

Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee: 51,1999

ISSN 1011-1263

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee

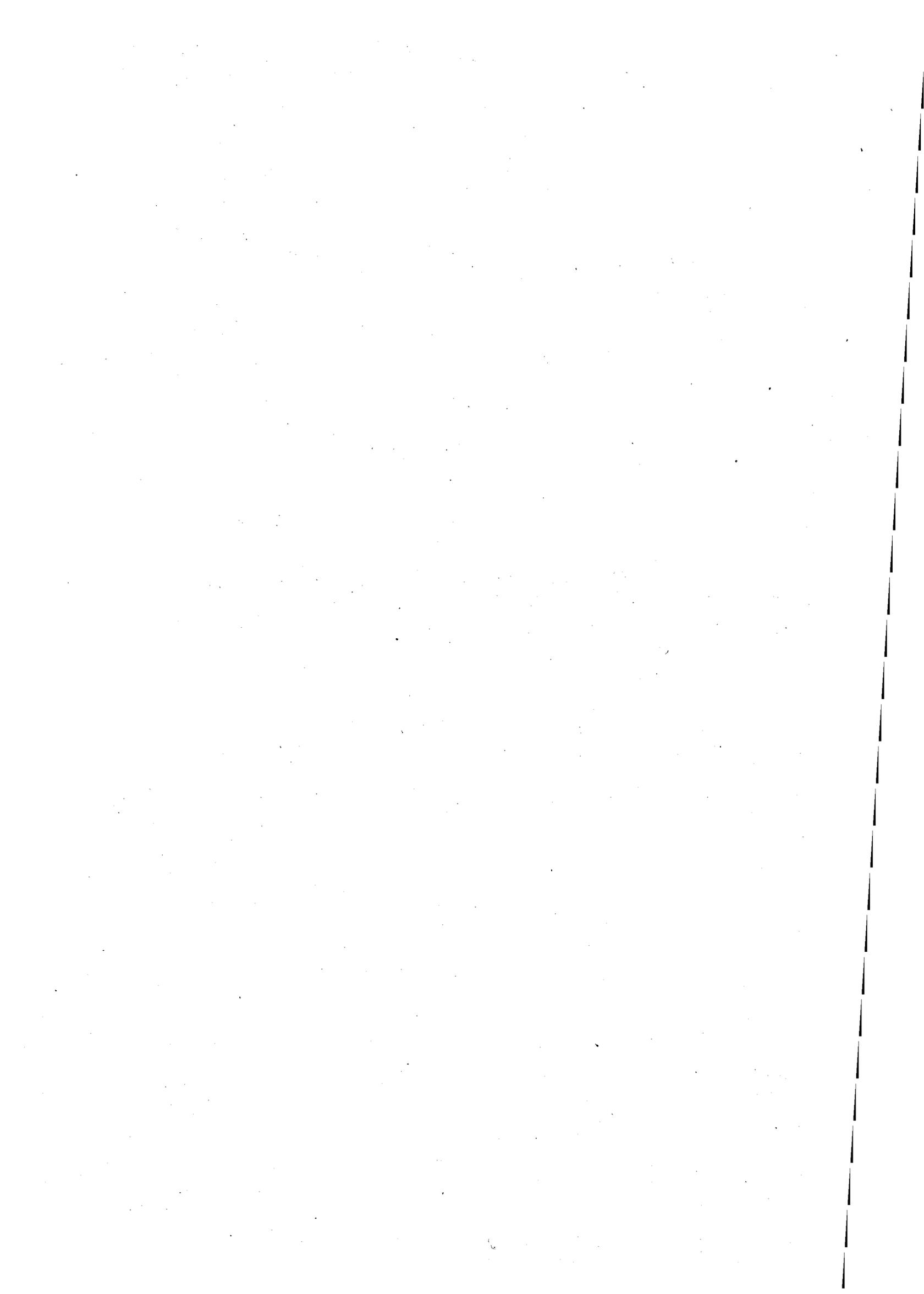
Bericht Nr. 51

Phosphor und Stickstoff aus diffusen Quellen  
im Einzugsgebiet des Bodensees  
1996/97

Bearbeiter: V. Prasuhn

Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL)  
Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL)

- 1999 -



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>Abstracts</b>	I
<b>Vorwort</b>	III
<b>Auftrag, Dank</b>	IV
<b>Zusammenfassung</b>	V
<b>1. Einleitung</b>	1
<b>2. Methodik</b>	2
2.1 Abgrenzung und Grobcharakterisierung der Einzugsgebiete	2
2.2 Stofffluss-Modell	5
2.3 Datenerhebung und Veränderungen gegenüber 1985/86	5
2.3.1 Landnutzung	5
2.3.2 Drainageflächen	6
2.3.3 Phosphor- und Stickstoffanfall aus Hofdüngern	6
2.3.4 Klimatische Verhältnisse und Berechnung der Wasserbilanz	6
2.4. Berechnung der Wasserflüsse	7
2.5. Berechnung der Stoffflüsse	8
<b>3. Zusammenstellung der Ergebnisse im hydrologischen Jahr 1996/97 für die verschiedenen Einzugsgebiete und Vergleich mit den Werten von 1985/86</b>	12
3.1 Ergebnisse der Hauptberechnung	12
3.1.1 Wasserflüsse und Materialeinträge	12
3.1.2 Diffuse Phosphoreinträge	17
3.1.3 Diffuse Stickstoffeinträge	26
3.2 Ergebnisse der Berechnung der natürlichen Hintergrundlast und Vergleich mit der anthropogen diffusen Belastung	35
3.2.1 Natürliche Hintergrundlast	35
3.2.2 Anthropogen diffuse Belastung	38
3.3 Gesamtbetrachtung der Stoffeinträge in die Gewässer unter Hinzuziehung der punktuellen Quellen	48

<b>4. Mögliche Ursachen für die Veränderungen diffuser Nährstoffeinträge gegenüber 1985/86</b>	53
4.1 Gesetzliche Grundlagen und Instrumente zur Umsetzung	53
4.2 Mögliche Ursachen für die Veränderungen der Phosphorverluste durch Abschwemmung von Grasland	57
4.3 Mögliche Ursachen für die Veränderungen der Phosphorverluste durch Bodenerosion von Ackerland	59
4.4 Mögliche Ursachen für die Veränderungen der Stickstoffverluste durch Auswaschung unter Acker- und Grasland	61
<b>5. Kontrollen</b>	64
5.1 Vergleich gemessener und berechneter Abflüsse	64
5.2 Vergleich gemessener und berechneter Materialeinträge	64
5.3 Vergleich gemessener und berechneter Phosphor- und Stickstoffeinträge	64
<b>6. Schlussbetrachtung für das gesamte Bodensee-Einzugsgebiet</b>	69
<b>7. Literaturverzeichnis</b>	81
<b>Anhang (Sonderband)</b>	84

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1:	Hydrologische Einzugsgebiete für die Ermittlung der diffusen Nährstoffbelastungen.	3
Abb. 2:	Abfluss der verschiedenen Einzugsgebiete in den hydrologischen Jahren 1985/86 und 1996/97.	13
Abb. 3:	Phosphoreinträge aus diffusen Quellen in den verschiedenen Einzugsgebieten für das hydrologische Jahr 1996/97, unterteilt in ihren gelösten und partikulären Anteil.	23
Abb. 4:	Vergleich der gelösten und partikulären Phosphoreinträge aus diffusen Quellen der Jahre 1985/86 und 1996/97 (absolute Werte).	24
Abb. 5:	Vergleich der gelösten und partikulären Phosphoreinträge aus diffusen Quellen der Jahre 1985/86 und 1996/97 (flächenspezifische Werte).	25
Abb. 6:	Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den verschiedenen Einzugsgebieten für das hydrologische Jahr 1996/97, unterteilt in ihren gelösten und partikulären Anteil.	31
Abb. 7:	Vergleich der gelösten und partikulären Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen der Jahre 1985/86 und 1996/97 (absolute Werte).	32
Abb. 8:	Vergleich der gelösten und partikulären Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen der Jahre 1985/86 und 1996/97 (flächenspezifische Werte).	33
Abb. 9:	Prozentuale Anteile der verschiedenen Haupteintragspfade für diffuse Nährstoffverluste 1996/97.	34
Abb. 10:	Vergleich der gelösten und partikulären Phosphoreinträge aus der natürlichen Hintergrundlast der Jahre 1985/86 und 1996/97 (flächenspezifische Werte).	36
Abb. 11:	Vergleich der gelösten und partikulären Stickstoffeinträge aus der natürlichen Hintergrundlast der Jahre 1985/86 und 1996/97 (flächenspezifische Werte).	37
Abb. 12:	Prozentuale Anteile von anthropogen diffuser Belastung und natürlicher Hintergrundlast an den Phosphoreinträgen aus diffusen Quellen im hydrologischen Jahr 1996/97.	40
Abb. 13:	Prozentuale Anteile von anthropogen diffuser Belastung und natürlicher Hintergrundlast an den Stickstoffeinträgen aus diffusen Quellen im hydrologischen Jahr 1996/97.	41
Abb. 14:	Gelöste und partikuläre Phosphoreinträge aus diffusen Quellen in den verschiedenen Einzugsgebieten für das hydrologische Jahr 1996/97, unterteilt nach ihrem Anteil an anthropogen diffuser Belastung und natürlicher Hintergrundlast.	42
Abb. 15:	Gelöste und partikuläre Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den verschiedenen Einzugsgebieten für das hydrologische Jahr 1996/97, unterteilt nach ihrem Anteil an anthropogen diffuser Belastung und natürlicher Hintergrundlast.	43
Abb. 16:	Anthropogen diffuse Phosphor- und Stickstoffbelastung in den verschiedenen Einzugsgebieten für das hydrologische Jahr 1996/97, aufgegliedert in ihren gelösten und partikulären Anteil (flächenspezifische Werte).	44
Abb. 17:	Vergleich der gelösten und partikulären Phosphoreinträge aus der anthropogen diffusen Belastung der Jahre 1985/86 und 1996/97 (flächenspezifische Werte).	45
Abb. 18:	Vergleich der gelösten und partikulären Stickstoffeinträge aus der anthropogen diffusen Belastung der Jahre 1985/86 und 1996/97 (flächenspezifische Werte).	46

Abb. 19: Totaler Eintrag von Gesamt-Phosphor in die Gewässer im hydrologischen Jahr 1996/97 und Aufteilung nach Herkunft.	49
Abb. 20: Totaler Eintrag von gelöstem Phosphor in die Gewässer im hydrologischen Jahr 1996/97 und Aufteilung nach Herkunft.	50
Abb. 21: Totaler Eintrag von Gesamt-Stickstoff in die Gewässer im hydrologischen Jahr 1996/97 und Aufteilung nach Herkunft.	51
Abb. 22: Totaler Eintrag von gelöstem Stickstoff in die Gewässer im hydrologischen Jahr 1996/97 und Aufteilung nach Herkunft.	52
Abb. 23: Aufschlüsselung der Phosphor- und Stickstofffrachten (inkl. Niederschlag auf Seefläche und externe Zuflüsse) im Bodensee-Einzugsgebiet (Obersee und Untersee) nach ihren Quellen für das hydrologische Jahr 1985/86.	72
Abb. 24: Aufschlüsselung der Phosphor- und Stickstofffrachten (inkl. Niederschlag auf Seefläche und externe Zuflüsse) im Bodensee-Einzugsgebiet (Obersee und Untersee) nach ihren Quellen für das hydrologische Jahr 1996/97.	73
Abb. 25: Aufschlüsselung der Gesamt-Phosphor- und Gesamt-Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen im gesamten Bodensee-Einzugsgebiet nach Haupteintragspfaden für 1985/86 (inkl. Deposition auf die Seefläche).	74
Abb. 26: Aufschlüsselung der Gesamt-Phosphor- und Gesamt-Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen im gesamten Bodensee-Einzugsgebiet nach Haupteintragspfaden für 1996/97 (inkl. Deposition auf die Seefläche).	75
Abb. 27: Aufschlüsselung der gelösten Phosphor- und Gesamt-Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen im gesamten Bodensee-Einzugsgebiet nach Haupteintragspfaden für 1985/86 (inkl. Deposition auf die Seefläche).	76
Abb. 28: Aufschlüsselung der gelösten Phosphor- und gelösten Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen im gesamten Bodensee-Einzugsgebiet nach Haupteintragspfaden für 1996/97 (inkl. Deposition auf die Seefläche).	77

## **TABELLENVERZEICHNIS**

Tab. 1: Landnutzung und Flächenanteile der verschiedenen Länder am oberirdischen Bodensee-Einzugsgebiet.	2
Tab. 2: Flächenanteile und politische Zugehörigkeit der untersuchten Einzugsgebiete am Bodensee-Einzugsgebiet 1996/97.	4
Tab. 3: Veränderungen der Landnutzung in Hektaren zwischen 1985/86 und 1996/97.	9
Tab. 4: Vergleich des Nährstoffanfalls aus Hofdüngern 1985/86 und 1996/97.	10
Tab. 5: Vergleich der berechneten hydrologischen Gebietsdaten 1985/86 und 1996/97.	11
Tab. 6: Wasserflüsse und Materialeinträge in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1996/97 (absolute Werte).	14
Tab. 7: Wasserflüsse und Materialeinträge in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1996/97 (relative Werte).	15
Tab. 8: Berechnete nutzungsspezifische Wasserflüsse in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1996/97.	16
Tab. 9: Phosphor-Einträge aus diffusen Quellen in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1996/97 (absolute Werte).	20

Tab. 10: Phosphor-Einträge aus diffusen Quellen in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1996/97 (relative Werte).	21
Tab. 11: Berechnete nutzungsspezifische diffuse Phosphoreinträge für das hydrologische Jahr 1996/97.	22
Tab. 12: Stickstoff-Einträge aus diffusen Quellen in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1996/97 (absolute Werte).	28
Tab. 13: Stickstoff-Einträge aus diffusen Quellen in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1996/97 (relative Werte).	29
Tab. 14: Berechnete nutzungsspezifische diffuse Stickstoffeinträge für das hydrologische Jahr 1996/97.	30
Tab. 15: Abfluss, Phosphor- und Stickstoffeinträge für die natürliche Hintergrundlast im hydrologischen Jahr 1996/97.	38
Tab. 16: Vergleich der gemessenen und berechneten Abflüsse im hydrologischen Jahr 1996/97 sowie 1985/86 und im langjährigen Mittel.	65
Tab. 17: Vergleich gemessener und berechneter Schwebstofffrachten im hydrologischen Jahr 1996/97.	66
Tab. 18: Vergleich der über Modellrechnungen geschätzten (diffus + punktuell) und aus gemessenen Stofffrachten berechneten Phosphoreinträge im hydrologischen Jahr 1996/97 (ohne Deposition auf die Seefläche).	67
Tab. 19: Vergleich der über Modellrechnungen geschätzten (diffus + punktuell) und aus gemessenen Stofffrachten berechneten Stickstoffeinträge im hydrologischen Jahr 1996/97 (ohne Deposition auf die Seefläche).	68
Tab. 20: Zusammenstellung der berechneten Eintragsquellen von Phosphor im gesamten Bodensee-Einzugsgebiet (Ober- und Untersee inkl. Seefläche und externe Zuflüsse) für 1996/97 und Vergleich mit den Ergebnissen der Modellrechnung 1985/86.	78
Tab. 21: Zusammenstellung der berechneten Eintragsquellen von Stickstoff im gesamten Bodensee-Einzugsgebiet (Ober- und Untersee inkl. Seefläche und externe Zuflüsse) für 1996/97 und Vergleich mit den Ergebnissen der Modellrechnung 1985/86.	79



## Abstracts

### Phosphor und Stickstoff aus diffusen Quellen im Einzugsgebiet des Bodensees 1996/97

Die Phosphor- und Stickstoffverluste aus diffusen Quellen in die Gewässer wurden nach 1985/86 ein zweites Mal für das hydrologische Jahr 1996/97 mit Hilfe eines Stofffluss-Modells im Bodensee-Einzugsgebiet abgeschätzt. Die Berechnung der Stofffrachten aus den verschiedenen Eintragspfaden (Abschwemmung, Erosion, Auswaschung, atmosphärische Deposition, landwirtschaftliche Direkteinträge) erfolgte durch Multiplikation der berechneten Wasserflüsse (Oberflächenabfluss, Sickerwasser, Drainagenabfluss, Niederschlag auf Gewässer) mit entsprechenden nutzungs- und gebietsspezifischen Stoffkonzentrationen. Die Gesamtphosphorverluste aus diffusen Quellen haben sich gegenüber 1985/86 insgesamt von 1 791 t P·y<sup>-1</sup> um rund 25% auf etwa 1 344 t P·y<sup>-1</sup> verringert. Rund zwei Drittel dieser Abnahme sind auf die veränderten klimatischen Bedingungen der beiden Vergleichsjahre und ein Drittel auf die veränderte landwirtschaftliche Nutzung zurückzuführen. Die Gesamtstickstoffverluste aus diffusen Quellen haben sich insgesamt von 18 266 t N·y<sup>-1</sup> um etwa 18% auf etwa 15 063 t N·y<sup>-1</sup> verringert. Etwas mehr als die Hälfte dieser Abnahme ist auf die veränderten klimatischen Bedingungen der beiden Vergleichsjahre und etwas weniger als die Hälfte auf die veränderte Landnutzung zurückzuführen.

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

### Phosphore et azote provenant des sources diffuses, dans le bassin versant du lac de Constance, 1996/97

Les pertes en phosphore et en azote vers les eaux de surface du bassin versant du lac de Constance, attribuées aux sources diffuses, ont été estimées à l'aide d'un modèle de flux de substances pour l'année hydrologique 1996/97, une seconde fois après 1985/86. Le calcul des charges en substances empruntant les différentes voies d'apport (ruissellement, érosion, lessivage, dépôts atmosphériques, apports agricoles directs) s'est fait par multiplication des débits d'eau calculés (ruissellement superficiel, eau d'infiltration, écoulement de drainage, précipitations sur les eaux de surface) avec les concentrations correspondantes de substances, spécifiques à l'exploitation des sols et à la région concernées. Les pertes en phosphore total dues aux sources diffuses ont baissé d'environ 25% depuis 1985/86, en passant d'un total de 1 791 t P·y<sup>-1</sup> à quelque 1 344 t P·y<sup>-1</sup>. Bien deux tiers de cette baisse sont la conséquence de conditions climatiques nouvelles pour les deux années de comparaison et un tiers à une utilisation différente au plan agricole. Les pertes en azote total attribuées aux sources diffuses ont baissé d'environ 18%, passant d'un total de 18 266 t N·y<sup>-1</sup> à quelque 15 063 t N·y<sup>-1</sup>. Un peu plus de la moitié de cette baisse est à mettre au compte des conditions climatiques nouvelles pour les deux années de comparaison et un peu moins de la moitié à une utilisation modifiée des sols.

Mots-clefs: phosphore, azote, sources diffuses, eaux de surface, agriculture, lac de Constance

## Phosphorus and nitrogen arising from diffuse sources in the catchment area of Lake Constance 1996/97

For the hydrological year 1996/7, a second estimate of the phosphorus and nitrogen losses from diffuse sources to surface waters was made with the aid of a flow model for the Lake Constance catchment area. An initial study of this nature had already been carried out for 1985/6. Substance flows for the various input paths (surface runoff, erosion, leaching, atmospheric deposition, direct agricultural emission) were calculated by multiplication of the calculated water flows (surface runoff, seepage water, drainage water, precipitation on surface waters) with concentration factors appropriate to the specific uses and areas concerned. Total phosphorus losses from diffuse sources declined relative to 1985/6 by some 25% from  $1,791 \text{ t P a}^{-1}$  to approximately  $1,344 \text{ t P a}^{-1}$ . About two thirds of this reduction are attributable to changes in climatic conditions in the two years considered and one third to changes in agricultural practice. Total nitrogen losses from diffuse sources declined by approximately 18% from  $18,266 \text{ t N a}^{-1}$  to about  $15,063 \text{ t N a}^{-1}$ . Somewhat more than half this reduction is attributable to changed climatic conditions in the two years considered and somewhat less than half to changed agricultural practice.

**Key words:** Phosphorus, nitrogen, diffuse sources, surface waters, agriculture, Lake Constance

## Vorwort

Für den Bodensee war in den vergangenen Jahrzehnten die drohende Überdüngung - massgeblich durch steigende Zufuhr von Phosphorverbindungen verursacht - das grösste Problem. Die Verminderung des Phosphoreintrages steht daher seit der Gründung der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) im Vordergrund der Reinhaltmassnahmen. Zur Erfolgskontrolle der Massnahmen wurden mehrfach, zuletzt im Jahr 1985/86, Untersuchungen zur Feststellung der Zufuhr bestimmter Stofffrachten aus den wichtigsten Zuflüssen, Direkteinleitungen in den See sowie diffusen Quellen (ländliches Areal) zum Bodensee durchgeführt (Bericht der IGKB Nr. 40). Die Ergebnisse dokumentierten den Erfolg der bis dahin umgesetzten Sanierungsmassnahmen. Während die Phosphorbelastung rückläufig war, wurde ein Anstieg der Stickstofffracht gegenüber früheren Erhebungen festgestellt. Die Ergebnisse der Zuflussuntersuchungen zeigten, dass neben dem Nährstoffeintrag aus punktuellen Quellen vor allem auch Emissionen aus dem ländlichen Areal einen beträchtlichen Anteil der Belastung durch Stickstoff und Phosphor verursachten. Die verschiedenen Eintragspfade konnten allein auf Basis der erhobenen Daten jedoch nicht quantitativ aufgeschlüsselt werden. Deshalb erhielt das Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL) den Auftrag, die Phosphor- und Stickstoffausträge aus diffusen Quellen im Einzugsgebiet des Bodensees aus arealstatistischen Daten abzuschätzen und die Eintragspfade der in den Zuflussuntersuchungen 1985/86 ermittelten Stofffrachten genauer aufzuschlüsseln.

Die Ergebnisse ergänzten die Aussagen der Zuflussuntersuchungen 1985/86 und zeigten, dass der gewählte Modellansatz gut geeignet ist, die diffusen Eintragspfade aus dem ländlichen Areal mit hinreichendem Detaillierungsgrad quantitativ zu erfassen (Bericht der IGKB Nr. 45). Folgerichtig wurde dieses arealstatistische Modell auch auf die Zuflussuntersuchungen 1996/97 angewendet.

Der vorliegende Bericht, der einen Vergleich der Abschätzung der diffusen Nährstoffausträge für das hydrologische Jahr 1996/97 mit den unter Anwendung des gleichen Modellansatzes für 1985/86 ermittelten Ergebnissen einschliesst, dokumentiert die Veränderungen der letzten zehn Jahre. Gleichzeitig gibt er wertvolle Hinweise auf lokale Besonderheiten, die im einzelnen differenzierte Massnahmen ermöglichen. In diesem Sinne ist er eine wichtige Hilfe, mit Massnahmen gezielt dort anzusetzen, wo mit angemessenem Aufwand noch nennenswerte Stofffrachtreduktionen erreicht werden können.

## Auftrag

Im November 1996 hat die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, 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 1996/97 abzuschätzen. Folgende Fragestellungen standen im Vordergrund:

- Wie hoch war der Anteil der diffusen Quellen an den gesamten Phosphor- und Stickstoffeinträgen im Bodensee-Einzugsgebiet 1996/97?
- Welche Veränderungen hat es gegenüber den Ergebnissen der Modellberechnungen 1985/86 gegeben?
- Warum hat es Veränderungen gegenüber den Ergebnissen der Modellberechnungen 1985/86 gegeben?
- Welches waren die wichtigsten diffusen Eintragspfade und gab es regionale Unterschiede?
- Wie hoch war die natürliche Hintergrundlast?
- 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 'Fachbereich Einzugsgebiet'. Unter Vorsitz von Dr. U. Widmer (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 (Landratsamt Ravensburg, Amt für Wasser- und Immissionsschutz, Amt für Landwirtschaft, Landschaft- und Bodenkultur Ravensburg, Institut für Seenforschung Langenargen, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Amt für Landwirtschaft und Ernährung Kempten/Lindau, Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, Amt der Vorarlberger Landesregierung, Amt für Gewässerschutz des Fürstentums Liechtenstein und Bundesamt für Statistik der Schweiz.

