Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee: 45,1996

ISSN 1011-1263

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee

Bericht Nr. 45

Methoden zur Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den Bodensee

Bearbeiter: V. Prasuhn, E. Spiess und M. Braun
Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL)

- 1996 -

11.96 860 U35852

INHALTSVERZEICHNIS

Abstracts I

Vorwort III

Auftrag, Dank V

Zusammenfassung VII

1. Einleitung 1

1.1 Problemstellung und Zielsetzung 1

1.2 Definition und Abgrenzung des Begriffes "diffuse Quellen" 1

1.3 Generelle Aussagekraft und Genauigkeit der Erhebungen 3

2. Methodik 4

2.1 Abgrenzung und Grobcharakterisierung der Einzugsgebiete 4

2.2 Stoffffluss-Modell 9

2.3 Datenerhebung 10

2.3.1 Bodennutzungsarten 11

2.3.2 Drainageflächen 15

2.3.3 Phosphor- und Stickstoffanfall aus Hofdüngern 18

2.3.4 Klimatische Verhältnisse und Berechnung der Wasserbilanz 19

2.4. Berechnung der Wasserflüsse 25

2.4.1 Oberflächenabfluss 27

2.4.2 Drainagenabfluss 29

2.4.3 Zwischenabfluss, Quellenabfluss und Grundwasserabfluss 29

2.4.4 Natürliche Hintergrundlast 30

2.5. Berechnung der Stoffflüsse 31

2.5.1 Nährstoffeinträge durch Abschwemmung 32

2.5.2 Nährstoffeinträge durch Erosion 34

2.5.3 Nährstoffeinträge durch Auswaschung 42

2.5.4 Atmosphärische Nährstoffdeposition auf die Gewässer 48

2.5.5 Nährstoffeinträge durch landwirtschaftliche und sonstige Direkteinträge 50

2.5.6 Natürliche Hintergrundlast 50

2.6. Kontrollberechnung für ausgewählte Nährstoffeinträge 52

2.6.1 Phosphoreinträge durch Abschwemmung auf Grasland 52

2.6.2 Phosphoreinträge durch Bodenerosion auf Ackerland und Kunstwiesen 54

2.6.3 Stickstoffeinträge durch Auswaschung unter Ackerland 55

2.7 Vergleich der Ergebnisse von Haupt- und Kontrollberechnung 57

3. Zusammenstellung der Ergebnisse im hydrologischen Jahr 1985/86 für die verschiedenen Einzugsgebiete 59

3.1 Ergebnisse der Hauptberechnung 59

3.1.1 Wasserflüsse und Materialeinträge 59

3.1.2 Phosphoreinträge 64

3.1.3 Stickstoffeinträge 66

3.2 Ergebnisse der Berechnung der natürlichen Hintergrundlast und Vergleich mit der anthropogen diffusen Belastung 77

3.3 Gesamtbetrachtung der Stoffeinträge in die Gewässer unter Hinzuziehung der punktuellen Quellen 84

4. Kontrollen 90

4.1 Vergleich gemessener und berechneter Abflüsse 90

4.2 Vergleich gemessener und berechneter Materialeinträge 92

4.3 Vergleich gemessener und berechneter Phosphor- und Stickstoffeinträge 92

4.4 Vergleich der berechneten Stoffeinträge im hydrologischen Jahr 1985/86 mit den berechneten, langjährigen Stoffeinträgen 97

4.5 Vergleich mit Literaturdaten anderer Einzugsgebiete 99

5. Schlussbetrachtung für das gesamte Bodensee-Einzugsgebiet 100

6. Literaturverzeichnis 105

7. Kartenverzeichnis 112

8. Anhang (Sonderband) A 1

A 1. Einzugsgebiet Stockacher Aach A 3

A 2. Einzugsgebiet Seefelder Aach A 8

A 3. Einzugsgebiet Rotach A 12

A 4. Einzugsgebiet Schussen A 16

A 5. Einzugsgebiet Argen A 21

A 6. Einzugsgebiet Leiblach A 26

A 7. Einzugsgebiet Bregenzerach A 30

A 8. Einzugsgebiet Dornbirnerach A 34

A 9. Einzugsgebiet Rheintal A 39

A10. Einzugsgebiet Ill A 44

A11. Einzugsgebiet Alprhein A 49

A12. Einzugsgebiet Randgebiete Obersee Baden-Württemberg A 54

A13. Einzugsgebiet Randgebiete Obersee Bayern A 58

A14. Einzugsgebiet Randgebiete Obersee Österreich A 62

A15. Einzugsgebiet Randgebiete Obersee Schweiz A 66

A16. Einzugsgebiet Radolfzeller Aach A 70

A17. Einzugsgebiet Randgebiete Untersee Baden-Württemberg A 75

A18. Einzugsgebiet Randgebiete Untersee Schweiz A 79

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Hydrologische Einzugsgebiete für die Ermittlung der diffusen Belastungen. 5
Abb. 2: Bodennutzung in den verschiedenen Einzugsgebieten. 8
Abb. 3: Schematische Darstellung der erfassten Wasserflüsse. 26
Abb. 4: Schematische Darstellung der erfassten Stoffflüsse. 31
Abb. 5: Abfluss der verschiedenen Einzugsgebiete im hydrologischen Jahr 1985/86. 63
Abb. 6: Gesamt-P- und Gesamt-N-Einträge aus diffusen Quellen, unterteilt in ihren partikulären und gelösten Anteil. 68
Abb. 7: Flächenspezifische Gesamt-P- und Gesamt-N-Einträge aus diffusen Quellen, unterteilt in ihren partikulären und gelösten Anteil. 69
Abb. 8: Prozentuale Anteile der Haupteintragspfade für diffuse Nährstoffeinträge. 76
Abb. 9: Prozentuale Anteile von natürlicher Hintergrundlast und anthropogen diffuser Belastung an den P-Einträgen aus diffusen Quellen. 80
Abb. 10: Prozentuale Anteile von natürlicher Hintergrundlast und anthropogen diffuser Belastung an den N-Einträgen aus diffusen Quellen. 81
Abb. 11: Gesamt-P- und Gesamt-N-Einträge aus diffusen Quellen, unterteilt nach ihrem Anteil an natürlicher Hintergrundlast und anthropogen diffuser Belastung. 82
Abb. 12: Flächenspezifische Gesamt-P- und Gesamt-N-Einträge aus diffusen Quellen, unterteilt nach Anteil an natürlicher Hintergrundlast und anthropogen diffuser Belastung. 83
Abb. 13: Totaler Eintrag von Gesamt-P und Aufteilung nach Herkunft. 86
Abb. 14: Totaler Eintrag von gelöstem P und Aufteilung nach Herkunft. 87
Abb. 15: Totaler Eintrag von Gesamt-N und Aufteilung nach Herkunft. 88
Abb. 16: Totaler Eintrag von gelöstem N und Aufteilung nach Herkunft. 89
Abb. 17: Aufschlüsselung der P- und N-Frachten zum Bodensee nach ihren Quellen im Einzugsgebiet für das hydrologische Jahr 1985/86. 102
Abb. 18: Aufschlüsselung der Gesamt-P- und Gesamt-N-Einträge aus diffusen Quellen in den Bodensee nach Haupteintragspfaden. 103
Abb. 19: Aufschlüsselung der gelösten P- und N-Einträge aus diffusen Quellen in den Bodensee nach Haupteintragspfaden. 104

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Flächenanteile der verschiedenen Länder am Bodensee-Einzugsgebiet. 6
Tab. 2: Flächenanteile und politische Zugehörigkeit am Bodensee-Einzugsgebiet. 7
Tab. 3: Landwirtschaftliche Bodennutzungsarten. 10
Tab. 4: Arealstatistische und andere Grundlagendaten. 16

Tab. 5: Aufteilung des Acker- und Graslandes auf Kulturarten. 17
Tab. 6: Niederschlag, Verdunstung/Speicherung und Abfluss. 20
Tab. 7: Verdunstung in Abhängigkeit von Niederschlagsmenge und Landnutzung. 22
Tab. 8: P- und N-Konzentrationen im Oberflächenabfluss. 33
Tab. 9: Bodenerosion auf Ackerland und 'natürliche Erosion' in den Einzugsgebieten. 38
Tab. 10: N- und P-Konzentrationen im Sickerwasser. 45
Tab. 11: N- und P-Konzentrationen im Drainagenabfluss. 47
Tab. 12: Atmosphärische Deposition von N und P. 49
Tab. 13: Grundannahmen zur Abschätzung der Abschwemmungseinträge. 53
Tab. 14: Abschwemmungseinträge auf Wiesen und Weiden. 54
Tab. 15: Durchschnittlicher Bodenabtrag sowie Flächenanteile der durch Bodenerosion betroffenen Felder für verschiedene Kulturen. 55
Tab. 16: Durchschnittswerte für die Nitratauswaschung bei verschiedenen Kulturen. 56
Tab. 17: Gebietsspezifische Faktoren für die Sickerwassermenge und die Denitrifikationsverluste. 56
Tab. 18: Vergleich langjähriger Mittelwerte zwischen der Hauptberechnung und der Kontrollberechnung bezüglich dreier Haupteintragswege. 58
Tab. 19: Wasserflüsse und Materialeinträge (absolute Werte). 60
Tab. 20: Wasserflüsse und Materialeinträge (relative Werte). 61
Tab. 21: Nutzungsspezifische Wasserflüsse in den Einzugsgebieten des Bodensees. 62
Tab. 22: P-Einträge in den Einzugsgebieten des Bodensees (absolute Werte). 70
Tab. 23: P-Einträge in den Einzugsgebieten des Bodensees (relative Werte). 71
Tab. 24: N-Einträge in den Einzugsgebieten des Bodensees (absolute Werte). 72
Tab. 25: N-Einträge in den Einzugsgebieten des Bodensees (relative Werte). 73
Tab. 26: Nutzungsspezifische diffuse P-Einträge. 74
Tab. 27: Nutzungsspezifische diffuse N-Einträge. 75
Tab. 28: Abfluss, P- und N-Einträge für die natürliche Hintergrundlast. 77
Tab. 29: Vergleich der gemessenen und berechneten Abflüsse. 91
Tab. 30: Vergleich gemessener und berechneter Schwebstofffrachten. 93
Tab. 31: Vergleich der berechneten und aus gemessenen Stofffrachten abgeschätzten P-Einträge aus diffusen Quellen. 95
Tab. 32: Vergleich der berechneten und aus gemessenen Stofffrachten abgeschätzten N-Einträge aus diffusen Quellen. 96
Tab. 33: Vergleich der berechneten Stoffeinträge im hydrologischen Jahr 1985/86 mit den berechneten langjährigen Stoffeinträgen. 98

Abstracts

Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den Bodensee

Mit Hilfe eines Stoffffluss-Modells wurden die Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den Bodensee abgeschätzt. Dazu wurde das Bodensee-Einzugsgebiet in 18 Teileinzugsgebiete untergliedert, um regionale Unterschiede aufzeigen zu können. Für jedes Einzugsgebiet wurden auf Gemeindeebene die wichtigsten Eintragspfade in die Gewässer (Abschwemmung, Erosion, Auswaschung, atmosphärische Deposition auf Gewässer, landwirtschaftliche Direkteinträge) für die jeweilige Landnutzung im Einzugsgebiet (Ackerland, Grasland, Wald, etc.) separat berechnet und zu einem Einzugsgebietswert aufsummiert. Mit demselben Modellansatz wurde die natürliche Hintergrundlast berechnet. Die Einträge aus diffusen Quellen wurden abschliessend den Einträgen aus punktuellen Quellen gegenübergestellt. Insgesamt wurden dem Bodensee 1985/86 aus diffusen Quellen 1 791 t/a Phosphor (= 76% Gesamtfracht) und 18 266 t/a Stickstoff (= 77% Gesamtfracht) zugeführt.

Schlüsselwörter: Phosphor, Stickstoff, diffuse Quellen, Oberflächengewässer, Landwirtschaft, natürliche Hintergrundlast, Bodensee

Estimation des pertes en phosphore et en azote vers le lac de Constance, à partir de sources diffuses.

Les pertes en phosphore et en azote vers le lac de Constance, à partir de sources diffuses, ont été estimées à l'aide d'un modèle de flux de substances. Pour cela, le bassin versant du lac de Constance a été subdivisé en 18 sous-bassins afin de pouvoir mettre en évidence les différences régionales. Pour chaque bassin versant, les apports vers les eaux par les cheminements les plus importants (écoulement, érosion, lessivage, dépôt atmosphérique à la surface des eaux, apports agricoles directs) au niveau communal ont été calculés séparément pour les différents types d'utilisation du sol dans le bassin versant (champs, prairies, forêts, etc.) et additionnés pour obtenir une valeur spécifique au bassin versant. La charge naturelle de fond a été calculée avec le même outil de modélisation. Les apports à partir des sources diffuses ont finalement été comparés à ceux des sources ponctuelles. Pour 1985/86, ce sont en tout 1 791 t/a de phosphore (= 76% du flux total) et 18 266 t/a de l'azote (= 77% du flux total) provenant des sources diffuses qui ont atteint le lac de Constance.

Mots-clefs: phosphore, azote, sources diffuses, eaux superficielles, agriculture, charge naturelle de fond, lac de Constance

Estimates of the input of phosphorus and nitrogen from diffuse sources into the Lake of Constance

Making use of a model for material fluxes the input of phosphorus and nitrogen from diffuse sources into the Lake of Constance was estimated. The catchment area of the Lake of Constance was divided into 18 sub-areas to show regional differences. For each specific watershed the main input pathways into surface waters (leaching, erosion, surface runoff, atmospheric deposition, direct emissions from agriculture) for the respective land use inside the watershed (arable land, grassland, forest, etc.) were separatly calculated on a community level and added up for the entire catchment area. The natural background level was calculated with the same type of model. Finally the inputs from diffuse sources were compared with the inputs from point sources. All together the input from diffuse sources into the Lake of Constance was 1 791 t/a phosphorus (= 76% of total load) and 18 266 t/a nitrogen (= 77% of total load) in 1985/86.

Key words: Phosphorus, nitrogen, diffuse sources, surface water, agriculture, natural background level, Lake of Constance

Vorwort

Die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) hat seit den 60er Jahren vier Untersuchungen der Zuflüsse in den Bodensee durchgeführt, mit dem vorrangigen Ziel, die Phosphorbelastung des Bodensees - der wesentliche Eutrophierungsfaktor - zu messen sowie den Erfolg getroffener Gewässerschutzmassnahmen zu überprüfen. 1985 verabschiedete die IGKB ein Bau- und Investitionsprogramm, welches Massnahmen vor allem in der Siedlungsentwässerung vorsah, um den Phosphoreintrag auf ein für den Bodensee gewünschtes Mass - zum Erreichen eines stabilen Zustandes auf niedrigerem Niveau - zu verringern. In der Tat hat sich die Gesamtphosphorkonzentration im Freiwasser des Sees in den letzten Jahren beachtlich gesenkt, Modellberechnungen belegen (Bericht der IGKB Nr. 44), dass das angestrebte Ziel jedoch noch nicht erreicht ist. Die mit der Zuflussuntersuchung im Jahr 1985/86 erfassten Phosphorfrachten zeigen, dass grosse Anteile vom ländlichen Areal stammten. Die verschiedenen Eintragspfade konnten allein auf Basis der erhobenen Daten im einzelnen jedoch nicht quantitativ aufgeschlüsselt werden.

Stickstoff - ein weiterer Nährstoff - wurde in der Zuflussuntersuchung 1985/86 ebenfalls erfasst. Die Länder der Europäischen Union (EU) haben sich auf stickstoffreduzierende Massnahmen geeinigt, an denen sich die Schweiz teilweise auch beteiligt. Die im Bodensee gemessenen, wenn auch nicht alarmierenden Werte, steigen immer noch geringfügig an. Auch für Stickstoff gingen die Schätzungen der Zuflussuntersuchungen 1985/86 davon aus, dass grosse Anteile der gesamten Fracht aus dem ländlichen Raum stammten.

Obwohl die Erfolge der Reinhaltemassnahmen deutlich sichtbar sind, ist ein gegenüber menschlichen Einwirkungen und ungünstigen klimatischen Bedingungen stabiler Seezustand noch nicht erreicht. Angesichts des engen Spielraumes, der durch die bereits mehrheitlich erfolgte abwassertechnische Optimierung gegeben ist, erhält die Erfassung und Quantifizierung der belastenden Stoffquellen für die Planung weitergehender Sanierungsmassnahmen eine grosse Bedeutung.

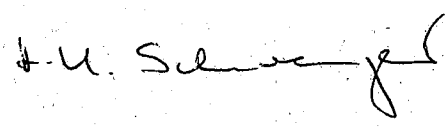
Die Belastung des Bodensees mit Stickstoff und Phosphor erfolgt hauptsächlich über die Zuflüsse und die Direkteinleitungen in den See. Kenntnisse über die Eintragspfade wie Kläranlagen, Regenentlastungen und diffuse Quellen (ländliches Areal) sind von ausschlaggebender Bedeutung für eine weiterführende Massnahmenplanung. Insbesondere sind hierfür verbesserte Kenntnisse über Stickstoff- und Phosphorfrachten aus dem ländlichen Raum und sonstigen diffusen Quellen unerlässlich.

Im August 1992 hat deshalb die IGKB der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC-Liebefeld; heute Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft, IUL) den Auftrag erteilt, die Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen im Einzugsgebiet des Bodensees für das hydrologische Jahr 1985/86 aus arealstatistischen Daten abzuschätzen, um die Eintragspfade der in den Zuflussuntersuchungen 1985/86 ermittelten Stofffrachten genauer aufschlüsseln zu können.

Im vorliegenden Bericht wurden die länderweise vorhandenen Datengrundlagen auf ihre einheitliche Verwendbarkeit überprüft und soweit notwendig angepasst. Seit 1985/86 publizierte neue wissenschaftliche Erkenntnisse wurden in die Arbeit bereits einbezogen. Methodisch wurde das Bodenseegebiet in Flusseinzugsgebiete (Regionen) gegliedert, womit eine differenziertere und vergleichende Beurteilung mit grösserer Aussagekraft ermöglicht wurde. Zur besseren Gliederung des umfangreichen Datenmaterials wurden diese regionalen Daten und Ergebnisse in einem ausführlichen Anhang zum Bericht zusammengestellt. Der Bericht basiert auf einer Statusaufnahme der Jahre 1985/86 und erlaubt demzufolge keine quantitativ verbindlichen Aussagen über die gegenwärtigen Verhältnisse. Die allgemein gültigen qualitativen Ergebnisse sowie insbesondere die erfolgreiche Methodenanwendung und -überprüfung lassen eine Veröffentlichung im Sinne eines Materialien- und Methodenberichts durch die IGKB angezeigt erscheinen.

Eine aktuelle Abschätzung der diffusen Nährstoffeinträge unter Anwendung des vorliegenden Modells auf die zur Zeit laufende Zuflussuntersuchung 1995/96 wird es erlauben, einerseits die qualitativen Aussagen zu bestätigen und andererseits die quantitative Datengrundlage für das weitere Vorgehen bereitzustellen. Darauf aufbauend können dann differenzierte Massnahmen vorgeschlagen, auf ihre Wirkung und ihren Nutzen überprüft und untereinander abgestimmt werden.

IGKB - Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee
Der Vorsitzende 1996/97



H. U. Schweizer

Auftrag

Im August 1992 hat die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC), Liebefeld-Bern, seit 01.01.96 Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL), den Auftrag erteilt, die Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen für das ganze Einzugsgebiet des Bodensees für das hydrologische Jahr 1985/86 abzuschätzen. Folgende Fragestellungen standen im Vordergrund:

- Wie hoch war der Anteil der diffusen Quellen an den gesamten Phosphor- und Stickstoffeinträgen in den Bodensee 1985/86?
- Gab es regionale Unterschiede bezüglich der Höhe der diffusen Belastungen?
- Welches waren die wichtigsten diffusen Eintragspfade und gab es regionale Unterschiede?
- Wie hoch war die natürliche Hintergrundlast?
- Gab es Unterschiede zwischen den diffusen Phosphor- und Stickstoffeinträgen?
- Wie hoch waren die gelösten bzw. partikulären Anteile an der diffusen Phosphor- und Stickstofffracht?

Dank

Für die finanzielle Unterstützung und gute Zusammenarbeit danken wir der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) und allen Mitgliedern der IGKB-Arbeitsgruppe 'Zuflussuntersuchungen'. Unter Vorsitz von Dr. U. Bosshart (Amt für Umweltschutz St.Gallen) wurden in mehreren Arbeitssitzungen wertvolle Informationen geliefert und konstruktive Kritik geäussert. Zahlreiche statistische und sonstige Grundlagendaten und Arbeitsmaterialien wurden von den Ämtern der Mitglieder bereitgestellt (Ämter für Wasserwirtschaft und Bodenschutz Konstanz und Ravensburg, Institut für Seenforschung Langenargen, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, Amt für Gewässerschutz des Fürstentums Liechtenstein, Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Ämter für Umweltschutz St. Gallen, Graubünden und Thurgau). Einige der für die Abschätzung notwendigen Daten wurden uns freundlicherweise von verschiedenen anderen Fachstellen zur Verfügung gestellt. Erwähnt seien das Bundesamt für Statistik der Schweiz (Bern), das Eidgenössische Meliorationsamt (Bern), die Schweizerische Meteorologische Anstalt (Zürich) und der Deutsche Wetterdienst (Offenbach).

Zusammenfassung

Die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) hatte im hydrologischen Jahr 1985/86 im Rahmen von Zuflussuntersuchungen die dem Bodensee zugeführten Phosphor- und Stickstofffrachten ermittelt. Um diese Frachten nach ihren Quellen aufschlüsseln zu können, wurden die Einträge aus den diffusen Quellen mit Hilfe eines Stoffluss-Modells abgeschätzt. Dazu wurde das Bodensee-Einzugsgebiet in 18 Flusseinzugsgebiete untergliedert, für die jeweils eine Abschätzung durchgeführt wurde (s. Anhang).

Zunächst wurden für jedes Einzugsgebiet gemeindeweise die verschiedenen Wasserflüsse (Oberflächen-, Drainage- und Grundwasserabfluss, Niederschläge auf die Gewässer) für die einzelnen Bodennutzungskategorien (Wald, Grasland, Ackerland etc.) berechnet. Die Berechnung der Stofffrachten (Abschwemmung, Erosion, Auswaschung, atmosphärische Deposition, landwirtschaftliche Direkteinträge) erfolgte anschliessend durch Multiplikation der Wasserflüsse mit den entsprechenden nutzungs- und gebietsspezifischen Stoffkonzentrationen. Dabei wurde zunächst von langjährigen, mittleren Wasserflüssen und Stoffkonzentrationen ausgegangen und anschliessend eine Anpassung an die klimatischen Verhältnisse im hydrologischen Jahr 1985/86 vorgenommen. Mit demselben Modellansatz wurde die natürliche Hintergrundlast berechnet. Über eine Kontrollberechnung und den Vergleich mit den in den Vorflutern gemessenen Stofffrachten wurden alle Werte auf Plausibilität geprüft.

Phosphoreinträge:

Dem Bodensee wurden 1985/86 nach den Modellrechnungen von insgesamt 2 367 t $P \cdot y^{-1}$* Gesamt-Phosphor 1 791 t $P \cdot y^{-1}$ aus diffusen Quellen zugeführt. Damit betrug der Anteil der diffusen Quellen 76% der Gesamtfracht, 24% entfielen auf die punktuellen Quellen. 1 154 t $P \cdot y^{-1}$ (= 64%) waren partikulär gebundener Phosphor, 637 t $P \cdot y^{-1}$ (= 36%) gelöster Phosphor. Der grösste Teil des partikulär gebundenen Phosphors stammte aus der natürlichen Erosion der alpinen Gebiete und war schwer löslich und somit nicht bioverfügbar. 978 t $P \cdot y^{-1}$ (= 55%) der diffusen Gesamt-Phosphorfracht waren der natürlichen Hintergrundlast, 813 t $P \cdot y^{-1}$ (= 45%) der anthropogen diffusen Belastung zuzuschreiben. Vor allem die alpinen Gebiete trugen zu dem hohen Anteil der natürlicher Hintergrundlast bei. Die wichtigsten Eintragspfade waren mit 1 031 t $P \cdot y^{-1}$ (= 58%) die 'natürliche' Erosion, mit 349 t $P \cdot y^{-1}$ (= 19%) die Abschwemmung von Grasland und mit 114 t $P \cdot y^{-1}$ (= 6%) die Bodenerosion von Ackerflächen.

*Bei allen Einheiten wurde im Bericht die international häufig verwendete Schreibweise mit negativem Exponenten ($^{-1}$) gewählt. Das Jahr wurde y = year abgekürzt, d.h. t $P \cdot y^{-1}$ = Tonnen/Jahr Phosphor.

Die verschiedenen Einzugsgebiete trugen je nach Gebietsgrösse, naturräumlichen und klimatischen Verhältnissen sowie der anthropogenen Belastungsintensität unterschiedlich stark zur Stofffracht zum Bodensee bei. Mit 731 t $P \cdot y^{-1}$ lieferte das grösste Gebiet (Alprhein bzw. alpiner Bereich des Alpenrheins) den höchsten (41%), mit 5 t $P \cdot y^{-1}$ das kleinste Gebiet (Randgebiet Obersee BY) den niedrigsten Anteil (0.3%). Die flächenspezifischen diffusen Gesamt-Phosphoreinträge schwankten zwischen 2 762 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ (Dornbirnerach) und 599 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ (Radolfzeller Aach). Im Vergleich zu anderen Regionen waren sie in den meisten Einzugsgebieten des Bodensees überdurchschnittlich hoch.
Aufgrund der klimatischen Verhältnisse im hydrologischen Jahr 1985/86 wurden in fast allen Gebieten höhere diffuse Phosphoreinträge erreicht als im langjährigen Mittel zu erwarten wären. Insgesamt lag die diffuse Phosphorfracht zum Bodensee 1985/86 um 16% über dem berechneten langjährigen Mittel.

Stickstoffeinträge:
Von den insgesamt 23 832 t $N \cdot y^{-1}$ Gesamt-Stickstoff wurden dem Bodensee 1985/86 nach den Modellberechnungen 18 266 t $N \cdot y^{-1}$ aus diffusen Quellen zugeführt. Damit betrug der Anteil der diffusen Quellen 77% der Gesamtfracht, 23% entfielen auf die punktuellen Quellen. 15 699 t $N \cdot y^{-1}$ (= 86%) waren gelöster Stickstoff, 2 567 t $N \cdot y^{-1}$ (= 14%) partikulär gebundener Stickstoff. 6 682 t $N \cdot y^{-1}$ (= 37%) der diffusen Gesamt-Stickstofffracht waren der natürlichen Hintergrundlast, 11 584 t $N \cdot y^{-1}$ (= 63%) der anthropogen diffusen Belastung zuzuschreiben. Vor allem die alpinen Gebiete trugen zu dem hohen Anteil der natürlichen Hintergrundlast bei. Die wichtigsten Eintragspfade waren mit 5 661 t $N \cdot y^{-1}$ (= 31%) die Auswaschung unter Grasland, mit 3 454 t $N \cdot y^{-1}$ (= 19%) die Auswaschung unter Ackerland, mit 2 285 t $N \cdot y^{-1}$ (= 13%) die 'natürliche' Erosion und mit 2 176 t $N \cdot y^{-1}$ (=12%) die Auswaschung unter Wald.

Die verschiedenen Einzugsgebiete trugen analog zum Phosphor unterschiedlich stark zur Stofffracht zum Bodensee bei. Mit 4 576 t $N \cdot y^{-1}$ lieferte das grösste Gebiet (Alprhein) den höchsten (25%), mit 199 t $N \cdot y^{-1}$ das Gebiet 'Randgebiet Untersee CH' den niedrigsten Anteil (1%). Die flächenspezifischen diffusen Gesamt-Stickstoffeinträge schwankten zwischen 33 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ (Rotach) und 8.8 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ (Alprhein). Sie lagen damit in einer Grössenordnung, wie sie für andere Einzugsgebiete auch angenommen werden.

Aufgrund der klimatischen Verhältnisse im hydrologischen Jahr 1985/86 wurden in den verschiedenen Gebieten teils höhere, teil niedrigere diffuse Stickstoffeinträge erreicht als im langjährigen Mittel zu erwarten wären. Insgesamt lag die diffuse Stickstofffracht zum Bodensee 1985/86 um 5% über dem angenommenen langjährigen Mittel.

1. Einleitung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Im Auftrag der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) wurden im hydrologischen Jahr 1985/86 an den wichtigsten Zuflüssen des Bodensees und den seeanliegenden Abwasserreinigungsanlagen Messungen der in den See gelangenden Phosphor- und Stickstofffrachten durchgeführt. Diese Zuflussuntersuchungen ergaben einen Rückgang der Phosphorbelastung des Bodensees seit der letzten Untersuchung 1978/79, gleichzeitig aber auch einen Anstieg der Stickstoffbelastung. Um Anhaltspunkte über die Herkunft der Phosphor- und Stickstofffrachten zu erhalten, wurden umfangreiche Erhebungen für gereinigte und ungereinigte Abwässer durchgeführt sowie die Belastung durch den Stoffaustrag aus dem ländlichen Areal (≅ diffuse Quellen) der Einzugsgebiete grob abgeschätzt. Die Ergebnisse zeigen, dass - infolge abwassertechnischer Massnahmen und der Verringerung der Waschmittelphosphate bei gleichzeitiger Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung - der grösste Anteil der Phosphor- und Stickstoffbelastung des Bodensees inzwischen aus diffusen Quellen stammt (WAGNER & BÜHRER 1989).

In der vorliegenden Studie sollten die Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Gewässer des Bodensees für das hydrologische Jahr 1985/86 genauer erfasst werden. Mit Hilfe eines Stoffffluss-Modells, mit dem in anderen Gebieten bereits gute Erfahrungen gemacht wurden (BRAUN et al. 1991, PRASUHN & BRAUN 1994), sollten sämtliche diffuse Belastungsquellen quantitativ erfasst werden. In Anlehnung an die Messstellen der Zuflussuntersuchungen wurden 18 hydrologische Einzugsgebiete bzw. Teileinzugsgebiete festgelegt, für die jeweils eine separate Modellberechnung durchgeführt wurde. Abschliessend wurden die berechneten Phosphor- und Stickstofffrachten aus den diffusen Quellen denen der punktuellen Quellen gegenübergestellt und mit den Werten der Zuflussuntersuchungen verglichen.

1.2 Definition und Abgrenzung des Begriffes "diffuse Quellen"

Die Unterscheidung in punktförmige Einleitungen ("point sources") und diffuse Quellen ("non point sources") geschieht in Anlehnung an WERNER et al. (1991). Unter **punktförmigen Einleitungen** werden die kommunalen und industriellen Abwässer verstanden, die in Sammelkanalisationen erfasst und über Kläranlagen in die Oberflächengewässer geleitet werden. Das über Misch- oder Trennkanalisation und aus Regenüberlaufbecken in die Ge-

wässer geleitete Niederschlagswasser zählt ebenfalls zu den punktförmigen Belastungen. Weiterhin werden in der vorliegenden Untersuchung Abwässer aus Hauskläranlagen sowie direkt in die Gewässer eingeleitete, ungeklärte Abwässer von Einzelhöfen zu den punktförmigen Quellen gezählt. Ebenfalls werden Sickerwässer aus undichten Abwasserkanälen nicht den diffusen, sondern den punktförmigen Quellen zugerechnet.

Unter **diffusen Quellen** werden in der vorliegenden Untersuchung die Einträge durch Oberflächenabfluss (Abschwemmung und Erosion), Sickerung (Drainageeinträge, Auswaschung) und die direkten Stoffeinträge aus der Atmosphäre in die Gewässer verstanden. Es werden aber auch einige kleine punktuelle Belastungsquellen, die vor allem in ländlichen Gebieten auftreten, den diffusen Quellen zugeordnet. Zu diesen als diffuse Ortsbelastung (HAMM 1976a) bezeichneten Belastungsquellen zählen: Abwässer aus Sicker- oder Senkgruben von Einzelhöfen, Abschwemmung von Stoffen auf landwirtschaftlichen Betrieben (Gülle, Reinigungswasser der Ställe etc.), Direkteinleitungen beim Düngeraustrag, Direkteinleitungen durch weidendes Vieh, Niederschlagswasser von Strassen, Wegen und Hofplätzen (ausserorts), die nicht an die Kanalisation der Kläranlagen angeschlossen sind. Weitere kleinere diffuse Einträge entstehen durch den Badebetrieb, durch Wasservogelzucht, durch Fischerei (Fischfutter) und durch Laub- und Streueintrag.

Die Einträge durch diffuse Quellen sind weiterhin noch in eine **natürliche Hintergrundlast** und eine **anthropogen diffuse Belastung** zu untergliedern. Die natürliche Hintergrundlast wird durch die natürlichen, d.h. nicht auf anthropogene Luftverschmutzung zurückzuführenden Stoffmengen des Niederschlages und durch die Stoffkonzentrationen des abfliessenden Wassers, welche unter natürlicher Vegetation (= Wald, unproduktive Vegetation sowie vegetationslose Flächen) durch die Eigenschaften der Boden- und Gesteinsschichten bedingt sind, bestimmt. Die anthropogen diffuse Belastung resultiert also aus allen Veränderungen bezüglich Fliesswegen, Abflussmengen sowie Stoffkonzentrationen des Wassers gegenüber einem Zustand mit potentieller natürlicher Vegetation. Hierunter sind alle Eingriffe in die natürliche Vegetation durch die landwirtschaftliche Bodennutzung (z.B. Bodenbearbeitung, Düngung und Meliorationen), die forstwirtschaftliche Nutzung, den Siedlungsbau sowie die anthropogene Luftverschmutzung zu verstehen.

Die Stoffeinträge aus diffusen Quellen wurden in eine **gelöste** und eine **partikuläre** Fracht unterteilt. Es wurde unterstellt, dass Abschwemmung, Auswaschung und atmosphärische Deposition ausschliesslich zu gelösten, Erosion ausschliesslich zu partikulären sowie die restlichen diffusen Direkteinträge teils zu gelösten, teils zu partikulären Stoffeinträgen führen. Die Stoffeinträge aus punktuellen Quellen sind nach WAGNER & BÜHRER (1989) als vollständig bioverfügbar anzusehen und wurden daher als gelöste Fracht betrachtet.

1.3 Generelle Aussagekraft und Genauigkeit der Erhebungen

Für die Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge in die Gewässer der verschiedenen Einzugsgebiete wurden Daten aus amtlichen Statistiken mit durchschnittlichen Nährstoffgehalten in den entsprechenden Transportmedien (z.B. Oberflächenabfluss oder Erosionsmaterial) verknüpft. Die Daten der amtlichen Statistiken wurden auf Gemeindeebene erfasst, ebenso wurden die Daten der klimatischen Wasserbilanz gemeindeweise unter Berücksichtigung der Bodennutzung berechnet. Die für die Abschätzung der Stoffeinträge bzw. -frachten benötigten nutzungsspezifischen Verlustkoeffizienten konnten dagegen nur für ganze Einzugsgebiete oder sogar nur für bestimmte geographische Regionen bestimmt werden. Hierzu wurden Literaturdaten aus dem Bodenseegebiet und benachbarten Regionen, die überwiegend aus Feldmessungen resultierten, herangezogen. Grundlage bildeten langfristige Durchschnittswerte, von denen - unter Berücksichtigung klimatischer Aspekte - auf die für 1985/86 zu verwendenden Werte geschlossen wurde.

Bei der Übertragung der Literaturdaten auf die Einzugsgebiete wurden zwar so weit wie möglich regionale Aspekte (Klima, Topographie, Böden etc.) berücksichtigt, trotzdem sind derartige Extrapolationen mit Unsicherheiten und Fehlern behaftet, da die an einem Standort oder in einem Einzugsgebiet zu einem bestimmten Zeitpunkt gemessenen Daten streng genommen nur für diesen Standort Gültigkeit haben. Entsprechend mussten relativ viele Annahmen getroffen werden und es wurden viele Werte aufgrund von Analogieschlüssen festgelegt, so dass eine exakte Quantifizierung und eine statistische Fehlerrechnung unmöglich sind. Somit handelt es sich in der vorliegenden Studie um eine **Abschätzung** der Stoffeinträge in die Gewässer, die Grössenordnungen von verschiedenen Belastungsquellen in unterschiedlichen Gebieten liefern sollen. Mit einem statistischen Fehler von schätzungsweise ±20% muss für langjährige Durchschnittswerte sicherlich gerechnet werden. Da bei der Abschätzung für ein hydrologisches Jahr Einzelereignisse wie z.B. extreme Starkniederschläge mit hoher Bodenerosion, Gülleabschwemmung, Murgängen oder Überschwemmungen berücksichtigt werden müssen, ist hier ein weit höherer Fehler denkbar.

Kleinräumige, lokale Besonderheiten (z.B. Deponien, kleine Moore etc.) können nicht erfasst werden, so dass die berechneten Stoffeinträge nur jeweils als durchschnittlicher Summenwert für das gesamte Einzugsgebiet, nicht aber einzelner Gemeinden oder gar Parzellen angesehen werden dürfen. Die Streuung innerhalb eines Gebietes kann in Abhängigkeit von Bodentyp, Düngung, Anbauverfahren etc. sehr gross sein.

Alle im Modell eingesetzten Verlustkoeffizienten sowie sämtliche Ergebnisse wurden durch Vergleiche mit den restlichen Werten eines Gebietes sowie durch Quervergleiche zwischen allen 18 Gebieten auf Plausibilität geprüft. Als Kontrollen dienten weiterhin die am jeweiligen Einzugsgebietsausgang gemessenen Abflussmengen bzw. Stofffrachten. Dadurch konnten die Fehler, die sich bei einer Abschätzung zwangsläufig ergeben, minimiert werden. Alle Berechnungen wurden mit ungerundeten Zahlen durchgeführt. Dadurch können im Bericht geringe Abweichungen zwischen berechneten Summen und aufsummierten, nachträglich gerundeten Teilergebnissen entstehen.

2. Methodik

2.1 Abgrenzung und Grobcharakterisierung der Einzugsgebiete

Die Abgrenzung der **hydrologischen Einzugsgebiete (EZG)** (Abb. 1) erfolgte anhand der oberirdischen Wasserscheiden aus Topographischen Karten (TK). In der Schweiz wurde die TK 100 verwendet, an kritischen Stellen wurde die TK 25 zugezogen. In Baden-Württemberg stand die TK 50 "Gewässerkundliches Flächenverzeichnis Baden-Württemberg", in der zusätzlich die Gemeindegrenzen eingezeichnet waren, zur Verfügung. Für Bayern wurden die Daten vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft geliefert, zusätzlich stand die TK 50 sowie eine "Hydrologische Übersichtskarte Bayerischer Bodenseebereich 1 : 100 000" zur Verfügung. Für Österreich lieferte das Umweltinstitut des Landes Vorarlberg die Daten sowie eine "Hydrologische Übersichtskarte 1 : 200 000 zum Flächenverzeichnis des Rheingebietes". Für Liechtenstein wurden die Daten sowie eine Karte 1: 25 000 der Oberflächengewässer und der Gemeindegrenzen vom Amt für Gewässerschutz geliefert.

Bilanzierungspunkte für die Einzugsgebiete sind die Pegelmessstellen, an denen die Konzentrationsmessungen 1985/86 durchgeführt wurden (s. Tab. 2 und WAGNER & BÜHRER 1989). Flächenbezug für sämtliche Erhebungen und Berechnungen ist die **Gemeinde**. Die einem Einzugsgebiet zugehörigen Gemeinden wurden in der Schweiz und in Baden-Württemberg den genannten Karten entnommen. In Gemeinden, die mehreren Einzugsgebieten zuzuordnen sind, wurden die entsprechenden Flächenanteile ausplanimetriert und auf die Einzugsgebiete verteilt. In Bayern, Österreich und Liechtenstein wurden die Zuordnungen von den oben genannten Ämtern vorgenommen.

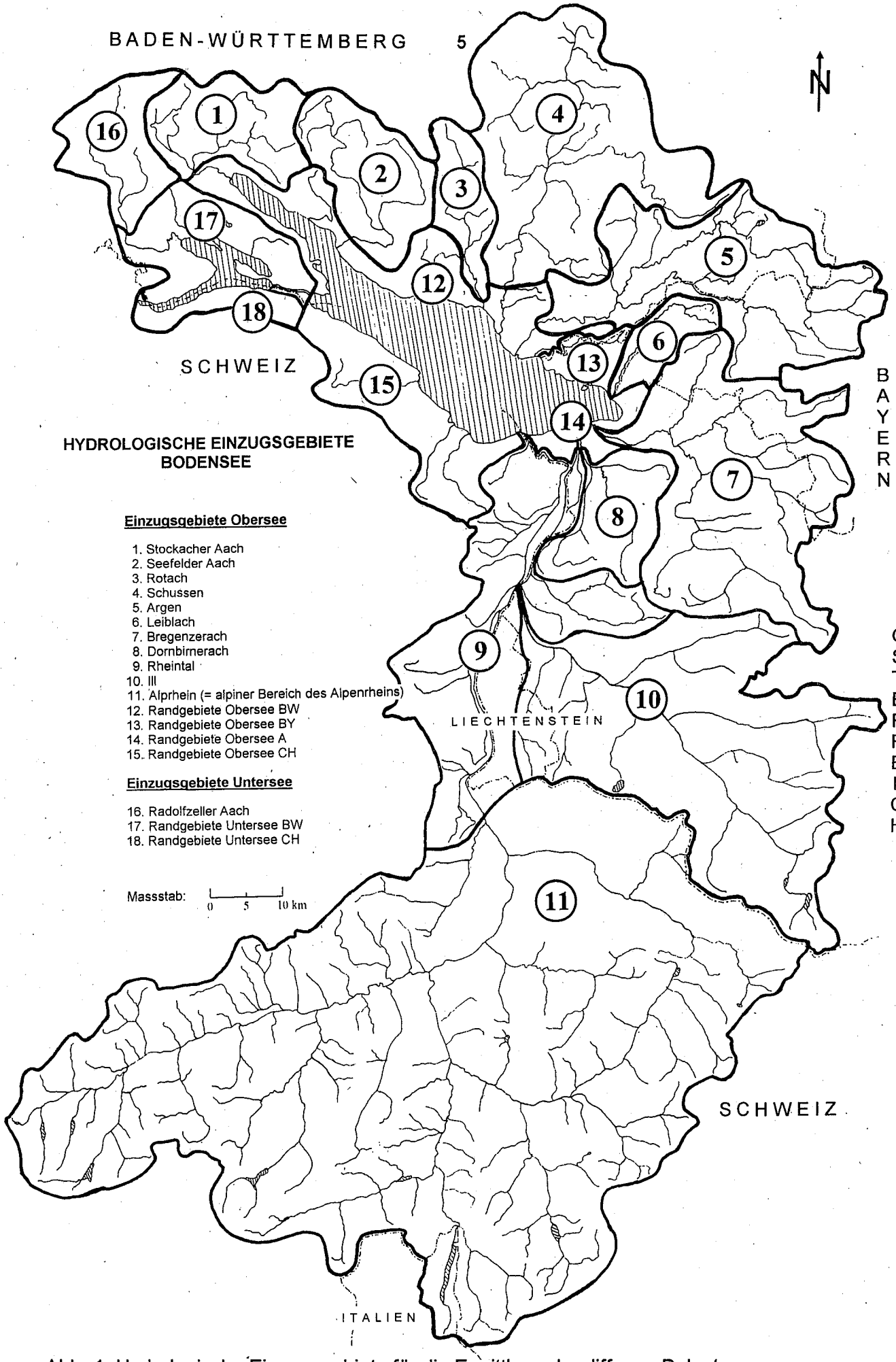


Abb. 1: Hydrologische Einzugsgebiete für die Ermittlung der diffusen Belastungen.

In Tab. 1 sind die Flächenanteile der verschiedenen Länder am Bodensee-Einzugsgebiet dargestellt und in Tab. 2 die Flächenanteile und die politische Zugehörigkeit der ausgeschiedenen Einzugsgebiete. Abb. 2 verschafft schliesslich einen ersten Überblick über die Verteilung der Hauptbodennutzungsarten in den verschiedenen Einzugsgebieten.

Land	Fläche (ha)	Anteil an Gesamtfläche (%)	Wald (ha)	Landwirt. Nutzfläche (ha)	Unproduktiv (ha)	Siedlung (ha)
Obersee						
Bayern (BY)	58 762	5.4	15 351	38 365	1 447	3 599
Baden-Württemberg (BW)	211 998	19.4	58 103	130 098	3 333	20 463
Vorarlberg (A)	233 539	21.4	71 716	127 710	25 478	8 636
Schweiz (CH)	519 886	47.6	131 874	204 255	166 072	17 685
Liechtenstein (FL)	16 000	1.5	6 181	5 889	1 854	2 076
Italien (I)	5 400	0.5	75	0	5 325	0
Seefläche	47 600	4.3	0	0	47 600	0
Obersee Gesamt	**1 093 185**	**100.0**	**283 300**	**506 317**	**251 109**	**52 459**
Untersee						
Baden-Württemberg (BW)	42 012	77.0	13 910	21 424	851	5 827
Schweiz (CH)	6 228	11.4	2 503	2 881	59	785
Seefläche	6 300	11.6	0	0	6 300	0
Untersee Gesamt	**54 539**	**100.0**	**16 413**	**24 305**	**7 209**	**6 612**
Bodenseegebiet insgesamt	**1 147 724**		**299 713 26.1%**	**530 622 46.2%**	**258 318 22.5%**	**59 071 5.1%**

Tab. 1: Flächenanteile der verschiedenen Länder am Bodensee-Einzugsgebiet.

Einzugsgebiet	Kürzel	Pegelmessstelle	Fläche (ha)	Anteil an Gesamtfläche (%)	politische Zugehörigkeit (%)
Stockacher Aach	Stock.	Wahlwies	21 285	1.9	100 BW
Seefelder Aach	Seef.	Oberuhldingen	27 285	2.5	100 BW
Rotach	Rot.	Friedrichshafen	13 077	1.2	100 BW
Schussen	Schu.	Gerbertshaus	78 912	7.2	100 BW
Argen	Argen	Giessen	65 337	6.0	63 BW 37 BY
Leiblach	Leib.	Eisenbahnbrücke Bregenz-Lindau	10 471	1.0	74 BY 26 A
Bregenzerach	Breg.	Strassenbrücke Hard	82 551	7.6	74 A 26 BY
Dornbirnerach	Dorn.	Lauterach-Lustenau	19 781	1.8	100 A
Rheintal	Rh'tal	Rhein - Diepoldsau Alter Rhein - St.Margr. Lusten. Kanal - Hard	81 372	7.4	63 CH 24 A 13 FL
Ill	Ill	Feldkirch-Gisingen	128 163	11.7	96 A 4 FL
Alprhein	Alprh.	Bad Ragaz	445 275	40.7	99 CH 1 I
Bodenseerand-gebiete BW	Rg BW	-	30 436	2.8	100 BW
Bodenseerand-gebiete BY	Rg BY	-	5 229	0.5	100 BY
Bodenseerand-gebiete A	Rg A	-	7 508	0.7	100 A
Bodenseerand-gebiete CH	Rg CH	-	28 903	2.6	100 CH
Seefläche		-	47 600	4.4	-
Obersee Gesamt			**1 093 185**	**100.0**	
Radolfzeller Aach ohne Aach-Quelle	Radol.	Rielasingen	20 398	37.4	100 BW
Bodenseerand-gebiete BW	Rg BW	-	21 613	39.6	100 BW
Bodenseerand-gebiete CH	Rg CH	-	6 228	11.4	100 CH
Seefläche		-	6 300	11.6	-
Untersee Gesamt			**54 539**	**100.0**	
Bodenseegebiet insgesamt			**1 147 724**		

Tab. 2: Flächenanteile und politische Zugehörigkeit der untersuchten Einzugsgebiete am Bodensee-Einzugsgebiet.
Die Flächenangaben unterscheiden sich aufgrund unterschiedlicher Erhebungsmethoden z.T. geringfügig von anderen, in der Literatur gefundenen Daten.

