

Paris Lodron-Universität Salzburg

UNIGIS-Jahrgang 2001

**Universitätslehrgang:
Geographical Information Science & Systems (UNIGIS MSc)**

Master Thesis

GIS-gestützte Nährstoffmodellierung im
Einzugsgebiet des Tenglinger Baches

Vergleich der Auswirkung unterschiedlicher Eingabeparameter
auf das Ergebnis der Nährstoffmodellierung

Verfasser: Arno Röder

Freising, April 2003

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Master Thesis selbständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Freising, April 2003

Vorwort

Das Thema der vorliegenden Master Thesis kam durch die Anregung von Herrn Dipl.-Ing. (FH) Florian Hoffmann zustande. Seine Unterstützung bei der Datenakquisition und seinen Erfahrungen bei der Modellierung von Nährstofffrachten waren eine große Hilfestellung für mich. Hierfür möchte ich mich ausdrücklich bedanken.

Allen Mitarbeitern der Limnologischen Station der Technischen Universität München ebenfalls herzlichen Dank für die freundschaftliche Aufnahme in Iffeldorf.

Im Verlauf der Ausarbeitung dieser Thesis übernahm die Firma Hydrotec die Software MOBINEG von der Firma F&N Umweltconsult. Sämtliche Zitate verweisen jedoch auf das von der Firma F&N Umweltconsult erstellte Handbuch für die MOBINEG-Version 2001.

Ausschlaggebend für die Beurteilung der Gewässereutrophierung ist der Phosphateintrag. Bei der Visualisierung der Modellergebnisse wurde sich deshalb auf die Darstellung des P-Gesamtaustrags beschränkt (siehe Anhang 2).

Inhaltsverzeichnis

Erklärung

Vorwort

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Untersuchungsgebiet Tenglinger Bach	3
2.1	Limnologische Eigenschaften des Doppelsees	3
2.2	Klimatische Verhältnisse	4
2.3	Geologische und bodenkundliche Verhältnisse	5
2.4	Potentiell natürliche Vegetation	6
3	Material und Methoden	7
3.1	Modellansätze	7
3.1.1	Modellbegriff	7
3.1.2	Kategorisierung von Modellen	8
3.1.3	Hydrologische Modelle	9
3.2	Modell MOBINEG	11
3.2.1	Wasserbilanz	11
3.2.2	Nährstoffbilanz	14
3.3	Softwaretechnische Umsetzung	18
3.3.1	Datenbank-Tabellen	19
3.3.2	Eingangsdaten zur Berechnung der Nährstofffrachten	25
3.4	Räumliche Eingangsdaten	28
3.4.1	Einzugsgebiet	28
3.4.2	Gemeinde	29
3.4.3	Landnutzungskartierungen	30
3.4.3.1	<i>Kartierung 1993</i>	30
3.4.3.2	<i>Kartierung 2001</i>	32

3.4.4	Reichsbodenschätzung	33
3.4.4.1	<i>Berechnung der Bodenerosion</i>	36
3.4.4.1.1	Regen- und Oberflächenabflußfaktor R	36
3.4.4.1.2	Bodenerodierbarkeitsfaktor K	37
3.4.4.1.3	Hangneigungsfaktor S.....	39
3.4.4.1.4	Hanglängenfaktor L.....	40
3.4.4.1.5	Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor C	41
3.4.4.1.6	Erosionsschutzfaktor P_{ABAG}	41
3.4.4.1.7	Gesamtrechnung der ABAG	42
3.4.4.2	<i>Ermittlung der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum</i>	45
3.4.5	Digitale Geländemodelle.....	47
3.4.5.1	<i>DGM 1:25.000</i>	47
3.4.5.2	<i>DGM 1:5.000</i>	47
3.4.6	Klimadaten	47
3.4.7	Grundwasserneubildung	48
3.4.8	Kläranlagen.....	48
3.4.9	Import der räumlichen Daten nach MOBINEG	48
4	Ergebnisse	51
4.1	Gemeinde und Einzugsgebiet	51
4.2	Landnutzungskartierungen.....	51
4.2.1	Landnutzungskartierung 1993	51
4.2.2	Landnutzungskartierung 2001	52
4.2.3	Veränderungen der Landnutzung.....	53
4.3	Berechnung der Hangneigung	54
4.4	Berechnung der Bodenerosion.....	56
4.5	Berechnung des Nährstoffaustrags	60
4.6	Vergleich mit Pegelmessungen.....	63
5	Diskussion	64
6	Zusammenfassung	69
7	Literatur	71
Anhang		

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Morphometrische Daten des Waginger und Tachinger Sees (KOLLER 1994)	4
Tabelle 2: Geologische Schichten im Teileinzugsgebiet Tenglinger Bach (GLA 1996)	5
Tabelle 3: Ober- und unterirdischer Abfluss in Abhängigkeit von der Flächennutzung (F&N UMWELTCONSULT 2001)	13
Tabelle 4: nFKWe-Klasseneinteilung in MOBINEG (F&N UMWELTCONSULT 2001).....	16
Tabelle 5: Rückhalt und Abbau von Nährstoffen während der Versickerung (F&N UMWELTCONSULT 2001)	17
Tabelle 6: Zusammenfassung für Landsat-Daten (F&N UMWELTCONSULT 2001).....	20
Tabelle 7: Spezifische N- und P-Frachten im Siedlungsbereich (F&N UMWELTCONSULT 2001)	22
Tabelle 8: Ermittelte Großvieheinheiten für die Gemeinden.....	26
Tabelle 9: Flächen (ha) der einzelnen Kulturarten in den Gemeinden im Jahr 1999	26
Tabelle 10: Flächen (ha) der einzelnen Kulturarten in den Gemeinden im Jahr 2001	27
Tabelle 11: Flächengröße der unterschiedlichen Einzugsgebiete.....	29
Tabelle 12: Zusammenfassung der Nutzungskartierung 1993 in MOBINEG	32
Tabelle 13: Zusammenfassung der Nutzungskartierung 2001 in MOBINEG	33
Tabelle 14: Bodenarten der Reichsbodenschätzung (ZIEGLER 1977)	34
Tabelle 15: Karten der Bodenschätzung (ZIEGLER 1977)	35
Tabelle 16: Zuordnung von K-Faktorwerten zu den Klassenbeschrieben der Reichsbodenschätzung (SCHWERTMANN et al. 1987)	38
Tabelle 17: Einteilung der Hangneigungen zu S-Faktoren (AUERSWALD, SCHMIDT 1986)	40
Tabelle 18: Hanglängenexponent in Abhängigkeit zur Hangneigungsklasse (SCHWERTMANN et al. 1987)	41
Tabelle 19: C-Faktoren für Landnutzungs-formen (AUERSWALD, SCHMIDT 1986)	41
Tabelle 20: Klasseneinteilung des Bodenabtrags und zugeordnete, erodierte Nährstoffmenge	42
Tabelle 21: Ermittelte nFKWe für die verschiedenen Bodenarten und Klasseneinteilung in MOBINEG	46
Tabelle 22: 30ig jähriges Mittel der Niederschläge	48
Tabelle 23: Absoluter und prozentualer Flächenanteil der Gemeinden an den Einzugsgebieten	51
Tabelle 24: Absolute und prozentuale Anteile der Landnutzungskartierung 1993	52
Tabelle 25: Absolute und prozentuale Anteile der Landnutzungskartierung 2001	53
Tabelle 26: Veränderungen der Landnutzung	54
Tabelle 27: Änderungen der Landnutzungskartierung in Abhängigkeit der Hangneigung.....	56
Tabelle 28: Flächenanteile einer Erosionsklasse am Einzugsgebiet.....	56
Tabelle 29: Absoluter und prozentualer Anteil einer Erosionsklasse an der Gesamterosion im Einzugsgebiet	57
Tabelle 30: Durchschnittlicher Bodenabtrag für die berechneten Bodenerosionen	57
Tabelle 31: Polygonanzahl und durchschnittliche Flächen-größe der finalen Shapes	61
Tabelle 32: Ergebnisse der MOBINEG-Modellierung.....	62
Tabelle 33: Durchschnittliche Nährstofffrachten pro Hektar	62
Tabelle 34: Gemessene Pegelwerte des Tenglinger Baches im Jahr 2001 (WASSERWIRTSCHAFTSAMT TRAUNSTEIN, unveröffentlicht)	63
Tabelle 35: Gegenüberstellung von gemessenen und berechneten P-Frachten	63

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebietes	3
Abbildung 2: Übersicht der hydrologischen Modellkategorien nach CHOW et al. (1988, abgebildet in MAIDMENT 1993)	10
Abbildung 3: Graphische Darstellung der Systemanalyse zur Bilanzierung des Nährstoffeintrages (F&N UMWELTCONSULT 2001)	14
Abbildung 4: Vereinfachte Struktur der Datenbank (F&N UMWELTCONSULT 2001)	19
Abbildung 5: Diagramm der Bodenarten (ARBEITSGRUPPE BODEN 1994)	45
Abbildung 6: Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität und Feldkapazität in Abhängigkeit der Bodenarten (ARBEITSGRUPPE BODEN 1994)	46
Abbildung 7: Prozentuale Flächenanteile der einzelnen Nutzungskategorien	52
Abbildung 8: Prozentuale Flächenanteile der einzelnen Nutzungskategorien	53
Abbildung 9: Flächenanteile der Hangneigungsklassen der beiden DGM	55
Abbildung 10: Graphische Darstellung des prozentualen Flächenanteils einer Erosionsklasse an der Gesamterosion	58
Abbildung 11: Anzahl der Polygone in Abhängigkeit der verwendeten Datengrundlage	59
Abbildung 12: Verhältnis zwischen prozentualem Anteil einer Erosionsklasse an der Polygonanzahl und dem repräsentiertem Flächenanteil	59

Abkürzungsverzeichnis

ü. NN	über Normalnull
MOBINEG	Modell zur Bilanzierung von Nährstoffeinträgen in Gewässer
ABAG	Allgemeine Bodenabtragsgleichung
nFK	nutzbare Feldkapazität
nFKWe	nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum
A _{ges}	Gesamtabfluss im Oberflächengewässer
N _s	Niederschlag
ET	Evapotranspiration
ΔS	Speicheränderung
A _{GWN}	Grundwasserneubildung
A _{ober}	Oberflächenabfluss
A _{KA}	Kläranlagenablauf
E _{GW}	Grundwasserentnahmen
A _{ZW}	Zwischenabfluss
A _{GW}	Grundwasserabfluss
A _{Drän}	Dränrohre-Abfluss
JN	Jahresniederschlag
GWN	Grundwasserneubildung
A	mittlere Bodenabtrag in t/ha * a
R	Charakteristik des Niederschlags
K	Bodeneigenschaften
L	Hanglänge
S	Hangneigung
C	Bodenbedeckung und Bearbeitung (Landnutzung)
P _{ABAG}	Art und Umfang der Erosionsschutzmaßnahmen
N _s	Sommerniederschlag (Mai – Oktober)
MQ	mittlerer Abfluss [m ³ /s]
A _{RBBS}	Ackerland (Reichsbodenschätzung)

Abkürzungsverzeichnis

G	Gartenland (Reichsbodenschätzung)
Gr	Grünland (Reichsbodenschätzung)
D	Diluvialböden
Lö	Lößböden
Al	Alluvialböden
V	Verwitterungsböden
S	Sand (Reichsbodenschätzung)
Sl	Anlehmiger Sand
IS	Lehmiger Sand
SL	Stark lehmiger Sand
sL	Sandiger Lehm
L	(milder) Lehm
LT	Schwerer Lehm
T	Ton
Mo	Moor
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
N	Stickstoff
P	Phosphor
Re	Einzelniederschlag
E _e	kinetische Energie [kJ/m ²]
I ₃₀	maximale 30-Minuten-Intensität
I _i	Intensität des Niederschlagsabschnitts i
N _i	Niederschlagsmenge des Abschnitts i

1 Einleitung

Die Anreicherung von Nährstoffen in Böden und Gewässern ist in erster Linie auf den Einsatz von Düngemitteln und die Einleitung von Abwässern zurückzuführen. Die Eutrophierung mit Phosphor (P) und Stickstoff (N) zieht in Gewässern ein verstärktes Algenwachstum, Beeinträchtigung des Sauerstoffhaushaltes und eine Verschiebung des natürlichen Artenspektrums mit sich. Aus diesem Grund wurde auf der zweiten Nordseeschutzkonferenz 1987 in London eine 50 prozentige Reduktion der Nährstoffeinträge 1995 gegenüber 1985 von den beteiligten Staaten vereinbart. Die Phosphor-Emissionen in Oberflächengewässern konnten in diesem Zeitraum von den meisten Staaten tatsächlich halbiert werden, was auf die Herstellung und Verwendung phosphatfreier Waschmittel sowie den Einsatz von Fällungsverfahren in Kläranlagen zurückzuführen ist. Die Reduktion der Stickstoff-Emissionen um 50 % wurde allerdings von allen Staaten verfehlt. Bei beiden Nährelementen konnte der Eintrag über Punktquellen drastisch reduziert werden. So verringerte sich der Phosphor-Eintrag über Punktquellen innerhalb zehn Jahre um 80 % und der Stickstoff-Eintrag um 45 % (UMWELTBUNDESAMT 2001). Die diffusen, d. h. flächenhaften Quellen stellen gegenwärtig somit den Hauptanteil der Nährstoffeinträge.

Mit der am 22.12.2000 in Kraft getretene Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) verfolgt die Europäische Union die Ziele, die aquatischen Ökosysteme zu schützen bzw. deren Zustand zu verbessern, eine nachhaltige Wassernutzung zu fördern sowie die Grundwasserverschmutzung zu reduzieren (EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT DER EUROPÄISCHEN UNION 2000). Wesentliche Werkzeuge für die Umsetzung dieser Ziele ist eine Bestandsaufnahme aller Flussgebietseinheiten (Art. 5) sowie die Aufstellung von Bewirtschaftungsplänen (Art. 13) und Maßnahmenprogrammen (Art. 11). Für die Bewirtschaftungspläne sind dabei Einschätzungen für die Verschmutzung von Oberflächengewässern und Grundwasser durch Punkt-

quellen und diffusen Quellen vorzunehmen. Um mögliche Maßnahmen zur Verringerung von Stoffeinträgen hinsichtlich ihrer Auswirkungen einschätzen zu können, müssen die Emissionen und ihre Eintragspfade quantifiziert werden.

In der vorliegenden Thesis soll anhand des Modell MOBINEG der Firma Hydrotec eine Berechnungsstrategie zur Stoffeintragsbilanzierung in die Schutzgüter Oberflächengewässer und Grundwasser vorgestellt werden. Des weiteren soll die Nährstofffracht des Teileinzugsgebiet Tenglinger Bach am Waginger-Tachinger See berechnet werden. Dabei soll die Auswirkung des Einsatzes unterschiedlicher Datengrundlagen auf das Modellierungsergebnis untersucht werden. Diese unterschiedlichen Datengrundlagen sind ein Höhenmodell im Maßstab 1:25.000 und 1:5000, sowie Nutzungskartierungen aus den Jahren 1993 und 2001.

Hierfür wird in Kapitel 2 zunächst das Untersuchungsgebiet beschrieben. Nach einer kurzen theoretischen Einführung zu Modellansätzen werden die Berechnungsmethoden von MOBINEG erläutert. Anschließend werden die verwendeten Eingabeparameter und -daten aufgeführt. In Kapitel 4 werden die Ergebnisse der verschiedenen Berechnungen vorgestellt. Die Ergebnisse sowie die methodischen Ansätze werden in Kapitel 5 kritisch gewürdigt.

2 Untersuchungsgebiet Tenglinger Bach

Das Teileinzugsgebiet Tenglinger Bach liegt nordwestlich des Doppelsees Waginger-Tachinger See im östlichen Chiemgau, dem sogenannten Rupertiwinkel, zwischen Traunreut und Laufen. Es gehört naturräumlich zum Salzach-Hügelland als Teil des Voralpinen Hügel- und Moorlandes. Der Doppelsee liegt auf einer Höhe von 442,15 m ü. NN gemessen an dem mittleren Wasserspiegel.

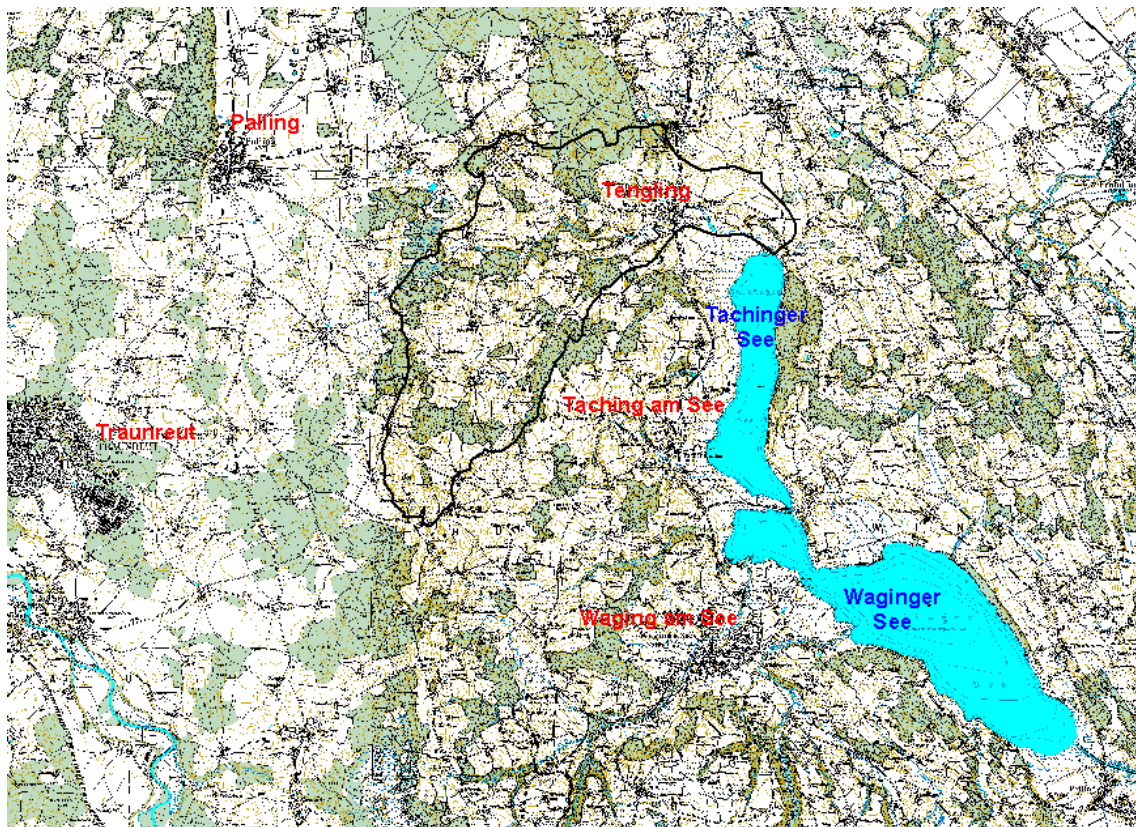


Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebietes

2.1 *Limnologische Eigenschaften des Doppelsees*

Morphologisch und limnologisch betrachtet besteht er aus zwei Einzelseen, die durch eine fünf Meter tiefe Einschnürung miteinander verbunden sind. Der Tachinger See besitzt eine Maximaltiefe von 16,5 m und der Waginger See von 27 m. KOLLER (1994) bezeichnet den Waginger-Tachinger See hinsichtlich des Nährstoffgehaltes als „natürlich eutroph“.

Merkmal	Maß	Waginger See	Tachinger See	Insgesamt
Einzugsgebiet	km ²	123,66	31,76	123,66
erweitertes E.	km ²	163,66	71,76	163,66
Oberfläche	km ²	6,61	2,36	8,97
Umfang	km	15,95	9,25	25,2
Länge	km	6,10	4,1	10,2
mittl. Breite	km	1,08	0,586	0,88
Volumen	* 10 ⁶ m ³	90,4	21,6	112,0
mittl. Tiefe	m	13,68	9,15	12,49
größte Tiefe	m	27,0	16,5	27,0
theor. Wassererneuerungszeit	a	1,0	1,8	

Tabelle 1: Morphometrische Daten des Waginger und Tachinger Sees (KOLLER 1994)

Das gesamte Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees lässt sich in weitere Teileinzugsgebiete untergliedern, welche sich im wesentlichen auf die Zuflüsse beziehen. Der Tachinger See besitzt mit dem Tenglinger Bach, Tachinger Mühlbach und Gröbener Bach drei Zuflüsse, welche jährlich insgesamt 12 Mio. m³ Wasser in den See einspeisen. Für den Waginger See sind dies Schinder-, Höllen-, Lauben-, Zinten-, und Ötzbach sowie der Wiener Graben. Diese sechs Zuflüsse weisen einen jährlichen Jahreszufluss von 46,8 Mio. m³ Wasser auf. Der Doppelsee entwässert schließlich Richtung Südosten in die Götzinger Ache, welche bei Tittmoning in die Salzach mündet. Das eigentliche Untersuchungsgebiet dieser Arbeit ist das Teileinzugsgebiet des Tenglinger Baches nordwestlich des Tachinger Sees.

2.2 *Klimatische Verhältnisse*

Charakteristisch für das kontinentale Klima im Alpenvorland sind kalte Winter und warme Sommer mit einer Jahresschwankung von 19 bis 20 °C sowie höhere Sommer- als Winterniederschläge. Die Niederschlagssumme im 30 jährigen Mittel beträgt 1195 mm, wobei ca. 60 % auf den Sommerniederschlag entfallen. Vom Jahresniederschlag verdunsten über der Landoberfläche ca. 550 und über der Wasserfläche des Sees ca. 800-850 mm pro Jahr. Große Niederschlagssummen mit 25 mm pro Tag ereignen sich durchschnittlich siebenmal im Jahr und etwa alle zwei Jahre kommt es zu Niederschlagsereignissen größer 50 mm an einem Tag. Diese Werte stammen von der Wetterstation Traunstein und lassen sich nach

zweijährigen Vergleichsmessungen in Waging am See auf das Untersuchungsgebiet übertragen. Das Jahresmittel der Lufttemperatur in Waging am See beträgt ca. 7,2 °C (NÄHER et al. 1974).

