zunächst bestimmte Grundvoraussetzungen erfüllt sein, die sich auf bestimmte Anforderungen an die Daten und die technische Ausstattung richten. Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Übertragung ist der Abgleich der Problemlage, d.h. inwieweit sind Bodenabtrag und Nitratauswaschung in anderen Gewässereinzugsgebieten von Bedeutung.

Grundvoraussetzungen für die Anwendung des Landschafts-Informationssystems

Datenerfordernisse. Eine grundlegende Voraussetzung für die Anwendung des Landschafts-Informationssystems in anderen Einzugsgebieten besteht in dem Vorhandensein hochauflösender Basisdaten. Als Basisdaten sind hier Daten zur Verbreitung und Eigenschaften der Böden, zur Landnutzung und -bewirtschaftung, zum Klima und ein ausreichend auflösendes Höhenmodell zu nennen.

Für den Bereich Boden liegt die Bodenschätzung landesweit vor und ist über das Amtliche Liegenschaftsbuch (ALB) digital verfügbar. Bestimmte Bodeneigenschaften müssen aus den Beschrieben der Musterstücke unter Berücksichtigung der regionalen Besonderheiten abgeleitet werden und ist mit Unsicherheiten verbunden. Aufgrund der Gebührenpflichtigkeit der ALB-Daten entstehen bei einer landesweit flächendeckenden Umsetzung des Landschafts-Informationssystems hohe Kosten. Da es sich hierbei um eine Umverteilung öffentlicher Gelder handelt, sollte eine Übereinkunft zwischen den betreffenden Behörden über die kostenlose Nutzung der Daten getroffen werden.

Aus den Daten der Niederschlags- und Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes lassen sich die Parameter der verwendeten Modelle ableiten. Die Daten sind digital verfügbar und gebührenpflichtig. Für eine landesweite Umsetzung des Landschafts-Informationssystem gilt in Bezug auf die Kosten der Daten prinzipiell das Gleiche, wie für die Kosten des Amtlichen Liegenschaftsbuches. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Verwendung bereits aggregierter Klimadaten z.B. aus dem Hydrologischen Atlas von Deutschland (BMU, 2001) oder dem Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (UVM & LFU, 2001). Bei der Integration dieser aggregierten Daten in das Landschafts-Informationssystem muss darauf geachtet werden, dass sie hinsichtlich ihrer Auflösung eine hinreichend hohe Genauigkeit aufweisen, um flächendetaillierte Aussagen treffen zu können. Die Nutzungsrechte der aggregierten Daten sind zu beachten.

Ein entscheidender Parameter zur Abschätzung der Erosion nach der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung ist der LS-Faktor. Zur Ableitung von Hanglänge und -neigung auf Flurstücksebene wird ein hochauflösendes Höhenmodell benötigt. Im LISA wurde ein genaues Höhenmodell aus der Deutschen Grundkarte (DGK 1:5000) erstellt und in das GIS integriert. Die arbeitsintensive und kostenaufwändige Digitalisierung ist innerhalb einer landesweiten Übertragung nicht möglich.

Derzeit wird vom Landesvermessungsamt eine neue Generation eines hochauflösenden Höhenmodells für ganz Baden-Württemberg erstellt. Somit wird das Problem der Verfügbarkeit eines genauen Höhenmodells in absehbarer Zeit gelöst sein.

Sowohl für den Bodenabtrag als auch für die Nitratauswaschung sind die Landnutzung und die Art der Bewirtschaftung wichtige Faktoren, die den Bewirtschaftungseinfluss widerspiegeln.