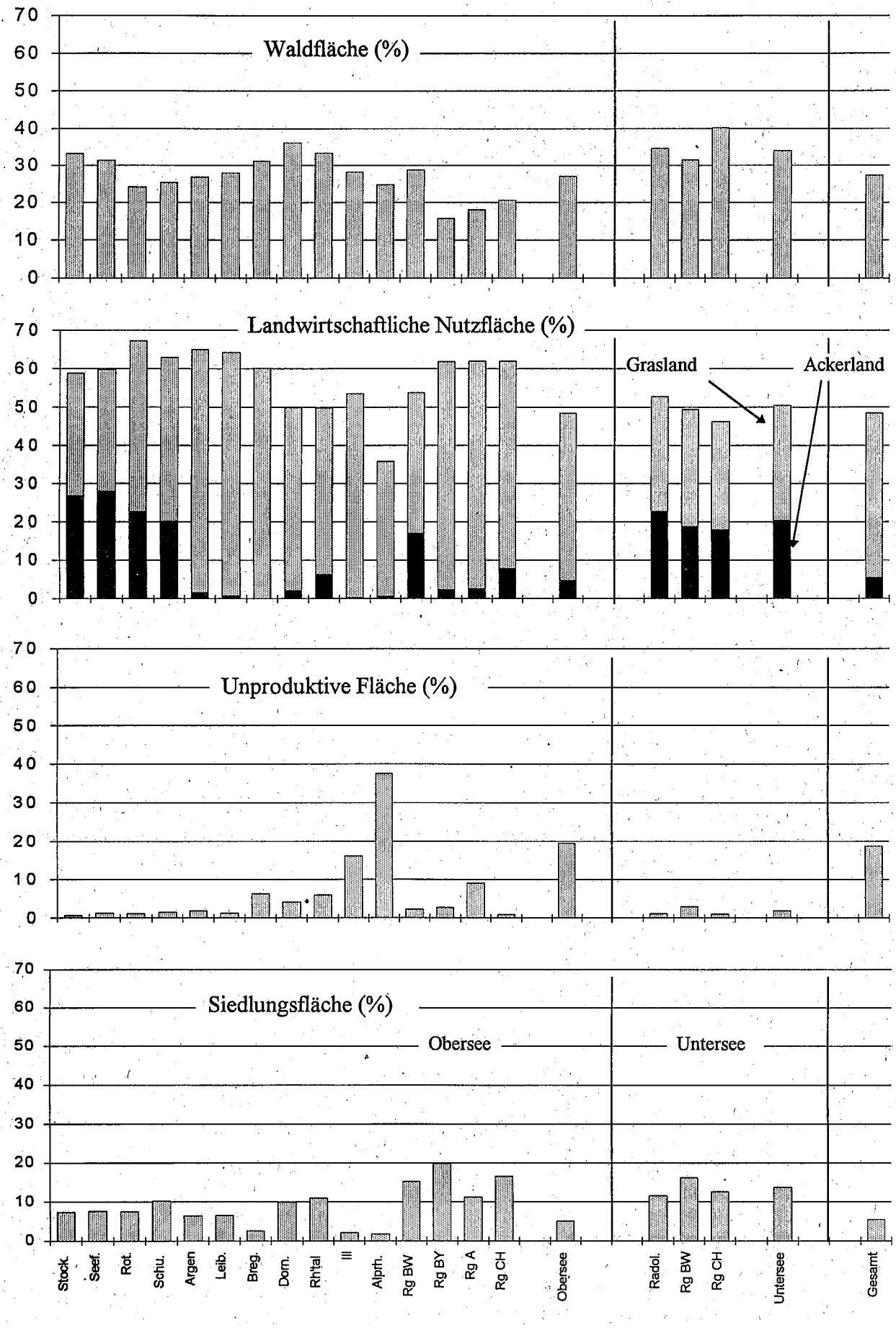


Abb. 2: Bodennutzung in den verschiedenen Einzugsgebieten.

2.2 Stoffffluss-Modell

Die Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Gewässer erfolgte über ein im Tabellenkalkulationsprogramm EXCEL 6.0 entwickeltes Stoffffluss-Modell. Das verwendete Stoffffluss-Modell orientiert sich am Modellansatz von BRAUN et al. (1991) und PRASUHN & BRAUN (1994). Änderungen resultieren aus der Überarbeitung des Modells sowie aus den unterschiedlichen Datengrundlagen der verschiedenen Länder. Als Bezugsjahr wurde das hydrologische Jahr 1985/86 gewählt. Die Modellgrundlagen sind bei PRASUHN & BRAUN (1994) ausführlich beschrieben.

In einer **Hauptberechnung** wurden zunächst für jedes Einzugsgebiet die verschiedenen Wasserflüsse (Oberflächen-, Drainage- und Grundwasserabfluss, Niederschläge auf die Gewässer) für die einzelnen Bodennutzungskategorien (Wald, Grasland, Ackerland etc.) berechnet. Die Berechnung der Stofffrachten erfolgte anschliessend durch Multiplikation der Wasserflüsse mit den entsprechenden nutzungs- und gebietsspezifischen Stoffkonzentrationen. Dabei wurde zunächst von langjährigen, mittleren Wasserflüssen und Stoffkonzentrationen ausgegangen und anschliessend eine Anpassung an die klimatischen Verhältnisse im hydrologischen Jahr 1985/86 vorgenommen.

Mit demselben Modellansatz wurde die **natürliche Hintergrundlast** berechnet, wobei hinsichtlich der Wasserflüsse und Stoffkonzentrationen entsprechende Annahmen getroffen wurden.

In einer **Kontrollberechnung** wurden nur die dominanten Eintragsquellen - beim Phosphor die Abschwemmung auf Grasland und die Bodenerosion auf Ackerland, beim Stickstoff die Auswaschung unter Ackerland - mit einem anderen Ansatz berechnet (s. Kap. 2.6). Dazu war eine Unterteilung der Ackerflächen in verschiedene Kulturen notwendig, ansonsten konnten die Flächendaten der Hauptberechnung verwendet werden. Statt Wasserflüssen und Stoffkonzentrationen gingen hier nutzungsspezifische Stofffrachten (in $kg \cdot ha^{-1}$) in die Berechnung ein. Dadurch wurde neben einer detaillierteren Aufschlüsselung der Eintragswege eine zusätzliche Kontrolle des Stoffffluss-Modells ermöglicht. Die Kontrollberechnung konnte nur für langjährige Mittelwerte durchgeführt werden.

Haupt- und Kontrollberechnung sind nicht unabhängig voneinander. Vielmehr wurde versucht, wichtige Aspekte eines Ansatzes im jeweils anderen zu verwerten. Dadurch sollte ein möglichst optimaler Wert - unter Berücksichtigung möglichst vieler Einflussfaktoren - gefunden werden.

2.3 Datenerhebung

Die Daten wurden soweit wie möglich den Flächenstatistiken (CH: Arealstatistik, BW: Gemeindestatistik, BY: Flächenerhebung, A: Flächennutzungsstatistik, FL: Flächenerhebung und Liechtensteinische Betriebszählung) entnommen (Tab. 3). Für Bodennutzungsarten, die in den Flächenstatistiken nicht vorhanden waren, wurden die Landwirtschaftlichen Betriebszählungen (CH und FL: Betriebszählung, BW und BY: Bodennutzungshaupterhebung, A: Bodennutzungserhebung) zugezogen. Diese beruhen auf dem Betriebsprinzip und erfassen somit Flächen, die zu einem Betrieb mit einer bestimmten Mindestgrösse gehören und von denen nicht bekannt ist, in welcher Gemeinde sie liegen. Die Angaben für die Landwirtschaftliche Nutzfläche in den Flächenstatistiken und den Betriebszählungen unterschieden sich deshalb teilweise deutlich. Die Dauerwiesen und Mähweiden bilden die Restfläche des Graslandes (Tab. 3). Somit wurden die Differenzen, die sich zwischen der Flächenstatistik und der Betriebszählung ergaben, auf das Grasland und hier wiederum auf die Kategorie 'Dauerwiesen und Mähweiden' abgewälzt.

Bodennutzungsarten	Quelle
Landwirtschaftliche Nutzfläche	Flächenstatistik[1)]
Ackerland (inkl. Reb- und Gemüsebau)	berechnet[2)]
Offenes Ackerland	Betriebszählung
Rebbau	Flächenstatistik[3)]
Grasland (inkl. Obstbau und übriges Kulturland[4)])	berechnet[5)]
Kunstwiesen[6)]	Betriebszählung
Dauerwiesen und Mähweiden	berechnet[7)]
Heimweiden	Flächenstatistik[1)]
Alpwirtschaftliche Nutzflächen[8)]	Flächenstatistik

1) FL: Betriebszählung
2) Ackerland = Offenes Ackerland + Rebbau
3) BW, BY und FL: Betriebszählung
4) übriges Kulturland = Baumschulen, Streue- und Torfland usw.
5) Grasland = Landwirtschaftliche Nutzfläche - Offenes Ackerland - Rebbau
6) Kunstwiesen = Kleegras, Kleearten, Luzerne usw.
7) Dauerwiesen und Mähweiden = Grasland - Kunstwiesen - Heimweiden - Alpwirtschaftliche Nutzflächen
8) Alpwirtschaftliche Nutzflächen = Alpweiden + Hutungen

Tab. 3: Landwirtschaftliche Bodennutzungsarten.

In Gemeinden, die nur zu einem Teil in einem Einzugsgebiet liegen, wurden sämtliche Bodennutzungsarten entsprechend dem planimetrierten Gesamtflächenanteil berücksichtigt, d.h. der prozentuale Flächenanteil wurde linear auf alle Nutzungsarten übertragen. Da sich die in den amtlichen Statistiken der verschiedenen Länder erhobenen Kategorien zum Teil deutlich unterscheiden, werden die verwendeten Kategorien länderweise kurz beschrieben.

2.3.1 Bodennutzungsarten

Schweiz:

In der Schweiz wurden die Daten der Arealstatistik (1979/85) entnommen (BFS 1992a). Erhebungsperiode für die Region waren die Jahre 1983-85.

Folgende Bodennutzungsarten wurden ausgeschieden (Definitionen s. BFS 1992b):

1. **Wald** = gesamte bestockte Fläche: Geschlossener Wald (Normalwald, Waldstreifen, Waldecken, übriger Wald), Aufgelöster Wald, Gebüschwald, Gehölze (Feldgehölze, Hecken, Baumgruppen, übrige Gehölze)
2. **Landwirtschaftliche Nutzfläche** = Rebbau, Obstbau, Gartenbau, Wies- und Ackerland, Heimweiden, Alpwirtschaftliche Nutzfläche
   - **2a. Rebbau**
   - **2b. Obst- und Gartenbau** = Obstbauflächen, Obstanlagen, geordnete Obstbaumbestände, Streuobst und Gartenbauflächen
   - **2c. Wies- und Ackerland** = günstiges Wies- u. Ackerland und übriges Wies- u. Ackerland
   - **2d. Heimweiden** = durch natürliche Faktoren bedingte absolute Weidefläche im Bereich der Dauersiedlungszone
   - **2e. Alpwirtschaftliche Nutzfläche** = Maiensässe, Heualpen, Bergwiesen, Alp- und Jura weiden
3. **Unproduktive Flächen** = Gewässer, unproduktive Vegetation, vegetationslose Flächen
   - **3a. Gewässer** = Stehende Gewässer, fliessende Gewässer, Uferböschungen
   - **3b. Unproduktive Vegetation**: Gebüsch und Strauchvegetation, unproduktive Gras- und Krautvegetation, Nassstandorte, Ufervegetation
   - **3c. Vegetationslose Flächen**: Felsregionen, Gletscher
4. **Siedlungsflächen** = Gebäudeareal, Besondere Siedlungsflächen, Verkehrsflächen (inkl. Strassen und Wege), Siedlungsgrün
   - **4a. Strassen und Wege**

4b. Siedlungsgrün = Strassengrün, Bahngrün, Flugplatzgrün, Sportanlagen, Schrebergärten, Camping, Golfplätze, Friedhöfe, öffentliche Parkanlagen, Gebäude in Erholungsanlagen, Industrieumschwung, Gebäudeumschwung

Die Nutzungskategorien Rebbau, Obst- und Gartenbau, Wies- und Ackerland, Heimweiden und Alpwirtschaftliche Nutzfläche konnten in folgenden **Hangneigungsstufen** durch BFS (1992c) geliefert werden (Tab. 4):

0	- 2 Neugrad	(= 0 - 3,0 %)	= Ebene
2	- 10 "	(= 3,1 - 15,7%)	= Leichte Hanglage
10	- 19 "	(= 15,8 - 32,4%)	= Starke Hanglage
	>19 "	(= > 32,4%)	= Steillage

Die Fläche der Kunstwiesen, des offenen Ackerlandes und der verschiedenen, für die Kontrollberechnung benötigten Ackerkulturen (Getreide ohne Körnermais, Mais, Kartoffeln, Zucker- und Futterrüben, Raps, Gemüse, andere Ackergewächse wie Acker- und Sojabohnen, Eiweisserbsen, Sonnenblumen, Tabak, Hopfen usw.) konnten aufgrund der Eidg. Betriebszählung (BFS 1986) berechnet werden (Tab. 5). Die Ackerfläche, die im Winter brach liegt, wurde folgendermassen berechnet:

Winterbrache Fläche = 0.8 x Fläche der im Frühjahr gesäten Kulturen (Getreide ohne Körnermais x 0.13 + Mais + Kartoffeln + Zucker- und Futterrüben + Gemüse + andere Ackergewächse).

Baden-Württemberg:

In Baden-Württemberg wurden die Daten der Gemeindestatistik 1986 (STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 1986) entnommen, die die Ergebnisse der Flächenerhebung 1985 wiedergeben.

Folgende Bodennutzungsarten wurden ausgeschieden:

1. **Wald** (entspricht Waldfläche Schweiz) = Waldfläche sowie Gehölze, Waldblössen, Pflanzgärten, Wildäsungsflächen etc.
2. **Landwirtschaftsfläche** (entspricht Landwirtschaftliche Nutzfläche Schweiz) = Ackerbauflächen, Wiesen- und Weidewirtschaft, Gartenbau, Weinbau, Moor- und Heideflächen, landwirtschaftliche Brachflächen
3. **Flächen anderer Nutzung + Wasserflächen** (entspricht Unproduktive Flächen Schweiz)
   - **3a. Wasserflächen** (entspricht Gewässer Schweiz) = Wasserflächen ohne Bodensee, Uferböschungen, Schilfflächen

3b. Flächen anderer Nutzung (entspricht unproduktiver Vegetation + vegetationslose Flächen Schweiz) = Truppenübungsplätze, Schutzflächen, historische Anlagen, Unland (= Felsen, Steinriegel, Abbauland etc.)

4. Siedlungsflächen (entspricht Siedlungsflächen Schweiz) = Gebäude- und Freiflächen + Betriebsflächen + Erholungsflächen + Verkehrsflächen (inkl. Strassen, Wege u. Plätze)

4a. Strassen, Wege und Plätze (entspricht Strassen und Wege Schweiz)

4b. Erholungsfläche = Gärten, Kleingärten, Parks, Friedhöfe, Campingplätze, Sportplätze. Im Vergleich zum Siedlungsgrün der Schweiz fehlen Verkehrsgrün und Gebäudeumschwung, die nicht gesondert ausgeschieden wurden. Sie wurden durch Schätzung der Erholungsfläche zugeschlagen, um eine Vergleichbarkeit mit der Schweiz herzustellen.

Die Aufgliederung der Landwirtschaftlichen Nutzfläche erfolgte analog zur Schweiz mit Hilfe der Bodennutzungshaupterhebung 1987 (STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 1988). Eine Aufteilung nach Hangneigungsstufen konnte nicht geliefert werden. Die Heimweiden wurden auf 5% der gesamten Dauergrünlandfläche geschätzt; alpwirtschaftliche Nutzflächen existierten nicht. Die Flächenanteile von Körnermais, Gemüse und Kunstwiesen mussten ebenfalls abgeschätzt werden (Tab. 5). Die winterbrache Ackerfläche wurde wie in der Schweiz berechnet. In einigen Gemeinden, in denen aufgrund einer geringen Anzahl erfasster Betriebe Rückschlüsse auf einzelne Betriebe gezogen werden könnten, unterlagen die Flächen gewisser Kulturen aus datenschutzrechtlichen Gründen der Geheimhaltung und mussten deshalb geschätzt werden.

Bayern:

In Bayern wurden die gewünschten arealstatistischen Daten vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft auf Diskette geliefert und wurden ungeprüft übernommen. Sie entstammen der Flächenerhebung 1984 (BAYERISCHES LANDESAMT f. STATISTIK u. DATENVERARBEITUNG 1992).

Die Aufgliederung der Landwirtschaftlichen Nutzfläche erfolgte wie in Baden-Württemberg aufgrund der Bodennutzungshaupterhebung 1987 (BAYERISCHES LANDESAMT f. STATISTIK u. DATENVERARBEITUNG 1992) (Tab. 5), lag allerdings in erheblich höherem Detailierungsgrad vor, so dass keine Abschätzungen einzelner Kategorien vorgenommen werden mussten. Eine Aufteilung nach Hangneigungsstufen konnte nicht geliefert werden. Aus datenschutzrechtlichen Gründen gesperrte Daten wurden abgeschätzt. Die winterbrache Ackerfläche wurde wie in der Schweiz berechnet.

Österreich:

In Österreich wurden die gewünschten arealstatistischen Daten vom UMWELTINSTITUT DES LANDES VORARLBERG (1993) auf Diskette geliefert. Sie entstammen der Flächennutzungsstatistik 1986: Flächennutzung nach Gemeinden. Folgende Kategorien wurden ausgeschieden:

1. **Wald** (entspricht Waldfläche Schweiz)
2. **Landwirtschaftlich genutzte Fläche + Alpen + Weingärten** (entspricht Landwirtschaftliche Nutzfläche Schweiz) = Ackerland, Weingärten, Obstanlagen, Gartenbau, Baumschulen, Dauerwiesen, Kulturweiden, Hutweiden, Almen, Bergmähder, Streuwiesen und nicht mehr genutztes Grünland
   - **2a. Weingärten** (entspricht Rebbau Schweiz)
   - **2b. Alpen** (entspricht alpwirtschaftlicher Nutzfläche Schweiz)
3. **Gewässer + unproduktiv** (entspricht unproduktive Flächen Schweiz)
   - **3a. Gewässer** (entspricht Gewässer Schweiz) = Wasserflächen abzüglich Bodenseefläche; Uferböschungen, Schilfflächen
   - **3b. unproduktiv** (entspricht unproduktiver Vegetation + vegetationslose Flächen Schweiz)
4. **Baufläche + Gärten + (Sonstige - unproduktiv)** (entspricht Siedlungsfläche Schweiz)
   - **4a. Sonstige: Bundesstrassen + Landesstrassen + Güterwege + Wege + Strassen + Gassen + Plätze** (entspricht Strassen u. Wege Schweiz)
   - **4b. Gärten + Sonstige: andere Widmung** = Hausgärten, Parkanlagen, Friedhöfe, Campingplätze, Sportplätze etc. Im Vergleich zum Siedlungsgrün der Schweiz fehlen Verkehrsgrün und Gebäudeumschwung, die nicht gesondert ausgeschieden wurden. Sie wurden durch Schätzung den Gärten zugeschlagen, um eine Vergleichbarkeit mit der Schweiz herzustellen.

Die Aufgliederung der Landwirtschaftlichen Nutzfläche erfolgte analog zur Schweiz mit Hilfe der Daten der Bodennutzungserhebung 1986 (ÖSTERREICHISCHES STATISTISCHES ZENTRALAMT 1987), die ebenfalls vom Umweltinstitut des Landes Vorarlberg auf Diskette geliefert wurden (Tab. 5). Eine Aufteilung nach Hangneigungsstufen existiert nicht. Die winterbrache Ackerfläche wurde wie in der Schweiz berechnet.

Liechtenstein:

In Liechtenstein wurden die verwendbaren Unterlagen vom AMT FÜR GEWÄSSERSCHUTZ (1994) geliefert. Eine detaillierte Flächenstatistik existiert nicht. Verschiedene Quellen wurden daher herangezogen: Die Liechtensteinische Betriebszählung 1985 (AMT

FÜR VOLKSWIRTSCHAFT 1988), das Statistische Jahrbuch 1992 (AMT FÜR VOLKSWIRTSCHAFT 1992), welches die Ergebnisse der Flächenerhebung 1985 wiedergibt, Erhebung des Landesforstamtes 1984 (Waldfläche), Erhebung des Landesforstamtes 1983 (Alpweiden), Landesplanung: Bestandsaufnahme 1984 (Siedlungsfläche).

Folgende Bodennutzungsarten wurden ausgeschieden:

1. **Wald** (entspricht Waldfläche Schweiz) = Gebüschwald, Feldgehölze und Hochwald
2. **Landwirtschaftliche Nutzfläche + Alpweiden** (entspricht Landwirtschaftliche Nutzfläche Schweiz) = Ackerland, Rebland, Obstanlagen, Gartenbau, Baumschulen, Naturwiesen, Kulturweiden, Alpweiden, Almen, Bergmähder, Streuwiesen
   - **2a. Rebland** (entspricht Rebbau Schweiz)
   - **2b. Alpweiden** (entspricht alpwirtschaftlicher Nutzfläche Schweiz)
3. **Unproduktive Flächen abzügl. Siedlungsfläche** (entspricht unproduktive Flächen Schweiz)
   - **3a. Gewässer** keine Daten vorhanden, Wert abgeschätzt
   - **3b. unproduktiv** keine Daten vorhanden, Wert abgeschätzt (entspricht unproduktiver Vegetation + vegetationslose Flächen Schweiz)
4. **Siedlungsflächen** (entspricht Siedlungsfläche Schweiz)
   - **4a. Strassen und Wege** keine Daten vorhanden, Wert abgeschätzt
   - **4b. Siedlungsgrün** keine Daten vorhanden, Wert abgeschätzt

Die Aufgliederung der Landwirtschaftlichen Nutzfläche erfolgte durch die Liechtensteinische Betriebszählung 1985 (AMT FÜR VOLKSWIRTSCHAFT 1988), die nach der gleichen Methode wie in der Schweiz erfolgte. Eine Aufteilung nach Hangneigungsstufen existiert nicht.

2.3.2 Drainageflächen

Als drainierte Flächen werden nur die durch Rohre und nicht die durch offene Entwässerungsgräben oder -kanäle drainierten Flächen verstanden.

Schweiz: Die Drainageflächen wurden gemeindeweise aus den Karteikarten des Eidg. Meliorationsamtes entnommen (Tab. 4). Die Angaben sind mit einigen Unsicherheiten behaftet, da häufig nicht ersichtlich ist, ob Flächen im Laufe der Zeit mehrmals entwässert wurden und es sich somit bei den angegebenen Drainagen um Rekonstruktionen handelt, ob sie seither überbaut wurden und ob die bestehenden Drainagen noch funktionsfähig sind.

	Grasland					Ackerland inkl. Rebland					Drainierte Fläche		Viehbesatz	Hofdüngeranfall	
		Hangneigungsstufe					Hangneigungsstufe							Stickstoff	Phosphor
		0-3%	3-16%	16-32%	>32%		0-3%	3-16%	16-32%	>32%					
	[ha]	[%]	[%]	[%]	[%]	[ha]	[%]	[%]	[%]	[%]	[ha]	[%]*	[DGVE·ha^{-1}]*	[kg·ha^{-1}·y^{-1}]*	[kg·ha^{-1}·y^{-1}]*
Obersee															
Stockacher Aach	6 808	10				5 683	15				307	2	1.1	109	20
Seefelder Aach	8 694	10				7 622	25				752	5	1.0	102	19
Rotach	5 827	10				2 962	15				207	2	1.2	124	23
Schussen	33 692	10				15 949	25				2 021	4	1.4	149	27
Argen	41 386	3				1 077	20				1 030	2	1.5	153	27
Leiblach	6 638	5				76	20				304	5	1.6	171	31
Bregenzerach	49 545	2				41	20				4 587	9	0.6	64	11
Dornbirnerach	9 458	5				410	40				2 245	23	0.7	73	13
Rheintal	35 393	24	19	29	28	5 069	62	22	15	2	4 047	10	1.1	117	22
Ill	68 249	1				321	20				727	1	0.2	21	4
Alprhein	156 552	1	7	29	63	2 756	23	49	27	1	1 076	1	0.3	29	5
Randgebiet BW	11 158	10				5 190	30				466	3	0.9	90	16
Randgebiet BY	3 111	5				121	20				134	4	1.0	99	18
Randgebiet A	4 454	5				193	40				578	12	0.8	84	15
Randgebiet CH	15 605	19	64	15	2	2 276	23	74	2	<1	1 596	9	2.0	197	41
Summe Obersee	**456 571**					**49 747**					**20 077**	**4**	**0.8**	**78**	**14**
Untersee															
Radolfzeller Aach	6 106	15				4 651	20				242	2	0.8	81	15
Randgebiet BW	6 606	15				4 060	25				240	2	0.6	62	11
Randgebiet CH	1 765	14	71	14	1	1 116	9	77	14	<1	143	5	1.2	123	26
Summe Untersee	**14 477**					**9 828**					**625**	**3**	**0.8**	**78**	**15**
Gesamt-Bodensee	**471 049**					**59 574**					**20 702**	**4**	**0.8**	**78**	**14**

* bezogen auf die Landwirtschaftliche Nutzfläche

Tab. 4: Arealstatistische und andere Grundlagendaten. Die Verteilung auf die Hangneigungsstufen lag nur in der Schweiz vor. Der Anteil der Flächen in ebener Lage (0-3%), der für die Berechnung der Abschwemmung und der Bodenerosion benötigt wurde, wurde aufgrund der Daten in der Schweiz und der topographischen Verhältnisse für die anderen Gebiete abgeschätzt.

Gebiet	Ackerland inkl. Rebbau									Grasland inkl. Obstbau und übriges Kulturland				
		Rebbau	Getreide	Mais	Kartoffeln	Rüben	Raps	Gemüse	Andere		Dauerwiesen Mähweiden	Heim- weiden	Kunst- wiesen	Alpwirtsch. Nutzfläche
	(ha)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ha)	(%)	(%)	(%)	(%)
Obersee														
Stockacher Aach	5 683	0	53	30	1	1	7	3	4	6 808	91	5	4	0
Seefelder Aach	7 622	1	53	28	1	1	10	2	4	8 694	92	5	3	0
Rotach	2 962	0	48	36	1	1	5	2	7	5 827	92	5	3	0
Schussen	15 949	0	45	39	1	0	6	1	7	33 692	92	5	3	0
Argen	1 077	0	18	50	2	0	5	2	22	41 386	86	8	0	5
Leiblach	76	0	5	76	4	3	0	10	2	6 638	94	4	0	2
Bregenzerach	41	0	8	76	4	4	0	8	0	49 545	56	3	0	41
Dornbirnerach	410	0	23	71	1	1	0	3	2	9 458	72	1	0	27
Rheintal	5 069	4	23	55	3	3	2	9	0	35 393	62	5	3	30
Ill	321	0	26	60	10	2	0	2	0	68 249	21	0	0	78
Alprhein	2 756	10	39	38	4	0	5	2	1	156 552	17	3	1	80
Randgebiet BW	5 190	5	46	30	1	1	9	2	6	11 158	92	5	3	0
Randgebiet BY	121	13	1	43	9	0	0	29	4	3 111	99	1	0	0
Randgebiet A	193	0	8	83	5	0	0	4	0	4 454	98	1	0	0
Randgebiet CH	2 276	1	39	46	2	7	4	2	0	15 605	90	5	4	0
Summe Obersee	**49 747**	**2**	**43**	**38**	**2**	**1**	**6**	**3**	**5**	**456 571**	**49**	**3**	**1**	**47**
Untersee														
Radolfzeller Aach	4 651	0	53	28	1	0	10	3	4	6 106	92	5	3	0
Randgebiet BW	4 060	1	50	25	2	1	8	3	9	6 606	90	5	5	0
Randgebiet CH	1 116	2	50	22	3	8	8	7	0	1 765	81	3	16	0
Summe Untersee	**9 828**	**1**	**51**	**26**	**2**	**1**	**9**	**3**	**6**	**14 477**	**90**	**5**	**6**	**0**
Gesamt-Bodensee	**59 574**	**2**	**45**	**36**	**2**	**1**	**7**	**3**	**5**	**471 049**	**50**	**3**	**1**	**45**

Tab. 5: Aufteilung des Acker- und Graslandes auf Kulturarten.

Weiterhin sind vielfach Gesamtmeliorationen über mehrere Gemeinden erfolgt, wobei häufig die Gesamtfläche bei jeder Gemeinde registriert wurde. Überschneidungen sind daher möglich. Andererseits werden am Eidg. Meliorationsamt nur subventionierte Drainagen erfasst; private Drainagen bleiben unberücksichtigt. Die für jedes Einzugsgebiet berechneten Drainageflächen wurden am Eidg. Meliorationsamt diskutiert und wie folgt korrigiert: in den alpinen Gebieten wurden die ermittelten Drainageflächen um 5%, im Bodenseerandbereich und im Rheintal um 10% reduziert (AMSLER & KREBS 1993).

Baden-Württemberg, Bayern, Vorarlberg und Liechtenstein: Die Angaben über drainierte Flächen wurden von den entsprechenden Ämtern für Wasserwirtschaft und Bodenschutz bzw. dem Umweltinstitut Vorarlberg geliefert und beruhen z.T. auf Abschätzungen (Tab. 4). Sie sind daher mit einigen Unsicherheiten behaftet. Analog zur Schweiz wurden die Flächen in den alpinen Regionen um 5%, sonst um 10% reduziert, da auch hier eher mit einer Überschätzung gerechnet wurde. Es wird davon ausgegangen, dass nur Grasland- und Ackerlandflächen drainiert werden, und zwar ihrem Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche entsprechend.

2.3.3 Phosphor- und Stickstoffanfall aus Hofdüngern

In der Schweiz wurde der Phosphor- und Stickstoffanfall in den Hofdüngern aus den Düngergrossvieheinheiten (DGVE) der Eidg. Viehzählung 1985 (BFS 1994) für jede Gemeinde berechnet. In Baden-Württemberg stammen die Tierzahlen aus der Gemeindestatistik 1989 (STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 1989), in Liechtenstein aus der Liechtensteinischen Betriebszählung 1985 (AMT FÜR VOLKSWIRTSCHAFT 1988). Der Tierbestand wurde in Bayern für das Jahr 1986 vom Bayerischen Wasserwirtschaftsamt auf Diskette und in Vorarlberg für 1985 vom Umweltinstitut Vorarlberg auf Diskette geliefert. In Baden-Württemberg und Bayern vereinzelt vorkommende, aus Datenschutzgründen gesperrte Daten, wurden abgeschätzt. Die Tierzahlen wurden in den verschiedenen Ländern mit Hilfe der landesüblichen Schlüssel für Düngergrossvieheinheiten sowie den in SPIESS (1989) angegebenen Umrechnungsfaktoren zu Rauhfuttergrossvieheinheiten (RGVE), Mastschweineplätze (MSP) und Legehennenplätze (LHP) umgerechnet und mit dem bei SPIESS (1989) genannten jährlichen Nährstoffanfall für RGVE, MSP und LHP verrechnet (Tab. 4). Den Zahlen haftet ein Unsicherheitsfaktor an, da in den einzelnen Ländern unterschiedliche Tierkategorien und Umrechnungsschlüssel existieren, die nicht mit denjenigen von SPIESS (1989) identisch sind. Es handelt sich nur um Gebietsmittelwerte, bei einzelnen Betrieben können die angeführten Werte deutlich abweichen.

2.3.4 Klimatische Verhältnisse und Berechnung der Wasserbilanz

Da das Wasser das wichtigste Transportmedium für die Nährstoffe darstellt, müssen für die Abschätzung der Nährstoffeinträge die Wasserflüsse bekannt sein. Als Grundlage zur Berechnung der Wasserflüsse dient zunächst die allgemeine Wasserhaushaltsgleichung (= Wasserbilanz):

Abfluss = Niederschlag - Verdunstung ± Reserveänderungen (Speicherung oder Aufbrauch und Zu- oder Abflüsse)

In allen Einzugsgebieten wurde zunächst versucht, eine Wasserbilanz anhand langjähriger Mittelwerte von Niederschlag und Abfluss zu erstellen. Anschliessend wurden die Werte des hydrologischen Jahres 1985/86 (= Nov. 85 bis Okt. 86) den langjährigen Mittelwerten gegenübergestellt und eine Bilanz für 1985/86 erstellt. Die klimatischen Verhältnisse des Vorjahres und während des Jahres 1985/86 wurden für die Erstellung der Bilanz 1985/86 herangezogen. Aufgrund unterschiedlicher Datengrundlagen wurde länderweise vorgegangen.

Schweiz:

Im Vorjahr (1985) herrschte insgesamt ein leichtes Niederschlagsdefizit. Die Sommer- und Herbstmonate (Juli - Oktober 1985) vor der Untersuchungsperiode waren ausgesprochen sonnig, warm und trocken. So herrschte ein Sonnenschein- und Temperaturüberschuss von 20 - 40% und ein Niederschlagsdefizit von 35 - 55% (ZELLER & RÖTHLISBERGER 1986). In der Untersuchungsperiode herrschte dagegen ein leichter (Alpen) bis starker (Bodensee) Niederschlagsüberschuss (ZELLER & RÖTHLISBERGER 1987). Es wurde daher davon ausgegangen, dass es im Bilanzierungszeitraum zu einer Speicherung (Rücklage) gekommen ist.

Die langjährigen, mittleren monatlichen Niederschlagsmengen der im Untersuchungsgebiet liegenden Messstationen wurden den Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA 1985/86) entnommen und zu einem Jahresniederschlag (= 100%) aufsummiert. Dieser wurde mit den Werten des hydrologischen Jahres 1985/86 verglichen. Im Gebiet Alprhein (36 SMA-Stationen) ergab sich im Mittel aller Stationen ein um 1%, im Gebiet Rheintal (9 SMA-Stationen) ein um 12% und im Gebiet 'Bodenseerandgebiete Schweiz' (8 SMA-Stationen) ein im Mittel um 27% höherer Jahresniederschlag für die Bilanzierungsperiode 1985/86 (Tab. 6). Insgesamt herrschte also ein leichter bis deutlicher Niederschlagsüberschuss.

	Modell Mittelwerte			Modell Werte 1985/86			Abweichung vom Mittel		
Gebiet	Niederschlag	Verdunstung	Abfluss	Niederschlag	Verdunstung	Abfluss	Niederschlag	Verdunstung	Abfluss
		Speicherung			Speicherung			Speicherung	
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(%)	(%)
Obersee									
Stockacher Aach	878	625	253	1071	750	321	122	120	127
Seefelder Aach	985	619	367	1172	742	430	119	120	117
Rotach	983	552	431	1160	588	572	118	106	133
Schussen	1001	572	429	1171	658	513	117	115	120
Argen	1549	572	978	1642	686	956	106	120	98
Leiblach	1486	539	946	1610	647	963	108	120	102
Bregenzerach	2097	381	1715	2062	458	1604	98	120	94
Dornbirnerach	1782	530	1252	1675	575	1100	94	109	88
Rheintal	1373	579	794	1464	690	773	107	119	97
Ill	1751	316	1435	1668	328	1340	95	104	93
Alprhein	1491	333	1157	1506	396	1110	101	119	96
Randgebiet BW	926	618	308	1111	741	370	120	120	120
Randgebiet BY	1261	551	710	1387	661	726	110	120	102
Randgebiet A	1595	512	1083	1548	614	934	97	120	86
Randgebiet CH	1125	598	527	1429	748	681	127	125	129
Summe Obersee	**1475**	**427**	**1048**	**1518**	**501**	**1017**	**103**	**117**	**97**
Untersee									
Radolfzeller Aach	819	633	186	975	760	215	119	120	116
Randgebiet BW	931	619	312	1117	742	375	120	120	120
Randgebiet CH	965	616	349	1225	739	487	127	120	139
Summe Untersee	**888**	**624**	**264**	**1071**	**749**	**322**	**121**	**120**	**122**
Gesamt-Bodensee	**1449**	**436**	**1013**	**1498**	**512**	**987**	**103**	**117**	**97**

Tab. 6: Berechneter Niederschlag, Verdunstung/Speicherung und Abfluss im langjährigen Mittel und für das hydrologische Jahr 1985/86 sowie die Abweichungen vom Mittel.

Für die Modellberechnungen wurden die Niederschläge analog zu PRASUHN & BRAUN (1994) gemeindeweise aus dem Hydrologischen Atlas der Schweiz (KIRCHHOFER & SEVRUK 1992) abgeschätzt. Hierbei handelt es sich um nach SEVRUK & KIRCHHOFER (1992) korrigierte Niederschlagswerte, die somit höher als die Werte der SMA-Stationen liegen. Da in Deutschland, Österreich und Liechtenstein keine messfehlerbedingten Niederschlagskorrekturen durchgeführt werden, wurden die Korrekturen in der Schweiz in Anlehnung an SEVRUK & KIRCHHOFER (1992) wieder rückgängig gemacht, um die Einheitlichkeit und damit Vergleichbarkeit aller Länder zu gewährleisten. Eine Überprüfung erfolgte am Gebiet Alprhein, wofür der unkorrigierte Gebietsniederschlag in SCHÄDLER (1985) vorliegt. Da es sich weiterhin um langjährige Mittelwerte handelt, wurden sie mit den oben erwähnten Abweichungen der Bilanzierungsperiode korrigiert, indem die abgeschätzten langjährigen Niederschlagswerte jeder Gemeinde um 1%, 12% oder 27% erhöht wurden. Regionale Besonderheiten innerhalb der Bilanzierungsperiode (z.B. sehr hohe Tagesniederschläge, langanhaltende, ergiebige Regenperioden, Schneeschmelzen oder grössere Unwetterschäden) wurden den SMA-Veröffentlichungen (SMA 1985/86) oder ZELLER & RÖTHLISBERGER 1986 u. 1987) entnommen und für die Beurteilung der Wasser- und Stoffflüsse (z.B. Oberflächenabfluss, Bodenerosion) der einzelnen Gebiete herangezogen (s. Kap. 2.4 u. 2.5).

Die Verdunstung (= aktuelle Evapotranspiration) wurde ebenfalls gemeindeweise abgeschätzt. Gemessene oder berechnete Verdunstungswerte finden sich in der Literatur nur spärlich, die entsprechende Karte im Hydrologischen Atlas der Schweiz ist erst in der Entstehung und die SMA konnte keine Verdunstungswerte liefern. Daher wurde in Anlehnung an PRASUHN & BRAUN (1994) eine grobe Einstufung gewählt, die sich an der Gebietshöhe bzw. der Niederschlagsmenge und an der Landnutzung orientiert. Da unkorrigierte und somit niedrigere Niederschlagswerte verwendet wurden, mussten auch niedrigere Verdunstungswerte als bei PRASUHN & BRAUN (1994) eingesetzt werden. Die so ermittelten Verdunstungswerte stellen langjährige Mittelwerte dar, die entsprechend der Witterungsverhältnisse der Bilanzierungsperiode angepasst werden mussten. Die SMA konnte nur für die Stationen "Güttingen" (Gebiet 'Bodenseerandgebiet CH') und "Vaduz" (Gebiet Rheintal, FL) Daten zu Temperatur, Globalstrahlung und Sonnenscheindauer für die Bilanzierungsperiode und deren Abweichung vom langjährigen Mittel liefern. Diesen Daten und anderen allgemeinen Witterungsberichten zufolge, ist für die Bilanzierungsperiode mit einer überdurchschnittlichen Verdunstung zu rechnen (Niederschlagsüberschuss, im Sommer und Herbst Temperatur- und Sonnenscheinüberschuss). Weiterhin ist aufgrund der erhöhten Niederschlagsmengen und der trockenen und heissen Vorperiode mit einer Gebietsspeicherung zu rechnen. Eine um 10 - 20% höhere Verdunstung bzw. Speicherung wurde für 1985/86 für alle Gebiete, Höhenstufen und Landnutzungsformen angenommen (Tab. 6).

Für die alpinen Gebiete Alprhein und Ill (Österreich) führten die Verdunstungswerte gemäss Tab. 7 zu keinen befriedigenden Werten, da trotz sehr hoher Gebietshöhen relativ niedrige Niederschläge zu verzeichnen sind (inneralpine Trockentäler) und sich somit nach Tab. 7 zu hohe Verdunstungswerte ergeben. Hier wurden die mittleren Verdunstungswerte um 30% erniedrigt. Eine Überprüfung erfolgte anhand des Gebietes Alprhein, für das die mittlere Gebietsverdunstung in SCHÄDLER (1985) vorliegt. Für den langjährigen, mittleren Gebietsabfluss und den Abfluss 1985/86 liegen nur Werte für den Alprhein vor (Pegel Bad Ragaz, LANDESHYDROLOGIE 1990). Der Abfluss 1985/86 beträgt danach nur 96% vom langjährigen Mittel. Auch für das Rheintal wird ein geringerer Abfluss für das Jahr 1985/86 angenommen bzw. er ergibt sich aus der Berechnung. Die Randgebiete am Bodensee weisen dagegen aufgrund der hohen Niederschlagsüberschüsse auch erhöhte Abflüsse auf (Tab. 6).

Niederschlag	Verdunstung				
	Wald	Grasland	Gewässer	Acker	Vegetationslos
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
<1000	750	600	600	550	500
1000-1500	700	550	550	500	450
1500-1800	650	500	500	450	400
1800-2000	600	450	450	400	350
2000-2200	500	350	350	300	250
2200-2400	400	250	250	200	150
>2400	350	200	200	-	100

Tab. 7: Angenommene Verdunstung in Abhängigkeit von Niederschlagsmenge (und damit Gebietshöhe) und Landnutzung.

Baden-Württemberg und Bayern:

Für Baden-Württemberg und Bayern wurden die langjährigen, mittleren Gebietsniederschläge sowie die der Bilanzierungsperiode 1985/86 vom Deutschen Wetterdienst berechnet (DWD 1994a u. b) und als Summenwert für jedes Einzugsgebiet geliefert. Die gemeindeweise Aufteilung wurde anhand der Niederschlagskarte des Hydrologischen Atlas der Bundesrepublik Deutschland (KELLER 1978) vollzogen. In allen Gebieten ist ein deutlicher Niederschlagsüberschuss für die Periode 1985/86 zu verzeichnen (Tab. 6). Regionale Besonderheiten (hohe Tagessummen, langanhaltende, ergiebige Niederschlagsperioden, Unwetterschäden etc.) wurden den Monatlichen Witterungsberichten (DWD 1985/86) entnommen und bei der Abschätzung der Wasser- und Stoffflüsse berücksichtigt (s. Kap. 2.4 und 2.5).

Bei der Verdunstung wurde nach demselben Schema wie in der Schweiz vorgegangen (Tab. 7). Zum Vergleich wurden die Verdunstungskarten des Hydrologischen Atlas (KELLER 1978), die von BAUMGARTNER et al. (1983) und die von DOMMERMUTH & TRAMPF (1990, 1991 u. 1992) herangezogen. Eine Korrektur der Verdunstungswerte aus Tab. 7 erfolgte aufgrund der Witterungsverhältnisse der Bilanzierungsperiode, die den Monatlichen Witterungsberichten (DWD 1985/86) entnommen wurden. In allen Gebieten wurden die Verdunstungswerte für 1985/86 um ca. 10 - 20% erhöht, da sowohl mit höherer Verdunstung als auch mit einer Rücklage für die Bilanzierungsperiode 1985/86 gerechnet werden muss (Tab. 6).

Die langjährigen, mittleren Abflüsse wurden dem HYDROLOGISCHEN JAHRBUCH (1989), die der Periode 1985/86 aus WAGNER & BÜHRER (1989) entnommen und untereinander verglichen. Danach ergibt sich für alle Gebiete ein leicht (Argen 2%) bis deutlich höherer (Rotach 30%) Abfluss für die Periode 1985/86 (s. Tab. 29).

Österreich:

In Österreich wurden die langjährigen, mittleren Niederschläge amtlicher Messstationen sowie die der Periode 1985/86 den Veröffentlichungen des HYDROGRAPHISCHEN ZENTRALBÜROS (1994) entnommen. Im Mittel ergab sich ausser für die Gebiete Leiblach und Rheintal (Schweizer Teil mit Überschuss) ein leichtes Niederschlagsdefizit (Tab. 6) - im Gegensatz zu den Gebieten in den anderen Ländern. Die Gebietsniederschläge wurden für die Bilanzierungsperiode gemeindeweise vom Umweltinstitut Vorarlberg (WERNER 1993) berechnet. Die Niederschlagsdaten der amtlichen Messstationen wurden dabei über zwei verschiedene Regressionen (für den nördlichen und südlichen Teil) mit der Gebietshöhe verrechnet.

Bei der Verdunstung wurde nach demselben Schema wie in der Schweiz verfahren (Tab. 7). Für die Bilanzierungsperiode 1985/86 wurden auch in den österreichischen Gebieten die Verdunstungswerte um 5% bis 20% erhöht, da auch hier - trotz der geringeren Niederschläge - aufgrund der klimatischen Verhältnisse mit einer höheren Verdunstung und/oder einer Rücklage gerechnet werden muss.

Die Abflüsse der Periode 1985/86 (WAGNER & BÜHRER 1989) liegen in allen Gebieten unter den langjährigen, mittleren Gebietsabflüssen (UMWELTINSTITUT VORARLBERG 1994).

Liechtenstein:

Für Liechtenstein stand neben den Daten der SMA-Station "Vaduz" eine Karte der mittleren jährlichen Niederschlagsmenge, die vom Gewässerschutzamt Liechtenstein geliefert wurde, zur Verfügung. Hieraus wurden gemeindeweise die Gebietsniederschläge abgeschätzt. Da in Vaduz die Niederschlagsmenge der Bilanzierungsperiode um 9% unter dem langjährigen Mittel lag, wurden alle Werte entsprechend um 9% nach unten korrigiert. Bei der Verdunstung wurde analog zur Schweiz vorgegangen (Tab. 6). Da die SMA-Station Vaduz für die Bilanzierungsperiode einen Temperatur- und Sonnenscheinüberschuss sowie ein Niederschlagsdefizit aufweist, wurde eine um 15% höhere Verdunstung/ Speicherung angenommen.

Alle Länder:

Die ermittelten langjährigen, mittleren Werte für Niederschlag und Verdunstung sowie die der Periode 1985/86 wurden in allen Einzugsgebieten den entsprechenden gemessenen und berechneten Gebietsabflüssen gegenübergestellt und auf Plausibilität geprüft. Da überall Niederschlagswerte ohne Messfehlerkorrektur verwendet wurden, liegen die ermittelten Gebietsniederschläge und -verdunstungswerte im Vergleich zu den von PRASUHN & BRAUN (1994) für den Kanton Bern berechneten vergleichsweise niedriger.

Unter Verdunstung/Speicherung sind auch kurzfristige Reserveänderungen im Boden- und Grundwasserspeicher, im Schnee oder in Gletschern sowie in Seen oder Stauseen enthalten. Unterirdische Zu- oder Abflüsse sind in den meisten Einzugsgebieten unbekannt oder nicht quantifizierbar, sind für grössere Einzugsgebiete nach SCHÄDLER (1985) aber vernachlässigbar, ebenso anthropogene Wasserentnahmen oder -zuleitungen (Trinkwasserentnahmen, Abwasser, Kraftwerksableitungen etc.). Je kleiner allerdings die Einzugsgebiete sind, desto gewichtiger können anthropogene Wasserflüsse und unterirdische Zu- oder Abflüsse sein. In der vorliegenden Berechnung wurde eine hydrologische Bilanz ohne Berücksichtigung dieser Faktoren durchgeführt, da die theoretisch in jedem Gebiet anfallenden Stoffflüsse erfasst werden sollten. Die berechnete Abflussmenge umfasst somit den gesamten in einem Gebiet entstehenden oberirdischen und unterirdischen Abfluss, unabhängig davon, ob unter- oder oberirdische Zu- oder Wegflüsse existieren. Die berechneten Abflussmengen können sich daher z.T. erheblich von den oberirdisch gemessenen Abflussmengen an den Pegelmessstellen unterscheiden (z.B. Radolfzeller Aach ohne Donauzufluss über Aach-Quelle). Auf die gebietsspezifischen Besonderheiten wird im Anhang näher eingegangen.