2.3 *Geologische und bodenkundliche Verhältnisse*

Die Geologie des Einzugsgebietes ist gekennzeichnet durch quartäre Sedimente aus der Würmeiszeit und dem Postglazial, welche die tertiären Schichten der ungefalteten Molasse überlagern. Die geomorphologische Entstehung der Seen im Alpenvorland ist auf die erodierenden Bewegungen der Gletscher während des Quartärs zurückzuführen. So floss das Schmelzwasser bei Rückzugbewegungen der Gletscher in die zuvor ausgeformten Furchen. Verantwortlich für die Bildung des Waginger-Tachinger See war der Salzach-Saalach-Vorlandgletscher. Tabelle 2 zeigt die im Teileinzugsgebiet Tenglinger Bach vorkommenden geologischen Schichten mit ihren Bodenmerkmalen sowie den erdgeschichtlichen Altersabschnitt der Entstehung.

Name	Alter	Merkmal
Jungmoräne (würmzeitlich) mit Endmoränenzügen, z. T. mit Vorstoßschotter	Quartär (Pleistozän)	Kies, sandig bis tonig-schluffig
Torf	Quartär (Holozän)	
Ablagerungen im Auenbereich, meist jungholozän, und polygenetische Talfüllung, z. T. würmzeitlich	Quartär (Holozän)	Mergel, Lehm, Sand, Kies, z. T. Torf
Schotter, würmzeitlich (Niederterrasse, Spätglazialterasse)	Quartär (Pleistozän)	Kies, sandig

Tabelle 2: Geologische Schichten im Teileinzugsgebiet Tenglinger Bach (GLA 1996)

Der vorherrschende Bodentyp, der aus den quartären Sedimenten entsteht, ist die Parabraunerde. Die Horizontmächtigkeit ist dabei abhängig von dem geologischen Ausgangsmaterial. Über Schotter ist die Mächtigkeit der Bodenentwicklung meist geringer als über Jungmoränenmaterial. Die Böden können eine Körnigkeit von kiesig-sandig bis schluffig-tonig aufweisen. An schluffreicheren Stellen tritt zeitweise Nässe auf, was eine Pseudovergleyung zur Folge hat. Der hohe Grundwasserstand in Bachtälern führt zur Bildung von Gleyen, Anmoor- und Moorgleyen. Auf flachen Wasserscheiden und auf Endmoränenflächen sind Hochmoore entstanden.

Dies beruht vor allem auf den hohen Niederschlagszahlen im Untersuchungsgebiet.

2.4 *Potentiell natürliche Vegetation*

Das Untersuchungsgebiet liegt gemäß der forstlichen Wuchsbezirksgliederung Bayerns in dem Wuchsbezirk der östlichen kalkalpinen Jungmoräne (LWF 2001). Die natürliche Vegetationsform ohne menschliche Einflussnahme wäre der Bergmischwald der submontanen bis tiefsubalpinen Stufe, der sich aus Buche, Tanne, Fichte und in geringen Anteilen aus sonstigen Laubbäumen wie etwa Berg-Ahorn und Esche zusammensetzt. Die durch den Menschen verursachte intensive Landnutzung hat den Anteil der Waldfläche stark zurückgedrängt. Außerdem wurde durch die forstliche Bewirtschaftung die Baumartenzusammensetzung der Wälder zugunsten der Fichte verändert.

3 Material und Methoden

3.1 *Modellansätze*

3.1.1 Modellbegriff

Unter einem Modell versteht man jegliche Formen der Abbildung eines Ausschnittes der realen Welt. Am Beginn einer Modellbildung steht die Systemanalyse, bei der die beteiligten Elemente und Wirkungsbeziehungen der real existierenden Phänomene aufbereitet werden. Dieser Abstraktionsprozess kann in mehrere Arbeitsschritte unterteilt werden. Zunächst sind die Systembestandteile zu identifizieren und von der „Außenwelt“ zu trennen. Damit verbunden ist die Entscheidung über das sachliche Differenzierungsniveau, den „Maßstab“, des Systems. Man unterscheidet dabei die Begriffe „microscale“, d.h. die Elemente werden auf Individualniveau ausgewiesen, und „macroscale“, d. h. die Identifikation der Elemente als Aggregate von Individuen. Ein Modell kann sich auch aus mehreren Differenzierungsniveaus zusammensetzen. Im nächsten Schritt erfolgt die Festlegung der Beziehungen zwischen den Elementen sowie deren qualitative und quantitative Analyse. So können Relationen uni- oder bidirektional sein und kontinuierliche bzw. unbeständige Wirkungen aufweisen. Des weiteren ist zu prüfen, ob die Beziehungen mit metrischen, ordinalen oder nominalen Skalenniveaus zu beschreiben sind.

Im Anschluss an die Systemanalyse erfolgt – aus technischer Sicht - die eigentliche Modellbildung. Hierbei unterscheidet man die Modelle hinsichtlich der Intensität der Koppelung mit geographischen Informationssystemen (NYERGES 1992). Bei lose gekoppelten Modellen werden Geodaten aus dem GIS in das eigenständige Modell exportiert, um dort für die Berechnungen zur Verfügung zu stehen. Die Ergebnisse werden zur räumlichen Visualisierung meist in das GIS zurücktransferiert. Eine enge Koppelung liegt vor, wenn der Datenaustausch weitestgehend automatisch

erfolgt und die Programmkomponenten des Modells selbständig miteinander kommunizieren können. Die volle Integration des Modells in GIS oder umgekehrt stellt schließlich die höchste Kopplungsintensität dar.

Auf die Modellbildung folgt die Simulation des Modells, bei der die berechneten Ergebnisse mit den real vorkommenden Phänomenen verifiziert werden. Durch Änderung der Eingabedaten bzw. der Berechnungsparameter können Simulationen außerdem für Szenarioabläufe verwendet werden. Schließlich können die gewonnen Erkenntnisse in Entscheidungsunterstützungssysteme münden.

3.1.2 Kategorisierung von Modellen

Modelle können sich in vielfältiger Weise unterscheiden. Um einen Einblick in die theoretischen Ansätze und die Eigenschaften von Raummodellen zu gewinnen, werden an dieser Stelle einige Modellkategorien vorgestellt. Es wird dabei jedoch nicht der Anspruch auf Vollständigkeit erhoben.

- **Sektorale und globale Modelle**

Mit sektoralen Modellen kann man Teilaspekte der räumlichen, zeitlichen oder sachlichen Modelldimensionen betrachten. Dies ist mit globalen Modellen nicht möglich, da diese nur eine Betrachtung auf die gewählten Zieldimensionen zulassen.

- **Deterministische und stochastische Modelle**

Die Ergebnisse der deterministischen Modelle beruhen auf mathematischen Gleichungen und sind somit auch nach mehreren Berechnungen mit denselben Eingabeparametern gleich. Diese Methodik wird allerdings nur den realen Phänomenen gerecht, deren Verhalten exakt nachvollziehbar ist wie z. B. physikalische Prozesse. Die Ergebnisse der stochastischen Modelle variieren dahingegen innerhalb einer Wahrscheinlichkeitsverteilung. Sie stimmen bei mehreren Versuchen selten exakt überein. Die Variationsbreite der Ergebnisse spiegelt somit die Bandbreite der Ausprägungen von Phänomenen wieder.

- **Aggregierte und verteilte Modelle**

Bei aggregierten Modellen werden die Modellbestandteile mit Mittelwerten beschrieben, während sie bei verteilten bzw. disaggregierten Modellen differenziert angegeben werden.

- **Statische und dynamische Modelle**

Modelle können Zeit als Konstante oder Variable behandeln. Bei dynamischen Modellen, welche die zeitliche Dimension als Variable verwenden, variieren die Modellvariablen mit der Zeit. Dieser Aspekt entfällt bei statischen Modellen.

3.1.3 Hydrologische Modelle

MAIDMENT (1993) definiert hydrologische Modelle als mathematische Repräsentation des Wasserflusses und dessen Bestandteile in einem Ausschnitt der Landoberfläche oder des Untergrunds. Die Forschung bzw. die Verwendung von hydrologischen Modellen besitzt mittlerweile eine 150 jährige Entwicklungsgeschichte und übertrifft somit in dieser Hinsicht die relativ junge Disziplin Geoinformatik um ein vielfaches. Aufgrund der Verwendung räumlicher Komponenten wie Wassereinzugsgebiete, Flussläufe, Aquifer und Seen war die Verwendung von Geo-Datenbanken und die Integration von hydrologischen Modellen in Geoinformationssysteme nur eine logische Schlussfolgerung.

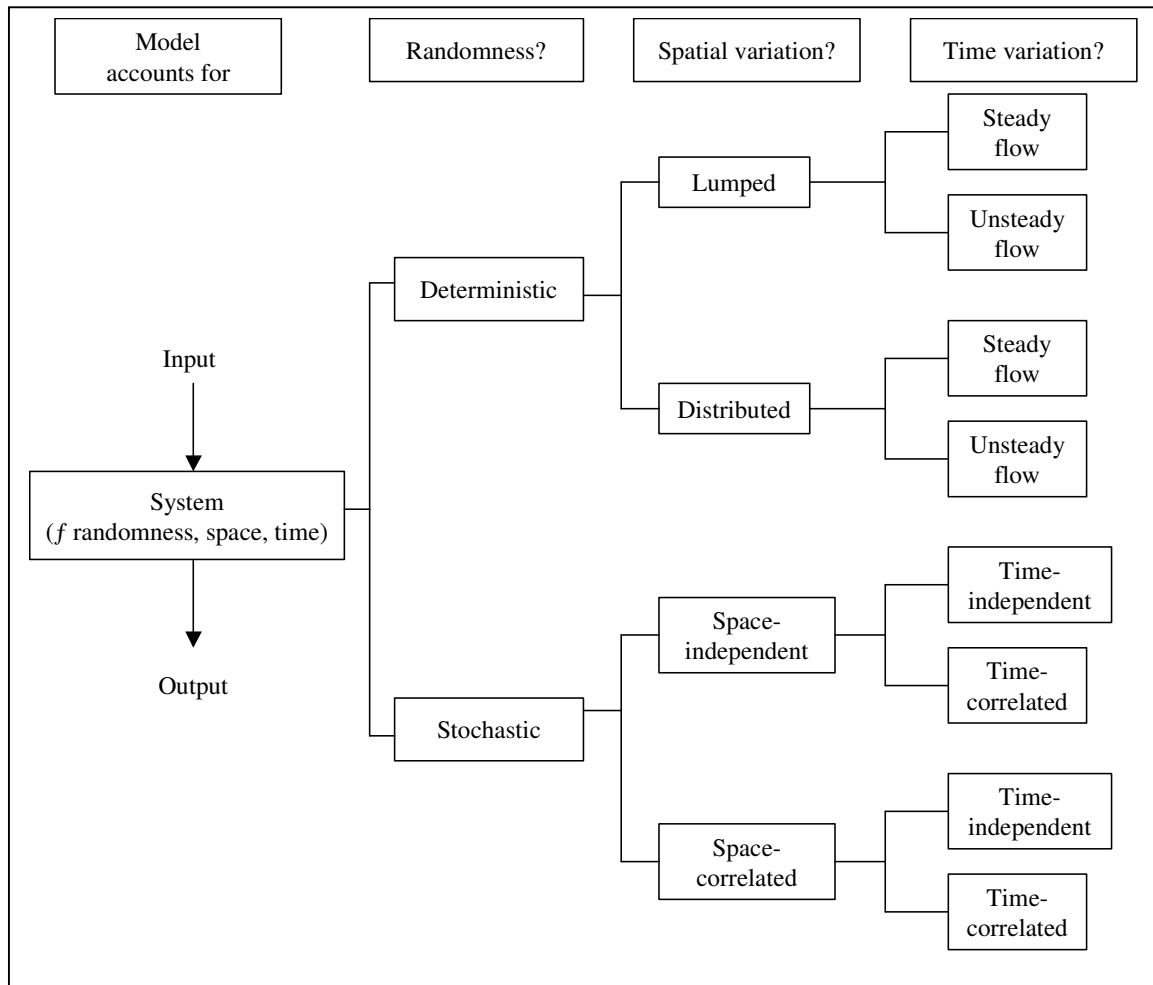


Abbildung 2: Übersicht der hydrologischen Modellkategorien nach CHOW et al. (1988, abgebildet in MAIDMENT 1993)

Die Online-Metadatenbank „Register of Ecological Models“ der Universität Kassel und dem Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit ist ein Verzeichnis für mathematische Modelle im Bereich Ökologie. Gibt man Hydrologie als Fachrichtung ohne weiteres Kriterium ein, so erhält man eine Auflistung von über 213 eingetragenen Modellen (FORSCHUNGSZENTRUM FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT 2002). Dies verdeutlicht zum einen den immensen Forschungsstand und zum anderen die vielen verschiedenen Forschungsschwerpunkte im Bereich der Hydrologie. Hinsichtlich der Modellbildung kann man folgende Schwerpunkte unterscheiden:

- Oberflächenabflussmodelle
- Erosionsmodelle
- Abfluss in Oberflächengewässer

- Strömungsmodelle
- Grundwassermodelle
- Stofftransportmodelle

3.2 **Modell MOBINEG**

Das Modell MOBINEG (**MO**dell zur **BI**lanzierung von **N**ährstoff**E**inträgen in **G**ewässer) wurde ursprünglich von der Firma F&N Umweltconsult GmbH für die Berechnung der durchschnittlichen Jahresfracht an Stickstoff- und Phosphoreinträgen aus einem definierten Einzugsgebiet in Fließgewässer entwickelt. In den oben aufgeführten Kategorien lässt es sich als deterministisches, räumlich verteiltes und statisches Modell einordnen. Wesentliche Elemente des Modells sind die angenommenen Wasser- und Nährstoffbilanzen, die im Folgenden näher erläutert werden sollen.

3.2.1 **Wasserbilanz**

Wasserbilanzen werden zur analytischen Darstellung des Wasserkreislaufes eines bestimmten Gebietes über einen gewissen Zeitraum aufgestellt. Die Berechnung der Wasserbilanz gibt gewissermaßen den hydrologischen Aspekt des Modell MOBINEG wieder. Auf der Einnahmenseite der Bilanz befinden sich Niederschläge sowie ober- und unterirdische Zuflüsse. Die Ausgabenseite besteht aus Verdunstung sowie dem ober- und unterirdischen Wasserabfluss.

$$\text{Gleichung 1} \quad \text{Niederschlag} + \text{Zuflüsse} = \text{Evapotranspiration} + \text{Abfluss}$$

Die Wasserbilanz im Modell MOBINEG basiert auf einer etwas abgewandelten Wasserhaltsgleichung:

$$\text{Gleichung 2} \quad A_{\text{ges}} = \text{NS} - \text{ET} - \Delta S$$

A_{ges} Gesamtabfluss im Oberflächengewässer

NS Niederschlag

ET Evapotranspiration

ΔS Speicheränderung

Unter Speicheränderung versteht man die Zu- und Abflüsse aus dem Untersuchungsgebiet zum Grundwasservorrat. Sie werden bei der Modellberechnung nicht berücksichtigt, da man über längerfristige Zeiträume ausgeglichene Speicherverhältnisse annehmen kann. Damit man ober- und unterirdische Abflüsse im Modell erfassen kann, wird die Gleichung in weitere Einzelkomponenten zerlegt:

$$\text{Gleichung 3} \quad A_{\text{ges}} = A_{\text{GWN}} + A_{\text{ober}} + A_{\text{KA}} - E_{\text{GW}}$$

A_{GWN} Grundwasserneubildung

A_{ober} Oberflächenabfluss

A_{KA} Kläranlagenablauf

E_{GW} Grundwasserentnahmen

Oberflächenabfluss A_{ober} entsteht vor allem auf versiegelten und erosionsgefährdeten Flächen. Zur Auswertung wird deshalb neben der Landnutzung auch ein Erosionsmodell eingesetzt. Der Kläranlagenablauf A_{KA} ist vom Trinkwasserverbrauch im Einzugsgebiet abhängig. Des weiteren ist zu prüfen, inwiefern unterirdische Abflüsse in andere Einzugsgebiete oder Wasserentnahmen im Untersuchungsgebiete vorliegen. Solche Faktoren führen zu reduzierten Wassermengen am Messpegel und müssen deshalb - differenziert für jedes Einzugsgebiet - in der Wasserbilanz berücksichtigt werden. Die Grundwasserneubildung A_{GWN} berechnet sich auf der Grundlage von nutzbarer Feldkapazität im Wurzelraum (n_{FKWe}), Klimadaten und Landnutzung. Während der Bodenpassage verteilt sich das neu gebildete Grundwasser bis zum Erreichen des Oberflächengewässers folgendermaßen auf:

$$\text{Gleichung 4} \quad A_{\text{GWN}} = A_{\text{ZW}} + A_{\text{GW}} + A_{\text{Drän}}$$

A_{ZW} Zwischenabfluss

A_{GW} Grundwasserabfluss

$A_{\text{Drän}}$ Dränrohre-Abfluss

Unter dem Zwischenabfluss A_{ZW} versteht man neugebildetes Grundwasser, welches nach Niederschlägen relativ rasch in das Oberflächengewässer abfließt. Im Gegensatz zu diesem temporären Abfluss steht der Grundwasserabfluss A_{GW} . Dieser strömt andauernd vom Grundwasserspeicher ins Gewässer. Der Abfluss über Dränrohre dient zur schnellen Entwässerung landwirtschaftlicher Flächen. Die Berechnung des ober- und unterirdischen Abflusses erfolgt bei dem Modell MOBINEG mit folgenden Einstellungen:

Abflussart	Stadt	Vorstadt/ Dorf	versiegelte Fläche	Acker			Grünland		Wald
				<i>normal</i>	<i>mit Erosion</i>	<i>Drä- nage</i>	<i>normal</i>	<i>Drä- nage</i>	
A_{ober}	50 % JN	12 % JN	85 % JN	-	15 % JN	-	-	-	-
A_{ZW} $A_{\text{Drän}}$ A_{GW}	GWN	GWN	GWN	GWN	GWN	GWN	GWN	GWN	GWN
Aufteilung entsprechend dem Verhältnis Basisabfluss zu mittlerem Abfluss									
Insgesamt	GWN + 50 % JN	GWN + 12 % JN	GWN + 85 % JN	GWN	GWN + 15 % JN	GWN	GWN	GWN	GWN

Tabelle 3: Ober- und unterirdischer Abfluss in Abhängigkeit von der Flächennutzung (F&N UMWELTCONSULT 2001)

Diese eingestellten Prozentwerte können in der Datenbank des Modells geändert werden. Als Resultat wird ein Gesamtabfluss ermittelt, welcher "weniger als 10 % vom am Pegel gemessenen Wert abweicht" (F&N UMWELTCONSULT 2001).

3.2.2 Nährstoffbilanz

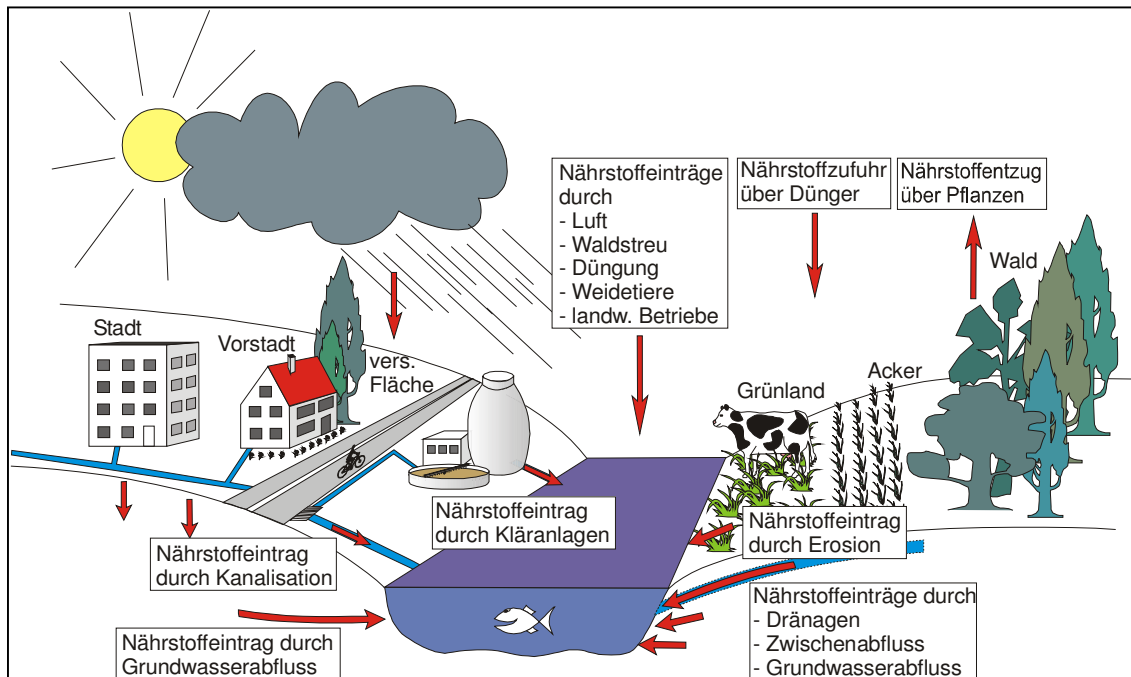


Abbildung 3: Graphische Darstellung der Systemanalyse zur Bilanzierung des Nährstoffeintrages (F&N UMWELTCONSULT 2001)

Die verschiedenen Eintragspfade von Stickstoff (N) und Phosphor (P) sind durch die Wasserbilanz prinzipiell vorgegeben. Dabei kann man zwischen punktuellen und diffusen Einträgen unterscheiden. Punktuelle Einträge wie Kläranlagen und Kanalisation können auf einen Einleiter und einen Einleitungsort zurückverfolgt werden. In diesem Fall sind sowohl die Wassermengen als auch die Nährstoffkonzentrationen durch entsprechende Messvorrichtungen einfach zu ermitteln. Die durchschnittliche jährliche Nährstofffracht lässt sich somit relativ exakt quantifizieren und ist nicht an die Berechnung der Wasserbilanz gekoppelt. Dahingegen ist die Lokalisierung der diffusen Einträge wesentlich schwieriger. Es wird mit Hilfe von Landnutzung, Grundwasserneubildung, nFKWe und Erosionsgefährdung versucht die diffusen Einträge jedes Flächenstücks zu ermitteln. Die Größe der Flächenstücke wird dabei von der Auflösung der Eingangsdaten maßgeblich beeinflusst (F&N UMWELTCONSULT 2001). Quellen für diffuse Einträge in Fließgewässer sind:

- Auswaschung von Nährstoffen und Eintrag über unterirdische Abflusspfade von
 - Ackerflächen,
 - Grünland,
 - Wald und
 - Teilversiegelte Flächen im Siedlungsbereich
- Erosion von Boden
- Direkteinträge durch
 - Atmosphärische Deposition
 - Waldstreu
 - Mineraldünger bei der Ausbringung
 - Weidetiere und
 - Landwirtschaftliche Betriebe

Für die Bilanzierung des Nährstoffeintrages berechnet MOBINEG zunächst den N-Überschuss auf Ackerflächen. Das Modell orientiert sich dabei an BACH (1987, zit. bei F&N UMWELTCONSULT 2001):

$$\text{Gleichung 5} \quad \text{Saldo} = \text{N-Zufuhr} - \text{N-Abfuhr}$$

Der N-Gehalt des Erntegutes stellt die N-Abfuhr dar. Die N-Zufuhr setzt sich aus verschiedenen Teilen zusammen:

- Mineral. N (in Höhe der Empfehlung der Landwirtschaftskammer)
- Wirtschaftsdünger
- Organischer Dünger (z. B. Klärschlamm)
- Atmosphärische Deposition

Da bei Wirtschaftsdüngern gasförmige N-Verbindungen während der Ausbringung und der Aufbewahren entweichen, wird zusätzlich 20 % der Menge als Verlust berücksichtigt.