## Zusammenfassung

Im Auftrag der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) wurden die Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Gewässer im Einzugsgebiet des Bodensees ein zweites Mal - nach 1985/86 jetzt für das hydrologische Jahr 1996/97 - mit Hilfe eines Stofffluss-Modells geschätzt. Das Modell hatte sich bei der Abschätzung der diffusen Stoffeinträge im Bodensee-Einzugsgebiet 1985/86 bewährt. Entsprechend wurde methodisch analog zum ersten Bericht vorgegangen. Das Bodensee-Einzugsgebiet wurde in 18 Flusseinzugsgebiete untergliedert, für die jeweils eine Abschätzung durchgeführt wurde.

Die Berechnung der Stofffrachten aus den verschiedenen Eintragspfaden (Abschwemmung, Erosion, Auswaschung, atmosphärische Deposition, landwirtschaftliche Direkteinträge) erfolgte durch Multiplikation berechneter Wasserflüsse (Oberflächenabfluss, Sickerwasser, Drainagenabfluss, Niederschlag auf Gewässer) mit entsprechenden nutzungs- und gebiets-spezifischen Stoffkonzentrationen. Über eine Kontrollberechnung und den Vergleich mit den in den Zuflüssen gemessenen Stofffrachten wurden alle Werte auf Plausibilität geprüft.

Die Ergebnisse wurden den Resultaten von 1985/86 gegenübergestellt. Der Vergleich zeigt Veränderungen auf, die teilweise auf den veränderten klimatischen Bedingungen der Vergleichsperioden, teilweise auf veränderten Landnutzungen und Bewirtschaftungsweisen beruhen.

### Phosphoreinträge:

Von der **Gesamt-Phosphorfracht** ( $1\,526\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1} = 100\%$ ) im Bodensee-Einzugsgebiet stammten 1996/97 nach den Modellrechnungen  $1\,344\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1} (= 88\%)$  aus diffusen Quellen,  $182\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1} (= 12\%)$  aus punktuellen Quellen. Die Einträge aus diffusen Quellen haben sich damit gegenüber 1985/86 um  $447\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. 25% verringert. Ihr prozentualer Anteil an der Gesamtbelastung hat sich dagegen von 76% (1985/86) auf 88% (1996/97) erhöht, da die Einträge aus punktuellen Quellen stärker ( $395\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. 68%) abgenommen haben. Die **Abnahme der Gesamt-Phosphoreinträge** aus diffusen Quellen von  $447\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. 25% gegenüber 1985/86 ist grössenordnungsmässig **zu zwei Dritteln (= rund  $297\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. 17%) den veränderten klimatischen Bedingungen** der beiden Vergleichsjahre und **zu einem Drittel (= rund  $150\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. 8%) den veränderten (landwirtschaftlichen) Nutzungen** zuzuschreiben.  $972\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1} (= 72\%)$  der diffusen Gesamt-Phosphorfracht waren partikulär gebundener Phosphor,  $372\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1} (= 28\%)$  gelöster Phosphor. Der grösste Teil des partikulär gebundenen Phosphors stammte aus der natürlichen Erosion der alpinen Gebiete und war nicht bioverfügbar.  $860\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1} (= 64\%)$  der diffusen Gesamt-Phosphorfracht waren der natürlichen Hintergrundlast,  $483\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1} (= 36\%)$  der anthropogen diffusen Belastung zuzuschreiben. Vor allem die alpinen Gebiete trugen zu dem hohen Anteil der natürlicher Hintergrundlast bei. Die wichtigsten Eintragspfade waren mit  $915\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1} (= 69\%)$  die 'natürliche' Erosion und mit  $180\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1} (= 14\%)$  die Abschwemmung von Grasland.

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

Von der **gelösten Phosphorfracht** ( $513 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1} = 100\%$ ) im Bodensee-Einzugsgebiet stammten 1996/97 nach den Modellrechnungen  $372 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  ( $= 73\%$ ) aus diffusen Quellen,  $141 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  ( $= 27\%$ ) aus punktuellen Quellen. Die Einträge aus diffusen Quellen haben sich damit gegenüber 1985/86 um  $265 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw.  $42\%$  verringert. Diese **Abnahme** gegenüber 1985/86 ist grössenordnungsmässig **zur Hälfte ( $=$  rund  $132 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw.  $21\%$ ) den veränderten klimatischen Bedingungen** der beiden Vergleichsjahre und **zur Hälfte ( $=$  rund  $132 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw.  $21\%$ ) den veränderten (landwirtschaftlichen) Nutzungen** zuzuschreiben.  $112 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  ( $= 30\%$ ) der diffusen gelösten Phosphorfracht stammten aus der natürlichen Hintergrundlast,  $260 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  ( $= 70\%$ ) aus der anthropogen diffusen Belastung.

Die verschiedenen Einzugsgebiete trugen je nach Gebietsgrösse, naturräumlichen und klimatischen Verhältnissen sowie der anthropogenen Belastungsintensität unterschiedlich stark zur diffusen Gesamt-Phosphor- und gelösten Phosphorfracht im Bodensee-Einzugsgebiet bei. Mit  $704 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  Gesamt-Phosphor lieferte das grösste Gebiet (Alpenrhein) den höchsten Anteil ( $52\%$ ), mit  $4 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  Gesamt-Phosphor das kleinste Gebiet (Randgebiet Obersee BY) den niedrigsten Anteil ( $0.3\%$ ) der gesamten diffusen Phosphorfracht ( $1\,344 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$ ). Die flächenspezifischen diffusen Gesamt-Phosphoreinträge schwankten zwischen  $1,72 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  (Bregenzerach) und  $0,40 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  (Radolfzeller Aach), die flächenspezifischen diffusen gelösten Phosphoreinträge zwischen  $0,77 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  (Argen) und  $0,16 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  (Radolfzeller Aach). Die Veränderungen gegenüber 1985/86 hinsichtlich Belastungshöhen, -anteilen und -ursachen waren regional sehr unterschiedlich.

### Stickstoffeinträge:

Von der **Gesamt-Stickstofffracht** ( $18\,693 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1} = 100\%$ ) im Bodensee-Einzugsgebiet stammten 1996/97 nach den Modellrechnungen  $15\,063 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  ( $= 81\%$ ) aus diffusen Quellen,  $3\,630 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  ( $= 19\%$ ) aus punktuellen Quellen. Die Einträge aus diffusen Quellen haben sich damit gegenüber 1985/86 um  $3\,203 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw.  $18\%$  verringert. Ihr prozentualer Anteil an der Gesamtbelastung hat sich dagegen von  $77\%$  (1985/86) auf  $81\%$  (1996/97) erhöht, da die Einträge aus punktuellen Quellen stärker ( $1\,936 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw.  $35\%$ ) abgenommen haben. Die **Abnahme der Gesamt-Stickstoffeinträge** aus diffusen Quellen von  $3\,203 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw.  $18\%$  gegenüber 1985/86 ist grössenordnungsmässig **etwas mehr als zur Hälfte ( $=$  rund  $1\,750 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw.  $10\%$ ) den veränderten klimatischen Bedingungen** der beiden Vergleichsjahre und **etwas weniger als zur Hälfte ( $=$  rund  $1\,450 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw.  $8\%$ ) den veränderten (landwirtschaftlichen) Nutzungen** zuzuschreiben.  $13\,009 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  ( $= 86\%$ ) der diffusen Gesamt-Stickstofffracht waren gelöster Stickstoff,  $2\,054 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  ( $= 14\%$ ) partikulär gebundener Stickstoff.  $6\,294 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  ( $= 42\%$ ) der diffusen Gesamt-Stickstofffracht waren der natürlichen Hintergrundlast,  $8\,769 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  ( $= 58\%$ ) der anthropogen diffusen Belastung zuzuschreiben. Vor allem die alpinen Gebiete trugen zu dem hohen Anteil der natürlicher Hintergrundlast bei. Die wichtigsten Eintragspfade waren mit  $4\,348 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  ( $= 29\%$ ) die Auswaschung unter Grasland, mit  $2\,618 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  ( $= 17\%$ ) die Auswaschung unter Ackerland und mit  $2\,021 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  ( $= 13\%$ ) die Auswaschung unter Wald.

Von der **gelösten Stickstofffracht** ( $16\,639 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1} = 100\%$ ) im Bodensee-Einzugsgebiet stammten 1996/97 nach den Modellrechnungen  $13\,009 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  ( $= 78\%$ ) aus diffusen Quellen,  $3\,630 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  ( $= 22\%$ ) aus punktuellen Quellen. Die Einträge aus diffusen Quellen haben sich damit gegenüber 1985/86 um  $2\,690 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw.  $17\%$  verringert. Diese **Abnahme** ist grössenordnungsmässig etwas mehr als **zur Hälfte ( $=$  rund  $1\,440 \text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw.  $9\%$ ) den verän-**

**derden klimatischen Bedingungen** der beiden Vergleichsjahre und etwas weniger als **zur Hälfte (= rund 1 250 t N·y<sup>-1</sup> bzw. 8%) den veränderten (landwirtschaftlichen) Nutzungen** zuzuschreiben. 4 688 t N·y<sup>-1</sup> (= 36%) der diffusen gelösten Stickstofffracht stammten aus der natürlichen Hintergrundlast, 8 321 t N·y<sup>-1</sup> (= 64%) aus der anthropogen diffusen Belastung.

Die verschiedenen Einzugsgebiete trugen analog zum Phosphor je nach Gebietsgrösse, naturräumlichen und klimatischen Verhältnissen sowie der anthropogenen Belastungsintensität unterschiedlich stark zur diffusen Gesamt-Stickstoff- und gelösten Stickstofffracht im Bodensee-Einzugsgebiet bei. Mit 3 968 t N·y<sup>-1</sup> Gesamt-Stickstoff lieferte das grösste Gebiet (Alpenrhein) den höchsten Anteil (26%), mit 84 t N·y<sup>-1</sup> Gesamt-Stickstoff das kleinste Gebiet (Randgebiet Obersee BY) den niedrigsten Anteil (0.6%) der gesamten diffusen Stickstofffracht (15 063 t N·y<sup>-1</sup>). Die flächenspezifischen diffusen Gesamt-Stickstoffeinträge schwankten zwischen 19,5 kg N·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup> (Rotach) und 8,8 kg N·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup> (Alpenrhein), die flächenspezifischen diffusen gelösten Stickstoffeinträge zwischen 18,2 kg N·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup> (Rotach) und 6,4 kg N·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup> (Alpenrhein). Die Veränderungen gegenüber 1985/86 hinsichtlich Belastungshöhen, -anteilen und -ursachen waren regional sehr unterschiedlich.



# 1. Einleitung

Im Auftrag der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) wurden in den hydrologischen Jahren 1995/96 und 1996/97 an den wichtigsten Zuflüssen des Bodensees und den seeanliegenden Abwasserreinigungsanlagen Messungen der in den See gelangenden Phosphor- und Stickstofffrachten durchgeführt (WAGNER 1998). Diese Zuflussuntersuchungen ergaben einen Rückgang der Phosphoreinträge in den Bodensee seit der letzten Untersuchung 1985/86 (WAGNER & BÜHRER 1989). Auch die gemessenen Phosphorkonzentrationen im Bodensee sind weiter gesunken und haben inzwischen einen Wert von  $17 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  erreicht. Dieser Rückgang wird zu einem grossen Teil den Massnahmen im Bereich der Abwasserreinigung zugeschrieben (ROSSKNECHT 1998). Aber auch im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzung sind Veränderungen eingetreten, die Auswirkungen auf die Stoffeinträge in den See erwarten lassen.

In der vorliegenden Studie werden die Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Gewässer im Einzugsgebiet des Bodensees für das hydrologische Jahr 1996/97 mit Hilfe eines Stofffluss-Modells geschätzt. Das Modell hat sich bei der Abschätzung der diffusen Stoffeinträge im Bodensee-Einzugsgebiet 1985/86 bereits bewährt (PRASUHN et al. 1996). Es erfasst alle diffusen Belastungsquellen. Die Ergebnisse werden den Einträgen aus punktuellen Quellen gegenübergestellt. Die Abschätzung soll einen regional abgestuften Überblick über die verschiedenen Eintragspfade (punktuell oder diffus) geben und einen allfälligen Handlungsbedarf für weitere Massnahmen aufzeigen.

Unter **diffusen Quellen** werden in der vorliegenden Untersuchung die Einträge durch Oberflächenabfluss (Abschwemmung und Erosion), Sickerung (Auswaschung und Drainageinträge), die direkten Stoffeinträge aus der Atmosphäre in die Gewässer sowie kleinere, verstreut aus dem ländlichen Areal stammende Direkteinträge verstanden. Die diffusen Quellen werden unterteilt in die **natürliche Hintergrundlast** und die **anthropogen diffuse Belastung**. Die anthropogen diffuse Belastung resultiert zum grössten Teil aus der Landwirtschaft.

Mit dem Stofffluss-Modell werden die **Stoffausträge** aus der Landschaft bzw. die **Stoffeinträge in das Gewässernetz im Einzugsgebiet des Bodensees** erfasst. In den Gewässern erfolgen Umsetzungsprozesse. Die Zuflussuntersuchungen erfassen die **Stoffeinträge in den Bodensee**.

Da sich die klimatischen Verhältnisse der Jahre 1985/86 und 1996/97 in den einzelnen Einzugsgebieten z.T. deutlich unterscheiden, muss beim Vergleich der Ergebnisse der Stofffrachten zunächst wertneutral von **Veränderungen** ausgegangen werden. Erst in Kapitel 4 wird aufgezeigt, inwieweit diese Veränderungen den klimatischen Verhältnissen oder der veränderten landwirtschaftlichen Nutzung zuzuschreiben sind. Nur die aus der veränderten landwirtschaftlichen Nutzung resultierenden Veränderungen sind als eigentliche **Abnahme** zu verstehen.

## 2. Methodik

### 2.1 Abgrenzung und Grobcharakterisierung der Einzugsgebiete

Die Einteilung der hydrologischen Einzugsgebiete (EZG) wurde aus PRASUHN et al. (1996) übernommen (Abb. 1). Bilanzierungspunkte für die Einzugsgebiete sind die Pegelmessstellen, an denen die Konzentrationsmessungen 1996/97 durchgeführt wurden. Kleinster Flächenbezug für die Erhebungen und Berechnungen ist die Gemeinde. In Tab. 1 sind die Hauptnutzungskategorien und Flächenanteile der verschiedenen Länder am Bodensee-Einzugsgebiet dargestellt. Tab. 2 zeigt die Flächenanteile und die politische Zugehörigkeit der ausgeschiedenen Einzugsgebiete. Gegenüber 1985/86 haben die Waldfläche um rund 11'000 ha und die Siedlungsfläche um rund 6'000 ha zugenommen, während die Landwirtschaftliche Nutzfläche um ca. 16'000 ha und die unproduktive Fläche um gut 1'000 ha abgenommen haben (vgl. Tab. 3).

Land	Fläche (ha)	Anteil an Gesamt- fläche (%)	Wald (ha)	Landwirt. Nutzfläche (ha)	Unpro- duktiv (ha)	Siedlung (ha)
<b>Obersee</b>						
Bayern (BY)	58 737	5.4	18 883	34 405	1 608	3 840
Baden-Württemberg (BW)	212 110	19.4	60 482	124 967	3 311	23 351
Vorarlberg (A)	233 532	21.4	75 518	122 884	25 199	9 932
Schweiz (CH)	519 886	47.6	131 874	203 469	166 072	18 471
Liechtenstein (FL)	16 001	1.5	6 790	6 544	591	2 076
Italien (I)	5 400	0.5	75	0	5 325	0
Seefläche	47 230	4.3	0	0	47 230	0
<b>Obersee Gesamt</b>	<b>1 092 896</b>	<b>100.0</b>	<b>293 622</b>	<b>492 269</b>	<b>249 336</b>	<b>57 670</b>
<b>Untersee</b>						
Baden-Württemberg (BW)	42 000	77.0	14 629	19 726	953	6 692
Schweiz (CH)	6 228	11.4	2 503	2 708	59	958
Seefläche	6 240	11.6	0	0	6 240	0
<b>Untersee Gesamt</b>	<b>54 468</b>	<b>100.0</b>	<b>17 132</b>	<b>22 434</b>	<b>7 252</b>	<b>7 650</b>
<b>Bodenseegebiet insge- samt</b>	<b>1 147 364</b>	<b>100%</b>	<b>310 754</b> 27.1%	<b>514 703</b> 44.9%	<b>256 588</b> 22.4%	<b>65 320</b> 5.7%

Tab. 1: Landnutzung und Flächenanteile der verschiedenen Länder am oberirdischen Bodensee-Einzugsgebiet. Detaillierte Aufschlüsselung der Landnutzung siehe Anhang Tab. A1 - A6.

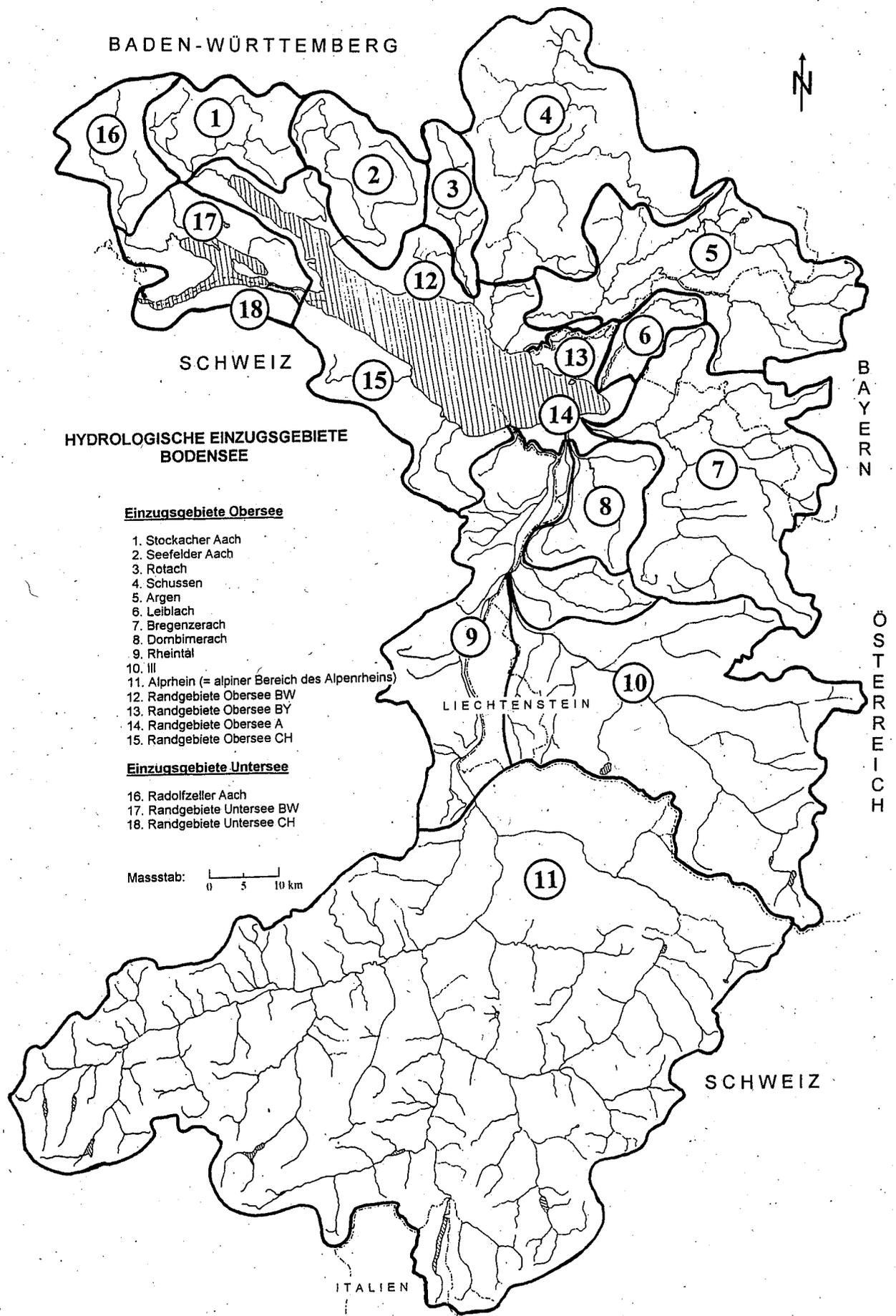


Abb. 1: Hydrologische Einzugsgebiete für die Ermittlung der diffusen Nährstoffbelastungen.

Einzugsgebiet	Kürzel	Pegelmessstelle	Fläche (ha)	Anteil an Gesamt- Fläche (%)	politische Zugehörig- keit (%)
Stockacher Aach	Stock.	Wahlwies	21 289	1.9	100 BW
Seefelder Aach	Seef.	Mühlhofen	27 277	2.5	100 BW
Rotach	Rot.	Friedrichshafen	13 080	1.2	100 BW
Schussen	Schu.	Gerbertshaus	78 912	7.2	100 BW
Argen	Argen	Giessen	65 344	6.0	63 BW 37 BY
Leiblach	Leib.	Unterhochsteg	10 472	1.0	74 BY 26 A
Bregenzerach	Breg.	Kennelbach	82 522	7.6	74 A 26 BY
Dornbirnerach	Dorn.	Lauterach-Lustenau	19 782	1.8	100 A
Rheintal	Rh'tal	Rhein - Lustenau Alter Rhein - St.Margr. Lusten. Kanal - Lustenau	81 385	7.4	63 CH 24 A 13 FL
Ill	Ill	Feldkirch-Gisingen	128 150	11.7	96 A 4 FL
Alpenrhein	Alprh.	Maienfeld	445 275	40.7	99 CH 1 I
Bodenseerand- gebiete BW	Rg BW	-	30 543	2.8	100 BW
Bodenseerand- gebiete BY	Rg BY	-	5 230	0.5	100 BY
Bodenseerand- gebiete A	Rg A	-	7 502	0.7	100 A
Bodenseerand- gebiete CH	Rg CH	-	28 903	2.6	100 CH
Seefläche		-	47 230	4.3	-
<b>Obersee Gesamt</b>			<b>1 092 896</b>	<b>100.0</b>	
Radolfzeller Aach ohne Aach-Quelle	Radol.	Rielasingen	20 401	37.5	100 BW
Bodenseerand- gebiete BW	Rg BW	-	21 599	39.7	100 BW
Bodenseerand- gebiete CH	Rg CH	-	6 228	11.4	100 CH
Seefläche		-	6 240	11.5	-
<b>Untersee Gesamt</b>			<b>54 468</b>	<b>100.0</b>	
<b>Bodenseegebiet insgesamt</b>			<b>1 147 364</b>		

Tab. 2: Flächenanteile und politische Zugehörigkeit der untersuchten Einzugsgebiete am Bodensee-Einzugsgebiet 1996/97.

Die Flächenangaben unterscheiden sich aufgrund unterschiedlicher Erhebungsmethoden z.T. geringfügig von den 1985/86 zugrunde gelegten Daten und von anderen, in der Literatur gefundenen Daten.

## 2.2 Stofffluss-Modell

Die Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Gewässer erfolgte über ein im Tabellenkalkulationsprogramm EXCEL 97 entwickeltes Stofffluss-Modell. Das verwendete Stofffluss-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 1996/97 (= 1. Nov. 96 bis 31. Okt. 97) gewählt. Die Modellgrundlagen sind bei PRASUHN et al. (1996) 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 erfolgte die Anpassung der Werte an die klimatischen Verhältnisse im hydrologischen Jahr 1996/97 auf der Grundlage der 1985/86 verwendeten Werte sowie der seinerzeit berechneten langjährigen, mittleren Wasserflüsse und Stoffkonzentrationen.

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 und Grasland - mit einem anderen Ansatz berechnet. Statt Wasserflüssen und Stoffkonzentrationen gingen hier nutzungsspezifische Stofffrachten (in  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) in die Berechnung ein. Dadurch wurde neben einer detaillierteren Aufschlüsselung der Eintragswege eine zusätzliche Kontrolle des Stofffluss-Modells ermöglicht. Da die Datengrundlagen für die Kontrollberechnung im Gegensatz zur vormaligen Berechnung diesmal für alle Länder sehr detailliert vorlagen und z.T. auch aktueller waren als die der Hauptberechnung, und weil die klimatischen Verhältnisse 1996/97 eher dem langjährigen Mittel entsprachen, wurde methodisch leicht anders vorgegangen. Während für die Zusammenstellung der Ergebnisse 1985/86 nur die Daten der Hauptberechnung verwendet wurden, wurde diesmal der Mittelwert von Haupt- und Kontrollberechnung genommen.