2.4 Berechnung der Wasserflüsse

Die **totale (= potentielle) Abflussmenge** eines Einzugsgebietes ergibt sich aus der Differenz von Gebietsniederschlag und -verdunstung sowie -speicherung. Der totale Abfluss setzt sich zusammen aus (Abb. 3):

Oberflächenabfluss: der Anteil des Niederschlags- oder Schneeschmelzwassers, der nicht in den Boden infiltriert, sondern - ausserhalb von Fliessgewässern - auf der Bodenoberfläche abfliesst. Oberflächenabfluss kann als sogenannter Horton'scher Oberflächenabfluss auftreten, wenn die Niederschlagsintensität die Infiltrationskapazität des Bodens und die Speicherkapazität kleiner Geländemulden übersteigt, oder als gesättigter Oberflächenabfluss, wenn der Boden bis an die Bodenoberfläche gesättigt ist. Weiterhin kann Oberflächenabfluss bei Schneeschmelze oder Niederschlägen auf gefrorenem Boden auftreten. Oberflächenabflusswasser kann nach einer gewissen Fliessstrecke wieder in den Boden infiltrieren, kann aber auch direkt in einen Vorfluter fliessen.

Ebenfalls zum Oberflächenabfluss gehört das auf versiegelten Flächen (Strassen, Dächer etc.) abfliessende Wasser. Dieses wird grösstenteils über die Kanalisation Kläranlagen oder Regenrückhaltebecken zugeführt und gelangt über diesen Umweg indirekt in den Vorfluter und bleibt bei der Untersuchung der Stoffbelastungen aus diffusen Quellen ausser Betracht. Nur das von versiegelten Flächen, die nicht an die Kanalisation der Kläranlagen angeschlossen sind, direkt in ein Gewässer fliessende Wasser, wurde berücksichtigt.

Drainagenabfluss: der Anteil des Sickerwassers, welcher in der ungesättigten Bodenzone mittels künstlicher Drainagen (nur Rohre, keine Entwässerungsgräben) dem Vorfluter zugeführt wird.

Zwischenabfluss (Interflow): der Anteil des Sickerwassers, der lateral im Boden und in Deckschichten über dem Grundwasserleiter abfliesst. Zwischenabflusswasser kann direkt dem Vorfluter zufliessen, unterirdisch in das Grundwasser übertreten, linienhaft am Hang austreten und zu Oberflächenabfluss werden (return flow) oder eine Quelle speisen. Abhängig vom Porensystem (Anteil Makroporen), Gefälle und Entfernung zum Oberflächengewässer kann zwischen schnellem und langsamen Zwischenabfluss unterschieden werden. Im Vergleich zum grundwasserbürtigen Abfluss ist die Verweilzeit und Fliessstrecke relativ kurz.

Quellenabfluss: das Wasser, welches als Grundwasser an der Erdoberfläche örtlich konzentriert als Quelle kontinuierlich oder episodisch austritt.

Grundwasserabfluss: das Wasser, welches im Grundwasserleiter zum Oberflächengewässer hin abfliesst. Sickerwasser, welches nicht über Drainagen oder Zwischenabfluss abfliesst, gelangt in das Grundwasser, vermischt sich mit dem im Gebietsspeicher vorhandenen Grundwasser und tauscht dieses langsam durch hydraulische Verdrängung aus. Die Verweilzeit kann daher gross sein. Im langjährigen Mittel entspricht der Abfluss aus dem Gebietsspeicher in der Regel dem Zufluss in den Gebietsspeicher. Das Grundwasser kann in Form von Quellen austreten oder direkt ins Fliessgewässer eintreten.

Niederschlag auf Gewässer: das Wasser, welches direkt auf Fliessgewässer oder stehende Gewässer fällt abzüglich der Verdunstung von Gewässern.

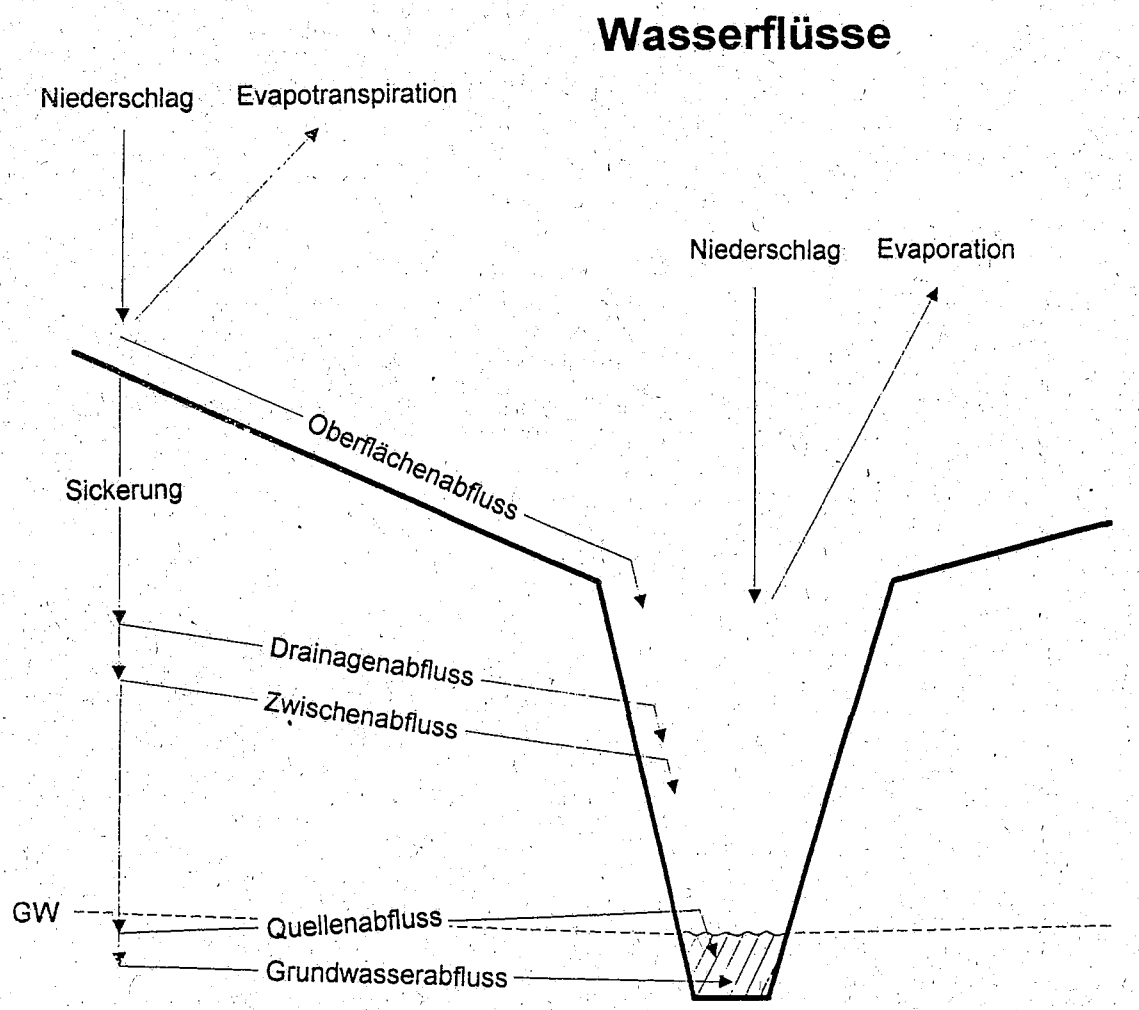


Abb. 3: Schematische Darstellung der erfassten Wasserflüsse.

2.4.1 Oberflächenabfluss

Berechnung langjähriger Mittelwerte:

Der Oberflächenabfluss wurde analog zu PRASUHN & BRAUN (1994) berechnet. Neben der Niederschlagsmenge und -struktur beeinflussen die potentielle Abflussmenge, die Bodennutzung, die Hangneigung und die Durchlässigkeit der Böden hauptsächlich die Oberflächenabflussmenge.

Beim Grasland wurde davon ausgegangen, dass Oberflächenabfluss nur in Hanglagen auftritt. Der Anteil der Graslandflächen in Hanglage lag nur für die Schweizer Gebiete vor. Für die anderen Gebiete wurde der Anteil abgeschätzt, wobei die Werte aus den Schweizer Gebieten und aus dem Kanton Bern (PRASUHN & BRAUN 1994) unter Berücksichtigung der topographischen Verhältnisse als Richtwerte verwendet wurden (Tab. 4). In Anlehnung an die bei PRASUHN & BRAUN (1994) aufgeführten Literaturangaben sowie die dort verwendeten Oberflächenabflusswerte wurden 7% Oberflächenabfluss von der potentiellen Abflussmenge auf Grasland für alle Einzugsgebiete zugrunde gelegt. Daraus berechnen sich - je nach Niederschlags- und Verdunstungsmenge - Oberflächenabflusswerte zwischen 1.4% (Radolfzeller Aach) und 4.4% (Bregenzerach) des Niederschlages. Dieser Ansatz wird den regionalen Gegebenheiten (Anteil Schneeschmelze, steilere Hanglagen, flachgründigere Böden, höhere Erosivität der voralpinen und alpinen Gebiete) am ehesten gerecht.

Auf Ackerflächen wurde ebenfalls nur in Hanglagen mit Oberflächenabfluss gerechnet. Für die Schweizer Gebiete wurde in Anlehnung an die Bodenerosion (Kap. 2.5.2) in leichter Hanglage in allen Gebieten 5% der potentiellen Abflussmenge, in starker Hanglage 7% der potentiellen Abflussmenge und in Steillage 9% der potentiellen Abflussmenge auf Ackerland als Oberflächenabfluss eingesetzt. Für die anderen Gebiete wurde der Anteil an Ackerflächen in Hanglage abgeschätzt (Tab. 4). Hier wurde 7% der potentiellen Abflussmenge auf Ackerland als Oberflächenabfluss angenommen. Daraus ergeben sich Oberflächenabflusswerte zwischen 1.5 und 3.6% vom Niederschlag.

Flächen mit unproduktiver Vegetation kommen vor allem in den Höhenlagen der voralpinen und alpinen Gebiete vor. Wegen der Schneeschmelze ist mit 5% Oberflächenabfluss der potentiellen Abflussmenge auf unproduktiver Vegetation (= ca. 3 % des Niederschlages) zu rechnen. Auf den vegetationslosen Flächen, zu denen sehr unterschiedliche Flächen zu zählen sind (Felsregionen, verkarstete Gebiete, Schutthalden, Gletscher etc.) ist eine Unterscheidung von Oberflächenabflusswasser und Sickerwasser unmöglich und für die vorliegende Fragestellung auch nicht notwendig. Somit wurde der nicht verdunstende Teil des

Niederschlages (= potentielle Abflussmenge) undifferenziert als Abfluss behandelt. In Deutschland, Österreich und Liechtenstein war eine Aufschlüsselung von Flächen mit unproduktiver Vegetation und vegetationslosen Flächen nicht möglich. Hier wurden diese Flächen wie Flächen mit unproduktiver Vegetation behandelt. Nur in den beiden stärker alpin geprägten Gebieten Ill und Bregenzerach ist mit einem nennenswerten Anteil an vegetationslosen Flächen zu rechnen.

In den Hochlagen der voralpinen und alpinen Gebiete wird auch mit Oberflächenabflusswasser durch Schneeschmelze in den Bergwäldern gerechnet. 3% der potentiellen Abflussmenge unter Wald (= ca. 1% des Niederschlages) wurden angenommen. In den übrigen Wäldern wurde kein direkter Oberflächenabfluss angenommen.

Nicht die gesamte oberflächlich abfliessende Wassermenge gelangt in ein Fliessgewässer. Ein Teil des Wassers versickert auf der Fliessstrecke oder sammelt sich in Mulden oder Senken, wo es langsam versickert. Analog zu PRASUHN & BRAUN (1994) wurde im vorliegendem Modell unterstellt, dass 75% des Oberflächenabflusses auf Grasland, Ackerland, unproduktiver Vegetation und Wald in die Gewässer gelangen.

Auf versiegelten Flächen (Strassen, Wege, Hofplätze etc.), die ausserorts liegen und nicht an eine Kläranlage angeschlossen sind, fliesst ein grosser Teil des Niederschlages oberflächlich ab und gelangt in die Fliessgewässer. Der prozentuale Anteil an Strassen, die ausserorts liegen, wurde für die Schweizer Einzugsgebiete nach HÜSLER et al. (1989) und aus der topographischen Karte abgeschätzt. Für die anderen Gebiete wurde der Anteil mittels Analogieschlüssen aus diesen Werten und denen von PRASUHN & BRAUN (1994) abgeschätzt. Es wurde angenommen, dass 20% der Jahresniederschläge (= ca. 20 - 40% der potentiellen Abflussmenge) oberflächlich in ein Gewässer abfliessen. Im Modell wurde für alle Gebiete mit 30% der potentiellen Abflussmenge gerechnet.

Berechnung für das hydrologische Jahr 1985/86:

Da im April 1986 ein Extremereignis von meist >50 mm Tagesniederschlag in allen Gebieten ausser Ill und Alprhein zu markanten Abflussspitzen und Schwebstoffkonzentrationen in den Vorflutern geführt hatte, wurde angenommen, dass dieses Niederschlagsereignis zu bedeutendem Oberflächenabfluss geführt hatte. Im Juli kam es in den Gebieten Alprhein, Rheintal, Bregenzerach, Dornbirnerach und 'Randgebiete Obersee Schweiz' zu einem weiteren Starkregenereignis mit überwiegend >50 mm Tagesniederschlag und hohen Abflüssen und Schwebstoffkonzentrationen. Da solche Extremereignisse die Jahressumme massgeblich beeinflussen können, wurde für alle Landnutzungen - je nach Gebiet - ein um

10 - 20% höherer Oberflächenabfluss gegenüber den oben genannten Mittelwerten angenommen. Weiterhin wurde davon ausgegangen, dass aufgrund der Extremereignisse nicht 75%, sondern 85% des Oberflächenabflusses bis in ein Gewässer gelangt waren.

2.4.2 Drainagenabfluss

Die Höhe der Drainspende wird in erster Linie durch die Niederschlagsmenge beeinflusst, weiterhin durch die Wasserspeicherkapazität des Bodens und durch die Evapotranspiration.

Die Abschätzung der Abflussmengen durch Drainagen erfolgte anhand der Literaturangaben in PRASUHN & BRAUN (1994) und den dort für den Kanton Bern verwendeten Werten. Zwischen 20% (niederschlagsarme Gebiete) und 50% (niederschlagsreiche Gebiete) der Niederschlagsmenge fliessen im Mittel auf einer drainierten Fläche über Drainagen in den Untersuchungsgebieten ab. Dies entspricht ca. 75% der potentiellen Abflussmenge auf Gras- und Ackerland in den niederschlagsärmeren Gebieten im Bodenseebereich, 65% in den voralpinen Gebieten und 55% in den niederschlagsreichen alpinen Gebieten. Diese groben Schätzwerte wurde für alle drainierten Flächen in den einzelnen Regionen verwendet. Somit fliessen im Bodenseebereich 180 - 350 mm, im voralpinen und im alpinen Raum 600 - 900 mm durch Drainagen ab. Der Rest der in den Boden einsickernden Wassermenge gelangt entweder durch schnellen Zwischenabfluss ins Fliessgewässer oder versickert weiter in die Tiefe.

Für 1985/86 wurden die gleichen prozentualen Anteile an der potentiellen Abflussmenge angenommen wie im langjährigen Mittel.

2.4.3 Zwischenabfluss, Quellenabfluss und Grundwasserabfluss

Quantitative Angaben über Grössenordnungen von Zwischenabfluss, Quellenabfluss und Grundwasserabfluss waren in der Literatur nur wenig zu finden, so dass die Summe dieser Grössen analog zu PRASUHN & BRAUN (1994) berechnet wurde. Die totale Sickerwassermenge (exkl. Drainagenabfluss) errechnet sich aus der Differenz zwischen der totalen Abflussmenge und der Summe aus Oberflächenabfluss und Drainagenabfluss.

2.4.4 Natürliche Hintergrundlast

Bei der Berechnung der natürlichen Hintergrundlast wurde davon ausgegangen, dass in allen Einzugsgebieten die potentiell natürliche Vegetation unterhalb der Waldgrenze Wald ist. Für alle heutigen Grasland-, Ackerland- und Siedlungsflächen wurde deshalb Wald angenommen. Neben dem Wald existieren oberhalb der Waldgrenze liegende Flächen mit unproduktiver Vegetation, die vegetationslosen Flächen sowie die Gewässer. Diese drei Kategorien wurden der Flächenstatistik entnommen und sind mit den Werten der Hauptberechnung identisch. Die Wasserflüsse wurden entsprechend neu berechnet, wobei die Niederschlagsmengen unverändert blieben. Durch das Retentionsverhalten des Waldes (grössere Evapotranspiration) gelangt allerdings weniger Wasser zum Abfluss. Unter Wald findet ausser in den alpinen und Hochlagen der voralpinen Regionen kein Oberflächenabfluss statt, d.h. nahezu alles Wasser versickert. Die bezüglich der Wasserflüsse getroffenen Annahmen der Hauptberechnung wurden übernommen.

2.5 Berechnung der Stoffflüsse

Die Berechnung der Stofffrachten erfolgte durch Multiplikation der Wasserflüsse mit den entsprechenden Stoffkonzentrationen. Oberflächenabfluss führt zu Stoffverlusten durch Abschwemmung oder Erosion, Drainagenabfluss zu Auswaschungsverlusten der oberen drainierten Bodenschicht (= Drainageverluste), Zwischen-, Quellen- und Grundwasserabfluss zu Auswaschungsverlusten der oberen undrainierten und der tieferen Bodenschichten (Abb. 4). Durchschnittliche Stoffkonzentrationen wurden über mehrjährige Messwerte aus der Literatur ermittelt. Kurzfristige oder saisonale Effekte, z.B. aufgrund unterschiedlicher Mineralisierung, Denitrifikation etc., konnten nicht direkt berücksichtigt werden. Vermutete Abweichungen der Werte der Periode 1985/86 gegenüber den Mittelwerten wurden - soweit begründbar - berücksichtigt und sind zusätzlich aufgeführt.

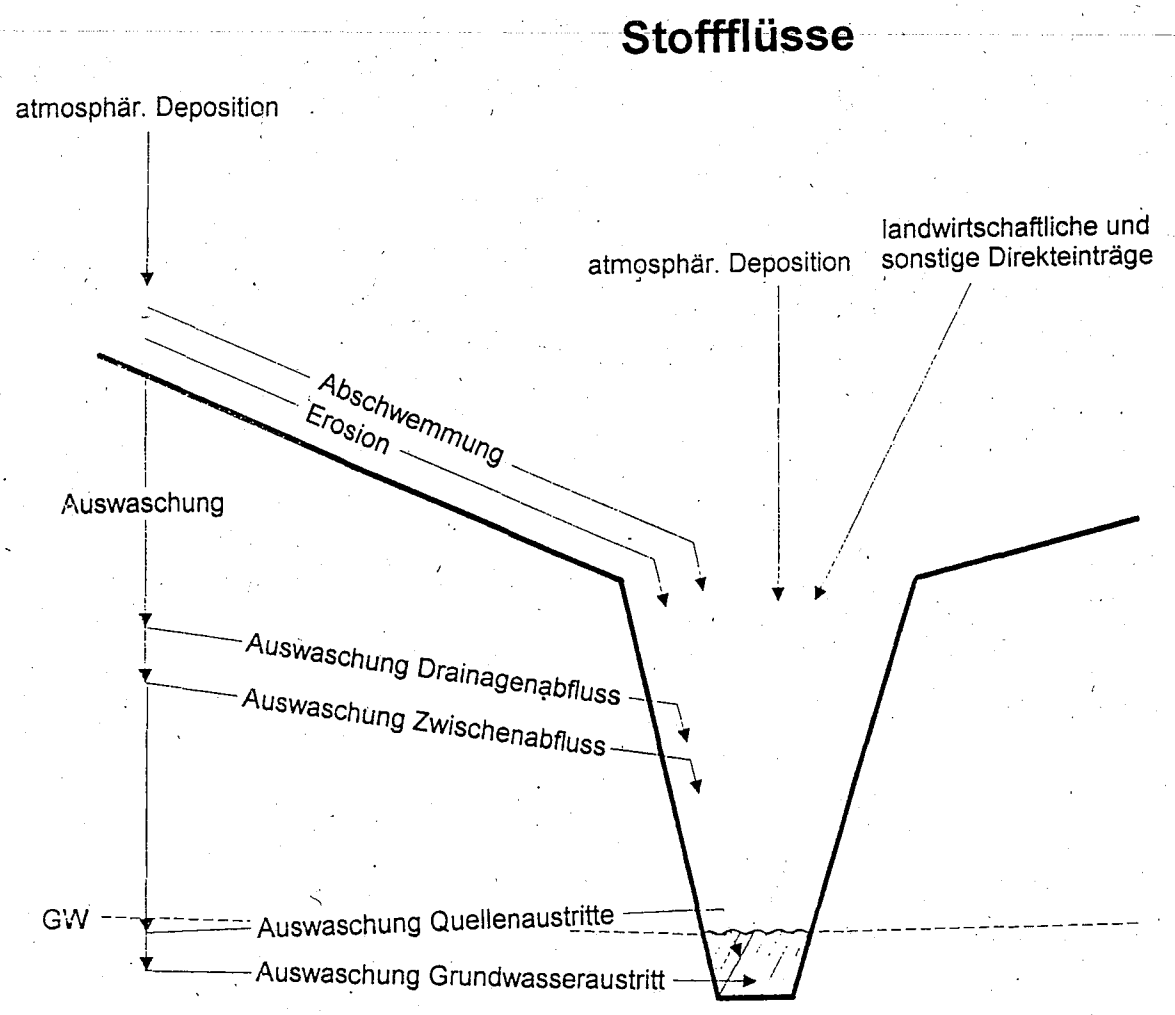


Abb. 4: Schematische Darstellung der erfassten Stoffflüsse. Die Stoffflüsse orientieren sich an den Wasserflüssen (s. Abb. 3).

2.5.1 Nährstoffeinträge durch Abschwemmung

Unter Abschwemmung wird der Transport von **nicht an Bodenpartikel gebundenen** Nährstoffen mit dem auf der Bodenoberfläche abfliessenden Wasser verstanden, unabhängig davon, ob Bodenerosion stattfindet oder nicht. Dabei werden vor allem Nährstoffe abgeschwemmt, die sich nach einem Düngeraustrag auf der Boden- und Pflanzenoberfläche befinden. Die im Niederschlag selbst enthaltenen Nährstoffe tragen ebenfalls zu diesen Nährstoffeinträgen bei.

Bei der Berechnung der Nährstoffeinträge wurden für die Periode 1985/86 die gleichen Stoffkonzentrationen wie im langjährigen Mittel angenommen, da keine Informationen verfügbar waren, die andere Werte rechtfertigen würden. Durch die angenommenen höheren Oberflächenabflüsse 1985/86 (Kap. 2.4.1) ergeben sich automatisch höhere Stoffeinträge. Inwieweit die Folgen der Starkregenereignisse der Periode 1985/86 in den einzelnen Gebieten dadurch richtig erfasst wurden, lässt sich nicht beurteilen. Je nachdem, ob und wieviel Gülle vor den Starkregen ausgebracht wurde, sind höhere oder niedrigere Abschwemmeinträge denkbar.

HAUFFE (1982) sieht im Gebiet Argen die intensive Düngung des Graslandes mit häufigen Güllegaben, die geringen Lagerkapazitäten für Gülle im Winter, die hohen Gebietsniederschläge mit mehreren Starkregen pro Jahr und die starke Reliefierung mit relativ hohen Oberflächenabflüssen als Hauptursachen für die hohen diffusen Phosphoreinträge. So konnte er Abschwemmung von Gülle im Sommer und im Winter beobachten und stellte nach dem Ausbringen von Gülle Konzentrationsmaxima von gelöstem Phosphor in den Fliessgewässern von Graslandgebieten fest. Für die anderen Einzugsgebiete ist aufgrund der überwiegend hohen Viehzahlen und ähnlichen naturräumlichen Gegebenheiten mit ähnlichen Problemen auf Graslandflächen zu rechnen. Die AGBA (1988) ermittelte für das Fürstentum Liechtenstein, dass 38% aller Landwirtschaftsbetriebe eine zu kleine Güllegrube aufweisen und somit im Winter gezwungen sind, Gülle auszubringen. Auch in den anderen Ländern ist anzunehmen, dass ein beträchtlicher Anteil an Betrieben zu wenig Lagerkapazität für Gülle haben und dadurch unter Umständen zu ungünstigen Zeiten (wassergesättigter, ausgetrockneter, gefrorener oder schneebedeckter Boden) Gülle ausbringen müssen.

Die hohen Phosphorgehalte der Oberböden von Graslandstandorten im Bodenseegebiet resultieren aus dem hohen Viehbesatz und der damit verbundenen intensiven Gülledüngung auf Grasland. So sind nach FLISCH (1987) die Phosphorgehalte der Oberböden von

Einzugsgebiet	Abschwemmung Phosphor					Abschwemmung Stickstoff				
	Grasland [mg P·r^{-1}]	Ackerland [mg P·r^{-1}]	unprod. Vegetation [mg P·r^{-1}]	Wald [mg P·r^{-1}]	Strassen u. Wege [mg P·r^{-1}]	Grasland [mg N·r^{-1}]	Ackerland [mg N·r^{-1}]	unprod. Vegetation [mg N·r^{-1}]	Wald [mg N·r^{-1}]	Strassen u. Wege [mg N·r^{-1}]
Obersee										
Stockacher Aach	2.00	1.00	0.10	-	0.10	2.00	2.00	1.00	-	1.00
Seefelder Aach	2.00	1.00	0.10	-	0.10	2.00	2.00	1.00	-	1.00
Rotach	2.50	1.25	0.10	-	0.10	2.50	2.50	1.00	-	1.00
Schussen	2.50	1.25	0.10	-	0.10	2.50	2.50	1.00	-	1.00
Argen	3.00	1.50	0.07	0.07	0.07	3.00	3.00	0.85	0.85	0.85
Leiblach	3.00	1.50	0.08	-	0.08	3.00	3.00	0.85	-	0.85
Bregenzerach	1.00	0.50	0.05	0.05	0.05	1.00	1.00	0.40	0.40	0.40
Dornbirnerach	1.00	0.50	0.07	-	0.07	1.00	1.00	0.60	-	0.60
Rheintal	1.40	0.75	0.08	0.05	0.08	1.50	1.50	0.85	0.85	0.85
Ill	0.60	0.20	0.05	0.05	0.05	0.40	0.40	0.30	0.30	0.30
Alprhein	0.50	0.25	0.05	0.05	0.05	0.60	0.60	0.40	0.40	0.40
Randgebiet BW	2.00	1.00	0.10	-	0.10	2.00	2.00	1.00	-	1.00
Randgebiet BY	1.50	0.75	0.08	-	0.08	1.50	1.50	0.85	-	0.85
Randgebiet A	1.00	0.50	0.07	-	0.07	1.00	1.00	0.60	-	0.60
Randgebiet CH	3.00	1.50	0.10	-	0.10	3.00	3.00	1.00	-	1.00
Untersee										
Radolfzeller Aach	2.00	1.00	0.10	-	0.10	2.00	2.00	1.00	-	1.00
Randgebiet BW	2.00	1.00	0.10	-	0.10	2.00	2.00	1.00	-	1.00
Randgebiet CH	2.50	1.25	0.10	-	0.10	2.50	2.50	1.00	-	1.00

Tab. 8: Angenommene Phosphor- und Stickstoffkonzentrationen im Oberflächenabfluss von Grasland, Ackerland, unproduktiver Vegetation, Wald sowie Strassen und Wegen der verschiedenen Einzugsgebiete.

Dauerwiesen unter 1000 m Höhe und Kunstwiesen in den Schweizer Gebieten bedeutend höher als auf Ackerland und auch höher als im Kanton Bern. Rund 60% aller Böden liegen in den P-Versorgungsstufen 'Vorrat' oder 'angereichert'. P-Gesamtgehalte - berechnet nach PRASUHN & BRAUN (1994) - von ca. 1 250 mg $P \cdot kg^{-1}$ ergeben sich daraus. Nach OSCHWALD (1994) sind zahlreiche Oberböden von Graslandstandorten im Einzugsgebiet der Schussen der P-Versorgungsstufe 'sehr hoch', einige auch der Stufe 'überhöht' zuzuordnen. HAUFFE (1982) ermittelte im Gebiet Argen für die A-Horizonte von Graslandböden einen mittleren P-Gehalt von 1 279 mg $P \cdot kg^{-1}$. KLEBER et al. (1994) fanden in Oberböden von Intensivgrasland im Gebiet Argen P-Gehalte von 2 200 mg $P \cdot kg^{-1}$.

Die in Tab. 8 aufgeführten Phosphor- und Stickstoffkonzentrationen im Oberflächenabfluss orientieren sich an den in PRASUHN & BRAUN (1994, Tab. 11) zusammengestellten Literaturdaten. Zur regionalen Abstufung wurden zusätzlich der Hofdüngeranfall pro Hektar Landwirtschaftlicher Nutzfläche (Tab. 4), der Nährstoffgehalt der Oberböden und die Konzentration im Niederschlag (Tab. 12) als Beurteilungskriterien herangezogen.

Die höchsten Konzentrationen wurden - zumindest beim Phosphor - für die Abschwemmung auf Grasland angenommen. Auf Ackerland wird ein Teil des abgeschwemmten Phosphors an Bodenpartikel gebunden und mit dem Erosionsmaterial ausgetragen. Bei der Abschwemmung von Wegen und Strassen wurde an dieser Stelle nur die Stoffkonzentration im Niederschlag, die Abschwemmung von Staub, Pollen etc., sowie die verkehrsbedingten Verunreinigungen erfasst. Die Abschwemmung von Düngemitteln von Strassen und Wegen (durch unsachgemässe Düngung und Tierexkremente beim Viehtrieb) wird in Kap. 2.5.5 separat behandelt. Daher liegen die hier eingesetzten Werte relativ niedrig. Die Abschwemmung von Nährstoffen bei unproduktiver Vegetation und unter Wald spielt nur in den Höhenlagen der alpinen Regionen eine Rolle (Steillagen, Schneeschmelze). Da es sich um ungedüngte Flächen handelt, sind die angenommenen Konzentrationen niedrig.

2.5.2 Nährstoffeinträge durch Erosion

Um den Nährstoffeintrag durch Erosion in die Fliessgewässer beurteilen zu können, bedarf es einer Abschätzung

- der durchschnittlich erodierten Bodenmenge pro Flächeneinheit
- des in ein Gewässer gelangenden Anteils an erodiertem Bodenmaterial und
- des Nährstoffgehaltes des erodierten Bodenmaterials.

Diese drei Faktoren unterscheiden sich je nach Bodennutzung und Region z.T. erheblich. Für eine regional differenzierte Abstufung der Abtragswerte wurden neben den in PRASUHN & BRAUN (1994, Tab. 13) aufgeführten allgemeinen Literaturdaten zur Bodenerosion speziell für das Bodenseegebiet folgende Karten und Arbeiten herangezogen:

- Die mittlere Bodenerosionsgefährdung in Deutschland auf der Grundlage der naturräumlichen Einheiten 1 : 1 000 000 (RICHTER 1965)
- Die landwirtschaftliche Bodennutzung und Bodenerosion in Deutschland 1 : 1 000 000 (RICHTER 1965)
- Die Anfälligkeit der Böden gegenüber der Bodenerosion in Deutschland 1 : 1 000 000 (RICHTER 1965)
- Der vorherrschende mittlere Hangneigungswert je Gemeinde in Deutschland 1 : 1 000 000 (RICHTER 1965)
- Bodenerosion in Baden-Württemberg 1 : 500 000 (HEMPEL 1968)
- Bodenerosion in Bayern 1 : 500 000 (HEMPEL 1968)
- Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern. Karten zum flächenhaften Bodenabtrag durch Regen. Diverse Karten 1 : 2 000 000 (AUERSWALD & SCHMIDT 1986)
- Isoerodentenkarte von Vorarlberg 1 : 500 000 (BLÜHBERGER 1993)
- Isoerodentenkarte der Schweiz (SCHAUB 1989)
- Gefahrenstufenkarte zur potentiellen Erosionsgefährdung durch Niederschläge in Deutschland (SAUERBORN 1993)
- Erosionsneigung (Erodibilität K) der Böden in Baden-Württemberg 1 : 1 000 000 (Bodenschutzprogramm '86 Baden-Württemberg)
- Bodenbestandsaufnahme Baden-Württemberg. Bodenkarte 1 : 1 000 000 (Geol. Landesamt Baden-Württemberg 1986)
- Bodeneignungskarte der Schweiz 1 : 200 000 (EJPD 1980)
- Lokalstudien in den Gebieten Stockacher Aach (KLETT 1965), Argen (HAUFFE 1982 und SCHÜTT 1988) und Schussen (PEINEMANN 1975)

Nach SCHWERTMANN (1973) und HAMM (1976b) ist zwischen der durch den Menschen verursachten, nutzungsbedingten Bodenerosion auf Ackerland und einer natürlichen Erosion (Bachbetterosion, Verwitterungsprozesse etc.) zu unterscheiden.

a) Bodenerosion auf Ackerland

Unter Bodenerosion auf Ackerland wird der durch die menschliche Bewirtschaftung ausgelöste Abtrag des Bodens durch Wasser verstanden (PRASUHN 1991). Die Erodibilität der

Ackerböden schwankt in derartig grossen Einzugsgebieten entsprechend der vielfältigen Bodentypen stark. Die Mehrheit der Böden des Bodenseegebietes kann als mässig erosionsgefährdet eingestuft werden (K-Faktor der Universal Soil Loss Equation, USLE: = 0.2 - 0.3), wobei aber auch schluffreiche, stark erosionsgefährdete Böden auftreten können. Für die meist tonreichen Ackerböden in der voralpinen und alpinen Region wurde eine geringe Erosionsgefährdung angenommen.

Die Erosivität der Niederschläge weist im westlichen Bodenseegebiet mit einem mittleren R-Faktor von 50 - 80 $N \cdot h^{-1}$ eine durchschnittliche Gefährdung auf. Nach Osten nimmt die potentielle Erosionsgefährdung durch Niederschläge mit R-Faktoren zwischen 80 und 100 $N \cdot h^{-1}$ zu. Im Rheintal liegt der R-Faktor bei 105 $N \cdot h^{-1}$. In den alpinen Regionen liegt eine generell höhere Gefährdung mit Werten über 100 $N \cdot h^{-1}$ vor. Im Gebiet Bregenzerach wird mit >130 $N \cdot h^{-1}$ die höchste potentielle Erosionsgefährdung durch Niederschläge erreicht. Dazu kommt die Gefährdung durch Schneeschmelze und Niederschläge auf gefrorenem Boden, so dass auch im Winterhalbjahr z.B. im Wintergetreide mit erheblichen Erosionsschäden gerechnet werden muss.

Beim Relief konnte für die Schweiz die Verteilung des Ackerlandes auf die Hangneigungsstufen für die Berechnung der mittleren Bodenabträge herangezogen werden (Tab. 4). In den anderen Ländern waren keine Angaben über die Verteilung der Ackerflächen auf Hangneigungsstufen verfügbar. Hier wurden nur die allgemein aus topographischen Karten ersichtlichen geomorphologischen Verhältnisse berücksichtigt und der Anteil an Ackerflächen in der Ebene geschätzt. Es wurde davon ausgegangen, dass Bodenerosion in der Ebene (Flächen <3% Neigung) nicht stattfindet. Es wurde also nur das Ackerland in Hang- und Steillagen berücksichtigt, wobei angenommen wird, dass mit zunehmender Hangneigung die Abträge steigen (vgl. S-Faktor der USLE). Für Ackerland in starker Hanglage (15 - 32%) wurde daher pauschal ein um ein Viertel höherer Wert verwendet als auf Ackerland in leichter Hanglage (3 - 15%). Ackerland in Steillage (>32%) beschränkt sich auf einige wenige Rebflächen.

Die Bodenbewirtschaftung (Kulturen, Fruchtfolgen, Anbauverfahren etc.) konnte beim vorliegenden Berechnungsansatz nicht direkt berücksichtigt werden, da Einzugsgebietsmittelwerte nicht verfügbar waren. Der prozentuale Anteil potentiell erosionsgefährdeter Kulturen (Mais, Kartoffeln, Rüben, Sonderkulturen) an der Ackerfläche (Tab. 5) wurde aber als Beurteilungskriterium für die Höhe der mittleren Bodenabträge herangezogen. In der Kontrollberechnung (Kap. 2.6.2) wurde den unterschiedlichen Anbaukulturen stärker Rechnung getragen.

Werte über gemessene Abträge konnten in der Literatur für keines der Einzugsgebiete gefunden werden. AUERSWALD & SCHMIDT (1986) geben für das westliche Allgäuer Hügelland Bayerns einen auf der Grundlage der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) berechneten mittleren Bodenabtrag von Ackerfläche von 4.01 $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ an. Dieser Wert ist im Vergleich zu anderen Landschaftseinheiten Bayerns als niedrig einzustufen. Nach AUERSWALD (1994) kann man diesen Wert auch für die übrigen Landschaftseinheiten im Bodensee-Einzugsgebiet auf deutscher Seite (Hegau, Bodenseebecken, Oberschwäbisches Hügelland, Westallgäuer Hügelland, RICHTER 1965) annehmen. RICHTER (1965) nennt für diese Gebiete eine mässige bis geringe Erosionsgefährdung. KOEPF (1971) stuft im Gebiet Stockacher Aach die Bodenerosion trotz der teils bewegten Oberflächengestaltung als ein geringes Problem ein. HAUFFE (1982) konnte im Gebiet Argen selbst bei stärkeren Regenfällen weder flächenhaften Bodenabtrag noch eine Ausbildung von Erosionsrinnen feststellen.

Aufgrund der mässigen (Bodenseerandgebiete) bis geringen (alpine Gebiete) Erodibilität der Böden, der mittleren (westlicher Bodensee) bis hohen (östlicher Bodensee, alpine Gebiete) Erosivität der Niederschläge und der vorherrschenden Nutzung der Ackerflächen (hoher Anteil erosionsanfälliger Kulturen wie Mais etc.) wurden mittlere Bodenabträge von Ackerland in Hanglagen zwischen 1.8 und 6 $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ angenommen (Tab. 9). Entsprechend dem Anteil von Ackerflächen in ebener Lage ergibt sich daraus für das gesamte Bodensee-Einzugsgebiet ein mittlerer Abtrag von der gesamten Ackerfläche von 2.4 $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ (zwischen 1.3 und 4.8 $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$). Damit liegen die Abträge i.d.R. deutlich über den von PRASUHN & BRAUN (1994, Tab. 14) und MOSIMANN et al. (1991) für das Schweizer Mittelland angenommenen Werten. Dies ist in erster Linie auf den hohen Anteil erosionsanfälliger Kulturen sowie den geringen Anteil an Kunstwiesen in der Fruchtfolge im Bodenseegebiet zurückzuführen.

Aufgrund der überwiegend höheren Niederschläge im hydrologischen Jahr 1985/86 und der Extremereignisse (vgl. Kap. 2.4.1) wurden für 1985/86 höhere Abträge angenommen (Tab. 9). Teilweise wurden doppelt so hohe Abträge verwendet. Im Mittel über alle Gebiete liegt der berechnete Bodenabtrag von der gesamten Ackerfläche mit 3.3 $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ rund ein Drittel über dem durchschnittlichen Wert. Diese Werte sind mit grossen Unsicherheiten behaftet, da die Auswirkungen der Extremereignisse in den einzelnen Einzugsgebieten nicht rückwirkend beurteilt werden können. Einzige Kriterien für die Abschätzung der Werte für 1985/86 waren die Höhe des Jahresniederschlages, die Anzahl und Höhe von einzelnen Niederschlagsereignissen, die Höhe und Anzahl von Abflussspitzen und die darin gemessenen Schwebstofffrachten in den einzelnen Einzugsgebieten.

	Mittelwerte			1985/86				
Gebiet	**Bodenerosion Ackerland in Hanglage** [t·ha^{-1}·y^{-1}]	**Bodenerosion im gesamten Ackerland** [t·ha^{-1}·y^{-1}]	**natürliche Erosion Gesamt-gebiet** [t·ha^{-1}·y^{-1}]	**Bodenerosion Ackerland in Hanglage** [t·ha^{-1}·y^{-1}]	**Bodenerosion im gesamten Ackerland** [t·ha^{-1}·y^{-1}]	**natürliche Erosion Gesamt-gebiet** [t·ha^{-1}·y^{-1}]	**P-Gehalt Acker-boden** [mg·kg^{-1}]	**P-Gehalt natürliche Erosion** [mg·kg^{-1}]
Obersee								
Stockacher Aach	3.0	2.6	0.6	6.0	5.1	1.3	1000	400
Seefelder Aach	3.0	2.3	0.4	4.0	3.0	0.7	1000	400
Rotach	4.0	3.4	1.0	7.0	6.0	2.5	1100	400
Schussen	4.0	3.0	0.4	5.0	3.8	0.5	1100	400
Argen	4.0	3.2	1.2	5.0	4.0	1.5	1100	400
Leiblach	6.0	4.8	1.5	7.0	5.6	2.5	1100	400
Bregenzerach	5.0	4.0	3.5	6.0	4.8	3.4	1100	400
Dornbirnerach	5.0	3.0	2.5	8.0	4.8	5.5	1100	400
Rheintal	4.0	1.6	1.5	5.0	2.1	3.0	1100	400
Ill	3.0	2.4	1.2	3.0	2.4	1.1	800	400
Alprhein	1.8	1.3	3.5	2.5	1.8	3.5	730	400
Randgebiet BW	3.0	2.2	0.3	4.0	2.9	0.5	1100	400
Randgebiet BY	4.0	3.6	0.6	5.0	4.3	0.7	1100	400
Randgebiet A	6.0	3.6	0.4	7.0	4.2	0.5	1100	400
Randgebiet CH	4.0	3.0	0.4	6.0	4.5	0.8	1300	400
Untersee								
Radolfzeller Aach	2.0	1.6	0.3	2.5	2.0	0.3	800	400
Randgebiet BW	2.0	1.5	0.2	2.5	1.9	0.3	1100	400
Randgebiet CH	2.0	1.5	0.3	2.5	1.5	0.4	1100	400
Gesamtgebiet		**2.4**	**2.2**		**3.3**	**2.5**		

Tab. 9: Angenommene Bodenerosion auf Ackerland und 'natürliche Erosion' in den Einzugsgebieten. Die 'natürliche Erosion' bezieht sich auf die gesamte Einzugsgebietsfläche (ohne die versiegelte Fläche und die stehenden Gewässer) und stellt - im Gegensatz zur angenommenen Bodenerosion auf Ackerland - nicht die Materialumlagerungsmenge, sondern den Materialeintrag in die Gewässer dar.

b) Abtrag durch 'natürliche Erosion'

Neben der Bodenerosion auf Ackerland findet auf allen Flächen - mit Ausnahme der Siedlungsfläche und der stehenden Gewässer - zusätzlich eine mehr oder weniger 'natürliche Erosion' statt (vgl. PRASUHN & BRAUN 1994). HAUFFE (1982) konnte z.B. an zwei kleinen Fliessgewässern im Einzugsgebiet der Argen nachweisen, dass die gemessene Schwebstofffracht sich nicht nur aus Abtragsmaterial der Einzugsgebiete zusammensetzt, sondern dass bis zu einem Drittel aus den Gewässerläufen selbst stammt. In den Bodenseerandgebieten blieb die Bodenseeufererosion unberücksichtigt. Nach DITTRICH & WESTRICH (1988) ist mit bis zu 4 cm Abtrag an Ufern und Kliffkanten pro Jahr zu rechnen, was zu erheblichen Materialeinträgen in den Bodensee führt.

Eine Abschätzung der 'natürlichen' Erosion konnte nur aufgrund der gemessenen oder berechneten mittleren Schwebstofffrachten in den Fliessgewässern (s. Tab. 30) - nach Abzug der Bodenerosion auf Ackerland - gemacht werden, da keine direkten Messresultate zur Verfügung standen. In den alpinen Einzugsgebieten ist mit einem Maximalwert von 3.5 $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ (bezogen auf die gesamte nicht überbaute Fläche) zu rechnen, der Minimalwert liegt im westlichen Bodenseegebiet und beträgt 0.3 $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ (Tab. 9). AUERSWALD & SCHMIDT (1986) geben für die Allgäuer Flysch- und Helvetischen Voralpen Bayerns einen Abtrag von der Gesamtfläche von 4.05 $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ und für die Allgäuer Molassevoralpen Bayerns von 3.05 $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ an. Diese Werte lassen sich in etwa auf den Bregenzer Wald übertragen (AUERSWALD 1994). Für das bayerische Gebiet 'Bodenseebecken' geben AUERSWALD & SCHMIDT (1986) einen Abtrag von der Gesamtfläche von 0.53 $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ an.

Für das Hydrologische Jahr 1985/86 muss - aus denselben Gründen wie bei der Bodenerosion von Ackerflächen - mit z.T. deutlich höheren Werten gerechnet werden. Die in Tab. 9 aufgelisteten Werte orientieren sich in erster Linie an den gemessenen Schwebstofffrachten 1985/86 (nach Abzug der Bodenerosion auf Ackerland) (vgl. Tab. 30).

c) Erosionsmaterialeintrag in Gewässer

Vom erodierten Bodenmaterial gelangt nur ein kleiner Teil direkt oder indirekt (via Strassenkanalisation) in die Gewässer, der grösste Teil wird auf der betroffenen Fläche selbst oder auf angrenzenden Flächen akkumuliert. Auf Ackerland wurde in Anlehnung an PRASUHN & BRAUN (1994) ein Ablagerungsfaktor von 0.80 gewählt, d.h. 20% der erodierten Bodenmenge gelangen in ein Fliessgewässer. Eine Differenzierung für die einzelnen Einzugsgebiete konnte nicht vorgenommen werden.

Für die Periode 1985/86 wurde wegen der Starkregenereignisse davon ausgegangen, dass 30% der erodierten Bodenmenge in die Gewässer gelangt, da bei derartigen Ereignissen mehr Bodenmaterial bis in ein Gewässer transportiert wird.

Bei der 'natürlichen Erosion' stammt der grösste Teil des Materials aus dem Gerinne selbst oder dem gerinnenahen Bereich. Ein Ablagerungsfaktor entfällt, da die Materialverluste bereits aus den Schwebstoffgehalten der Gewässer abgeschätzt wurden, d.h. die als 'natürliche Erosion' bezeichneten Materialverluste enthalten nur die ins bzw. im Fliessgewässer transportierten Stoffe (abzüglich der Bodenerosion auf Ackerland).

d) Nährstoffgehalt des erodierten Bodenmaterials

Da für den Nährstoffgehalt des erodierten Bodenmaterials keine Daten verfügbar waren, musste eine Abschätzung aufgrund der Nährstoffgehalte des Oberbodens vorgenommen werden.

Nährstoffgehalt der Oberböden von Ackerland:

PEINEMANN (1975) nennt für intensiv gedüngte Ackerböden (Hopfen) im Gebiet Schussen P-Gehalte von 1 294 bis 1 714 mg $P \cdot kg^{-1}$. KLETT (1965) gibt im Gebiet Stockacher Aach für den A-Horizont eines Ackerbodens 610 mg $P \cdot kg^{-1}$ an. Die P-Gehalte der Oberböden von Ackerstandorten in den Schweizer Kantonen Thurgau, St. Gallen und Graubünden konnten wie in PRASUHN & BRAUN (1994) über die in FLISCH (1987) angegebenen P-Testzahlen bzw. die prozentualen Anteile der Böden in den verschiedenen P-Versorgungsklassen berechnet werden. Rund 45% aller Proben von Ackerböden liegen in den Stufen 'Vorrat' oder 'angereichert'. Daraus errechnet sich ein mittlerer P-Gesamtgehalt von ca. 1 000 mg $P \cdot kg^{-1}$. In Vorarlberg liegen die Phosphatgehalte der Ackerböden nach HUSZ (1987) eher im unteren Bereich der Versorgungsklassen.

Im Modell wurden für die Ackerböden der einzelnen Einzugsgebiete Phosphorgehalte zwischen 730 mg $P \cdot kg^{-1}$ Boden (Alprhein) und 1 300 mg $P \cdot kg^{-1}$ Boden (Randgebiet Obersee Schweiz) angenommen (Tab. 9).