Werden die Nährstoffe Phosphor und Stickstoff nicht von Pflanzen aufgenommen oder durch bodenbiologische bzw. -chemische Vorgänge gebunden, so werden sie mit dem Sickerwasser aus dem Boden in Grund-

und Oberflächengewässer ausgewaschen. Dieser Prozess ist bei Stickstoff wesentlich ausgeprägter als bei Phosphor, da Letzterer besser von Bodenpartikeln festgehalten wird. Der Modellansatz von MOBINEG nimmt dabei an, dass die transportierte Nährstoffmenge mit der Dauer der Bodenpassage abnimmt. Um die Interaktion zwischen Nährstoffen und Boden bestimmen zu können sind einige Parameter notwendig:

- N- bzw. P-Menge, die aus dem Wurzelraum ausgewaschen wird und somit nicht mehr pflanzenverfügbar sind

Diese Menge ist von der Flächenutzung abhängig. Für Ackerland wird die oben beschriebene der Stickstoffüberschuss berechnet. Von dieser Überschussmenge wird ein Teil im Wurzelraum gebunden. Dieser Anteil berechnet sich über die Austauschfähigkeit der Bodenlösung, welche sich als Quotient aus Sickerwassermenge (GWN) durch Feldkapazität definiert. Ist die Sickerwassermenge kleiner als die Feldkapazität so wird von einer geringen Gefährdung für die Nährstoffauswaschung ausgegangen. MOBINEG kalkuliert in diesem Fall, dass 10 % des Bilanzüberschusses ausgewaschen wird. Ist sie dahingegen größer oder gleichgroß wie die Feldkapazität wird mit einer mittleren bis sehr großen Auswaschungsgefahr gerechnet. In diesem Fall dient der ermittelte Quotient als Verhältnis zwischen dem Stickstoffanteil, welcher im Wurzelraum verbleibt, und dem Anteil, der mit dem Sickerwasser ausgewaschen wird. In MOBINEG wird folgende fest implementierte Klasseneinteilung für die nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum verwendet (zur Herleitung des nFKWe-Wertes siehe Abschnitt 3.4.4.2):

nFKWe-Klasse	Mittelwert des nFKWe
0	0
1	25
2	70
3	115
4	170
5	235
6	300

Tabelle 4: nFKWe-Klasseneinteilung in MOBINEG (F&N UMWELTCONSULT 2001)

Da die Adsorption von Phosphor an Bodenpartikeln unter Ackerland sehr viel höher ist als die des Stickstoffes, wird für den Phosphoraustrag in MOBINEG nur ein fester Wert eingegeben. Für andere Landnutzungsarten wie etwa Siedlungsflächen, Wald und Grünland müssen sowohl für Phosphor als auch für Stickstoff Erfahrungs- oder Literaturwerte verwendet werden.

- N- bzw. P-Anteil, der über die Abflusspfade weitertransportiert wird
Mit der Berechnung der Wasserbilanz wird die Sickerwassermenge in die Pfade Zwischen-, Grundwasser- und Dränabfluss aufgeteilt. Die ausgewaschene Nährstoffmenge wird auf diese drei Abflusspfade im selben Verhältnis aufgeteilt.
- N- bzw. P-Mengen, während der Bodenpassage im Boden resorbiert oder durch Abbauprozesse zurückgehalten werden

Da Zwischen- und Dränabfluss sehr schnell in die Fließgewässer eintreten, ist der Abbau des mitgeführten Stickstoffes nur gering. Der Grundwasserabfluss hat dahingegen eine längere Bodenpassage. Die darin mitgeführte Nährstoffmenge unterliegt deshalb einer stärkeren Adsorption durch Bodenpartikel. Tabelle 5 gibt die im Modell voreingestellten Werte für den Rückhalt bzw. Abbau der Nährstoffe während der Versickerung wieder:

	Stadt	Vorstadt /Dorf	versiegelte Fläche	Acker			Grünland		Wald
				normal	mit Erosion	Dränage	normal	Dränage	
<i>Nährstoffmenge, die ausgewaschen wird (in kg/ha*a)</i>									
N	6,5	6,5	-	N-Bilanzüberschuss * (1 - nFKWe/GWN)			29	29	12
P	0,3	0,3	-	P-Bilanzüberschuss * 0,01			0,3	0,3	0,1
<i>Abbau bzw. Rückhalt beim</i>									
A _{Zw}	50 %	50 %	-	50 %	50 %	-	50 %	-	50 %
A _{Drän}	-	-	-	-	-	0 – 50 %	-	0 – 50 %	-
A _{GW}	75 %	75 %		75 %	75 %	75 %	75 %	75 %	75 %

Tabelle 5: Rückhalt und Abbau von Nährstoffen während der Versickerung (F&N UMWELTCONSULT 2001)

Zur Berechnung der Bodenerosion wird in der vorliegenden Arbeit die Allgemeine Bodenabtragungsgleichung ABAG eingesetzt (siehe Abschnitt 3.4.4.1).

Eine Evaluation der berechneten Nährstoffbilanz kann entweder über den Vergleich der am Pegel ermittelten Nährstofffracht oder durch die Gegenüberstellung mit Literaturwerten erfolgen. Anhand von Abfluss- und Konzentrationsmessungen am Pegel kann die Jahresfracht berechnet werden. Allerdings gibt es hierfür unterschiedliche Berechnungsansätze und so führen diese unterschiedlichen Berechnungsmethoden zu Ergebnisdifferenzen von bis zu ± 20 %. Erste Erkenntnisse zeigen, dass die errechneten Jahresfrachten des Bilanzierungsmodells bei Stickstoff zwischen 10 und 20 % und bei Phosphor um bis zu 40 % von den abgeleiteten Ergebnissen der Pegelmessung abweichen. Da die ermittelten Frachtberechnungen aus den Pegelmessung die beschriebenen Unsicherheiten aufweisen, betrachtet der Software-Hersteller die Genauigkeiten des Bilanzierungsmodells hinsichtlich der errechneten Jahresfracht von ca. 20 % bei Stickstoff und 40 % bei Phosphor als ausreichend (F&N UMWELTCONSULT 2001).

3.3 Softwaretechnische Umsetzung

Das Modell wurde softwaretechnisch mit zwei Komponenten umgesetzt. Das Programm gliedert sich in die Datenbank und in eine ArcView-Erweiterung auf. NYERGES (1992) bezeichnet eine solche Realisierung als lose Modellkoppelung. In der MOBINEG-Version 2001 liegt die Datenbank im Microsoft Access 97-Format vor. Abbildung 4 gibt eine vereinfachte Struktur der Datenbank mit ihren Entitäten und Beziehungen wieder.

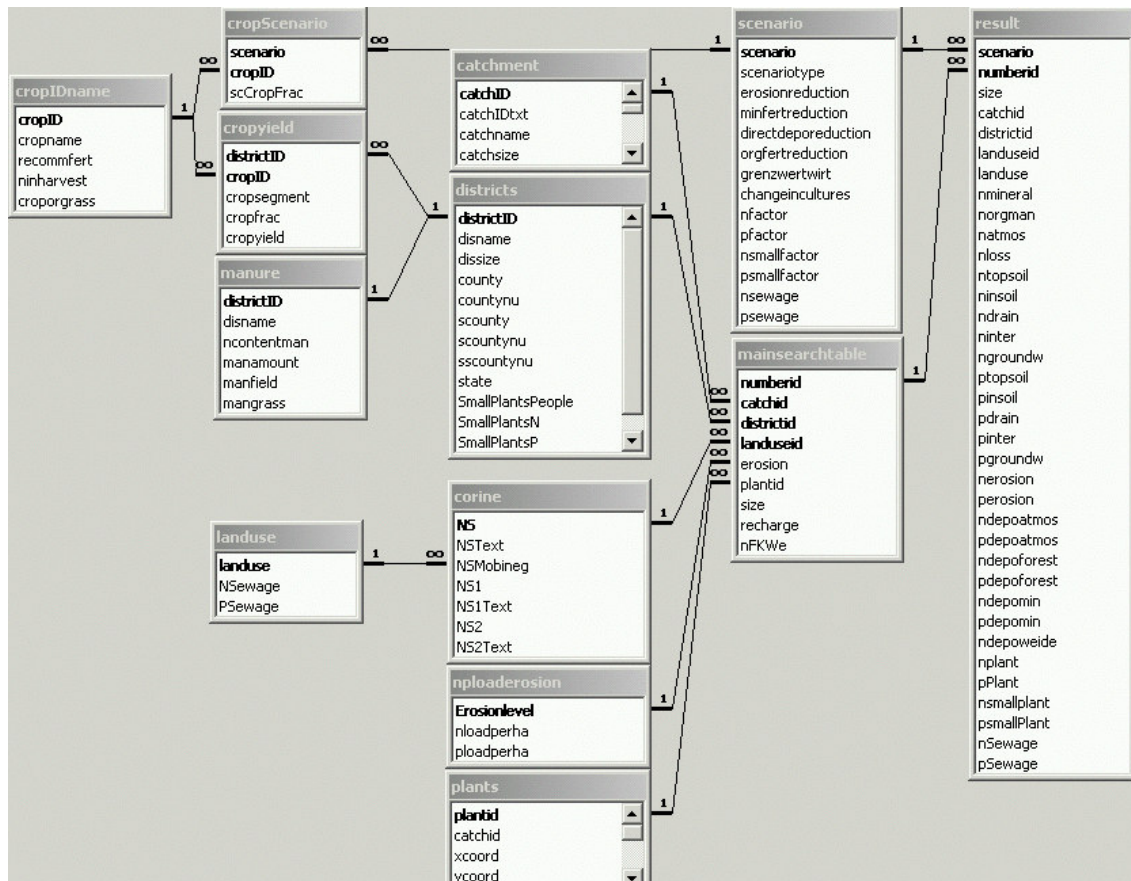


Abbildung 4: Vereinfachte Struktur der Datenbank (F&N UMWELTCONSULT 2001)

Die ArcView-Erweiterung wurde mit der Programmiersprache Avenue realisiert. Sie dient zum einen für die Bereitstellung und Aufbereitung der Eingangsdaten für die Datenbank und zum anderen für die Darstellung der Ergebnisse. MOBINEG benötigt hierfür den Assistenten zur Geoverarbeitung, welcher ab der ArcView-Version 3.1 standardmäßig im Programm als Erweiterung verfügbar ist.

3.3.1 Datenbank-Tabellen

- catchment

Hier findet eine einfache Auflistung der Einzugsgebiete statt.

- climate

Für das Untersuchungsgebiet wird der Mittelwert des monatlichen Gebietsniederschlags im Bilanzzeitraum benötigt. Die Daten können vom Deutschen Wetterdienst bezogen werden.

- corine

Eine wesentliche Vorgabe bei der Modellerstellung für MOBINEG war das Ziel, dass die benötigten Daten auf großer Fläche verfügbar sein sollten. Um die Flächennutzungen in den Einzugsgebieten ermitteln zu können, griff man deshalb auf die Fernerkundungsdaten des Statistischen Bundesamtes zurück. Diese stammen aus dem Landsat-Satellitenprogramm und werden mittels des CORINE-Landcover interpretiert. Da MOBINEG nur die Hauptnutzungskategorien Stadt, Vorstadt/Dorf, versiegelte Flächen, Acker, Grünland, Wald und Gewässer für die Berechnung unterscheidet, muss für detailliertere Fernerkundungsinformationen diejenigen Landnutzungskategorien angegeben werden, mit dem die jeweilige Flächeneinheit berechnet werden soll. So muss z. B. in Weinbaugebieten entschieden werden, ob ein Weinberg als Grünland oder Acker berechnet werden soll. Tabelle 6 zeigt eine solche Generalisierung für Landsat-Daten.

NS (für CORINE-Daten)	NSMobineg	Landsat	Abfluss	Fracht
111	town	Stadt	ja	ja
112, 133	suburb	Vorstadt/Dorf	ja	ja
121, 122, 123, 124	paved area	versiegelte Flächen	ja	ja
311, 312, 313	forest	Laub-, Nadel-, Mischwald, sonst. Wald	ja	ja
231, 321	pastures	Grünland, Weiden	ja	ja
211, 212, 241, 242, 243, 244	arable land	Acker	ja	ja
131, 132	barren land	Heide, Sand/Dünen, Ödland	ja	nein
511, 512	water	Gewässer	nein	nein
411, 412, ...	übrige Flächen	Watt, Moor etc.	ja	nein

Tabelle 6: Zusammenfassung für Landsat-Daten (F&N UMWELTCONSULT 2001)

- cropIDname

Hier sind getrennt für die verschiedenen Kulturarten Parameter wie etwa Düngeempfehlungen und Stickstoffgehalt im Erntegut anzugeben. Die Daten sind von den Landwirtschaftsämtern zu beziehen.

- cropScenario

Ist die Berechnung verschiedener Szenarien gewünscht, so muss an dieser Stelle die Änderungen des Kulturartenanteils vom Ausgangszustand angegeben werden.

- cropyield

Die Landesämter für Statistik führen alle 10 Jahre eine Landwirtschaftszählung durch, welche in eine Agrarberichterstattung münden. Dazwischen werden alle vier Jahre Ergebnisse veröffentlicht, welche die Produktionsstrukturen auf Gemeindeebene widerspiegeln. Diese Ergebnisse enthalten Informationen zu den Flächenanteilen und Erträgen der Kulturarten pro Gemeinde. Jede Ackerfläche wird von MOBINEG so behandelt, als wäre sie mit dem prozentualen Kulturartenanteil der Gemeinde bepflanzt.

- directdepo

Getrennt für die direkten Eintragspfade werden an dieser Stelle die Literaturwerte für N- und P-Einträge angegeben und damit die Berechnungsparameter festgelegt, die für die Quantifizierung der Pfade notwendig sind. Liegen für die atmosphärische Deposition keine örtlichen Messergebnisse vor, so können die Werte aus dem Modell-Testgebiet „Große Aue“ (Niedersachsen) verwendet werden. Dort wurden Einträge von 12,8 kg N und 0,29 kg P pro Hektar und Jahr gemessen. Für direkt in die Gewässer fallende Pflanzenteile wird der Begriff Waldstreu verwendet. NUSCH (1974, zit. bei F&N UMWELTCONSULT 2001) kalkuliert pro Hektar Waldfläche einen direkten Eintrag von 2 kg Stickstoff und 0,08 kg Phosphor. Für Mineraldünger, die aufgrund unsachgemäßer Ausbringung direkt in die Oberflächengewässer eingebracht werden, setzt HAMM (1991, zit. bei F&N UMWELTCONSULT 2001) Nährstoffeinträge von 0,0241 kg Stickstoff und 0,004 kg Phosphor pro Hektar und Jahr an. HAMM kalkuliert außerdem mit einem direkten Nährstoffeintrag durch Weidevieh auf Flächen mit angrenzenden Gewässern von 0,5 % der insgesamt aus Wirtschaftsdüngern stammenden Nährstoffe. Des weiteren gelangen 1 % der in Tierexkrementen enthaltenen Nährstoffe über landwirtschaftliche Betriebe während Betriebsarbeiten wie z. B. Ausspülen von Güllebehältern in die Oberflächengewässer.

- districts

Für diese Tabelle sind Informationen über Verwaltungseinheiten wie z. B. Kreise und Gemeinden und über deren Kleinkläranlagen einzugeben. Die Angaben für die Kläranlagen beziehen sich dabei auf eine Gemeinde und enthalten Anzahl der angeschlossenen Einwohner, Abwassermenge sowie N- und P-Einträge.

- fracdrainage

Hier erfolgt die Angabe des prozentualen Anteils der Acker- und Grünlandflächen mit Dränage. Die Standardeinstellung liegen bei 37,3 % für Ackerland und 20,7 % für Grünland. Sie spiegeln die Werte für die norddeutschen Untersuchungsgebiete, welche für die Entwicklung von MOBINEG herangezogen wurden, wieder.

- landuse

Bei den drei Hauptnutzungskategorien Stadt, Vorstadt/Dorf und versiegelte Fläche wird der Niederschlag teilweise über die Kanalisation abgeleitet. Dabei gelangen - in Abhängigkeit vom Versiegelungsgrad – spezifische N- und P-Frachten in die Gewässer. Tabelle 7 zeigt die in MOBINEG verwendeten Literaturwerte (HAMM 1991 und F&N UMWELTCONSULT 1995, zit. in F&N UMWELTCONSULT 2001).

Nutzung	N [kg/ha*a]	P [kg/ha*a]
Stadt	30	9
Vorstadt/Dorf	15	2
versiegelte Fläche	2	0,25

Tabelle 7: Spezifische N- und P-Frachten im Siedlungsbereich (F&N UMWELTCONSULT 2001)

- mainsearchtable

Mit Hilfe der ArcView-Erweiterung werden die räumlichen Eingangsdaten in die mainsearchtable der MOBINEG-Datenbank geschrieben. Folgende räumliche Informationen müssen hierfür vorliegen:

- Einzugsgebiet
- Gemeinde
- Landnutzung

- Erosionsfaktor
- Grundwasserneubildung
- nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum
- Kläranlagen
- Flächengröße

Die Vorgehensweise bei der Aufbereitung der Eingangsdaten für die vorliegende Arbeit wird in Abschnitt 3.4 beschrieben.

- manure

Von den Landesämter für Statistik sind Daten erhältlich, welche sich auf die N-Zufuhr aus der betriebseigenen Viehhaltung beziehen. Es werden dabei die ausgebrachte Wirtschaftsdüngermenge, deren N-Gehalt sowie die gedüngte Flächenanteile von Acker und Grünland benötigt.

- Npleach

Diese Datenbanktabelle enthält die Berechnungsparameter für die in Abschnitt 3.2.2 aufgeführten Aspekte zur Nährstoffauswaschung aus dem Wurzelraum. Für Grünland, Wald und Vorstadt werden pauschale Werte angegeben (siehe Tabelle 5). Etwaige Adsorptionsprozesse sind in diesen Werten schon enthalten.

- Nploaderosion

Diese Tabelle erfordert die Angabe der durchschnittlichen Abtragsmengen von Stickstoff und Phosphor in Abhängigkeit der ermittelten Erosionsstufen.

- Npreduction

Da Nährstoffe im Boden und während der Bodenpassage unterschiedlichen Rückhalte- und Abbauprozessen unterliegen, verringern sich die Nährstoff-Frachten (siehe Abschnitt 3.2.2 und Tabelle 5). Für die Berechnung der Abbau- bzw. Rückhalteprozesse für Stickstoff unter Ackerland sind nutzbare Feldkapazität und Grundwasserneubildung für die Flächen zu ermitteln. Da Phosphor eine sehr starken Adsorption an Bodenkolloiden unterliegt wird angenommen, dass lediglich 1 % des P-Bilanzüberschusses unter Ackerland ausgewaschen wird.

- **orgfert**

Hierunter fällt die Zufuhr von Nährstoffen durch organische Stoffe, die nicht aus der betriebseigenen Viehhaltung stammen wie z. B. Ernterückstände oder Klärschlamm.

- **plants**

Von den örtlichen Wasserbehörden sind Daten über kommunale- und Industriekläranlagen zu besorgen. Die Daten wie z. B. angeschlossene Einwohner, Jahresabflussmenge und Nährstoffgehalt sollten für den Bilanzzeitraum als Mittelwerte gelten und sich auf die jeweilige Gemeinde bzw. Ortschaft beziehen.

- **result**

Im Anschluss an die Berechnung werden hier die Ergebnisse abgelegt.

- **runoff**

Mit der Verwendung von Niederschlags- oder Abfluss-Modellen muss der prozentuale Anteil des Niederschlags, der oberflächennah abfließt, errechnet werden. Prinzipiell nimmt dieser Anteil mit der Anzahl der Starkregenereignisse zu. Von staatlichen Ämtern können die Kennwerte mittlerer Abfluss MQ und Basisabfluss bezogen werden. Dabei wird die Wassermenge, die selbst in Trockenperioden am Pegel gemessen wird, als Basisabfluss bezeichnet. Der mittlere Abfluss hingegen stellt den Mittelwert aus allen Tagesabflüssen des Bilanzzeitraumes dar. Wasserentnahmen reduzieren die am Pegel ankommende Sickerwassermenge. Zu beachten ist die Übereinstimmung der oberirdischen und Einzugsgebiete. Sind diese nicht kongruent, so müssen evtl. an dieser Stelle als Grundwasserentnahmen verbucht werden.

- **scenario**

Für die Berechnung unterschiedlicher Szenarien sind keine weiteren Eingangsdaten notwendig. In dieser Tabelle werden lediglich die Reduktionsfaktoren für Stickstoff und Phosphor bezüglich der verschiedenen Eintragspfade angegeben.

3.3.2 Eingangsdaten zur Berechnung der Nährstofffrachten

Für die Berechnung der Nährstofffrachten sind, wie oben beschrieben, spezielle Eingangsdaten nötig. Im Folgenden sollen die für die Berechnungen verwendeten Daten kurz skizziert werden.

- Tabelle manure

In der Tabelle manure wurden die in den einzelnen Gemeinden ausgebrachten Mengen an Wirtschaftsdüngern wie z. B. Gülle in Düngeeinheiten angegeben. Diese Menge wurde wiederum aus den statistischen Daten für das Untersuchungsgebiet entnommen (BAY. LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVER-ARBEITUNG, 1999). Zunächst wurden die Informationen zu den Viehbeständen auf Großvieheinheiten umgerechnet. Eine Großvieheinheit repräsentiert dabei das Lebendgewicht eines ausgewachsenen Rindes von etwa 500 kg. Alle anderen Nutztiere werden zu diesem Gewicht in Relation gesetzt. Anhand folgender Werte konnten die Viehbestände in Großvieheinheiten umgerechnet werden:

- Rind = 1 GV
- Kalb = 0,4 GV
- junge Kuh = 0,6 GV
- Eber = 0,3 GV
- Mastschwein = 0,12 GV
- Ferkel = 0,02 GV
- Pferd = 1 GV
- Schaf = 0,1 GV
- 320 Legehennen = 1 GV

Der Gesamtwert der Großvieheinheiten wurde anschließend auf die landwirtschaftliche Nutzfläche jeder Gemeinde bezogen.