## 2.3 Datenerhebung und Veränderungen gegenüber 1985/86

### 2.3.1 Landnutzung

Die Datenerhebung erfolgte analog den Erhebungen für 1985/86 aus Flächenstatistiken und Landwirtschaftlichen Betriebszählungen. Teilweise standen aktuelle und erheblich detaillierter aufgeschlüsselte Daten zur Verfügung, teilweise musste aber auch auf die gleichen Daten wie im Modell 1985/86 zurückgegriffen werden (Details siehe Anhang, Tab. A1 – A5). Inwieweit die im Zeitvergleich rechnerisch ermittelten Landnutzungsänderungen den tatsächlichen Nutzungsänderungen entsprechen, kann nicht geklärt werden. Verschiedene Einflussfaktoren (andere Datenquellen, verfahrenstechnische Verbesserungen bei der Da-

tenerfassung sowie neue Nutzungskategorien oder geänderte Flächenzuordnungen bei den Quelldaten, neue Gemeindeeinteilungen, etc.) spielen hier eine Rolle. Tendenziell sind die meisten Änderungen plausibel.

In Tab. 3 und A6 sind für die Hauptnutzungskategorien und ausgewählte Unterkategorien die Veränderungen in der Landnutzung seit 1985/86, wie sie sich aus den jeweiligen Modellen ergeben, für alle Einzugsgebiete dargestellt. Auf die Auswirkungen der verschiedenen Nutzungsänderungen auf die Stoffflüsse wird in den Kapiteln über die Stoffverluste näher eingegangen.

### **2.3.2 Drainageflächen**

Die drainierten Flächenanteile wurden in allen Ländern aus dem Modell 85/86 übernommen, da nirgends neuere Unterlagen zur Verfügung standen. Vermutlich haben sich keine gravierenden Veränderungen ergeben, die die Ergebnisse der Modellberechnungen beeinflussen würden.

### **2.3.3 Phosphor- und Stickstoffanfall aus Hofdüngern**

Der Phosphor- und Stickstoffanfall in den Hofdüngern wurde aus den Tierzahlen der amtlichen Viehzählungen für jede Gemeinde berechnet. Die Tierzahlen wurden in den verschiedenen Ländern mit Hilfe der landesüblichen Schlüssel für Düngergrossvieheinheiten und mit dem jährlichen Nährstoffanfall verrechnet (Details siehe Anhang Tabellen A7 – A16). In Tab. 4 sind die Veränderungen im Phosphor- und Stickstoffanfall aus Hofdüngern zwischen 1985/86 und 1996/97 dargestellt. In nahezu allen Gebieten ist ein mehr oder weniger deutlicher Rückgang des Nährstoffanfalls zu verzeichnen. Dieser fällt beim Phosphor mit 29% für das gesamte Bodensee-Einzugsgebiet höher aus als beim Stickstoff (15%), da vor allem die Schweinebestände stark abgenommen haben. Die Änderungen im Hofdüngieranfall können aber auch z. T. durch Änderungen bei den Tierkategorien (Detaillierungsgrad) sowie bei den Umrechnungsfaktoren beeinflusst worden sein. Die Tierzahlen der Hauptkategorien weisen aber zumindest ähnliche zeitliche Veränderungen auf. Auf den Einfluss des verringerten Nährstoffanfalls auf die Stoffflüsse wird in den Kapiteln über die Stoffverluste näher eingegangen.

### **2.3.4 Klimatische Verhältnisse und Berechnung der Wasserbilanz**

Die Gebietsniederschläge wurden aus amtlichen Daten für jede Gemeinde abgeleitet und gingen in das Modell als Korrekturwerte zu den bestehenden Werten ein (Details siehe Anhang A3). Die Verdunstung (= aktuelle Evapotranspiration) wurde nach dem gleichen Schema wie für die Modellrechnungen 1985/86 gemeindeweise abgeschätzt. Der Abfluss errechnet sich aus der Differenz von Niederschlag und Verdunstung (inkl. Speicheränderungen in Gletschern, Boden, etc.). Die für die Periode 1996/97 ermittelten Werte für Niederschlag und Verdunstung (inkl. Speicheränderungen) wurden in allen Einzugsgebieten den entsprechenden gemessenen und berechneten Gebietsabflüssen gegenübergestellt und auf Plausibilität

geprüft. Die berechnete Abflussmenge umfasst den gesamten in einem Gebiet entstehenden oberirdischen und unterirdischen Abfluss, unabhängig davon, ob unter- oder oberirdische Zu- oder Wegflüsse existieren. Bei den berechneten Abflussmengen können sich daher Abweichungen von den oberirdisch gemessenen Abflussmengen an den Pegelmessstellen ergeben (z.B. Radolfzeller Aach ohne Donauzufluss über Aach-Quelle). Auf die gebietsspezifischen Besonderheiten wurde bereits bei PRASUHN et al. (1996, Anhang) näher eingegangen.

Der Vergleich der ermittelten hydrologischen Daten zu den Werten von 1985/86 zeigt folgendes Bild (Tab. 5): Der Niederschlag liegt im Mittel aller Gebiete mit 1375 mm um 8% unter dem Wert von 1985/86. In den Gebieten Stockacher Aach, Seefelder Aach, Schussen und Rg BW liegt er um über 25% unter dem der Periode 1985/86. Einzig im Gebiet Ill wurde 1996/97 ein höherer Niederschlag ermittelt. Die Verdunstung/Speicherung ist aufgrund der geringeren Niederschläge und veränderter Landnutzung noch niedriger und erreicht im Mittel nur 86% des Vergleichswertes von 1985/86. Die Abflussmenge liegt im Mittel um 5% unter dem Wert von 1985/86. Während in drei Gebieten sogar ein leicht höherer Abfluss errechnet wurde, beträgt er im Gebiet Rotach nur 59% vom Wert von 1985/86.

Der Vergleich mit den 1985/86 berechneten langjährigen Mittelwerten zeigt in den meisten Gebieten geringere Abweichungen (Tab. A17). Insgesamt kann man für das Bodensee-Einzugsgebiet 1996/97 von leicht unterdurchschnittlichen klimatischen Verhältnissen sprechen, wobei es aber auch einige Gebiete mit überdurchschnittlichen Bedingungen gab (Rheintal, Radolfzeller Aach, Rg BY).

## 2.4 Berechnung der Wasserflüsse

Die Berechnung der Wasserflüsse erfolgte analog zu den Berechnungen im Modell 1985/86 (PRASUHN et al. 1996). Die gegenüber dem Modell 1985/86 überwiegend geringeren Niederschläge und die veränderte Landnutzung führten zu anderen Verdunstungswerten und zu anderen - meist geringeren - potentiellen Abflussmengen.

### - Oberflächenabfluss (= Abfluss über die Geländeoberfläche)

Für den Oberflächenabfluss wurden die Annahmen verwendet, die bei PRASUHN et al. (1996) für die Berechnung der Mittelwerte zugrunde gelegt wurden:

- 7% Oberflächenabfluss von der potentiellen Abflussmenge auf Gras- und Ackerlandflächen in Hanglagen
- 5% der potentiellen Abflussmenge auf unproduktiver Vegetation
- 3% der potentiellen Abflussmenge unter Wald
- 30% der potentiellen Abflussmenge auf versiegelten Flächen ausserorts
- nur 75% des Oberflächenabflusses auf Grasland, Ackerland, unproduktiver Vegetation und Wald gelangen bis in die Gewässer

Im Modell 1985/86 wurden wegen der häufigeren Starkregen 10-20% höhere Werte für den Oberflächenabfluss verwendet und es wurde davon ausgegangen, dass 85% bis in die Gewässer gelangten.

### - Drainagenabfluss

Für alle drainierten Flächen wurden die gleichen Annahmen wie 1985/86 für den Drainagenabfluss getroffen:

- 75% Drainagenabfluss der potentiellen Abflussmenge auf Gras- und Ackerland in den niederschlagsärmeren Gebieten im Bodenseebereich
- 65% in den voralpinen Gebieten
- 55% in den niederschlagsreichen alpinen Gebieten

Der Rest der in den Boden einsickernden Wassermenge gelangte entweder durch schnellen Zwischenabfluss ins Fließgewässer oder versickert weiter in die Tiefe.

### **- Zwischenabfluss, Quellenabfluss und Grundwasserabfluss**

Die totale Sickerwassermenge (exkl. Drainagenabfluss) errechnet sich aus der Differenz zwischen der totalen Abflussmenge und der Summe aus Oberflächenabfluss und Drainagenabfluss.

### **- Natürliche Hintergrundlast**

Die Wasserflüsse wurden für die potentielle natürliche Vegetation (= Wald) neu berechnet, wobei die Niederschlagsmengen gegenüber der Hauptberechnung unverändert blieben.

## **2.5 Berechnung der Stoffflüsse**

Die Berechnung der Stofffrachten erfolgte analog zu den Berechnungen im Modell 1985/86 (PRASUHN et al. 1996). Die Wasserflüsse wurden mit Stoffkonzentrationen (nutzungs- und gebietsspezifische Verlustkoeffizienten) verrechnet. Bedingt durch Veränderungen bei den Wasserflüssen, der Landnutzung und der Bewirtschaftungsweise wurden die nutzungs- und gebietsspezifischen Verlustkoeffizienten teilweise angepasst. Die neu verwendeten Werte finden sich im Anhang (Tab. A18 - A22). Kriterien für die Neubeurteilung werden in Kap. 4 beschrieben. Als zusätzliche, neue Literatur wurden folgende Arbeiten herangezogen: BACH & FREDE (1998), FREDE & DABBERT (1998), GÄCHTER et al. (1996), JORDAN & MÜLLER (1998), LADEMANN & PÖTHIG (1994), LANGNER (1998), POMMER et al. (1997), RICHTER (1998), SCHRÖPEL (1997), UBA (1994). Für die wichtigsten Eintragspfade (Abschwemmung von Grasland, Bodenerosion von Ackerland, Auswaschung unter Gras- und Ackerland) wurde wiederum analog zu PRASUHN et al. (1996) eine Kontrollberechnung durchgeführt. Auch hier wurden die nutzungs- und gebietsspezifischen Verlustkoeffizienten neu angepasst (Tab. A23 - A27 und Kap. 4). Die Ergebnisse von Haupt- und Kontrollberechnung werden im Anhang gegenübergestellt (Tab. A28 - A31). Beide Berechnungsansätze liefern im allgemeinen eine zufriedenstellende Übereinstimmung. Da die Hauptberechnung die Wasserflüsse und die Reliefeigenschaften stärker berücksichtigt, die Kontrollberechnung dagegen die Landnutzung und die Bewirtschaftungsweise, wurde der Mittelwert beider Berechnungen für die weiteren Auswertungen verwendet (vgl. Kap. 2.2).

Landnutzungsveränderung 1985/86 - 1996/97										
	Wald	unprod.	Siedlung	LN	Offene Ackerfläche			Grasland	übriges	
						Getreide	Mais		Kunstpiesen	Kulturland
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)
Stockacher Aach	89	-3	423	-506	1428	1291	-399	-1986	92	52
Seefeldler Aach	61	-1	296	-363	1385	1098	-285	-1789	47	41
Rotach	57	25	450	-530	353	403	-138	-937	35	54
Schussen	1263	48	613	-1923	525	1471	-1325	-2268	312	-180
Argen	1415	22	654	-2084	-634	-176	-433	-660	-157	-791
Leiblach	62	19	70	-150	38	11	18	99	10	-286
Bregenzerach	4843	56	309	-5237	18	-3	2	-3559	21	-1695
Dornbirnerach	174	-47	281	-407	22	-66	50	-84	213	-346
Rheintal	-668	-160	520	323	670	-350	857	-673	762	326
Ill	2800	-1216	201	-1799	29	-19	21	2140	115	-3968
Alpenrhein	0	0	0	0	-275	-7	-201	68	-238	208
Rg BW	237	-68	521	-582	-620	-210	-479	720	-83	-682
Rg BY	-9	-2	93	-81	20	-1	18	-285	1	184
Rg A	0	-77	343	-270	98	32	22	-117	84	-251
Rg CH	0	0	441	-441	368	286	-114	-2172	225	1364
<b>Obersee</b>	<b>10324</b>	<b>-1404</b>	<b>5214</b>	<b>-14050</b>	<b>3426</b>	<b>3761</b>	<b>-2386</b>	<b>-11503</b>	<b>1438</b>	<b>-5970</b>
Radolfzeller Aach	600	60	274	-932	580	754	-502	-1811	44	299
Rg BW	119	41	590	-766	-89	257	-259	-1280	-204	603
Rg CH	0	0	173	-173	121	75	-28	-425	30	132
<b>Untersee</b>	<b>719</b>	<b>101</b>	<b>1037</b>	<b>-1871</b>	<b>613</b>	<b>1086</b>	<b>-789</b>	<b>-3516</b>	<b>-130</b>	<b>1033</b>
<b>Gesamt (ha)</b>	<b>11043</b>	<b>-1303</b>	<b>6251</b>	<b>-15921</b>	<b>4038</b>	<b>4846</b>	<b>-3175</b>	<b>-15020</b>	<b>1307</b>	<b>-4936</b>
<b>(%)</b>	<b>+4</b>	<b>-1</b>	<b>+11</b>	<b>-3</b>	<b>+7</b>	<b>+18</b>	<b>-15</b>	<b>-3</b>	<b>+23</b>	<b>-27</b>

Tab. 3: Veränderungen der Landnutzung (ausgewählte Kategorien) in Hektaren zwischen 1985/86 und 1996/97.

Vergleich Nährstoffanfall aus Hofdüngern 1985/86 - 1996/97								
	P-Anfall				N-Anfall			
	1985/86	1996/97	Differenz		1985/86	1996/97	Diferenz	
	(t P)	(t P)	(t P)	(%)	(t N)	(t N)	(t N)	(%)
Stockacher Aach	254	154	-100	61	1363	968	-395	71
Seefelder Aach	317	202	-115	64	1669	1245	-424	75
Rotach	202	125	-77	62	1087	788	-299	72
Schussen	1344	892	-452	66	7383	5722	-1661	78
Argen	1149	796	-353	69	6478	5377	-1101	83
Leiblach	206	143	-63	69	1151	948	-203	82
Bregenzerach	567	423	-144	75	3154	2807	-347	89
Dornbirmerach	130	97	-33	75	720	624	-96	87
Rheintal	899	676	-223	75	4716	4285	-431	91
Ill	265	198	-67	75	1472	1291	-181	88
Alpenrhein	829	702	-127	85	4667	4697	30	101
Rg BW	270	169	-101	63	1477	1076	-401	73
Rg BY	57	38	-19	67	321	255	-66	79
Rg A	71	46	-25	65	391	298	-93	76
Rg CH	727	523	-204	72	3518	3223	-295	92
<b>Obersee</b>	<b>7287</b>	<b>5184</b>	<b>-2103</b>	<b>71</b>	<b>39567</b>	<b>33604</b>	<b>-5963</b>	<b>85</b>
Radolfzeller Aach	161	104	-57	65	873	649	-224	74
Rg BW	122	74	-48	61	660	464	-196	70
Rg CH	74	54	-20	73	354	329	-25	93
<b>Untersee</b>	<b>357</b>	<b>232</b>	<b>-125</b>	<b>65</b>	<b>1887</b>	<b>1442</b>	<b>-445</b>	<b>76</b>
<b>Gesamt</b>	<b>7644</b>	<b>5416</b>	<b>-2228</b>	<b>71</b>	<b>41454</b>	<b>35046</b>	<b>-6408</b>	<b>85</b>

Tab. 4: Vergleich des Nährstoffanfalls aus Hofdüngern 1985/86 und 1996/97.

<b>Vergleich Hydrologie 1985/86 mit 1996/97</b>									
	<b>Modell Werte 1985/86</b>			<b>Modell Werte 1996/97</b>			<b>Abweichung</b>		
	Niederschlag	Verdunstung	Abfluss	Niederschlag	Verdunstung	Abfluss	Niederschlag	Verdunstung	Abfluss
		Speicherung			Speicherung			Speicherung	
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(%)	(%)
Stockacher Aach	1071	750	321	790	588	202	74	78	63
Seefelder Aach	1172	742	430	875	585	290	75	79	67
Rotach	1160	588	572	894	555	339	77	94	59
Schussen	1171	658	513	849	506	343	72	77	67
Argen	1642	686	956	1369	575	794	83	84	83
Leiblach	1610	647	963	1358	577	781	84	89	81
Bregenzerach	2062	458	1604	1925	390	1535	93	85	96
Dornbirnerach	1675	575	1100	1652	576	1076	99	100	98
Rheintal	1464	690	773	1393	577	816	95	84	106
Ill	1668	328	1340	1761	357	1404	106	109	105
Alpenrhein	1506	396	1110	1431	343	1088	95	87	98
Randgebiet BW	1111	741	370	833	587	246	75	79	67
Randgebiet BY	1387	661	726	1360	605	755	98	92	104
Randgebiet A	1548	614	934	1300	513	787	84	84	84
Randgebiet CH	1429	748	681	1002	567	435	70	76	64
<b>Summe Obersee</b>	<b>1518</b>	<b>501</b>	<b>1017</b>	<b>1398</b>	<b>430</b>	<b>968</b>	<b>92</b>	<b>86</b>	<b>95</b>
Radolfzeller Aach	975	760	215	901	699	202	92	92	94
Randgebiet BW	1117	742	375	847	587	260	76	79	69
Randgebiet CH	1225	739	487	926	581	345	76	79	71
<b>Summe Untersee</b>	<b>1071</b>	<b>749</b>	<b>322</b>	<b>880</b>	<b>634</b>	<b>246</b>	<b>82</b>	<b>85</b>	<b>76</b>
<b>Gesamt-Bodensee</b>	<b>1498</b>	<b>512</b>	<b>987</b>	<b>1375</b>	<b>438</b>	<b>937</b>	<b>92</b>	<b>86</b>	<b>95</b>

Tab. 5: Vergleich der berechneten hydrologischen Gebietsdaten 1985/86 und 1996/97.

### **3. Zusammenstellung der Ergebnisse im hydrologischen Jahr 1996/97 für die verschiedenen Einzugsgebiete und Vergleich mit den Werten von 1985/86**

Im folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der Modellberechnungen aller 18 Einzugsgebiete zusammengestellt und mit denen für 1985/86 verglichen. Abschliessend erfolgt eine Gesamtbetrachtung der Stoffeinträge in die Gewässer unter Berücksichtigung der punktuellen Quellen.

#### **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 10 833 Mio.  $\text{m}^3\text{-y}^{-1}$  wurden die höchsten Zuflussmengen in den grossen alpinen Gebieten (Alpenrhein, Ill, Bregenzerach) erzielt (Tab. 6). Zusammen lieferten sie 80% des dem Bodensee zugeführten Wassers. Der Alpenrhein, der 41% der gesamten Bodensee-Einzugsgebietsfläche umfasst, erreichte allein 48%. Die Zuflüsse zum Untersee (inkl. Aach-Quelle) machten dagegen nur 4% des gesamten Zuflusses aus. Bei den Materialeinträgen lieferten die drei alpinen Gebiete zusammen 85% der Schwebstoffeinträge in den Bodensee; der Alpenrhein alleine erreichte 66%. Die Zuflüsse des Untersees lieferten dagegen nicht einmal 1% der gesamten Schwebstofffracht. Die alpinen Gebiete haben somit 1996/97 einen noch grösseren Anteil an den Wasserzuflüssen und Materialeinträgen als 1985/86.

###### **b) Relative Werte**

Die höchsten prozentualen Anteile der verschiedenen Wasserflüsse am Gesamtabfluss fielen in allen Gebieten auf den Sickerwasserabfluss (83 - 95%, Tab. 7). Im Gebiet Alpenrhein 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. Aufgrund der geringeren Niederschläge, anderen Verdunstungswerten und Landnutzungsänderungen lag die Sickerwassermenge (ohne Drainagen, inkl. Abfluss vegetationsloser Flächen) im Mittel bei 96% des Wertes von 1985/86, wobei jedoch grosse Gebietsunterschiede bestehen. Aufgrund der geringeren Niederschläge lag die Abflussmenge durch Drainagen im Mittel bei 92% des Wertes von 1985/86. Die Summe des Oberflächenabflusses war mit 3 - 5% am Gesamtabfluss ebenfalls niedriger als 1985/86. Im Mittel betrug er noch 75% vom Wert 1985/86, wobei die Unterschiede aber von Gebiet zu Gebiet sehr gross waren. Auf überbauten und versiegelten Siedlungsflächen flossen vor allem in den Bodenseerandgebieten mit bis zu 12% der gesamten Abflussmenge beachtenswerte Mengen via Kanalisation durch Kläranlagen bzw. Regenüberläufe ab. Bei den Materialeinträgen dominierte in allen Gebieten die 'natürliche Erosion'. Die Bodenerosion auf Ackerflächen erreichte in den ackerbaulich intensiv genutzten Gebieten mit bis zu 23% der gesamten Materialeinträge deutlich geringere Werte als 1985/86.

### c) Flächenspezifische Werte

Die flächenspezifischen Abflüsse waren in allen Gebieten ausser III, Rheintal und Randgebiete Bayern geringer als 1985/86 (Abb. 2). Sie lagen vor allem in den alpinen Gebieten mit hohen Niederschlägen und geringer Verdunstung über dem mittleren Abfluss des gesamten Bodensee-Einzugsgebietes von 937 mm. So lag der Abfluss im Gebiet Bregenzerach mit 1 535 mm um das 7.6-fache über dem Abfluss der Radolfzeller Aach (ohne Aach-Quelle) mit 202 mm.

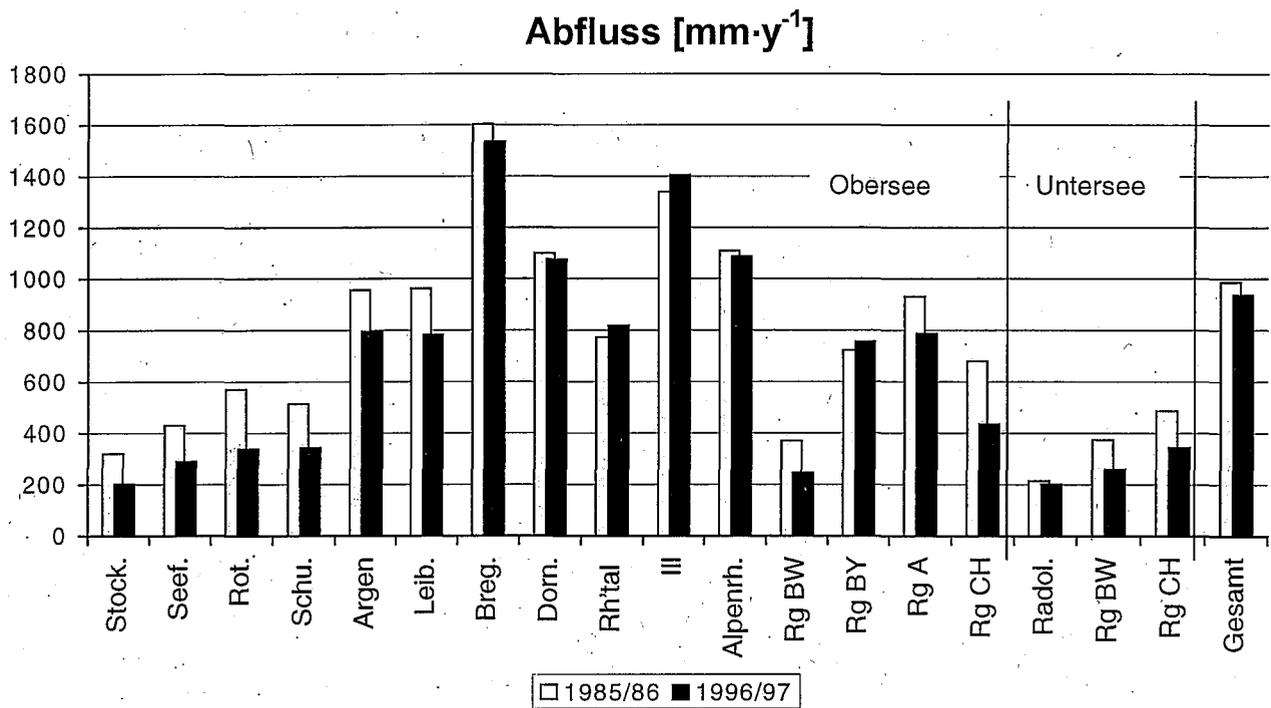


Abb. 2: Abfluss der verschiedenen Einzugsgebiete in den hydrologischen Jahren 1985/86 und 1996/97 (Ergebnisse der Modellberechnungen, nicht der Zuflussuntersuchungen).