Flurstücksbezogene Daten zur Landnutzung sind im Rahmen des „Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems“ (InVeKos) für nahezu die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche vorhanden und können im Einverständnis mit den Landnutzern zu Beratungszwecken genutzt werden. Die Daten sind digital verfügbar. Die – innerhalb der Officialberatung – eingeschränkte Nutzung der Daten bedeutet, dass die hier vorgestellte Integration der Landnutzungsdaten in das Landschafts-Informationssystem nur innerhalb der Landwirtschaftverwaltung Anwendung finden kann. Ein weiteres Kriterium für die Modellierung austragsgefährdeter Flächen („hot spots“) innerhalb und zur Unterstützung der landwirtschaftlichen Beratung ist, dass regionsspezifische Parameter zur Art der Landbewirtschaftung in die Abschätzung der Gewässergefährdung einfließen, die auf Expertenwissen basieren. Beispielsweise können sich entscheidende Modellparameter, wie die kulturspezifische Verteilung des organischen Düngers, von Region zu Region deutlich unterscheiden – zum einen durch Unterschiede in den angebauten Kulturen, zum anderen in deren Bewirtschaftung.

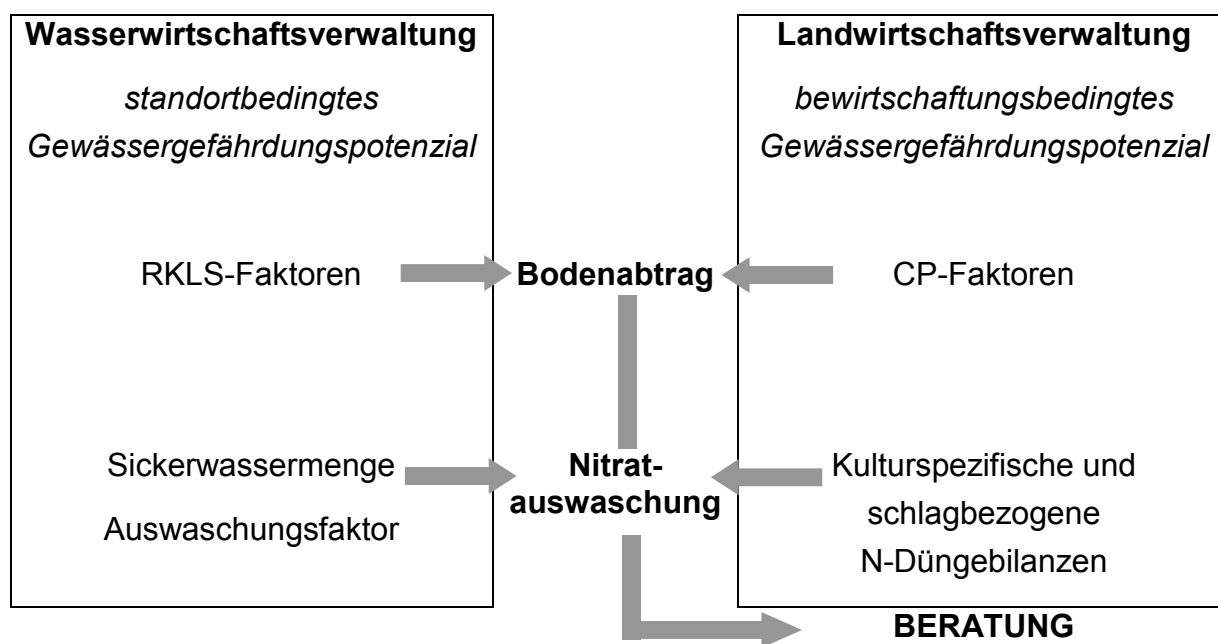
Technische Voraussetzungen. Das LISA wurde in einem ArcView™-Projekt erstellt. Zur Umsetzung eines Landschafts-Informationssystems in anderen Einzugsgebieten werden ArcView™-Lizenzen mit den Erweiterungen „Spatial Analyst“ und „3D-Analyst“ benötigt. Außerdem wird zur Bearbeitung von nichtgraphischen Daten ein Datenbankprogramm (z.B. MS Access™) benötigt. Die Software ist auf einem PC mit dem Betriebssystem WindowsNT™ lauffähig.