Gemeinde	Gesamt-Großvieheinheiten	Großvieheinheiten/ha
Palling	7475,2	1,39
Taching	4188,1	1,57
Tittmoning	10656,4	1,48
Waging	7014,3	1,44

Tabelle 8: Ermittelte Großvieheinheiten für die Gemeinden

Anhand der Flächenanteile jeder Gemeinde am Untersuchungsgebiet wurde der Wert für die Großvieheinheiten pro Hektar ermittelt. Er beträgt 1,5 Großvieheinheit pro Hektar. Dieser resultierende Wert wurde mit dem geschätzten Gülleanfall von 39,2 m³ pro Großvieheinheit multipliziert (BAY. LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR UND PFLANZENBAU 1997). Über den darin enthaltenen Stickstoffgehalt von 2,7 kg/m³ kommt man zu dem jährlichen Anfall von 158,76 kg Stickstoff pro Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche aus Wirtschaftsdüngern im Untersuchungsgebiet. In der Tabelle manure wurde deshalb der Wert für den N-Gehalt pro Düngeeinheit auf 80,0 kg und die Menge an Wirtschaftsdünger pro Hektar auf 2 Düngeeinheiten gesetzt. Dies entspricht einem jährlichen Anfall von 160,0 kg/ha. Zusätzlich wurde angenommen, dass auf allen Acker- und Grünlandflächen diese Menge an Wirtschaftsdüngern ausgebracht wird.

- Tabelle cropyield

In dieser Tabelle wurde getrennt für jede Gemeinde die Fläche der Kulturarten und deren Ernteerträge pro Hektar angegeben. Für die Berechnung der Landnutzungskartierung 1993 wurden die Flächenstatistiken des BAY. LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG (1999), welches die Landnutzungsdaten aus dem Jahr 1999 widerspiegeln, verwendet (siehe Tabelle 9). Daten für das Jahr 1993 konnten nicht ermittelt werden.

Gemeinde	Weizen	Gerste	Hafer	Raps	Mais
<i>Palling</i>	14,70	6,64	8,01	4,16	27,78
<i>Tittmoning</i>	1,12	0,46	0,38	0,12	2,42
<i>Waging</i>	2,01	0,98	0,96	0	6,12
<i>Taching</i>	22,07	5,01	9,28	0	69,71

Tabelle 9: Flächen (ha) der einzelnen Kulturarten in den Gemeinden im Jahr 1999

Aufgrund des detaillierteren Kartierschlüssels konnte für die Landnutzungskartierung 2001 eine eigene Flächenstatistik erstellt werden .

<i>Gemeinde</i>	Weizen	Gerste	Hafer	Raps	Mais
<i>Palling</i>	7,88	1,36	6,55	3,85	26,77
<i>Tittmoning</i>	5,13	1,08	0,63	0,00	4,89
<i>Waging</i>	5,38	0,00	0,00	0,00	13,95
<i>Taching</i>	39,56	13,32	19,09	0,00	101,38

Tabelle 10: Flächen (ha) der einzelnen Kulturarten in den Gemeinden im Jahr 2001

Für die Ernteerträge wurden folgenden Werte angenommen (MLR 2001):

- Hafer 48
- Gerste 55
- Weizen 69,6
- Mais 445,5
- Winterraps 33,1

- Tabelle orgfert

Da im Untersuchungsgebiet keine Kläranlagen vorlagen, wurde angenommen, dass kein Klärschlamm auf die landwirtschaftliche Nutzfläche ausgebracht wird.

- Tabelle runoff

An dieser Stelle sind mittlerer Abfluss und Basisabfluss anzugeben. Der mittlere Abfluss beträgt für den Tenglinger Bach 0,23 m³/s. Dieser Wert wurde im Jahr 2001 vom Wasserwirtschaftsamt Traunstein ermittelt. Angaben zum Basisabfluss fehlten und konnte auch nicht aus den vorliegenden Daten ermittelt werden. Es wurde deshalb ein Wert von 0,11 m³/s geschätzt. Zu beachten ist, dass MOBINEG diese Werte für die Berechnung nicht heranzieht. Die im Modell implementierte Wasserbilanz stellt nur im Anschluss an den Rechenvorgang die errechneten Werte den Messwerten gegenüber. Die in dieser Tabelle vorgesehen Angaben zu den Abflussanteilen von erosionsgefährdeten und versiegelten Flächen sowie Vorstadt-Gebieten wurden auf den Standardeinstellung belassen (siehe Tabelle 3).

Sämtliche anderen Berechnungsparameter der Tabellen `npleach`, `directdepo`, `npreduction`, `landuse`, `runoff` und `fracdrainage` der MOBINEG-Datenbank wurden ebenfalls auf den Standardeinstellung belassen. Prinzipiell besteht zwar die Möglichkeit diese Parameter an die lokalen Gegebenheiten anzupassen. Allerdings lagen hierfür entweder keine geeigneten Informationen vor oder die Ermittlung wäre nur unter erheblichem Zeitaufwand möglich gewesen.

3.4 Räumliche Eingangsdaten

3.4.1 Einzugsgebiet

Als Einzugsgebiet versteht man den Teil einer Landschaft, aus dem Wasser zu einem bestimmten Objekt wie z. B. See oder Bach fließt. Die klassische Methode zur Festlegung der Grenze eines Einzugsgebiets ist die Ermittlung der Wasserscheide anhand von Geländemodellen. Anhand der Zusatzfunktion „Hydrology Modeling“ von ArcGIS kann dies automatisiert berechnet werden. Hierzu muss von einem digitalen Geländemodell zunächst die Fließrichtung sowie die Fließlänge berechnet werden. Mit diesen beiden Zwischenergebnissen ist es möglich ein Wassereinzugsgebiet zu errechnen. Diese Vorgehensweise wurde für die beiden zur Verfügung stehenden digitalen Geländemodelle (DGM) im Maßstab 1:25.000 und 1:5.000 angewendet. Es zeigen sich z. T. eklatante Unterschiede v. a. im Nordbereich des Untersuchungsgebietes.

Das Einzugsgebiet, welches KOLLER (1993) für seine Landnutzungskartierung verwendet, bezieht sich auf das gesamte Einzugsgebiet des Wanginger-Tachinger Sees der Bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde, wie es NÄHER et al. (1974) verwenden. KOLLER macht dabei allerdings keine Angaben, wie er zur Abgrenzung des Teileinzugsgebietes Tenglinger Bach kommt. So weicht sein verwendetes Einzugsgebiet für den

Tenglinger Bach im Süden des Untersuchungsgebietes deutlich von allen anderen Einzugsgebieten ab.

Auffällig ist die gute Übereinstimmung des in ArcGIS auf Basis des DGM 1:25.000 berechneten Einzugsgebietes und dem Einzugsgebiet des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft. Für Letzteres wurde ebenfalls das DGM 1:25.000 als Grundlage herangezogen. Die Wasserscheide für das Teileinzugsgebiet Tenglinger Bach ist händisch aufgezeichnet und anschließend digitalisiert worden. Da dieser Datensatz nahezu amtlichen Charakter besitzt, wurde die Landnutzungskartierung 2001 von Dipl. Ing. (FH) Hoffmann auf dieses Gebiet beschränkt. In Tabelle 11 werden die Einzugsgebiete hinsichtlich ihrer Größe miteinander verglichen.

Einzugsgebiet	Flächengröße in ha
Berechnung mit DGM 1:5.000	1.501,045
Berechnung mit DGM 1:25.000	1.564,771
Landnutzungskartierung 1993 nach KOLLER	1.456,646
Landnutzungskartierung 2001	1.581,267

Tabelle 11: Flächengröße der unterschiedlichen Einzugsgebiete

Im Anhang 2-1 sind die verschiedenen Einzugsgebiete graphisch dargestellt.

3.4.2 Gemeinde

Aus den Gemarkungsgrenzen des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) des Bayerischen Landesvermessungsamtes wurde den einzelnen Gemarkungen die jeweilige amtliche Gemeindeziffer zugewiesen. Anschließend wurden die Flächen mit gleichen Gemeindeziffern mit Hilfe eines sogenannten Dissolve-Befehls zusammengeführt. Das Untersuchungsgebiet des Tenglinger Baches verteilt sich dabei auf die folgenden Gemeinden:

- 189134 Palling
- 189150 Taching am See
- 189152 Tittmoning
- 189162 Waging

3.4.3 Landnutzungskartierungen

Auf Basis der Schwarz/Weiß-Orthophotos des Bay. Landesvermessungsamtes wurde für das Untersuchungsgebiet eine Basisgeometrie erstellt. Diese enthielt grobe Abgrenzungen zwischen Siedlung und landwirtschaftlich genutzten Flächen sowie Waldgebiete und Straßen. Auf Basis dieser Geometrie wurden alle Nutzungskartierungen weiter bearbeitet.

3.4.3.1 Kartierung 1993

KOLLER führte 1993 eine Landnutzungskartierung im Niederschlagsgebiet des Tenglinger Baches durch. Ziel der Kartierung war es, mögliche Einflüsse der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Nährstoffbelastung des Tenglinger Baches aufzuzeigen (KOLLER 1994). Hierzu wurden Flächen mit annähernd gleichem Stickstoff-Austragspotential mit Hilfe von charakteristischen Pflanzenarten zu folgenden Nutzungseinheiten zusammengefasst:

- Ackerland
- Ackerland mit Futtermaisbau
- Wechselland

Zu dieser Einheit zählen Flächen, die abwechselnd mit Feldfrüchten und Grünlandfutter angebaut werden.

- Intensivgrünland
- Mähweiden/Vielschnittwiesen

Bis zu viermalige Mahd und hohe Düngergaben zeichnen diese Kartiereinheit aus.

- Intensivweiden

Ständiger Weidegang führt auf diesen Flächen zu Trittschäden und Bodenverdichtung.

- Feuchtes Intensivgrünland

Diese Flächen zeigten sich im Untersuchungsgebiet als großflächig drainiert und werden intensiv gedüngt.

- Nasse Wirtschaftswiesen

Wiesen, welche in Seenähe liegen und deshalb eine hohen Grundwasserstand aufweisen. Sie werden nur mäßig gedüngt und ein- bis zweimal im Jahr genutzt.

- Extensivweiden

Extensivweiden werden nicht gedüngt und sind aufgrund des hohen Grundwasserstands in Seenähe nur mäßig für die Weidenutzung geeignet.

- Extensiviertes Dauergrünland

Darunter zählt Grünland, welches nicht mehr gedüngt wird.

- Waldflächen

- Siedlungsflächen

Hierunter fallen auch Einzelgebäude, Streuobstwiesen und gartenähnliche Grundstücke.

- Biotopflächen

Für die Nutzungskartierung verwendete KOLLER als Grundlage die Flurkarte im Maßstab 1:5.000, welche allerdings zur besseren Handhabung auf 1:10.000 verkleinert wurde. Als weiteres Hilfsmittel standen Schwarz/Weiß-Orthophotos aus dem Jahr 1987 zur Verfügung. Hiermit wurden vor allem die Infrastruktur sowie Waldflächen aktualisiert.

Für die Integration dieser Nutzungskartierung nach MOBINEG musste die vorliegende Karte zunächst gescannt und georeferenziert werden. Im Anschluss daran erfolgte die Digitalisierung der Flächen und die Zuweisung der entsprechenden Attribute an das erzeugte Polygon. Aus ergonomischen Gründen erfolgte dieser Arbeitsschritt am Bildschirm („head-up-digitizing“). Im Anschluss an den Prozess der Datenerfassung mussten die von KOLLER ausgeschiedenen Kartierungseinheiten auf die in MOBINEG implementierten Corine-Nutzungen übertragen werden (siehe Tabelle 12). MOBINEG wiederum vereinfacht die Nutzungseinheiten nach dem Corine-Landcover nochmals (siehe Tabelle 6).

Nutzungseinheit 1993	CORINE-Schlüssel	CORINE-Nutzungseinheit	MOBINEG-Nutzungseinheit
Ackerland (mit Futtermaisbau)	211	Nicht bewässertes Ackerland	arable land
Wechselland, Intensivgrünland, Mähweiden/Vielschnittwiesen, Intensivweiden, Feuchtes Intensivgrünland, Nasse Wirtschaftswiesen, Extensivweiden, Extensiviertes Dauergrünland	231	Wiesen und Weiden	pastures
Waldflächen	312	Nadelwälder	forest
Siedlungsflächen	112	Nicht durchgängig städtische Prägung	suburb
Biotopflächen	512	Wasserflächen	water
Strassen (Basisgeometrie)	122	Straßen, Eisenbahn	paved area

Tabelle 12: Zusammenfassung der Nutzungskartierung 1993 in MOBINEG

3.4.3.2 Kartierung 2001

Als Grundlage für die Landnutzungskartierung des Jahres 2001 dienten die Schwarz/Weiß-Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes. Die Luftbildbefliegung für diese Bilder fand Mitte Juli 2001 statt. Als weitere Datenquelle lag eine Landnutzungskartierung, welche im Juli 2001 vor Ort von der Limnologische Station der TU München durchgeführt wurde, als Punkt-Datensatz vor. Der verwendete Kartierschlüssel ist in Anhang 1 aufgeführt. Er wurde speziell für die Seeuferkartierung, wie sie von der Limnologischen Station im Bereich des Starnberger Sees durchgeführt wurde, entworfen und an die Nutzungskartierung am Waginger-Tachinger See angepasst. Anhand des Punkt-Datensatzes wurden auf Basis der Orthophotos Flächen abgegrenzt und als Landnutzungseinheiten interpretiert. Darauf folgte die Zusammenfassung der ausgeschiedenen Landnutzungseinheiten in die MOBINEG-Kategorien (siehe Tabelle 13).

Nutzungseinheit 2001	Schlüssel 2001	CORINE-Schlüssel	CORINE-Nutzungseinheit	MOBINEG-Nutzungseinheit
Acker	1100	211	Nicht bewässertes Ackerland	arable land
Grünland	1200	231	Wiesen und Weiden	pastures
Landw. Sonderkultur	1300	231	Wiesen und Weiden	pastures
Wald	2100	312	Nadelwälder	forest
Waldähnliche Fläche/sonstige Gehölzstrukturen	2300	312	Nadelwälder	forest
Hochstaudenried/-flur	4600	321	Natürliches Grünland	pastures
Sonst. Gewässerflächen	5200	512	Wasserflächen	water
Bebauung	6100	112	Nicht durchgängig städtische Prägung	suburb
Sportplatz/Spielplatz	7100	142	Sport- und Freizeitanlage	green urban areas
Badegelände	7300	142	Sport- und Freizeitanlage	green urban areas
Straßenverkehrsflächen	8200	122	Straßen, Eisenbahn	paved area
Sonst. Verkehrsflächen	8300	122	Straßen, Eisenbahn	paved area

Tabelle 13: Zusammenfassung der Nutzungskartierung 2001 in MOBINEG

3.4.4 Reichsbodenschätzung

Die Reichsbodenschätzung hat ihren Ursprung in dem Gesetz über die Schätzung des Kulturbodens (Bodenschätzungsgesetz) vom 16.10.1934. Primäres Ziel war eine landesweit einheitliche Grundlage für die Bewertung des landwirtschaftlichen Vermögens zu erhalten (ZIEGLER 1977).

Die Bodenschätzung teilt sich in die Bestandsaufnahme, bei der die Bodenbeschaffenheit anhand physikalischer Eigenschaften beurteilt wird, und die Feststellung der Ertragsfähigkeit auf. Für die Bestandsaufnahme werden die Felder nach den drei landwirtschaftlichen Nutzungsarten Ackerland (A_{RBS}), Gartenland (G) und Grünland (Gr) unterschieden. Anhand der Kriterien Bodenart, Zustandsstufe und Entstehung charakterisiert man das Ackerland. Tabelle 14 gibt eine Übersicht über die verschiedenen Bodenarten und deren Tonanteil.

Bodenart	Kurzbezeichnung	Tonige Bestandteile in %
Sand	S	< 10
Anlehmiger Sand	SI	10 – 13
Lehmiger Sand	IS	14 – 18
Stark lehmiger Sand	SL	19 – 23
Sandiger Lehm	sL	24 – 29
(milder) Lehm	L	30 - 44
Schwerer Lehm	LT	45 – 60
Ton	T	> 60
Moor	Mo	-

Tabelle 14: Bodenarten der Reichsbodenschätzung (ZIEGLER 1977)

Mit dem Merkmal Zustandsstufe beurteilt man die Gesamtbeschaffenheit des Bodens anhand von Alterserscheinungen und Entwicklungsstadium. Die Skala reicht von Stufe 1 (= höchste Leistungsfähigkeit) bis Stufe 7 (= niedrigste Leistungsfähigkeit). Die geologische Entstehung der Böden wird wie folgt unterschieden:

- Diluvialböden (D)
- Lößböden (Lö)
- Alluvialböden (Al)
- Verwitterungsböden (V)

Für die Bestandsaufnahme des Grünlandes wurden die Bodenarten auf fünf (S, IS, L, T und Mo) und die Zustandsstufen auf drei reduziert. Anstatt der Entstehung teilte man das Grünland in fünf Wasser- und drei Klimastufen ein. Die Wasserstufen werden dabei aus den Niederschlagswerten und der Grundwasserversorgung des Bodens abgeleitet. Stufe 1 gibt frische, Stufe 3 feuchte und Stufe 5 staunasse bis sumpfige Lagen an. Die Klimastufen orientieren sich an der durchschnittlichen Jahrestemperatur:

- Stufe a $\geq 8,0^{\circ}\text{C}$
- Stufe b $7,9 - 7,0^{\circ}\text{C}$
- Stufe c $6,9 - 5,7^{\circ}\text{C}$
- Stufe d $< 5,7^{\circ}\text{C}$

Bei der Feststellung der Ertragsfähigkeit der Böden werden dimensionslose Wertzahlen bestimmt. Die maximale Wertzahl, die für den ertragsfähigsten

Ackerboden in der Magdeburger Börde vergeben wurde, ist für Ackerböden 100 und für Grünland 88. Alle weiteren Flächen werden zu diesem Boden in Verhältnis gesetzt und entsprechend beurteilt. Für das Ackerland stellt man zum einen die Bodenzahl und zum anderen die Ackerzahl fest. Beim Grünland sind dies die Grünlandgrundzahl sowie die Grünlandzahl. Für die Bestimmung der Bodenzahl steht der so genannte Ackerschätzungsrahmen zur Verfügung. Mit Hilfe der bei der Bestandsaufnahme erfassten Kriterien Bodenart, Zustandsstufe und Entstehung kann aus dieser Tabelle die Bodenzahl abgelesen werden. Diese Bodenzahl drückt Ertragsunterschiede, welche durch die unterschiedlichen Bodenbeschaffenheiten hervorgerufen werden, aus. Die Ackerzahl wiederum entsteht durch die prozentuale Zu- und Abrechnung zu der Bodenzahl bedingt durch Klima, Geländeform, Exposition, Steingehalt oder sonstige Faktoren. Das Pendant zum Ackerschätzungsrahmen bei der Grünlandbewertung ist der Grünlandschätzungsrahmen. Hier sind gemäß der Bestandsaufnahme für Grünland die Kriterien Bodenart, Klima, Zustands- und Wasserstufen berücksichtigt. Daraus resultiert die Grünlandgrundzahl, aus welcher durch prozentuale Zu- und Abschläge aufgrund von Schwierigkeiten bei der Heuwerbung bzw. -trocknung die Grünlandzahl berechnet wird. Die Ergebnisse der Bodenschätzung werden für verschiedene Kartenwerken verwendet (siehe Tabelle 15).

Karte	Maßstab	Herausgeber
Gemeindebodenschätzungskarten	1:5.000	Bayerische Geologische Landesamt
Bodenschätzungs-Übersichtskarten	1:25.000	Bayerische Geologische Landesamt
Bodenschätzungs-Übersichtskarten	1:100.000	Bayerische Geologische Landesamt
Bodengütekarte	1:100.000	Steuerverwaltung
Wertungskarte	1:25.000	Bayer. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
Agrarleitkarte	1:50.000	Bayer. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Tabelle 15: Karten der Bodenschätzung (ZIEGLER 1977)

Als Eingangsdaten für die Nährstoffmodellierung wurde die Gemeindebodenschätzungskarte für das Untersuchungsgebiet gescannt,

georeferenziert und anschließend digitalisiert. Somit lagen für Acker- und Grünlandflächen räumliche Informationen im Maßstab 1:5.000 über die Bodenart vor. Diese Informationen wurden zum einen für die Berechnung der Bodenerosion und zum anderen für die Ermittlung der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum herangezogen.

3.4.4.1 Berechnung der Bodenerosion

Die Bodenerosion wurde von WISCHMEIER und SMITH (1978) für nordamerikanische Bedingungen in der sogenannten „Universal Soil Loss Equation“ (USLE) modelliert. SCHWERTMANN et al. (1987) passten diesen empirischen Modellansatz für bayerische Verhältnisse an und entwickelten somit die „Allgemeine Bodenabtragungsgleichung“ (ABAG). Sie ermittelt den langjährigen, mittleren Bodenabtrag und setzt sich aus folgenden Faktoren zusammen:

$$\text{Gleichung 6} \quad A = R * K * L * S * C * P_{ABAG}$$

A = langjähriger, mittlerer Bodenabtrag [t/ha*a]

R = Regen- und Oberflächenabflußfaktor [kJ/m²*mm/h]

K = Bodenerodierbarkeitsfaktor [(t/ha)/(kJ/m²*mm/h)]

L = Hanglängenfaktor [-]

S = Hangneigungsfaktor [-]

C = Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor [-]

P_{ABAG} = Erosionsschutzfaktor [-]

3.4.4.1.1 Regen- und Oberflächenabflußfaktor R

Der R-Faktor beschreibt die Erosionswirksamkeit der Niederschläge. Damit Einzelniederschläge erosiv wirken können, müssen sie in Deutschland eine Niederschlagsmenge von mindestens 10 mm oder eine maximale 30-Minuten-Intensität von > 10 mm/h aufweisen. Der R-Wert eines Einzelniederschlags wird wie folgt bestimmt (MEYER 1996):

Gleichung 7 $R_e = E_e * I_{30}$

R_e = Einzelniederschlag

E_e = kinetische Energie [kJ/m²]

I_{30} = maximale 30-Minuten-Intensität

Die kinetische Energie berechnet sich folgendermaßen:

Gleichung 8 $E_e = (11.89 + 8.73 \log I_i) * N_i$

I_i = Intensität des Niederschlagsabschnitts i

N_i = Niederschlagsmenge des Abschnitts i

Der R-Faktor kann demnach als Summe der R-Werte der erosiv wirkenden Einzelniederschläge verstanden werden.