Der Stickstoffgehalt des Oberbodens beträgt nach SCHACHTSCHABEL et al. (1984) 0.2 bis 0.25%. WERNER et al. (1991) rechneten für den grössten Teil der BRD mit 0.15%, in höheren Mittelgebirgslagen mit 0.18% und im bayerischen Jungmoränengebiet mit 0.36% N in Oberböden von Ackerflächen. Im vorliegenden Modell wurde in Anlehnung an PRASUHN & BRAUN (1994) in allen Gebieten ein Stickstoffgehalt der Ackerböden von 2 000 mg $N \cdot kg^{-1}$ (= 0.2%) angenommen.

Nährstoffgehalt des Materials aus der 'natürlichen Erosion':

Bei dem durch 'natürliche Erosion' verfrachteten Material handelt es sich überwiegend um Verwitterungsmaterial oder Ausgangssubstrate mit geringerem Phosphorgehalt. Der Phosphorgehalt von Gesteinen bzw. deren Verwitterungsprodukten schwankt sehr stark und ist von der mineralogischen Zusammensetzung abhängig. KLETT (1965) rechnet mit P-Gesamtgehalten von 350 - 570 mg $P \cdot kg^{-1}$ für die eiszeitlichen Sedimente im Bodensee-Einzugsgebiet. Apatitreiche Schichten können aber nach demselben Autor auch Werte von 740 - 1 460 mg $P \cdot kg^{-1}$ erreichen. Für die C-Horizonte von Böden im Gebiet Stockacher Aach gibt er Werte zwischen 280 und 490 mg $P \cdot kg^{-1}$ an, für die A-Horizonte von Waldböden 320 und 390 mg $P \cdot kg^{-1}$. HAUFFE (1982) gibt für eine Mischprobe der Gesteine im Einzugsgebiet Argen einen P-Gehalt von 483 mg $P \cdot kg^{-1}$ an. In den A-Horizonten von Waldböden ermittelte er durchschnittliche Werte von 536 mg $P \cdot kg^{-1}$, in den C-Horizonten 356 mg $P \cdot kg^{-1}$. Für die C-Horizonte von Graslandböden ergibt sich ein mittlerer P-Gehalt von 513 mg $P \cdot kg^{-1}$. KLEBER et al. (1994) geben für den C-Horizont eines Graslandstandortes im Gebiet Argen 330 mg $P \cdot kg^{-1}$ an. PEINEMANN (1975) nennt für die Geschiebemergel im Gebiet Schussen mittlere P-Gehalte von 578 mg $P \cdot kg^{-1}$, wobei in den häufig vorkommenden Streifen sandiger Molasse niedrigere P-Gehalte vorliegen (235 mg $P \cdot kg^{-1}$). Im Schwebstoff des Alprheins wurden 336 mg $P \cdot kg^{-1}$ ermittelt (nach WAGNER & BÜHRER 1989). In Anlehnung an die o.a. Beispiele und PRASUHN & BRAUN (1994) wurde in allen Gebieten ein Gehalt von 400 mg $P \cdot kg^{-1}$ für das Material aus der 'natürlichen Erosion' zugrunde gelegt (Tab. 9). Zu berücksichtigen ist bei den so ermittelten partikulären Phosphorfrachten, dass es sich um stark gebundenen, mineralischen Phosphor handelt, dessen Eutrophierungswirksamkeit stark eingeschränkt ist.

Der Stickstoffgehalt des durch 'natürliche Erosion' verfrachteten Bodenmaterials wurde für die alpinen Gebiete mit 600 mg $N \cdot kg^{-1}$, für die anderen Gebiete mit 1 500 mg $N \cdot kg^{-1}$ angenommen. Im Schwebstoff des Alprheins wurden beispielsweise 660 mg $N \cdot kg^{-1}$ ermittelt (nach WAGNER & BÜHRER 1989).

Nährstoffanreicherung des erodierten Bodenmaterials:

Bei den verwendeten Bodenabträgen auf Ackerland von 2.5 - 8.0 $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ reichern sich die Nährstoffe im Abtrag nach der Formel:

$$\text{Anreicherung} = 2.53 * \text{Abtrag}^{-0.21}$$

zwischen 1.6 - 2.1-fach an (vgl. PRASUHN & BRAUN 1994). Die Werte wurden für Phosphor und Stickstoff angewendet. Die beschriebene Anreicherung von Nährstoffen im Erosionsmaterial bezieht sich nur auf Bodenerosion von Ackerland. Bei Materialeinträgen durch 'natürliche Erosion' wird keine Anreicherung vermutet. Die Adsorption von gelöstem Phosphat - z.B. aus Kläranlagen - an Schwebstoffe im Fliessgewässer wird nicht als Anreiche-

rung verstanden, sondern als interner Umwandlungsprozess im Fliessgewässer, der hier nicht berücksichtigt wird. Das Eutrophierungspotential eines Bodens, unter dem die potentielle Phosphormenge verstanden wird, die während des Erosionsereignisses freigesetzt werden kann, ist bei der Interpretation der Phosphoreinträge durch Erosion zu berücksichtigen (MATHYS 1992, TSCHUDI 1990). So sind die aus den Düngern stammenden, an Bodenpartikel adsorbierte Phosphate im Gewässer leichter löslich (Desorption, Remobilisierung) als die aus der 'natürlichen Erosion' stammenden mineralischen Phosphate. Schwebstoffe können andererseits auch gelöste Phosphate aus dem Fliessgewässer adsorbieren und dadurch zu einer Reduzierung der besonders eutrophierungswirksamen gelösten Phosphorfracht beitragen (vgl. z.B. PEINEMANN 1975). Der in Gewässersedimenten fixierte Phosphorvorrat stellt jedoch immer eine latente Phosphorquelle dar.

Die über die Bodenerosion berechneten Nährstoffeinträge berücksichtigen nur den partikulär gebundenen Anteil. Die mit dem Oberflächenabflusswasser gleichzeitig transportierten gelösten Nährstoffe werden im Kapitel 2.5.1 unter Abschwemmung behandelt.

2.5.3 Nährstoffeinträge durch Auswaschung

Für die Berechnung der Stoffeinträge durch Auswaschung wurden die Menge des versickernden Wassers bei verschiedener Bodennutzung (Kap. 2.4.3) und die darin enthaltene Stoffkonzentration verwendet. Bei diesem Ansatz wurde den Wasserflüssen grosse Gewichtung beigemessen. Es wurde davon ausgegangen, dass in Regionen mit hohen Niederschlägen und somit hohen Sickerwassermengen hohe Auswaschungsverluste auftreten, trotz berücksichtigter Verdünnungseffekte und ungünstigeren klimatischen Bedingungen. In einem anderen Berechnungsansatz (s. Kontrollberechnung Kap. 2.6.3) wurde dagegen den unterschiedlichen Anbaukulturen verstärkt Rechnung getragen.

Da bereits bei den Wasserflüssen eine Differenzierung in Zwischenabfluss, Quellenaustritt und Grundwasseraustritt nicht vorgenommen werden konnte, musste diese auch bei den Stoffkonzentrationen entfallen. Die verwendeten Konzentrationswerte stellen also Mittelwerte dar. Einzig die Einträge durch künstliche Drainagen wurden separat berechnet. Weil sich aufgrund der sehr hohen Wassermengen bereits minimale Konzentrationsänderungen gravierend auf die entsprechenden Frachten auswirken, sind die berechneten Frachten mit relativ grossen Unsicherheiten behaftet.

Neben den in PRASUHN & BRAUN (1994, Tab. 18, 19, 21, 22, 33, 34) aufgeführten allgemeinen Literaturdaten zur Auswaschung wurden für das Bodenseegebiet speziell folgende Karten und Arbeiten für die Abschätzung der Auswaschungsverluste herangezogen:

- Atlas zum Nitratstrom in der Bundesrepublik Deutschland, diverse Karten 1 : 3 500 000, (WENDLAND et al. 1993)
- Potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser (BRD), (BACH 1990)
- Jährlicher Stickstoffüberschuss, berechnet aus der Stickstoffbilanz (BRD), (BACH 1990)
- Potentielle Nitratbelastung aus der Landwirtschaft (BRD), (BACH 1990)
- Flächenhafte Nitratbelastung des Grundwassers (Österreich), diverse Karten, (ARBEITSKREIS 'WASSER' 1992)
- Bodenbestandsaufnahme Baden-Württemberg. Bodenkarte 1 : 1 000 000, (Geol. Landesamt Baden-Württemberg 1986)
- Bodeneignungskarte der Schweiz 1 : 200 000, (EJPD 1980)
- Lokalstudien in den Gebieten Stockacher Aach (KLETT 1965 und KLETT & KOEPF 1965); Argen (HAUFFE 1979 u. 1982, HOMEVO-AGOSSA 1994, HOMEVO-AGOSSA et al. 1993, MICKLEY 1994, MICKLEY & STAHR 1991, SCHMIDT 1994, SEIFFERT 1990 und STAHR 1994); Schussen (PEINEMANN 1975 und SEIFFERT et al. 1993) und Rheintal (HOHL 1991 und JÄGGLI & WACHTER 1991)

SEIFFERT et al. (1993) weisen darauf hin, dass im Gebiet Schussen eine der Hauptbelastungsquellen die über ein dichtes Grabenentwässerungsnetz entwässerten Niedermoorflächen mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung sind, da es hier zu Mineralisierungsprozessen im Torfkörper kommt. Dieser Aspekt ist auch in den anderen Gebieten zu beachten, da es auch dort umfangreiche Niedermoorflächen gibt. Andererseits ist gerade an den vernässten Standorten mit hohen Denitrifikationsverlusten zu rechnen. KLETT (1965), SCHMID (1994) und STAHR (1994) weisen auf hohe Denitifikationsverluste im Bodenseegebiet hin. HOMEVO-AGOSSA (1994) nennt Gesamt-Denitrifikationsverluste von Graslandböden im Gebiet Argen von 6 bis 29 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$. KLETT (1965) rechnet im Gebiet Stockacher Aach mit Denitrifikationsverlusten unter Ackerland von 50 - 60% der aus dem Wurzelraum ausgewaschenen Stickstoffmenge. Da vor allem die Graslandstandorte häufig vernässt sind, ist dort mit hohen Denitrifikationsverlusten zu rechnen, so dass nach KLETT (1965) die Auswaschungsverluste im Gebiet Stockacher Aach unter Grasland niedriger als unter Wald liegen. BACH (1990) und WENDLAND et al. (1993) rechneten für alle Gebietseinheiten in der BRD mit einem Denitrifikationsverlust von 50% des Stickstoffüberschusses.

a) Nährstoffeinträge durch Auswaschung (ohne Drainage):

Die potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser unter landwirtschaftlicher Nutzung beträgt nach den Karten von BACH (1990) und WENDLAND et al. (1993) in den Gebieten Argen und Bregenzerach etwa 5 - 10 mg $N \cdot l^{-1}$, im Gebiet Schussen 10 - 15 mg $N \cdot l^{-1}$ und im westlichen Bodenseegebiet und am Bodenseerand 15 - 20 mg $N \cdot l^{-1}$. KLETT (1965) nennt dagegen für das Gebiet Stockacher Aach mit Werten von 0.4 - 0.6 mg $N \cdot l^{-1}$ für Grasland und 5.1 - 7.7 mg $N \cdot l^{-1}$ für Ackerland äusserst niedrige Konzentrationen. MICKLEY (1994) zeigt am Beispiel zweier Graslandstandorte im Gebiet Argen, dass die Stickstoffauswaschung kleinräumig aufgrund unterschiedlicher Bedingungen (Mineralisierung, Denitrifikation) mit Werten von 0.3 und 11.3 mg $N \cdot l^{-1}$ extrem unterschiedlich sein kann.

Die Phosphoreinträge durch Auswaschung sind i.d.R. wegen der starken Bindung des Phosphors im Boden niedrig. Hohe Düngergaben können aber zu erhöhten Konzentrationen führen (HAUFFE 1982). KLETT (1965) konnte nachweisen, dass mit zunehmendem Kalkgehalt des Untergrundes die Phosphorkonzentrationen im Sickerwasser aufgrund von Fällung als Ca-Phosphate abnehmen. Daher ist in den kalkreichen Jungmoränengebieten des Bodensees - und auch in deren Flachmooren - mit geringen Konzentrationen zu rechnen. KLETT(1965) gibt für das Gebiet Stockacher Aach mittlere Konzentrationen gelösten Phosphors von 0.002 mg $P \cdot l^{-1}$ für das Jungmoränengebiet, 0.006 mg $P \cdot l^{-1}$ für das Altmoränengebiet und 0.01 mg $P \cdot l^{-1}$ für die Molasse bzw. 0.027 mg $P \cdot l^{-1}$, 0.019 mg $P \cdot l^{-1}$ und 0.024 mg $P \cdot l^{-1}$ für Gesamt-Phosphoreinträge an. HAUFFE (1982) nennt für intensiv mit Gülle gedüngte Graslandstandorte im Gebiet Argen mit 0.042 bis 0.122 mg $P \cdot l^{-1}$ deutlich höhere Konzentrationen. Nach PEINEMANN (1975) führen Unterschiede in der Entkalkung, der pH-Werte, der Vernässung und der Düngung der Böden zu einer unterschiedlichen P-Mobilisierung. Er gibt Sickerwasserkonzentrationen (Saugkerzen) von 0.036 mg $P \cdot l^{-1}$ für Wald, 0.027 mg $P \cdot l^{-1}$ für Wiese, 0.029 mg $P \cdot l^{-1}$ für Ackerland und 0.141 mg $P \cdot l^{-1}$ für intensiv gedüngte Hopfenflächen im Gebiet Schussen an. Mit zunehmender Vernässung der Mineralböden steigt dabei die Sickerwasserkonzentration (Parabraunerde 0.034 mg $P \cdot l^{-1}$; Pseudogley 0.051 mg $P \cdot l^{-1}$; Gley 0.093 mg $P \cdot l^{-1}$). In Niedermooren ist Phosphor dagegen gebunden (0.024 mg $P \cdot l^{-1}$).

Tab. 10 zeigt die für die Stickstoff- und Phosphorauswaschung verwendeten Konzentrationen. Für die gebietsspezifische bzw. regionale Abstufung wurden neben den oben aufgeführten und den in PRASUHN & BRAUN (1994, Tab. 21 u. 22) angegebenen Literaturdaten die Niederschlags- und Verdunstungsmengen (Verdünnungseffekte), die Höhenlage (Vegetationszeit, Mineralisierung etc.), der Viehbesatz und die Bodenverhältnisse (Gründigkeit, Wasser- und Nährstoffspeichervermögen, Durchlässigkeit) als Beurteilungskriterien herangezogen.

	Stickstoffauswaschung [mg N·l⁻¹]							Phosphorauswaschung [mg P·l⁻¹]						
Einzugsgebiet	Wald	Gras-land	Acker-land	unpr. Veg.	veg.-los	Siedl.-grün	Str. u. Wege	Wald	Grasl-land	Ackerl-land	unpr. Veg.	veg.-los	Siedl.-grün	Str. u. Wege
Obersee														
Stockacher Aach	1.5	1.5	7.0	1.5		5.0	1.5	0.02	0.03	0.03	0.02		0.03	0.02
Seefelder Aach	2.0	2.0	9.0	2.0		5.0	2.0	0.015	0.025	0.025	0.015		0.025	0.015
Rotach	2.5	2.5	12.0	2.0		5.0	2.0	0.015	0.025	0.025	0.015		0.02	0.015
Schussen	2.0	2.0	12.0	2.0		5.0	2.0	0.015	0.04	0.04	0.015		0.03	0.015
Argen	1.5	2.5	10.0	1.5		4.0	1.5	0.01	0.03	0.03	0.01		0.015	0.01
Leiblach	1.5	2.5	8.0	1.5		4.0	1.5	0.01	0.03	0.03	0.01		0.015	0.01
Bregenzerach	0.7	0.9	6.0	0.7		2.5	0.7	0.007	0.01	0.01	0.007		0.01	0.007
Dornbirnerach	1.0	1.5	9.0	1.0		3.0	1.5	0.007	0.01	0.015	0.007		0.01	0.007
Rheintal	1.5	1.5	13.0	1.2	1.0	4.0	1.5	0.01	0.02	0.025	0.01	0.01	0.015	0.01
Ill	0.7	0.8	7.0	0.4		3.0	0.7	0.006	0.007	0.01	0.005		0.01	0.007
Alprhein	0.6	0.7	7.0	0.4	0.3	3.0	0.6	0.007	0.01	0.015	0.007	0.005	0.01	0.007
Randgebiet BW	3.5	3.0	16.0	2.5		7.0	2.5	0.02	0.03	0.03	0.02		0.03	0.02
Randgebiet BY	2.0	2.5	9.0	1.5		4.0	1.5	0.01	0.02	0.02	0.01		0.02	0.01
Randgebiet A	1.0	1.5	9.0	1.2		3.0	1.5	0.007	0.015	0.015	0.007		0.015	0.007
Randgebiet CH	2.0	2.5	16.0	1.5	1.0	5.0	1.5	0.015	0.04	0.05	0.015	0.01	0.025	0.015
Untersee														
Radolfzeller Aach	3.0	2.0	8.0	2.0		5.0	2.0	0.03	0.03	0.03	0.02		0.03	0.02
Randgebiet BW	2.5	2.5	10.0	2.0		5.0	2.0	0.02	0.025	0.025	0.02		0.025	0.02
Randgebiet CH	2.5	3.5	15.0	2.0	1.0	5.0	2.0	0.02	0.025	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02

Tab. 10: Angenommene Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen im Sickerwasser für die verschiedenen Landnutzungen und Einzugs-gebiete.

Die höchsten Auswaschungsverluste ergeben sich unter Ackerland. Unter städtischen Grünflächen ist ebenfalls mit beträchtlichen Auswaschungsverlusten zu rechnen, da Schrebergärten, Hausgärten, Parkanlagen und Sportplätze meistens stark überdüngt sind. Für Grasland - vor allem bei hohem Kunstwiesenanteil oder hohem Viehbesatz - wurde gemäss Literatur in den meisten Gebieten eine etwas höhere Nitratauswaschung als unter Wald und unter unproduktiver Vegetation angenommen. Unter Auswaschung unter Strassen und Wegen wurden die Einträge durch Sickerwasser an Strassenrändern sowie unter unbefestigten Strassen und Wegen verstanden. Die niedrigsten Auswaschungsverluste wurden für vegetationslose Flächen wie Gletscher, Felsregionen, Schutthalden etc. angenommen. Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass Auswaschung und Abschwemmung auf solchen vegetationslosen Flächen nicht getrennt werden konnten (s. Kap. 2.5.1) und hier zusammen unter Auswaschung abgehandelt werden.

Für 1985/86 wurden die gleichen Konzentrationswerte wie für das langjährige Mittel angenommen, da keine Unterlagen verfügbar waren, die eine Abweichung rechtfertigen würden. Damit wird unterstellt, dass - bei gleichen Böden und gleicher Landnutzung - die Stoffeinträge pro Jahr in einem Gebiet in erster Linie durch die Höhe der Sickerwassermenge bestimmt werden. Entsprechend der veränderten Sickerwassermengen 1985/86 ergeben sich somit höhere oder niedrigere Stofffrachten als im langjährigen Mittel in den verschiedenen Einzugsgebieten.

b) Nährstoffeinträge durch Drainagenabfluss:

Zur Quantifizierung der Nährstoffmengen, die über den Eintrag mit Drainagenabfluss in die Oberflächengewässer gelangen, wurde für jedes Einzugsgebiet die drainierte Fläche (s. Kap. 2.3.2), die mittlere Höhe der Drainspende (s. Kap. 2.4.2) und die mittlere Nährstoffkonzentration im Drainagenabfluss (Tab. 11) benötigt.

Für eine grobe Differenzierung der Nährstoffeinträge durch Drainagenabflüsse der einzelnen Einzugsgebiete wurden die Höhe der Drainspende, die Böden und der Viehbesatz als Beurteilungskriterien herangezogen. Beim Grasland wurde zusätzlich auch der Anteil an Kunstwiese berücksichtigt, da beim Umbruch der Kunstwiese mit hohen Stickstoffeinträgen zu rechnen ist.

Die Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen sind im Drainageabfluss höher als im Grundwasserabfluss, da nur eine geringe Bodenpassage erfolgt. Beim Stickstoff vermindern sich dadurch die Denitrifikationsverluste, beim Phosphor erfolgt eine geringere Sorption und über Makroporenfluss kann direkt phosphorhaltiges Oberflächenabflusswasser abgeführt werden.

Neben den in PRASUHN & BRAUN (1994, Tab. 18 u. 19) aufgeführten allgemeinen Literaturangaben zu Auswaschungsverlusten aus drainierten Flächen konnten für das Bodenseegebiet nur wenige Angaben gefunden werden. Für Drainagenabfluss unter Grasland im Gebiet Argen gibt HAUFFE (1982) eine Stickstoffkonzentration von 0.66 mg $N \cdot l^{-1}$ an. SEIFFERT (1990) nennt ebenfalls für drainierte Graslandflächen im Gebiet Argen Konzentrationen von 0.2 bis 0.8 mg $N \cdot l^{-1}$. Diese Werte sind gegenüber Literaturwerten aus vergleichbaren Gebieten ausgesprochen niedrig. Für die Modellberechnungen wurden mit 3 bis 6 mg $N \cdot l^{-1}$ dagegen deutlich höhere Werte angenommen (Tab. 11).

HAUFFE (1982) nennt für eine Grasland-Drainage eine mittlere P-Konzentration von 0.18 mg $P \cdot l^{-1}$, SEIFFERT (1990) einen Bereich von 0.04 bis 0.6 mg $P \cdot l^{-1}$. Beide Autoren weisen auf die hohen P-Einträge durch Drainagen im Gebiet Argen auf intensiv gegüllten, meist flach drainierten Gebietssenken hin. KLETT (1965) gibt für das Gebiet Stockacher Aach Werte von 0.04 mg $P \cdot l^{-1}$ für drainiertes Ackerland und 0.005 mg $P \cdot l^{-1}$ für drainiertes Grasland an.

Die in Tab. 11 aufgeführten Konzentrationen wurden sowohl für die Berechnung der mittleren Jahresfrachten als für die der Periode 1985/86 verwendet.

	Stickstoff		Phosphor
Einzugsgebiet	Drainageeinträge Grasland [mg $N \cdot l^{-1}$]	Drainageeinträge Ackerland [mg $N \cdot l^{-1}$]	Drainageeinträge Grasland/Acker [mg $P \cdot l^{-1}$]
Obersee			
Stockacher Aach	6	20	0.10
Seefelder Aach	6	18	0.10
Rotach	5	18	0.10
Schussen	5	18	0.15
Argen	5	16	0.15
Leiblach	4	14	0.15
Bregenzerach	3	10	0.08
Dornbirnerach	4	14	0.08
Rheintal	4	16	0.12
Ill	3	13	0.08
Alprhein	3	13	0.08
Randgebiet BW	6	25	0.12
Randgebiet BY	5	14	0.08
Randgebiet A	4	14	0.08
Randgebiet CH	5	22	0.20
Untersee			
Radolfzeller Aach	7	22	0.10
Randgebiet BW	6	20	0.10
Randgebiet CH	5	18	0.10

Tab. 11: Angenommene Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen im Drainagenabfluss der verschiedenen Einzugsgebiete.

2.5.4 Atmosphärische Nährstoffdeposition auf die Gewässer

Bei der Berechnung der Stickstoff- und Phosphoreinträge aus der Atmosphäre in die Gewässer wurde nur die Menge berücksichtigt, die direkt auf die Wasseroberfläche gelangt. Die diffusen Nährstoffeinträge aus der Atmosphäre können in eine nasse, trockene (partikuläre) und gasförmige Deposition unterteilt werden.

a) Stickstoffdeposition

Da über die trockene Deposition nur unzureichende Informationen existierten, konnte sie nicht gesondert berechnet werden und wurde zusammen mit der nassen Deposition abgehandelt. Zur Berechnung wurden die durchschnittlichen Konzentrationen der Niederschläge mit den durchschnittlichen jährlichen Niederschlagsmengen multipliziert. Zur Orientierung wurden Literaturdaten aus PRASUHN & BRAUN (1994, Tab. 24) herangezogen. Für die alpinen Regionen wurde 0.3 - 0.7 mg $N \cdot l^{-1}$, für die übrigen Gebiete 0.8 bis 1.0 mg $N \cdot l^{-1}$ als mittlere Niederschlagskonzentration eingesetzt (Tab. 12). Bei diesem Ansatz wurde in Rechnung gestellt, dass bei hohen Niederschlagsmengen die Konzentrationen im allgemeinen abnehmen und dass in den Hochlagen die anthropogene Luftverschmutzung geringer ist. Die gasförmige Stickstoffdeposition auf Gewässer wurde von HURNI et al. (1993) berechnet. In Anlehnung an diese Berechnungen wurde für die alpinen Regionen 3 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$, für die übrigen Gebiete zwischen 4.5 und 6.5 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ als mittlere jährliche gasförmige Depositionen angenommen.

Die gesamte atmosphärische Stickstoffdeposition ergibt sich aus der Addition von nasser, trockener (partikulärer) und gasförmiger Deposition. Die berechneten Werte liegen zwischen 7.6 und 19.3 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ und sind für alle Einzugsgebiete in Tab. 12 zusammengestellt. Für die Periode 1985/86 wurden dieselben Konzentrationen verwendet. Aufgrund der veränderten Niederschlagsmengen ergeben sich andere Frachten (7.6 bis 21.6 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$) (Tab. 12).

b) Phosphordeposition

Für die alpinen Regionen wurde mit 0.03 mg $P \cdot l^{-1}$ analog zum Stickstoff ein niedrigerer Wert angenommen als für die übrigen Gebiete (0.035 bis 0.055 mg $P \cdot l^{-1}$). Die berechneten Frachten von 0.46 bis 0.69 kg $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ (Tab. 12) stimmen gut mit Literaturdaten aus der Schweiz überein (vgl. PRASUHN & BRAUN 1994, Tab. 25). Für die Periode 1985/86 wurden dieselben Konzentrationen verwendet. Aufgrund der veränderten Niederschlagsmengen ergeben sich andere Frachten (0.46 bis 0.76 kg $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$) (Tab. 12).

Einzugsgebiet	Stickstoff nasse + trockene Deposition [mg N·l^{-1}]	Phosphor nasse + trockene Deposition [mg P·l^{-1}]	Gesamt-Deposition Stickstoff Mittelwerte [kg N·ha^{-1}·y^{-1}]	Gesamt-Deposition Stickstoff 1985/86 [kg N·ha^{-1}·y^{-1}]	Gesamt-Deposition Phosphor Mittelwerte [kg P·ha^{-1}·y^{-1}]	Gesamt-Deposition Phosphor 1985/86 [kg P·ha^{-1}·y^{-1}]
Obersee						
Stockacher Aach	1.00	0.055	15.3	17.3	0.49	0.59
Seefelder Aach	1.00	0.055	15.9	17.7	0.52	0.62
Rotach	1.00	0.055	16.3	18.1	0.54	0.64
Schussen	1.00	0.055	16.6	18.4	0.56	0.65
Argen	0.90	0.035	19.1	19.9	0.53	0.56
Leiblach	0.90	0.040	18.6	19.7	0.58	0.63
Bregenzerach	0.70	0.030	18.8	18.5	0.61	0.60
Dornbirnerach	0.80	0.035	18.5	17.6	0.57	0.54
Rheintal	0.90	0.040	17.6	18.3	0.54	0.56
Ill	0.40	0.030	10.0	9.7	0.53	0.50
Alprhein	0.30	0.030	7.6	7.6	0.46	0.46
Randgebiet BW	1.00	0.055	16.0	17.9	0.52	0.63
Randgebiet BY	0.90	0.045	16.9	18.0	0.57	0.63
Randgebiet A	0.90	0.045	19.3	18.9	0.69	0.67
Randgebiet CH	1.00	0.050	18.4	21.6	0.60	0.76
Untersee						
Radolfzeller Aach	1.00	0.055	14.9	16.5	0.46	0.55
Randgebiet BW	1.00	0.055	15.5	17.3	0.50	0.60
Randgebiet CH	1.00	0.055	16.0	18.5	0.52	0.66

Tab. 12: Angenommene atmosphärische Deposition von Stickstoff und Phosphor auf die Gewässeroberflächen. Dargestellt sind die den Modellberechnungen zugrunde gelegten Konzentrationswerte (Mittelwerte und Werte 1985/86 identisch) und die berechneten Gesamt-Depositionen (inkl. gasförmige N-Depositionen) für Mittelwerte und die Periode 1985/86.

2.5.5 Nährstoffeinträge durch landwirtschaftliche und sonstige Direkteinträge

Unter Nährstoffeinträgen durch landwirtschaftliche und sonstige Direkteinträge werden folgende Quellen verstanden:

a) Einträge von Hofflächen
b) Direkteinträge beim Weiden entlang von Gewässern
c) Weidetrieb auf Strassen
d) Düngeraustrag entlang von Gewässern
e) Düngeraustrag entlang von Strassen
f) Sonstige diffuse Direkteinträge (Laub- und Streueintrag, Badebetrieb, Futter- und Düngemittel für fischereiliche Zwecke und Wassergeflügel)

Aufgrund der geringen Relevanz dieser Quellen wird auf eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Abschätzungsmethoden an dieser Stelle verzichtet und auf PRASUHN & BRAUN (1994) verwiesen. Die Berechnungen beruhen auf zahlreichen Annahmen, so dass die Resultate nur als Grössenordnungen zu verstehen sind.

2.5.6 Natürliche Hintergrundlast

Die Berechnung der Stoffflüsse der natürlichen Hintergrundlast erfolgte analog zur Hauptberechnung, geht allerdings von folgenden Annahmen bzw. Änderungen aus:

- Berücksichtigung der veränderten Landnutzung (Wald statt Grasland, Ackerland und Siedlungsfläche) und der daraus resultierenden Wasserflüsse (s. Kap. 2.4.4).
- Die Stickstoffkonzentrationen im Sickerwasser unter Wald und unproduktiver Vegetation wurden gegenüber den in der Hauptberechnung verwendeten Werten (s. Kap. 2.5.3) um 50% reduziert. Damit wurde der anthropogenen Luftverschmutzung und der forstwirtschaftlichen Nutzung Rechnung getragen. Für die Phosphorkonzentrationen im Sickerwasser wurden die gleichen Werte, die in der Hauptberechnung für das Sickerwasser im Wald bzw. bei unproduktiver Vegetation zugrunde gelegt wurden, verwendet (s. Kap. 2.5.3). Damit wurde unterstellt, dass die anthropogene Luftverschmutzung und die forstwirtschaftliche Nutzung keinen Einfluss auf die Sickerwasserkonzentrationen von Phosphor im Wald und bei unproduktiver Vegetation ausüben.

- Bei der atmosphärischen Deposition auf Gewässer wurden die Phosphor- und Stickstoffeinträge in allen Gebieten wegen der anthropogenen Luftverschmutzung um 50% gegenüber den in der Hauptberechnung verwendeten Werten (Kap. 2.5.4) reduziert. Hierbei handelt es sich um sehr grobe Schätzwerte.
- Ausser der atmosphärischen Deposition auf Gewässer gibt es nur noch den Blattfall als Direkteintrag. Der stärkere Laubeintrag und der daraus gelöste Phosphor und Stickstoff wurden insofern berücksichtigt, als der Flächenbezug die Gesamtfläche abzüglich der vegetationslosen und unproduktiven Flächen umfasst und die Werte der "sonstigen diffusen Direkteinträge" gesamthaft aus der Hauptberechnung übernommen wurden.
- Die Wasserflüsse unter unproduktiver Vegetation und vegetationslosen Flächen sowie die Abschwemmung unter Wald im alpinen Raum wurden wie in der Hauptberechnung ermittelt (Kap. 2.4.1), bei den Stoffkonzentrationen wurde die veränderte atmosphärische Deposition berücksichtigt.
- Die 'natürliche Erosion' wurde zunächst aus der Hauptberechnung (Kap. 2.5.2) übernommen, allerdings um den Flächenanteil der Siedlungsfläche erweitert. Anschliessend wurde eine Abminderung von 20% in allen Einzugsgebieten vorgenommen. Damit wird unterstellt, dass 20% der als 'natürliche Erosion' bezeichneten Erosion anthropogenen Ursprungs sind (z.B. Erosion auf Skipisten, unbefestigten Wegen etc., s. Kap. 2.5.2).

2.6 Kontrollberechnung für ausgewählte Nährstoffeinträge

Eine Kontrollberechnung wurde für diejenigen Nährstoffeinträge durchgeführt, welche prozentual gesehen am meisten ins Gewicht fallen. Beim Phosphor sind dies vor allem die Abschwemmung auf Grasland und die Bodenerosion auf Ackerland, beim Stickstoff die Auswaschungs- und Drainageverluste unter Ackerland. Im Gegensatz zur Hauptberechnung berücksichtigte die Kontrollberechnung mehr Flächenkategorien beim Acker- und Grasland. Dafür konnten aber die Hangneigungsstufen nicht in die Berechnungen einbezogen werden, weil keine Werte für die einzelnen Kulturen vorhanden waren.

Während in der Hauptberechnung mit Wasserflüssen und Stoffkonzentrationen gerechnet wurde, erfolgte die Kontrollberechnung durch Multiplikation der Kulturflächen mit Stofffrachten sowie zusätzlich noch mit spezifischen Faktoren (Tab. 14, Tab. 17). Die Kontrollberechnung konnte nur für langjährige Mittelwerte durchgeführt werden, da sie sich auf Literaturdaten langjähriger Messungen stützt.

2.6.1 Phosphoreinträge durch Abschwemmung auf Grasland

Die Kontrollberechnung für die Phosphoreinträge durch Abschwemmung auf Grasland wurde für die Flächenkategorien 'Wiesen' (Kunstwiesen, Dauerwiesen und Mähweiden) und 'Weiden' (Heimweiden und Alpwirtschaftliche Nutzflächen) durchgeführt.

Auf der gesamten Wiesen- und Weidefläche in Hanglagen wird unabhängig vom Gülleausbringen eine bestimmte Grundfracht abgeschwemmt. Hierbei handelt es sich um Nährstoffe aus dem Niederschlag und der trockenen Deposition sowie um solche, die aus der Pflanze ausgewaschen werden. Falls keine Gülleabschwemmung stattfindet, beträgt nach BRAUN & LEUENBERGER (1991) und BRAUN et al. (1993) die auf Grasland abgeschwemmte Phosphorfracht im Sommerhalbjahr ca. 0.2 kg $P \cdot ha^{-1}$ und im Winterhalbjahr ca. 0.05 kg $P \cdot ha^{-1}$ (Tab. 13).

Es wurde angenommen, dass nur die Wiesen begüllt werden und es folglich nur auf diesen Flächen zu Phosphoreinträgen durch Gülleabschwemmung kommen kann. Nicht nur im Winter, sondern auch im Sommer wird auf Wiesen gelegentlich Gülle abgeschwemmt. Nach BRAUN et al. (1993) finden in den 180 Tagen des Sommerhalbjahres ca. sechs bis acht Ereignisse mit Oberflächenabfluss statt, das heisst an 4% der Tage. Wird mit zwei bis drei Güllegaben pro Parzelle und mit zehn für eine Abschwemmung kritischen Tagen nach jedem Austrag gerechnet, gibt es jeden Sommer insgesamt 20-30 kritische Tage, wo Gülle

auf dem Feld liegt, die abgeschwemmt werden könnte. Aufgrund dieser Annahmen tritt eine Gülleabschwemmung durchschnittlich einmal während eines Sommerhalbjahres auf (25 kritische Tage/180 Tage x 7 Ereignisse).

Falls es zu einer Gülleabschwemmung kommt, z.B. während eines Gewitterregens unmittelbar nach dem Austrag, können bis zu 1.2 kg $P \cdot ha^{-1}$ abgeschwemmt werden (BRAUN et al. 1993). Bei einem Abschwemmereignis 10 Tage nach dem Gülleaustrag beträgt die abgeschwemmte Phosphorfracht nur noch ca. 0.2 kg $P \cdot ha^{-1}$. Bei einem durchschnittlichen Eintrag durch Gülleabschwemmung von 0.5 kg $P \cdot ha^{-1}$ beträgt deshalb der Gesamteintrag für den Sommer 0.7 kg $P \cdot ha^{-1}$ (Tab. 13).

Wenn es im Winter nach einem Gülleaustrag über Schnee oder gefrorenen Boden zu einer direkten Gülleabschwemmung kommt (BRAUN 1990), muss mit Einträgen von ca. 0.5 kg $P \cdot ha^{-1}$ gerechnet werden (BRAUN & LEUENBERGER 1991). Unter Einbezug der Grundfracht macht dies 0.55 kg $P \cdot ha^{-1}$ (Tab. 13). Im Winter bringen nach SPIESS & BESSON (1992) 58% der Landwirte Gülle aus, weil sie zu kleine Güllegruben haben. Nimmt man an, dass eine Güllegabe auf 40% der Wiesenfläche dieser Betriebe ausgebracht wird und dass auf jeder begüllten Parzelle eine Gülleabschwemmung im Winterhalbjahr passiert, fliesst auf 24% der gesamten Wiesenfläche Gülle oberflächlich ab. Entsprechend wurde die Grundannahme für den Winter (Tab. 13) mit diesem Flächenanteil verrechnet.

	Sommer	Winter
Grundfracht ohne Gülleabschwemmung	0.20	0.05
Zusätzliche Fracht durch Gülleabschwemmung	0.50	0.50
Total für Wiesen	0.70	0.55
Total für Weiden	0.20	0.05

Tab. 13: Grundannahmen zur Abschätzung der Abschwemmungseinträge auf Grasland (in kg $P \cdot ha^{-1}$).

Da Nährstoffe nur auf Flächen mit mehr als 3% Neigung abgeschwemmt werden, wurden die Einträge mit dem Anteil des Graslandes in Hanglagen multipliziert (Tab. 14). Zudem wurde angenommen, dass 75% der abgeschwemmten Nährstoffe in ein Gewässer gelangen, während die anderen 25% unterwegs auf dem Weg vom Feld ins Gewässer an der Bodenoberfläche oder an erodiertes Bodenmaterial gebunden werden oder mit dem Wasser im Boden versickern. Die Phosphoreinträge durch direkte Gülleabschwemmung sind auch von der Düngungsintensität und der Höhe der Niederschläge abhängig. Deshalb wur-

den diese Einträge mit gebietsspezifischen Faktoren, die vom Viehbesatz (Tab. 4) und der Niederschlagsmenge (Tab. 7) abgeleitet wurden, multipliziert (Tab. 14).

Einzugsgebiet	Flächenanteil in Hanglagen	Ablagerungsfaktor	Niederschlagsfaktor	Viehbesatz-Faktor	Abschwemmungseinträge [kg P ha^{-1} y^{-1}] Wiesen	Weiden
Obersee						
Stockacher Aach	0.90	0.25	0.5	1.0	0.36	0.17
Seefelder Aach	0.90	0.25	0.6	1.0	0.44	0.17
Rotach	0.90	0.25	0.7	1.2	0.52	0.17
Schussen	0.90	0.25	0.7	1.4	0.60	0.17
Argen	0.97	0.25	1.7	1.7	1.49	0.18
Leiblach	0.95	0.25	1.6	1.7	1.37	0.18
Bregenzerach	0.98	0.25	3.0	1.1	1.23	0.18
Dornbirnerach	0.95	0.25	2.2	0.8	0.94	0.18
Rheintal	0.76	0.25	1.2	1.6	0.74	0.14
Ill	0.99	0.25	2.6	0.9	0.42	0.19
Alprhein	0.99	0.25	2.0	0.7	0.86	0.19
Randgebiete BW	0.90	0.25	0.5	0.9	0.38	0.17
Randgebiete BY	0.95	0.25	1.2	1.0	0.69	0.18
Randgebiete A	0.95	0.25	1.8	0.8	0.81	0.18
Randgebiete CH	0.81	0.25	0.8	2.1	0.77	0.15
Untersee						
Radolfzeller Aach	0.85	0.25	0.3	0.8	0.26	0.16
Randgebiete BW	0.85	0.25	0.5	0.6	0.28	0.16
Randgebiete CH	0.86	0.25	0.7	1.2	0.50	0.16

Tab. 14: Abschwemmungseinträge von Wiesen und Weiden sowie dafür verwendete Berechnungsfaktoren.

2.6.2 Phosphoreinträge durch Bodenerosion auf Ackerland und Kunstwiesen

Für die flächenhafte und lineare Bodenerosion wurde in Anlehnung an MOSIMANN et al. (1990: S. 32 und 110) ein Gesamtabtrag für jede einzelne Kultur gewählt (Tab. 15). Neben den Ackerkulturen und dem Rebbau wurden auch die Kunstwiesen berücksichtigt. Die angenommenen Durchschnittswerte liegen höher als in PRASUHN & BRAUN (1994), weil die Fruchtfolgen im Bodenseegebiet erosionsanfälliger sind (weniger Kunstwiesen, Maismonokultur, hoher Hopfenanteil bei den anderen Ackergewächsen).

Kultur	Bodenabtrag [t ha^{-1} y^{-1}]	Flächenanteil im: Winter	Sommer
Getreide	3.0	37%	2%
Mais	6.0		81%
Kartoffeln	5.0		70%
Rüben	4.0		75%
Raps	0.5	4%	1%
Gemüse	5.0		75%
andere Ackergewächse	5.0		20%
Winterbrache	4.5	27%	
Kunstwiesen	0.3		20%
Rebbau	8.0		50%

Tab. 15: Durchschnittlicher Bodenabtrag sowie Flächenanteile der durch Bodenerosion betroffenen Felder für verschiedene Kulturen (in Anlehnung an MOSIMANN et al. 1990).

Die Flächenanteile der durch die Bodenerosion betroffenen Felder wurden aufgrund der Angaben von MOSIMANN et al. (1990) nach Kultur und Winter- oder Sommerhalbjahr zusammengestellt und aus BRAUN et al. (1991) übernommen (Tab. 15). Der durchschnittliche Bodenabtrag wurde mit diesem Flächenanteil und danach mit dem Flächenanteil in Hanglagen (Tab. 14), dem gebietsspezifischen Phosphorgehalt (Tab. 9), dem Anreicherungsfaktor sowie dem Ablagerungsfaktor von 0.8 multipliziert (vgl. Kap. 2.5.2).

2.6.3 Stickstoffeinträge durch Auswaschung unter Ackerland

Die Annahmen für die Nitratauswaschung unter den verschiedenen Ackerkulturen und dem Rebbau (Tab. 16) erfolgte aufgrund der in PRASUHN & BRAUN (1994: Tab. 34) zusammengestellten Literaturdaten, die vorwiegend von Lysimeterversuchen stammen. Die angenommenen Einträge sind Durchschnittswerte, welche nur für grössere Gebiete gelten. Eine Unterteilung der Drainage- und Auswaschungsverluste war mit dem gewählten Berechnungsansatz nicht möglich. Da die Sickerwassermenge und die Denitrifikation einen grossen Einfluss auf die Höhe der Nitratauswaschung ausüben, wurden sie mit Hilfe von gebietsspezifischen Faktoren berücksichtigt. Beim Sickerwasser-Faktor (Tab. 17) wurde in Betracht gezogen, dass die Sickerwassermenge und damit die Nitratauswaschung in Gebieten mit wenig Niederschlägen geringer ist. Wird Nitrat aus der Wurzelzone ausgewaschen, werden normalerweise ca. 15% des Stickstoffs (PRASUHN & BRAUN 1994) in den tieferen Boden- und Gesteinsschichten denitrifiziert (Tab. 17). In den Gebieten Stockacher

Aach, Seefelder Aach und Schussen wurde ein niedriger Denitrifikations-Faktor angenommen, weil die Denitrifikationsverluste in der oberen Bodenschicht überdurchschnittlich hoch sind (vernässte Standorte, Niedermoor etc. mit anaeroben Bedingungen) und somit weniger Nitrat ausgewaschen wird.

Kultur	Nitratauswaschung [kg N ha^{-1} y^{-1}]
Getreide	50
Mais	100
Kartoffeln	100
Rüben	75
Raps	25
Gemüse	125
andere Ackergewächse	75
Rebbau	50

Tab. 16: Angenommene Durchschnittswerte für die Nitratauswaschung bei verschiedenen Kulturen (Verluste während der Vegetationszeit und einer eventuell nachfolgenden Brache).

Einzugsgebiet	Sicker-wasser-Faktor	Denitri-fikations-Faktor
Obersee		
Stockacher Aach	0.70	0.60
Seefelder Aach	0.90	0.70
Rotach	1.00	0.85
Schussen	1.00	0.80
Argen	1.00	0.85
Leiblach	1.00	0.85
Bregenzerach	1.00	0.85
Dornbirnerach	1.00	0.85
Rheintal	1.00	0.85
Ill	1.00	0.85
Alprhein	1.00	0.85
Randgebiete BW	0.80	0.85
Randgebiete BY	1.00	0.85
Randgebiete A	1.00	0.85
Randgebiete CH	0.90	0.85
Untersee		
Radolfzeller Aach	0.50	0.85
Randgebiete BW	0.90	0.85
Randgebiete CH	0.70	0.85

Tab. 17: Gebietsspezifische Faktoren für die Sickerwassermenge und die Denitrifikationsverluste.

2.7 Vergleich der Ergebnisse von Haupt- und Kontrollberechnung

Die mittels Haupt- und Kontrollberechnung ermittelten langjährigen, mittleren Nährstoffeinträge durch Abschwemmung von Grasland, Bodenerosion von Ackerland und Auswaschung unter Ackerland liefern insgesamt eine gute Übereinstimmung (Tab. 18). Zwar kommt es in einzelnen Fällen zu grösseren Abweichungen, diese schlagen sich jedoch kaum auf die Gesamteinträge im Bodensee-Einzugsgebiet nieder. In den meisten Fällen ist es nicht möglich zu beurteilen, welcher Berechnungsansatz den „besseren" Wert liefert. Einerseits sind Haupt- und Kontrollberechnung nicht völlig unabhängig voneinander (vgl. Kap. 2.2), andererseits sind die Ansätze aber verschieden (vgl. Kap. 2.5 bzw. 2.6). Die Werte von Haupt- und Kontrollberechnung sollen also vielmehr die Spannweite möglicher Werte aufzeigen, mit der in jedem Fall gerechnet werden muss. Für die Abschätzung der Stoffeinträge im hydrologischen Jahr 1985/86 wurden ausschliesslich die Werte der Hauptberechnung als Grundlage verwendet.

Bei der Abschwemmung auf Grasland führt die Hauptberechnung zu einem 10% höheren Phosphoreintrag. Vor allem in den niederschlagsreichen, alpinen bzw. voralpinen Gebieten Argen, Leiblach, Bregenzerach, Ill und Alprhein liegen die Werte der Hauptberechnung deutlich über denen der Kontrollberechnung. Hier wurden möglicherweise die hohen Wasserflüsse überbewertet und damit die Phosphoreinträge überschätzt. Die in diesen Gebieten aus den Werten der Hauptberechnung ermittelten Phosphoreinträge durch Abschwemmung betragen 4 bis 8% vom Phosphoranfall in den Hofdüngern und sind damit ausgesprochen hoch. Insgesamt ergeben sich für das Bodenseegebiet Phosphoreinträge durch Abschwemmung von 3.5% (Hauptberechnung) bzw. 3.2% (Kontrollberechnung) des Phosphoranfalls in den Hofdüngern. Für den Kanton Bern ermittelten PRASUHN & BRAUN (1994) mit 1.3% einen erheblich niedrigeren Wert. Die hohen Niederschläge bzw. Oberflächenabflüsse in Gebieten mit gleichzeitig hohem Viehbesatz führen zu den hohen Werten im Bodenseegebiet.

Bei den Phosphoreinträgen durch Bodenerosion auf Ackerland und den Stickstoffeinträgen durch Auswaschung unter Ackerland zeigt sich eine bessere Übereinstimmung zwischen Haupt- und Kontrollberechnung. Vor allem in den Gebieten, die hohe Stoffeinträge aufweisen, stimmen die Werte gut überein, während in einigen Gebieten mit geringen Stoffeinträgen die prozentualen Abweichungen grösser sind.