Abgleich der Problemlage

In anderen Gewässereinzugsgebieten sollte zunächst überprüft werden, ob die Problemlagen Bodenabtrag und Nitratauswaschung gegeben sind. Erste Anhaltspunkte, die Aufschlüsse über Gewässergefährdungspotenziale geben können, sind im Bereich des Bodenabtrags der Bodenerosionsatlas Baden-Württemberg (GÜNDRA ET AL., 1995) und im Bereich der Nitratauswaschung die Daten des Grundwasser-Überwachungsprogramms der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LFU, 2001). GÜNDRA ET AL. (1995) ermittelten hohe Bodenabträge in den naturräumlichen Haupteinheiten Voralpines Moor- und Hügelland, Schwäbisches Keuper-Lias-Land, Neckar- und Tauber-Gäuplatten, Odenwald und Spessart, Schwarzwald und Hochrheingebiet. Gebiete mit hoher Nitratbelastung befinden sich in Baden-Württemberg im südlichen Oberrhein und im Nordwesten des Landes zwischen Karlsruhe, Heilbronn und Heidelberg (LFU, 2001).

In diesen Gebieten sollten in Anbetracht der Effizienz und der Vorgabe der EU-Wasserrahmenrichtlinie Schwerpunkte gesetzt werden.

Bei der Anwendung des Landschafts-Informationssystems in anderen Gewässereinzugsgebieten erscheint – aus Sicht der Verfasser – folgende Vorgehensweise zur Lokalisation von austragsgefährdeten Flächen sinnvoll. Zunächst sollte von Seiten der Wasserwirtschaftsverwaltung – wie in diesem Leitfaden beschrieben – das standortbedingte Gewässergefährdungspotenzial bezüglich Bodenabtrag und Nitratauswaschung der landwirtschaftlich genutzten Flächen ermittelt werden. Zeitgleich sollten die Faktoren erhoben werden, die den Bewirtschaftungseinfluss der Gewässerbelastungen widerspiegeln. Um die Effektivität dieser Schritte zu steigern, sollten die Aufgaben gezielt und kooperativ innerhalb der Wasserwirtschafts- und Landwirtschaftsverwaltung verteilt werden. Die Teilung der Aufgaben zwischen den Fachverwaltungen wird durch deren Zuständigkeit (z.B. Erhebung von schlagbezogenen Düngebilanzen) und die Verfügbarkeit bestimmter Daten (z.B. flächendetaillierte Landnutzung) bestimmt. Zur Lokalisation der austragsgefährdeten Flächen muss dann ein gegenseitiger Datenaustausch erfolgen. Daraufhin können gezielte Maßnahmen zum Gewässerschutz durch eine landwirtschaftliche Beratung (vgl. SCHLECKER & KONOLD 2002) aufgegriffen und umgesetzt werden, um die diffusen Nährstoffeinträge zu reduzieren (Abbildung 33).

**Abbildung 33:**

Aufgabenteilung bei der Umsetzung von Landschafts-Informationssystemen zur Lokalisation austragsgefährdeter Flächen

Eine Voraussetzung für die Umsetzung in anderen Gebieten ist somit die Verbindung des Landschafts-Informationssystems mit der landwirtschaftlichen Beratung, da das Informationssystem als Instrument der Beratung eingesetzt werden soll und wichtige Daten als Expertenwissen der Beratung in das Landschafts-Informationssystem einfließen.

Abschließend kann festgestellt werden, dass durch das „Landschafts-Informationssystem Seefelder Aach“ (LISA) ein Verfahren entwickelt wurde, um Flächen, die hinsichtlich Bodenabtrag und Nitrat-auswaschung austragsgefährdet sind („hot spots“), lokalisieren zu können. In Verbindung mit der landwirtschaftlichen Beratung, die gezielt auf diesen Flächen ansetzt, kann somit ein wichtiger Beitrag geleistet werden, um die diffusen Nährstoffeinträge in die Gewässer zu reduzieren. Aufgrund der Vorgaben und Ziele der EU-Wasserrahmenrichtlinie und dem sich daraus ergebenden Handlungsbedarf erscheint es sinnvoll, die hier vorgestellte Vorgehensweise auf andere Einzugsgebiete zu übertragen.