Gleichung 9 $R = E_e * I_{30}$

Für Bayern nimmt man folgenden Ansatz nach ROGLER & SCHWERTMANN (1981) an:

Gleichung 10 $R = -1,48 + 0,141 * N_s$

N_s = Sommerniederschläge vom 01.05. – 31.10. + 1/10
01.12. – 31.03.

Für das Untersuchungsgebiet betragen die Sommerniederschläge im 30ig jährigen Mittel 703 mm. Da in dem Gebiet regelmäßige Bodenabträge durch Schmelzwasser anzunehmen sind, wird der Niederschlagswert um 1/10 der Niederschläge vom 01.12. bis zum 31.03. erhöht. Für das Einzugsgebiet des Tenglinger Baches entspricht dies einem Wert von 31 mm.

$$R = -1,48 + 0,141 * (703 + 31)$$

$$R = 102,014 \text{ kJ/m}^2 * \text{mm/h}$$

Dieser Wert wurde anschließend für das gesamte Untersuchungsgebiet als R-Faktor verwendet und als Rasterdatensatz abgelegt.

3.4.4.1.2 Bodenerodierbarkeitsfaktor K

Die Erosionsanfälligkeit eines Bodens hängt von folgenden Faktoren ab (SCHWERTMANN et al., 1987):

- Gehalt an der Korngröße 0,002 - 0,1 mm
- Gehalt an der Korngröße 0,1 - 2,0 mm
- Gehalt an organischer Substanz
- Aggregatklasse
- Permeabilitätsklasse

Aufbauend auf den Informationen der Reichsbodenschätzung wurde ein Umsetzungsschlüssel (siehe Tabelle 16) zur Festlegung des K-Faktors aufgestellt.

Bodenart	Entstehung	Zustandsstufe		Feinsandreiche Formationen	Grünland
		≤ 4	≥ 5		
S	D, Al, V	0.1		0.2	0.2
Sl	D, Al, V	0.15		0.2	
IS	D, Al, V	0.2		0.25	0.3
	Lö	0.25			
	Vg	0.1			
SL	D, Al, V	0.3	0.25	0.35	
	Lö	0.35			
	Vg	0.15			
sL	D, Al	0.4		0.55	
	Lö	0.5			
	V	0.3			
	Vg	0.2			
L	D, Al	0.5		0.55	0.35
	Lö	0.55			
	V	0.4	0.35		
	Vg	0.25	0.2		
LT	D, Al	0.4	0.35		
	V	0.3	0.25		
	Vg	0.2	0.2		
T	D, Al	0.3			0.3
	V	0.25			
	Vg	0.15			

Tabelle 16: Zuordnung von K-Faktorwerten zu den Klassenbeschrieben der Reichsbodenschätzung (SCHWERTMANN et al. 1987)

Zur Bestimmung des K-Faktors wurden deshalb die Karten der Reichsbodenschätzung gescannt, georeferenziert und digitalisiert. Anschließend konnte der K-Faktor in Abhängigkeit der Nutzungsart, Bodenart, Entstehung und Zustandstufe den einzelnen Flächen zugeordnet werden. Bei dieser Vorgehensweise ist zu berücksichtigen, dass die resultierenden K-Faktoren für Einzelflächen z. T. mit Fehlern behaftet sind, was auch von der

verwendeten Rasterauflösung abhängt. Auf größeren Flächen gleicht sich dieser Fehler allerdings aus (HAIDER 1995). Für Grünland ist die beschriebene K-Faktor-Zuordnung insgesamt sehr unsicher. Der Vektor-Shape der Reichsbodenschätzung wurde im Anschluss an die Zuordnung der K-Faktoren wieder in ein Raster umgewandelt.

3.4.4.1.3 Hangneigungsfaktor S

Die Hangneigung ist der stärkste Faktor für die Erosion. Eine zunehmende Hangneigung bewirkt zwei Aspekte. Zum einen nimmt für das Regenwasser die Infiltrationszeit mit der zunehmenden Hangneigung ab. Zum anderen nehmen mit der zunehmenden Hangneigung die Fließgeschwindigkeit des Oberflächenabflusses und damit dessen Erosivität zu. Der S-Faktor ermittelt sich aus folgender Formel (HAIDER 1995):

$$\text{Gleichung 11 } S = 65,41 * \sin^2\theta + 4,56 * \sin\theta + 0,065$$

$$\theta = \text{Hangneigung in Grad}$$

Anhand der digitalen Geländemodelle wurden die Hangneigungen für das Untersuchungsgebiet berechnet. Anschließend erfolgte mit Hilfe einer so genannten Reklassifizierung die Zuordnung des S-Faktors zu den verschiedenen Neigungsklassen. Dabei wurde dieselbe Einteilung, welche für die Erstellung des Erosionsatlas entwickelt wurde, verwendet (siehe Tabelle 17).

Neigung (in Grad)	S
0 – 0.5	0.008
0.5 – 1	0.06
1 – 2	0.2
2 - 3	0.3
3 – 5	0.7
5 – 6	1.1
6 – 7	1.4
7 – 8	1.8
8 – 10	2.3
10 – 12	3.1
12 – 15	4.1
15 – 18	5.6
> 18	8.0

Tabelle 17: Einteilung der Hangneigungen zu S-Faktoren (AUERSWALD, SCHMIDT 1986)

Anhand der digitalen Geländemodelle wurde die Hangneigung berechnet. Anschließend wurde den jeweiligen Neigungskategorien der entsprechende S-Faktor mittels Reklassifizierung zugewiesen.

3.4.4.1.4 Hanglängenfaktor L

Der Faktor Hanglänge wird aus der erosiven Hanglänge errechnet, d. h. vom dem Punkt an dem der Oberflächenabfluss auftritt bis dem Punkt der Sedimentation bzw. Kanalisation. Sie wird als eine Verhältniszahl ermittelt, wobei der Abtrag eines Hanges beliebiger Länge in Relation zu dem Standardhang mit 22 m Länge gesetzt wird (AUERSWALD, SCHMIDT 1986).

$$\text{Gleichung 12 } L = (\lambda / 22.1)^m$$

λ = Hanglänge in m

m = Hanglängenexponent

In Tabelle 18 ist der verwendete Exponent für die Hanglänge aufgeführt. Er vergrößert sich mit zunehmender Hangneigung.

Hangneigung [%]	m
≤ 0.5	0.150
0.6 - 1.0	0.200
1.1 - 3.4	0.300
3.5 - 4.9	0.400
≥ 5.0	0.500

Tabelle 18: Hanglängenexponent in Abhängigkeit zur Hangneigungsklasse (SCHWERTMANN et al. 1987)

Aus den digitalen Geländemodellen wurden die Fließrichtung und anschließend die Fließlänge berechnet. Auch wenn die Fließlänge nicht die Hanglänge darstellt, wird sie oftmals als vereinfachte Variante herangezogen. Eine Bestimmung der erosiven Hanglänge ist nach derzeitigem Kenntnisstand nur durch zeitaufwendige Geländemessungen möglich.

3.4.4.1.5 Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor C

Der C-Faktor dient zur Bestimmung des Einflusses der Bewirtschaftung auf die Bodenerosion. WISCHMEIER und SMITH (1978) fordern hierfür die Kenntnis über die Fruchtfolge der vergangenen 22 Jahre. In der vorliegenden Arbeit wurde die Fruchtfolge gänzlich außer Acht gelassen, und den einzelnen Feldschlägen der beiden Landnutzungskartierungen von 1993 und 2001 folgende C-Faktoren zugewiesen:

Landnutzungsform	C-Faktor
Getreide (z. B. Roggen, Weizen, Gerste, Hafer)	0,08
Hackfrüchte (Kartoffel), Mais	0,4
Futterpflanzen	0,004
Grünland	0,004
Wald	0,004

Tabelle 19: C-Faktoren für Landnutzungsformen (AUERSWALD, SCHMIDT 1986)

Die Vektor-Datensätze der Landnutzungen wurden nachher mit dem C-Wert in Raster umgewandelt.

3.4.4.1.6 Erosionsschutzfaktor P_{ABAG}

Der P_{ABAG} -Faktor fließt als Maß für die Schutzwirkungen von Kontur- und Streifennutzung in die ABAG ein. Die Ermittlung dieser Nutzungen kann aus dem Orthophoto oder im Gelände getätigt werden. In Abhängigkeit der

Hangneigung kann anschließend den Flächen der jeweilige P_{ABAG} -Faktor zugeordnet werden. Da man im vorliegenden Projekt auf eine Erfassung der Schutzmaßnahmen verzichtete, wurde der Wert für das gesamte Untersuchungsgebiet auf 1 gesetzt. Damit wird angenommen, dass im Gebiet keine Maßnahmen zur Erosionsminderung getätigt wurden. Eine Reduktion der Erosion durch Kontur- und Streifennutzung wird damit ausgeschlossen.

3.4.4.1.7 Gesamtrechnung der ABAG

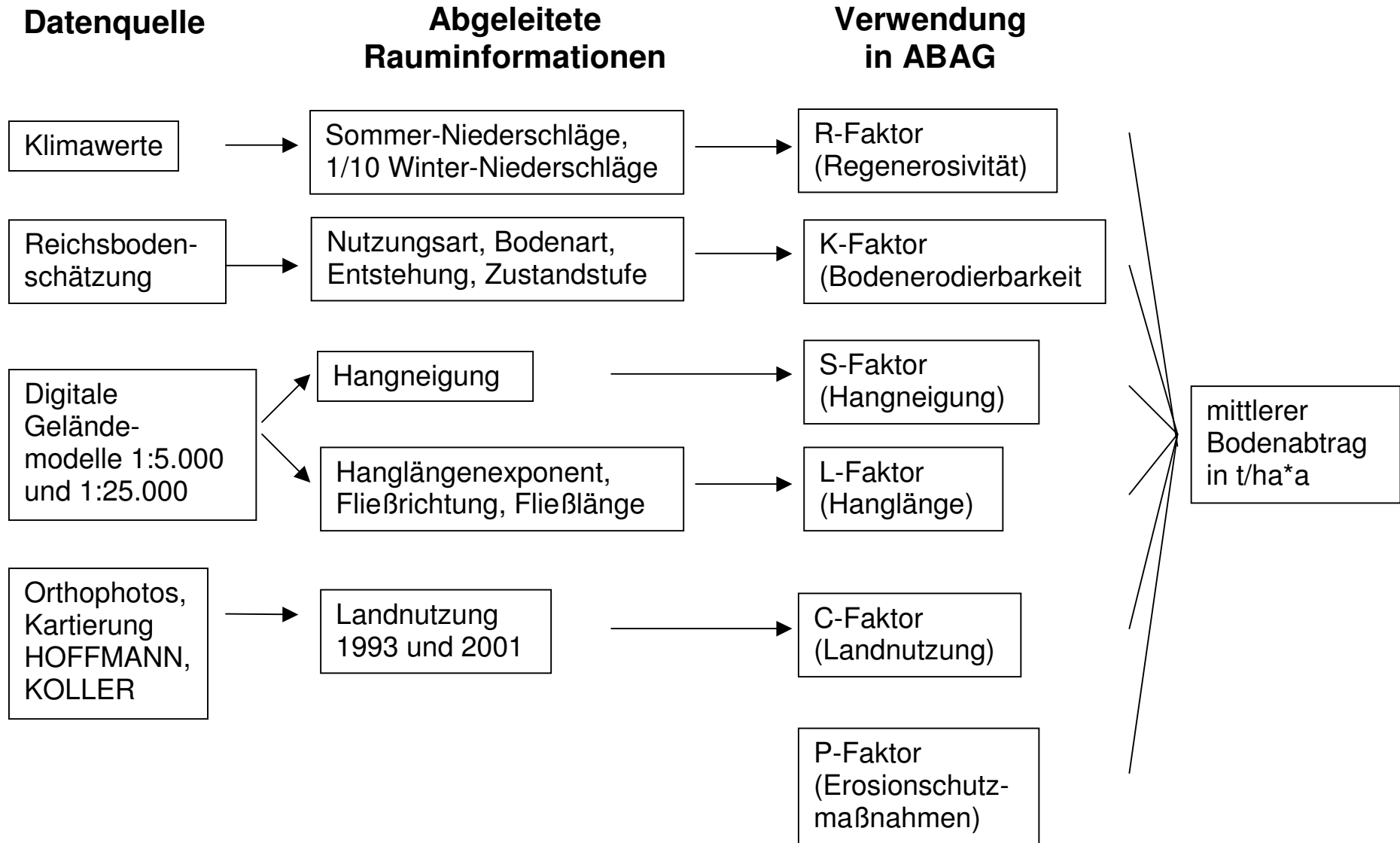
Anhand der ABAG wurden für die zwei zur Verfügung stehenden Landnutzungskartierungen von 1993 und 2001 der Bodenabtrag jeweils für das DGM 1:5.000 und 1:25.000 berechnet. Die Multiplikation der verschiedenen Faktoren erfolgte dabei im Rasterdatenformat. Da das Modell MOBINEG allerdings auf Vektordaten konzipiert wurde, musste eine automatische Umwandlung der Raster nach Vektoren durchgeführt werden. Hierfür wurde das Floating-Raster zunächst in ein Integer-Raster umgerechnet. Es entstanden dabei beträchtliche Rundungsfehler für die Flächen mit dem Wert 0. Deshalb wurden diese Flächen aus dem Floating-Raster zunächst selektiert und in ein separates Integer-Raster geschrieben. Dies wurde dann mit dem ersten Integer-Raster multipliziert, so dass im Resultat auch hier die Flächen den Wert 0 aufweisen. Dieses resultierende Integer-Raster wurde anschließend in folgende Klassen bzw. Erosionsstufen eingeteilt:

Mittlerer Bodenabtrag [t/ha*a]	Erosionsstufe in MOBINEG	N [kg/ha*a]	P [kg/ha*a]
0	0	0	0
1	1	2	1,066
4	2	8	4,264
8	3	16	8,528
15	4	30	15,990
30	5	60	31,980
60	6	120	63,960
100	7	200	106,600

Tabelle 20: Klasseneinteilung des Bodenabtrags und zugeordnete, erodierte Nährstoffmenge

In MOBINEG müssen diese eingeteilten Erosionsklassen mit den entsprechenden Nährstoffaustragen angegeben werden (siehe npladerosion in Abschnitt 3.3.1). Im Anschluss an die Reklassifizierung erfolgte die automatisierte Vektorisierung. Das unten abgebildete Schema zeigt den beschriebenen Berechnungsablauf der ABAG.

Ablaufdiagramm für die Allgemeine Bodenabtragungsgleichung (ABAG)



3.4.4.2 Ermittlung der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum

Für die Ermittlung der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum (nFKWe) werden die Informationen der Reichsbodenschätzung als Quelldaten verwendet. Hierfür mussten die Bodenarten, wie sie nach der Reichsbodenschätzung bestimmt wurden, in die neuere Definition umgewandelt werden. Der Unterschied zwischen beiden Varianten besteht darin, dass die Reichsbodenschätzung die Bodenart über den Tongehalt schätzt (siehe Tabelle 14). Die ARBEITSGRUPPE BODEN (1994) definiert die Bodenarten über das prozentuale Mischungsverhältnis der drei Korngrößen Ton, Schluff und Sand (siehe Abbildung 5).

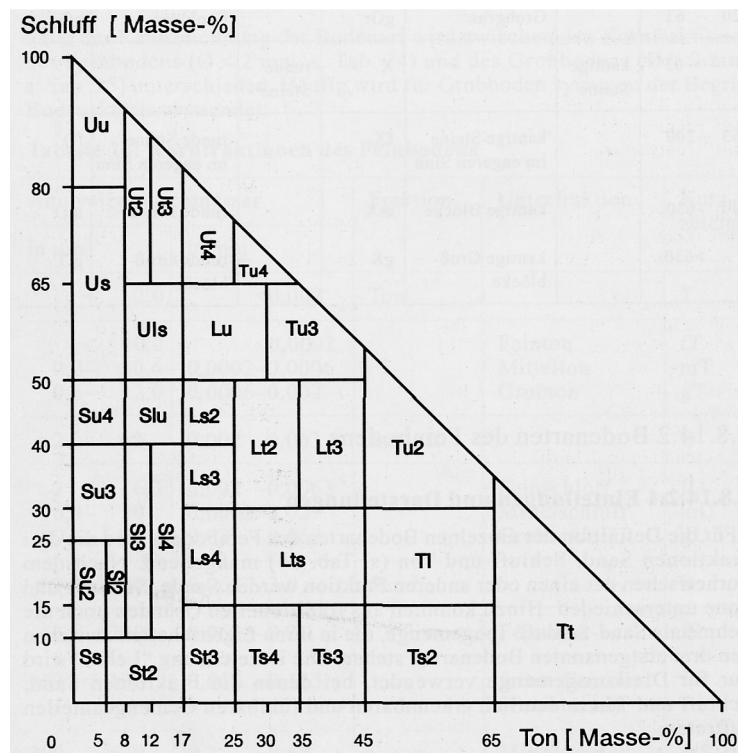


Abbildung 5: Diagramm der Bodenarten (ARBEITSGRUPPE BODEN 1994)

Nach Umwandlung der Bodenarten in die neue Deklaration konnte aus Abbildung 6 die nutzbare Feldkapazität (nFK) pro Dezimeter bestimmt werden. Da für das Untersuchungsgebiet keine Bodenprofile vorlagen, wurde für Böden ohne Grundwassereinfluss eine Mächtigkeit von 9 dm und für Böden mit Grundwassereinfluss von 3 dm angenommen. Die Multiplikation der ermittelten nFK mit der Mächtigkeit ergibt den nFKWe.

Anschließend erfolgt die Einteilung der Böden in die verschiedenen Klassen, welche fest in MOBINEG implementiert sind (siehe Tabelle 4). Tabelle 21 zeigt die ermittelten Eingabedaten.

Bodenart*	Luftkapazität Poren >50 µm (pF < 1,8)			nutzbare Feldkapazität Poren 0,2–50 µm (pF 4,2 bis 1,8)			Feldkapazität Poren < 50 µm (pF ≥ 1,8)			
	Kurzzeichen	Ld1–2	Ld3	Ld4–5	Ld1–2	Ld3	Ld4–5	Ld1–2	Ld3	Ld4–5
Ss		22,5	19,5	–	12	10,5	–	18,5	16,5	–
SI2		16,5	12,5	9	19	17,5	16	26	24	20,5
SI3		12,5	11	7	21,5	18	15,5	30,5	26	23,5
SI4		12	10	5,5	20,5	17	14,5	33	28,5	25,5
Slu		8,5	6,5	5,5	27,5	21	17	37,5	31,5	28,5
St2		18,5	15,5	11	18,5	14	13,5	26	23	21,5
St3		–	9	7	–	15,5	12	–	29,5	26
Su2		17	13,5	11	17,5	16	13	24	21,5	18,5
Su3		11,5	9	5,5	23	20,5	18	32	28	25,5
Su4		9,5	7,5	4,5	26,5	22	20	35	29	27
Ls2		9,5	7	6	21	15,5	13,5	40,5	33,5	30
Ls3		9	6,5	4,5	20	15	13	42	33,5	29
Ls4		10,5	8	4,5	21	16	12,5	40	31,5	28
Lt2		8	5	3,5	17,5	15	11	47,5	39	33,5
Lt3		7	3,5	2,5	17,5	14	10	50,5	43,5	37,5
Lts		5	4,5	3,5	17,5	13,5	10,5	48,5	42	37
Lu		7,5	6	4	21	17	14,5	43,5	36,5	33,5
Uu		6,5	3	–	28,5	26	–	39,5	36,5	–
Uls		8,5	6,5	3,5	26	22	19,5	39,5	33	30,5
Us		8	5	–	27	25,5	–	39	33	–
Ut2		9	4	2	27	25	21	39	36	32
Ut3		9,5	4,5	2	25,5	23,5	21,5	38	36	33
Ut4		9	5,5	2,5	22	20,5	18	39	36	33,5
Tt		–	2,5	1,5	–	15	11	–	56	47,5
TI		5	3,5	2	18,5	14,5	11	56,5	50,5	43,5
Tu2		4	3	2	21,5	14,5	11	58	49	42,5
Tu3		6	4,5	3,5	21	15,5	11,5	52	41,5	36
Tu4		7	5,5	4	19,5	16	12	45,5	37	32,5
Sande										
gSfs		24	18,5	–	17	15,5	–	20	18,5	–
mS		28	25	–	9	7,5	–	13,5	11	–
mSgs		26	23,5	–	11	8	–	15	11	–
mSfs		23	19,5	–	14,5	12,5	–	19	16	–
fS		17,5	10	–	21,5	20	–	25,5	24	–
fSms		22	16	–	17,5	16,5	–	21	19,5	–

Abbildung 6: Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität und Feldkapazität in Abhängigkeit der Bodenarten (ARBEITSGRUPPE BODEN 1994)

Bodenart RBS	Bodenart NEU	Mächtigkeit in dm	nFkWe / dm	nFkWe der einzelnen Böden	nFKWe-Klasse in MOBINEG
S	Ss	9	11	99	3
IS	SI4	9	19	171	4
L	Lts	9	16	144	4
T	Tt	9	15	135	3
Mo		3	60	180	4
LMO		3	60	180	4
SL	Ls3	9	18	162	4
sL	Lts	9	16	144	4
LT	TI	9	17	153	4

Tabelle 21: Ermittelte nFKWe für die verschiedenen Bodenarten und Klasseneinteilung in MOBINEG

3.4.5 Digitale Geländemodelle

Für die Berechnung der Fließrichtung und -länge sowie der Hangneigung im Zuge der Ermittlung der Bodenerosion wurden digitale Geländemodelle (DGM) benötigt. BILL und ZEHNER (2002) definieren digitale Geländemodelle als „die digitale Darstellung der Geländeoberfläche durch räumliche Koordinatentripel einer Menge von Flächenpunkten, z.B. in Form von Dreiecksnetzen oder Gittern“. Wie Eingangs beschrieben, sollten dabei zwei DGMs mit unterschiedlichen Bodenauflösungen verwendet werden.