Einzugsgebiet	Abschwemmung auf Grasland			Erosion auf Ackerland			Nitratauswaschung unter Ackerland		
	Haupt-berechnung [kg P]	Kontroll-berechnung [kg P]	Quotient [%]	Haupt-berechnung [kg P]	Kontroll-berechnung [kg P]	Quotient [%]	Haupt-berechnung [t N]	Kontroll-berechnung [t N]	Quotient [%]
Obersee									
Stockacher Aach	1 884	2 406	128	5 826	5 836	100	130	161	123
Seefelder Aach	3 319	3 685	111	6 967	6 507	93	300	310	103
Rotach	3 047	2 952	97	4 190	3 748	89	175	178	101
Schussen	18 355	19 516	106	19 906	18 514	93	895	912	102
Argen	64 553	54 409	84	1 435	1 693	118	78	75	95
Leiblach	9 709	8 620	89	140	171	122	6	6	113
Bregenzerach	44 917	38 188	85	65	67	103	4	3	91
Dornbirnerach	6 155	6 889	112	488	591	121	41	31	75
Rheintal	19 234	18 917	98	3 343	4 367	131	411	371	90
Ill	21 054	16 084	76	248	322	130	26	24	92
Alprhein	56 222	47 752	85	1 208	1 219	101	164	168	103
Randgebiete BW	3 611	4 076	113	5 026	5 064	101	292	236	81
Randgebiete BY	1 656	2 140	129	180	253	140	8	10	127
Randgebiete A	2 392	3 546	148	266	325	122	20	16	81
Randgebiete CH	11 295	11 559	102	3 372	3 838	114	164	132	81
Untersee									
Radolfzeller Aach	1 194	1 580	132	2 605	2 538	97	99	129	131
Randgebiete BW	2 034	1 829	90	2 961	2 898	98	166	207	124
Randgebiete CH	930	858	92	787	1 060	135	56	45	81
Total	**271 562**	**245 006**	**90**	**59 014**	**59 011**	**100**	**3 035**	**3 015**	**99**

Tab. 18: Vergleich langjähriger Mittelwerte zwischen der Hauptberechnung und der Kontrollberechnung bezüglich dreier Haupteintragswege.

3. Zusammenstellung der Ergebnisse im hydrologischen Jahr 1985/86 für die verschiedenen Einzugsgebiete

Im folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der Hauptberechnung aller 18 Einzugsgebiete zusammengestellt und verglichen. Abschliessend erfolgt eine Gesamtbetrachtung der Stoffeinträge in die Gewässer unter Berücksichtigung der punktuellen Quellen.
Eine ausführliche Darstellung und Interpretation der Einzelergebnisse der verschiedenen Einzugsgebiete findet sich im Anhang.

3.1 Ergebnisse der Hauptberechnung

3.1.1 Wasserflüsse und Materialeinträge

a) Absolute Werte

Von den insgesamt dem Bodensee zugeführten Wassermengen (ohne Niederschläge auf die Seefläche) von 11 303 Mio. $m^3 y^{-1}$ wurden die höchsten Zuflussmengen in den grossen alpinen Gebieten (Alprhein, Ill, Bregenzerach) erzielt (Tab. 19). Zusammen lieferten sie 73% des dem Bodensee zugeführten Wassers. Der Alprhein, der 41% der gesamten Bodensee-Einzugsgebietsfläche umfasst, erreichte allein 44%. Die Zuflüsse zum Untersee (inkl. Aach-Quelle) machten dagegen nur 3% des gesamten Zuflusses aus. Bei den Materialeinträgen lieferten die drei alpinen Gebiete zusammen 74% der Schwebstoffeinträge in den Bodensee; der Alprhein alleine erreichte 58%. Die Zuflüsse des Untersees lieferten dagegen nicht einmal 1% der gesamten Schwebstofffracht.

b) Relative Werte

Die höchsten prozentualen Anteile der verschiedenen Wasserflüsse am Gesamtabfluss fielen in allen Gebieten auf den Sickerwasserabfluss (84 - 94%, Tab. 20). Im Gebiet Alprhein war dabei der Abfluss auf vegetationslosen Flächen und unproduktiver Vegetation bedeutend (41%), während in allen anderen Gebieten der Sickerwasserabfluss unter Grasland, Ackerland oder Wald - je nach Flächenanteil - dominierte. Die Summe des Oberflächenabflusses erreichte Anteile von 4 - 6% am Gesamtabfluss. Auf überbauten und versiegelten Siedlungsflächen flossen vor allem in den Bodenseerandgebieten mit bis zu 10% der gesamten Abflussmenge beachtenswerte Mengen via Kanalisation durch Kläranlagen bzw. Regenüberläufe ab. Bei den Materialeinträgen dominierte in allen Gebieten die 'natürliche

Wasserflüsse	Obersee															Untersee			Gesamt
(Mio $m^3 \cdot y^{-1}$)	Stock.	Seef.	Rot.	Schu.	Argen	Leib.	Breg.	Dorn.	Rh'tal	Ill	Alprh.	Rg BW	Rg BY	Rg A	Rg CH	Radol.	Rg BW	Rg CH	
Oberfl.abfluss Grasland Hangl.	1.5	2.4	2.0	10.9	26.5	4.1	57.6	7.4	16.7	55.4	112.1	2.7	1.4	2.6	6.6	0.9	1.5	0.6	**313.0**
Oberfl.abfluss Acker Hanglagen	1.3	1.9	1.1	4.5	0.4	0.0	0.0	0.2	1.2	0.2	0.9	1.0	0.0	0.1	0.6	0.8	1.0	0.2	**15.4**
Oberfl.abfluss Wald	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	0.0	11.3	2.2	5.4	11.0	27.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**61.6**
Oberfl.abfluss unprod. Veg.	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	4.2	0.3	0.9	12.2	28.7	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	**46.9**
Oberfl.abfluss Strassen	0.7	1.1	0.5	3.6	3.6	0.7	3.8	1.8	4.0	2.2	6.8	1.7	0.5	0.6	2.0	0.8	1.3	0.2	**36.1**
Summe Oberflächenabfluss	**3.5**	**5.5**	**3.6**	**19.1**	**34.7**	**4.9**	**76.9**	**11.9**	**28.1**	**81.1**	**176.0**	**5.5**	**1.9**	**3.4**	**9.2**	**2.5**	**3.9**	**1.1**	**473.0**
Sickerwasser Grasland	23.2	37.5	31.3	168.9	384.6	60.4	729.2	89.0	267.4	880.7	1606.3	42.1	20.5	35.8	97.0	14.4	25.4	10.4	**4524.1**
Drainagenabfluss Grasland	0.5	1.4	0.6	5.7	5.8	2.1	36.4	13.2	17.6	4.6	5.4	1.1	0.7	3.1	5.7	0.3	0.5	0.4	**105.0**
Sickerwasser Ackerland	21.8	36.3	17.9	83.8	7.1	0.7	0.5	3.2	33.1	3.2	20.6	20.9	0.9	1.5	11.3	13.6	19.1	4.7	**300.2**
Drainagenabfluss Ackerland	0.4	1.3	0.4	2.8	0.2	0.0	0.0	0.5	3.8	0.1	0.4	0.5	0.0	0.2	1.3	0.2	0.3	0.3	**12.7**
Sickerwasser Wald	12.3	24.3	14.4	75.0	142.9	24.9	356.8	70.8	169.7	420.9	955.6	17.8	4.5	12.3	35.4	5.0	14.4	8.9	**2365.9**
Sickerwasser unprod. Veg.	0.3	0.8	0.4	1.7	2.4	0.2	78.6	5.9	17.6	275.9	584.3	1.1	0.4	1.8	0.6	0.3	0.7	0.2	**973.1**
Sickerwasser Strassen	1.4	2.2	1.1	7.3	7.3	1.5	6.7	3.2	7.0	5.2	13.8	3.5	1.0	1.3	3.6	1.7	2.7	0.5	**71.0**
Sickerwasser Siedlungsgrün	2.1	3.3	2.3	18.0	16.1	2.4	9.2	9.2	33.4	11.1	32.0	7.7	3.8	2.9	17.8	2.4	6.3	2.3	**182.6**
Abfluss veg.-lose Flächen*	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.8	0.0	1448.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**1464.3**
Summe Sickerwasserabfluss	**62.0**	**107.1**	**68.4**	**363.1**	**566.3**	**92.2**	**1217.5**	**194.9**	**566.6**	**1601.6**	**4666.8**	**94.6**	**31.9**	**58.9**	**172.8**	**37.9**	**69.3**	**27.7**	**9998.8**
Abfluss überbaute Siedlungsfl.	2.7	4.1	2.4	18.2	15.5	2.7	12.9	6.4	23.3	14.2	25.2	10.9	3.5	3.4	13.6	3.2	6.4	1.4	**169.7**
Niederschlag auf Gewässer	0.2	0.6	0.4	4.6	8.3	1.1	16.8	4.2	11.8	20.0	73.6	1.5	0.6	4.1	1.3	0.2	1.5	0.1	**150.8**
Summe restlicher Abfluss	**2.9**	**4.7**	**2.7**	**22.8**	**23.8**	**3.8**	**29.7**	**10.6**	**35.0**	**34.2**	**98.8**	**12.4**	**4.0**	**7.6**	**14.9**	**3.5**	**7.9**	**1.5**	**320.5**
Summe Wasserabfl. gesamt	**68.4**	**117.3**	**74.8**	**405.0**	**624.8**	**100.8**	**1324.2**	**217.6**	**628.8**	**1716.8**	**4941.6**	**112.5**	**37.8**	**69.9**	**196.9**	**43.9**	**81.0**	**30.3**	**10792.3**
Zu- oder Abflüsse	-3.0									+243.1	+75.0					+206.1			11303.5
Materialeinträge																			
(1000 $t \cdot y^{-1}$)																			
Erosion Ackerland	8.7	6.9	5.3	17.9	1.3	0.1	0.1	0.6	3.2	0.2	1.0	4.5	0.2	0.2	3.1	2.8	2.3	0.5	**58.8**
Erosion 'Natürlich'	27.1	18.7	31.9	38.0	95.1	25.5	275.2	104.4	233.9	138.5	1530.5	14.4	3.4	3.4	22.1	5.9	6.1	2.4	**2576.5**
Summe Materialeintrag	**35.8**	**25.6**	**37.2**	**55.9**	**96.4**	**25.6**	**275.3**	**104.9**	**237.0**	**138.6**	**1531.5**	**19.0**	**3.6**	**3.7**	**25.2**	**8.7**	**8.4**	**2.9**	**2635.3**

* = nur für Gebiete in der Schweiz verfügbar, sonst bei unproduktiver Vegetation enthalten

Tab. 19: Wasserflüsse und Materialeinträge in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1985/86 (absolute Werte).

Wasserflüsse	Obersee															Untersee			Gesamt
(%)	Stock.	Seef.	Rot.	Schu.	Argen	Leib.	Breg.	Dorn.	Rh'tal	Ill	Alprh.	Rg BW	Rg BY	Rg A	Rg CH	Radol.	Rg BW	Rg CH	
Oberfl.abfluss Grasland Hangl.	2	2	3	3	4	4	4	3	3	3	2	2	4	4	3	2	2	2	**3**
Oberfl.abfluss Acker Hanglagen	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1	**0**
Oberfl.abfluss Wald	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	**1**
Oberfl.abfluss unprod. Veg.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Oberfl.abfluss Strassen	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	2	1	1	1	2	2	1	**0**
Summe Oberflächenabfluss	**5**	**5**	**5**	**5**	**6**	**5**	**6**	**5**	**4**	**5**	**4**	**5**	**5**	**5**	**5**	**6**	**5**	**4**	**4**
Sickerwasser Grasland	34	32	42	42	62	60	55	41	43	51	33	37	54	51	49	33	31	34	**42**
Drainagenabfluss Grasland	1	1	1	1	1	2	3	6	3	0	0	1	2	4	3	1	1	1	**1**
Sickerwasser Ackerland	32	31	24	21	1	1	0	1	5	0	0	19	2	2	6	31	24	15	**3**
Drainagenabfluss Ackerland	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	**0**
Sickerwasser Wald	18	21	19	19	23	25	27	33	27	25	19	16	12	18	18	11	18	30	**22**
Sickerwasser unprod. Veg.	0	1	1	0	0	0	6	3	3	16	12	1	1	3	0	1	1	1	**9**
Sickerwasser Strassen	2	2	1	2	1	1	1	1	1	0	0	3	3	2	2	4	3	2	**1**
Sickerwasser Siedlungsgrün	3	3	3	4	3	2	1	4	5	1	1	7	10	4	9	6	8	8	**2**
Abfluss veg.-lose Flächen*	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	29	0	0	0	0	0	0	0	**14**
Summe Sickerwasserabfluss	**91**	**91**	**91**	**90**	**91**	**91**	**92**	**90**	**90**	**93**	**94**	**84**	**84**	**84**	**88**	**86**	**86**	**91**	**93**
Abfluss überbaute Siedlungsfl.	4	3	3	4	2	3	1	3	4	1	1	10	9	5	7	7	8	5	**2**
Niederschlag auf Gewässer	0	0	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	6	1	1	2	0	**1**
Summe restlicher Abfluss	**4**	**4**	**4**	**6**	**4**	**4**	**2**	**5**	**6**	**2**	**2**	**11**	**11**	**11**	**8**	**8**	**10**	**5**	**3**
Summe Wasserabfl. gesamt	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
Zu- oder Abflüsse	-4									+14	+1					+469			
Materialeinträge																			
(%)																			
Erosion Ackerland	24	27	14	32	1	0	0	1	1	0	0	24	4	7	12	32	27	17	**2**
Erosion 'Natürlich'	76	73	86	68	99	100	100	99	99	100	100	76	96	93	88	68	73	83	**98**
Summe Materialeintrag	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

* = nur für Gebiete in der Schweiz verfügbar, sonst bei unproduktiver Vegetation enthalten

Tab. 20: Wasserflüsse und Materialeinträge in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1985/86 (relative Werte).

Wasserflüsse	Obersee															Untersee			Gesamt
($mm \cdot y^{-1}$)	Stock.	Seef.	Rot.	Schu.	Argen	Leib.	Breg.	Dorn.	Rh'tal	Ill	Alprh.	Rg BW	Rg BY	Rg A	Rg CH	Radol.	Rg BW	Rg CH	
Grasland																			
Oberflächenabfluss	22	28	34	32	64	62	116	79	47	81	72	24	45	58	42	14	23	36	**66**
Sickerwasser	347	447	548	518	943	942	1545	1081	805	1297	1029	387	683	874	658	241	391	611	**983**
Ackerland																			
Oberflächenabfluss	23	25	36	28	38	51	78	40	23	51	33	20	41	37	25	16	25	21	**26**
Sickerwasser	391	493	618	543	682	923	1285	886	728	1020	759	413	741	907	554	297	479	443	**525**
Wald																			
Oberflächenabfluss	0	0	0	0	24	0	44	31	20	30	25	0	0	0	0	0	0	0	**21**
Sickerwasser	174	284	458	374	815	847	1385	991	624	1161	863	202	553	910	592	70	210	357	**789**
unprod. Veg./veg.-los																			
Oberfl.-abfl./Sickerwasser	363	465	536	518	945	1087	2054	1585	1033	1500	1281	357	717	886	723	240	318	507	**1308**
Gewässer																			
Niederschlag	363	405	588	553	951	962	1572	967	781	1355	1170	421	728	889	805	277	370	513	**1046**
Siedl.-grünfl./Strassen																			
Oberfl.-abfl./Sickerwasser	415	491	613	558	982	1032	1545	1028	731	1172	945	449	772	959	733	325	450	542	**744**
Gesamtgebiet																			
Totaler Abfluss	**321**	**430**	**572**	**513**	**956**	**963**	**1604**	**1100**	**773**	**1340**	**1110**	**370**	**723**	**931**	**681**	**215**	**375**	**487**	**987**

Tab. 21: Berechnete nutzungsspezifische Wasserflüsse in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1985/86.

Erosion'. In den ackerbaulich intensiv genutzten Gebieten erreichte die Bodenerosion auf Ackerflächen bis zu 32% der gesamten Materialeinträge.

c) Flächenspezifische Werte

Die flächenspezifischen Abflüsse lagen vor allem in den alpinen Gebieten mit hohen Niederschlägen und geringer Verdunstung über dem mittleren Abfluss des gesamten Bodensee-Einzugsgebietes von 987 mm (Abb. 5). So lag der Abfluss im Gebiet Bregenzerach mit 1 604 mm um das 7:5-fache über dem Abfluss der Radolfzeller Aach (ohne Aach-Quelle) mit 215 mm.

d) Nutzungsspezifische Werte

Die höchsten nutzungsspezifischen Wasserflüsse wurden im allgemeinen auf vegetationslosen Flächen und Flächen mit unproduktiver Vegetation erzielt, da diese in der Regel die geringste Verdunstung aufwiesen, am höchsten lagen und somit die meisten Niederschläge hatten. Unter Ackerland waren die Wasserflüsse dagegen relativ niedrig, da die meisten Ackerflächen in den niederschlagsärmeren Teilen der jeweiligen Einzugsgebiete lagen und relativ hohe Verdunstungswerte aufwiesen (Tab. 21).

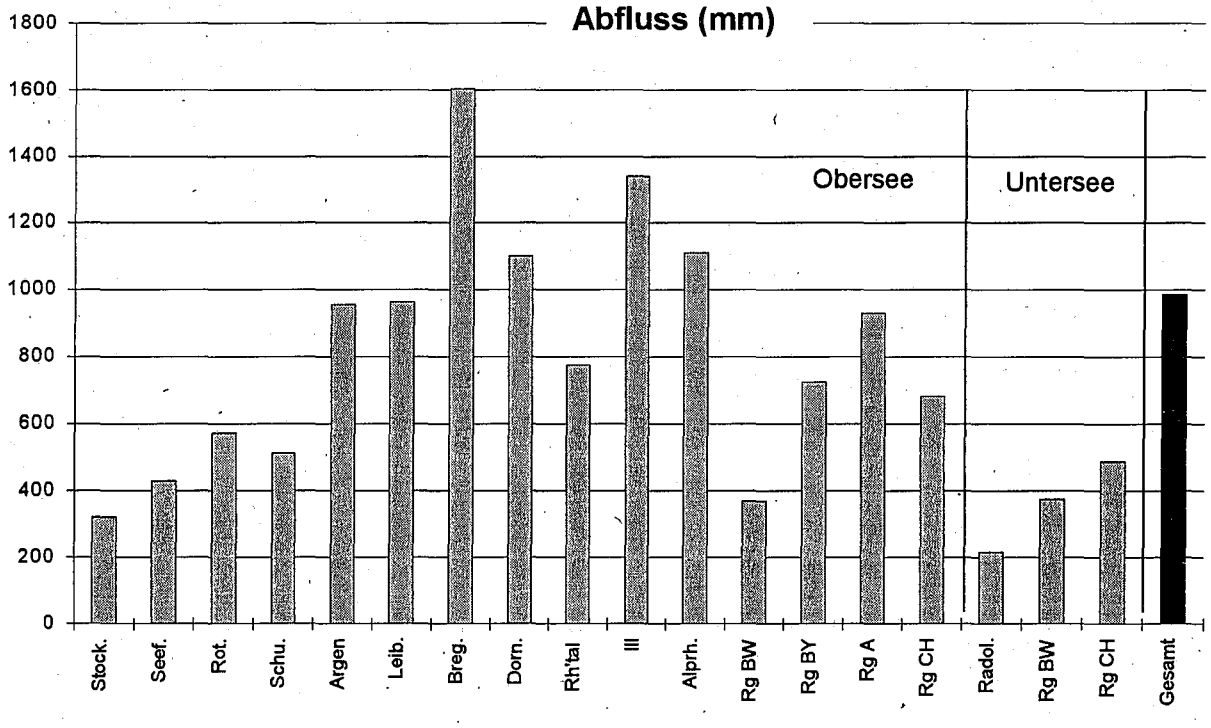


Abb. 5: Abfluss der verschiedenen Einzugsgebiete im hydrologischen Jahr 1985/86.

3.1.2 Phosphoreinträge

a) Absolute Werte

Insgesamt wurden dem Bodensee 1 740 $t \cdot y^{-1}$ Gesamt-Phosphor aus diffusen Quellen zugeführt (ohne Deposition auf die Seefläche) (Tab. 22). Davon waren 586 $t\ y^{-1}$ (= 34%) gelöster Phosphor, 1 154 $t \cdot y^{-1}$ partikulärer Phosphor (= 66%). Vor allem in den alpinen Gebieten waren die partikulären Anteile gegenüber den gelösten Anteilen hoch und trugen massgeblich zu den gesamten Phosphoreinträgen bei (Abb. 6). Die absoluten Werte der verschiedenen Einzugsgebiete differierten analog zu den Wasserflüssen mit der Gebietsgrösse und der Abflussmenge stark. So waren die Phosphoreinträge im grössten Gebiet 'Alprhein' mit 731 $t \cdot y^{-1}$ um fast 150 mal höher als im kleinsten Gebiet 'Randgebiet Obersee Bayern' mit 4.9 $t \cdot y^{-1}$ und brachten rund 43% der gesamten Phosphoreinträge in den Bodensee.

b) Relative Werte

Erosion und Abschwemmung stellten die dominanten Eintragspfade für Phosphor dar. Die Phosphoreinträge durch Erosion machten insgesamt 67% der gesamten Phosphoreinträge in den Bodensee aus (Tab. 23, Abb. 8). 61% resultierten aus der 'natürlichen Erosion', 7% aus der Bodenerosion von Ackerflächen. Die hohen Schwebstoffgehalte in den alpinen Flüssen führten zu den hohen Phosphoreinträgen durch 'natürliche Erosion'. Hier wurden zwischen 60 und 85% der gesamten Phosphoreinträge durch die 'natürliche Erosion' verursacht. In den ackerbaulich genutzten Gebieten trug die Bodenerosion von Ackerflächen mit etwa 30 - 45% zu den gesamten Phosphoreinträgen bei. In diesen Gebieten übertraf der Anteil an Bodenerosion von Ackerflächen den Anteil der 'natürlichen Erosion'. Mit 45% der gesamten Phosphoreinträge lagen die Einträge durch Bodenerosion von Ackerflächen im Gebiet Stockacher Aach am höchsten.

Die Abschwemmung trug im Mittel mit 22% zu den gesamten Phosphoreinträgen bei. Der höchste prozentuale Anteil wurde im Gebiet 'Argen' mit 57% erzielt. Die Einträge durch Abschwemmung stammten überwiegend vom Grasland. Nur in einigen Gebieten wurden auch nennenswerte Einträge vom Ackerland (4 - 7% der gesamten Phosphoreinträge) erreicht. Phosphoreinträge durch Abschwemmung unter Wald, unproduktiver Vegetation und von Strassen waren vernachlässigbar klein.

Die Auswaschungsverluste betrugen im Mittel 7% der gesamten Phosphoreinträge. Mit 16% wurden im Gebiet 'Randgebiet Obersee Österreich' die höchsten Einträge erreicht. Je nach Flächenanteil trugen Grasland, Ackerland und Wald unterschiedlich stark zur Auswaschung bei. Auswaschungsverluste unter unproduktiver Vegetation, Strassen, Siedlungsgrün und Einträge von vegetationslosen Flächen sowie Drainagenverluste unter Grasland und Ackerland spielten eine untergeordnete Rolle.

Die verschiedenen Direkteinträge leisteten mit im Mittel 3% an den gesamten Phosphoreinträgen nur einen geringen Beitrag. Nur in einigen kleineren Gebieten wurden mit über 10% beachtenswerte Anteile erreicht.

c) Flächenspezifische Werte

Die Gesamt-Phosphoreinträge betrugen im Mittel 1 551 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ (Abb. 7). Überdurchschnittlich hohe Gesamt-Phosphoreinträge traten in den Gebieten Stockacher Aach, Rotach, Argen, Leiblach, Bregenzerach, Dornbirnerach, Rheintal, Alprhein und 'Randgebiete Obersee Schweiz' auf. Mit 2 762 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ wurde im Gebiet Dornbirnerach der höchste, mit 599 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ im Gebiet Radolfzeller Aach (ohne Aach-Quelle) der niedrigste Wert erzielt.

Die partikulären Phosphoreinträge betrugen im Mittel 1 057 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$. Überdurchschnittlich hohe Einträge wurden in den Gebieten Stockacher Aach, Rotach, Bregenzerach, Dornbirnerach, Rheintal und Alprhein erzielt. Mit 2 178 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ lag der höchste Wert im Gebiet Dornbirnerach, mit 256 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ der niedrigste im Gebiet 'Randgebiet Obersee Österreich'.

Die gelösten Phosphoreinträge betrugen im Mittel 494 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$. Überdurchschnittlich hohe Einträge wurden in den Gebieten Rotach, Schussen, Argen, Leiblach, Bregenzerach, Dornbirnerach, Rheintal, 'Randgebiet Obersee Bayern', 'Randgebiet Obersee Österreich' und 'Randgebiet Obersee Schweiz' erzielt. Mit 1 523 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ lag der höchste Wert im Gebiet Argen, mit 240 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ der niedrigste im Gebiet Radolfzeller Aach (ohne Aach-Quelle).

d) Nutzungsspezifische Werte

Die höchsten nutzungsspezifischen Phosphoreinträge waren bis auf das Gebiet Alprhein in allen Gebieten auf Ackerland zu verzeichnen (992 bis 4 182 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$) (Tab. 26). Die hohen Phosphoreinträge durch Bodenerosion auf Ackerland (772 bis 3 301 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$) waren dafür verantwortlich. In den Gebieten Argen, Leiblach, Bregenzerach und 'Randgebiet Obersee Schweiz' waren die Phosphoreinträge auf Grasland mit 1 369 bis 2 218 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ überdurchschnittlich hoch. Sie resultierten überwiegend aus der Gülleabschwemmung. Die Phosphoreinträge durch 'natürliche Erosion' waren vor allem in den alpinen Gebieten hoch (432 bis 1 375 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$). Unter Wald waren die Phosphoreinträge in allen Gebieten am niedrigsten (21 bis 119 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$).

3.1.3 Stickstoffeinträge

a) Absolute Werte

Insgesamt wurden dem Bodensee aus diffusen Quellen 17 447 $t \cdot y^{-1}$ Gesamt-Stickstoff zugeführt (ohne Deposition auf die Seefläche) (Tab. 24 u. Abb. 6). Davon waren 14 880 $t \cdot y^{-1}$ (= 85%) gelöster Stickstoff, 2 567 $t \cdot y^{-1}$ (= 15%) partikulärer Stickstoff. Die absoluten Werte der verschiedenen Einzugsgebiete differierten zwar ebenfalls analog zu den Wasserflüssen mit der Gebietsgrösse und der Abflussmenge, aber nicht mehr so deutlich wie bei den Phosphoreinträgen. So lagen die Stickstoffeinträge im grössten Gebiet Alprhein mit 3 950 $t \cdot y^{-1}$ nur noch um 38 mal höher als im kleinsten Gebiet 'Randgebiet Obersee Bayern' mit 102 $t \cdot y^{-1}$, obwohl die Gebietsfläche 85 mal grösser ist, und brachten nur noch 23% der gesamten Stickstoffeinträge in den Bodensee.

b) Relative Werte

Die Auswaschung war in allen Gebieten der dominante Eintragspfad für Stickstoff. Die Auswaschungsverluste machten insgesamt 79% der Stickstoffeinträge in den Bodensee aus (Tab. 25, Abb. 8). 32% resultierten davon aus der Auswaschung unter Grasland, 20% aus der Auswaschung unter Ackerland und 13% aus der Auswaschung unter Wald. Je nach Bodennutzung unterschieden sich die verschiedenen Gebiete deutlich. In den Grasland-Gebieten Argen, Leiblach, Bregenzerach, Ill, 'Randgebiet Obersee Bayern' und 'Randgebiet Obersee Österreich' betrugen die Auswaschungsverluste unter Grasland um die 50%. In den Ackerbau-Gebieten Stockacher Aach, Seefelder Aach, Rotach, Schussen, 'Randgebiet Obersee Baden-Württemberg', Radolfzeller Aach, 'Randgebiet Untersee Baden-Württemberg' und 'Randgebiet Untersee Schweiz' erreichten die Auswaschungsverluste unter Ackerland um die 50%. Die Auswaschungsverluste unter unproduktiver Vegetation und die Einträge von vegetationslosen Flächen waren nur in den alpinen Gebieten Ill und Alprhein von Bedeutung. Die Auswaschungsverluste unter Siedlungsgrün erreichten trotz relativ kleiner Flächenanteile mit bis zu 15% der Gesamteinträge im Gebiet 'Randgebiet Obersee Bayern' teilweise beachtenswerte Anteile. Die Drainageeinträge waren nur in den Gebieten Dornbirnerach und 'Randgebiet Obersee Bayern' erwähnenswert.

Die Stickstoffeinträge durch Abschwemmung waren in allen Gebieten unbedeutend und betrugen im Mittel nur 3% der gesamten Stickstoffeinträge.

Die Stickstoffeinträge durch Erosion betrugen 15% der gesamten Stickstoffeinträge. Sie resultierten überwiegend aus der 'natürlichen Erosion' in den Gebieten Alprhein, Ill, Rheintal, Dornbirnerach und Bregenzerach.

Die verschiedenen Direkteinträge waren mit im Mittel 3% der gesamten Stickstoffeinträge unbedeutend.

c) Flächenspezifische Werte

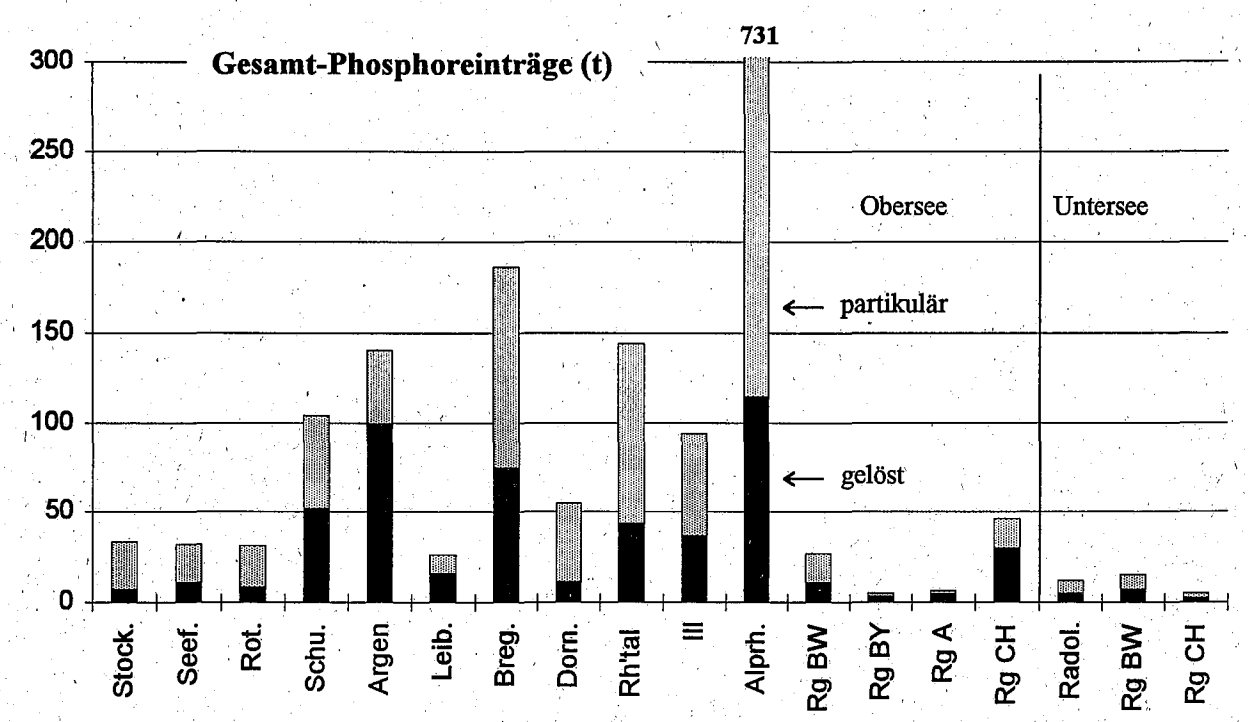
Die flächenspezifischen Gesamt-Stickstoffeinträge aller Einzugsgebiete betrugen im Mittel 15 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$. Dabei wurde der Mittelwert vor allem durch die niedrigen Werte der grössten Gebiete (Alprhein = 8.8 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$, Ill = 10.8 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$) geprägt. Bis auf die Gebiete Stockacher Aach und Radolfzeller Aach lagen sonst alle Gebiete über dem Mittelwert. Mit 33.2 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ wurde im Gebiet Rotach der höchste Wert erzielt.

Die partikulären Stickstoffeinträge waren im Mittel mit 2.3 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ vergleichsweise niedrig. Mit 5.5 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ wurde im Gebiet Dornbirnerach der höchste Wert erreicht.

Die gelösten Stickstoffeinträge betrugen im Mittel 12.7 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$. Mit über 20 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ waren in den Gebieten Rotach, Schussen, Argen, Leiblach, 'Randgebiet Obersee Baden-Württemberg', 'Randgebiet Obersee Schweiz' und 'Randgebiet Untersee Schweiz' die höchsten, im Gebiet Alprhein mit 6.6 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ die niedrigsten gelösten Stickstoffeinträge zu verzeichnen.

d) Nutzungsspezifische Werte

Die höchsten nutzungsspezifischen Stickstoffeinträge wurden in allen Gebieten unter Ackerland erzielt (27 bis 97 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$) (Tab. 27). Vor allem die Auswaschungsverluste unter Ackerland trugen massgeblich (25 bis 92 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$) dazu bei. Die Stickstoffeinträge unter Siedlungsgrünflächen und von Strassen ausserorts waren mit 11 bis 30 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ ebenfalls relativ hoch. Die Stickstoffeinträge unter Grasland schwankten zwischen 5 und 26 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$. Vor allem in den Gebieten Argen, Leiblach und 'Randgebiet Untersee Schweiz' lagen die Einträge mit über 20 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ hoch. Unter Wald waren die Stickstoffeinträge mit 2 bis 13 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ ebenso wie auf vegetationslosen Flächen und unter unproduktiver Vegetation (5 bis 16 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$) relativ niedrig.



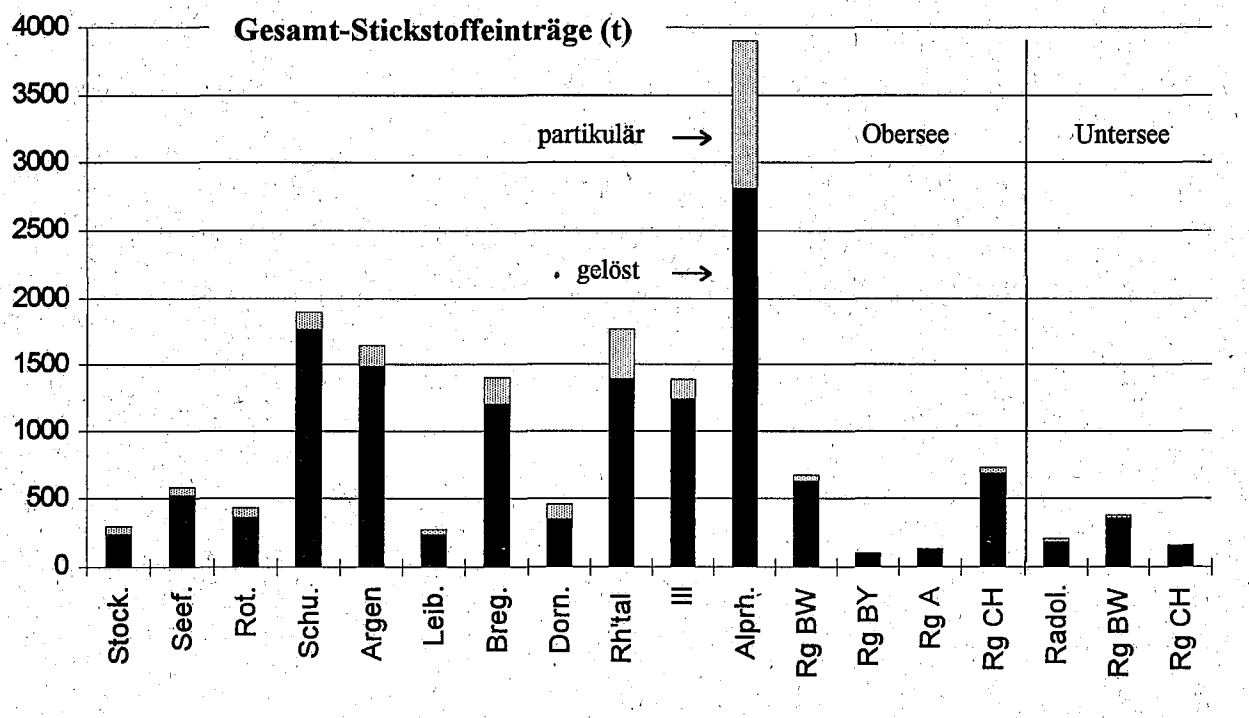


Abb. 6: Gesamt-Phosphor- und Gesamt-Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den verschiedenen Einzugsgebiete für das hydrologische Jahr 1985/86, unterteilt in ihren partikulären und gelösten Anteil.

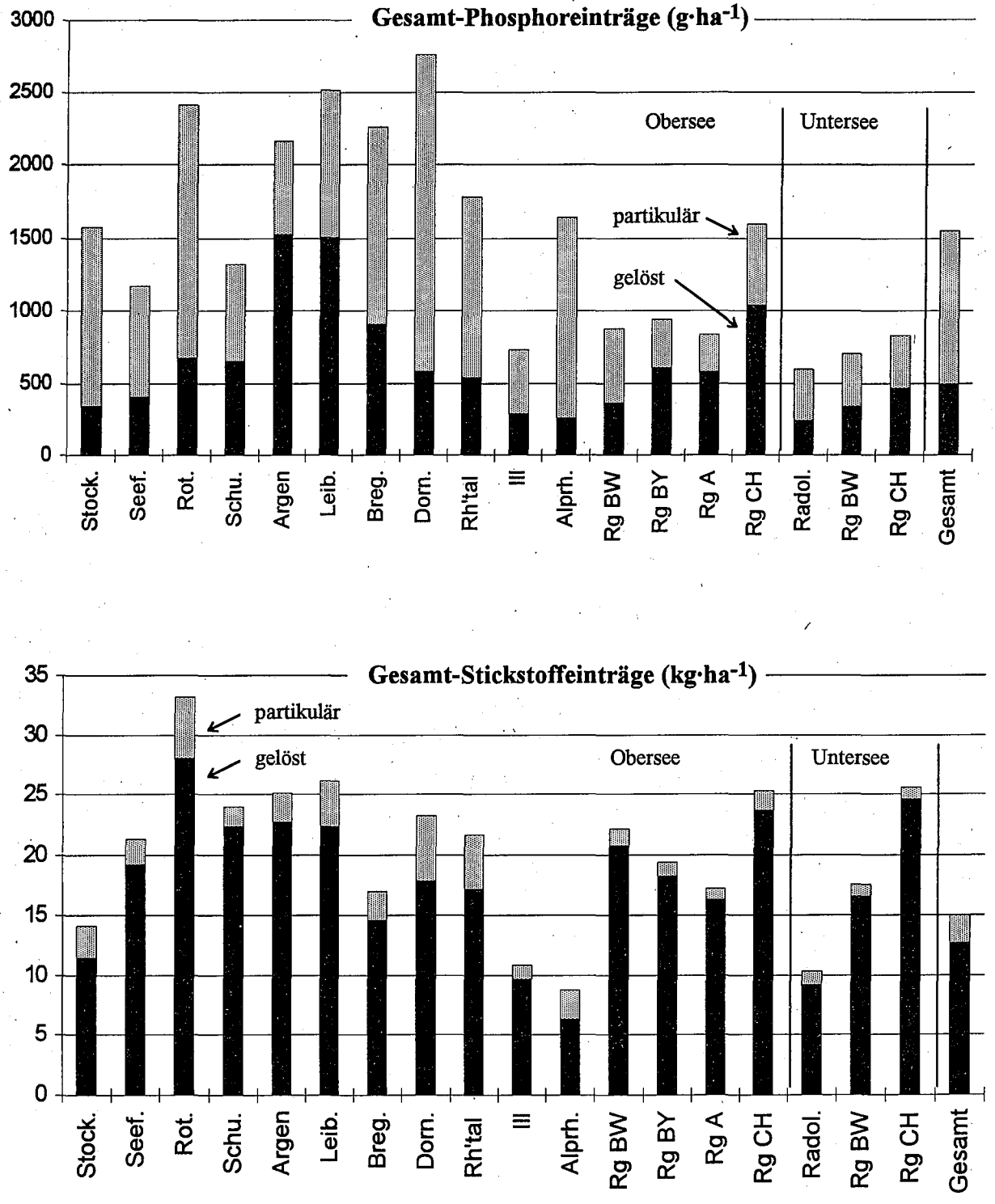


Abb. 7: Flächenspezifische Gesamt-Phosphor- und Gesamt-Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den verschiedenen Einzugsgebieten für das hydrologische Jahr 1985/86, unterteilt in ihren partikulären und gelösten Anteil.

gelöste P-Einträge (kg·y^{-1})	Obersee															Untersee			Gesamt
	Stock.	Seef.	Rot.	Schu.	Argen	Leib.	Breg.	Dorn.	Rh'tal	Ill	Alprh.	Rg BW	Rg BY	Rg A	Rg CH	Radol.	Rg BW	Rg CH	
P-Abschw. Grasland	2961	4864	4998	27319	79397	12434	57600	7437	26070	22163	67243	5402	2112	2580	19823	1731	3043	1586	**348 762**
P-Abschw. Ackerland	1310	1940	1347	5585	609	58	16	81	797	33	275	1029	37	36	862	764	1003	291	**16 074**
P-Abschw. Wald	0	0	0	0	289	0	563	0	268	551	1379	0	0	0	0	0	0	0	**3 049**
P-Abschw. unprod. Veg.	2	4	2	8	8	1	211	22	76	612	1433	5	2	6	3	2	3	1	**2 401**
P-Abschw. Strassen	68	110	55	359	250	58	190	125	317	112	341	172	38	44	201	84	132	25	**2 680**
Summe P-Abschw.	4340	6918	6401	33271	80553	12550	58580	7665	27527	23471	70671	6608	2188	2666	20890	2581	4180	1903	**372 965**
P-Ausw. Grasland	696	937	783	6756	11538	1811	7292	890	5348	6165	16063	1262	410	537	3881	433	634	261	**65 697**
P-Drainverl. Grasland	46	139	60	852	872	322	2908	1056	2116	365	431	129	57	251	1144	26	46	36	**10 857**
P-Ausw. Ackerland	654	907	449	3352	214	21	5	48	828	32	308	628	18	23	567	408	477	140	**9 077**
P-Drainverl. Ackerland	44	130	35	413	32	3	3	36	458	6	29	58	2	20	250	25	34	26	**1 605**
P-Ausw. Wald	246	365	217	1126	1429	249	2498	496	1810	2525	6689	355	45	86	531	149	287	179	**19 282**
P-Ausw. unprod. Veg.	6	13	6	26	24	2	550	41	176	1379	4090	11	4	12	9	7	13	4	**6 373**
P-Ausw. Strassen	28	33	17	109	73	15	47	22	70	37	97	35	10	9	54	34	53	10	**752**
P-Ausw. Siedlungsgrün	64	83	56	539	241	36	92	92	502	111	320	231	77	44	446	73	159	47	**3 212**
P-Ausw.+Abschw. veg.-los*	0	0	0	0	0	0	0	0	158	0	7242	0	0	0	0	0	0	0	**7 401**
Summe P-Ausw.	1784	2607	1623	13173	14422	2458	13396	2681	11467	10620	35270	2710	622	981	6882	1153	1705	703	**124 256**
P-Deposition Gewässer	33	88	42	539	487	71	643	235	861	737	2915	222	47	312	126	48	241	13	**7 660**
P-Einträge Weide Gewässer	22	26	18	125	102	17	165	23	115	331	792	25	5	6	48	14	11	5	**1 849**
P-Einträge Düngung Gewässer	34	43	25	237	277	37	82	53	210	95	223	46	10	15	56	29	30	9	**1 513**
P-Einträge Direkt Hof	254	317	202	1344	1149	206	567	130	899	265	829	270	57	71	727	161	122	74	**7 644**
P-Einträge Weide Strasse	124	146	99	702	557	97	247	73	405	353	881	140	27	32	214	81	61	21	**4 260**
P-Einträge Düngung Strasse	347	464	203	1454	1000	193	163	426	1215	152	516	715	144	177	631	545	629	100	**9 073**
P-Einträge sonstige	303	387	186	1110	939	150	1156	276	1109	1073	2799	413	70	102	398	282	292	88	**11 132**
Summe P-Direkteinträge	1116	1471	776	5511	4511	771	3022	1216	4816	3005	8956	1831	361	714	2200	1160	1385	309	**43 130**
Summe gelöste P-Einträge	**7241**	**10995**	**8800**	**61955**	**99486**	**15780**	**74999**	**11562**	**43809**	**37097**	**114896**	**11148**	**3171**	**4361**	**29972**	**4894**	**7270**	**2915**	**540 352**
Zu- oder Abflüsse	-300									+2000	+500					+42700			**585 252**
partikuläre P-Einträge (kg·y^{-1})																			
P-Erosion Acker	15107	13096	9779	35615	2568	237	113	1062	6277	248	1596	9411	308	450	6949	4660	5281	1181	**113 938**
P-Erosion 'natürlich'	10851	7466	12764	15190	38058	10200	110083	41740	93554	55381	612187	5777	1370	1367	8832	2374	2441	971	**1 030 605**
P-Einträge sonstige	303	387	186	1110	939	150	1156	276	1109	1073	2799	413	70	102	398	282	292	88	**11 132**
Summe partikuläre P-Einträge	**26261**	**20949**	**22730**	**51915**	**41565**	**10587**	**111352**	**43078**	**100941**	**56701**	**616582**	**15602**	**1748**	**1919**	**16179**	**7315**	**8014**	**2239**	**1 155 675**
Zu- oder Abflüsse	-1200																		**1 154 475**

* = nur für Gebiete in der Schweiz verfügbar, sonst bei unproduktiver Vegetation enthalten

Tab. 22: Phosphor-Einträge in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1985/86 (absolute Werte).

gelöste P-Einträge (%)	Obersee															Untersee			Gesamt
	Stock.	Seef.	Rot.	Schu.	Argen	Leib.	Breg.	Dorn.	Rh'tal	Ill	Alprh.	Rg BW	Rg BY	Rg A	Rg CH	Radol.	Rg BW	Rg CH	
P-Abschw. Grasland	41	44	57	53	80	79	77	64	60	60	59	48	67	59	66	35	42	54	**65**
P-Abschw. Ackerland	18	18	15	11	1	0	0	1	2	0	0	9	1	1	3	16	14	10	**3**
P-Abschw. Wald	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	**1**
P-Abschw. unprod. Veg.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	**0**
P-Abschw. Strassen	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	2	1	1	1	2	2	1	**0**
Summe P-Abschw.	60	63	73	64	81	80	78	66	63	63	62	59	69	61	70	53	58	65	**69**
P-Ausw. Grasland	10	9	9	13	12	11	10	8	12	17	14	11	13	12	13	9	9	9	**12**
P-Drainverl. Grasland	1	1	1	2	1	2	4	9	5	1	0	1	2	6	4	1	1	1	**2**
P-Ausw. Ackerland	9	8	5	6	0	0	0	0	2	0	0	6	1	1	2	8	7	5	**2**
P-Drainverl. Ackerland	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	**0**
P-Ausw. Wald	3	3	2	2	1	2	3	4	4	7	6	3	1	2	2	3	4	6	**4**
P-Ausw. unprod. Veg.	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	**1**
P-Ausw. Strassen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	**0**
P-Ausw. Siedlungsgrün	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	2	2	1	1	1	2	2	**1**
P-Ausw.+Abschw. veg.-los*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	**1**
Summe P-Ausw.	25	24	18	25	14	16	18	23	26	29	31	24	20	22	23	24	23	24	**23**
P-Deposition Gewässer	0	1	0	1	0	0	1	2	2	2	3	2	1	7	0	1	3	0	**1**
P-Einträge Weide Gewässer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	**0**
P-Einträge Düngung Gewässer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	**0**
P-Einträge Direkt Hof	4	3	2	3	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	3	2	3	**1**
P-Einträge Weide Strasse	2	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	**1**
P-Einträge Düngung Strasse	5	4	2	3	1	1	0	4	3	0	0	6	5	4	2	11	9	3	**2**
P-Einträge sonstige	4	4	2	2	1	1	2	2	3	3	2	4	2	2	1	6	4	3	**2**
Summe P-Direkteinträge	15	13	9	11	5	5	4	11	11	8	8	16	11	16	7	24	19	11	**8**
Summe gelöste P-Einträge	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
Zu- oder Abflüsse	-4									+5						+872			**+8**
partikuläre P-Einträge (%)																			
P-Erosion Acker	58	63	43	69	6	2	0	2	6	0	0	60	18	23	43	64	66	53	**10**
P-Erosion 'natürlich'	41	36	56	29	92	96	99	97	93	98	99	37	78	71	55	32	30	43	**89**
P-Einträge sonstige	1	2	1	2	2	1	1	1	1	2	0	3	4	5	2	4	4	4	**1**
Summe partikuläre P-Einträge	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
Zu- oder Abflüsse	-5																		