### 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. 8). Insgesamt lagen die nutzungsspezifischen Wasserflüsse meistens unter denen von 1985/86, nur in den alpinen Gebieten liegen die Sickerwassermengen unter Wald aufgrund der veränderten Landnutzung höher als 1985/86.

Wasserflüsse (Mio m <sup>3</sup> -y <sup>-1</sup> )	Obersee																Untersee			Gesamt- gebiet
	Stock.	Seef.	Rot.	Schu.	Argen.	Leib.	Breg.	Dom.	Rh'tal	Ill	Alprh.	Rg BW	Rg BY	Rg A	Rg CH	Radol.	Rg BW	Rg CH		
Oberfl.abfluss Grasland Hangl.	0,5	1,0	0,7	5,4	17,0	2,6	36,0	5,1	12,3	49,6	88,2	1,5	1,1	1,6	3,0	0,5	0,8	0,3	227,0	
Oberfl.abfluss Acker Hanglagen	0,9	1,4	0,7	2,7	0,1	0,0	0,0	0,1	1,0	0,2	0,6	0,5	0,0	0,1	0,3	0,7	0,6	0,2	10,0	
Oberfl.abfluss Wald	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	9,8	1,7	4,6	11,4	22,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	52,6	
Oberfl.abfluss unprod. Veg.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,1	0,2	0,6	10,3	22,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	37,0	
Oberfl.abfluss Strassen	0,5	0,7	0,4	2,6	3,3	0,5	3,1	1,4	3,4	2,8	6,1	1,1	0,5	0,5	1,2	0,7	0,9	0,2	29,8	
<b>Summe Oberflächenabfluss</b>	<b>1,9</b>	<b>3,1</b>	<b>1,8</b>	<b>10,7</b>	<b>23,5</b>	<b>3,2</b>	<b>52,0</b>	<b>8,5</b>	<b>21,9</b>	<b>74,3</b>	<b>139,5</b>	<b>3,1</b>	<b>1,7</b>	<b>2,2</b>	<b>4,5</b>	<b>1,9</b>	<b>2,3</b>	<b>0,7</b>	<b>356,5</b>	
Sickerwasser Grasland	9,8	18,7	14,8	105,1	311,4	47,6	626,9	82,9	278,3	899,6	1598,3	29,0	20,7	27,6	60,3	10,1	16,5	5,2	4162,7	
Drainagenabfluss Grasland	0,2	0,7	0,3	3,7	5,0	1,9	36,0	13,5	17,1	5,3	5,3	0,8	0,7	2,4	3,5	0,2	0,3	0,2	97,1	
Sickerwasser Ackerland	19,3	32,3	14,4	62,7	1,8	0,9	0,7	3,3	36,2	4,0	18,6	12,7	1,1	1,8	8,5	15,1	13,3	5,3	252,0	
Drainagenabfluss Ackerland	0,4	1,1	0,3	2,1	0,1	0,0	0,0	0,5	4,5	0,1	0,4	0,3	0,0	0,3	0,9	0,3	0,2	0,2	11,7	
Sickerwasser Wald	6,1	14,7	7,4	50,8	131,0	21,1	426,7	72,9	199,3	495,7	960,0	10,3	4,8	11,8	21,6	5,4	9,1	6,0	2454,5	
Sickerwasser unprod. Veg.	0,2	0,4	0,2	1,0	2,0	0,4	78,5	6,0	16,3	265,3	576,3	0,5	0,4	1,6	0,4	0,4	0,4	0,1	950,4	
Sickerwasser Strassen	1,1	1,7	0,9	6,0	7,7	1,2	7,2	3,3	7,9	6,5	14,1	2,6	1,1	1,2	2,8	1,7	2,1	0,5	69,6	
Sickerwasser Siedlungsgrün	2,0	2,9	1,9	12,8	15,2	2,3	11,3	11,3	35,1	12,8	31,7	5,9	4,2	4,3	12,5	2,8	5,4	2,0	176,3	
Abfluss veg.-lose Flächen*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,1	-	1404,0	-	-	-	0,0	-	-	0,0	1418,2
<b>Summe Sickerwasserabfluss</b>	<b>39,0</b>	<b>72,5</b>	<b>40,2</b>	<b>244,1</b>	<b>474,1</b>	<b>75,5</b>	<b>1187,3</b>	<b>193,8</b>	<b>608,8</b>	<b>1689,3</b>	<b>4608,6</b>	<b>62,1</b>	<b>33,0</b>	<b>51,0</b>	<b>110,6</b>	<b>36,0</b>	<b>47,3</b>	<b>19,5</b>	<b>9592,5</b>	
Abfluss überbaute Siedlungsfl.	2,0	3,0	1,9	12,7	14,2	2,3	13,3	7,2	23,6	17,0	24,6	8,8	4,2	3,3	9,8	3,1	5,3	1,2	157,6	
Niederschlag auf Gewässer	0,1	0,5	0,4	3,5	7,2	0,8	14,2	3,3	10,1	19,0	71,9	1,1	0,6	2,5	0,9	0,3	1,3	0,1	138,0	
<b>Summe restlicher Abfluss</b>	<b>2,2</b>	<b>3,5</b>	<b>2,4</b>	<b>16,3</b>	<b>21,4</b>	<b>3,2</b>	<b>27,5</b>	<b>10,5</b>	<b>33,7</b>	<b>36,0</b>	<b>96,5</b>	<b>10,0</b>	<b>4,8</b>	<b>5,8</b>	<b>10,6</b>	<b>3,3</b>	<b>6,6</b>	<b>1,3</b>	<b>295,5</b>	
<b>Summe Wasserabfl. gesamt</b>	<b>43,0</b>	<b>79,1</b>	<b>44,4</b>	<b>271,0</b>	<b>518,9</b>	<b>81,8</b>	<b>1266,7</b>	<b>212,8</b>	<b>664,5</b>	<b>1799,6</b>	<b>4844,6</b>	<b>75,2</b>	<b>39,5</b>	<b>59,0</b>	<b>125,7</b>	<b>41,3</b>	<b>56,1</b>	<b>21,5</b>	<b>10244,6</b>	
Zu- oder Abflüsse										+260,2	+75,0					+253,5			10833,3	
<b>Materialeinträge</b>																				
<b>(1000 t-y<sup>-1</sup>)</b>																				
Erosion Ackerland	2,5	2,8	1,5	6,6	0,2	0,1	0,0	0,3	1,8	0,2	0,6	1,6	0,1	0,2	1,4	1,8	1,2	0,4	23,4	
Erosion 'natürlich'	10,4	10,6	6,3	37,9	57,0	14,3	243,0	28,5	117,0	188,9	1530,5	11,5	2,9	3,4	11,0	5,9	6,0	1,8	2286,9	
<b>Summe Materialeintrag</b>	<b>12,9</b>	<b>13,5</b>	<b>7,8</b>	<b>44,5</b>	<b>57,2</b>	<b>14,3</b>	<b>243,0</b>	<b>28,7</b>	<b>118,9</b>	<b>189,0</b>	<b>1531,1</b>	<b>13,1</b>	<b>3,0</b>	<b>3,6</b>	<b>12,4</b>	<b>7,7</b>	<b>7,3</b>	<b>2,3</b>	<b>2310,3</b>	

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

Tab. 6: Wasserflüsse und Materialeinträge in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1996/97 (absolute Werte).

Wasserflüsse (%)	Obersee															Untersee			Gesamt- gebiet
	Stock	Seef.	Röt	Schu.	Argen	Leib	Breg	Dorn	Rhital	Ill	Alph	Rg BW	Rg BY	Rg A	Rg CH	Radol.	Rg BW	Rg CH	
Oberfl.abfluss Grasland Hangl.	1	1	2	2	3	3	3	2	2	3	2	2	3	3	2	1	1	1	2
Oberfl.abfluss Acker Hanglagen	2	2	2	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	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Oberfl.abfluss unprod. Veg.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oberfl.abfluss Strassen	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	2	2	1	0
<b>Summe Oberflächenabfluss</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
Sickerwasser Grasland	23	24	33	39	60	58	49	39	42	50	33	39	52	47	48	24	29	24	41
Drainagenabfluss Grasland	0	1	1	1	1	2	3	6	3	0	0	1	2	4	3	0	1	1	1
Sickerwasser Ackerland	45	41	33	23	0	1	0	2	5	0	0	17	3	3	7	36	24	25	2
Drainagenabfluss Ackerland	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
Sickerwasser Wald	14	19	17	19	25	26	34	34	30	28	20	14	12	20	17	13	16	28	24
Sickerwasser unprod. Veg.	0	1	0	0	0	0	6	3	2	15	12	1	1	3	0	1	1	1	9
Sickerwasser Strassen	2	2	2	2	1	1	1	2	1	0	0	3	3	2	2	4	4	2	1
Sickerwasser Siedlungsgrün	5	4	4	5	3	3	1	5	5	1	1	8	11	7	10	7	10	9	2
Abfluss veg.-lose Flächen*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	29	-	-	-	0	-	-	14
<b>Summe Sickerwasserabfluss</b>	<b>91</b>	<b>92</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>92</b>	<b>94</b>	<b>91</b>	<b>92</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>83</b>	<b>84</b>	<b>86</b>	<b>88</b>	<b>87</b>	<b>84</b>	<b>91</b>	<b>94</b>
Abfluss überbaute Siedlungsfl.	5	4	4	5	3	3	1	3	4	1	1	12	11	6	8	7	9	6	2
Niederschlag auf Gewässer	0	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	4	1	1	2	0	1
<b>Summe restlicher Abfluss</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>3</b>
<b>Summe Wasserabfl. gesamt</b>	<b>100</b>																		
Zu- oder Abflüsse										14	2					614			106
<b>Materialeinträge</b>																			
(%)																			
Erosion Ackerland	20	21	19	15	0	1	0	1	2	0	0	12	4	5	11	23	17	20	1
Erosion 'natürlich'	80	79	81	85	100	99	100	99	98	100	100	88	96	95	89	77	83	80	99
<b>Summe Materialeintrag</b>	<b>100</b>																		

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

Tab. 7: Wasserflüsse und Materialeinträge in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1996/97 (relative Werte).

Wasserflüsse (mm·y <sup>-1</sup> )	Obersee															Untersee			Gesamt- gebiet
	Stock	Seef	Röt	Schu	Argen	Leib	Breg	Dom	Rh'tal	Ill	Alprh	Rg BW	Rg BY	Rg A	Rg CH	Radol	Rg BW	Rg CH	
<b>Grasland</b>																			
Oberflächenabfluss	11	15	16	18	43	40	81	56	35	75	56	13	37	39	20	11	14	18	51
Sickerwasser	220	293	318	362	792	768	1497	1069	843	1363	1023	271	712	735	431	237	289	367	950
<b>Ackerland</b>																			
Oberflächenabfluss	12	15	19	15	18	34	54	29	17	50	26	10	34	23	11	12	13	15	15
Sickerwasser	264	357	417	366	403	786	1226	880	708	1151	762	272	777	717	357	279	329	437	397
<b>Wald</b>																			
Oberflächenabfluss	0	0	0	0	16	0	32	23	17	29	20	0	0	0	0	0	0	0	17
Sickerwasser	85	170	230	238	692	704	1394	996	751	1269	867	115	587	876	361	70	130	239	790
<b>unprod. Veg./veg.-los</b>																			
Oberfl.-abfl./Sickerwasser	220	288	309	338	866	909	1930	1409	935	1522	1244	247	771	702	465	231	241	357	1273
<b>Gewässer</b>																			
Niederschlag	233	277	404	378	792	767	1524	971	752	1392	1144	283	754	699	521	257	270	361	973
<b>Siedl.-grünfl./Strassen</b>																			
Oberfl.-abfl./Sickerwasser	258	334	344	378	809	821	1430	1022	717	1289	930	304	817	760	472	153	311	386	611
<b>Gesamtgebiet</b>																			
<b>Totaler Abfluss</b>	<b>202</b>	<b>290</b>	<b>339</b>	<b>343</b>	<b>794</b>	<b>781</b>	<b>1535</b>	<b>1076</b>	<b>816</b>	<b>1404</b>	<b>1088</b>	<b>246</b>	<b>755</b>	<b>787</b>	<b>435</b>	<b>202</b>	<b>260</b>	<b>345</b>	<b>937</b>

Tab. 8: Berechnete nutzungsspezifische Wasserflüsse in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1996/97.

### 3.1.2 Diffuse Phosphoreinträge

#### a) Absolute Werte

Im Bodensee-Einzugsgebiet wurden 1996/97 nach den Modellberechnungen 1 327 t·y<sup>-1</sup> Gesamt-Phosphor aus diffusen Quellen in die Gewässer eingetragen (ohne Deposition auf die Seefläche) (Tab. 9). Davon waren 355 t·y<sup>-1</sup> (= 27%) gelöster Phosphor, 972 t·y<sup>-1</sup> (= 73%) partikulärer Phosphor. Vor allem in den alpinen Gebieten waren die partikulären Anteile gegenüber den gelösten Anteilen hoch und trugen massgeblich zu den gesamten Phosphoreinträgen bei (Abb. 3). 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 'Alpenrhein' mit 704 t·y<sup>-1</sup> um 180 mal höher als im kleinsten Gebiet 'Randgebiet Obersee Bayern' mit knapp 4 t·y<sup>-1</sup> und brachten rund 53% der gesamten Phosphoreinträge im Bodensee-Einzugsgebiet.

Die gesamten diffusen Phosphoreinträge im Bodensee-Einzugsgebiet von 1 327 t·y<sup>-1</sup> 1996/97 haben gegenüber 1985/86 (1 740 t·y<sup>-1</sup>) insgesamt um 413 t·y<sup>-1</sup> (= 24%) abgenommen\* (Anhang Tab. A32 und A33). Die gelösten Einträge haben dabei stärker abgenommen\* als die partikulären. Die gelösten Einträge haben sich insgesamt um 231 t·y<sup>-1</sup> (= 39%) verringert\*, wobei in allen Gebieten Abnahmen\* zu verzeichnen waren. Die grössten Reduktionen\* wurden in den Gebieten mit den höchsten Einträgen 1985/86 erzielt (Argen: 49 t·y<sup>-1</sup>, Bregenzerach: 32 t·y<sup>-1</sup>, Alpenrhein: 27 t·y<sup>-1</sup>, Schussen: 26 t·y<sup>-1</sup>; Abb. 4, Tab. A32). Die partikulären Einträge haben insgesamt um 182 t·y<sup>-1</sup> (= 16%) abgenommen\*. Sie haben sich bis auf das Gebiet 'Ill' in allen Gebieten reduziert\* (Abb. 4, Tab. A32).

#### b) Relative Werte

Im Mittel aller Gebiete stellten die Abschwemmung mit 15% und die Erosion mit 74% die dominanten Eintragspfade für Gesamt-Phosphor dar, wobei die Spannweiten der Werte für die einzelnen Gebiete bei 6% - 49% bei der Abschwemmung und 31% - 87% bei der Erosion lagen (Abb. 9). Die Auswaschung und die Direkteinträge spielten mit 9% bzw. 3% eine untergeordnete Rolle. Gegenüber 1985/86 hat sich der prozentuale Anteil der Abschwemmung für das Gesamtgebiet um 7% verringert, der der Erosion hat sich dagegen um 7% erhöht.

Die Abschwemmung trug im Mittel mit 59% zu den gelösten Phosphoreinträgen bei (Tab. 10). Der höchste prozentuale Anteil wurde im Gebiet 'Argen' mit 72% am gelösten Eintrag erzielt. Die Einträge durch Abschwemmung stammten überwiegend vom Grasland. Nur in einigen Gebieten wurden auch nennenswerte Einträge vom Ackerland erreicht. Phosphoreinträge durch Abschwemmung unter Wald, unproduktiver Vegetation und von Strassen waren vernachlässigbar klein. Gegenüber 1985/86 haben sich die Phosphorverluste durch Abschwemmung im Bodensee-Einzugsgebiet insgesamt um fast die Hälfte reduziert\* (Tab. A33).

---

\* Mit den Begriffen "Abnahme", "Verminderung", "Reduktion" etc. ist die rein rechnerisch ermittelte Veränderung gegenüber den Ergebnissen der Modellberechnung 1985/86 gemeint. Diese resultiert teilweise aus den veränderten klimatischen Bedingungen und ist somit nur zum Teil auf die veränderte Landnutzung und landwirtschaftliche Bewirtschaftungsweise zurückzuführen (vgl. Kap. 4).

Die Auswaschungsverluste betragen im Mittel 33% der gelösten Phosphoreinträge. 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 Drainageverluste unter Grasland und Ackerland spielten eine untergeordnete Rolle. Gegenüber 1985/86 haben sich die Auswaschungsverluste im Bodensee-Einzugsgebiet insgesamt um 11% verringert\*.

Die verschiedenen Direkteinträge leisteten mit im Mittel 7% an den gelösten Phosphoreinträgen nur einen geringen Beitrag.

Die Phosphoreinträge durch Bodenerosion von Ackerflächen machten insgesamt nur 5% der partikulären Phosphoreinträge im Bodensee-Einzugsgebiet aus (Tab. 10). 94% resultierten aus der 'natürlichen Erosion', 1% aus Direkteinträgen. Die hohen Schwebstoffgehalte in den alpinen Flüssen führten zu den hohen Phosphoreinträgen durch 'natürliche Erosion'. Hier wurden zwischen 98 und 99% der partikulären Phosphoreinträge durch die 'natürliche Erosion' verursacht. In den ackerbaulich genutzten Gebieten trug die Bodenerosion von Ackerflächen etwa zur Hälfte zu den partikulären Phosphoreinträgen bei. In diesen Gebieten übertraf der Anteil an Bodenerosion von Ackerflächen den Anteil der 'natürlichen Erosion'. Gegenüber 1985/86 haben sich die Phosphorverluste durch Bodenerosion von Ackerflächen im Bodensee-Einzugsgebiet insgesamt um 59% reduziert\* (Tab. A33). Die Phosphoreinträge durch 'natürliche Erosion' haben insgesamt um 11% abgenommen\*.

### c) Flächenspezifische Werte

Die Gesamt-Phosphoreinträge betragen im Mittel  $1,19 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  (Abb. A1). Überdurchschnittlich hohe Gesamt-Phosphoreinträge traten in den Gebieten Leiblach, Bregenzerach, und Alpenrhein auf. Mit  $1,72 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  wurde im Gebiet Bregenzerach der höchste, mit  $0,40 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  im Gebiet Radolfzeller Aach (ohne Aach-Quelle) der niedrigste Wert erzielt.

Die gelösten Phosphoreinträge betragen im Mittel  $0,30 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  (Tab. 11). Überdurchschnittlich hohe Einträge wurden in den Gebieten, Schussen, Argen, Leiblach, Bregenzerach, Dornbirnerach, Rheintal, 'Randgebiet Obersee Bayern', 'Randgebiet Obersee Österreich' und 'Randgebiet Obersee Schweiz' erzielt. Mit  $0,77 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  lag der höchste Wert im Gebiet Leiblach, mit  $0,16 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  der niedrigste im Gebiet Radolfzeller Aach (ohne Aach-Quelle).

Gegenüber 1985/86 haben sich in allen Gebieten die gelösten Phosphoreinträge reduziert\* (Abb. 5). Die grössten Reduktionen\* (>50%) wurden in den Gebieten mit den höchsten flächenspezifischen Einträgen 1985/86 erzielt (Argen, Leiblach, Rg CH Obersee).

Die partikulären Phosphoreinträge betragen im Mittel  $0,89 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  (Tab. 11). Überdurchschnittlich hohe Einträge wurden nur in den beiden grössten Gebieten Bregenzerach und Alpenrhein erzielt. Mit  $1,38 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  lag der höchste Wert im Gebiet Alpenrhein, mit  $0,23 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  der niedrigste im Gebiet 'Randgebiet Untersee Baden-Württemberg'.

Gegenüber 1985/86 haben sich in fast allen Gebieten die partikulären Phosphoreinträge reduziert\* (Ausnahmen: Ill; Alpenrhein; Abb. 5). Die grössten Reduktionen\* (>50%) wurden in

---

\* Siehe Fussnote S. 17 .

den Gebieten mit den höchsten flächenspezifischen Einträgen 1985/86 erzielt (Stockacher Ach, Rotach, Dornbirnerach, Rheintal).

#### **d) Nutzungsspezifische Werte**

Die höchsten nutzungsspezifischen Phosphoreinträge waren bis auf das Gebiet Alpenrhein in allen Gebieten auf Ackerland zu verzeichnen ( $0,52$  bis  $2,40$   $\text{kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ ) (Tab. 11). Die hohen Phosphoreinträge durch Bodenerosion auf Ackerland ( $0,43$  bis  $1,74$   $\text{kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ ) waren dafür verantwortlich. In den Gebieten Argen, Leiblach, Bregenzerach, 'Randgebiet Obersee Schweiz' und 'Randgebiet Obersee Bayern' waren die Phosphoreinträge auf Grasland mit  $0,67$  bis  $1,15$   $\text{kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  überdurchschnittlich hoch. Sie resultierten überwiegend aus der Gülleabschwemmung. Die Phosphoreinträge durch 'natürliche Erosion' waren vor allem in den alpinen Gebieten hoch ( $0,59$  bis  $1,37$   $\text{kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ ). Unter Wald waren die Phosphoreinträge in allen Gebieten am niedrigsten ( $0,02$  bis  $0,12$   $\text{kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ ).

Gegenüber 1985/86 haben sich die nutzungsspezifischen Werte in den meisten Gebieten und bei den meisten Nutzungen reduziert\*.