3.4.5.1 DGM 1:25.000

Das DGM im Maßstab 1:25.000 stammt vom Bayerischen Landesvermessungsamt und wurde aus ATKIS-Punkt Datensätzen interpoliert. Die Rasterauflösung liegt bei 50 x 50 m und man nimmt eine Genauigkeit der Höhenwerte von ca. 2-3 m an.

3.4.5.2 DGM 1:5.000

Im Vorfeld der Thesis wurden die Höhenlinienkarten im Maßstab 1:5.000 des Bayerischen Landesvermessungsamtes digitalisiert. Mit der Funktion TopoGrid von ArcInfo konnten die digitalen Höhenlinien in eine Geländeoberfläche umgewandelt werden, so dass letztendlich ein DGM in einer Bodenauflösung von 5 x 5 m vorlag.

3.4.6 Klimadaten

Die für das Untersuchungsgebiet verwendeten Klimadaten (siehe Abschnitt 2.2) stammen vom Deutschen Wetterdienst. Das 30ig jährige Mittel der Niederschläge, welches zur Berechnung der Nährstoffausträge benötigt wird (siehe Datenbank-Entität climate), wurde im Zeitraum zwischen 1971 und 2000 gemessen.

Monat	Niederschläge in mm
Januar	74
Februar	64
März	87
April	89
Mai	110
Juni	142
Juli	147
August	136
September	91
Oktober	77
November	91
Dezember	87
Summe	1195

Tabelle 22: 30ig jähriges Mittel der Niederschläge

3.4.7 Grundwasserneubildung

Der Wert für die mittlere Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet des Tenglinger Baches wird bei KÖPF & ROTHASCHER (1980) für den Zeitraum von 1931 bis 1960 berechnet und beträgt 406 mm/a.

3.4.8 Kläranlagen

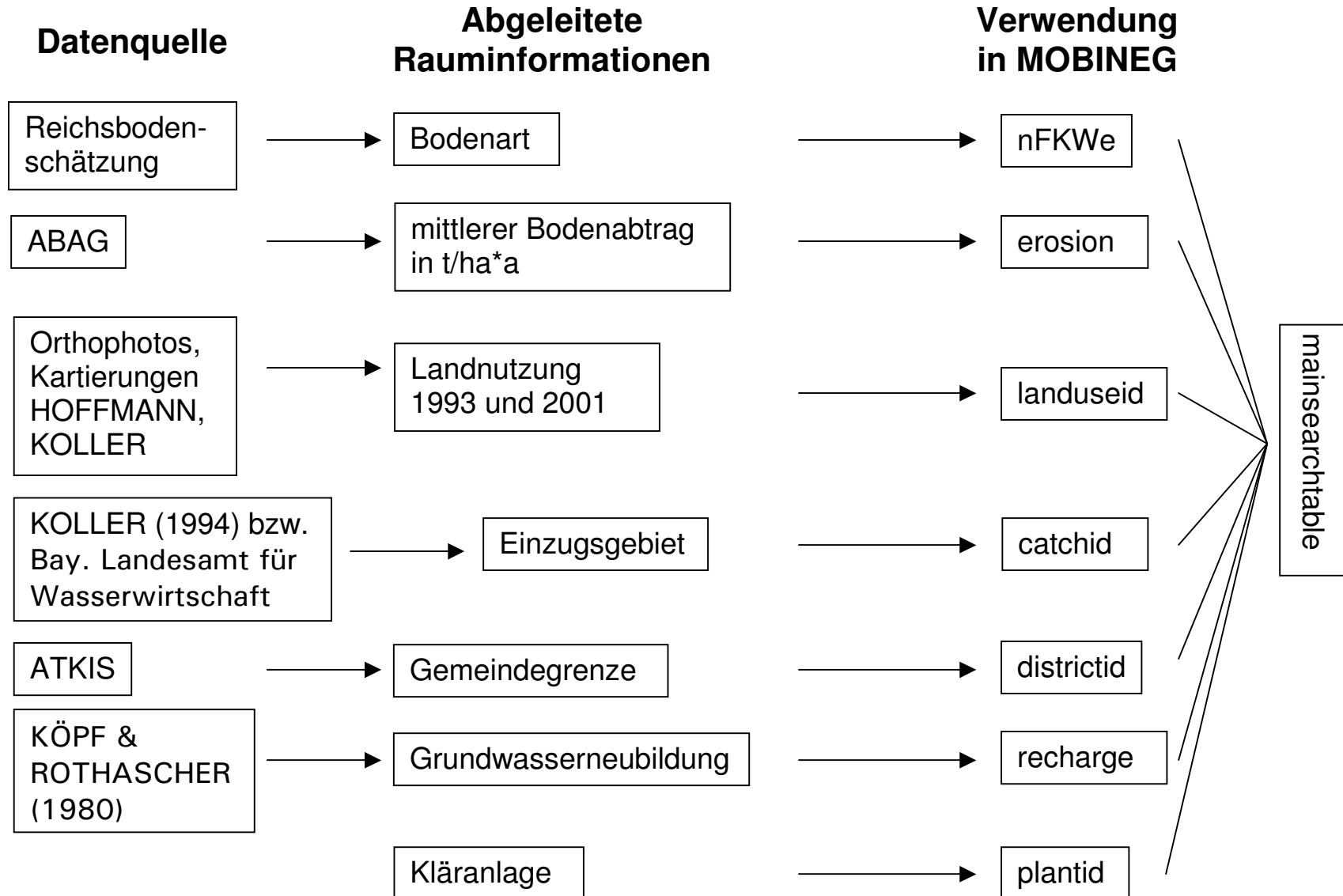
Im gesamten Untersuchungsgebiet gibt es keine Kläranlagen. Diese Information ist für MOBINEG wichtig (siehe Tabelle plants), da ansonsten Informationen wie etwa Jahresabflussmenge und Wasserqualität aufgeführt werde müsste.

3.4.9 Import der räumlichen Daten nach MOBINEG

Durch Verschneiden der räumlichen Eingangsdaten wird ein Shape angelegt, welche die benötigten Attribute zu den einzelnen Flächen bereithält. Die Informationen dieses Shapes werden über die ArcView-Erweiterung von MOBINEG in die „mainsearchtable“ geschrieben, wo sie im Folgenden für die eigentliche Berechnung der Nährstoffausträge zur Verfügung stehen. Wie bei der Berechnung der Bodenerosion wurde dieser Vorgang für die beiden Landnutzungskartierungen von 1993 und 2001 jeweils mit dem DGM 1:5.000 und DGM 1:25.000 vorgenommen, so dass folglich vier verschiedene Datenbanken zur Modellierung des

Nährstoffaustrages herangezogen werden konnten. Das unten abgebildete Schema verdeutlicht nochmals den Arbeitsablauf.

Ablaufdiagramm für MOBINEG (mainsearchtable)



4 Ergebnisse

4.1 *Gemeinde und Einzugsgebiet*

Zwischen den beiden verwendeten Einzugsgebieten gibt es im Hinblick auf die Fläche der Gemeinde, sowohl absolut als auch prozentual, deutliche Übereinstimmungen. Die Größe der Einzugsgebiete unterscheidet sich aufgrund der divergierenden Abgrenzungen v. a. im Süden des Untersuchungsgebietes (siehe Anlage 2). Aus diesem Grund weist die Gemeinde Waging eine größere Fläche an dem Einzugsgebiet des Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft auf.

Gemeinde	Gesamtfläche (km ²)	Gemeindefläche im Einzugsgebiet KOLLER (km ²)	Anteil an Einzugsgebiet (%)	Gemeindefläche im Einzugsgebiet Bay. Landesamtes für Wasserwirtschaft (km ²)	Anteil an Einzugsgebiet (%)
Palling	53,86	2,73	18,75	2,53	16,00
Tittmoning	72,04	0,22	1,51	0,11	0,70
Waging	48,86	0,72	4,95	1,94	12,27
Taching a. See	26,76	10,89	74,79	11,23	71,03
Summe		14,56		15,81	

Tabelle 23: Absoluter und prozentualer Flächenanteil der Gemeinden an den Einzugsgebieten

4.2 *Landnutzungskartierungen*

4.2.1 Landnutzungskartierung 1993

Die Ergebnisse der von KOLLER (1994) durchgeführten Landnutzungskartierung sind in Tabelle 24 in den verwendeten MOBINEG-Kategorien aufgeführt. Der prozentuale Flächenanteil der einzelnen Kategorien wird in Abbildung 7 dargestellt. Eine graphische Visualisierung der Ergebnisse bezogen auf das Untersuchungsgebietes befindet sich in Anhang 2-2.

Landuse-ID	MOBINEG-Kategorie	Fläche in ha	Fläche in %
112	suburb	76,6827	5,3
122	paved area	24,4831	1,7
211	arable land	242,2050	16,6
231	pastures	728,9440	50,0
312	forest	383,3001	26,3
512	water	1,0309	0,1
Summe		1456,6458	100,0

Tabelle 24: Absolute und prozentuale Anteile der Landnutzungskartierung 1993

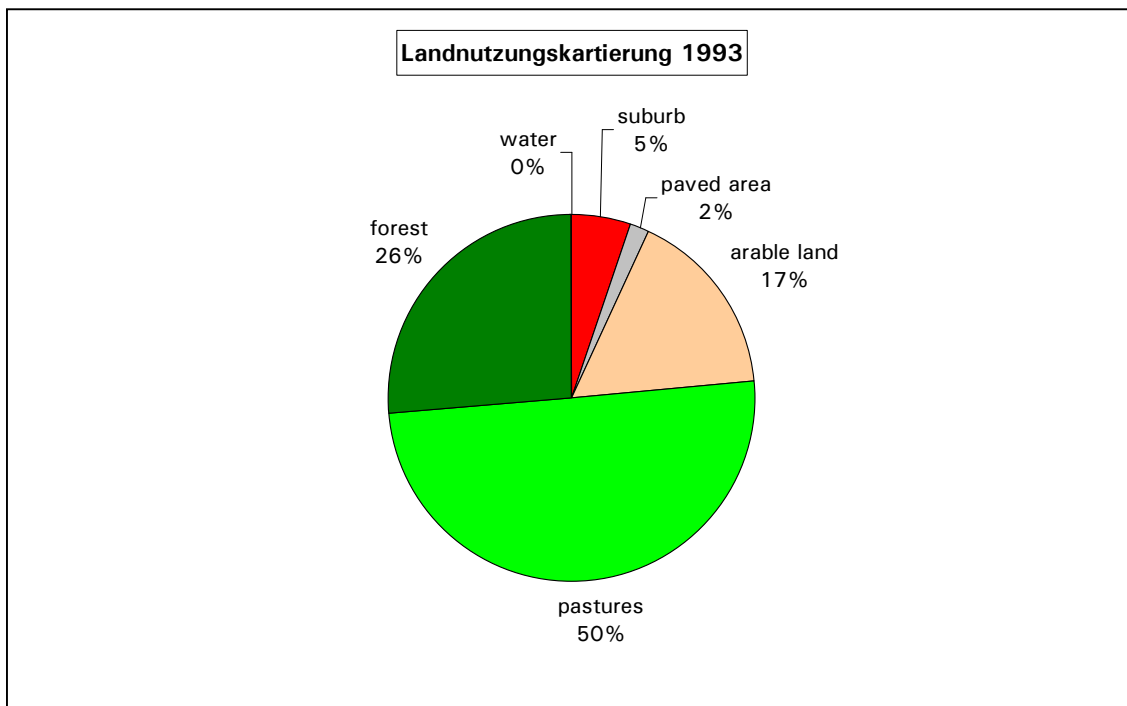


Abbildung 7: Prozentuale Flächenanteile der einzelnen Nutzungskategorien

4.2.2 Landnutzungskartierung 2001

In Tabelle 25 und Abbildung 8 sind die Ergebnisse der von der Limnologischen Station durchgeführten Nutzungskartierung im Jahr 2001 in den MOBINEG-Kategorien dargestellt. Eine Karte der Kartierung befindet sich im Anhang 2-3.

Landuse-ID	MOBINEG-Kategorie	Fläche in ha	Fläche in %
112	suburb	61,1564	3,9
122	paved area	25,4957	1,6
142	green urban areas	1,6690	0,1
211	arable land	267,6592	16,9
231	pastures	777,8567	49,2
312	forest	446,1379	28,2
321	pastures	0,5324	0,0
512	water	0,7562	0,0
Summe		1581,2634	100,0

Tabelle 25: Absolute und prozentuale Anteile der Landnutzungskartierung 2001

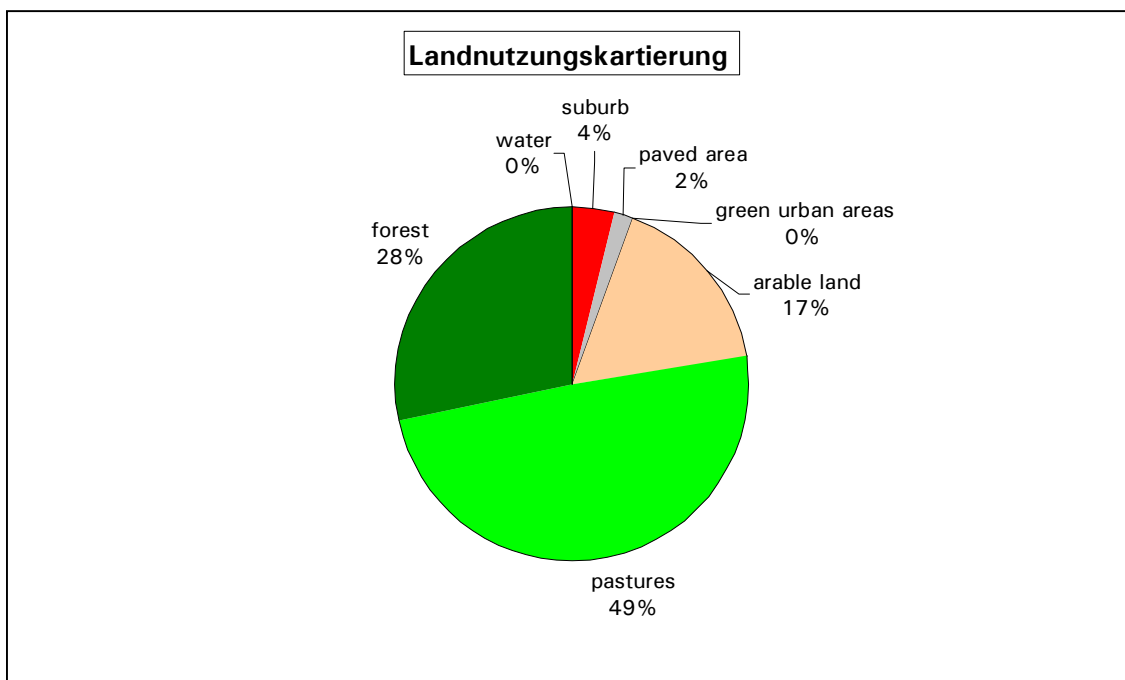


Abbildung 8: Prozentuale Flächenanteile der einzelnen Nutzungskategorien

4.2.3 Veränderungen der Landnutzung

Im Anschluss an die Digitalisierung der beiden Kartierungen wurde anhand einer Verschneidung der beiden Datensätze die Veränderungen der Landnutzung für die von beiden Einzugsgebieten bedeckte Fläche analysiert. Zur Auswertung wurden dabei die Flächen herangezogen, für die 2001 eine unterschiedliche Landuse-ID als 1993 vorlagen. Damit Splitterpolygone die Analyse nicht verfälschten, wurden nur Flächen größer 100 m² berücksichtigt. In Tabelle 26 sind die Resultate zu erkennen. Die auffälligsten Veränderungen sind kursiv dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Erfassungsmethoden der beiden Ausgangsdatsätze muss allerdings davon

ausgegangen werden, dass diese Ergebnisse eher tendenzielle Aspekte widerspiegeln.

Landuse-ID 2001	Landuse-ID 1993	Fläche (ha)	Fläche (%)
112	122	0,09	0,05
112	211	0,73	0,37
112	231	6,48	3,26
112	312	0,13	0,07
122	112	0,24	0,12
122	211	0,01	0,01
122	231	0,28	0,14
122	312	0,02	0,01
142	112	1,67	0,84
211	112	1,17	0,59
211	231	85,62	43,01
211	312	0,19	0,09
231	112	17,82	8,95
231	122	0,22	0,11
231	211	59,95	30,12
231	312	4,06	2,04
231	512	0,58	0,29
312	112	3,04	1,52
312	122	0,46	0,23
312	211	0,60	0,30
312	231	14,79	7,43
312	512	0,17	0,08
321	211	0,05	0,02
512	231	0,67	0,34
Summe		199,05	100,00

Tabelle 26: Veränderungen der Landnutzung

4.3 Berechnung der Hangneigung

In Anhang 2-12 und 2-13 sind die ermittelten Hangneigungen für die beiden Geländemodelle dargestellt. Abbildung 9 zeigt die prozentuale Flächenanteile der Hangneigungsklassen, wie sie in Tabelle 17 vorgegeben werden. Bei der Ermittlung der Hangneigung im Untersuchungsgebiet zeigt sich, dass unter Verwendung des DGM 1:25.000 die extremeren Hangneigungen geglättet werden. So ist die maximale Hangneigung bei dem DGM 1:25.000 17° und bei dem DGM 1:5.000 48°.

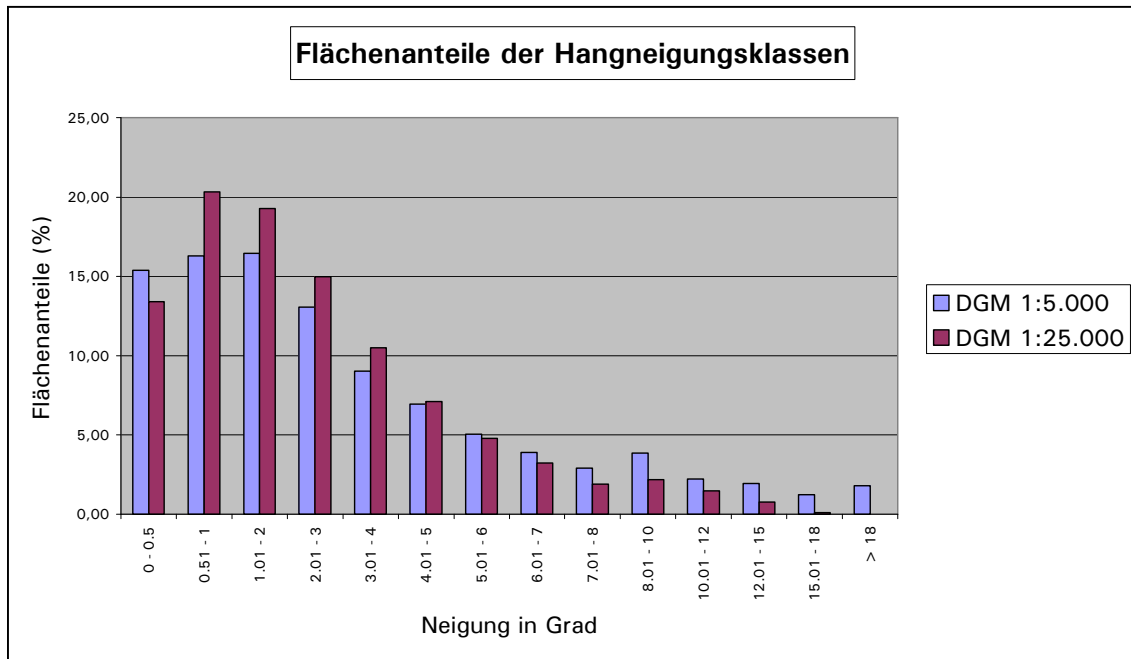


Abbildung 9: Flächenanteile der Hangneigungsklassen der beiden DGM

Zur Analyse der Änderungen der Landnutzung in Abhängigkeit der Hangneigung wurden die in Abschnitt 4.2.3 beschriebenen Flächen mit der Neigung, welches aus dem DGM 1:25.000 abgeleitet und in ein Shape konvertiert wurde, verschnitten. Zur Auswertung wurden die Flächen mit einer Hangneigung von zunächst größer 5 und anschließend größer 10 Grad ausgewählt. In Tabelle 27 werden die auffälligsten Veränderungen aufgeführt. Es zeigt sich zum einen, dass mit zunehmender Hangneigung die Veränderung der Landnutzung mit Ackerflächen (211) an Bedeutung verliert. Dies dürfte an der Tatsache liegen, dass Ackerbau sowieso auf stark geneigten Hängen tendenziell abnimmt. Zum anderen zeigt sich, dass die Veränderungen mit Waldflächen (312) mit Zunahme der Hangneigung prozentual steigen. Es kann außerdem festgestellt werden, dass auf Hängen mit Neigungen größer 5 Grad im Vergleich zu 1993 im Jahr 2001 die Ackerflächen zugunsten der Wiesen (231) und Wiesen zugunsten von Waldflächen abgenommen haben. Dieser Trend ist im Hinblick auf die Reduzierung der Bodenerosion positiv zu beurteilen.

Kartierung		Hangneigung > 10°		Hangneigung > 5°	
Landuse-ID 2001	Landuse-ID 1993	Fläche (ha)	Fläche (%)	Fläche (ha)	Fläche (%)
112	231	0,09	3,19	1,00	3,20
211	231	0,63	21,52	11,27	36,12
231	112	0,14	4,87	1,13	3,63
231	211	0,04	1,46	8,81	28,25
231	312	0,32	11,00	2,56	8,21
312	231	1,56	53,09	4,99	15,98
Gesamt		2,94	95,14	31,19	95,39

Tabelle 27: Änderungen der Landnutzungskartierung in Abhängigkeit der Hangneigung

4.4 Berechnung der Bodenerosion

Für die beiden Landnutzungskartierungen von 1993 und 2001 wurde jeweils auf Basis der digitalen Geländemodelle in den Maßstäben 1:5.000 und 1:25.000 die Bodenerosion anhand der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung ermittelt. Die Berechnung erfolgte im Raster-Datenformat. Zur Verwendung in MOBINEG wurden die resultierenden Raster anschließend in Polygon-Shapes umgewandelt. Diese Vektor-Datensätze sind im Anhang graphisch dargestellt. In Tabelle 28 sind die absoluten und prozentualen Flächenanteile einer Erosionsklasse an den verwendeten Einzugsgebieten aufgeführt.