* = nur für Gebiete in der Schweiz verfügbar, sonst bei unproduktiver Vegetation enthalten

Tab. 23: Phosphor-Einträge in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1985/86 (relative Werte).

gelöste N-Einträge ($t \cdot y^{-1}$)	Obersee															Untersee			Gesamt
	Stock.	Seef.	Rot	Schu	Argen	Leib.	Breg.	Dorn.	Rh'tal	Ill	Alprh.	Rg BW	Rg BY	Rg A	Rg CH	Radol.	Rg BW	Rg CH	
N-Abschw. Grasland	3.0	4.9	5.0	27.3	79.4	12.4	57.6	7.4	19.5	22.2	67.2	5.4	2.1	2.6	19.8	1.7	3.0	1.6	**342.2**
N-Abschw. Ackerland	2.6	3.9	2.7	11.2	1.2	0.1	0.0	0.2	1.1	0.1	0.5	2.1	0.1	0.1	1.7	1.5	2.0	0.6	**31.7**
N-Abschw. Wald	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	4.5	0.0	4.6	3.3	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**26.9**
N-Abschw. unprod. Veg.	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	1.7	0.2	0.8	3.7	11.5	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	**18.3**
N-Abschw. Strassen	0.7	1.1	0.5	3.6	3.0	0.6	1.5	1.1	3.4	0.7	2.7	1.7	0.4	0.4	2.0	0.8	1.3	0.2	**25.8**
Summe N-Abschw.	6.3	9.9	8.3	42.2	87.3	13.2	65.3	8.9	29.4	29.9	93.0	9.2	2.6	3.1	23.6	4.1	6.4	2.4	**444.9**
N-Ausw. Grasland	34.8	74.9	78.3	337.8	961.5	150.9	656.3	133.5	401.1	704.5	1124.4	126.2	51.3	53.7	242.6	28.9	63.4	36.5	**5 260.7**
N-Drainverl. Grasland	2.8	8.3	3.0	28.4	29.1	8.6	109.1	52.8	70.5	13.7	16.2	6.5	3.6	12.5	28.6	1.8	2.8	1.8	**400.0**
N-Ausw. Ackerland	152.6	326.6	215.3	1005.5	71.4	5.5	2.9	28.6	342.9	22.4	143.9	335.0	7.9	13.6	181.4	108.7	190.9	70.2	**3 225.2**
N-Drainverl. Ackerland	8.8	23.5	6.3	49.6	3.4	0.3	0.4	6.3	64.2	1.0	4.7	12.1	0.3	3.4	27.5	5.4	6.9	4.8	**228.9**
N-Ausw. Wald	18.5	48.6	36.1	150.1	214.3	37.3	249.8	70.8	254.6	294.6	573.3	62.2	9.1	12.3	70.8	14.9	35.9	22.4	**2 175.6**
N-Ausw. unprod. Veg.	0.5	1.7	0.8	3.4	3.6	0.3	55.0	5.9	21.1	110.4	233.7	2.7	0.6	2.1	0.9	0.7	1.3	0.4	**445.1**
N-Ausw. Strassen	2.1	4.5	2.2	14.6	10.9	2.2	4.7	4.8	10.6	3.7	8.3	8.7	1.4	1.9	5.4	3.4	5.3	1.0	**95.6**
N-Ausw. Siedlungsgrün	10.7	16.6	11.3	89.8	64.4	9.6	23.1	27.7	133.8	33.2	96.1	54.0	15.3	8.8	89.1	12.1	31.7	11.6	**738.9**
N-Ausw.+Abschw. veg.-los*	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.8	0.0	434.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**450.4**
Summe N-Ausw.	230.7	504.7	353.4	1679.2	1358.4	214.6	1101.3	330.4	1314.6	1183.4	2635.2	607.4	89.5	108.3	646.4	175.9	338.2	148.6	**13 020.2**
N-Deposition Gewässer	0.9	2.5	1.2	15.2	17.3	2.2	19.8	7.8	27.7	14.2	48.0	6.3	1.4	8.8	3.6	1.4	7.0	0.4	**185.8**
N-Einträge Weide Gewässer	0.2	0.2	0.1	0.9	0.7	0.1	1.2	0.2	0.8	2.3	5.5	0.2	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1	0.0	**12.9**
N-Einträge Düngung Gewässer	0.2	0.2	0.1	1.3	1.6	0.2	0.4	0.3	1.2	0.5	1.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.1	0.2	0.0	**8.2**
N-Einträge Direkt Hof	1.4	1.7	1.1	7.4	6.5	1.2	3.2	0.7	4.7	1.5	4.7	1.5	0.3	0.4	3.5	0.9	0.7	0.4	**41.5**
N-Einträge Weide Strasse	0.9	1.0	0.7	4.9	3.9	0.7	1.7	0.5	2.8	2.5	6.2	1.0	0.2	0.2	1.5	0.6	0.4	0.1	**29.8**
N-Einträge Düngung Strasse	1.8	2.3	1.1	7.7	5.6	1.1	0.9	2.4	6.7	0.8	2.7	3.8	0.8	1.0	3.5	2.8	3.3	0.5	**48.8**
N-Einträge sonstige	2.0	2.6	1.2	7.4	6.3	1.0	7.7	1.8	7.4	8.0	14.0	2.8	0.5	0.7	2.7	1.9	1.9	0.6	**70.4**
Summe N-Direkteinträge	7.3	10.5	5.5	44.7	41.9	6.5	34.9	13.7	51.3	29.9	82.3	15.8	3.3	11.2	15.4	7.8	13.5	2.1	**397.5**
Summe gelöste N-Einträge	**244.3**	**525.1**	**367.2**	**1766.0**	**1487.6**	**234.3**	**1201.6**	**352.9**	**1395.2**	**1243.2**	**2810.5**	**632.4**	**95.3**	**122.6**	**685.4**	**187.8**	**358.2**	**153.1**	**13 862.6**
Zu- oder Abflüsse	-4.0									+200.0	+50.0					+774.0			**14 882.6**
partikuläre N-Einträge ($t \cdot y^{-1}$)																			
N-Erosion Acker	26.4	26.2	17.8	64.8	4.7	0.4	0.2	1.9	11.4	0.6	4.4	17.1	0.6	0.8	10.7	11.6	9.6	2.1	**211.4**
N-Erosion 'natürlich'	27.1	28.0	47.9	57.0	142.7	38.2	192.6	104.4	350.8	138.5	1071.3	21.7	5.1	5.1	33.1	8.9	9.2	3.6	**2 285.3**
N-Einträge sonstige	2.0	2.6	1.2	7.4	6.3	1.0	7.7	1.8	7.4	8.0	14.0	2.8	0.5	0.7	2.7	1.9	1.9	0.6	**70.4**
Summe partikuläre N-Einträge	**55.6**	**56.8**	**66.9**	**129.1**	**153.6**	**39.7**	**200.6**	**108.1**	**369.6**	**147.1**	**1089.7**	**41.5**	**6.2**	**6.6**	**46.5**	**22.4**	**20.7**	**6.4**	**2 567.1**
Zu- oder Abflüsse	-3.0																		**2 564.1**

* = nur für Gebiete in der Schweiz verfügbar, sonst bei unproduktiver Vegetation enthalten

Tab. 24: Stickstoff-Einträge in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1985/86 (absolute Werte).

gelöste N-Einträge (%)	Obersee															Untersee			Gesamt
	Stock.	Seef.	Rot.	Schu.	Argen	Leib.	Breg.	Dorn.	Rh'tal	Ill	Alprh.	Rg BW	Rg BY	Rg A	Rg CH	Radol.	Rg BW	Rg CH	
N-Abschw. Grasland	1	1	1	2	5	5	5	2	1	2	2	1	2	2	3	1	1	1	**2**
N-Abschw. Ackerland	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	**0**
N-Abschw. Wald	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
N-Abschw. unprod. Veg.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
N-Abschw. Strassen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Summe N-Abschw.	3	2	2	2	6	6	5	3	2	2	3	1	3	3	3	2	2	2	**3**
N-Ausw. Grasland	14	14	21	19	65	64	55	38	29	57	40	20	54	44	35	15	18	24	**38**
N-Drainverl. Grasland	1	2	1	2	2	4	9	15	5	1	1	1	4	10	4	1	1	1	**3**
N-Ausw. Ackerland	62	62	59	57	5	2	0	8	25	2	5	53	8	11	26	58	53	46	**23**
N-Drainverl. Ackerland	4	4	2	3	0	0	0	2	5	0	0	2	0	3	4	3	2	3	**2**
N-Ausw. Wald	8	9	10	8	14	16	21	20	18	24	20	10	9	10	10	8	10	15	**16**
N-Ausw. unprod. Veg.	0	0	0	0	0	0	5	2	2	9	8	0	1	2	0	0	0	0	**3**
N-Ausw. Strassen	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	2	1	2	1	1	**1**
N-Ausw. Siedlungsgrün	4	3	3	5	4	4	2	8	10	3	3	9	16	7	13	6	9	8	**5**
N-Ausw.+Abschw. veg.-los*	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	15	0	0	0	0	0	0	0	**3**
Summe N-Ausw.	94	96	96	95	91	92	92	94	94	95	94	96	94	88	94	94	94	97	**94**
N-Deposition Gewässer	0	0	0	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1	7	1	1	2	0	**1**
N-Einträge Weide Gewässer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
N-Einträge Düngung Gewässer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
N-Einträge Direkt Hof	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	**0**
N-Einträge Weide Strasse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
N-Einträge Düngung Strasse	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	**0**
N-Einträge sonstige	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	**1**
Summe N-Direkteinträge	3	2	2	3	3	3	3	4	4	2	3	2	3	9	2	4	4	1	**3**
Summe gelöste N-Einträge	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
Zu- oder Abflüsse	-2									+16	+2					+412			**+7**
partikuläre N-Einträge (%)																			
N-Erosion Acker	48	46	27	50	3	1	0	2	3	0	0	41	9	12	23	52	46	34	**8**
N-Erosion 'natürlich'	49	49	72	44	93	96	96	97	95	94	98	52	83	77	71	40	44	57	**89**
N-Einträge sonstige	4	5	2	6	4	3	4	2	2	5	1	7	8	10	6	8	9	9	**3**
Summe partikuläre N-Einträge	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
Zu- oder Abflüsse	-5																		

* = nur für Gebiete in der Schweiz verfügbar, sonst bei unproduktiver Vegetation enthalten

Tab. 25: Stickstoff-Einträge in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1985/86 (relative Werte).

P-Einträge	Obersee															Untersee			Gesamt
($g \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$)	Stock.	Seef.	Rot.	Schu.	Argen	Leib.	Breg.	Dorn.	Rh'tal	Ill	Alprh.	Rg BW	Rg BY	Rg A	Rg CH	Radol.	Rg BW	Rg CH	
Grasland																			
Abschwemmung	435	559	858	811	1918	1873	1163	786	737	325	430	484	679	579	1270	284	461	899	**740**
Auswaschung/Drainage	109	124	145	226	300	321	206	206	211	96	105	125	150	177	322	75	103	168	**163**
Ackerland																			
Abschwemmung	231	255	455	350	565	765	389	198	157	102	100	198	307	185	379	164	247	261	**270**
Auswaschung/Drainage	123	136	163	236	228	308	195	204	254	118	122	132	160	218	359	93	126	149	**179**
Bodenerosion	2658	1718	3301	2233	2384	3109	2752	2590	1238	772	579	1813	2540	2330	3055	1002	1300	1058	**1913**
Wald																			
Abschwemmung	0	0	0	0	16	0	22	0	10	15	12	0	0	0	0	0	0	0	**10**
Auswaschung	35	43	69	56	82	85	97	69	67	70	60	40	55	64	89	21	42	71	**64**
unprod. Veg./veg.-los																			
Abschw./Ausw.	86	87	102	98	121	144	189	162	123	104	79	51	95	88	136	57	75	120	**85**
Gewässer																			
Deposition	592	617	637	652	561	630	601	536	572	500	464	627	625	670	756	548	596	662	**531**
Siedl.-grünfl./Strassen																			
Abschw./Ausw.	158	167	200	195	206	244	257	173	146	164	136	152	182	192	219	125	150	143	**171**
Gesamtfläche																			
'natürliche' Erosion	510	274	976	192	582	974	1334	2110	1150	432	1375	190	262	182	306	116	113	156	**942**
Sonstige*	65	65	70	77	76	81	43	64	62	26	20	66	73	67	86	68	66	62	**43**
Totale P-Einträge	**1574**	**1171**	**2411**	**1316**	**2159**	**2518**	**2257**	**2762**	**1779**	**732**	**1643**	**879**	**941**	**836**	**1597**	**599**	**707**	**828**	**1551**

* = Stoffeinträge durch landwirtschaftliche und sonstige diffuse Direkteinträge (Kap. 2.5.6)

Tab. 26: Berechnete nutzungsspezifische diffuse Phosphoreinträge für das hydrologische Jahr 1985/86.

N-Einträge	Obersee															Untersee			Gesamt
(kg·ha^{-1}·y^{-1})	Stock.	Seef.	Rot.	Schu.	Argen	Leib.	Breg.	Dorn.	Rh'tal	Ill	Alprh.	Rg BW	Rg BY	Rg A	Rg CH	Radol.	Rg BW	Rg CH	
Grasland																			
Abschwemmung	0.4	0.6	0.9	0.8	1.9	1.9	1.2	0.8	0.6	0.3	0.4	0.5	0.7	0.6	1.3	0.3	0.5	0.9	**0.7**
Auswaschung/Drainage	5.5	9.6	14.0	10.9	23.9	24.0	15.4	19.7	13.3	10.5	7.3	11.9	17.6	14.9	17.4	5.0	10.0	21.7	**12.0**
Ackerland																			
Abschwemmung	0.5	0.5	0.9	0.7	1.1	1.5	0.8	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	0.6	0.4	0.8	0.3	0.5	0.5	**0.5**
Auswaschung/Drainage	28.4	45.9	74.8	66.2	69.4	75.4	80.9	85.3	80.3	72.8	53.9	66.9	67.6	88.0	91.9	24.5	48.7	67.2	**58.0**
Bodenerosion	4.7	3.4	6.0	4.1	4.3	5.7	5.0	4.7	2.3	1.9	1.6	3.3	4.6	4.2	4.7	2.5	2.4	1.9	**3.5**
Wald																			
Abschwemmung	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**0.1**
Auswaschung	2.6	5.7	11.4	7.5	12.2	12.7	9.7	9.9	9.4	8.1	5.2	7.1	11.1	9.1	11.8	2.1	5.3	8.9	**7.3**
unprod. Veg./veg.-los																			
Abschw./Ausw.	5.4	9.1	10.5	10.1	13.9	16.0	14.1	15.5	11.3	5.9	4.2	8.7	10.5	10.4	10.5	4.7	6.2	9.9	**4.8**
Gewässer																			
Deposition	17.3	17.7	18.1	18.4	19.9	19.7	18.5	17.8	18.4	9.7	7.6	17.9	18.0	18.9	21.6	16.5	17.3	18.5	**12.9**
Siedl.-grünfl./Strassen																			
Abschw./Ausw.	13.3	16.4	22.0	20.9	28.6	27.9	22.9	24.3	24.3	23.7	19.2	22.4	25.2	22.0	30.2	10.7	16.7	22.7	**22.1**
Gesamtfläche																			
'natürliche' Erosion	1.3	1.0	3.7	0.7	2.2	3.7	2.3	5.3	4.3	1.1	2.4	0.7	1.0	0.7	1.1	0.4	0.4	0.6	**2.1**
Sonstige*	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.3	0.4	0.4	0.2	0.1	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	**0.3**
Totale N-Einträge	**14.1**	**21.3**	**33.2**	**24.0**	**25.1**	**26.2**	**17.0**	**23.3**	**21.7**	**10.8**	**8.8**	**22.1**	**19.4**	**17.2**	**25.3**	**10.3**	**17.5**	**25.6**	**15.0**

* = Stoffeinträge durch landwirtschaftliche und sonstige diffuse Direkteinträge (Kap. 2.5.6)

Tab. 27: Berechnete nutzungsspezifische diffuse Stickstoffeinträge für das hydrologische Jahr 1985/86.

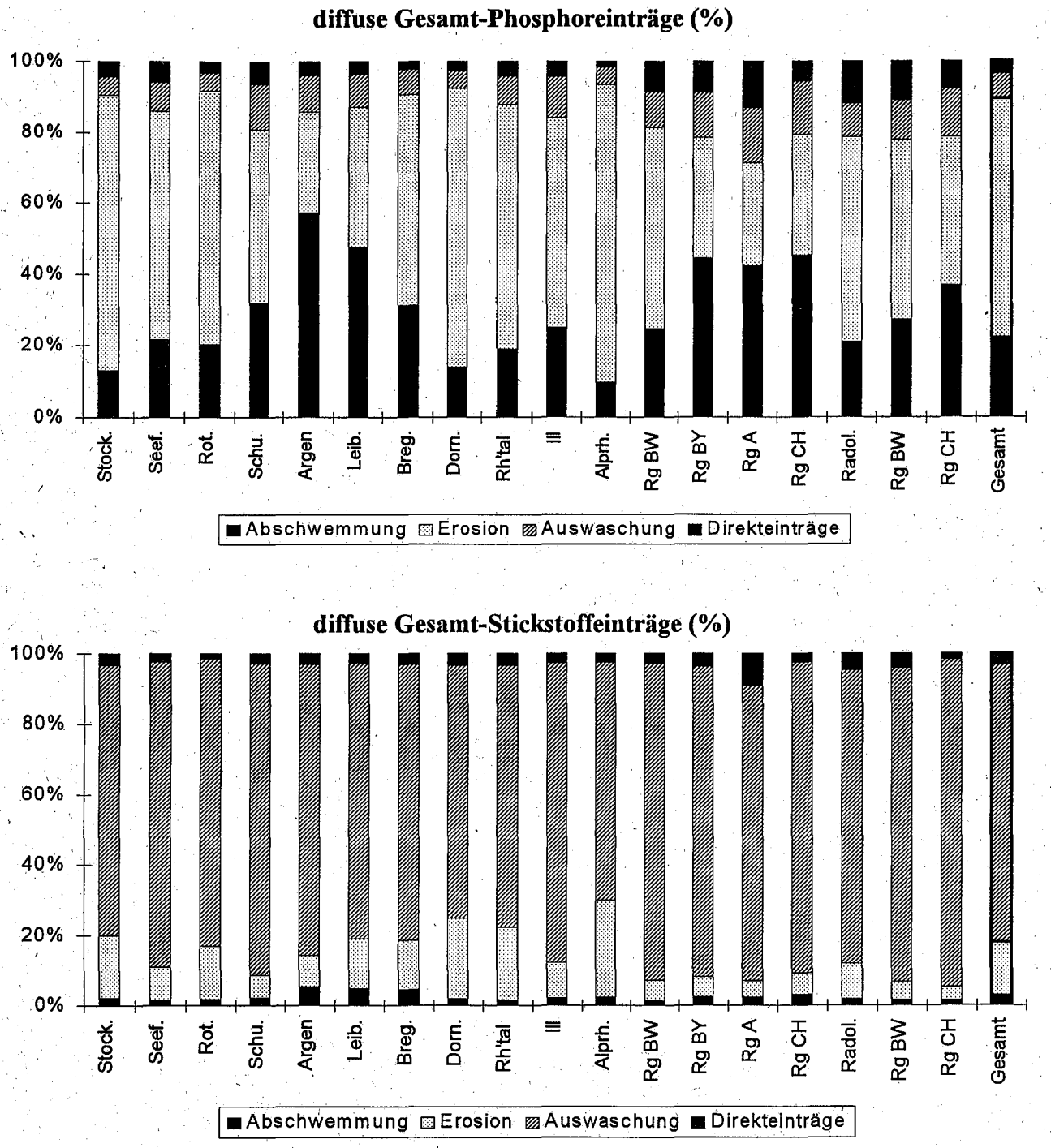


Abb. 8: Prozentuale Anteile der verschiedenen Haupteintragspfade für diffuse Nährstoffverluste.

3.2 Ergebnisse der Berechnung der natürlichen Hintergrundlast und Vergleich mit der anthropogen diffusen Belastung

a) Natürliche Hintergrundlast

Die gesamte zum Abfluss kommende Wassermenge war mit 9 836 Mio. $m^3 y^{-1}$ (Tab. 28) aufgrund der grösseren Verdunstung des Waldes geringer als unter heutigen Landnutzungsverhältnissen (s. Kap. 2.4.4). Im Mittel betrug diese Reduktion ca. 9%. Während sie in den alpinen Gebieten niedriger war, betrug sie in den landwirtschaftlich intensiv genutzten, niederschlagsarmen Gebieten bis über 50%. Somit wurden die Nährstofffrachten nicht nur wegen der niedrigeren Stoffkonzentrationen (s. Kap. 2.5.6), sondern auch wegen der geringeren Abflussmengen reduziert.

Natürliche Hintergrundlast									
	Abfluss	Phosphoreinträge				Stickstoffeinträge			
	Mio. m^3	gesamt (t)	partikulär (t)	gelöst (t)	gesamt ($g \cdot ha^{-1}$)	gesamt (t)	partikulär (t)	gelöst (t)	gesamt ($kg \cdot ha^{-1}$)
Stock.	38.5	10.3	9.1	1.1	482	55.5	24.2	31.3	2.6
Seef.	78.0	8.1	6.5	1.6	297	106.9	25.5	81.4	3.9
Rot.	58.1	11.7	10.6	1.1	894	114.3	40.3	73.9	8.7
Schu.	291.1	19.4	13.7	5.8	246	356.6	54.7	301.9	4.5
Argen	537.1	39.3	31.9	7.4	602	530.6	122.5	408.1	8.1
Leib.	86.9	9.5	8.4	1.1	907	98.7	32.1	66.5	9.4
Breg.	1229.4	101.5	89.8	11.7	1229	599.3	163.0	436.3	7.3
Dorn.	194.8	36.1	34.3	1.7	1823	185.3	87.0	98.2	9.4
Rh'tal	534.1	85.6	77.8	7.8	1052	696.3	295.3	401.0	8.6
Ill	1646.2	58.7	45.7	13.0	458	654.1	119.7	534.4	5.1
Alprh.	4748.9	533.0	494.5	38.5	1197	2028.0	874.6	1153.4	4.6
Rg BW	65.4	7.1	5.3	1.8	233	138.5	21.1	117.4	4.6
Rg BY	28.8	1.6	1.2	0.4	309	34.2	4.8	29.4	6.5
Rg A	59.3	1.9	1.2	0.7	252	37.8	5.0	32.9	5.0
Rg CH	150.2	10.5	7.8	2.7	364	183.8	30.5	153.4	6.4
Radol.	15.7	3.0	2.3	0.8	149	35.1	9.3	25.8	1.7
Rg BW	50.8	3.8	2.4	1.4	175	76.9	9.8	67.1	3.6
Rg CH	22.8	1.4	0.9	0.6	231	32.7	3.6	29.1	5.3
Gesamt	9836.2	942.5	843.5	99.0	862	5966.5	1923.1	4043.4	5.5

Tab. 28: Abfluss, Phosphor- und Stickstoffeinträge für die natürliche Hintergrundlast im hydrologischen Jahr 1985/86.

Die natürliche Hintergrundlast betrug für das gesamte Bodenseegebiet 943 $t y^{-1}$ Gesamt-Phosphor. 57% stammten allein aus dem Gebiet Alprhein, knapp 90% waren partikulär gebundener Phosphor aus der 'natürlichen Erosion'. Entsprechend der Höhe der 'natürlichen

Erosion' streuten die Werte in den einzelnen Gebieten deutlich. So lagen die flächenspezifischen Austräge in den Gebieten Alprhein, Rheintal, Bregenzerach und Dornbirnerach mit über 1 000 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ um bis das Zehnfache über den Austrägen in den übrigen Gebieten. Neben der partikulären Grundfracht aus der 'natürlichen Erosion' (55 - 95%) trugen die Auswaschung unter Wald (3 - 31%) und die Einträge aus Laubfall auf Gewässer (1 - 20%) noch massgeblich zur natürlichen Hintergrundlast bei.

Die natürliche Hintergrundlast an Gesamt-Stickstoff lag im Bodenseegebiet bei 5 967 $t \cdot y^{-1}$. Rund ein Drittel war partikulärer Stickstoff aus der 'natürlichen' Erosion, zwei Drittel waren gelöster Stickstoff aus der Auswaschung. Die flächenspezifischen Austräge schwankten in den verschiedenen Gebieten zwischen 2 und 9 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$, je nach Höhe der Wasserflüsse und der 'natürlichen' Erosion.

b) Vergleich mit anthropogen diffuser Belastung

Aus der Differenz der gesamten diffusen Belastung der Hauptberechnung (Kap. 3.1) und der natürlichen Hintergrundlast errechnet sich die anthropogen diffuse Belastung (Definition s. Kap. 1.2).

Beim Gesamt-Phosphor überwog im Mittel aller Gebiete die natürliche Hintergrundlast mit 56% gegenüber der anthropogen diffusen Belastung (Abb. 9 und 11). Dabei trugen vor allem die grossen, alpinen Gebiete mit 60 - 70% zum hohen Anteil der natürlichen Hintergrundlast an der gesamten diffusen Belastung im Bodenseegebiet bei. In allen anderen Gebieten überwog dagegen der Anteil der anthropogenen diffusen Belastung. In den landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten erreichte die natürliche Hintergrundlast mit Werten zwischen 20 und 30% ihre niedrigsten Anteile.

Bei den partikulären Phosphoreinträgen betrug der Anteil der natürlichen Hintergrundlast - bedingt durch die hohen Stoffeinträge durch 'natürliche Erosion' - im Mittel über 70% (Abb. 9). Nur in den ackerbaulich genutzten Gebieten mit hoher Bodenerosion von Ackerflächen wurden hohe Anteile (50 - 70%) anthropogen diffuser Belastung erreicht.

Die gelösten Phosphoreinträge resultierten zum grössten Teil (80% im Mittel) aus der anthropogen diffusen Belastung. Vor allem in den Gebieten mit hoher Gülleabschwemmung (Argen, Leiblach, 'Randgebiet Obersee Schweiz') war der Anteil der anthropogen diffusen Belastung besonders hoch. In den alpinen Gebieten Ill und Alprhein war aufgrund des hohen Anteils unproduktiver Flächen die anthropogen diffuse Belastung dagegen unterdurchschnittlich (Abb. 9).

Beim Gesamt-Stickstoff überwog die natürliche Hintergrundlast nur im Gebiet Alprhein (Abb. 10 und 11). Die hohen Anteile an Stickstoff aus der 'natürlichen Erosion' sowie aus den Einträgen von den vegetationslosen Flächen waren dafür verantwortlich. Im Mittel aller Gebiete betrug der Anteil der natürlichen Hintergrundlast aber nur 36%, da vor allem in den ackerbaulich genutzten Gebieten die anthropogen diffuse Belastung mit rund 80% dominierte.

Die partikulären Stickstoffeinträge, die allerdings im Vergleich zu den gelösten Stickstoffeinträgen relativ unbedeutend waren, waren überwiegend der natürlichen Hintergrundlast zuzurechnen und stammten aus der 'natürlichen Erosion' (Abb. 10).

Die gelösten Stickstoffeinträge wurden überwiegend durch anthropogen diffusen Belastung verursacht und resultierten aus den Auswaschungsverlusten unter landwirtschaftlicher Nutzung (Abb. 10).

Die höchsten flächenspezifischen anthropogen diffusen Gesamt-Phosphoreinträge ergaben sich mit über 1000 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ einerseits in den Graslandgebieten mit hoher Viehbesatzdichte und entsprechend hoher Gülleabschwemmung (Argen, Leiblach und 'Randgebiet Obersee Schweiz'), andererseits in den Ackerbaugebieten mit hoher Bodenerosion von Ackerflächen (Rotach, Schussen, Stockacher Aach) (Abb. 12). In den beiden am stärksten alpin geprägten Gebieten Alprhein und Ill ergaben sich beim Phosphor die niedrigsten anthropogen diffusen Einträge. Sie betrugen rund 300 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ und resultierten in erster Linie aus der anthropogen bedingten Erosion (Skipisten, Wanderwege, Viehgangeln etc.) und waren somit überwiegend partikulär.

Beim Stickstoff wiesen vor allem die ackerbaulich intensiv genutzten Gebiete (Seefelder Aach, Rotach, Schussen, 'Randgebiet Obersee Baden-Württemberg', 'Randgebiet Obersee Schweiz' und 'Randgebiet Untersee Schweiz') mit um die 20 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ hohe flächenspezifische anthropogen diffuse Einträge auf, die überwiegend aus der Auswaschung unter Ackerland resultierten (Abb. 12). In den beiden alpinen Gebieten Alprhein und Ill wurden mit rund 5 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ die niedrigsten Einträge erreicht. Ein kleiner Teil stammte hier aus der anthropogen bedingten Erosion, der grössere Teil resultierte aus der Auswaschung unter Grasland.

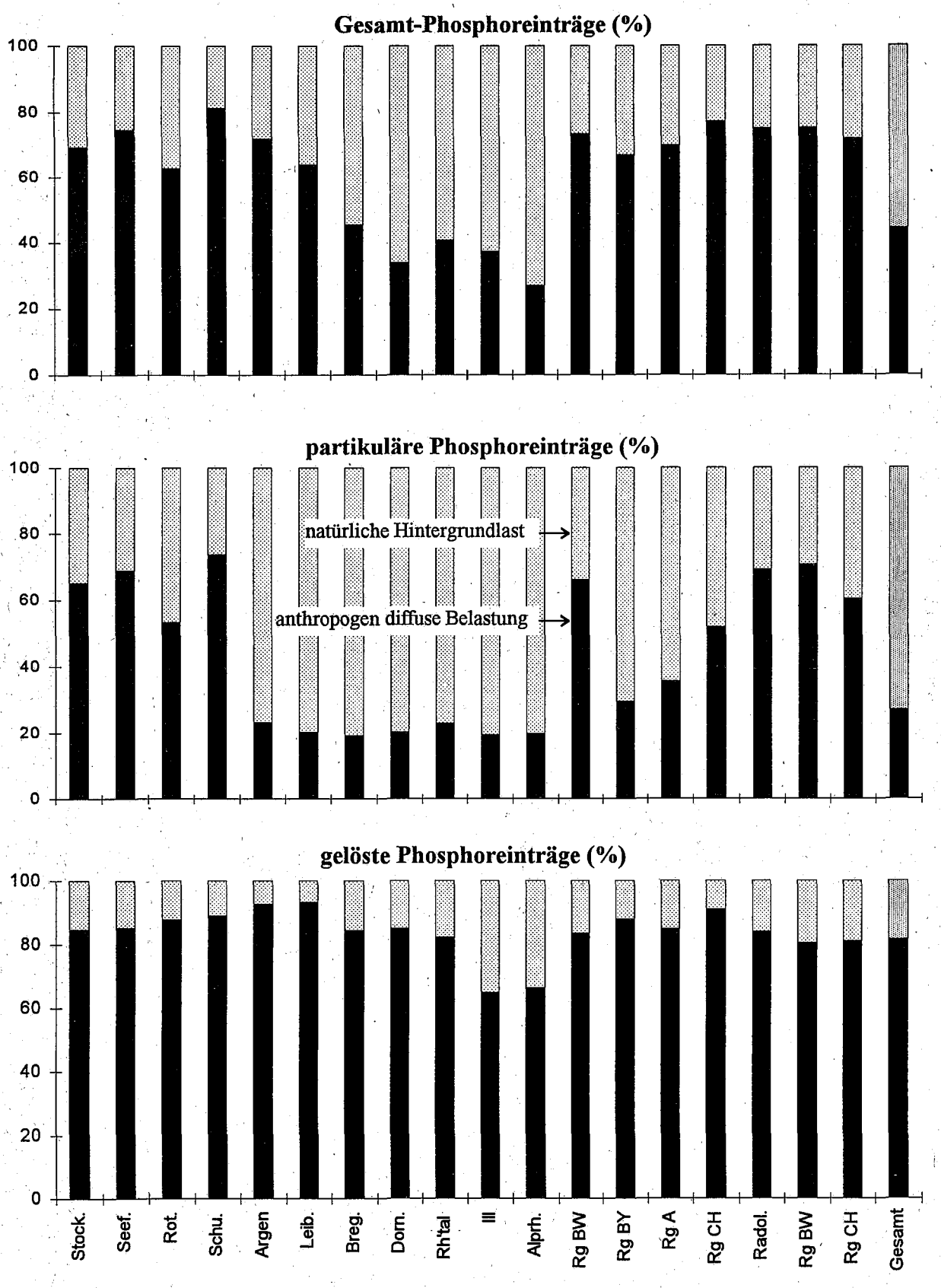


Abb. 9: Prozentuale Anteile von natürlicher Hintergrundlast und anthropogen diffuser Belastung an den Phosphoreinträgen aus diffusen Quellen für die verschiedenen Einzugsgebiete im hydrologischen Jahr 1985/86.

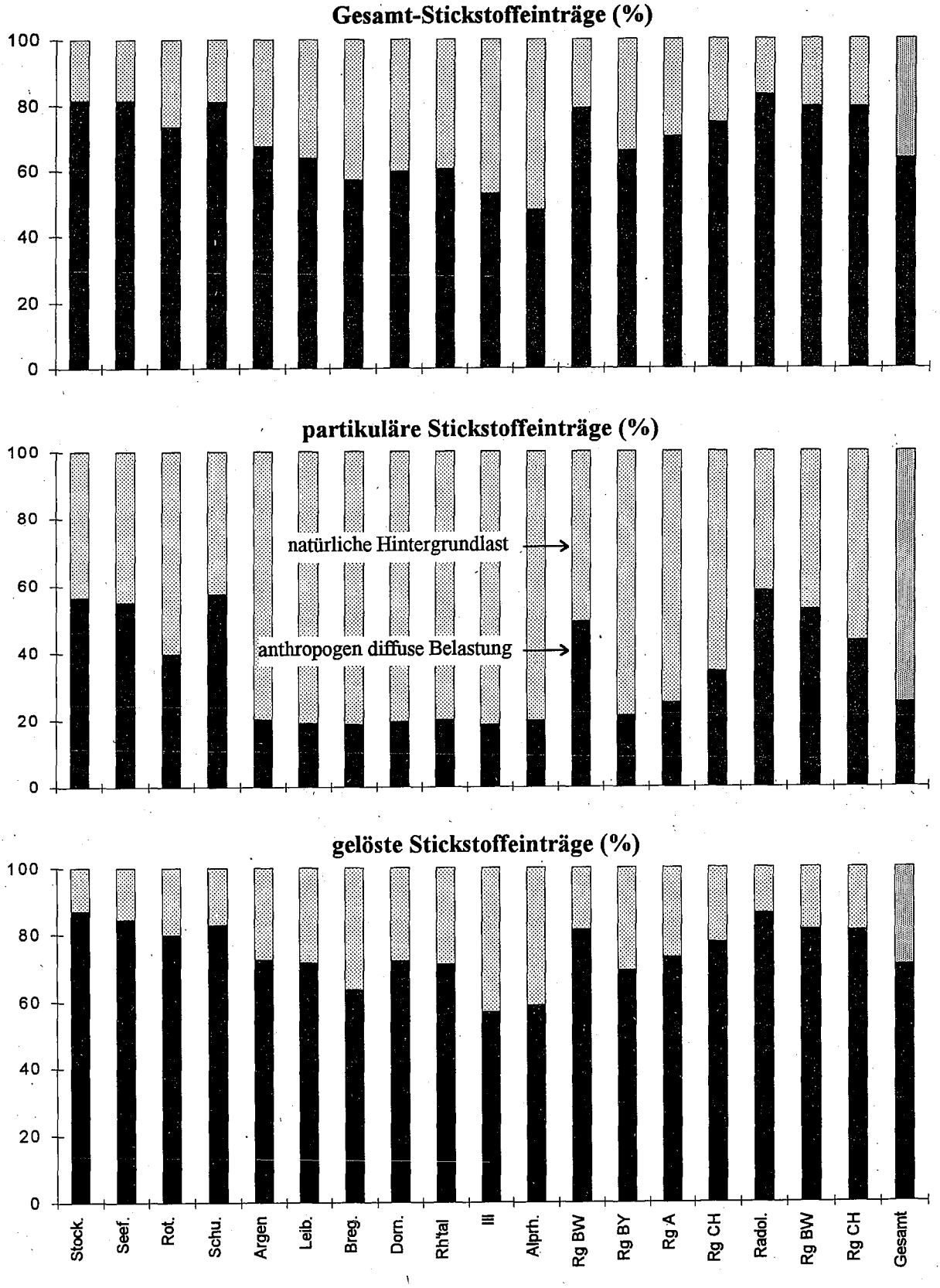


Abb. 10: Prozentuale Anteile von natürlicher Hintergrundlast und anthropogen diffuser Belastung an den Stickstoffeinträgen aus diffusen Quellen für die verschiedenen Einzugsgebiete im hydrologischen Jahr 1985/86.

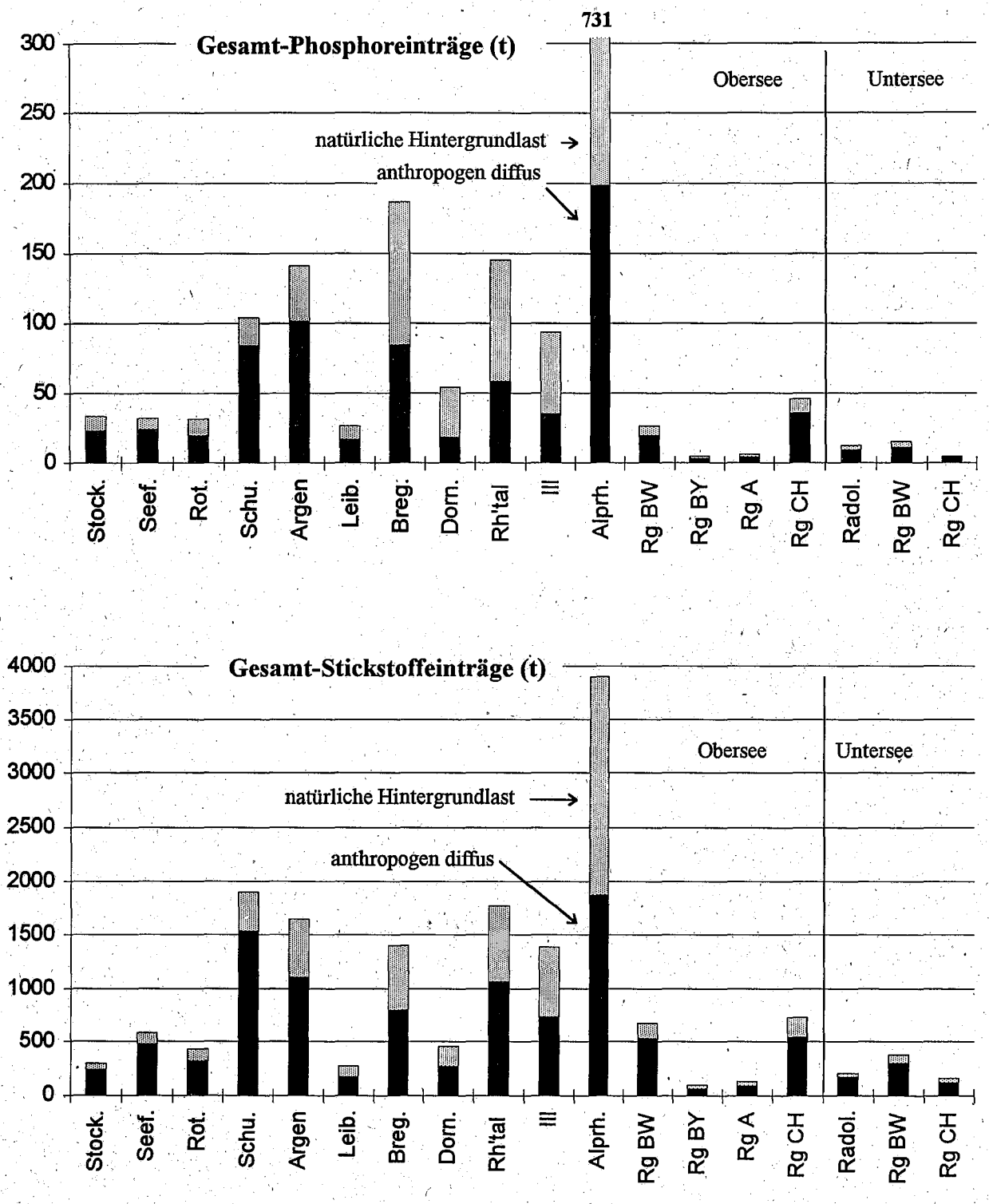


Abb. 11: Gesamt-Phosphor und Gesamt-Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den verschiedenen Einzugsgebieten für das hydrologische Jahr 1985/86, unterteilt nach ihrem Anteil an natürlicher Hintergrundlast und anthropogen diffuser Belastung.

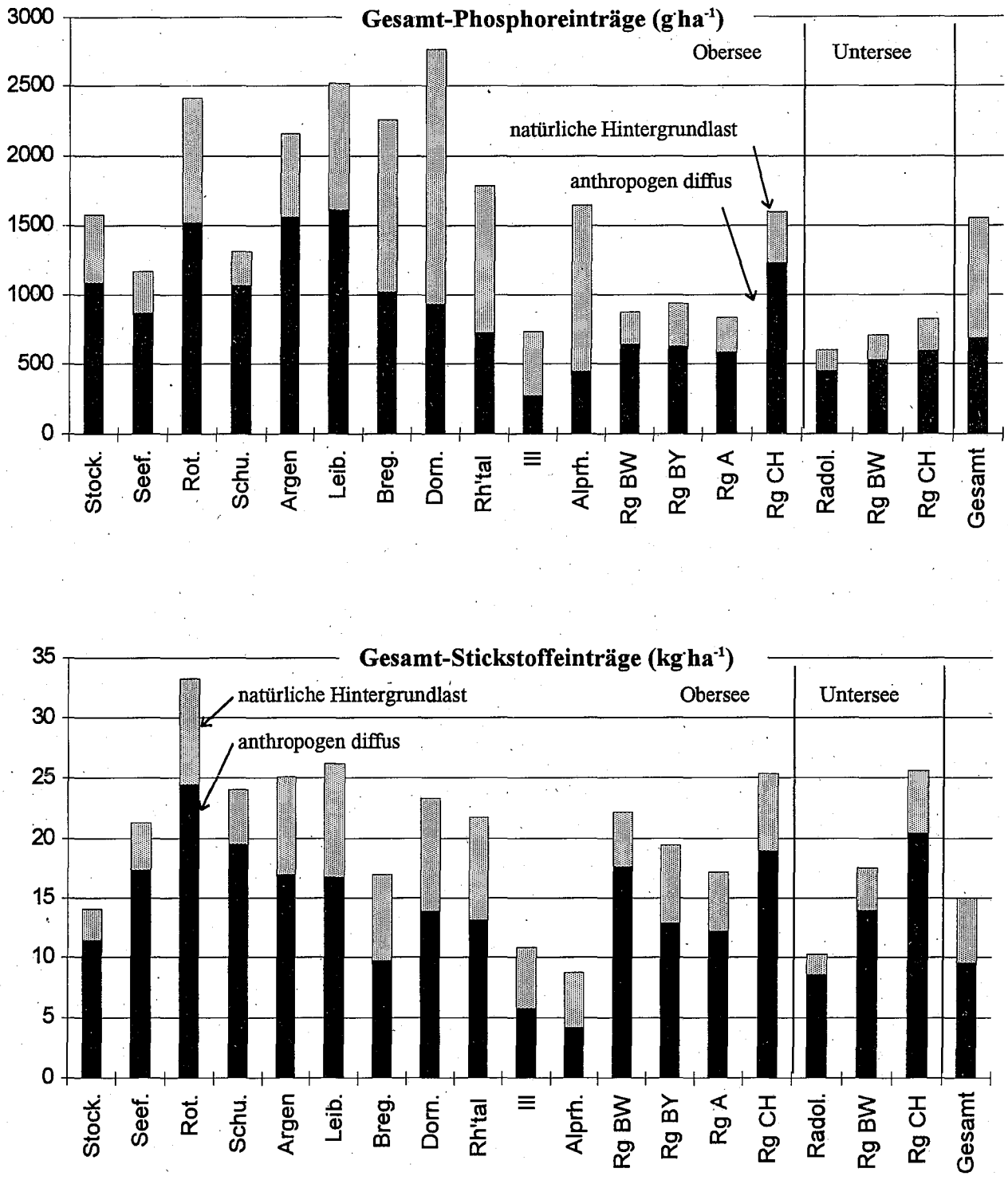


Abb. 12: Flächenspezifische Gesamt-Phosphor- und Gesamt-Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den verschiedenen Einzugsgebieten für das hydrologische Jahr 1985/86, unterteilt nach ihrem Anteil an natürlicher Hintergrundlast und anthropogen diffuser Belastung.

3.3 Gesamtbetrachtung der Stoffeinträge in die Gewässer unter Hinzuziehung der punktuellen Quellen

Nachdem bisher ausschliesslich die diffusen Quellen betrachtet worden sind, sollen im folgenden die diffusen den punktuellen Quellen gegenübergestellt werden. Die diffusen Quellen wurden dabei aufgegliedert in die (diffuse) natürliche Hintergrundlast und die diffuse anthropogene Belastung (Kap. 3.2). Zusätzlich zu den bisherigen Betrachtungen wurden die Stoffeinträge aus der atmosphärischen Deposition auf die Bodenseeoberfläche nach WAGNER & BÜHRER (1989) den diffusen Quellen zugeschlagen. Die Daten der punktuellen anthropogenen Quellen umfassen die Stoffeinträge aus Kläranlagen (gereinigtes Abwasser) und diejenigen von direkt einleitenden Einwohnern sowie Mischwasserentlastungen (ungereinigtes Abwasser). Sie wurden WAGNER & BÜHRER (1989, Tab. 1 u. 2) entnommen. Die Angaben zum ungereinigten Abwasser beruhen dabei auf groben Schätzungen. Weiterhin wurde unterstellt, dass die Stoffeinträge aus punktuellen Quellen ausschliesslich in gelöster Form erfolgen und somit sämtliche partikuläre Frachten auf die diffusen Quellen fallen.

In den Abb. 13 bis 16 sind die gesamten und gelösten Phosphor- bzw. -Stickstoffeinträge - aufgeschlüsselt nach ihrer Herkunft - zusammengestellt. Die folgende Interpretation der Abbildungen soll sich auf einen Überblick beschränken. Eine ausführliche Besprechung der Aufschlüsselung der Einträge nach ihren Quellen erfolgt für jedes einzelne Einzugsgebiet im Anhang.

Die höchsten Gesamt-Phosphoreinträge (Abb. 13) wurden mit ca. 800 t $P \cdot y^{-1}$ (= 34% des Gesamteintrages in den Bodensee) im grössten Gebiet 'Alprhein', die niedrigsten mit 7 t $P \cdot y^{-1}$ im kleinen Gebiet 'Randgebiet Untersee Schweiz' erzielt. Während in den alpinen Gebieten eindeutig die natürliche Hintergrundlast die höchsten Belastungsanteile erreichte, wurden in den meisten anderen Gebieten die höchsten prozentualen Anteile durch die anthropogen diffuse Belastung verursacht. Nur in den dicht bevölkerten Gebieten am Bodenseerand überwogen die punktuellen anthropogenen Belastungsanteile. Auffällig war der in vielen Gebieten hohe Anteil ungereinigten Abwassers.