---

\* Siehe Fussnote S. 17

gelöste P-Einträge (t·y <sup>-1</sup> )	Obersee																Untersee			Gesamt- gebiet
	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	1,06	1,83	1,55	11,54	35,89	5,66	27,46	4,30	14,91	16,54	43,63	2,75	1,52	1,61	7,35	0,91	1,23	0,53	180,27	
P-Abschw. Ackerland	0,83	1,23	0,76	2,92	0,10	0,05	0,01	0,05	0,58	0,04	0,13	0,45	0,03	0,03	0,35	0,60	0,47	0,21	8,84	
P-Abschw. Wald	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,49	0,00	0,23	0,57	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,61	
P-Abschw. unprod. Veg.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,15	0,02	0,05	0,52	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,89	
P-Abschw. Strassen	0,05	0,07	0,04	0,26	0,23	0,04	0,15	0,10	0,27	0,14	0,30	0,11	0,04	0,04	0,12	0,07	0,09	0,02	2,14	
<b>Summe P-Abschw.</b>	<b>1,93</b>	<b>3,14</b>	<b>2,34</b>	<b>14,71</b>	<b>36,44</b>	<b>5,75</b>	<b>28,27</b>	<b>4,46</b>	<b>16,05</b>	<b>17,81</b>	<b>46,28</b>	<b>3,31</b>	<b>1,59</b>	<b>1,68</b>	<b>7,83</b>	<b>1,60</b>	<b>1,79</b>	<b>0,76</b>	<b>195,75</b>	
P-Ausw. Grasland	0,29	0,47	0,37	4,20	9,34	1,43	6,27	0,83	5,57	6,30	15,98	0,87	0,41	0,41	2,41	0,30	0,41	0,13	56,00	
P-Drainverl. Grasland	0,02	0,07	0,03	0,55	0,74	0,29	2,88	1,08	2,05	0,43	0,43	0,09	0,06	0,19	0,69	0,02	0,03	0,02	9,67	
P-Ausw. Ackerland	0,58	0,81	0,36	2,51	0,05	0,03	0,01	0,05	0,91	0,04	0,28	0,38	0,02	0,03	0,43	0,45	0,33	0,16	7,41	
P-Drainverl. Ackerland	0,04	0,11	0,03	0,31	0,01	0,00	0,00	0,04	0,54	0,01	0,03	0,04	0,00	0,02	0,19	0,03	0,02	0,02	1,44	
P-Ausw. Wald	0,12	0,22	0,11	0,76	1,31	0,21	2,99	0,51	2,18	2,97	6,72	0,21	0,05	0,08	0,32	0,16	0,18	0,12	19,23	
P-Ausw. unprod. Veg.	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,55	0,04	0,16	1,33	4,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	6,21	
P-Ausw. Strassen	0,02	0,03	0,01	0,09	0,08	0,01	0,05	0,02	0,08	0,05	0,10	0,03	0,01	0,01	0,04	0,03	0,04	0,01	0,71	
P-Ausw. Siedlungsgrün	0,06	0,07	0,05	0,38	0,23	0,03	0,11	0,11	0,53	0,13	0,32	0,18	0,08	0,06	0,31	0,09	0,13	0,04	2,92	
P-Ausw.+Abschw. veg.-los*	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14	-	7,02	-	-	-	0,00	-	-	0,00	7,16	
<b>Summe P-Ausw.</b>	<b>1,14</b>	<b>1,78</b>	<b>0,96</b>	<b>8,82</b>	<b>11,78</b>	<b>2,01</b>	<b>12,86</b>	<b>2,69</b>	<b>12,15</b>	<b>11,24</b>	<b>34,90</b>	<b>1,79</b>	<b>0,64</b>	<b>0,82</b>	<b>4,40</b>	<b>1,09</b>	<b>1,16</b>	<b>0,51</b>	<b>110,76</b>	
P-Deposition Gewässer	0,03	0,09	0,06	0,44	0,43	0,06	0,52	0,18	0,70	0,71	2,77	0,19	0,05	0,20	0,09	0,05	0,22	0,01	6,78	
P-Einträge Weide Gewässer	0,00	0,01	0,00	0,03	0,03	0,00	0,05	0,01	0,04	0,10	0,24	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,54	
P-Einträge Düngung Gewässer	0,01	0,01	0,01	0,07	0,08	0,01	0,02	0,02	0,06	0,03	0,07	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,43	
P-Einträge Direkt Hof	0,05	0,06	0,04	0,27	0,24	0,04	0,13	0,03	0,20	0,06	0,21	0,05	0,01	0,01	0,16	0,03	0,02	0,02	1,62	
P-Einträge Weide Strasse	0,03	0,03	0,02	0,16	0,14	0,02	0,07	0,02	0,12	0,11	0,27	0,03	0,01	0,01	0,06	0,02	0,01	0,01	1,14	
P-Einträge Düngung Strasse	0,11	0,14	0,08	0,49	0,37	0,06	0,05	0,12	0,37	0,05	0,15	0,21	0,05	0,06	0,20	0,16	0,19	0,03	2,90	
P-Einträge sonstige	0,30	0,39	0,18	1,11	0,93	0,15	1,15	0,27	1,11	1,08	2,80	0,41	0,07	0,10	0,40	0,28	0,29	0,09	11,10	
<b>Summe P-Direkteinträge</b>	<b>0,52</b>	<b>0,72</b>	<b>0,39</b>	<b>2,56</b>	<b>2,22</b>	<b>0,35</b>	<b>2,00</b>	<b>0,65</b>	<b>2,60</b>	<b>2,13</b>	<b>6,51</b>	<b>0,91</b>	<b>0,19</b>	<b>0,38</b>	<b>0,94</b>	<b>0,55</b>	<b>0,75</b>	<b>0,16</b>	<b>24,52</b>	
<b>Summe gelöste P-Einträge</b>	<b>3,59</b>	<b>5,64</b>	<b>3,69</b>	<b>26,10</b>	<b>50,44</b>	<b>8,11</b>	<b>43,13</b>	<b>7,81</b>	<b>30,80</b>	<b>31,18</b>	<b>87,70</b>	<b>6,01</b>	<b>2,42</b>	<b>2,88</b>	<b>13,17</b>	<b>3,24</b>	<b>3,70</b>	<b>1,42</b>	<b>331,03</b>	
Zu- oder Abflüsse										3,00	0,50					20,00			354,53	
<b>partikuläre P-Einträge (t·y<sup>-1</sup>)</b>																				
P-Erosion Acker	4,75	5,37	3,03	13,62	0,43	0,20	0,09	0,57	4,17	0,30	0,87	3,29	0,25	0,39	3,29	2,34	2,30	0,94	46,19	
P-Erosion 'natürlich'	4,16	4,25	2,52	15,17	22,80	5,70	97,18	11,38	46,81	75,55	612,19	4,59	1,16	1,38	4,40	2,37	2,41	0,72	914,75	
P-Einträge sonstige	0,30	0,39	0,18	1,11	0,93	0,15	1,15	0,27	1,11	1,08	2,80	0,41	0,07	0,10	0,40	0,28	0,29	0,09	11,10	
<b>Summe partikuläre P-Einträge</b>	<b>9,21</b>	<b>10,01</b>	<b>5,74</b>	<b>29,89</b>	<b>24,16</b>	<b>6,05</b>	<b>98,42</b>	<b>12,23</b>	<b>52,09</b>	<b>76,93</b>	<b>615,86</b>	<b>8,29</b>	<b>1,48</b>	<b>1,86</b>	<b>8,09</b>	<b>5,00</b>	<b>5,00</b>	<b>1,75</b>	<b>972,05</b>	
<b>Gesamt-P-Einträge (t·y<sup>-1</sup>)</b>	<b>12,80</b>	<b>15,65</b>	<b>9,43</b>	<b>55,99</b>	<b>74,60</b>	<b>14,15</b>	<b>141,55</b>	<b>20,04</b>	<b>82,89</b>	<b>111,1</b>	<b>704,05</b>	<b>14,30</b>	<b>3,90</b>	<b>4,75</b>	<b>21,25</b>	<b>28,23</b>	<b>8,70</b>	<b>3,18</b>	<b>1326,58</b>	

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

Tab. 9: Phosphor-Einträge aus diffusen Quellen in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1996/97 (absolute Werte).

gelöste P-Einträge (%)	Obersee																Untersee			Gesamt- gebiet
	Stock	Seef.	Rot	Schu.	Argen	Leib.	Breg.	Dorn	Rhtal	Ill	Alph.	Rg.BW	Rg.BY	Rg.A	Rg.CH	Radol.	Rg.BW	Rg.CH		
P-Abschw. Grasland	29	33	42	44	71	70	64	55	48	53	50	46	63	56	56	28	33	37	54	
P-Abschw. Ackerland	23	22	20	11	0	1	0	1	2	0	0	7	1	1	3	19	13	15	3	
P-Abschw. Wald	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	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	1	
P-Abschw. Strassen	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	2	2	1	1	2	2	1	1	
Summe P-Abschw.	54	56	63	56	72	71	66	57	52	57	53	55	66	58	59	49	48	53	59	
P-Ausw. Grasland	8	8	10	16	19	18	15	11	18	20	18	14	17	14	18	9	11	9	17	
P-Drainverl. Grasland	1	1	1	2	1	4	7	14	7	1	0	2	2	7	5	1	1	2	3	
P-Ausw. Ackerland	16	14	10	10	0	0	0	1	3	0	0	6	1	1	3	14	9	11	2	
P-Drainverl. Ackerland	1	2	1	1	0	0	0	1	2	0	0	1	0	1	1	1	1	2	0	
P-Ausw. Wald	3	4	3	3	3	3	7	7	7	10	8	3	2	3	2	5	5	8	6	
P-Ausw. unprod. Veg.	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4	5	0	0	0	0	0	0	0	2	
P-Ausw. Strassen	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	
P-Ausw. Siedlungsgrün	2	1	1	1	0	0	0	1	2	0	0	3	3	2	2	3	4	3	1	
P-Ausw.+Abschw. veg.-los*	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	8	-	-	-	0	-	-	0	2	
Summe P-Ausw.	32	32	26	34	23	25	30	34	39	36	40	30	27	29	33	34	31	36	33	
P-Deposition Gewässer	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	2	7	1	2	6	1	2	
P-Einträge Weide Gewässer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	
P-Einträge Direkt Hof	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	
P-Einträge Weide Strasse	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
P-Einträge Düngung Strasse	3	2	2	2	1	1	0	2	1	0	0	3	2	2	2	5	5	2	1	
P-Einträge sonstige	8	7	5	4	2	2	3	4	4	3	3	7	3	3	3	9	8	6	3	
Summe P-Direkteinträge	14	13	10	10	4	4	5	8	8	7	7	15	8	13	7	17	20	11	7	
<b>Summe gelöste P-Einträge</b>	<b>100</b>																			
Zu- oder Abflüsse										10	1					618			107	
<b>partikuläre P-Einträge (%)</b>																				
P-Erosion Acker	52	54	53	46	2	3	0	5	8	0	0	40	17	21	41	47	46	54	5	
P-Erosion 'natürlich'	45	42	44	51	94	94	99	93	90	98	99	55	78	74	54	48	48	41	94	
P-Einträge sonstige	3	4	3	4	4	2	1	2	2	1	0	5	5	5	5	6	6	5	1	
Summe partikuläre P-Einträge	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
<b>gelöst</b>	<b>28</b>	<b>36</b>	<b>39</b>	<b>47</b>	<b>68</b>	<b>57</b>	<b>30</b>	<b>39</b>	<b>37</b>	<b>31</b>	<b>13</b>	<b>42</b>	<b>62</b>	<b>61</b>	<b>62</b>	<b>82</b>	<b>43</b>	<b>45</b>	<b>27</b>	
<b>partikulär</b>	<b>72</b>	<b>64</b>	<b>61</b>	<b>53</b>	<b>32</b>	<b>43</b>	<b>70</b>	<b>61</b>	<b>63</b>	<b>69</b>	<b>87</b>	<b>58</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>38</b>	<b>18</b>	<b>57</b>	<b>55</b>	<b>73</b>	
<b>Gesamt-Einträge</b>	<b>100</b>																			

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

Tab. 10: Phosphor-Einträge aus diffusen Quellen in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1996/97 (relative Werte).

P-Einträge (kg·ha <sup>-1</sup> ·y <sup>-1</sup> )	Obersee															Untersee			Gesamt- gebiet
	Stock.	Seef.	Rot.	Schu.	Argen.	Leib.	Breg.	Dorn.	Rh'tal	Ill	Alph.	Rg BW	Rg BY	Rg A	Rg CH	Radol.	Rg BW	Rg CH	
<b>Grasland</b>																			
Abschwemmung	0,23	0,28	0,33	0,38	0,90	0,88	0,62	0,48	0,43	0,25	0,28	0,25	0,51	0,40	0,50	0,21	0,21	0,36	0,40
Auswaschung/Drainage	0,07	0,08	0,08	0,16	0,25	0,27	0,21	0,21	0,22	0,10	0,10	0,09	0,16	0,15	0,21	0,07	0,08	0,10	0,15
<b>Ackerland</b>																			
Abschwemmung	0,11	0,13	0,21	0,17	0,22	0,43	0,21	0,11	0,10	0,10	0,05	0,09	0,24	0,09	0,13	0,11	0,11	0,17	0,13
Auswaschung/Drainage	0,08	0,10	0,11	0,16	0,13	0,27	0,18	0,21	0,25	0,13	0,12	0,09	0,17	0,17	0,23	0,09	0,09	0,14	0,13
Bodenerosion	0,64	0,57	0,86	0,77	0,94	1,70	1,49	1,31	0,72	0,83	0,35	0,69	1,74	1,29	1,24	0,43	0,56	0,75	0,70
<b>Wald</b>																			
Abschwemmung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Auswaschung	0,02	0,03	0,03	0,04	0,07	0,07	0,10	0,07	0,08	0,08	0,06	0,02	0,06	0,06	0,05	0,02	0,03	0,05	0,06
<b>unprod. Veg./veg.-los</b>																			
Abschw./Ausw.	0,05	0,05	0,06	0,06	0,11	0,11	0,17	0,13	0,11	0,10	0,08	0,03	0,10	0,07	0,08	0,05	0,06	0,08	0,08
<b>Gewässer</b>																			
Deposition	0,44	0,46	0,52	0,47	0,47	0,53	0,56	0,53	0,52	0,52	0,44	0,47	0,61	0,54	0,53	0,50	0,46	0,50	0,48
<b>Siedl.-grünfl./Strassen</b>																			
Abschw./Ausw.	0,09	0,11	0,11	0,13	0,17	0,18	0,21	0,15	0,14	0,18	0,13	0,10	0,19	0,14	0,14	0,06	0,10	0,10	0,13
<b>Gesamtfläche</b>																			
'natürliche' Erosion	0,20	0,16	0,19	0,19	0,35	0,54	1,18	0,58	0,58	0,59	1,37	0,15	0,22	0,18	0,15	0,12	0,11	0,12	0,84
Sonstige*	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Totale P-Einträge</b>	0,60	0,57	0,72	0,71	1,14	1,35	1,72	1,01	1,02	0,84	1,58	0,47	0,75	0,63	0,74	0,40	0,40	0,51	1,19
P-gelöst	0,17	0,21	0,28	0,33	0,77	0,77	0,52	0,39	0,38	0,24	0,20	0,20	0,46	0,38	0,46	0,16	0,17	0,23	0,30
P-partikulär	0,43	0,37	0,44	0,38	0,37	0,58	1,19	0,62	0,64	0,60	1,38	0,27	0,28	0,25	0,28	0,24	0,23	0,28	0,89

\* = Stoffeinträge durch landwirtschaftliche und sonstige diffuse Direkteinträge

Tab. 11: Berechnete nutzungsspezifische diffuse Phosphoreinträge für das hydrologische Jahr 1996/97.

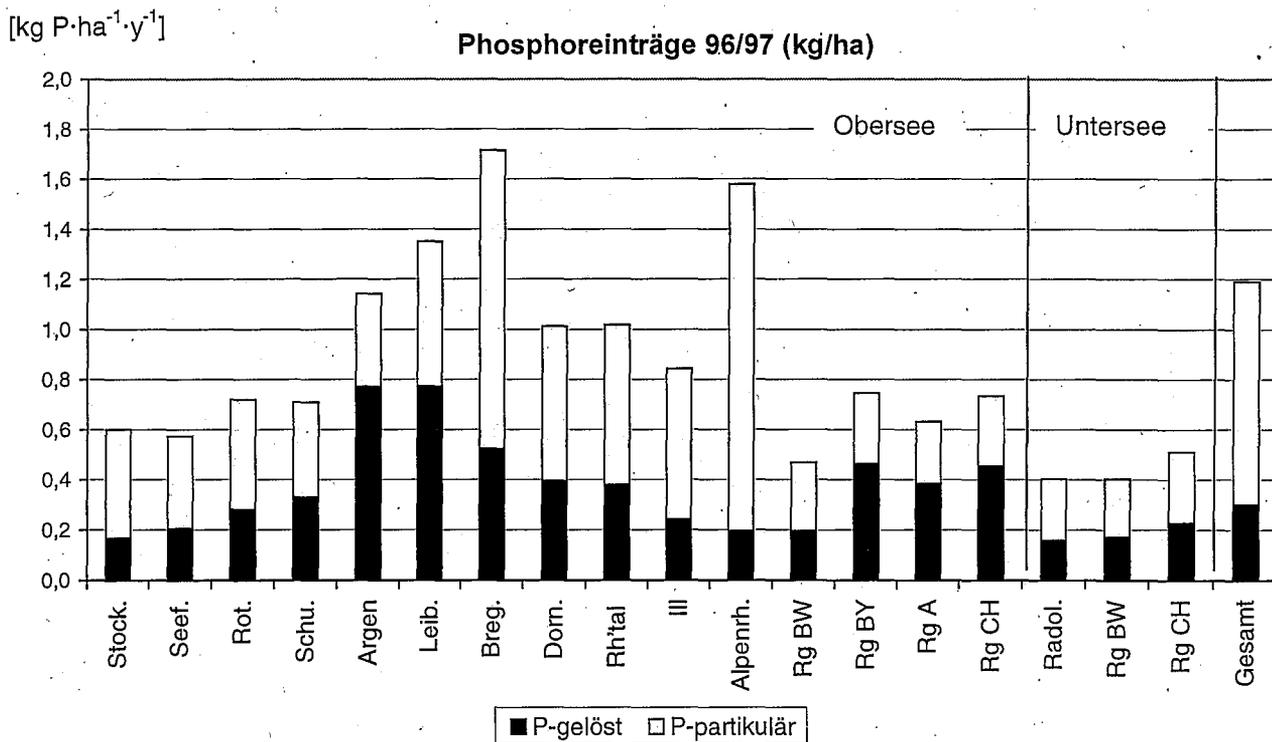
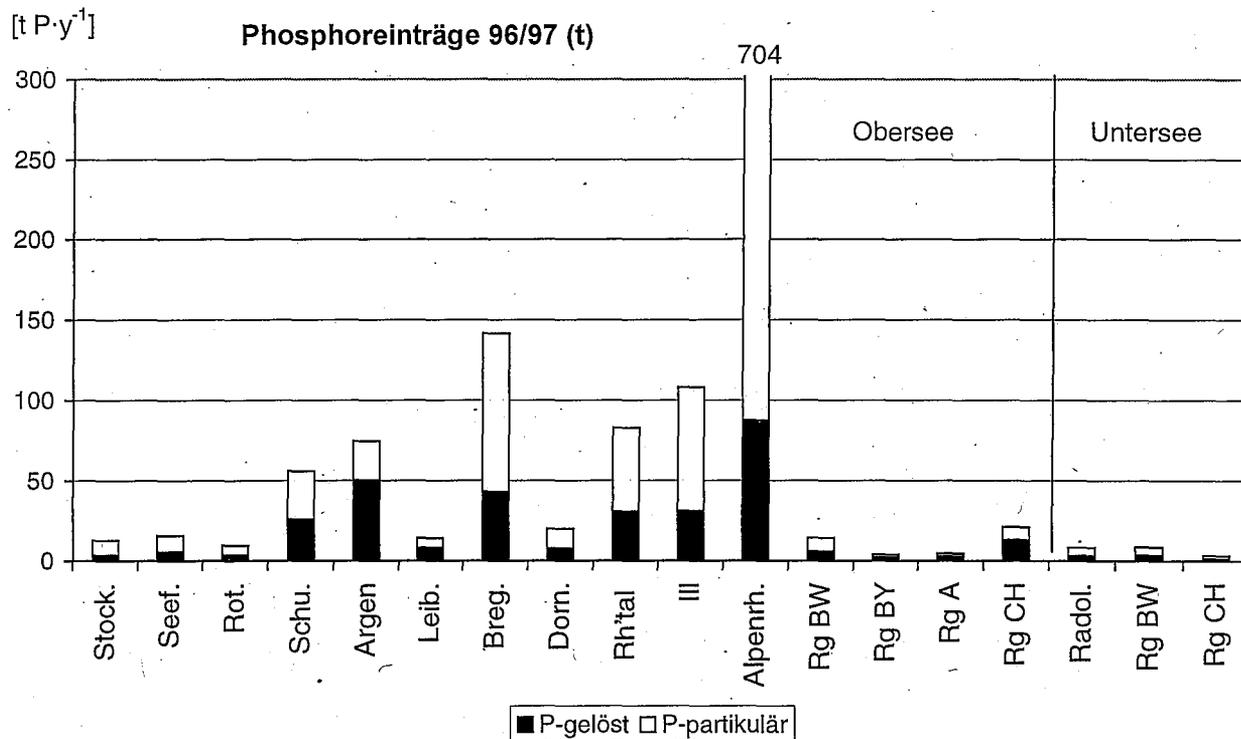


Abb. 3: Phosphoreinträge aus diffusen Quellen in den verschiedenen Einzugsgebieten für das hydrologische Jahr 1996/97, unterteilt in ihren gelösten und partikulären Anteil. Oben: absolute Werte, unten: flächenspezifische Werte (P-gesamt: siehe Anhang Abb. A1).

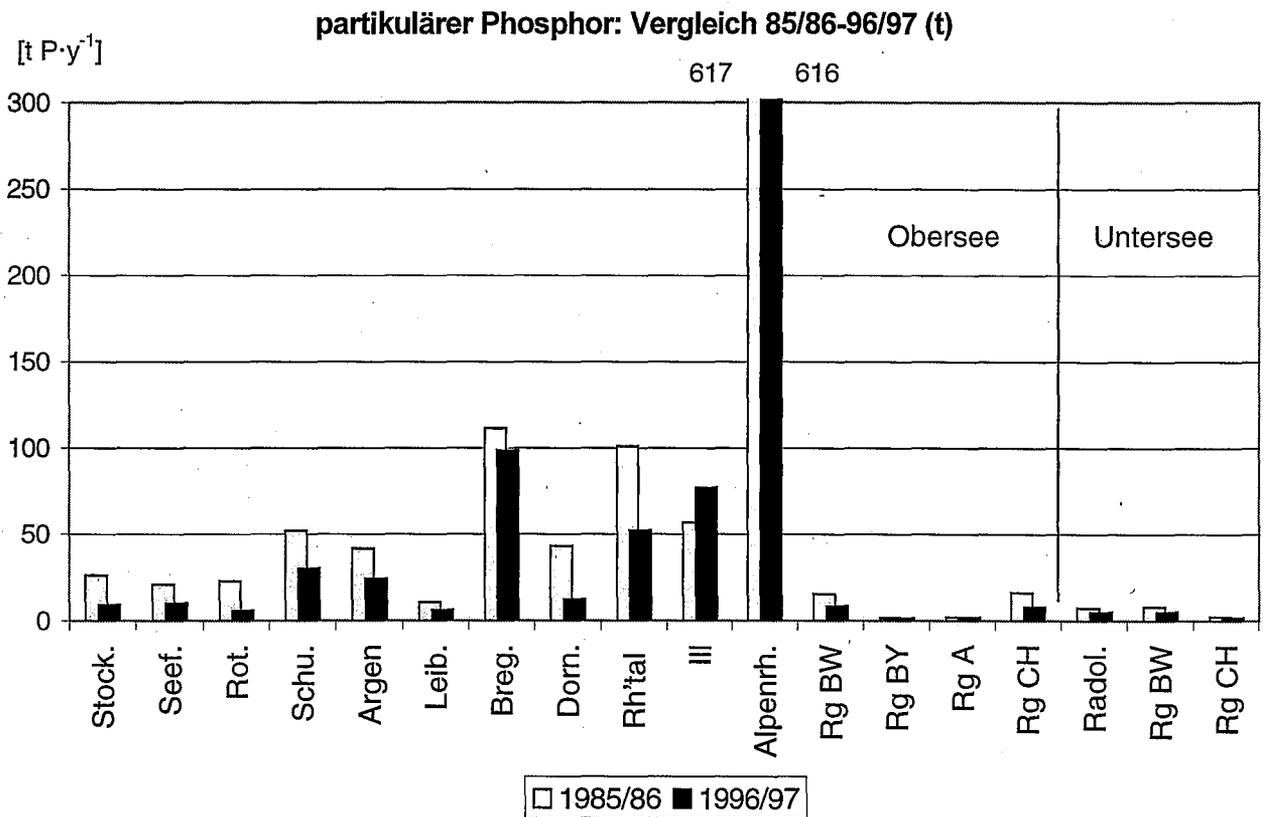
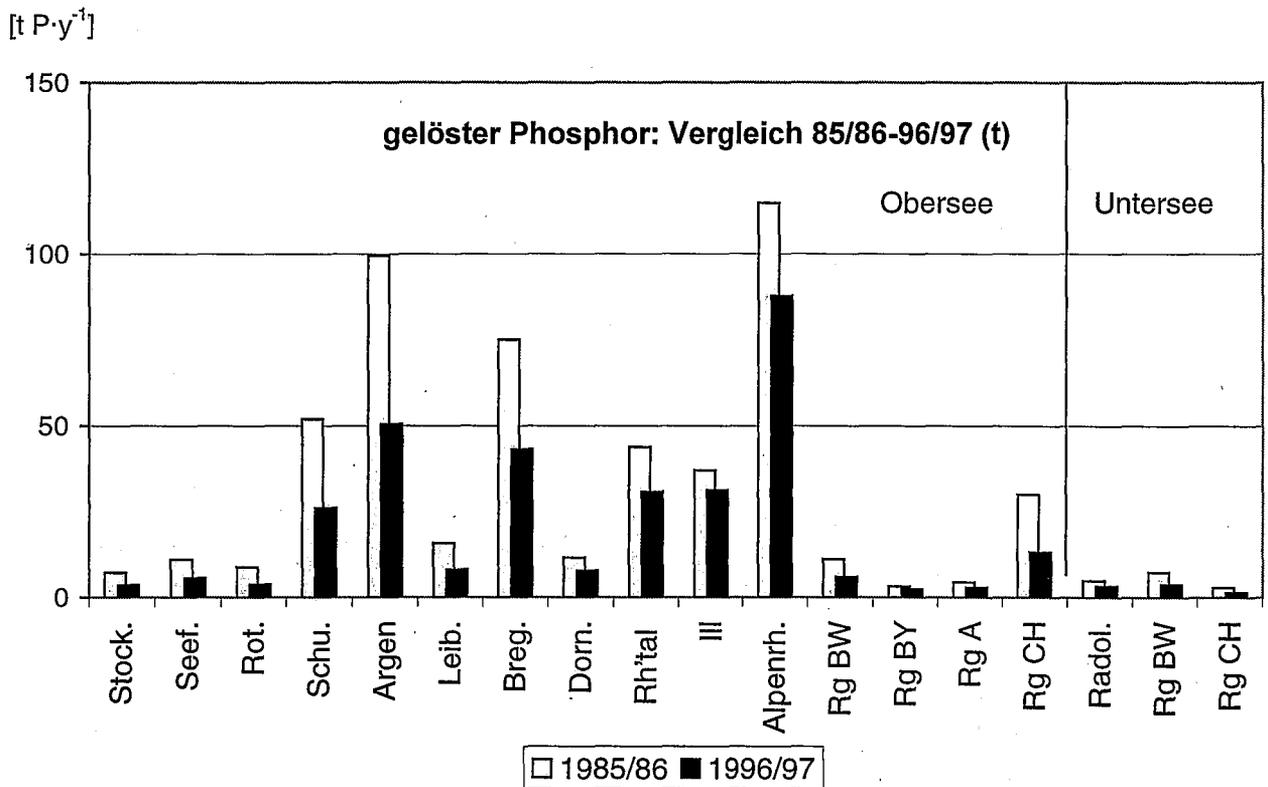


Abb. 4: Vergleich der gelösten (oben) und partikulären (unten) Phosphoreinträge aus diffusen Quellen der Jahre 1985/86 und 1996/97 (absolute Werte) (P-gesamt: siehe Anhang Abb. A1).