Erosions- klasse	2001 DGM 1:5.000		2001 DGM 1:25.000		1993 DGM 1:5.000		1993 DGM 1:25.000	
	in ha	in %	in ha	in %	in ha	in %	in ha	in %
0	653,09	41,31	922,95	58,44	615,19	42,24	873,89	60,06
1	787,33	49,80	538,77	34,11	691,18	47,45	461,90	31,75
4	59,39	3,76	36,15	2,29	56,89	3,91	29,04	2,00
8	24,86	1,57	31,62	2,00	26,71	1,83	32,06	2,20
15	31,78	2,01	22,39	1,42	35,85	2,46	22,73	1,56
30	17,06	1,08	21,26	1,35	20,19	1,39	20,99	1,44
60	6,38	0,40	5,17	0,33	9,05	0,62	13,14	0,90
100	1,21	0,08	1,00	0,06	1,49	0,10	1,24	0,09
Summe	1581,11		1579,30		1456,55		1454,99	

Tabelle 28: Flächenanteile einer Erosionsklasse am Einzugsgebiet

Durch den Umwandlungsvorgang von Raster zu Polygonen weicht die Gesamtgröße der Einzugsgebiete v. a. bei der Berechnung mit dem Geländemodell im Maßstab 1:25.000 von der ursprüngliche Größe leicht ab. Tabelle 29 zeigt den absoluten und prozentualen Anteil einer Erosionsklasse an der Gesamterosion im Einzugsgebiet.

Erosions- klasse	2001 DGM 1:5.000		2001 DGM 1:25.000		1993 DGM 1:5.000		1993 DGM 1:25.000	
	in t/a	in %	in t/a	in %	in t/a	in %	in t/a	in %
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	787,33	28,99	538,77	23,22	691,18	23,29	461,90	17,00
4	237,58	8,75	144,58	6,23	227,57	7,67	116,17	4,27
8	198,91	7,32	252,94	10,90	213,65	7,20	256,51	9,44
15	476,72	17,55	335,85	14,47	537,68	18,11	340,95	12,55
30	511,82	18,84	637,90	27,49	605,77	20,41	629,75	23,17
60	382,85	14,09	310,27	13,37	543,21	18,30	788,21	29,00
100	121,11	4,46	100,00	4,31	149,11	5,02	124,14	4,57
Summe	2716,31		2320,31		2968,17		2717,63	

Tabelle 29: Absoluter und prozentualer Anteil einer Erosionsklasse an der Gesamterosion im Einzugsgebiet

Für beide Landnutzungskartierungen zeigt sich, dass der durchschnittliche Bodenabtrag im jeweiligen Einzugsgebiet für das Geländemodell im Maßstab 1:5.000 jeweils höher ist als bei dem Geländemodell im Maßstab 1:25.000 (siehe Tabelle 30). Außerdem macht sich der Effekt der veränderten Landnutzung auf Hängen mit Neigungen größer 5 Grad, wie in Abschnitt 4.3 beschrieben, in geringerem Bodenabtrag für das Jahr 2001 bemerkbar.

	2001 DGM 1:5.000	2001 DGM 1:25.000	1993 DGM 1:5.000	1993 DGM 1:25.000
<i>Gesamter Bodenabtrag im Einzugsgebiet [t/a]</i>	2716,31	2320,31	2968,17	2717,63
<i>Fläche des Einzugs- gebiets [ha]</i>	1581,11	1579,30	1456,55	1454,99
<i>Durchschnittlicher Bodenabtrag [t/ha*a]</i>	1,72	1,47	2,04	1,87

Tabelle 30: Durchschnittlicher Bodenabtrag für die berechneten Bodenerosionen

In Abbildung 10 kann man noch einen weiteren Unterschied zwischen den Berechnungen mit dem DGM 1:5.000 und 1:25.000 erkennen. So sind die unteren Erosionsklassen wie 1 und 4 bei den Ergebnissen mit dem DGM 1:5.000 prozentual wesentlich stärker an der Gesamterosion beteiligt als bei den Ergebnissen mit dem DGM 1:25.000. Für die Erosionsklassen 30 und 60 kehrt sich dieser Trend dahingegen um.

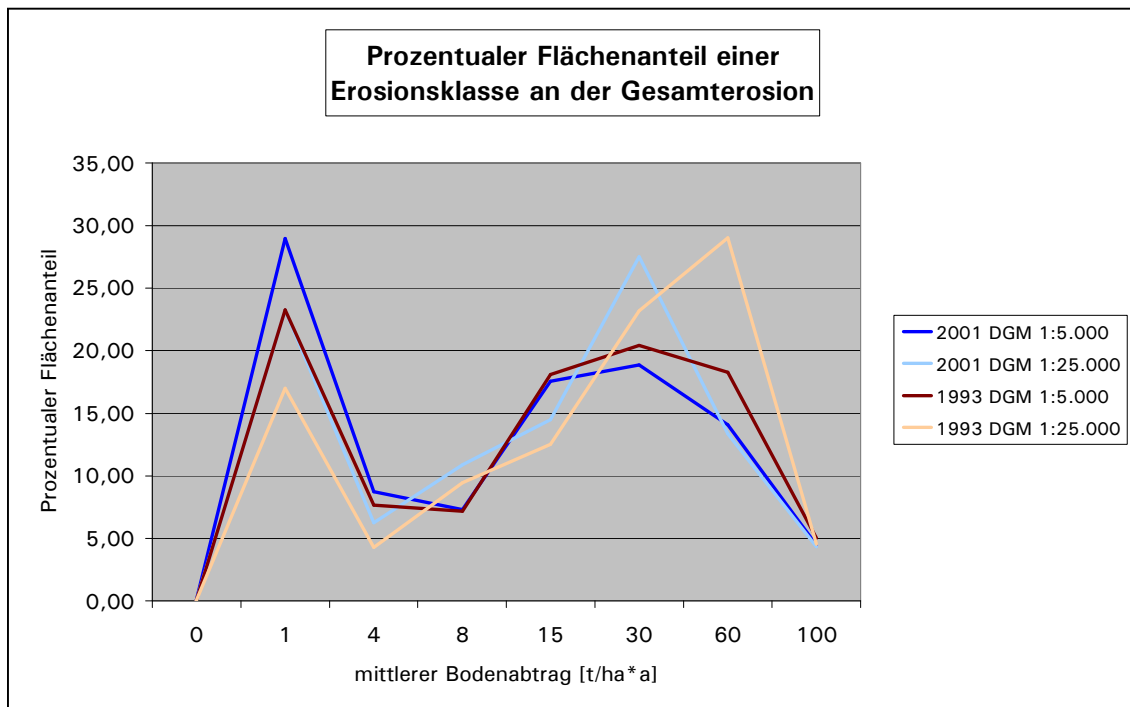


Abbildung 10: Graphische Darstellung des prozentualen Flächenanteils einer Erosionsklasse an der Gesamterosion

Bei den Ergebnissen fällt auf, dass die Anzahl der Polygone bei der Verwendung des DGM 1:5.000 um ein Vielfaches im Vergleich zur Verwendung des DGM 1:25.000 steigt (siehe Abbildung 11). Für die Shapes auf Basis des DGM 1:5.000 fällt die Polygonanzahl von der Erosionsklasse 0 auf 1 deutlich ab. Die Fläche, welche von der Erosionsklasse repräsentiert wird, steigt jedoch an (siehe Abbildung 12). Bei den Shapes auf Basis des DGM 1:25.000 ist zunächst ein umgekehrter Trend zu beobachten: die Polygonanzahl steigt, wobei der repräsentierte Flächenanteil gleichzeitig fällt. Ab dem Klassensprung 1 auf 4 gleichen sich die Shapes der beiden verwendeten Geländemodelle in ihrem Trend an, denn sowohl der Anteil an der Polygonanzahl sinkt, als auch deren Flächenanteil.

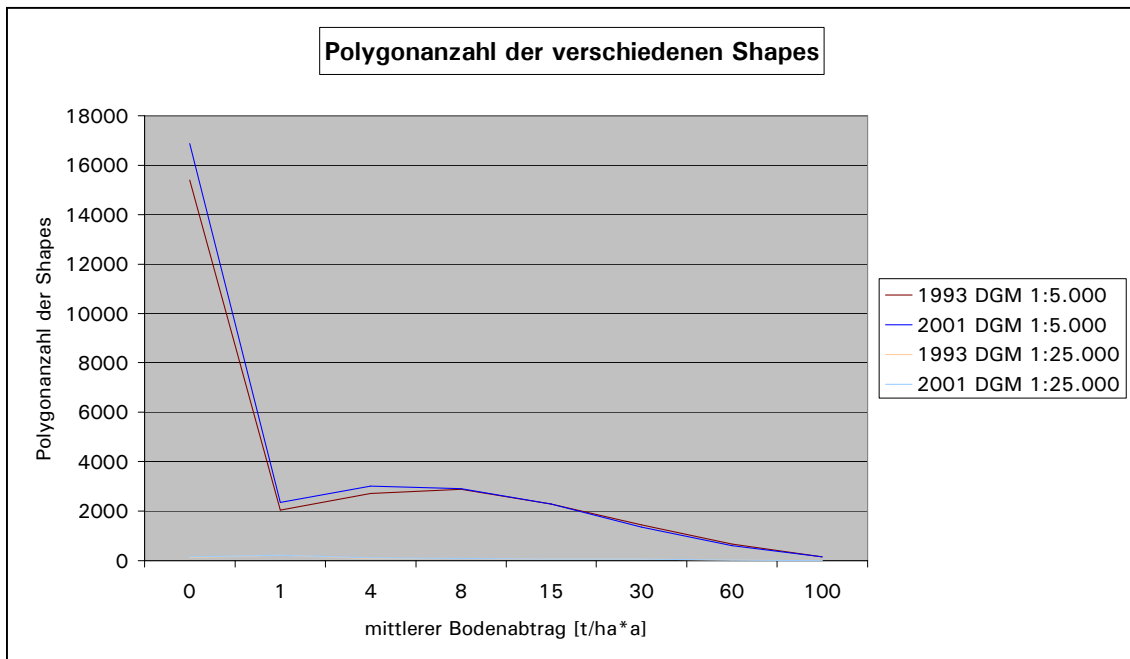


Abbildung 11: Anzahl der Polygone in Abhängigkeit der verwendeten Datengrundlage

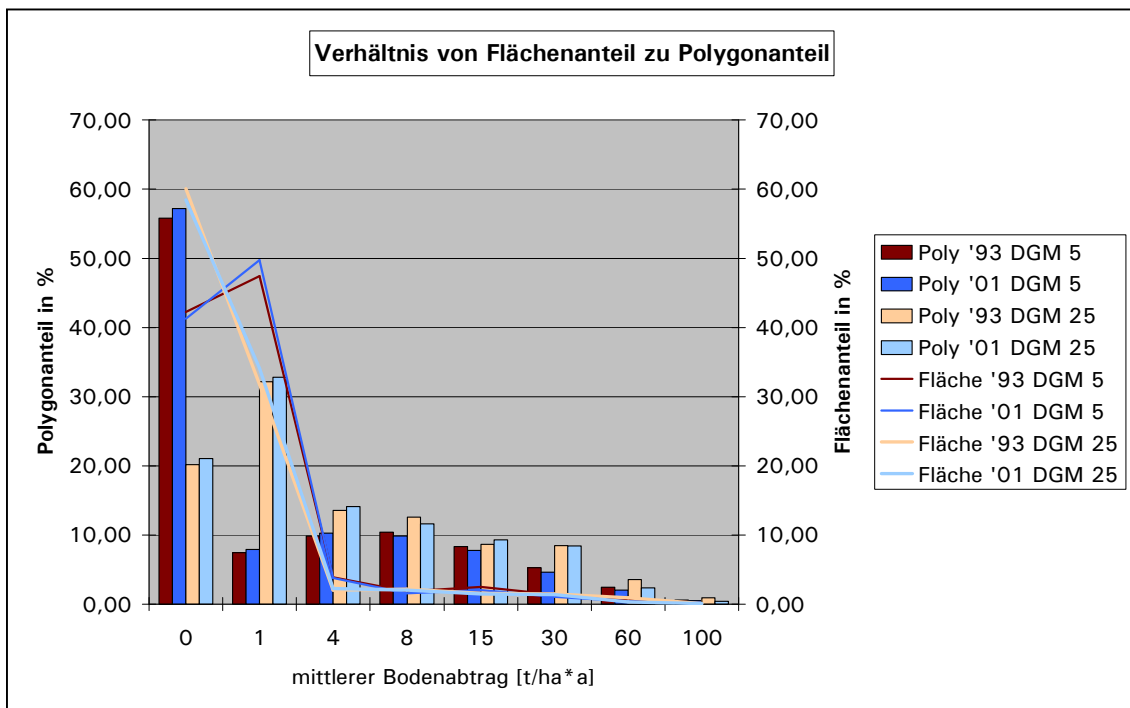


Abbildung 12: Verhältnis zwischen prozentualen Anteil einer Erosionsklasse an der Polygonanzahl und dem repräsentiertem Flächenanteil

4.5 Berechnung des Nährstoffaustrags

Das Verschneiden der Werte der Bodenerosion mit den anderen benötigten räumlichen Eingangsdaten liefert ein finales Shape, welches zur Berechnung des Nährstoffaustrags im Untersuchungsgebiet verwendet wird. Für die vorliegende Arbeit wurden für die beiden Landnutzungskartierungen 1993 und 2001 jeweils ein Shape für das DGM 1:5.000 und 1:25.000 ermittelt. Somit lagen vier Datensätze für den Export in die MOBINEG-Datenbank vor. Tabelle 31 zeigt, dass sich die Polygonanzahl im Anschluss an den Verschneidungsvorgang nochmals beträchtlich erhöht hat. Die Shapes auf Basis des DGM 1:5.000 haben aufgrund ihrer deutlich höheren Polygonanzahl auch eine geringere durchschnittliche Flächengröße als die Shapes, denen das DGM 1:25.000 zu Grunde liegt.

Shape-File	Polygonanzahl	durchschnittliche Flächengröße [m ²]
1993 DGM 1:5.000	46147	315,47
2001 DGM 1:5.000	51465	307,10
1993 DGM 1:25.000	2152	6723,78
2001 DGM 1:25.000	3514	4462,63

Tabelle 31: Polygonanzahl und durchschnittliche Flächen-
größe der finalen Shapes

Im Anschluss an den Export dieser Shapes erfolgte die Ermittlung des Nährstoffaustrags anhand der erläuterten Berechnungsmethoden. In Tabelle 32 sind die Ergebnisse der MOBINEG-Berechnung aufgeführt.

Ergebnisse	1993 DGM 1:5.000	1993 DGM 1:25.000	2001 DGM 1:5.000	2001 DGM 1:25.000
<i>Berechnung des N-Eintrags</i>				
Von Acker über Zwischenabfluss [t/a]	3,03	3,01	3,38	3,36
Von Acker über Drainage [t/a]	1,81	1,79	2,01	2,00
Von Acker über Grundwasserabfluss [t/a]	2,42	2,40	2,70	2,68
Von Grünland über Drainage [t/a]	1,09	1,09	1,17	1,16
Von Grünland über Zwischenabfluss [t/a]	4,19	4,16	4,47	4,44
Von Grünland über Grundwasserabfluss [t/a]	2,64	2,63	2,82	2,80
Von Wald über Zwischenabfluss [t/a]	1,15	1,14	1,34	1,33
Von Wald über Grundwasserabfluss [t/a]	0,57	0,57	0,67	0,66
Von Vorstadt über Zwischenabfluss [t/a]	0,09	0,09	0,07	0,07
Von Vorstadt über Grundwasserabfluss [t/a]	0,08	0,08	0,06	0,06
<i>Berechnung des P-Eintrags</i>				
Von Acker über Drainage [t/a]	0,00	0,00	0,00	0,00
Von Acker über Zwischenabfluss [t/a]	0,00	0,00	0,00	0,00
Von Acker über Grundwasserabfluss [t/a]	0,00	0,00	0,00	0,00
Von Grünland über Drainage [t/a]	0,01	0,01	0,01	0,01
Von Grünland über Zwischenabfluss [t/a]	0,04	0,04	0,05	0,05
Von Grünland über Grundwasserabfluss [t/a]	0,03	0,03	0,03	0,03
Von Wald über Zwischenabfluss [t/a]	0,01	0,01	0,01	0,01
Von Wald über Grundwasserabfluss [t/a]	0,00	0,00	0,01	0,01
Von Vorstadt über Zwischenabfluss [t/a]	0,00	0,00	0,00	0,00
Von Vorstadt über Grundwasserabfluss [t/a]	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Berechnung der Erosion</i>				
N-Eintrag durch Erosion [t/a]	2,31	1,97	1,99	1,56
P-Eintrag durch Erosion [t/a]	1,23	1,05	1,06	0,83
<i>Berechnung des Abflusses</i>				
Mittlerer Abfluss [m ³ /s]	0,21	0,21	0,23	0,22
Basisabfluss [m ³ /s]	0,09	0,09	0,10	0,10
<i>Berechnung der Direkteinträge</i>				
N durch atmosphärische Deposition [t/a]	0,01	0,01	0,01	0,01
P durch atmosphärische Deposition [t/a]	0,00	0,00	0,00	0,00
N durch Waldstreu [t/a]	0,77	0,76	0,89	0,88
P durch Waldstreu [t/a]	0,03	0,03	0,04	0,04
N durch Mineraldünger [t/a]	0,01	0,01	0,01	0,01
P durch Mineraldünger [t/a]	0,00	0,00	0,00	0,00

N durch Weideinträge [t/a]	0,78	0,77	0,84	0,83
P durch Weideinträge [t/a]	0,41	0,41	0,44	0,44
N durch Landwirtschaftliche Betriebe [t/a]	1,55	1,54	1,67	1,66
P durch Landwirtschaftliche Betriebe [t/a]	0,82	0,81	0,88	0,87
<i>Frachten aus Kanalisation</i>				
N aus Vorstadt [t/a]	1,15	1,14	0,92	0,89
N von sonst. versiegelten Flächen [t/a]	0,05	0,05	0,05	0,05
P aus Vorstadt [t/a]	0,15	0,15	0,12	0,12
P von sonst. versiegelten Flächen [t/a]	0,01	0,01	0,01	0,01
<i>Am Pegel ankommende Fracht</i>				
N [t/a]	17,77	17,41	18,80	18,35
P [t/a]	1,38	1,28	1,33	1,21

Tabelle 32: Ergebnisse der MOBINEG-Modellierung

Bei den angegebenen Ergebnissen hinsichtlich der am Pegel ankommenden Fracht ist zu berücksichtigen, dass für N ein Rückhalt bzw. Abbau im Gewässer von 25 % und für P von 50 % kalkuliert wird. Bei den aufgeführten Werten in Tabelle 32 sind diese Abbauprozesse schon berücksichtigt. Es zeigt sich, dass es zwischen den Ergebnissen der beiden verwendeten digitalen Geländemodelle nur bei der Berechnung der Einträge durch Erosion zu Unterschieden kommt. Bezieht man die Gesamtfracht auf die Fläche des jeweiligen Einzugsgebiet, so erhält man den durchschnittlichen Nährstoffaustrag im Untersuchungsgebiet (siehe Tabelle 33). Dieser theoretische Wert ist vor allem für die Beurteilung der unterschiedlichen Einzugsgebiete wichtig.

Ergebnisse	1993 DGM 1:5.000	1993 DGM 1:25.000	2001 DGM 1:5.000	2001 DGM 1:25.000
N [kg/ha*a]	12,20	11,96	11,89	11,61
P [kg/ha*a]	0,95	0,88	0,84	0,77

Tabelle 33: Durchschnittliche Nährstofffrachten pro Hektar

Durch die Export-Funktion von MOBINEG nach ArcView konnten die Resultate an die Shape-Dateien angehängt werden. Die kartographischen Darstellungen können aus dem Anhang entnommen werden. Bei der räumlichen Analyse der Ergebnisse zeigt sich, dass alle Flächen mit P-Austrägen größer 0,5 kg/ha zu der Landnutzungskategorie „arable land“ gehören. Im Gegensatz zu den Kategorien „pastures“ und „forest“, die unabhängig von der Erosionsstufe immer Werte kleiner 0,5 kg/ha aufweisen, verstärken sich die P-Austräge für Ackerland mit zunehmender Hangneigung. Etwa ab der

Einteilung „mäßig-erheblich“ in den kartographischen Darstellungen des P-Austrags kann man davon ausgehen, dass es sich bei den Flächen um Ackerland handelt.

4.6 Vergleich mit Pegelmessungen

Im Jahr 2001 wurde durch das Wasserwirtschaftsamt Traunstein eine Pegelmessung am Tenglinger Bach durchgeführt. Dabei wurden für P jährlich Nährstofffrachten von 0,55 t/a festgestellt (siehe Tabelle 34).

	P-Ges [mg/l]	Durchfluß [m³/s]	P-Tagesfracht [kg]	P-Jahresfracht [kg]	Wassermenge [m³]
<i>Jahresfracht</i>				547	7103680
<i>Mittelwert</i>	0,077	0,23	1		19462
<i>Min</i>	0,005				
<i>Max</i>	1,310				
<i>Fracht [ha]</i>				0,35	

Tabelle 34: Gemessene Pegelwerte des Tenglinger Baches im Jahr 2001 (WASSERWIRTSCHAFTSAMT TRAUNSTEIN, unveröffentlicht)

Wie in Abschnitt 3.2.2 beschrieben, geht der Software-Hersteller von Genauigkeiten bei der Nährstoffbilanzierung für P etwa 40 % aus. Für P werden demnach die Fehlertoleranzen überschritten (siehe Tabelle 35).

	Gemessene Pegelwerte	Fehlertoleranz		Berechnete Werte [t/a]			
		<i>min.</i>	<i>max.</i>	<i>1993 DGM 1:5.000</i>	<i>1993 DGM 1:25.000</i>	<i>2001 DGM 1:5.000</i>	<i>2001 DGM 1:25.000</i>
P [t/a]	0,547	0,33	0,77	1,38	1,28	1,33	1,21

Tabelle 35: Gegenüberstellung von gemessenen und berechneten P-Frachten

Vergleicht man die von MOBINEG ermittelten Ergebnisse für den mittleren Abfluss mit den gemessenen Wert von 0,23 m³/s, so hält die aufgestellte Wasserbilanz die angegebene Fehlertoleranz von 10 % ein. Der Basisabfluss kann leider nicht überprüft werden, da hierfür keine Messwerte vorliegen.

5 Diskussion

Jedes Modell stellt ein Abbild eines Ausschnittes der realen Welt dar. Die Qualität der Ergebnisse von Modellberechnungen ist zum einen abhängig von der Qualität der Eingangsdaten und zum anderen von der Repräsentativität der verwendeten Berechnungsparameter. Diese Umstände müssen bei der Beurteilung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Die Verwendung der unterschiedlichen Einzugsgebiete für die beiden Landnutzungskartierungen führt zu geringfügig unterschiedlichen Nährstofffrachten. Dies dürfte v. a. an der unterschiedlichen Flächensumme der beiden Einzugsgebiete liegen (siehe Tabelle 32). Da das von KOLLER erstellte Teileinzugsgebiet des Tenglinger Baches in einigen Bereichen von der Wasserscheide abweicht (siehe Anhang 2-1), sind die damit ermittelten Ergebnisse weniger vertrauenswürdig.