Bei den gelösten Phosphoreinträgen (Abb. 14) erfolgte der höchste Eintrag ebenfalls im grössten Gebiet 'Alphrein'. Mit 183 t $P \cdot y^{-1}$ betrug er aber nur noch 15% des Gesamteintrages in den Bodensee und lag nur wenig über den Werten von flächenmässig bedeutend kleineren Gebieten wie Argen oder Schussen. Der niedrigste Eintrag wurde mit 4.9 t $P \cdot y^{-1}$ im Gebiet Radolfzeller Aach erreicht. Hier wurden allerdings sämtlich Abwässer in eine

ausserhalb des Einzugsgebietes liegende Kläranlage geleitet. Da sich die natürliche Hintergrundlast zu einem grossen Anteil aus partikulären Phosphoreinträgen zusammensetzte, waren die Anteile der natürlichen Hintergrundlast bei den gelösten Phosphoreinträgen - mit Ausnahme der alpinen Gebiete - mit meist deutlich unter 10% unbedeutend.

Zwischen den Gesamt-Stickstoffeinträgen (Abb. 15) und den gelösten Stickstoffeinträgen (Abb. 16) ergaben sich ausser in den alpinen Gebieten keine nennenswerten Unterschiede, da die partikulären Einträge weitgehend unbedeutend waren. Die höchsten Stickstoffeinträge wurden im grössten Gebiet 'Alprhein' mit 4576 t $N \cdot y^{-1}$ Gesamt-Stickstoff (= 19% des Gesamteintrages in den Bodensee) bzw. 3486 t $N \cdot y^{-1}$ gelösten Stickstoff (= 16% des Gesamteintrages in den Bodensee), die niedrigsten in den Gebieten 'Randgebiet Schweiz Untersee' mit 199 t $N \cdot y^{-1}$ Gesamt-Stickstoff und Radolfzeller Aach mit 188 t $N \cdot y^{-1}$ gelösten Stickstoff erzielt. In den meisten Gebieten überwog der Anteil der anthropogen diffusen Belastung. Analog zu den Phosphoreinträgen dominierte nur in den Bodenseerandgebieten die punktuelle Belastung. Der Anteil ungereinigter Abwässer war insgesamt deutlich niedriger als bei den Phosphoreinträgen.

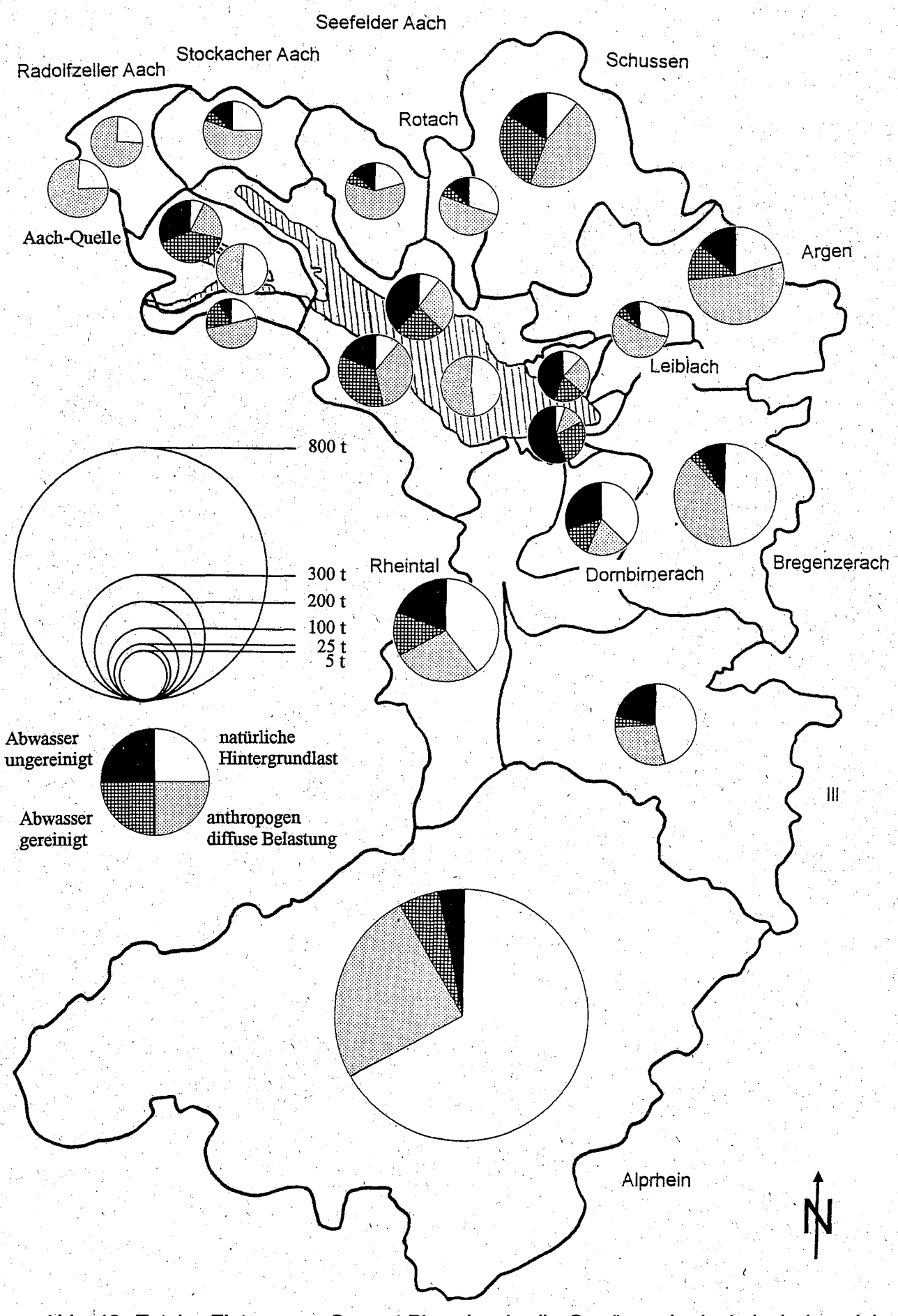


Abb. 13: Totaler Eintrag von Gesamt-Phosphor in die Gewässer im hydrologischen Jahr 1985/86 und Aufteilung nach Herkunft. Genaue Zahlenangaben siehe Anhang.

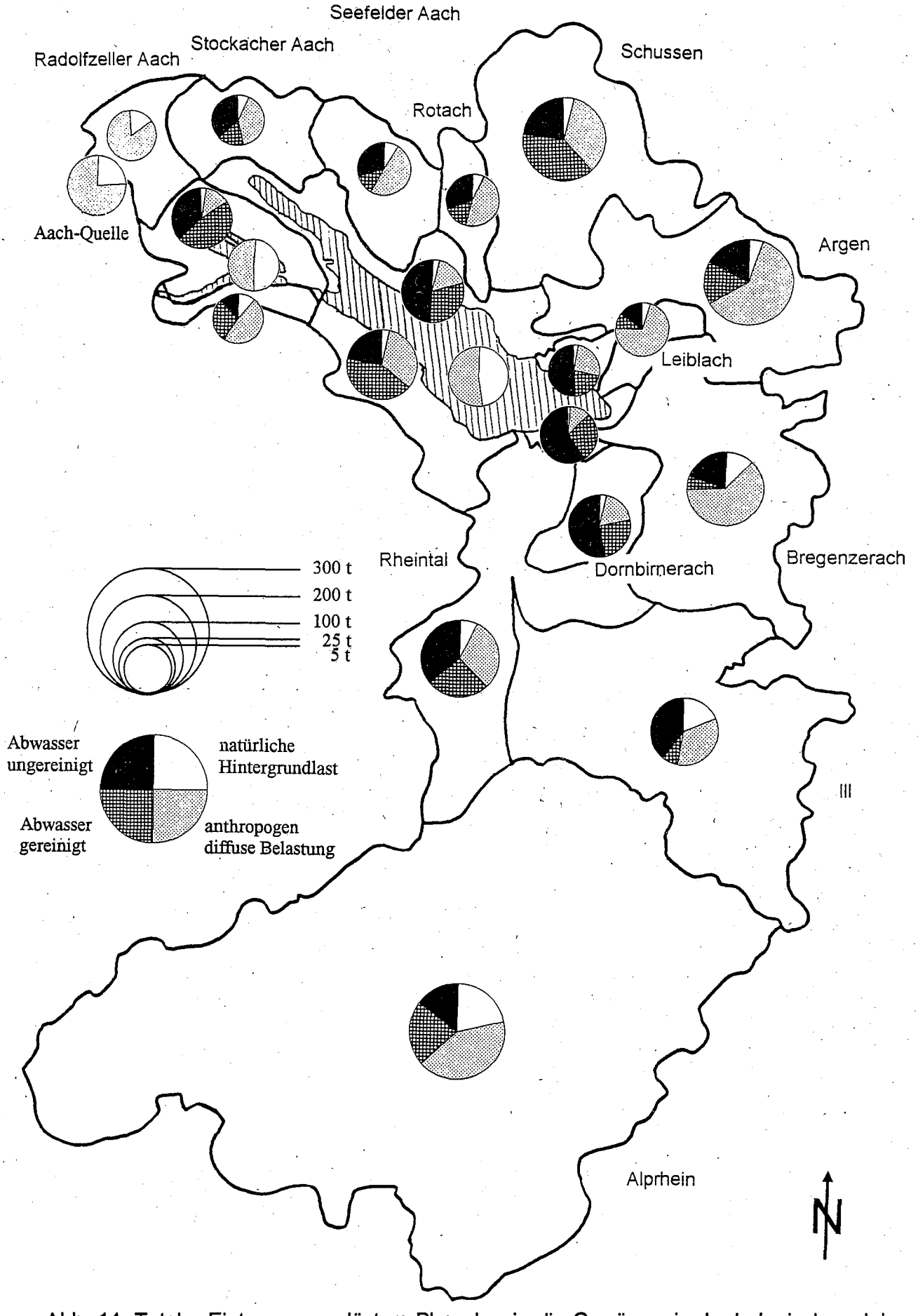


Abb. 14: Totaler Eintrag von gelöstem Phosphor in die Gewässer im hydrologischen Jahr 1985/86 und Aufteilung nach Herkunft. Genaue Zahlenangaben siehe Anhang.

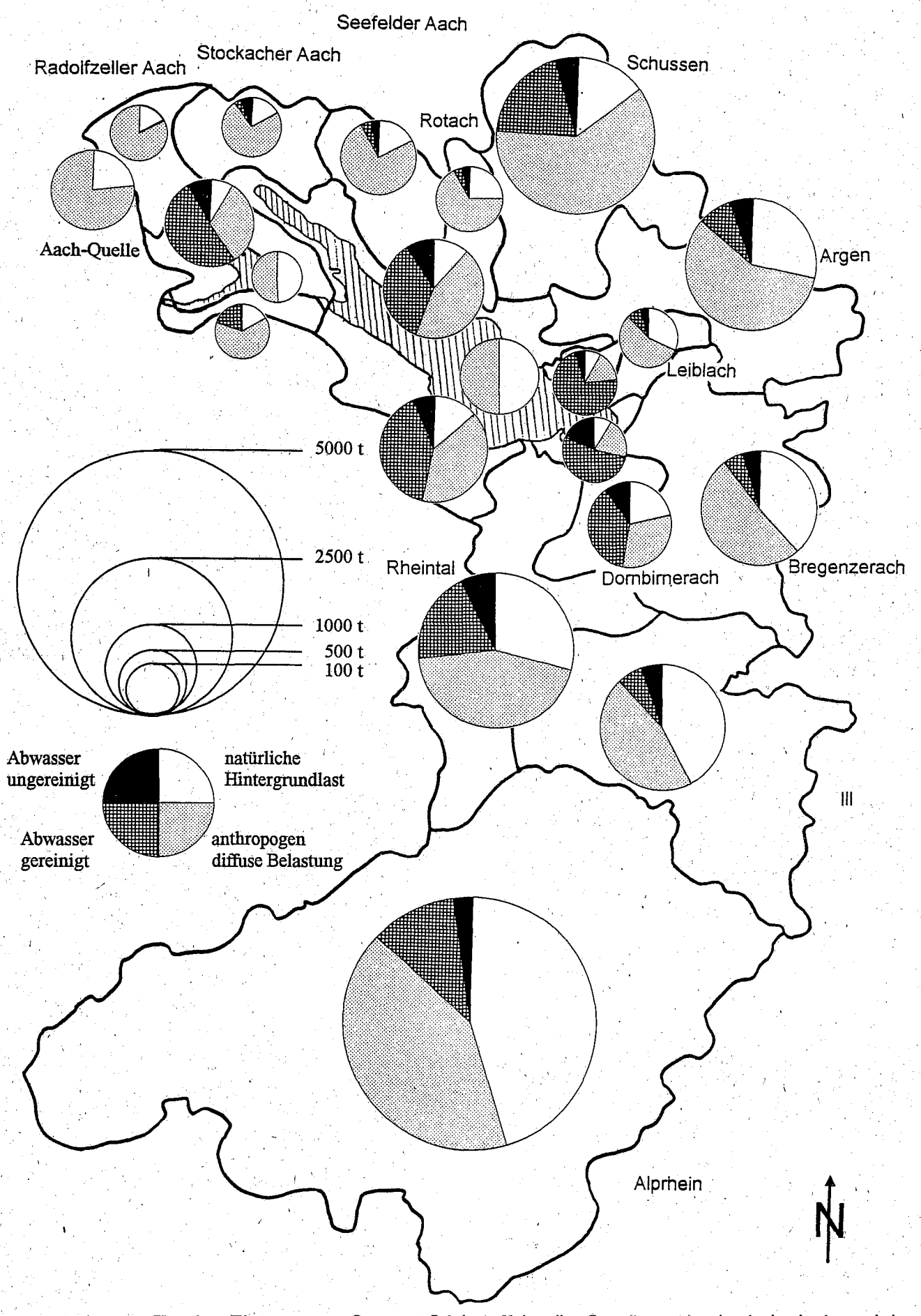


Abb. 15: Totaler Eintrag von Gesamt-Stickstoff in die Gewässer im hydrologischen Jahr 1985/86 und Aufteilung nach Herkunft. Genaue Zahlenangaben siehe Anhang.

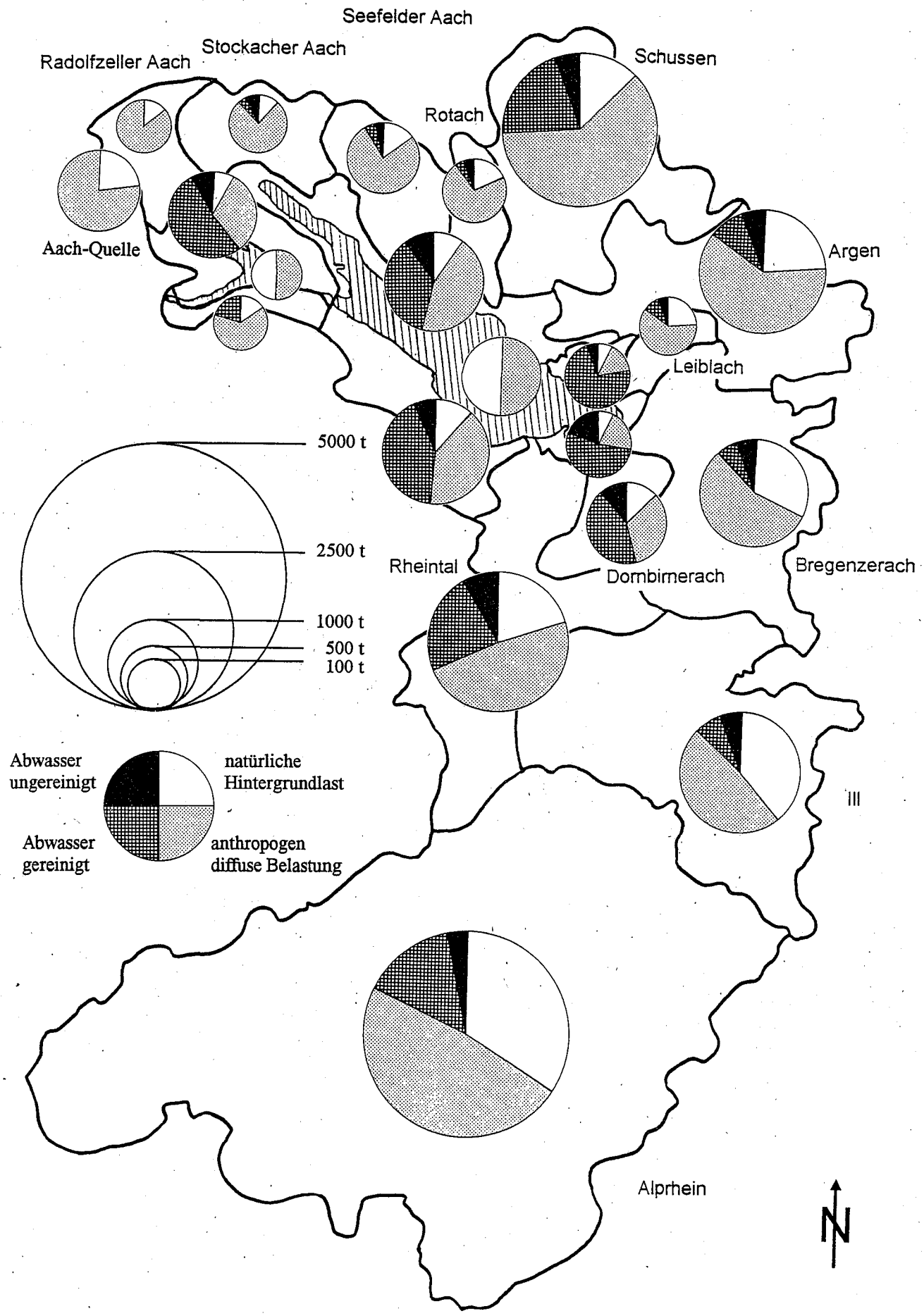


Abb. 16: Totaler Eintrag von gelöstem Stickstoff in die Gewässer im hydrologischen Jahr 1985/86 und Aufteilung nach Herkunft. Genaue Zahlenangaben siehe Anhang.

4. Kontrollen

Die im Stoffffluss-Modell berechneten Abflüsse und Material- und Stoffeinträge aus diffusen Quellen konnten mit den von der IGKB im Rahmen der Zuflussuntersuchungen 1985/86 durchgeführten Messungen (WAGNER 1987b, WAGNER & BÜHRER 1989) sowie denen der Zuflussuntersuchungen früherer Jahre (BÜHRER & WAGNER 1982, WAGNER 1976a und b, 1983, 1987a, WAGNER et al. 1976) verglichen werden.

4.1 Vergleich gemessener und berechneter Abflüsse

Die berechneten Gesamtabflüsse jedes Einzugsgebietes wurden mit den am Einzugsgebietsausgang gemessenen oberirdischen Abflüssen überprüft. Dazu standen einerseits die Messwerte der Periode 1985/86 (WAGNER & BÜHRER 1989), andererseits langjährige Mittelwerte aus hydrologischen Jahrbüchern zur Verfügung. Eine ausführliche Diskussion der in Tab. 29 dargestellten Gegenüberstellung der Werte und mögliche Erklärungen für die Abweichungen erfolgen für jedes Einzugsgebiet im Anhang. Die gemessenen Abflüsse beinhalten auch mögliche unter- oder oberirdische Zu- oder Abflüsse aus anderen Einzugsgebieten, die berechneten dagegen nicht. Dadurch sind die grossen Differenzen in einigen Gebieten zu erklären (z.B. Ill, Alprhein). In den anderen Gebieten konnte in den meisten Fällen eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Werten gefunden werden. In den Bodenseerandgebieten Deutschlands und Österreichs wurden die Abflüsse von WAGNER & BÜHRER (1989) nicht gemessen, sondern nur geschätzt. Dabei wurde der hohe Niederschlagsüberschuss der Periode 1985/86 nicht berücksichtigt, so dass die Schätzwerte vermutlich zu niedrig liegen. Insgesamt - unter Berücksichtigung externer Zu- oder Abflüsse - wurde für das Bodensee-Einzugsgebiet eine um 133 Mio. m^3 zu hohe Abflussmenge errechnet, was etwa 1.2% entspricht. Davon entfällt fast die Hälfte auf die Bodenseerandgebiete.

Auch der Vergleich der gemessenen, langjährigen Mittelwerte mit den berechneten Mittelwerten führt i.d.R. zu guten Übereinstimmungen. Insgesamt lag die Abflussmenge 1985/86 nach den Modellberechnungen um 343 Mio. m^3 bzw. rund 3% unter dem langjährigen Mittel.

Abflüsse					
				langjähriges	langjähriges
Einzugsgebiete	1985/86	1985/86		Mittel	Mittel
	IGKB[1]	Modell	Differenz	Literatur[6]	Modell
	(Mio m³)	(Mio m³)	(Mio m³)	(Mio m³)	(Mio m³)
Stockacher Aach	55	68	+14	58	54
Seefelder Aach	119	117	-1	100	100
Rotach	74	75	+1	57	56
Schussen	398	405	+7	340	338
Argen	623	625	+1	611	639
Leiblach	100	101	+1	105	99
Bregenzerach	1 317	1 324	+7	1 473	1 416
Dornbirnerach	212	217	+5	229	248
Rheintal[2]	658	629	-30		646
Ill	1 915	1 717	-198	2088	1 839
Alprhein[3]	5 003	4 942	-62	5 235	5 154
Randgebiet BW	110	112	+3		94
Randgebiet BY	17	38	+20		37
Randgebiet A	37	70	+33		81
Randgebiet CH[4]	190	197	+7		152
Summe Obersee	**10 827**	**10 637**	**-190**		**10 953**
Radolfzeller Aach[5]	34	44	+10		38
Randgebiet BW	65	81	+16		68
Randgebiet CH	38	30	-8		22
Summe Untersee	**138**	**155**	**+18**		**127**
Gesamt-Bodensee	**10 965**	**10 792**	**-173**		**11 081**
Externe Zuflüsse/Abflüsse					
Zufluss Aach-Quelle	+206	+206	0	+261	+261
Überleitung Ill		+243	+243		+243
Überleitungen Alprhein		+75	+75		+75
Abfluss Stockacher Aach-Donau		-3	-3		-3
Abfluss Radolfz.-ARA Bibertal		-10	-10		-10
Gesamt-Bodensee	**11 171**	**11 304**	**+133**		**11 647**

1) = n. WAGNER & BÜHRER (1989), Tab. 1 u. 2

2) = Rheintal Modell = Alter Rhein + Lustenauer Kanal + Teil von Rest SG + Teil von Alpenrhein der IGKB

3) = Alprhein Modell = Alpenrhein - Ill - Teil von Rheintal der IGKB

4) = Randgebiet Obersee CH Modell = Goldach + Steinach + Teil von Rest SG + Zuflüsse TG + Rest TG der IGKB

5) = Radolfzeller Aach ohne Aach-Quelle

6) = Hydrologische Jahrbücher Schweiz, Österreich, Deutschland

Tab. 29: Vergleich der gemessenen und berechneten Abflüsse im hydrologischen Jahr 1985/86 sowie im langjährigen Mittel.

4.2 Vergleich gemessener und berechneter Materialeinträge

Die im Modell berechneten Materialeinträge durch Bodenerosion von Ackerflächen und 'natürliche Erosion' in die Gewässer der einzelnen Einzugsgebiete wurden mit den an den Einzugsgebietsausgängen gemessenen Schwebstofffrachten verglichen (Tab. 30). Im allgemeinen konnte eine gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen und berechneten Werten erzielt werden. Dies verwundert nicht, da bei der Abschätzung der 'natürlichen Erosion' die gemessenen Schwebstofffrachten mangels anderer Kriterien als Orientierungshilfen herangezogen wurden. Mit welchen Schwankungen innerhalb verschiedener Jahre und mit welchen Unsicherheiten bei der Berechnung der gemessenen Schwebstofffrachten (Exponential-Funktionen oder Polynome) allerdings zu rechnen ist, wird aus Tab. 30 deutlich. Auf Besonderheiten einzelner Gebiete wird im Anhang eingegangen.

4.3 Vergleich gemessener und berechneter Phosphor- und Stickstoffeinträge

Die im Rahmen der Zuflussuntersuchungen 1985/86 am jeweiligen Einzugsgebietsausgang ermittelten Stofffrachten von WAGNER & BÜHRER (1989) stellen den Ausgangswert für den Vergleich dar. Dabei muss berücksichtigt werden, dass bereits diese Daten mit gewissen Fehlern bzw. Ungenauigkeiten behaftet sind (Probenahme, Analytik, Berechnung der Jahresfrachten). Die von WAGNER & BÜHRER (1989) angegebenen Einträge aus diffusen Quellen wurden aus der Differenz zwischen den bei den Zuflussuntersuchungen gemessenen Gesamtstofffrachten und den (gemessenen und/oder abgeschätzten) Stoffeinträgen aus punktuellen Quellen gebildet. Dabei wurden die diffusen Anteile gelösten Phosphors und partikulären Stickstoffs mit Hilfe vereinfachter Postulate zu Flächenausträgen berechnet, während sich die fehlenden Anteile für partikulären Phosphor und gelösten Stickstoff aus der verbleibenden Differenz ergaben. Damit wurden sämtliche Fehler, die bei der Berechnung bzw. Abschätzung der anderen Anteile möglich sind, auf den partikulären Phosphor und den gelösten Stickstoff aus diffusen Quellen abgewälzt. Dies ist bei der Gegenüberstellung der mit Hilfe des Stoffffluss-Modells berechneten Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen für das hydrologische Jahr 1985/86 mit den von WAGNER & BÜHRER (1989) ermittelten Einträgen aus diffusen Quellen zu beachten (Tab. 31 u. 32). Weiterhin schlagen sich die Differenzen zwischen gemessenen und berechneten Abflüssen (Kap. 4.1) und Materialeinträgen (Kap. 4.2) auch bei den Stoffeinträgen nieder.

Schwebstoffe	67/68 u. 71/72[1]	78/79[2]	78/79[2]	(77-85)[3]	85/86[4]	85/86[4]	85/86	langjähriges Mittel
	e-Fkt.	e-Fkt.	Polynom	e-Fkt.	e-Fkt.	Polynom	Modell	Modell
	(1000 t)	(1000 t)	(1000 t)	(1000 t)	(1000 t)	(1000 t)	(1000 t)	(1000 t)
Stockacher Aach	13	33	3	18	37	33	36	15
Seefelder Aach	18	15	8	30	19	30	26	20
Rotach	29	16	8	10	39	130	37	11
Schussen	38	39	23	44	52	728	56	40
Argen	97	107	83	100	76	93	96	96
Leiblach	36	28	11		26	17	26	15
Bregenzerach	390	276	243		270	279	275	283
Dornbirnerach	37	62	50		112	208	105	48
Rheintal[5]	32	32	42		89	176	237	119
Ill					138	138	139	151
Alprhein[6]	3962[8]	1949[8]	719[8]		1655	1644	1532	1531
Randgebiet BW					7		19	11
Randgebiet BY					1		4	3
Randgebiet A					1		4	3
Randgebiet CH[7]					23	1107	25	12
Summe Obersee					2545	4444	2615	2358
Radolfzeller Aach		11	4	6	3	2	9	5
Randgebiet BW					4		8	5
Randgebiet CH					1		3	2
Summe Untersee					8	2	20	13
Gesamt Bodensee	4653/1056	2600			2552	4446	2635	2371

1) = n. WAGNER (1976a), über Exponential-Funktionen berechnet
2) = n. BÜHRER & WAGNER (1982), über Exponential-Funktionen und Polynome berechnet
3) = n. WAGNER (1987a), Mittelwerte 2- 9-jähriger Messwerte
4) = n. WAGNER & BÜHRER (1989)
5) = Rheintal Modell = Alter Rhein + Lustenauer Kanal + Teil von Rest SG + Teil von Alpenrhein der IGKB
6) = Alprhein Modell = Alpenrhein - Ill - Teil von Rheintal der IGKB
7) = Randgebiet Obersee CH Modell = Goldach + Steinach + Teil von Rest SG + Zuflüsse TG + Rest TG der IGKB
8) = Alprhein inkl. Ill

Tab. 30: Vergleich gemessener und berechneter Schwebstofffrachten im hydrologischen Jahr 1985/86 und im langjährigen Mittel.

Insgesamt ergibt der Vergleich der von WAGNER & BÜHRER (1989) ermittelten mit den im Stoffffluss-Modell berechneten diffusen Gesamt-Phosphor- und Gesamt-Stickstoffeinträgen eine gute Übereinstimmung (Tab. 31 u. 32). Grössere Abweichungen in einzelnen Gebieten sind i.d.R. auf gebietsspezifische Besonderheiten zurückzuführen (siehe Anhang). Bei den partikulären und gelösten Anteilen der diffusen Gesamtfracht sind die Abweichungen im allgemeinen bedeutend höher. Dies hängt in erster Linie mit dem oben geschilderten Ansatz von WAGNER & BÜHRER (1989) zusammen.

Gegenüber den im Stoffffluss-Modell berechneten diffusen partikulären Stofffrachten von 1 138 t $P \cdot y^{-1}$ und 2 518 t $N \cdot y^{-1}$ (und auch gegenüber den von WAGNER & BÜHRER (1989) ermittelten diffusen partikulären Stofffrachten) für den Bodensee-Obersee wurden an den Pegelstationen der Zuflüsse des Obersees mit 1 677 t $P \cdot y^{-1}$ und 3 037 t $N \cdot y^{-1}$ höhere partikulären Stofffrachten gemessen. Die um 539 t $P \cdot y^{-1}$ und 516 t $N \cdot y^{-1}$ höheren Messwerte sind folgendermassen erklärbar:

- Adsorption von gelöstem Phosphor an Schwebstoffe während des Transportes im Fliessgewässer bis zur Pegelmessstelle.
- Inkorporation von gelöstem Phosphor und Stickstoff während des Transportes im Fliessgewässer in Biomasse (Algen, Plankton, Wasserpflanzen und -tiere), welche als partikuläre Fracht an der Pegelmessstelle erfasst wurde.
- Nicht die gesamte gemessene, partikuläre Fracht stammt aus diffusen Quellen. Auch aus ungereinigtem Abwasser und Regenüberläufen sind partikuläre (überwiegend organische) Frachten zu erwarten.

Phosphoreinträge									
Einzugsgebiet	Modell 85/86 P-Gesamt (t)	P-part. (t)	P-gelöst (t)	IGKB[1] P-Gesamt (t)	P-part. (t)	P-gelöst (t)	Quotient P-Gesamt	P-part.	P-gelöst
Stockacher Aach	33.5	26.3	7.2	27.4	16.7	10.7	1.22	1.57	0.68
Seefelder Aach	31.9	20.9	11.0	27.5	14.0	13.5	1.16	1.50	0.81
Rotach	31.5	22.7	8.8	40.2	33.9	6.3	0.78	0.67	1.40
Schussen	103.9	51.9	52.0	99.1	59.5	39.6	1.05	0.87	1.31
Argen	141.1	41.6	99.5	140.7	108.1	32.6	1.00	0.38	3.05
Leiblach	26.4	10.6	15.8	26.9	21.8	5.1	0.98	0.49	3.09
Bregenzerach	186.4	111.4	75.0	194.4	153.1	41.3	0.96	0.73	1.82
Dornbirnerach	54.6	43.1	11.6	106.5	96.7	9.8	0.51	0.45	1.18
Rheintal[2]	144.8	100.9	43.8	82.8	57.0	25.8	1.75	1.77	1.70
Ill	93.8	56.7	37.1	131.0	100.0	31.0	0.72	0.57	1.20
Alprhein[3]	731.5	616.6	114.9	778.1	508.1	270.0	0.94	1.21	0.43
Randgebiet BW	26.8	15.6	11.1	27.8	10.4	17.4	0.96	1.50	0.64
Randgebiet BY	4.9	1.7	3.2	3.6	1.3	2.3	1.37	1.34	1.38
Randgebiet A	6.3	1.9	4.4	3.2	1.2	2.0	1.96	1.60	2.18
Randgebiet CH[4]	46.2	16.2	30.0	29.4	16.0	13.4	1.57	1.01	2.24
Summe Obersee	**1663.4**	**1138.1**	**525.3**	**1718.6**	**1197.8**	**520.8**	**0.97**	**0.95**	**1.01**
Radolfzeller Aach[5]	12.2	7.3	4.9	4.5	2.0	2.5	2.71	3.66	1.96
Randgebiet BW	15.3	8.0	7.3	15.2	5.7	9.5	1.01	1.41	0.77
Randgebiet CH	5.2	2.2	2.9	3.6	1.3	2.3	1.43	1.72	1.27
Summe Untersee	**32.6**	**17.6**	**15.1**	**23.3**	**9.0**	**14.3**	**1.40**	**1.95**	**1.05**
Gesamt-Bodensee	**1696.0**	**1155.7**	**540.4**	**1741.9**	**1206.8**	**535.1**	**0.97**	**0.96**	**1.01**

1) = n. WAGNER & BÜHRER (1989), Tab. 1 u. 2
2) = Rheintal Modell = Alter Rhein + Lustenauer Kanal + Teil von Rest SG + Teil von Alpenrhein der IGKB
3) = Alprhein Modell = Alpenrhein - Ill - Teil von Rheintal der IGKB
4) = Randgebiet Obersee CH Modell = Goldach + Steinach + Teil von Rest SG + Zuflüsse TG + Rest TG der IGKB
5) = Radolfzeller Aach ohne Aach-Quelle

Tab. 31: Vergleich der berechneten und aus gemessenen Stofffrachten abgeschätzten Phosphoreinträge aus diffusen Quellen im hydrologischen Jahr 1985/86.

Stickstoffeinträge									
Einzugsgebiet	Modell 85/86 N-Gesamt (t)	N-part (t)	N-gelöst (t)	IGKB[1] N-Gesamt (t)	N-part (t)	N-gelöst (t)	Quotient N-Gesamt	N-part	N-gelöst
Stockacher Aach	300	56	244	237	43	194	1.26	1.29	1.26
Seefelder Aach	582	57	525	573	54	519	1.02	1.05	1.01
Rotach	434	67	367	437	25	412	0.99	2.68	0.89
Schussen	1895	129	1766	1844	158	1686	1.03	0.82	1.05
Argen	1641	154	1488	1722	130	1592	0.92	1.18	0.93
Leiblach	274	40	234	248	20	228	1.10	1.99	1.03
Bregenzerach	1402	201	1202	1342	165	1177	1.04	1.22	1.02
Dornbirnerach	461	108	353	535	39	496	0.86	2.77	0.71
Rheintal[2]	1765	370	1395	1502	163	1339	1.18	2.27	1.04
Ill	1390	147	1243	1626	160	1466	0.86	0.92	0.85
Alprhein[3]	3900	1090	2811	3536	984	2552	1.10	1.11	1.10
Randgebiet BW	674	42	632	763	69	694	0.88	0.60	0.91
Randgebiet BY	102	6	95	99	9	90	1.03	0.69	1.06
Randgebiet A	129	7	123	87	8	79	1.49	0.83	1.55
Randgebiet CH[4]	732	47	685	853	54	799	0.86	0.86	0.86
Summe Obersee	**15681**	**2518**	**13164**	**15404**	**2081**	**13323**	**1.02**	**1.21**	**0.99**
Radolfzeller Aach[5]	210	22	188	205	3	202	1.03	7.47	0.93
Randgebiet BW	379	21	358	418	38	380	0.91	0.54	0.94
Randgebiet CH	160	6	153	160	2	158	1.00	3.20	0.97
Summe Untersee	**749**	**50**	**699**	**783**	**43**	**740**	**0.96**	**1.15**	**0.94**
Gesamt Bodensee	**16430**	**2567**	**13863**	**16187**	**2124**	**14063**	**1.01**	**1.21**	**0.99**

1) = n. WAGNER & BÜHRER (1989), Tab. 1 u. 2

2) = Rheintal Modell = Alter Rhein + Lustenauer Kanal + Teil von Rest SG + Teil von Alpenrhein der IGKB

3) = Alprhein Modell = Alpenrhein - Ill - Teil von Rheintal der IGKB

4) = Randgebiet Obersee CH Modell = Goldach + Steinach + Teil von Rest SG + Zuflüsse TG + Rest TG der IGKB

5) = Radolfzeller Aach ohne Aach-Quelle

Tab. 32: Vergleich der berechneten und aus gemessenen Stofffrachten abgeschätzten Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen im hydrologischen Jahr 1985/86.

4.4 Vergleich der berechneten Stoffeinträge im hydrologischen Jahr 1985/86 mit den berechneten, langjährigen Stoffeinträgen

Die Berechnung der Stoffeinträge für das hydrologische Jahr 1985/86 erfolgte auf der Grundlage von Modellberechnungen, die - bezüglich der klimatischen Verhältnisse - für das langjährige Mittel durchgeführt wurden (vgl. Kap. 2.3, 2.4 u. 2.5). In Tab. 33 wurden die Ergebnisse beider Modellberechnungen für die verschiedenen Einzugsgebiete gegenübergestellt.

Bei den Phosphoreinträgen ergaben sich im hydrologischen Jahr 1985/86 für alle Einzugsgebiete bis auf das Gebiet 'Ill' höhere diffuse Stoffeinträge als im langjährigen Mittel. In einzelnen Gebieten (Rotach, Stockacher Aach) lagen die Phosphoreinträge 1985/86 um mehr als das Doppelte über den langjährig zu erwartenden Stoffeinträgen. Starkregenereignisse mit hoher Bodenerosion, 'natürlicher Erosion' und Gülleabschwemmung trugen überwiegend zu den massiv erhöhten Einträgen bei. Für das gesamte Bodensee-Einzugsgebiet ergaben sich für das hydrologische Jahr 1985/86 um 16% höhere Phosphoreinträge (= 233 t $P \cdot y^{-1}$) als im langjährigen Mittel. Nach JAKOB et al. (1994) stellte die 1986 gemessene Gesamt-Phosphorfracht im Einzugsgebiet der Thur, welches sich südlich an die 'Bodenseerandgebiete Schweiz' anschliesst, die deutlich höchste Jahresfracht der Periode 1982 bis 1991 dar.

Bei den Stickstoffeinträgen wurden im hydrologischen Jahr 1985/86 in Abhängigkeit von den Abflüssen (vgl. Tab. 29 u. Kap. 2.3.4, Tab. 6) teils höhere, teils niedrigere Einträge als im langjährigen Mittel erreicht. Da die Stickstoffeinträge überwiegend aus der Auswaschung resultierten, spielten die Starkregenereignisse des hydrologischen Jahres 1985/86 eine untergeordnete Rolle. Für das gesamte Bodensee-Einzugsgebiet ergaben sich für das hydrologische Jahr 1985/86 um 5% höhere Stickstoffeinträge (= 822 t $N \cdot y^{-1}$) als im langjährigen Mittel.

	Phosphoreinträge			Stickstoffeinträge		
	Modell 1985/86	Modell Mittelwerte	Quotient	Modell 1985/86	Modell Mittelwerte	Quotient
Einzugsgebiet	(t)	(t)	(%)	(t)	(t)	(%)
Stockacher Aach	33.5	16.4	2.04	300	229	1.31
Seefelder Aach	31.9	22.2	1.44	582	491	1.19
Rotach	31.5	13.9	2.27	434	307	1.42
Schussen	103.9	72.1	1.44	1895	1581	1.20
Argen	141.1	125.3	1.13	1641	1667	0.98
Leiblach	26.4	19.4	1.36	274	253	1.08
Bregenzerach	186.4	177.9	1.05	1402	1489	0.94
Dornbirnerach	54.6	30.4	1.79	461	479	0.96
Rheintal	144.8	88.3	1.64	1765	1626	1.09
Ill	93.8	98.5	0.95	1390	1492	0.93
Alprhein	731.5	721.3	1.01	3900	4024	0.97
Randgebiet BW	26.8	17.4	1.53	674	557	1.21
Randgebiet BY	4.9	4.1	1.20	102	99	1.02
Randgebiet A	6.3	5.8	1.08	129	146	0.89
Randgebiet CH	46.2	27.6	1.67	732	559	1.31
Summe Obersee	**1663.4**	**1440.8**	**1.15**	**15681**	**14997**	**1.05**
Radolfzeller Aach	12.2	8.4	1.45	210	178	1.18
Randgebiet BW	15.3	10.5	1.46	379	315	1.20
Randgebiet CH	5.2	3.5	1.46	160	117	1.36
Summe Untersee	**32.6**	**22.4**	**1.46**	**749**	**610**	**1.23**
Gesamt-Bodensee	**1696.0**	**1463.2**	**1.16**	**16430**	**15608**	**1.05**

Tab. 33: Vergleich der berechneten Stoffeinträge im hydrologischen Jahr 1985/86 mit den berechneten langjährigen Stoffeinträgen.

4.5 Vergleich mit Literaturdaten anderer Einzugsgebiete

Phosphoreinträge:

Die berechneten Phosphoreinträge aus diffusen Quellen für das hydrologische Jahr 1985/86 schwankten mit Werten zwischen 599 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ (Radolfzeller Aach) und 2 762 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ (Dornbirnerach) stark und liegen im Bereich der in PRASUHN & BRAUN (1994, Tab. 52) angegebenen Literaturdaten anderer Gebiete. Mit über 2 000 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ wurden in den durch ihren hohen Viehbesatz gekennzeichneten Schweizer Gebieten 'Baldeggersee' und 'Sempachersee' ähnlich hohe Phosphoreinträge aus diffusen Quellen erzielt wie in einigen Gebieten am Bodensee. Für den Kanton Bern berechneten PRASUHN & BRAUN (1994) dagegen mit durchschnittlich 979 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ einen deutlich niedrigeren Phosphoreintrag als im Bodenseegebiet mit durchschnittlich 1 551 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$. WERNER & WODSAK (1994) geben für Deutschland (Bezugsjahr 1987/89) mit durchschnittlich 1 000 g $P \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ ebenfalls einen niedrigeren Wert an. Die relativ hohen diffusen Phosphoreinträge im Bodenseegebiet resultierten aus einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung (hohe Gülleabschwemmung aufgrund hohem Viehbesatz), aus der hohen 'natürlichen' Erosion der grossen alpinen Gebiete und aus den besonderen klimatischen Verhältnissen im hydrologischen Jahr 1985/86 im Bodensee-Einzugsgebiet.

Stickstoffeinträge:

Die für 1985/86 berechneten Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen schwankten zwischen 8.8 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ (Alprhein) und 26.2 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ (Leiblach) und liegen im Bereich der in PRASUHN & BRAUN (1994, Tab. 53) angegebenen Literaturdaten anderer Gebiete. Für den Kanton Bern berechneten PRASUHN & BRAUN (1994) mit durchschnittlich 14.7 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ ähnliche Stickstoffeinträge wie im Bodenseegebiet mit durchschnittlich 15.0 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$. WERNER & WODSAK (1994) geben für Deutschland (Bezugsjahr 1987/89) mit durchschnittlich 15.9 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ leicht höhere Werte an, der aus dem im Verhältnis zum Bodensee und Kanton Bern geringeren Flächenanteil alpiner Gebiete resultiert. Sowohl der hohe Viehbesatz als auch die besonderen klimatischen Verhältnisse im hydrologischen Jahr 1985/86 im Bodensee-Einzugsgebiet schlugen sich bei den Stickstoffeinträgen aus diffusen Quellen kaum nieder.

5. Schlussbetrachtung für das gesamte Bodensee-Einzugsgebiet

Phosphoreinträge:

Im hydrologischen Jahr 1985/86 wurden dem Bodensee insgesamt 2 367 t $P \cdot y^{-1}$ Gesamt-Phosphor über die Zuflüsse, aus dem ufernahen Areal und aus den Niederschlägen auf den See zugeführt (Abb. 17).

- 577 t $P \cdot y^{-1}$ bzw. 24% stammten aus punktuellen Quellen,
- 1 791 t $P \cdot y^{-1}$ bzw. 76% aus diffusen Quellen.

Damit stellten die diffusen Phosphoreinträge im Bodensee-Einzugsgebiet - wie in vielen anderen Gebieten auch (vgl. PRASUHN & BRAUN 1994, Tab. 54) - die dominante Eintragsquelle dar.

- 1 154 t $P \cdot y^{-1}$ bzw. 49% waren partikulär gebundener Phosphor,
- 1 213 t $P \cdot y^{-1}$ bzw. 51% gelöster bzw. bioverfügbarer Phosphor.

Diese Phosphorkomponenten veränderten sich während des Transportes in den Flüssen durch Adsorption, Fällung, Bindung in organische Substanz und Mineralisation, so dass beim Eintritt in den Bodensee eine andere Zusammensetzung vorlag (vgl. WAGNER & BÜHRER 1989). Beim partikulär gebundenen Phosphor handelte es sich überwiegend um mineralischen Phosphor (z.B. Apatit), der nur stark eingeschränkt bioverfügbar ist bzw. werden kann, während der gelöste Phosphor aus diffusen Quellen und der Phosphor aus den Abwässern vollständig bioverfügbar sind.

- 978 t $P \cdot y^{-1}$ bzw. 41% waren natürliche Hintergrundlast,
- 1 390 t $P \cdot y^{-1}$ bzw. 59% anthropogen bedingt.

Der hohe Anteil natürlicher Hintergrundlast resultierte vor allem aus den grossen alpinen Gebieten. Hier führte 'natürliche' Erosion von vegetationslosen Flächen und unproduktiver Vegetation, die rund 20% der gesamten Bodensee-Einzugsgebietsfläche ausmachen, zu hohen Stoffeinträgen.

Wichtigste Eintragspfade der diffusen Quellen (Abb. 18) waren mit

- 1 031 t $P \cdot y^{-1}$ bzw. 58% die 'natürliche' Erosion,
- 349 t $P \cdot y^{-1}$ bzw. 19% die Abschwemmung von Grasland und
- 114 t $P \cdot y^{-1}$ bzw. 6% die Bodenerosion von Ackerflächen.

Berücksichtigt man, dass die Einträge durch 'natürliche' Erosion überwiegend der natürlichen Hintergrundlast zuzurechnen sind, waren die Abschwemmung von Grasland und die Bodenerosion von Ackerland die dominanten, anthropogen bedingten Eintragspfade.

Stickstoffeinträge:

Im hydrologischen Jahr 1985/86 wurden dem Bodensee insgesamt 23 832 t $N \cdot y^{-1}$ Gesamt-Stickstoff über die Zuflüsse, aus dem ufernahen Areal und aus den Niederschlägen auf den See zugeführt (Abb. 17).

- 5 566 t $N \cdot y^{-1}$ bzw. 23% stammten aus punktuellen Quellen,
- 18 266 t $N \cdot y^{-1}$ bzw. 77% aus diffusen Quellen.

Damit stellten auch beim Stickstoff die diffusen Einträge im Bodensee-Einzugsgebiet - wie in vielen anderen Gebieten auch (vgl. PRASUHN & BRAUN 1994, Tab. 55) - die dominante Eintragsquelle dar.

- 2 567 t $N \cdot y^{-1}$ bzw. 11% waren partikulär gebundener Stickstoff,
- 21 265 t $N \cdot y^{-1}$ bzw. 89% gelöster bzw. bioverfügbarer Stickstoff.

Diese Stickstoffkomponenten veränderten sich während des Transportes in den Flüssen durch Einbau in die organische Substanz und Mineralisation, so dass beim Eintritt in den Bodensee eine andere Zusammensetzung vorlag (vgl. WAGNER & BÜHRER 1989). Beim partikulären Stickstoff handelte es sich überwiegend um organischen Stickstoff, der nur eingeschränkt bioverfügbar ist bzw. werden kann, während der gelöste Stickstoff aus diffusen Quellen und der Stickstoff aus den Abwässern vollständig bioverfügbar sind.

- 6 682 t $N \cdot y^{-1}$ bzw. 28% waren natürliche Hintergrundlast,
- 17 152 t $N \cdot y^{-1}$ bzw. 72% anthropogen bedingt.