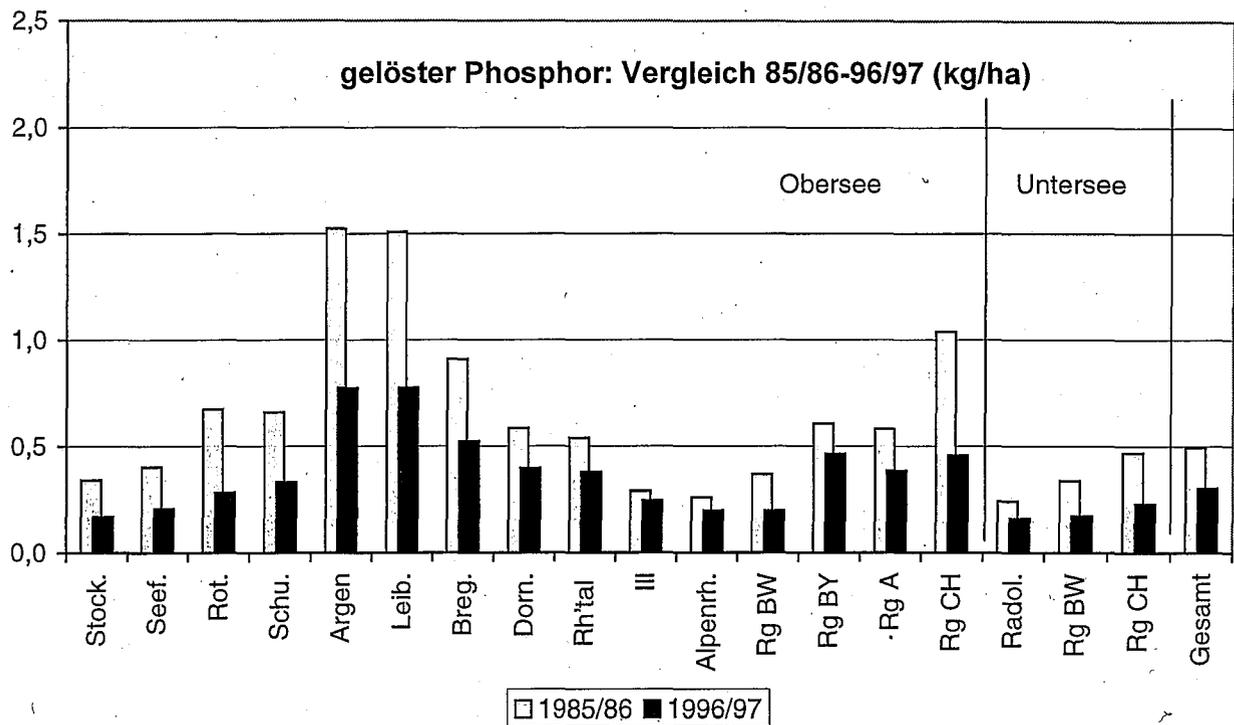
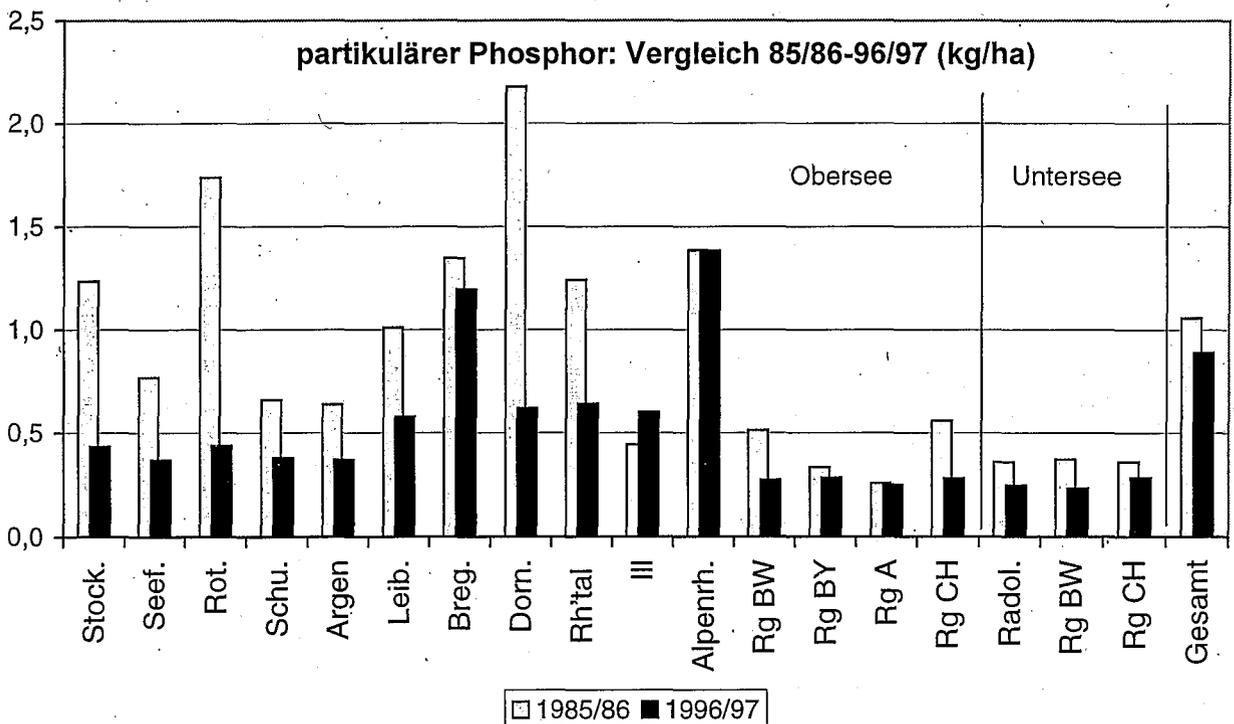
[kg P·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup>][kg P·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup>]

Abb. 5: Vergleich der gelösten (oben) und partikulären (unten) Phosphoreinträge aus diffusen Quellen der Jahre 1985/86 und 1996/97 (flächenspezifische Werte) (P-gesamt: siehe Anhang Abb. A1).

### 3.1.3 Diffuse Stickstoffeinträge

#### a) Absolute Werte

Insgesamt wurden im Bodensee-Einzugsgebiet 1996/97 aus diffusen Quellen 14 574 t·y<sup>-1</sup> Gesamt-Stickstoff in die Gewässer eingetragen (ohne Deposition auf die Seefläche) (Tab. 12 u. Abb. 6). Davon waren 12 520 t·y<sup>-1</sup> (= 86%) gelöster Stickstoff, 2 054 t·y<sup>-1</sup> (= 14%) 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 Alpenrhein mit 3 968 t·y<sup>-1</sup> nur noch um 47 mal höher als im kleinsten Gebiet 'Randgebiet Obersee Bayern' mit 84 t·y<sup>-1</sup>, obwohl die Gebietsfläche 85 mal grösser ist und brachten nur noch 27% der gesamten Stickstoffeinträge im Bodensee- Einzugsgebiet.

Die gesamten diffusen Stickstoffeinträge im Bodensee-Einzugsgebiet von 14 574 t·y<sup>-1</sup> 1996/97 haben gegenüber 1985/86 (17 447 t·y<sup>-1</sup>) insgesamt um 2 873 t·y<sup>-1</sup> (= 16%) abgenommen\* (Anhang, Tab. A34 und A35). Die gelösten Einträge haben sich insgesamt um 2 362 t·y<sup>-1</sup> (= 16%) verringert\*, wobei in allen Gebieten ausser Ill und Radolfzeller Aach Abnahmen\* zu verzeichnen waren. Die grössten Gesamt-Reduktionen\* wurden in den Gebieten Argen (-689 t·y<sup>-1</sup>), Schussen (-588 t·y<sup>-1</sup>), Rheintal (-344 t·y<sup>-1</sup>) und Randgebiete Obersee Schweiz (-310 t·y<sup>-1</sup>) erzielt (Abb. 7, Tab. A34). Die partikulären Einträge haben insgesamt um 510 t·y<sup>-1</sup> (= 20%) abgenommen\*. Sie haben sich in allen Gebieten bis auf das Gebiet Ill reduziert\* (Abb. 7, Tab. A34).

#### b) Relative Werte

Die Auswaschung war in allen Gebieten der dominante Eintragspfad für Stickstoff. Die Auswaschungsverluste machten insgesamt 80% der Stickstoffeinträge im Bodensee-Einzugsgebiet aus (Abb. 9), wobei die Spannweite der Werte für die einzelnen Gebiete bei 69 - 94% lag. Gegenüber 1985/86 hat sich der prozentuale Anteil der Auswaschung insgesamt um ein Prozent erhöht, der der Abschwemmung um ein Prozent verringert.

Die Auswaschung trug im Mittel zu 95% zu den gelösten Stickstoffeinträgen bei (Tab. 13). 36% resultierten davon aus der Auswaschung unter Grasland, 22% aus der Auswaschung unter Ackerland und 18% aus der Auswaschung unter Wald. Je nach Bodennutzung unterschieden sich die verschiedenen Gebiete deutlich. In den Grasland-Gebieten Argen, Leiblach, Bregenzacher, Ill und 'Randgebiet Obersee Bayern' und betragen 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 Alpenrhein von Bedeutung. Die Auswaschungsverluste unter Siedlungsräumen erreichten trotz relativ kleiner Flächenanteile mit bis zu 20% der gelösten Einträge im Gebiet 'Randgebiet Obersee Bayern' teilweise beachtenswerte Anteile. Die Drainageeinträge waren nur in den Gebieten Dornbirnerach und 'Randgebiet Obersee Bayern' erwähnenswert. Gegenüber 1985/86 haben sich die Auswaschungsverluste im Mittel um 18% re-

\* Siehe Fussnote S. 17

duziert\*. Vor allem bei der Auswaschung unter Gras- und Ackerland gingen die Einträge im Mittel jeweils um 25% zurück.

Die Stickstoffeinträge durch Abschwemmung waren in allen Gebieten unbedeutend und betragen im Mittel nur 2% der gelösten Stickstoffeinträge. Die verschiedenen Direkteinträge waren mit im Mittel 3% der gelösten Stickstoffeinträge ebenfalls unbedeutend.

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

### c) Flächenspezifische Werte

Die flächenspezifischen Gesamt-Stickstoffeinträge aller Einzugsgebiete betragen im Mittel  $12 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ . Dabei würde der Mittelwert vor allem durch die niedrigen Werte der grössten Gebiete (Alpenrhein =  $8,8 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ , Ill =  $11,1 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ ) geprägt. Bis auf die Gebiete Stockacher Aach und Radolfzeller Aach lagen sonst alle Gebiete über dem Mittelwert (Abb. A2). Mit  $19,5 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  wurde im Gebiet Rotach der höchste Wert erzielt.

Die gelösten Stickstoffeinträge betragen im Mittel  $10,2 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ . In den Gebieten Seefeldler Aach, Rotach, Schussen, Rheintal, 'Randgebiet Obersee Bayern' und 'Randgebiet Untersee Schweiz' waren mit über  $15 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  die höchsten, im Gebiet Alpenrhein mit  $6,4 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  die niedrigsten gelösten Stickstoffeinträge zu verzeichnen. Gegenüber 1985/86 haben sich in fast allen Gebieten (ausser Alpenrhein und Radolfzeller Aach) die gelösten Stickstoffeinträge reduziert\* (Abb. 8). Die grössten Reduktionen\* wurden in den Gebieten mit den höchsten Einträgen 1985/86 erzielt.

Die partikulären Stickstoffeinträge waren im Mittel mit  $1,9 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  vergleichsweise niedrig. Auch hier haben sich vor allem in den Gebieten mit den höchsten flächenspezifischen Einträgen 1985/86 (Rotach, Leiblach, Dornbirnerach und Rheintal) die Einträge gegenüber 1985/86 deutlich reduziert\* (Abb. 8).

### d) Nutzungsspezifische Werte

Die höchsten nutzungsspezifischen Stickstoffeinträge wurden in allen Gebieten unter Ackerland erzielt ( $23$  bis  $74 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ ) (Tab. 14). Vor allem die Auswaschungsverluste unter Ackerland trugen massgeblich ( $22$  bis  $72 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ ) dazu bei. Die Stickstoffeinträge unter Siedlungsgrünflächen und von Strassen ausserorts waren mit  $5$  bis  $26 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  ebenfalls relativ hoch. Die Stickstoffeinträge unter Grasland schwankten zwischen  $5$  und  $15 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ . Unter Wald waren die Stickstoffeinträge mit  $1$  bis  $11 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  ebenso wie auf vegetationslosen Flächen und unter unproduktiver Vegetation ( $3$  bis  $14 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ ) relativ niedrig.

Gegenüber 1985/86 haben sich die nutzungsspezifischen Werte in den meisten Gebieten und bei den meisten Nutzungen reduziert\*.

---

\* Siehe Fussnote S. 17

gelöste N-Einträge (t·y <sup>-1</sup> )	Obersee															Untersee			Gesamt- gebiet
	Stock.	Seef.	Rot.	Schu.	Argen.	Leib.	Breg.	Dom.	Rh'ital	Ill.	Alprh.	Rg BW	Rg BY	Rg A	Rg CH	Radol.	Rg BW	Rg CH	
N-Abschw. Grasland	0,9	1,7	1,5	10,8	38,2	5,9	28,8	4,1	17,2	19,8	48,5	2,7	1,5	1,3	6,9	0,9	1,3	0,5	192,3
N-Abschw. Ackerland	1,7	2,5	1,4	5,3	0,2	0,1	0,0	0,1	1,1	0,1	0,4	0,9	0,1	0,1	0,6	1,2	0,9	0,4	16,9
N-Abschw. Wald	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	3,9	0,0	3,9	3,4	8,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,7
N-Abschw. unprod. Veg.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	1,2	0,1	0,5	3,1	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3
N-Abschw. Strassen	0,5	0,7	0,4	2,6	2,8	0,4	1,2	0,8	2,9	0,8	2,4	1,1	0,4	0,3	1,2	0,7	0,9	0,2	20,5
<b>Summe N-Abschw.</b>	<b>3,0</b>	<b>4,9</b>	<b>3,3</b>	<b>18,7</b>	<b>43,8</b>	<b>6,4</b>	<b>35,2</b>	<b>5,1</b>	<b>25,6</b>	<b>27,3</b>	<b>69,1</b>	<b>4,7</b>	<b>1,9</b>	<b>1,7</b>	<b>8,7</b>	<b>2,8</b>	<b>3,2</b>	<b>1,1</b>	<b>266,6</b>
N-Ausw. Grasland	21,6	49,1	45,1	252,0	471,1	72,1	417,3	76,3	347,3	636,2	1219,9	90,7	36,4	35,2	124,7	21,8	55,1	16,4	3988,3
N-Drainverl. Grasland	1,2	4,3	1,5	18,5	24,8	7,6	108,0	54,1	68,5	16,0	15,9	4,5	3,6	9,5	17,3	1,3	1,8	1,1	359,4
N-Ausw. Ackerland	153,4	285,3	153,9	689,2	19,7	7,0	4,0	23,8	302,4	22,9	123,6	174,1	8,4	15,1	110,0	122,2	156,3	63,3	2434,6
N-Drainverl. Ackerland	7,0	17,3	4,7	32,9	0,8	0,4	0,4	6,9	67,0	1,0	4,2	6,1	0,4	3,8	17,8	5,1	4,2	3,8	183,7
N-Ausw. Wald	9,1	29,3	14,8	101,6	196,4	31,6	298,7	72,9	199,3	347,0	576,0	31,0	7,1	11,8	43,2	13,5	22,7	15,0	2021,1
N-Ausw. unprod. Veg.	0,3	0,8	0,4	1,9	3,0	0,6	55,0	6,0	19,6	106,1	230,5	1,2	0,7	1,9	0,6	0,9	0,8	0,3	430,4
N-Ausw. Strassen	1,6	3,4	1,9	12,0	11,6	1,8	5,0	4,9	11,8	4,5	8,5	6,4	1,6	1,8	4,2	3,5	4,2	0,9	89,9
N-Ausw. Siedlungsgrün	9,9	14,6	9,3	64,0	60,6	9,2	28,3	33,9	140,2	38,5	95,1	35,7	16,8	12,9	62,3	14,2	27,0	10,1	682,4
N-Ausw.+Abschw. veg.-los*	-	-	-	-	-	-	-	-	14,1	-	421,2	-	-	-	0,0	-	-	0,0	435,4
<b>Summe N-Ausw.</b>	<b>204,1</b>	<b>404,2</b>	<b>231,5</b>	<b>1172,1</b>	<b>788,1</b>	<b>130,4</b>	<b>916,7</b>	<b>278,8</b>	<b>1170,1</b>	<b>1172,1</b>	<b>2694,8</b>	<b>349,7</b>	<b>75,0</b>	<b>92,0</b>	<b>380,1</b>	<b>182,5</b>	<b>272,2</b>	<b>110,8</b>	<b>10625,1</b>
N-Deposition Gewässer	0,9	2,7	1,7	14,1	16,0	1,9	16,4	6,0	23,2	13,5	46,6	6,0	1,4	5,9	2,8	1,5	7,2	0,3	168,2
N-Einträge Weide Gewässer	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,4	0,1	0,2	0,7	1,7	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	3,8
N-Einträge Düngung Gewässer	0,0	0,1	0,0	0,3	0,5	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,4	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	2,4
N-Einträge Direkt Hof	0,3	0,4	0,2	1,7	1,6	0,3	0,8	0,2	1,3	0,4	1,4	0,3	0,1	0,1	1,0	0,2	0,1	0,1	10,5
N-Einträge Weide Strasse	0,2	0,2	0,1	1,1	1,0	0,2	0,5	0,2	0,8	0,7	1,9	0,2	0,0	0,1	0,4	0,1	0,1	0,0	8,0
N-Einträge Düngung Strasse	0,5	0,7	0,4	2,5	2,1	0,3	0,3	0,7	2,0	0,3	0,8	1,1	0,3	0,3	1,1	0,8	1,0	0,2	15,5
N-Einträge sonstige	2,0	2,6	1,2	7,4	6,2	1,0	7,7	1,8	7,4	8,1	14,0	2,8	0,5	0,7	2,6	1,9	1,9	0,6	70,3
<b>Summe N-Direkteinträge</b>	<b>3,9</b>	<b>6,7</b>	<b>3,8</b>	<b>27,4</b>	<b>27,6</b>	<b>3,7</b>	<b>26,2</b>	<b>9,0</b>	<b>35,3</b>	<b>23,9</b>	<b>66,7</b>	<b>10,6</b>	<b>2,3</b>	<b>7,1</b>	<b>8,2</b>	<b>4,6</b>	<b>10,4</b>	<b>1,2</b>	<b>278,5</b>
<b>Summe gelöste N-Einträge</b>	<b>211,0</b>	<b>415,8</b>	<b>238,5</b>	<b>1218,2</b>	<b>859,5</b>	<b>140,5</b>	<b>978,1</b>	<b>292,9</b>	<b>1231,0</b>	<b>1223,3</b>	<b>2830,6</b>	<b>364,9</b>	<b>79,2</b>	<b>100,8</b>	<b>397,1</b>	<b>190,0</b>	<b>285,8</b>	<b>113,1</b>	<b>11170,2</b>
Zu- oder Abflüsse										+200,0	+50,0					+1100,0			12520,2
<b>partikuläre N-Einträge (t·y<sup>-1</sup>)</b>																			
N-Erosion Acker	8,3	10,5	5,6	24,7	0,7	0,3	0,2	1,0	6,8	0,6	2,4	5,9	0,5	0,7	5,1	6,5	4,6	1,7	86,0
N-Erosion 'natürlich'	10,4	16,0	9,5	56,9	85,5	21,4	170,1	28,5	175,6	188,9	1071,3	17,2	4,3	5,2	16,5	8,9	9,0	2,7	1897,7
N-Einträge sonstige	2,0	2,6	1,2	7,4	6,2	1,0	7,7	1,8	7,4	8,1	14,0	2,8	0,5	0,7	2,6	1,9	1,9	0,6	70,3
<b>Summe partikuläre N-Einträge</b>	<b>20,7</b>	<b>29,0</b>	<b>16,2</b>	<b>88,9</b>	<b>92,5</b>	<b>22,7</b>	<b>177,9</b>	<b>31,3</b>	<b>189,7</b>	<b>197,6</b>	<b>1087,7</b>	<b>25,8</b>	<b>5,3</b>	<b>6,5</b>	<b>24,2</b>	<b>17,3</b>	<b>15,6</b>	<b>5,0</b>	<b>2053,9</b>
<b>Gesamt-Einträge (t·y<sup>-1</sup>)</b>	<b>231,7</b>	<b>444,8</b>	<b>254,8</b>	<b>1307,0</b>	<b>951,9</b>	<b>163,2</b>	<b>1156,0</b>	<b>324,2</b>	<b>1420,7</b>	<b>1620,9</b>	<b>3968,3</b>	<b>390,8</b>	<b>84,4</b>	<b>107,3</b>	<b>421,3</b>	<b>1307,3</b>	<b>301,3</b>	<b>118,1</b>	<b>14574,2</b>

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

Tab. 12: Stickstoff-Einträge aus diffusen Quellen in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1996/97 (absolute Werte).

gelöste N-Einträge (%)	Obersee															Untersee			Gesamt- gebiet
	Stock	Seef	Rot	Schu	Argen	Leib	Breg	Dorn	Rhital	Ill	Alpm	Rg.BW	Rg.BY	Rg.A	Rg.CH	Radol	Rg.BW	Rg.CH	
N-Abschw. Grasland	0	0	1	1	4	4	3	1	1	2	2	1	2	1	2	0	0	0	2
N-Abschw. Ackerland	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	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.	1	1	1	2	5	5	4	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2
N-Ausw. Grasland	10	12	19	21	55	51	43	26	28	52	43	25	46	35	31	11	19	15	36
N-Drainverl. Grasland	1	1	1	2	3	5	11	18	6	1	1	1	4	10	4	1	1	1	3
N-Ausw. Ackerland	73	69	65	57	2	5	0	8	25	2	4	48	10	15	29	65	55	56	22
N-Drainverl. Ackerland	3	4	2	3	0	0	0	2	5	0	0	2	0	4	5	3	1	3	2
N-Ausw. Wald	4	7	6	8	23	23	31	25	16	28	20	9	8	12	11	7	8	13	18
N-Ausw. unprod. Veg.	0	0	0	0	0	0	6	2	2	9	8	0	1	2	0	0	0	0	4
N-Ausw. Strassen	1	1	1	1	1	1	1	2	1	0	0	2	2	2	1	2	1	1	1
N-Ausw. Siedlungsgrün	5	4	4	5	7	7	3	12	11	3	3	10	20	13	16	8	9	9	6
N-Ausw.+Abschw. veg.-los*	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	15	-	-	-	0	-	-	0	4
Summe N-Ausw.	97	97	97	96	92	93	94	95	95	96	95	96	95	91	96	96	95	98	95
N-Deposition Gewässer	0	1	1	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	6	1	1	3	0	2
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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-Einträge sonstige	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Summe N-Direkteinträge	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	2	3	3	7	2	2	4	1	3
<b>Summe gelöste N-Einträge</b>	<b>100</b>																		
Zu- oder Abflüsse										16	2					581			112
<b>partikuläre N-Einträge (%)</b>																			
N-Erosion Acker	40	36	34	28	1	2	0	3	4	0	0	23	9	10	21	38	30	34	4
N-Erosion 'natürlich'	50	55	58	64	92	94	96	91	93	96	98	67	83	79	68	51	58	55	92
N-Einträge sonstige	10	9	8	8	7	4	4	6	4	4	1	11	9	10	11	11	12	12	3
<b>Summe partikuläre N-Einträge</b>	<b>100</b>																		
<b>gelöst</b>	<b>91</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>93</b>	<b>90</b>	<b>86</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>87</b>	<b>88</b>	<b>73</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>99</b>	<b>95</b>	<b>96</b>	<b>86</b>
<b>partikulär</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>27</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>14</b>
<b>Gesamt-Einträge</b>	<b>100</b>																		

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

Tab. 13: Stickstoff-Einträge aus diffusen Quellen in den Einzugsgebieten des Bodensees im hydrologischen Jahr 1996/97 (relative Werte).