Ein Vergleich zwischen den beiden verwendeten Landnutzungskartierungen hinsichtlich der resultierenden Nährstofffrachten ist nach Auffassung des Autors nur bedingt zulässig. Trotz unterschiedlicher Einzugsgebiete und Kartierschlüssel liefern beide Kartierungen zunächst identische Flächenstatistiken in die Datenbank (siehe Abschnitt 4.2). Dies beruht auf der Tatsache, dass die ausgeschiedenen Landnutzungseinheiten für die Berechnung in MOBINEG auf eine sehr geringe Anzahl von Kategorien reduziert werden müssen. Wichtiger ist allerdings die Bedeutung einer präzisen Landnutzungskartierung für die Angabe der Kulturarten in Tabelle cropyield. Während für die sehr detaillierte Kartierung von 2001 eine eigene Statistik berechnet und eingefügt werden konnte (siehe Tabelle 10), musste für die weniger detaillierte Kartierung von 1993 Flächendaten von 1999 verwendet werden. Bei letzterer Vorgehensweise können systematische Fehler wie etwa Fruchtwechsel oder verändertes Anbauverhalten auftreten. Dieser Effekt ist allerdings nicht abschließend zu beurteilen. Das Programm

macht mit der Verwendung einer solcher Statistik eine Vorgabe, die v. a. für sehr detaillierte Landnutzungskartierungen sehr kritisch ist. Anstatt für jede Fläche den tatsächlichen Austrag anhand der realen Landnutzung zu berechnen, wendet MOBINEG für alle Flächen die Werte des gesamten Untersuchungsgebietes an. Aus einem realen Maisacker wird dadurch bei der Berechnung ein Acker, der z. B. aus 25 % Mais, 25 % Gerste, 30 % Hafer und 20 % Kartoffeln besteht. Dies ist für detaillierte Landnutzungskartierungen quasi eine Reduzierung der Berechnungsgenauigkeit. Eine Auswertung der Nährstofffrachten auf die einzelnen Kulturarten ist deshalb nicht möglich.

Bei der Berechnung des Anfalls an Wirtschaftsdünger (siehe Abschnitt 3.3.2) wurden ebenfalls statistische Daten des Jahres 1999 zur Viehhaltung in den Gemeinden Palling, Tittmoning, Waging und Taching herangezogen. Da gravierende Änderungen in den Viehbeständen im betrachteten Zeitraum auszuschließen sind, dürften die ermittelten Großvieheinheiten in etwa der realen Situation entsprechen. Kritischer dahingegen ist der für den Gülleanfall pro Großvieheinheit eingesetzte Wert von 39,2 m³. In der verwendeten Literatur stellte dieser Wert das Maximum dar. Somit sind die Einträge durch Wirtschaftsdünger von ca. 160 kg/ha als maximale Werte zu verstehen.

Trotz unterschiedlicher Einzugsgebiete ergeben sich für die Wasserbilanz nahezu gleiche Ergebnisse. Für das etwas größere Einzugsgebiet 2001 ergeben sich auch leicht größere Abflusswerte. Die Berechnungen des mittleren Abflusses liegen innerhalb der Fehlertoleranz. Das die Frachtberechnungen für N bzw. P nicht innerhalb der Toleranzen liegen, kann deshalb nicht auf eine mangelhafte Wasserbilanz zurückgeführt werden.

Auffällig ist, dass für beide Landnutzungskartierungen die Verwendung des DGM 1:5.000 zu höheren Nährstofffrachten als bei dem DGM 1:25.000 führt. Diese Tatsache begründet sich auf den unterschiedlichen Erosionswerten, welche für die beiden DGMs anhand der ABAG ermittelt wurden. Denn auch bei den Ergebnissen der ABAG zeigt sich, dass das DGM 1:5.000 höhere Erosionssummen aufweist (siehe Tabelle 29). In diesem Zusammenhang ist zu bemerken, dass der Konvertierungsvorgang der ABAG-Ergebnisse nach MOBINEG ein sehr kritischer Schritt ist. Sowohl die Klassifizierung als auch die Umwandlung nach Vektoren stellt eine Reduzierung der Genauigkeit des sehr präzise ermittelten Bodenabtrags dar. Es wäre wünschenswert, wenn die Berechnungen in MOBINEG ebenfalls auf Basis des Raster-Datenformats durchgeführt werden könnten. Die Gründe für den geringeren Bodenabtrag sowie die geringere Nährstofffrachten bei Verwendung des DGM 1:25.000 liegen vermutlich in der Tatsache, dass hier die Berechnung der Hangneigung im Vergleich zum DGM 1:5.000 geglättet wird (siehe Abbildung 9). Stärkere Hangneigungen kommen im DGM 1:25.000 deshalb seltener vor. Da für die Ermittlung der ABAG die Hangneigung der bedeutendste Faktor ist, wirkt sich dieser Umstand verstärkt aus. In diesem Zusammenhang ist die Verwendung des auf digitalen Höhenlinien interpolierten DGM 1:5.000 als problematisch zu beurteilen. Diese Vorgehensweise begründet sich aus dem Mangel eines Geländemodells im vergleichbaren Maßstab.

Die Tatsache, dass für die Kartierung 2001 trotz eines größeren Einzugsgebietes sowohl ein geringerer Bodenabtrag als auch eine geringere P-Austrag als für die Kartierung 1993 ermittelt wurde, ist unter dem Hintergrund einer veränderten Landnutzung zu sehen. Eine Veränderung auf den stärker geneigten Flächen weg von Ackerflächen hin zu weniger erosionsanfälligen Landnutzungsformen wie Wiese und Wald ist positiv zu bewerten.

Die Berechnung der Nährstofffracht wurde mit Hilfe einiger Annahmen und Literaturwerte, welche in MOBINEG als Standardeinstellungen vorliegen, durchgeführt. Um die Verhältnisse des Untersuchungsgebietes besser wiedergeben zu können, hätte die Herleitung dieser Eingabeparameter differenzierten vorgenommen werden müssen. Hierunter fallen u. a. die Angaben zu den drainierten Flächen und die N-Zufuhr durch Klärschlamm oder Ernterückstände. Die verwendeten Standardwerte liefern z. B. für die Direkteinträge aus landwirtschaftlichen Betrieben und unter Weidewirtschaft sehr hohe Werte. Eine kritische Annahme bei Berechnung der ABAG ist der Ausschluss von Erosionsschutzmaßnahmen im Untersuchungsgebiet. Außerdem spiegelt die Fließlänge, welche zur Ermittlung des Hanglängenfaktors eingesetzt wurde, nur unzureichend die erosive Hanglänge wieder. Diese Faktoren könnten Gründe dafür sein, weshalb die Frachten nicht innerhalb der Fehlertoleranzen von 40 % für P liegen. Es zeigt sich allerdings bei einem Vergleich mit den von AUERSWALD durchgeführten Berechnungen, dass die Pegelmessungen durch das Wasserwirtschaftsamt extrem niedrig liegen und auf einen Messfehler hindeuten. AUERSWALD (unveröffentlicht) errechnete im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft bayernweit den P-Austrag. In das Untersuchungsgebiet fallen dabei vier Berechnungspunkte, für die er einen durchschnittlichen P-Austrag von 13,5 kg pro Hektar und Jahr ermittelt. Dies ist rund das 15fache der mit MOBINEG ermittelten Werte und etwa das 40fache der Pegelmessungen. Aufgrund fehlender Informationen zu den Berechnungsparametern sowie der fraglichen Repräsentativität hinsichtlich des relativ kleinen Untersuchungsgebietes verdeutlichen die unterschiedlichen Größenordnungen des P-Austrages den Forschungsbedarf im Bereich der Nährstoffmodellierung.

Für die mögliche Erstellung eines Pflegeplanes für das Teileinzugsgebiet Tenglinger Bach im Hinblick auf gewässerökologische Gesichtspunkte

zeigen die Ergebnisse, dass in Gebieten mit Ackerbau der P-Eintrag über Zwischenabfluss, Drainage und Grundwasser ziemlich vernachlässigbar ist. Gleiches gilt auch für Grünland und Wald. Der P-Austrag über Bodenerosion auf Ackerflächen könnte z. B. durch Erosionsschutzmaßnahmen reduziert werden. Außerdem würde auch eine Reduzierung der Ackerflächen auf stärker geneigten Hängen einen geringeren Bodenabtrag zur Folge haben.

6 Zusammenfassung

Schlüsselwörter: ABAG, MOBINEG, Bodenabtrag, Nährstofffracht, Einzugsgebiet, Landnutzung, DGM

Hintergrund der Arbeit ist die im Jahr 2000 in Kraft getretene Wasser-Rahmenrichtlinie, die den Schutz von Oberflächengewässern erhöhte Bedeutung zukommen lässt. Für eine Verringerung von Stoffeinträgen müssen die Emissionen und ihre Eintragspfade zunächst quantifiziert werden. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es anhand des Modells MOBINEG der Firma Hydrotec unterschiedliche Eingabedaten hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Ergebnisse der berechneten Nährstofffrachten zu untersuchen. Hierfür wurde als Untersuchungsgebiet das Teileinzugsgebiet des Tenglinger Baches am Waginger-Tachinger See ausgewählt.

Zunächst erfolgte die Digitalisierung zweier Landnutzungskartierungen. Die Kartierung 1993 bezieht sich auf ein 14,56 km² großes Einzugsgebiet, welches von KOLLER (1994) als solches abgegrenzt wurde. Die Digitalisierung erfolgte nach vorheriger Georeferenzierung der Karte. Für das Jahr 2001 standen Orthophotos sowie eine Kartierung des Limnologischen Station der TU München zur Verfügung. Mit diesen Daten wurde eine flächige Kartierung des 15,81 km² großen Einzugsgebiets, welches der offiziellen Abgrenzung des Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft entspricht, vorgenommen. Als weitere räumliche Information lagen Digitale Geländemodelle (DGM) in den Maßstäben 1:5.000 und 1:25.000 vor. In Verbindung mit den Niederschlagsdaten und den Informationen der Reichsbodenschätzung wurde die Bodenerosion gemäß der Allgemeine Bodenabtragungsgleichung (ABAG) ermittelt. Der resultierende Bodenabtrag wurde anschließend klassifiziert und stand so der Berechnung in MOBINEG zur Verfügung.

Bei der Analyse der Landnutzungsänderung zeigt sich, dass seit 1993 in Hanglagen mit Neigungen größer 5 Grad ein Teil der Ackerflächen in Wiesen umgewandelt wurden. Außerdem wurden in diesen Hanglagen auch der Waldanteil leicht erhöht. Dies dürfte die Ursache für den geringeren Bodenabtrag im Jahre 2001 sein.

Die Berechnung der Wasserbilanz mit MOBINEG liefert den mittleren Abfluss des zu untersuchenden Fließgewässers. Die Ergebnisse liegen dabei innerhalb der angegebenen Fehlertoleranz im Vergleich zu den Pegelmessungen des Wasserwirtschaftsamtes Traunstein.

Die Ergebnisse der Nährstoffbilanz weichen dahingegen von den Pegelmessungen ab. Gründe hierfür sind zum einen in der Verwendung der Eingangsdaten durch das Modell und zum anderen in den Berechnungsparametern von MOBINEG zu suchen. Da MOBINEG für norddeutsche Verhältnisse entwickelt wurde, ist eine bessere Anpassung an die oberbayerischen Verhältnisse wünschenswert. Die Berechnung der Nährstofffracht zeigt, dass für das DGM 1:5.000 bei beiden Kartierungen höhere Einträge ermittelt werden als für das DGM 1:25.000. Grund hierfür ist die geglättete Repräsentation der Hangneigung im DGM 1:25.000.

Vor allem über eine Reduzierung des Ackerbaus in geneigten Hanglagen bzw. durch den Einsatz von Erosionsschutzmaßnahmen kann die Bodenerosion und somit auch der Nährstoffeintrag in den Tenglinger Bach optimiert werden.

7 Literatur

ARBEITSGRUPPE BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hannover, 4. Aufl., 392 S.

AUERSWALD, K., SCHMIDT, F. (1986): Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern - Karten zum flächenhaften Bodenabtrag durch Regen. GLA Fachberichte, Bayerisches Geologisches Landesamt, München, 2. Aufl., 74 S.

EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. – Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 22.12.2000, L 327/1 – 72 (DE); Brüssel.

F&N UMWELTCONSULT (2001): MOBINEG 2001 – Handbuch. Modell zur Bilanzierung von Nährstoffeinträgen in Gewässer. Hannover.

GLA - BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg. 1996): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500.000, München, 4. Auflage, 329 S.

KÖPF, E., ROTHASCHER, A. (1980): Das natürliche Grundwasserdargebot in Bayern im Vergleich zu den Hauptkomponenten des Wasserkreislaufes. Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 13, München, 13 S.

KOLLER, M. (1994): Die Makrophytenvegetation des Waginger-Tachinger Sees (Obb.) und ihr Indikatorwert für die Gewässergüte. Diplomarbeit an der Technischen Universität München, Lehrstuhl für Botanik. 122 S.

LBP - BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR UND PFLANZENBAU (Hrsg. 1997): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. Freising-Weihenstephan, 6. Auflage, 63 S.

LWF - BAY. LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (2001): Die regionale natürliche Waldzusammensetzung Bayerns. Berichte aus der LWF Nr. 32, Freising, 99 S.

MAIDMENT, D. (1993): GIS and Hydrologic Modeling. In: GOODCHILD, M., PARKS, B. und STEYAERT, L. (Hrsg.): Environmental Modeling with GIS. Oxford University Press, New York.

MLR - MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM (Hrsg. 2001): Landwirtschaftliche Betriebsverhältnisse und Buchführungsergebnisse - Wirtschaftsjahr 2000/01. Stuttgart, Heft 50, 175 S.

NÄHER, W., MANGELSDORF, J. & SCHEUERMANN, K. (1974): Der Waginger-Tachinger See – Eine hydrographische und limnologische Bestandsaufnahme. Schriftenreihe der Bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde, München, Heft 9, 129 S.

NYERGES, T. (1992): Coupling GIS and Spatial Analytic Models. In: Proceedings 5th Int. Symp. On Spatial Data Handling, Vol. 2: 534 – 543.

ROGLER, H., SCHWERTMANN, U. (1981): Erosivität der Niederschläge und Isoerodentkarte von Bayern. Z. f. Kulturtechnik & Flurber. 22, 99-112

SCHWERTMANN, U., VOGL, W., KAINZ, M. (1987): Bodenerosion durch Wasser - Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Ulmer, Stuttgart, 64 S.

WASSERWIRTSCHAFTSAMT TRAUNSTEIN (2001): Auszug aus den Pegelmessungen 2001 für das Teileinzugsgebiet Tenglinger Bach. Unveröffentlicht.

WISCHMEIER, W. H., SMITH D. D. (1978): Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. USDA, Agric. Handbook No. 537: 58 S.

ZIEGLER, T. (1977): Einführung in die Bodenschätzung. Bayerisches Landesvermessungsamt, München, 35 S.

Quellen aus dem Internet

BAY. LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG:

Daten und Fakten – Gemeindedaten (1999)

<http://www.statistik.bayern.de/daten/frame.html> (03-03-07)

UMWELTBUNDESAMT:

Wasser - Veröffentlichungen (2002)

<http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/> (02-10-19)

FORSCHUNGSZENTRUM FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT:

Register of Ecological Models (REM) – Online-Metadatenbank (2002)

<http://dino.wiz.uni-kassel.de/ecobas.html> (02-12-21)

BILL, R., ZEHNER, M:

Geoinformatik Service GI-Lexikon (2002)

<http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/lexikon.asp> (03-03-20)

MEYER, M.:

Erprobung und Anwendung zur einzugsgebietsbezogenen Modellierung der Phosphatdynamik terrestrischer Ökosysteme (1996)

<http://www.ecology.uni-kiel.de/~ernst/martin/frame1.htm> (03-03-04)

HAIDER, J.:

Faktoren der ABAG und dABAG - Bestimmung und Genauigkeit (1995)

<http://www.uvm.baden->

[wuerttemberg.de/bofaweb/berichte/mzb04/mzb0424.htm](http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/berichte/mzb04/mzb0424.htm) (03-03-04)

Anhang

Anhang 1: Kartierschlüssel Starnberger See der Seeuferkartierung 2000 (ergänzt um Ackerkulturen für den Waginger-Tachinger See)

Anhang 2: CD-ROM

Inhalt der CD-ROM:

Anhang 2-1: Unterschiedliche Einzugsgebiete

Anhang 2-2: Landnutzungskartierung 1993

Anhang 2-3: Landnutzungskartierung 2001

Anhang 2-4: Bodenerosion 1993 DGM 1:5.000

Anhang 2-5: Bodenerosion 1993 DGM 1:25.000

Anhang 2-6: Bodenerosion 2001 DGM 1:5.000

Anhang 2-7: Bodenerosion 2001 DGM 1:25.000

Anhang 2-8: Gesamtaustrag Phosphor 1993 DGM 1:5.000

Anhang 2-9: Gesamtaustrag Phosphor 1993 DGM 1:25.000

Anhang 2-10: Gesamtaustrag Phosphor 2001 DGM 1:5.000

Anhang 2-11: Gesamtaustrag Phosphor 2001 DGM 1:25.000

Anhang 2-12: Hangneigung DGM 1:5.000

Anhang 2-13: Hangneigung DGM 1:25.000

Anhang 1: Kartierschlüssel Starnberger See der Seeuferkartierung 2000
(ergänzt um Ackerkulturen für den Waginger-Tachinger See)

1. Hauptnutzungen

1.1. Vegetationsflächen

1000	Landwirtschaftliche Nutzflächen	
1100		Acker
	1101	Sommer-Roggen
	1102	Sommer-Weizen
	1103	Sommer-Gerste
	1104	Hafer
	1105	Mais
	1106	Raps
	1107	Zuckerrübe
	1108	Kartoffel
	1109	Ackerbohne
	1110	Dinkel
	1111	Offener Boden, keine Kultur
	1112	Zwischenfrucht (Leguminosen)
	1113	Winter-Gerste
	1114	Winter-Roggen
	1115	Winter-Weizen
1200		Grünland
	1210	Futterwiese
	1211	Wiese intensiv
	1212	Wiese extensiv
	1220	Weide
	1221	Weide intensiv
	1222	Weide extensiv
	1230	Artenreiche Feuchtwiesen und Wiesen, Magerrasen *
1300		Landwirtschaftliche Sonderkultur (Baumschule, Gärtnerei, Obstwiese)

2000	Wald, sonstige Gehölzstrukturen	
2100		Wald
	2110	Forst
	2120	Naturraumtypische Waldgesellschaft
2200		Azonale Gehölzgesellschaften, grundwasserbeeinflusst
	2210	Weidengebüsch
	2220	Grauerlen-Auwald
	2230	Schwarzerlen-Eschen-Sumpfwald
	2240	Erlen-, Eschen-, Quellnischenwald *
	2250	Ufergehölze mit seltenen Baum und Straucharten *
	2260	Schwarzerlen-, Bauchauwald *
2300		Waldähnliche Fläche / sonstige Gehölzstrukturen
	2310	Hecke/Feldgehölz/Baumgruppe/Baumreihe
	2320	Parkartiger Baumbestand

3000	Vegetationsfreie bzw. vegetationsarme Uferbereiche	
3100		Kies-, Sandfläche
3200		Torffläche
3300		Schlammfläche (mit Pioniervegetation)

Anhang

4000	Naturnahe Vegetationsfläche	
4100		Schwimblattvegetation
4200		Röhrichtgesellschaft
4300		Großseggenried
4400		Quellmoor
	4410	Schneidried Bestände (<i>Cladium mariscus</i>) *
	4420	Quellmoore (<i>Schoenus ferrugineus</i> , <i>Juncus subnodulosus</i>) *
	4430	Nährstoffarmes Steifseggenried, Fadenseggenriede *
4500		Niedermoor / Streuwiese
	4510	Niedermoor / Streuwiese
	4520	Streuwiese mit Gehölzsukzession
4600		Hochstaudenried / Hochstaudenflur
4700		Ruderalgesellschaft
4800		vegetationsarmes Kiesufer
4900		Hochmoor / Übergangsmoor

5000	Gewässer	
5100		Seefläche
5200		sonstige Gewässerflächen
	5210	künstlicher Teich / natürlicher Weiher / Hafenbecken
	5220	Bach
	5211	naturnaher Bach
	5212	verbauter Bach
	5213	Verrohrter Bach
	5320	Graben (künstl. Wasserlauf)
	5321	offener Graben
	5322	verlandender Graben
	5323	verrohrter Graben
5300		Quelltopf

1.2. Flächennutzung (Verkehr, Siedlung, Freizeitnutzung)

6000	Siedlungsgebiet	
6100		Bebauung (Gebäude, Zufahrten,...)
6200		Bebauungsähnliche Fläche
	6210	überwiegend versiegelt bzw. ohne naturnahe Vegetationsdecke
	6212	Bootsliegeplatz an Land
	6220	kaum versiegelt bzw. mit naturnaher Vegetationsdecke
	6230	im bzw. über dem Wasser
	6231	Stegliegeplatz
	6232	Bojenfeld
6300		Bootshaus (Cover - bhaus)
6400		Steg (Cover - Stege)

7000	Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen	
7100		Sportplatz / Spielplatz (Golfplatz, Sportplatz, Tennisanlage, usw.)
7200		Seebad mit Freiflächen (zugänglich mit Entgelt)
7300		Badegelände (zugänglich ohne Entgelt)
	7310	Badegelände, überwiegend naturnah
	7320	Badegelände, überwiegend naturfern
7400		Campingplatz
7500		gestaltete Grünanlage / Park

Anhang

8000	Verkehrsflächen		
8100			Bahngelände / -linie
8200			Straßenverkehrsflächen
	8210		Straße
	8220		Parkplatz
		8221	überwiegend versiegelt
		8222	überwiegend durchlässig, ohne Vegetationsdecke
		8223	überwiegend durchlässig, mit Vegetationsdecke
8300			Sonstige Verkehrsflächen (Fuß-, Rad-, Wander-, Feldweg)
	8310		Weg
		8311	versiegelt
		8312	nicht versiegelt (z.B. wassergebunden)
	8320		Pfad (Cover - fließgew)