Der Anteil natürlicher Hintergrundlast resultierte vor allem aus den grossen alpinen Gebieten. Hier führten 'natürliche' Erosion und Abschwemmung von vegetationslosen Flächen und unproduktiver Vegetation, die rund 20% der gesamten Bodensee-Einzugsgebietsfläche ausmachen, zu hohen Stoffeinträgen.

Wichtigste Eintragspfade der diffusen Quellen (Abb. 18) waren mit

- 5 661 t $N \cdot y^{-1}$ bzw. 31% die Auswaschung unter Grasland,
- 3 454 t $N \cdot y^{-1}$ bzw. 19% die Auswaschung unter Ackerland,
- 2 285 t $N \cdot y^{-1}$ bzw. 13% die 'natürliche' Erosion und
- 2 176 t $N \cdot y^{-1}$ bzw. 12% die Auswaschung unter Wald.

Berücksichtigt man, dass die Einträge durch 'natürliche' Erosion und die Auswaschung unter Wald überwiegend der natürlichen Hintergrundlast zuzurechnen sind, waren die Auswaschung von Grasland und Ackerland die dominanten, anthropogen bedingten Eintragspfade.

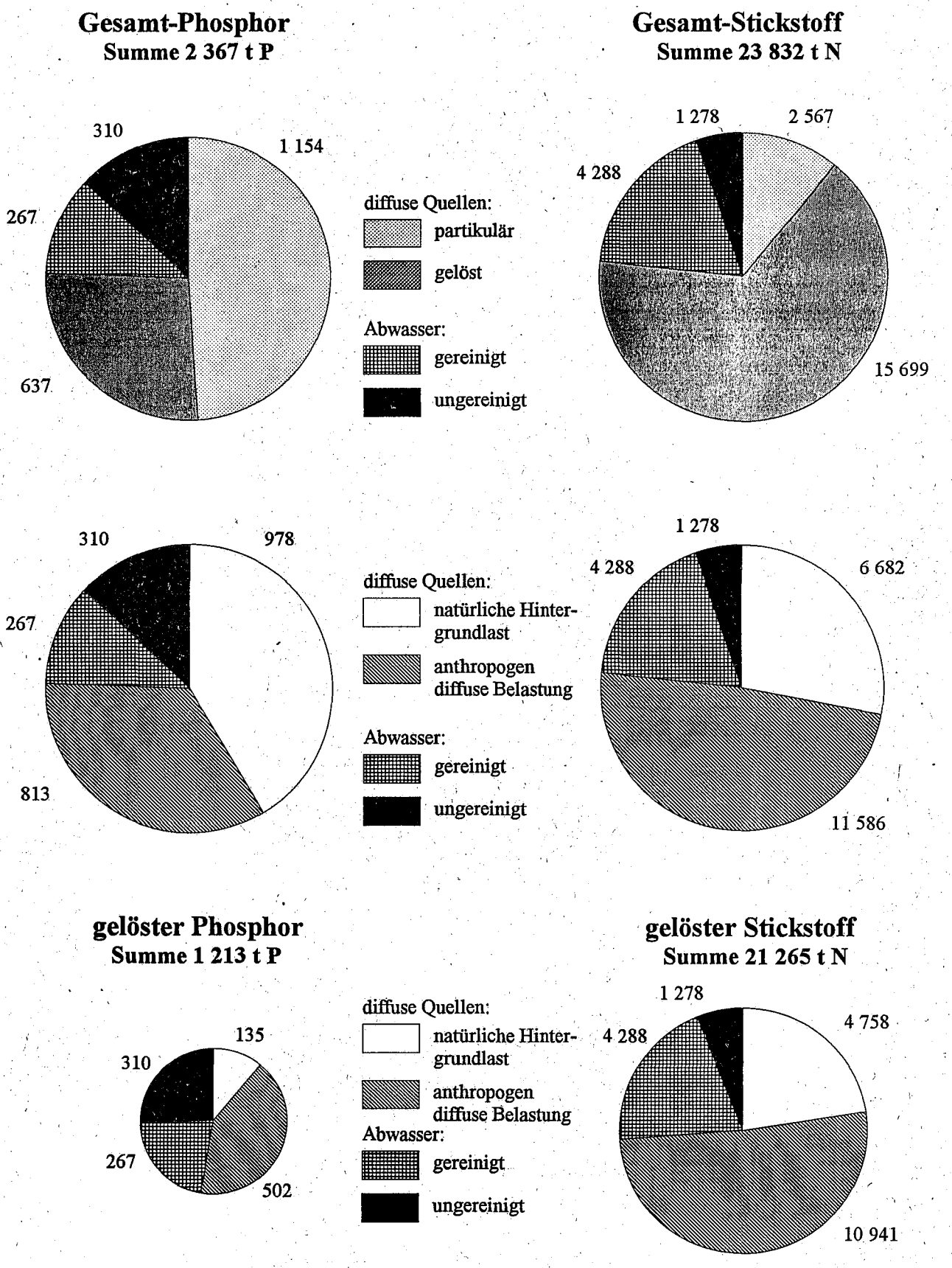
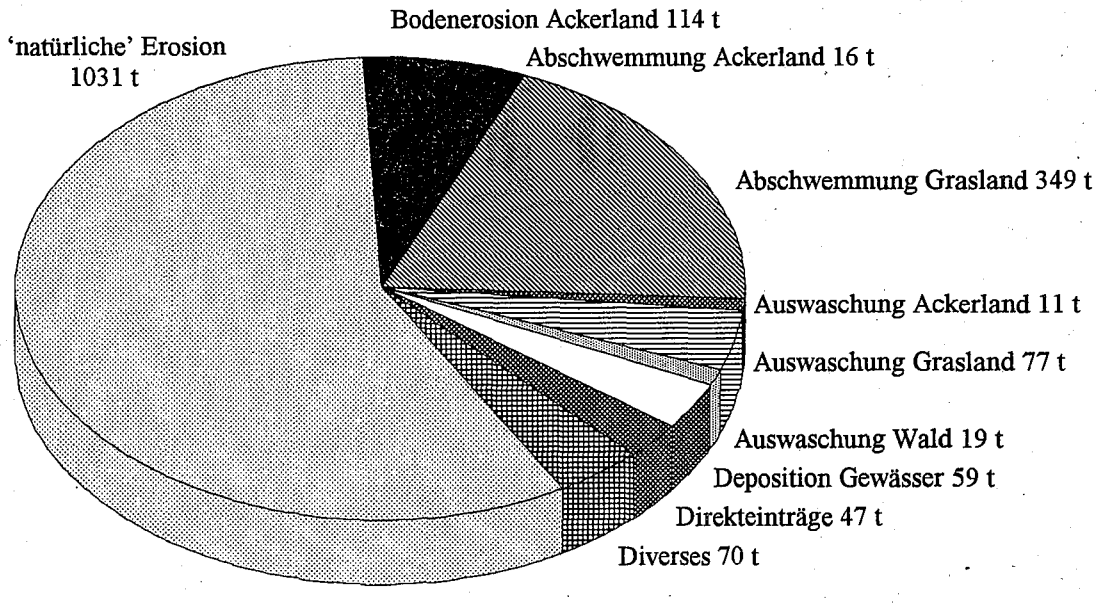


Abb. 17: Aufschlüsselung der Phosphor- und Stickstofffrachten zum Bodensee nach ihren Quellen im Einzugsgebiet für das hydrologische Jahr 1985/86.

Diffuse Gesamt-Phosphoreinträge Bodensee 1985/86
1 791 t



Diffuse Gesamt-Stickstoffeinträge Bodensee 1985/86
18 267 t

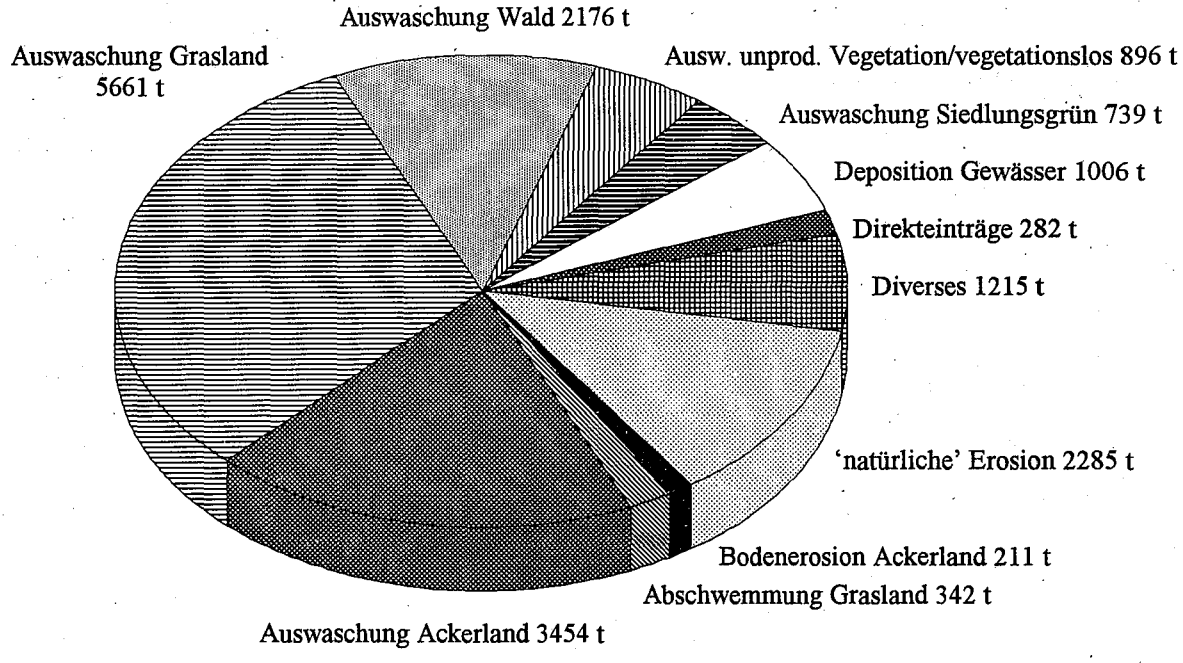
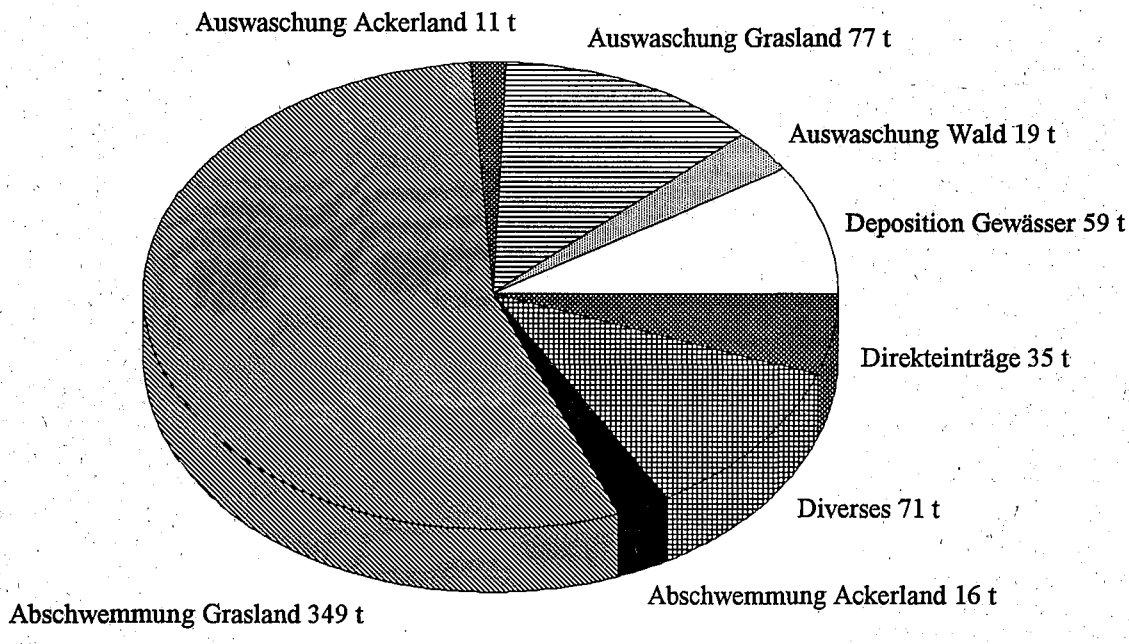


Abb. 18: Aufschlüsselung der Gesamt-Phosphor- und Gesamt-Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den Bodensee nach Haupteintragspfaden.

Diffuse gelöste Phosphoreinträge Bodensee 1985/86
637 t



Diffuse gelöste Stickstoffeinträge Bodensee 1985/86
15 703 t

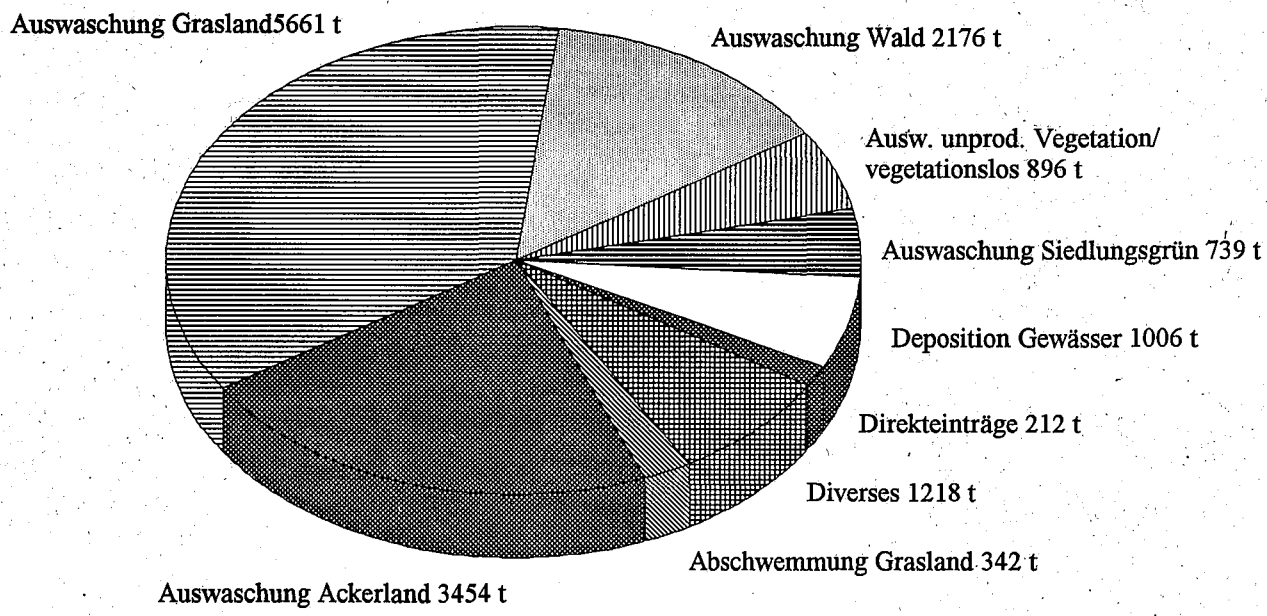


Abb. 19: Aufschlüsselung der gelösten Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den Bodensee nach Haupteintragspfaden.

6. Literaturverzeichnis

AGBA (Arbeitsgemeinschaft Beratender Agronomen) (1988): Untersuchung der Landwirtschaftsbetriebe im Fürstentum Liechtenstein. Erarbeitung von Vorschlägen für deren gewässerschutztechnische Sanierung. - Ebikon, 24 S. + Anhänge.

AMSLER, J. & H. KREBS (1993): Mündl. Mitt., Drainageflächen nach Gemeinden. Einsicht in die Subventionierungsunterlagen für Entwässerungen beim Eidg. Meliorationsamt, Bern.

AMT FÜR GEWÄSSERSCHUTZ DES FÜRSTENTUMS LIECHTENSTEIN (1994): Zusammenstellung von Unterlagen aus diversen statistischen Quellen im Fürstentum Liechtenstein. Vaduz, Manuskript.

AMT FÜR VOLKSWIRTSCHAFT DES FÜRSTENTUMS LIECHTENSTEIN (Hrsg.) 1988: Liechtensteinische Betriebszählung 1985: Landwirtschaft, Gartenbau. - Bericht Nr. 220, Vaduz, 207 S.

AMT FÜR VOLKSWIRTSCHAFT DES FÜRSTENTUMS LIECHTENSTEIN (Hrsg.) 1992: Statistisches Jahrbuch 1992 Fürstentum Liechtenstein. - Vaduz, 367 S.

ARBEITSKREIS „WASSER" im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (Österreich) (1992): Flächenhafte Nitratbelastung des Grundwassers. Teilbereich: Potentieller Einfluss der Landwirtschaft - Versuch einer kartographischen Darstellung. - Sonderbeilage zu „Förderungsdienst" Folge 4, 16 S.

AUERSWALD, K. (1994): Schriftliche Mitteilung. Weihenstephan.

AUERSWALD, K. & F. SCHMIDT (1986): Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern. Karten zum flächenhaften Bodenabtrag durch Regen. - GLA-Fachberichte 1, München, 74 S.

BACH, M. (1990): Ausmass und Bilanz der Nitratbelastung durch die Landwirtschaft. - In: ROSENKRANZ, EINSELE, HARRESS (Hrsg.): Bodenschutz. Loseblatt-Ausgabe. 5. Lieferung V/90, Nr. 4300. 25 S.

BAUMGARTNER, A., REICHEL, E. & G. WEBER (1983): Der Wasserhaushalt der Alpen. Niederschlag, Verdunstung, Abfluss und Gletscherspende im Gesamtgebiet der Alpen im Jahresdurchschnitt für die Normalperiode 1931-1960. - München, Wien, 343 S. + Kartenband.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG (1992): Daten der Flächenerhebung 1984, Bodennutzungshaupterhebung 1987, Viehzählung 1986 und Drainageflächen, geliefert vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft, München, auf Diskette.

BERCHTEL, R. (1990): Alpwirtschaft im Bregenzerwald. - Innsbrucker Geogr. Studien 18.

BFS (Bundesamt für Statistik) (1986): Eidg. Betriebszählung 1985: Kulturland nach Gemeinden. - Statistische Resultate, Reihe 7, Land - u. Forstwirtschaft, Band 5, Bern, 151 S.

BFS (1992a): Die Bodennutzung der Schweiz. Arealstatistik 1979/85. Resultate nach Gemeinden. - Statistik der Schweiz, Reihe 2, Raum, Landschaft u. Umwelt, Bern, 227 S.

BFS (1992b): Die Bodennutzung der Schweiz. Arealstatistik 1979/85. Kategorienkatalog. - Statistik der Schweiz, Reihe 2, Raum, Landschaft u. Umwelt, Bern, 191 S.

BFS (1992c): Aufteilung der Bodennutzung nach Neigungsklassen. Lieferung durch die Servicestelle GEOSTAT des Bundesamtes für Statistik, Bern, Diskette.

BFS (1994): Düngergrossvieheinheiten 1985. Lieferung durch das Bundesamt für Statistik. Bern, Diskette.

BLÜHBERGER, G. (1993): Isoerodentenkarte von Vorarlberg mit der Liste der ÖBAG-Niederschlagsfaktoren Rv und Rw sowie Periodenvergleich und monatliche Mittelwerte der Niederschläge. Wien, 32 S. + Karte 1 : 500 000.

BRAUN, M. & J. LEUENBERGER (1991): Abschwemmung von gelöstem Phosphor auf Akkerland und Grasland während den Wintermonaten. - Landwirtsch. Schweiz 4/10, 555-560.

BRAUN, M., HURNI, P. & N. VON ALBERTINI (1993): Abschwemmung von Phosphor auf Grasland an zwei verschiedenen Standorten im Einzugsgebiet des Sempachersees. - Landwirtsch. Schweiz 6/10, 615-620.

BRAUN, M., FREY, M., HURNI, P. & U. SIEBER (1991): Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus diffusen Quellen in die Gewässer im Rheineinzugsgebiet der Schweiz unterhalb der Seen (Stand 1986). Bericht 1.Teil - FAC-Liebefeld u. BUWAL-Bern, 87 S.

BÜHRER, H. & G. WAGNER (1982): Die Belastung des Bodensees mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen und organisch gebundenem Kohlenstoff im Abflussjahr 1978/79. - Bericht d. internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee Nr. 28, 68 S.

DITTRICH, A. & B. WESTRICH (1988): Bodenseeufererosion: Bestandesaufnahme und Bewertung. - Mitteilungen Inst. f. Wasserbau Univ. Stuttgart 68, Stuttgart 168 S.

DOMMERMUTH, H. & W. TRAMPF (1990): Die Verdunstung in der Bundesrepublik Deutschland, Zeitraum 1951 - 1980. Teil I. - Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 10 S. + 11 Karten.

DOMMERMUTH, H. & W. TRAMPF (1991): Die Verdunstung in der Bundesrepublik Deutschland, Zeitraum 1951 - 1980. Teil II. - Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 8 S. + 11 Karten.

DOMMERMUTH, H. & W. TRAMPF (1992): Die Verdunstung in der Bundesrepublik Deutschland, Zeitraum 1951 - 1980. Teil III. - Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 10 S. + 13 Karten.

DWD (Deutscher Wetterdienst) (1985/86): Monatlicher Witterungsbericht. - 33. u. 34 Jg., Hefte Oktober 1985 bis Oktober 1986. Offenbach.

DWD (1994a): Gebietsniederschlagshöhen in den Basis- und Sammelgebieten für das Flussgebiet vom Rhein bis O. Neckar (BRD-Anteile) für das Hydrologische Jahr 1986. - Unveröff. Daten des DWD. Offenbach.

DWD (1994b): Mittlere Gebietsniederschlagshöhen in den Basis- und Sammelgebieten. Zeitraum 1951-1980. - Unveröff. Daten des DWD. Offenbach.

EJPD (Eidg. Justiz- u. Polizeidep. - Bundesamt für Raumplanung) (Hrsg.) (1980): Bodeneignungskarte der Schweiz Massstab 1 : 200 000. - Grundlagen für die Raumplanung, Bern, 145 S. + Kartenband.

FLISCH, R. (1987): Ergebnisse der Bodenuntersuchungen 1972 bis 1986. - Mitt. Schweiz. Landwirtschaft 35/11, 281-294.

HAMM, A. (1976a): Untersuchungen zur Nährstoffbilanz am Tegernsee und Schliersee nach der Abwasserfernhaltung - zugleich ein Beitrag über die diffusen Nährstoffquellen im Einzugsgebiet bayerischer Alpen- und Voralpenseen. - Z. Wasser- u. Abwasserforsch, 9/4+5, 110-121 u. 135-149.

HAMM, A. (1976b): Zur Nährstoffbelastung von Gewässern aus diffusen Quellen. Flächenbezogene P-Angaben - eine Ergebnis- und Literaturzusammenstellung. - Z. Wasser- u. Abwasserforsch. 9/1, 4-10.

HAUFFE, H.-K. (1979): P-Austräge aus unterschiedlich genutzten Landschaften des Bodensee-Einzugsgebietes. - Mitt. DBG 29, 231-234.

HAUFFE, H.-K. (1982): Nährstoffausträge aus unterschiedlich genutzten Landschaften (Untersuchungen im östlichen Bodensee-Einzugsgebiet). - Diss. Inst. f. Bodenkunde u. Standortslehre Univ. Hohenheim, 125 S.

HEMPEL, L. (1968): Bodenerosion in Süddeutschland. Erläuterungen zu Karten von Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland. - Forschungen z. deutschen Landeskunde Bd. 179, Bad Godesberg, 12 S. + Karten.

HOHL, E. (1991): Auswertung und Bilanzierung von Nährstoffen. Berichtsjahr 1986. - Bericht im Auftrag d. Amt f. Umweltschutz Kt. St.Gallen, St.Gallen, 127 S.

HOMEVO-AGOSSA, C. (1994): $N_2$0-Entbindung aus unterschiedlich intensiv bewirtschafteten Grünland im württembergischen Allgäu. - Hohenheimer Bodenkundl. Hefte 20, 65-72.

HOMEVO-AGOSSA, C., RÜCK,F. & K. STAHR (1993): N_2O-Freisetzung und NO_3-Auswaschung unter Grünland im Allgäu. - Mitt. DBG 72, 727-730.

HURNI, P., KOPSE, D. & M. BRAUN (1993): Stickstoffflüsse in vier ausgewählten Regionen. - in: BUWAL (Hrsg.): Der Stickstoffhaushalt in der Schweiz. Konsequenzen für Gewässerschutz und Umweltentwicklung. Schriftenreihe Umwelt Nr. 209, Anhang B, Bern, B1 - B27.

HÜSLER, W., WILLI, E., MEIER, E., BACHMANN, P. & I. BRODKOWSKI (1989): Verkehrsflächen der Schweiz. - Materialien z. Raumplanung, Bern, 99 S.

HUSZ, G. (1987): Bodenzustandserhebung Vorarlberg 1986. - Lebensraum Vorarlberg. Grundlagenarbeiten zu Natur und Umwelt, Bd. 2, Bregenz, 112 S.

HYDROLOGISCHES JAHRBUCH der BRD (1989): Abflussjahr 1986.

HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO (1994): Die Niederschläge, Schneeverhältnisse und Lufttemperaturen in Österreich im Zeitraum 1981 - 1990. - Hydrographischer Dienst in Österreich, Beiträge zur Hydrographie Österreichs, H. 52.

JÄGGLI, F. & C. WACHTER (1991): Untersuchungen über das Verhalten des Nitrates in den Schluffböden des St.Galler- und Bündner-Rheintales. - Landwirtschaft Schweiz 4/7, 371-373.

JAKOB, A., ZOBRIST, J., DAVIS, S., LIECHTI, P. & L. SIGG (1994): NADUF - Langzeitbeobachtung des chemisch-physikalischen Gewässerzustandes. - GWA 74/3, 171-186.

KELLER, R. (Hrsg.) (1978): Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland. - Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn, 68 S. + Erläuterungen.

KIRCHHOFER, W. & B. SEVRUK (1992): Mittlere jährliche korrigierte Niederschlagshöhen 1951-1980. - Hydrologischer Atlas der Schweiz, Bern.

KLEBER, M., FIEDLER, S. & K. STAHR (1994): Die Böden der Untersuchungsstandorte Siggen und Blöden im württembergischen Allgäu. - Hohenheimer Bodenkundl. Hefte 20, 25-34.

KLETT, M. (1965): Die boden- und gesteinsbürtigen Stofffracht von Oberflächengewässern. - Arb. d. Landwirtschaftl. Hochschule Hohenheim 35, Stuttgart, 135 S.

KLETT, M. & H. H. KOEPF (1965): Der Einfluss von Boden und Bodennutzung auf den Nitratstickstoffgehalt von Ursprungsgewässern. - Z. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde 111, 188-197.

KOEPF, H. H. (1971): Der Einfluss der Landwirtschaft auf den Eutrophierungsprozess stehender Gewässer. - Gewässerschutz, Wasser, Abwasser 4/II, 397 - 451

LANDESHYDROLOGIE (Hrsg.) (1990): Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 1986. Bern, 369 S.

LANDESHYDROLOGIE (Hrsg.) (1992): Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 1991. Bern, 379 S.

MATHYS, E. (1992): Phosphatwirksamkeit von erodiertem Bodenmaterial zur Eutrophierung. - Diss. ETH Nr. 9798, Zürich, 200 S.

MICKLEY, W. (1994): Nitratauswaschung von Grünlandstandorten des württembergischen Allgäu. - Hohenheimer Bodenkundl. Hefte 20, 51-58.

MICKLEY, W. & K. STAHR (1991): Stoffhaushalt und Stoffflüsse in Boden-Catenen der Westallgäuer Würmmoränenlandschaft im Hinblick auf die Eutrophierung der Senken (bzw. Oberflächengewässer). - Mitt. DBG 66/2, 983-986.

MOSIMANN, T., CROLE-REES, A., MAILLARD, A., NEYROUD, J.-A., THÖNI, M., MUSY, A. & W. ROHR (1990): Bodenerosion im schweizerischen Mittelland - Erosion du sol sur le Plateau suisse. - Bericht 51 des Nationalen Forschungsprogrammes 'Nutzung des Bodens in der Schweiz', Liebefeld-Bern, 262 S.

MOSIMANN, T., MAILLARD, A., MUSY, A., NEYROUD,J.-A., RÜTTIMANN, M. & P. WEISSKOPF (1991): Erosionsbekämpfung in Ackerbaugebieten. Prozesse und Ursachen der Bodenerosion - Bodenerhaltungsziel - Gefährdungsschätzung - Schutzmassnahmen im Landwirtschaftsbetrieb und im Einzugsgebiet. - Themenbericht d. Nationalen Forschungsprogrammes "Nutzung des Bodens in der Schweiz", Liebefeld-Bern, 187S.

NÜMANN, W. (1968): Das Verhalten von organischer Fracht, Phosphor- und Stickstoffverbindungen in einem Flusslauf nach Eintrag durch häusliche und industrielle Abwässer sowie durch landwirtschaftliche Düngung (Bodenseezufluss Schussen). - Arch. Hydrobiol. 64/4, 377-399.

ÖSTERREICHISCHES STATISTISCHES ZENTRALAMT (1987): Bodennutzungserhebung 1986. Beiträge z. Österreichischen Statistik, Heft 886. Daten geliefert vom Umweltinstitut des Landes Vorarlberg. Bregenz, Diskette.

OSCHWALD, M. (1994): Schriftliche Mitteilung zu Nährstoffgehalten von Böden aus Grünlandflächen im Einzugsgebiet der Schussen. - Unveröffentl. Daten der Staatlichen Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft Aulendorf.

PEINEMANN, N. (1975): Phosphat-Verteilung in Landschaften Südwestdeutschlands. - Diss. Univ. Hohenheim, 125 S.

PRASUHN, V. (1991): Bodenerosionsformen und -prozesse auf tonreichen Böden des Basler Tafeljura (Raum Anwil, BL) und ihre Auswirkungen auf den Landschaftshaushalt. - Physiogeographica 16, Basel, 372 S.

PRASUHN, V. & M. BRAUN (1994): Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Bern. - Schriftenreihe der FAC Liebefeld Nr. 17, Liebefeld-Bern, 113 S. + Anhang 100 S.

RICHTER, G. (1965): Bodenerosion. Schäden und gefährdete Gebiete in der Bundesrepublik Deutschland. - Forschungen z. deutschen Landeskunde Bd. 152, Bad Godesberg, 592 S. + Kartenband.

SAUERBORN, P. (1993): Eine Gefahrenstufenkarte zur potentiellen Erosionsgefährdung durch Niederschläge in Deutschland. - Mitt. DBG 72, 1237-1240.

SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H.-P., HARTGE, K.-H. & U. SCHWERTMANN (1984): Lehrbuch der Bodenkunde. 11. Auflage - Stuttgart 442 S.

SCHÄDLER, B. (1985): Der Wasserhaushalt der Schweiz. - Landeshydrologie, Mitt. Nr. 6, 83 S.

SCHAUB, D. (1989): Die Bodenerosion im Lössgebiet des Hochrheintales (Möhliner Feld/Schweiz) als Faktor des Landschaftshaushaltes und der Landwirtschaft. - Physiogeographica 13, Basel, 228 S.

SCHMIDT, T. (1994): Wasserhaushalt und Nährstofffrachten im Landschaftsmassstab. - Hohenheimer Bodenkundl. Hefte 20, 11-24.

SCHÜTT, B. (1988): Bodenerosion und effektiver Schwebstoffaustrag am Beispiel des Einzugsgebietes Argen. - Diplomarbeit Inst. f. Geographie Univ. Würzburg, Manuskript, 163 S. + Anhang 83 S.

SCHWERTMANN, U. (1973): Der landwirtschaftliche Anteil am Phosphat-Eintrag in Gewässer (Literaturübersicht) und die Bedeutung des Bodens hierfür. - Z. Wasser- u. Abwasserforsch. 6, 190-196.

SEIFFERT, P. (1990): Stoff-Einträge aus der Landwirtschaft in ein kleines Stehgewässer. - In: ZINTZ, K., RAHMANN, H. & H. WEISSER (Hrsg.): Ökologie und Management kleinerer Stehgewässer. Ökologie & Naturschutz 3, 127-149.

SEIFFERT, P., SCHWINEKÖPER, K., WURM, K. & W. KONOLD (1993): Integrierte Gewässerentwicklungsplanung am Beispiel der Kisslegger Ach (Landkreis Ravensburg). - Verh. Ges. f. Ökologie 22, 289-294.

SEVRUK, B. & W. KIRCHHOFER (1992): Mittlere jährliche Korrekturen der gemessenen Niederschlagshöhen 1951-1980. - Hydrologischer Atlas der Schweiz, Bern.

SMA (Schweizerische Meteorologische Anstalt) (1985/86): Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen auf den meteorologischen und Regenmess-Stationen der Schweiz. Quartalshefte der Jahre 1985 und 1986.

SPIESS, E. (1989): Schätzung der schweizerischen Nährstoffbilanz für 1985. - Schriftenreihe der FAC-Liebefeld Nr. 4, Liebefeld-Bern, 61 S.

SPIESS, E. & J.-M. BESSON (1992): Hofdüngereinsatz in der Schweiz: Erhebungen und Umfrage in Landwirtschaftsbetrieben. - Schriftenreihe der FAC-Liebefeld Nr. 12, Liebefeld-Bern, 39 S.

STAHR, K. (1994): Landschaftsentwicklung und Nutzungsprobleme im Grünlandgebiet des württembergischen Allgäu. - Hohenheimer Bodenkundl. Hefte 20, 1-10.

STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1986): Statistik von Baden-Württemberg. Band 360. Gemeindestatistik 1986. Heft 2: Ergebnisse der Flächenerhebung 1985 nach Naturräumen, Gemeinden und Planungsräumen. Stuttgart.

STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1988): Bodennutzung in den Gemeinden 1987. Ergebnisse der Bodennutzungshaupterhebung 1987. - Statistische Berichte. Agrarwirtschaft 35. Stuttgart.

STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1989): Statistik von Baden-Württemberg. Band 400. Gemeindestatistik 1989. Heft 2: Bodennutzung 1987, Viehhaltung 1988 und Struktur landwirtschaftlicher Betriebe 1987 in den Landwirtschaftsamtsbezirken. Stuttgart.

TSCHUDI, L. (1990): Einfluss von Phosphaten aus Bodenpartikeln auf den Trophiegehalt der Gewässer. - Diss. ETH Nr. 9107, Zürich, 200 S.

UMWELTINSTITUT DES LANDES VORARLBERG (1993): Daten der Österreichischen Flächennutzungsstatistik 1986: Flächennutzung nach Gemeinden; Tierzahlen 1985 und Drainageflächen, Bregenz, Diskette.

UMWELTINSTITUT DES LANDES VORARLBERG (1994): Langjährige mittlere Jahresabflüsse der österreichischen Bodenseezuflüsse. Schriftl. Mitteilung. Bregenz.

WAGNER, G. (1976a): Die Untersuchung von Sinkstoffen aus Bodenseezuflüssen. - Schweiz. Zeitschrift f. Hydrologie 32, 191-205.

WAGNER, G. (1976b): Simulationsmodelle der Seeneutrophierung, dargestellt am Beispiel des Bodensee-Obersees. Teil II: Simulation des Phosphorhaushaltes des Bodensee-Obersees. - Archiv Hydrobiol. 78/1, 1-41.

WAGNER, G. (1983): Untersuchungen über den boden- und düngebedingten Anteil an der Gewässereutrophierung unter besonderer Berücksichtigung des Bodensees. Teil 3: Zusammenfassender Bericht über die Untersuchungen in den Einzugsgebieten von Bodenseezuflüssen. - Wasserwirtschaftl. Untersuchungsprogramm L78-6.7.4 im Auftrag des Minist. f. Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt u. Forsten Baden-Württemberg, Manuskript, 19 S.

WAGNER, G. (1987a): Zur Untersuchung der Stofffrachten in Bodenseezuflüssen bis zum Abflussjahr 1985. - Ber. d. Landesanstalt f. Umweltschutz B-W, Manuskript, 37 S.

WAGNER, G. (1987b): Untersuchung der Stofffrachten in Bodenseezuflüssen Baden-Württembergs im Abflussjahr 1986. - Ber. d. Landesanstalt f. Umweltschutz B-W, Manuskript, 8 S.

WAGNER, G. & H. BÜHRER (1989): Die Belastung des Bodensees mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen, organisch gebundenem Kohlenstoff und Borat im Abflussjahr 1985/86. - Bericht d. internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee Nr.40, 52 S.

WAGNER, G., BÜHRER, H. & H. AMBÜHL (1976): Die Belastung des Bodensees mit Phosphor-, Stickstoff- und organischen Verbindungen im Seejahr 1971/72. - Bericht d. internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee Nr. 17, 45 S.

WENDLAND, F., ALBERT, H., BACH, M. & R.SCHMIDT (Hrsg.) (1993): Atlas zum Nitratstrom in der Bundesrepublik Deutschland. - Berlin, Heidelberg, New York, 96 S.

WERNER, R. (1993): Berechnung der Niederschlagsmengen 1985/86 für die Gemeinden Vorarlbergs. - Unveröffentl. Manuskript, Umweltinstitut des Landes Vorarlberg. Bregenz.

WERNER, W., OLFS, H.-W., AUERSWALD, K. & K. ISERMANN (1991): Stickstoff- und Phosphoreintrag in Oberflächengewässer über "diffuse Quellen". - In: HAMM, A. (Hrsg.): Studie über Wirkungen und Qualitätsziele von Nährstoffen in Fliessgewässern, Sankt Augustin, 665-764.

WILKEN, H. (1987): Zur Bilanzierung von Phosphor- und Stickstofffrachten in den Einzugsgebieten von Schussen und Argen mit Bor als Leitelement. - Diplomarbeit Fachhochschule Isny/Allgäu, Manuskript 52 S.

WERNER, W. & H.-P. WODSAK (1994): Stickstoff- und Phosphateintrag in die Fliessgewässer Deutschlands unter besonderer Berücksichtigung des Eintragsgeschehens im Lockergesteinsbereich der ehemaligen DDR. - Agrarspectrum 22, 243 S.

ZELLER, J. & G. RÖTHLISBERGER (1986): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1985. - Wasser, Energie, Luft 78, 5/6, 91-96.

ZELLER, J. & G. RÖTHLISBERGER (1987): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1986. - Wasser, Energie, Luft 79, 10, 265-270.

7. Kartenverzeichnis

Topographische Karten 1 : 50 000 Baden-Württemberg und Bayern. Diverse Blätter

Landeskarte der Schweiz 1 : 50 000 und 1 : 25 000. Diverse Blätter

Landeskarte Fürstentum Liechtenstein 1 : 25 000. - Vaduz 1971/72

Gewässerkundliches Flächenverzeichnis des Landes Baden-Württemberg auf der Grundlage der TK 1 : 50 000 (mit zusätzlich eingezeichneten Gemeindegrenzen). Diverse Blätter. - Landesanst. f. Umweltschutz Baden-Württemberg u. Amt f. Wasserwirtschaft Konstanz und Ravensburg

Übersichtskarte 1 : 200 000 zum Flächenverzeichnis des Rheingebietes. - Hydrogr. Zentralbüro Bundesministerium Land- u. Forstwirtschaft Österreich, Wien o.J.

Übersichtskarte Bayerischer Bodenseebereich 1 : 100 000. - Landesamt f. Wasserwirtschaft, München 1991

Oberflächengewässer 1 : 25 000 Fürstentum Liechtenstein. - Amt für Gewässerschutz, Vaduz 1982

Hydrogeologische Karte der Schweiz 1 : 100 000, Blatt Bodensee, Schweiz. Geotechn. Komm. 1980

Gemeindeplan Fürstentum Liechtenstein 1 : 25 000. - Ing.-Büro Frommelt AG, Vaduz, 1984

Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland. Diverse Karten - KELLER, R. (1978)

Hydrologischer Atlas der Schweiz. Diverse Karten 1 : 500 000 - Bern 1992

Bodenbestandsaufnahme Baden-Württemberg. Bodenkarte 1 : 1 000 000. Geol. Landesamt Baden-Württemberg 1986

Bodeneignungskarte der Schweiz 1 : 200 000. - EJPD 1980

Geologische Karte des Fürstentums Liechtenstein 1 : 25 000. - Vaduz 1985

8. Anhang (Sonderband)

Der Anhang soll in erster Linie denjenigen Lesern dienen, die sich gezielt für das eine oder andere Einzugsgebiet interessieren. Dazu werden in den folgenden Unterkapiteln alle wichtigen Grundlagendaten und Ergebnisse der Modellberechnungen bzw. des Hauptberichtes für jedes Einzugsgebiet separat und übersichtlich zusammengestellt und mit gebietsspezifischen Informationen ergänzt.

Die Gliederung jedes Kapitels (Graphiken, Tabellen, Textblöcke) ist in allen Einzugsgebieten weitgehend identisch. Zunächst erfolgen einige Angaben zur Gebietscharakterisierung, anschliessend folgen die Ergebnisse der Wasserfluss- und Stoffflussberechnungen, die Kontrolle der berechneten Daten und ein Vergleich mit den punktuellen Quellen. Die Grundlagen und getroffenen Annahmen für die Berechnungen wurden bereits im Hauptteil ausführlich vorgestellt und werden hier nicht nochmals wiederholt.

A 1. Einzugsgebiet Stockacher Aach ..... A 3
A 2. Einzugsgebiet Seefelder Aach ..... A 8
A 3. Einzugsgebiet Rotach ..... A 12
A 4. Einzugsgebiet Schussen ..... A 16
A 5. Einzugsgebiet Argen ..... A 21
A 6. Einzugsgebiet Leiblach ..... A 26
A 7. Einzugsgebiet Bregenzerach ..... A 30
A 8. Einzugsgebiet Dornbirnerach ..... A 34
A 9. Einzugsgebiet Rheintal ..... A 39
A10. Einzugsgebiet Ill ..... A 44
A11. Einzugsgebiet Alprhein ..... A 49
A12. Einzugsgebiet Randgebiete Obersee Baden-Württemberg ..... A 54
A13. Einzugsgebiet Randgebiete Obersee Bayern ..... A 58
A14. Einzugsgebiet Randgebiete Obersee Österreich ..... A 62
A15. Einzugsgebiet Randgebiete Obersee Schweiz ..... A 66
A16. Einzugsgebiet Radolfzeller Aach ..... A 70
A17. Einzugsgebiet Randgebiete Untersee Baden-Württemberg ..... A 75
A18. Einzugsgebiet Randgebiete Untersee Schweiz ..... A 79

Veröffentlichungen der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB)

- Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees vom 1. Juni 1967
  überarbeitete Fassung vom 9. Mai 1972
  Neufassung vom 27. Mai 1987
- Schutz dem Bodensee, Jubiläumsschrift, 15 Jahre Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee 1974
- Schutz dem Bodensee, Faltbatt, 25 Jahre Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee 1984
- Limnologischer Zustand des Bodensees, Jahresberichte (Grüne Berichte) seit 1976

IGKB-Berichte (Blaue Berichte)

Nr. 1	Zustand und neuere Entwicklung des Bodensees	1963
Nr. 2	Die Abwasserbelastung der Uferzone des Bodensees	1964
Nr. 3	Die Sauerstoffschichtung im tiefen Hypolimnion des Bodensee-Obersees 1963/64 mit Berücksichtigung einiger Untersuchungsergebnisse aus früheren Jahren	1964
Nr. 4	Gewässerschutzvorschriften der Bodensee-Anliegerstaaten	1966
Nr. 5	Die Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse des Bodensees in den Jahren 1961 bis 1963	1967
Nr. 6	Untersuchungen zur Feststellung der Ursache für die Verschmutzung des Bodensees	1967
Nr. 7	Stellungnahme der Sachverständigen zur Frage einer Bodensee-Ringleitung	1967
Nr. 8	Die Sauerstoffbilanz des Bodensee-Obersees	1967
Nr. 9	Bodensee-Sedimente	1971
Nr. 10	Bericht über den Bodensee	1971
Nr. 11	Die Berechnung von Frachten gelöster Phosphor- und Stickstoffverbindungen aus Konzentrationsmessungen in Bodenseezuflüssen	1973
Nr. 12	Die Makrophytenvegetation in der Uferzone des Bodensees	1973
Nr. 13	Bau- und Investitionsprogramm - Stand der Abwasserbeseitigung	1973
Nr. 14	Regenentlastungsanlagen, Bemessung und Gestaltung	1973
Nr. 15	Strömungsverhältnisse im Bodensee-Untersee und der Wasseraustausch zwischen den einzelnen Seebecken	1974
Nr. 16	Zustand und neuere Entwicklung des Bodensees	1975
Nr. 17	Die Belastung des Bodensees mit Phosphor-, Stickstoff- und organischen Verbindungen im Seejahr 1971/72	1976
Nr. 18	Die Phytoplanktonentwicklung im Bodensee in den Jahren 1961 bis 1963	1976
Nr. 19	Stand der technischen Möglichkeiten der Phosphorelimination aus kommunalen Abwässern	1977
Nr. 20	Die Entwicklung des Crustaceenplanktons im Bodensee, Obersee (1962-1974) und Rheinsee (1963-1973)	1977
Nr. 21	Die langjährige Entwicklung des Phytoplanktons im Bodensee (1963-1973), Teil 1 Untersee	1977
Nr. 22	Chemismus des Freiwassers des Bodensee-Obersees in den Jahren 1961 bis 1974	1979

Nr. 23	Die langjährige Entwicklung des Phytoplanktons im Bodensee (1965-1975), Teil 2 Obersee	1979
Nr. 24	Bau- und Investitionsprogramm, Stand der Abwasserbeseitigung im Einzugsgebiet des Bodensee-Obersees und des Untersees Planungszeitraum 1978-1985	1981
Nr. 25	Zum biologischen Zustand des Seebodens des Bodensees in den Jahren 1972 bis 1978	1981
Nr. 26	Die submersen Makrophyten des Bodensees - 1978 im Vergleich mit 1967 -	1981
Nr. 27	Die Veränderungen der submersen Vegetation des Bodensees in ausgewählten Testflächen in den Jahren 1967 bis 1978	1981
Nr. 28	Die Belastung des Bodensees mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen und organischem Kohlenstoff im Abflussjahr 1978/79	1982
Nr. 29	Limnologische Auswirkungen der Schiffahrt auf den Bodensee	1982
Nr. 30	Die Auswirkungen der Reinhaltemassnahmen auf die limnologische Entwicklung des Bodensees (Lagebericht)	1982
Nr. 31	Schadstoffe in Bodensee-Sedimenten	1984
Nr. 32	Quantitative Mikroanalyse flüchtiger, organischer Verbindungen im Bodenseewasser	1985
Nr. 33	Bau- und Investitionsprogramm, Stand der Abwasserbeseitigung im Einzugsgebiet des Bodensee-Obersees und des Untersees, Planungszeitraum 1986-1995	1985
Nr. 34	Die Zukunft der Reinhaltung des Bodensees, Weitergehende und vorbeugende Massnahmen - Denkschrift -	1987
Nr. 35	Zur Bedeutung der Flachwasserzone des Bodensees	1987
Nr. 36	Die Entwicklung der Radioaktivität im Bodensee nach dem Unfall Tschernobyl	1987
Nr. 37	Die Entwicklung des Crustaceen-Planktons im Bodensee-Obersee (1972-1985) und Untersee - Gnadensee und Rheinsee - (1974-1985)	1987
Nr. 38	Die Oligochaeten im Bodensee als Indikatoren für die Belastung des Seebodens (1972 bis 1978)	1988
Nr. 39	Die langjährige Entwicklung des Phytoplanktons im Bodensee (1961 bis 1986)	1989
Nr. 40	Die Belastung des Bodensees mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen, organisch gebundenem Kohlenstoff und Borat im Abflussjahr 1985/86	1989
Nr. 41	Die Entwicklung der NTA- und EDTA-Konzentration im Bodensee und in einigen Bodensee-Zuflüssen von 1985 bis 1990	1991
Nr. 42	Seenphysikalische und limnologische Dokumentation zur Vorstreckung des Alpenrheins in den Bodensee - eine Literaturstudie -	1993
Nr. 43	Sedimentoberflächen im östlichen Bodensee-Obersee, Sidescan-Untersuchungen im Zusammenhang mit den Auswirkungen der Vorstreckung des Alpenrheins	1993
Nr. 44	Dynamische Simulation des Bodensee-Obersees und tolerierbare Phosphor-Fracht	1993
Nr. 45	Methoden zur Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den Bodensee	1996