N-Einträge (kg·ha <sup>-1</sup> ·y <sup>-1</sup> )	Obersee																Untersee			Gesamt- gebiet
	Stock	Seef.	Röt.	Schu.	Argen	Leib.	Breg.	Dom.	Rh'tal	Ill	Alprh.	Rg BW	Rg BY	Rg A	Rg CH	Radol.	Rg BW	Rg CH		
<b>Grasland</b>																				
Abschwemmung	0,2	0,3	0,3	0,4	1,0	0,9	0,6	0,4	0,5	0,3	0,3	0,2	0,5	0,3	0,5	0,2	0,2	0,4	<b>0,4</b>	
Auswaschung/Drainage	5,0	8,1	9,8	9,0	12,4	12,4	11,9	14,5	11,9	9,8	7,9	8,7	13,3	11,0	9,6	5,3	9,8	11,9	<b>9,7</b>	
<b>Ackerland</b>																				
Abschwemmung	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,8	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	<b>0,3</b>	
Auswaschung/Drainage	21,5	32,4	45,0	40,9	45,2	64,0	71,7	70,4	64,2	67,0	51,5	37,7	59,9	63,3	48,3	23,2	39,1	53,1	<b>39,4</b>	
Bodenerosion	1,1	1,1	1,6	1,4	1,6	3,0	2,7	2,3	1,2	1,8	1,0	1,2	3,1	2,3	1,9	1,2	1,1	1,3	<b>1,3</b>	
<b>Wald</b>																				
Abschwemmung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>0,1</b>	
Auswaschung	1,3	3,4	4,6	4,8	10,4	10,6	9,8	10,0	7,5	8,9	5,2	3,4	8,8	8,8	7,2	1,8	3,3	6,0	<b>6,5</b>	
<b>unprod. Veg./veg.-los</b>																				
Abschw./Ausw.	3,3	5,6	6,1	6,6	12,8	13,4	13,3	13,9	10,3	6,0	4,1	6,0	11,4	8,3	6,8	4,5	4,7	7,0	<b>4,7</b>	
<b>Gewässer</b>																				
Deposition	14,6	14,9	15,9	15,1	17,5	17,4	17,6	17,7	17,2	9,9	7,4	15,0	17,7	16,3	17,1	15,6	14,9	15,5	<b>11,9</b>	
<b>Siedl.-grünfl./Strassen</b>																				
Abschw./Ausw.	8,8	11,7	12,4	13,9	23,2	23,4	22,9	25,3	24,0	25,6	19,0	13,7	26,7	19,0	19,4	5,3	11,9	16,1	<b>17,6</b>	
<b>Gesamtfläche</b>																				
'natürliche' Erosion	0,5	0,6	0,7	0,7	1,3	2,0	2,1	1,4	2,2	1,5	2,4	0,6	0,8	0,7	0,6	0,4	0,4	0,4	<b>1,7</b>	
Sonstige*	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	<b>0,1</b>	
<b>Totale N-Einträge</b>	<b>10,9</b>	<b>16,3</b>	<b>19,5</b>	<b>16,6</b>	<b>14,6</b>	<b>15,6</b>	<b>14,0</b>	<b>16,4</b>	<b>17,5</b>	<b>11,1</b>	<b>8,8</b>	<b>12,8</b>	<b>16,1</b>	<b>14,3</b>	<b>14,6</b>	<b>10,2</b>	<b>14,0</b>	<b>19,0</b>	<b>12,1</b>	
<b>N-gelöst</b>	<b>9,9</b>	<b>15,2</b>	<b>18,2</b>	<b>15,4</b>	<b>13,2</b>	<b>13,4</b>	<b>11,9</b>	<b>14,8</b>	<b>15,1</b>	<b>9,5</b>	<b>6,4</b>	<b>11,9</b>	<b>15,1</b>	<b>13,4</b>	<b>13,7</b>	<b>9,3</b>	<b>13,2</b>	<b>18,2</b>	<b>10,2</b>	
<b>N-partikulär</b>	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	<b>2,2</b>	<b>2,2</b>	<b>1,6</b>	<b>2,3</b>	<b>1,5</b>	<b>2,4</b>	<b>0,8</b>	<b>1,0</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>1,9</b>	

\* = Stoffeinträge durch landwirtschaftliche und sonstige diffuse Direkteinträge

Tab. 14: Berechnete nutzungsspezifische diffuse Stickstoffeinträge für das hydrologische Jahr 1996/97.

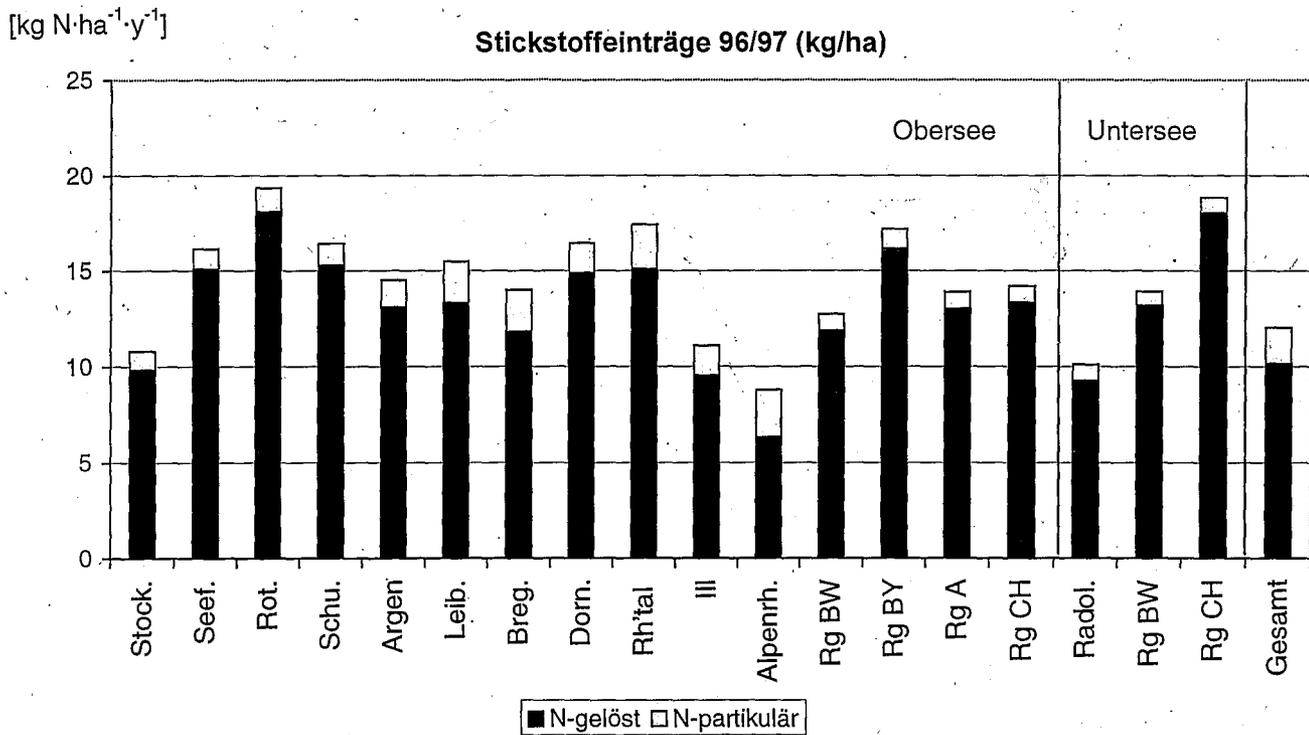
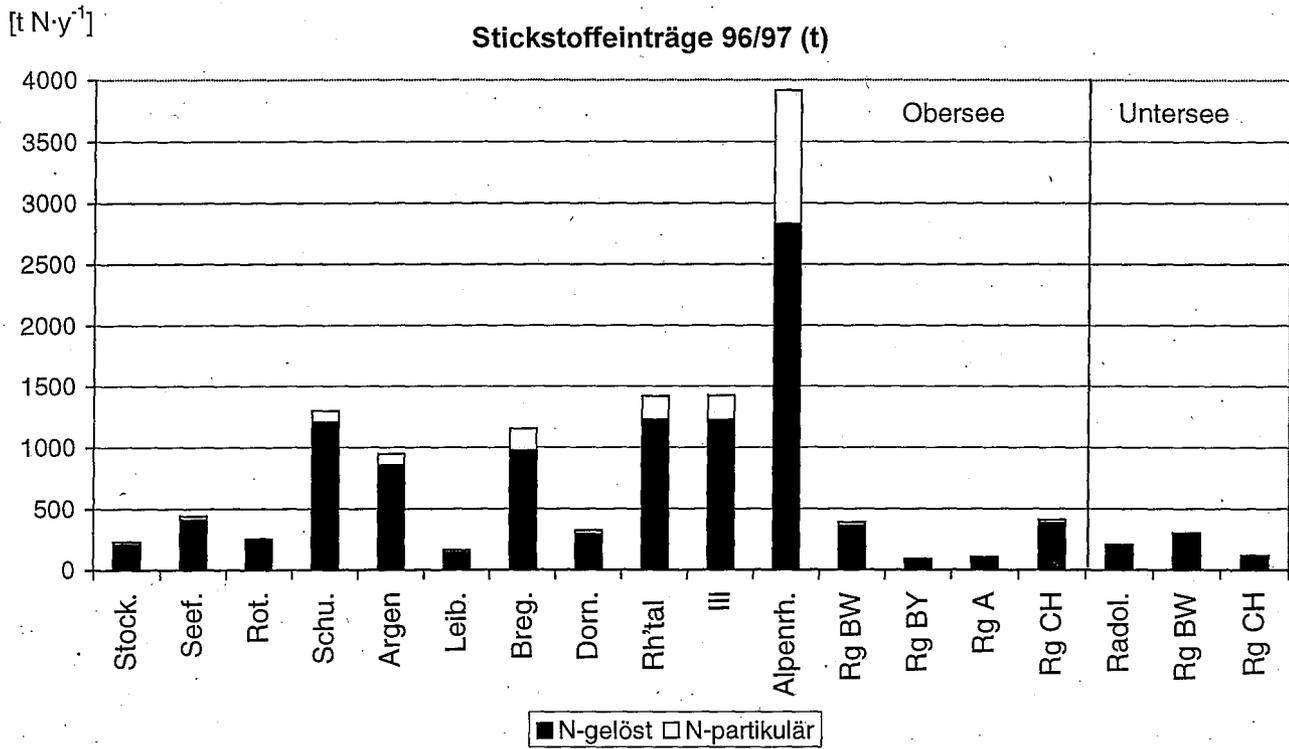


Abb. 6: Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den verschiedenen Einzugsgebieten für das hydrologische Jahr 1996/97, unterteilt in ihren gelösten und partikulären Anteil. Oben: absolute Werte, unten: flächenspezifische Werte (N-gesamt siehe Anhang Abb. A2).

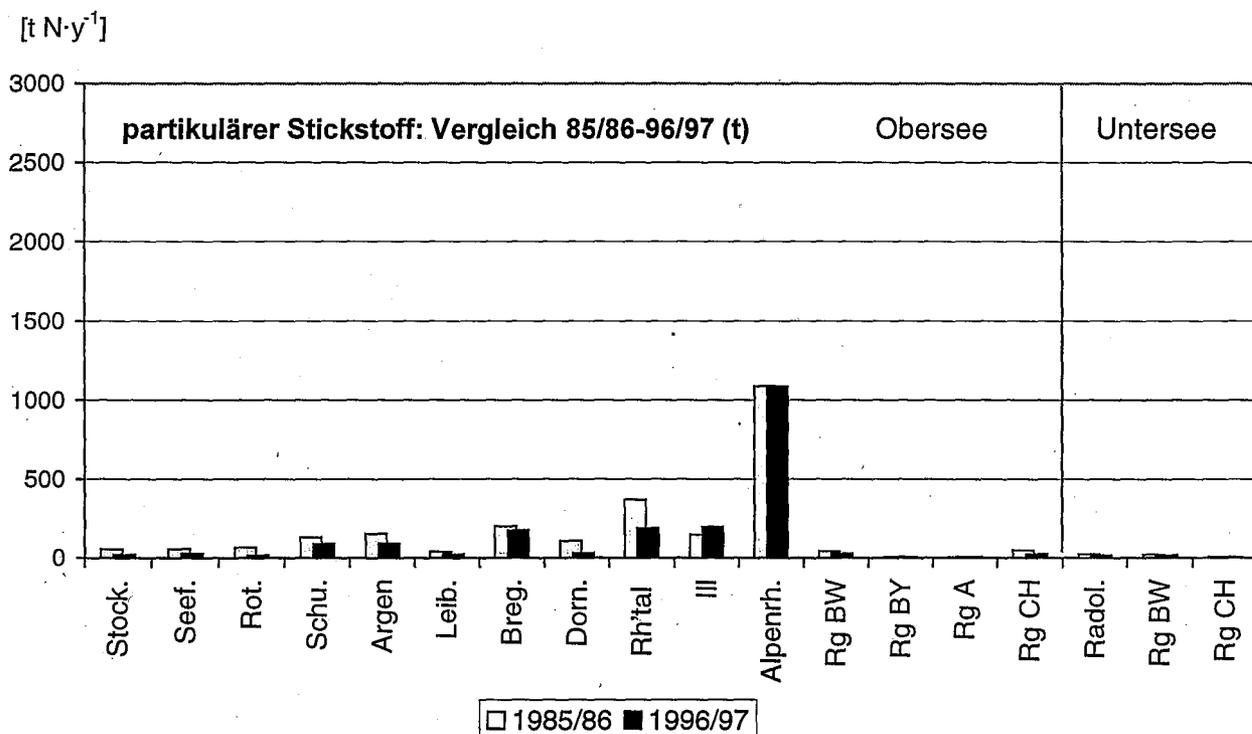
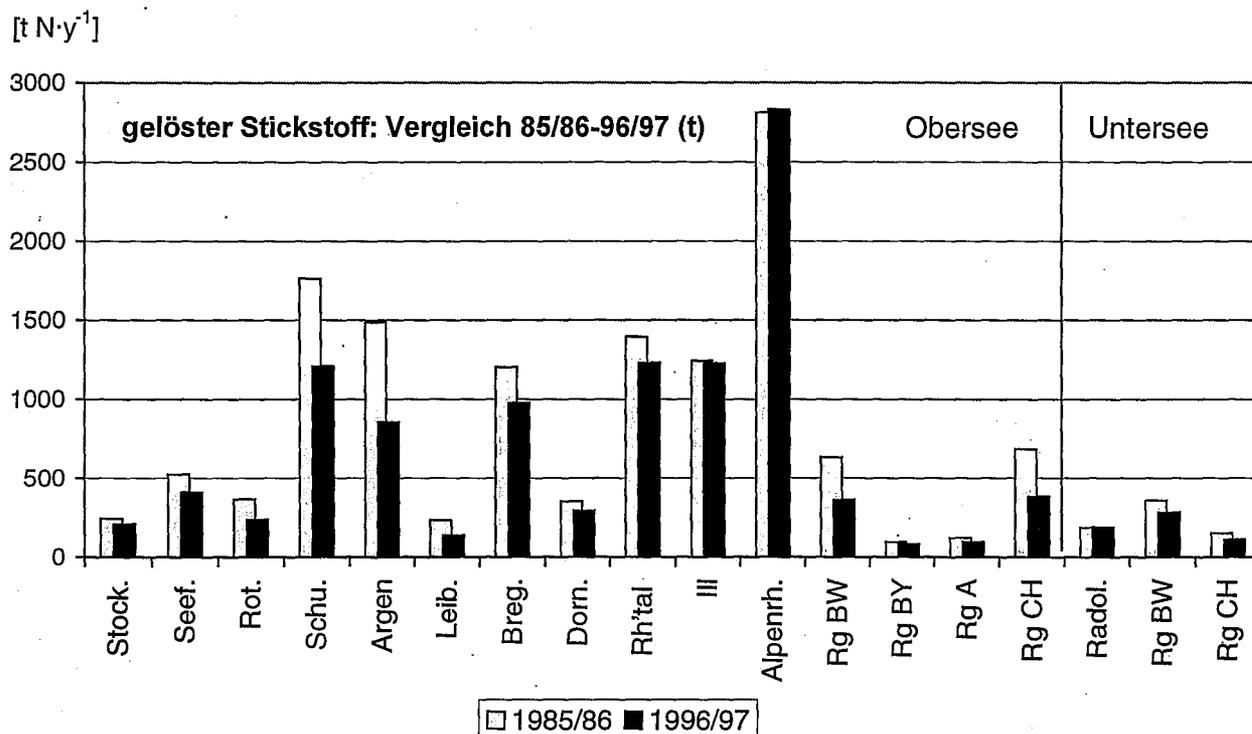
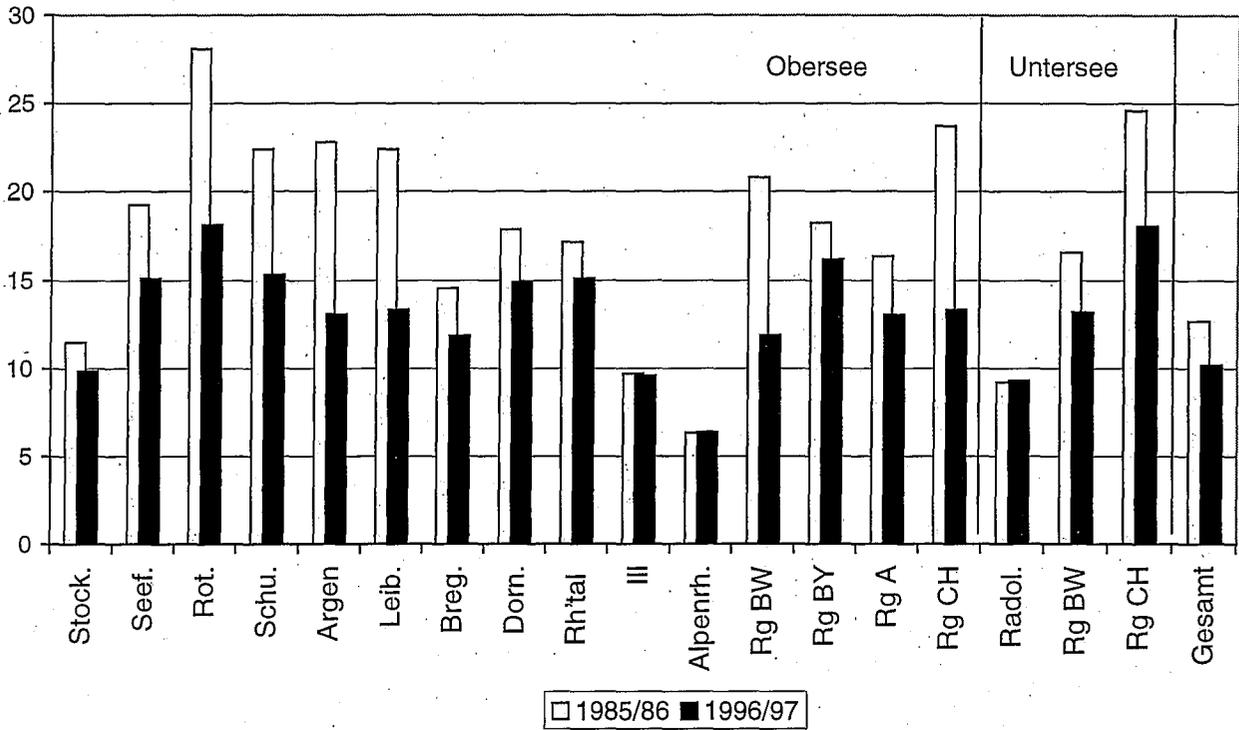


Abb. 7: Vergleich der gelösten (oben) und partikulären (unten) Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen der Jahre 1985/86 und 1996/97 (absolute Werte) (N-gesamt siehe Anhang Abb. A2).

[kg N·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup>]

gelöster Stickstoff: Vergleich 85/86-96/97 (kg/ha)



[kg N·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup>]

partikulärer Stickstoff: Vergleich 85/86-96/97 (kg/ha)

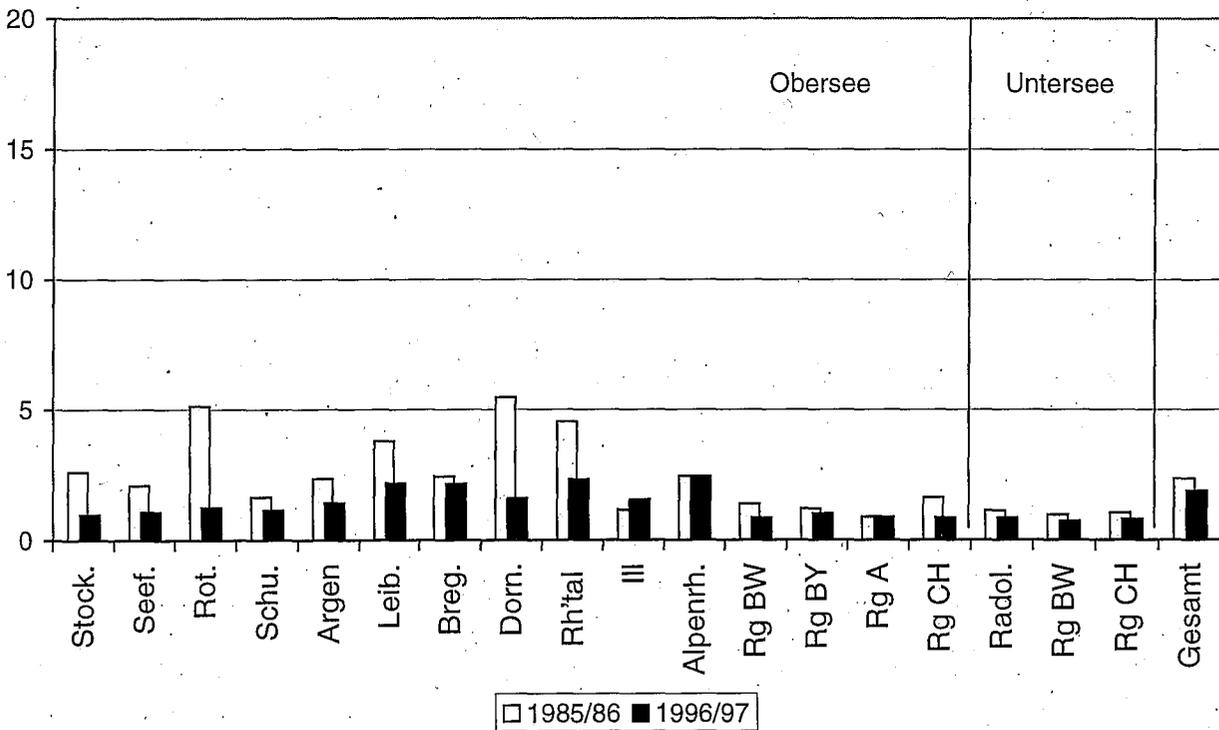


Abb. 8: Vergleich der gelösten (oben) und partikulären (unten) Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen der Jahre 1985/86 und 1996/97 (flächenspezifische Werte) (N-gesamt siehe Anhang Abb. A2).