7 Literatur

AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Auflage. E.

Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

AG BODENNUTZUNG IN WASSERSCHUTZGEBIETEN (1992): Strategie zur Reduzierung

standort- und nutzungsbedingter Belastungen des Grundwassers mit Nitrat. –

Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, Arbeitsgemeinschaft Bodennutzung in

Wasserschutz- und -schongebieten. Oldenburg.

BACH, M. & H.-G. FREDE (1996): Gewässerbelastungen durch landwirtschaftliche

Flächennutzung im Einzugsgebiet der Lahn (Hessen). Z. f. Kulturtechnik und

Landentwicklung, 37. 233-237

BEHRENDT, H., HUBER, P., OPITZ, D., SCHMOLL, O., SCHOLZ, G. & UEBE, R. (1999):

Nährstoffbilanzierung in den Flussgebieten Deutschlands. Umweltforschungsplan
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Forschungsbericht 29625515, UBA-FB 99-087, Umweltbundesamt. Berlin.

BMU & UBA (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND

REAKTORSICHERHEIT & UMWELTBUNDESAMT) (2001): Der Wassersektor in

Deutschland. Methoden und Erfahrungen.

BMU (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT)

(HRSG.) (2001): Hydrologischer Atlas von Deutschland, erweiterte Ausgabe.

Freiburg

BORCHARDT, D. (1999): Modellprojekt Gewässerbewirtschaftung im Einzugsgebiet

der Seefelder Aach. Arbeitsbericht. 45 S.

BOUWER, W. (1996): Wasser- und Stickstoffumsatz im Boden und

Grundwasserbereich eines Wassereinzugsgebietes in Niedersachsen. – Boden und

Landschaft, Schriftenreihe zur Bodenkunde, Landeskultur und Landschaftsökologie,

Band 6.

DABBERT, S., S. HERRMANN, G. KAULE & M. SOMMER (1999):

Landschaftsmodellierung für die Umweltplanung. Methodik, Anwendung und

Übertragbarkeit am Beispiel von Agrarlandschaften. Springer, Berlin, Heidelberg.

246 S.

- DVWK (1996):** Wasserwirtschaftliche Forderungen an die Landnutzungsplanung zur Verminderung des Nitrataustrags insbesondere in Wasserschutzgebieten. – Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK). Heft 111, Bonn
- EU-WASSERRAHMENRICHTLINIE (2000):** Geänderter Vorschlag für eine Richtlinie des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. 88 S.
- FEIERABEND, R.(1997):** " Bodensee- Deggenhauser-, Salemer- und Seefelder Aach"- Chem. und biol. Labor Dr. Feierabend, Gällerstr.19, 88662 Überlingen
- FELDWISCH, N. (1995):** Hangneigung und Bodenerosion. Boden und Landschaft. – Schriftenreihe zur Bodenkunde, Landeskultur und Landschaftsökologie. Band 3, Gießen.
- FREDE, H.-G. & S. DABBERT (HRSG.) (1998):** Handbuch zum Gewässerschutz. ecomed, Landsberg. 451 S.
- GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN WÜRTTEMBERG (1995):** Bodenübersichtskarte von Baden-Württemberg 1:200000 Baden-Württembergischer Teil der Blätter CC 7926 Augsburg (Teil Alpenvorland) CC 8718 Konstanz CC 8726 Kempten (Allgäu) Karte und Tabellarische Erläuterung, Freiburg i. Br., 59 S.
- GEYER, O. & GWINNER, M. (1991):** Geologie von Baden-Württemberg. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 482 S.
- LANG, R. (1997):** Modellierung von Erosion und Nitrataustrag in Agrarlandschaften. FAM-Bericht, 19. Shaker Verlag, Aachen. 177 S.
- LAP (LANDESANSTALT FÜR PFLANZENBAU) (2002):** Beregnung und Bewässerung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen. Merkblätter für die umweltgerechte Landbewirtschaftung, Forchheim. 12 S.
- LEHMANN, M. (2002):** Belastung der Fließgewässer durch Nährstoffe und Pflanzenschutzmittel. Vortrag im Rahmen des 36. Weiterbildungslehrgangs des Ministeriums für Umwelt und Verkehr „Wasserbau und Hochwasserschutz, Gewässerökologie“ im Kloster Reute am 07./08.05.2002
- LEL, (LANDESANSTALT FÜR ENTWICKLUNG DER LANDWIRTSCHAFT UND DER LÄNDLICHEN RÄUME) (HRSG.) (1994):** Dienstbezirke in Wort und Zahl: Amt für Landwirtschaft, Landschafts- und Bodenkultur Überlingen. Heft 48/94. 25 S.

LFU (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG) (HRSG.) (2001):

Grundwasserüberwachungsprogramm - Ergebnisse der Beprobung. 1. Aufl.
Karlsruhe. 103 S.

PRASUHN, V., E. SPIESS & M. BRAUN (1996): Methoden zur Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den Bodensee. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB), Bericht 45. 113 S. + Anhang

RENGER, M., G. WESSOLEK, F. KÖNIG, C. SWARTJES, B. FAHRENHORST & B.

KASCHANIAN (1990): Modelle zur Ermittlung und Bewertung von Wasserhaushalt, Stoffdynamik und Schadstoffbelastbarkeit in Abhängigkeit von Klima, Bodeneigenschaften und Nutzung. – Endbericht zum BMFT-Projekt 03 74 34 3, Bonn.

RODE, M., S. GRUNWALD & H.-G. FREDE (1996): Methodik zur GIS-gestützten Berechnung von Nährstoffeinträgen in Fließgewässer durch Oberflächenabfluss mit dem Modell AGNPS. Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung, 36. 63-68

SAUER, S. (1999): Erstellung eines regionalen Übersetzungsschlüssels zur Ableitung von Bodenkennwerten aus Bodenschätzungsdaten. Mitt. Dtsch. Bdkl. Ges. 88, 285-288

SAUERBORN, P. (1994): Die Erosivität der Niederschläge in Deutschland – Ein Beitrag zur quantitativen Prognose der Bodenerosion durch Wasser in Mitteleuropa. – Bonner Bodenkundliche Abhandlungen, Band 13.

SCHLECKER, E. & W. KONOLD (2002): Leitfaden zur Beratung landwirtschaftlicher Betriebe mit dem Ziel, Nährstoffeinträge in Gewässer zu vermindern, auf der Grundlage der guten fachlichen Praxis am Beispiel des Einzugsgebietes der Seefelder Aach. Abschlußbericht. Download unter <http://www.seefelder-aach.de>

SCHWERTMANN, U. W. VOGL & M. KAINZ (1990): Bodenerosion durch Wasser – Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

STALA (STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG), (1996): Die Land- und Forstwirtschaft 1995. Statistik von Baden-Württemberg, Band 511. Metzler-Poeschel, Stuttgart.

- UVM & LFU (MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG & LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG) (2001):** Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg, 1. Auflage. Karlsruhe
- UVM (UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG) (HRSG.) (1995):** Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit. Luft Boden Abfall, Heft 31.
- WAGNER, G. & A. KOCH (1961):** Raumbilder zur Erd- und Landschaftsgeschichte Südwestdeutschlands. Verlag Repro-Druck, Schmiden. 33 S. + Abbildungen
- WENDLAND, F., (1992):** Nitrat im Grundwasser der "alten Bundesländer". Berichte aus der Ökologischen Forschung, Band 8. Forschungszentrum Jülich. 150 S.
- WENDLAND, F., H. ALBERT, M. BACH & R. SCHMIDT (1993):** Atlas zum Nitratstrom in der Bundesrepublik Deutschland. – Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- WISCHMEIER, W. & D. SMITH (1978):** Predicting Rainfall Erosion Losses – Guide for Conservation Planning. – US Dep. Agr., Agr. Handbook No. 537, Washington.