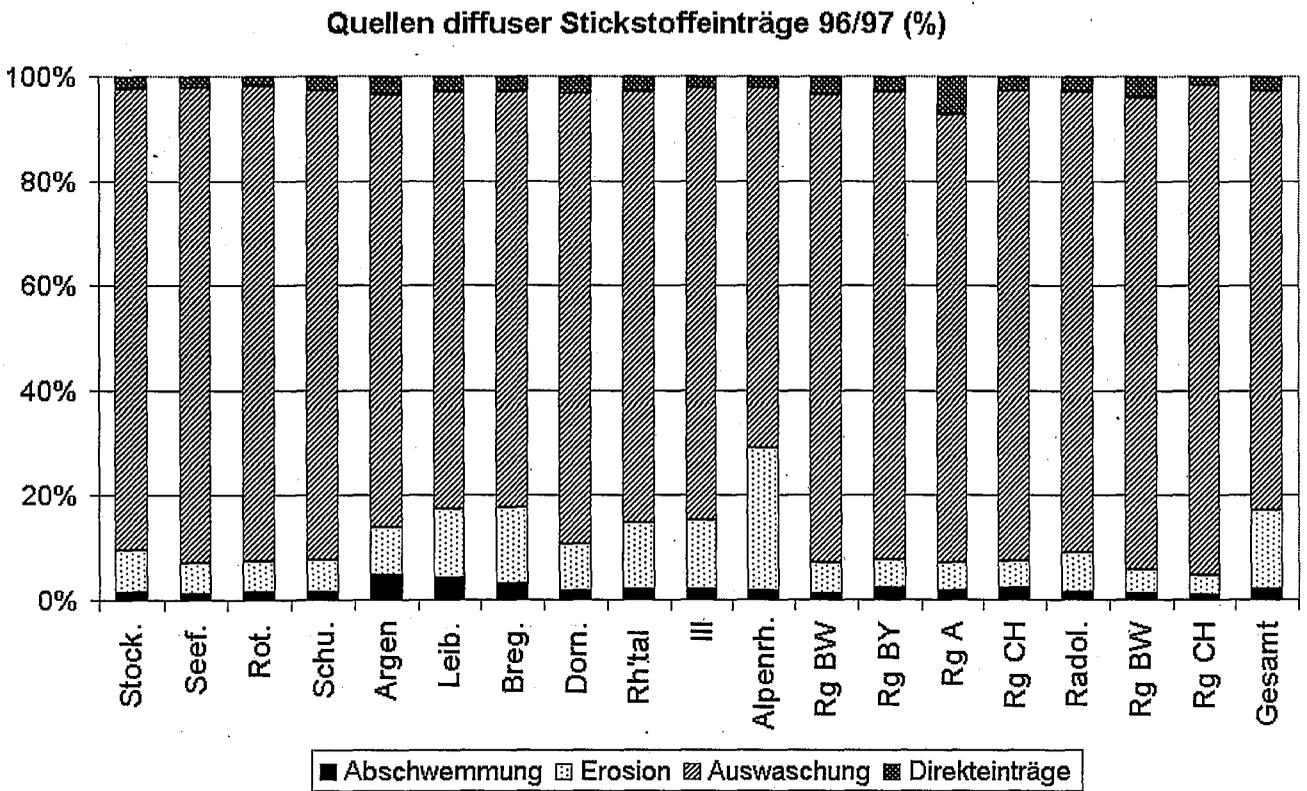
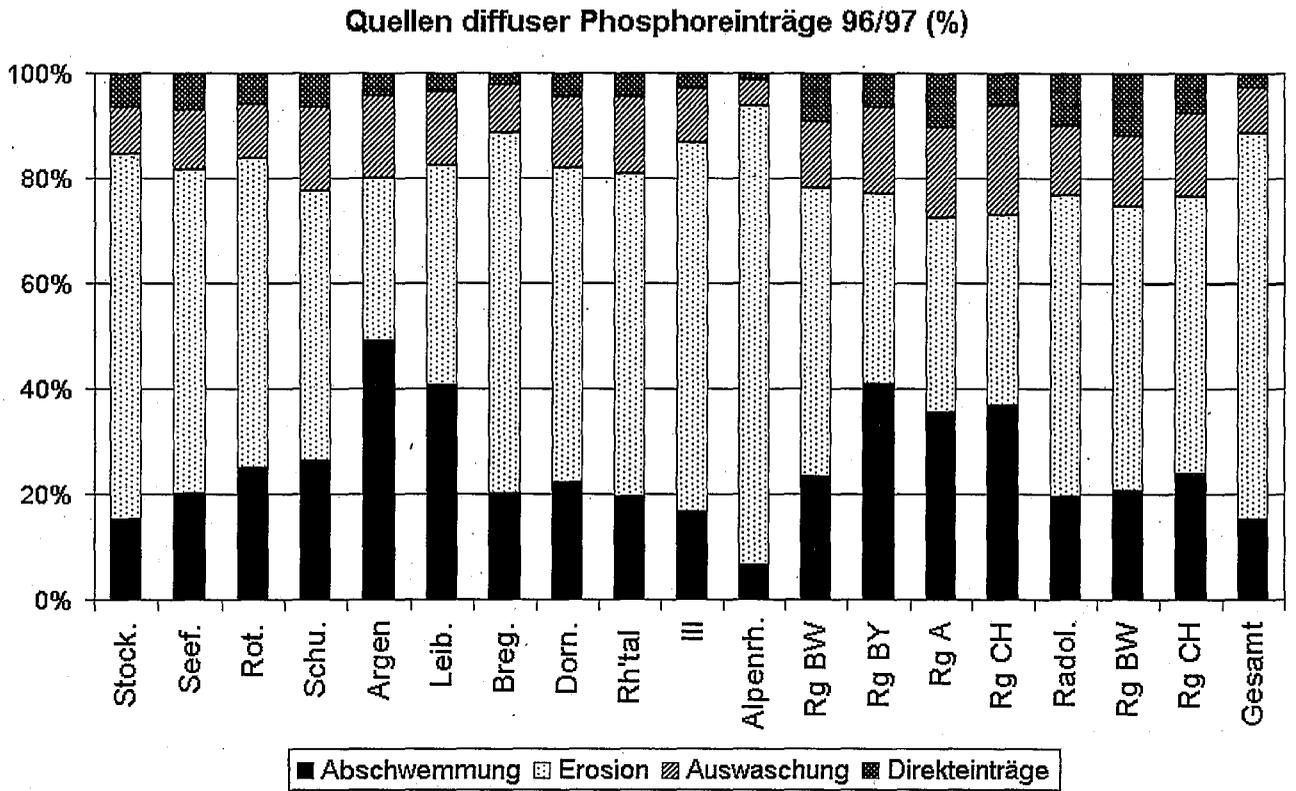


Abb. 9: Prozentuale Anteile der verschiedenen Haupteintragspfade für diffuse Nährstoffverluste 1996/97.

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

### 3.2.1 Natürliche Hintergrundlast

Die gesamte zum Abfluss kommende Wassermenge war mit 9 439 Mio.  $\text{m}^3\text{y}^{-1}$  (Tab. 15) aufgrund der grösseren Verdunstung des Waldes geringer als unter heutigen Landnutzungsverhältnissen (s. Kap. 2.4). Im Mittel betrug diese Reduktion ca. 8%. Während sie in den alpinen Gebieten niedriger war, betrug sie in den landwirtschaftlich intensiv genutzten, niederschlagsarmen Gebieten bis über 50%. Somit wurden die Nährstofffrachten der natürlichen Hintergrundlast nicht nur wegen der niedrigeren Stoffkonzentrationen, sondern auch wegen der geringeren Abflussmengen gegenüber den heutigen Landnutzungsverhältnissen reduziert.

#### Phosphor

Die natürliche Hintergrundlast betrug für das gesamte Bodensee-Einzugsgebiet  $840 \text{ ty}^{-1}$  Gesamt-Phosphor (Tab. 15). 63% stammten allein aus dem Gebiet Alpenrhein, 89% 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 Alpenrhein und Bregenzerach mit über  $1 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$  um ein Vielfaches über den Austrägen in den übrigen Gebieten. Neben der partikulären Grundfracht aus der 'natürlichen Erosion' (52 - 92%) trugen die Auswaschung unter Wald (3 - 28%) und die Einträge aus Laubfall auf Gewässer (1 - 20%) noch massgeblich zur natürlichen Hintergrundlast bei.

Der Vergleich mit den Werten von 1985/86 zeigt, dass die gelösten Phosphoreinträge aus der natürlichen Hintergrundlast in den meisten Gebieten leicht abgenommen haben (Abb. 10 oben). Dies ist durch die niedrigeren Wasserflüsse zu erklären. Die partikulären Phosphoreinträge aus der natürlichen Hintergrundlast haben sogar in einigen Gebieten (Stockacher Aach, Rotach, Leiblach, Dornbirnerach, Rheintal) markant abgenommen (Abb. 10 unten). Dies resultiert aus den deutlich geringeren Materialeinträgen aus der natürlichen Erosion. Es zeigt sich somit, dass die natürliche Hintergrundlast keine konstante Fracht ist, sondern von Jahr zu Jahr in Abhängigkeit von der Wassermenge und der natürlichen Erosion mehr oder weniger stark variieren kann.

#### Stickstoff

Die natürliche Hintergrundlast an Gesamt-Stickstoff lag im Bodensee-Einzugsgebiet bei  $5\,374 \text{ ty}^{-1}$  (Tab. 15). 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 1 und  $7 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ , je nach Höhe der Wasserflüsse und der 'natürlichen' Erosion.

Der Vergleich mit den Werten von 1985/86 zeigt, dass die gelösten Stickstoffeinträge aus der natürlichen Hintergrundlast in den meisten Gebieten leicht abgenommen haben (Abb. 11 oben). Dies ist durch die niedrigeren Wasserflüsse zu erklären. Die partikulären Stickstoff-

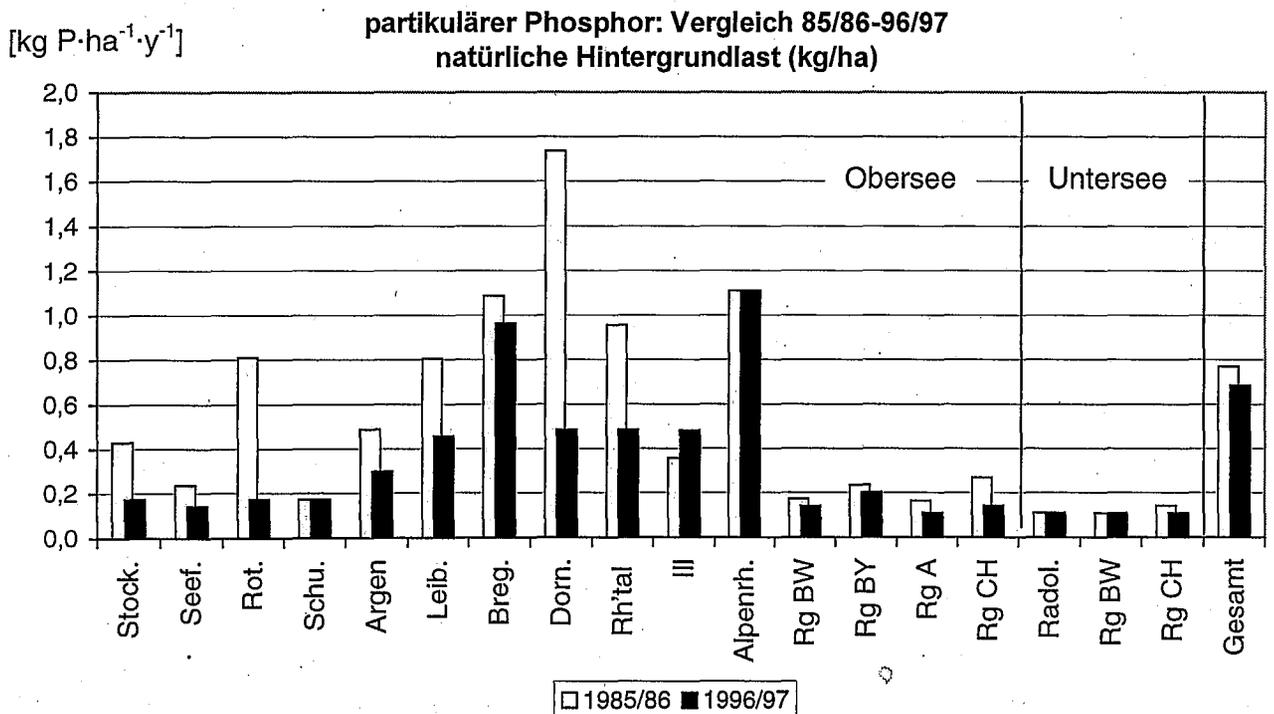
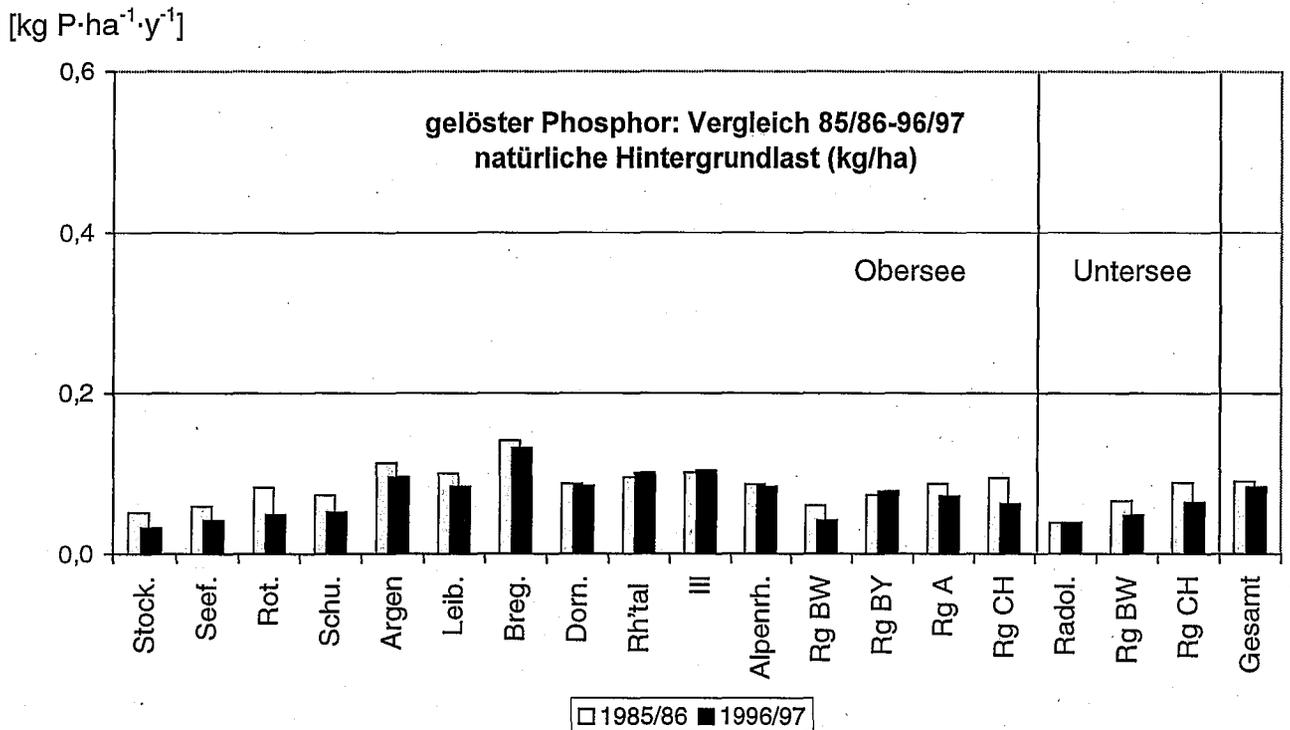
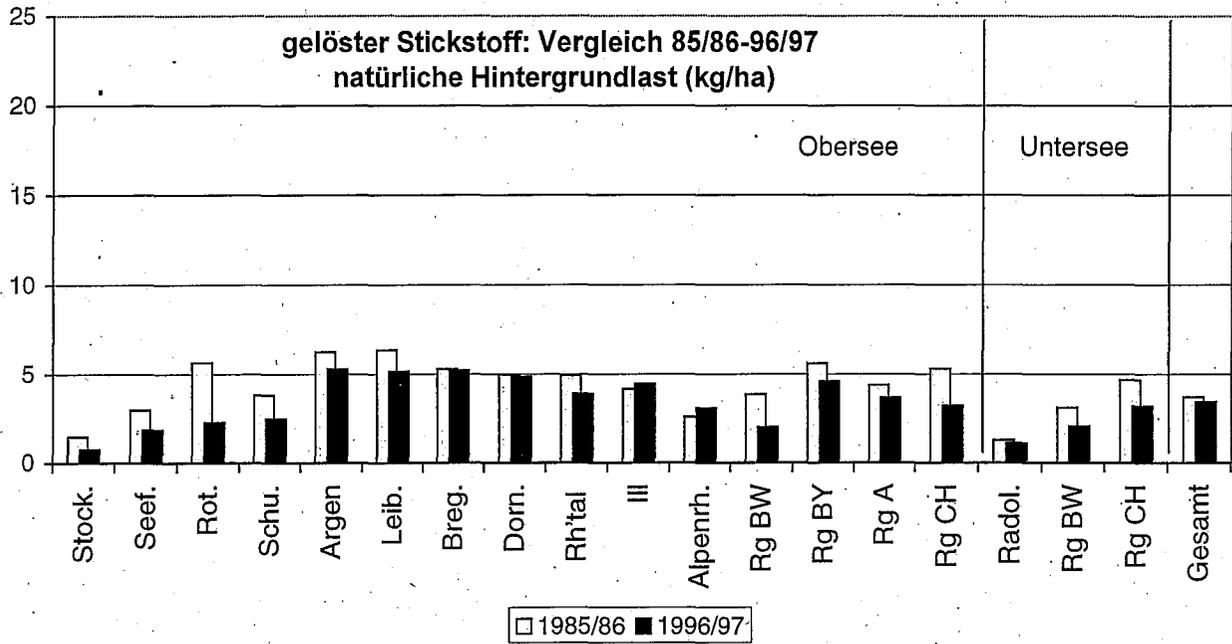


Abb. 10: Vergleich der gelösten (oben) und partikulären (unten) Phosphoreinträge aus der natürlichen Hintergrundlast der Jahre 1985/86 und 1996/97 (flächenspezifische Werte) (P-Gesamt siehe Anhang Abb. A3).

[kg N·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup>]



[kg N·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup>]

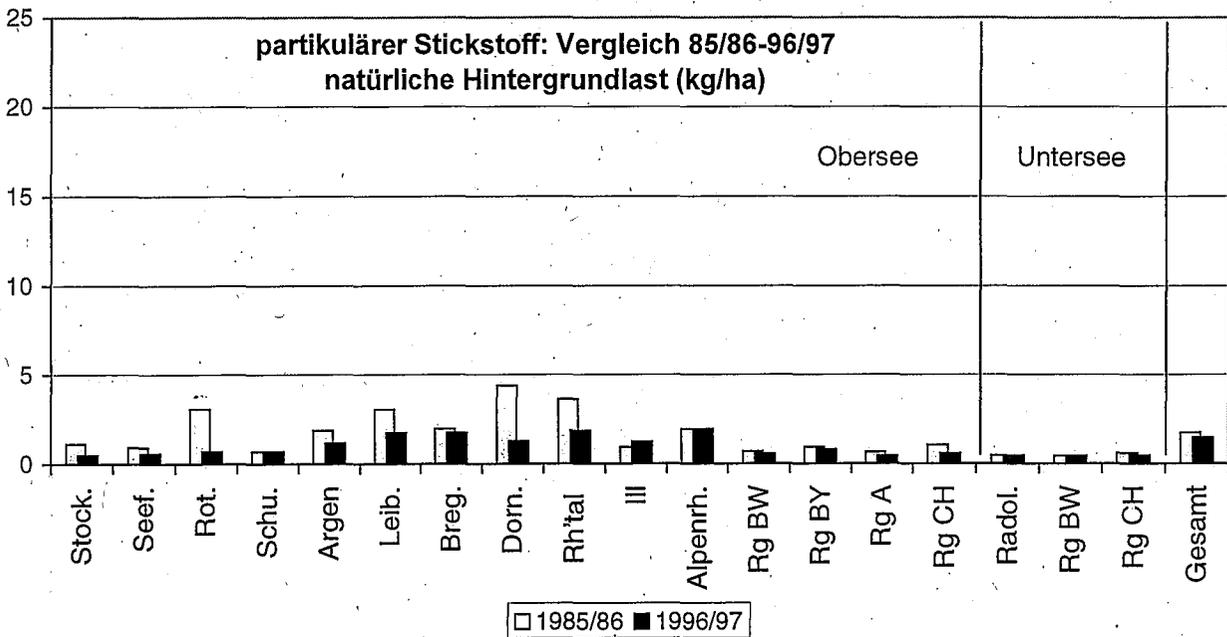


Abb. 11: Vergleich der gelösten (oben) und partikulären (unten) Stickstoffeinträge aus der natürlichen Hintergrundlast der Jahre 1985/86 und 1996/97 (flächenspezifische Werte) (N-Gesamt siehe Anhang Abb. A3).

einträge aus der natürlichen Hintergrundlast haben sogar in einigen Gebieten (Rotach, Leiblach, Dornbirnerach, Rheintal) markant abgenommen (Abb. 11 unten). Dies resultiert aus den deutlich geringeren Materialeinträgen aus der natürlichen Erosion.

Natürliche Hintergrundlast									
	Abfluss Mio. m <sup>3</sup>	Phosphoreinträge				Stickstoffeinträge			
		gesamt (t)	partikulär (t)	gelöst (t)	gesamt (kg·ha <sup>-1</sup> )	gesamt (t)	partikulär (t)	gelöst (t)	gesamt (kg·ha <sup>-1</sup> )
Stock.	18,2	4,4	3,7	0,7	0,21	26,7	10,6	16,1	1,3
Seef.	47,2	5,0	3,9	1,2	0,18	66,5	15,7	50,7	2,4
Rot.	28,1	2,9	2,3	0,6	0,22	38,9	9,1	29,8	3,0
Schu.	184,4	17,8	13,7	4,1	0,23	250,4	54,7	195,7	3,2
Argen	447,9	25,8	19,5	6,3	0,39	422,2	76,1	346,1	6,5
Leib.	70,3	5,7	4,8	0,9	0,54	72,5	18,5	54,1	6,9
Breg.	1195,0	90,4	79,5	10,9	1,10	575,6	144,9	430,7	7,0
Dorn.	190,2	11,3	9,6	1,7	0,57	121,7	25,3	96,4	6,1
Rh'tal	583,0	47,8	39,6	8,2	0,59	469,1	151,9	317,2	5,8
Ill	1725,1	75,3	62,0	13,3	0,59	730,6	160,4	570,2	5,7
Alprh.	4677,8	531,7	494,5	37,1	1,19	2244,4	874,6	1369,7	5,0
Rg BW	37,8	5,6	4,3	1,3	0,18	78,4	17,5	60,9	2,6
Rg BY	31,1	1,5	1,1	0,4	0,28	28,3	4,2	24,1	5,4
Rg A	50,0	1,4	0,8	0,5	0,18	31,0	3,4	27,6	4,1
Rg CH	89,7	5,9	4,1	1,8	0,20	109,7	16,7	93,0	3,8
Radol.	16,0	3,1	2,3	0,8	0,15	31,7	9,3	22,4	1,6
Rg BW	32,2	3,4	2,3	1,1	0,16	54,0	9,7	44,2	2,5
Rg CH	15,3	1,1	0,7	0,4	0,18	22,7	2,9	19,8	3,6
<b>Gesamt</b>	<b>9439,2</b>	<b>839,9</b>	<b>748,6</b>	<b>91,3</b>	<b>0,77</b>	<b>5374,3</b>	<b>1605,4</b>	<b>3768,9</b>	<b>4,9</b>

Tab. 15: Abfluss, Phosphor- und Stickstoffeinträge für die natürliche Hintergrundlast im hydrologischen Jahr 1996/97.

### 3.2.2 Anthropogen diffuse Belastung

Aus der Differenz der gesamten diffusen Belastung der Hauptberechnung (Kap. 3.1) und der natürlichen Hintergrundlast errechnet sich die anthropogen diffuse Belastung (= überwiegend Landwirtschaft).

#### Phosphor

Die gelösten Phosphoreinträge resultierten überwiegend (72% im Mittel bzw. 240 t P·y<sup>-1</sup>) aus der anthropogen diffusen Belastung (Abb. 12 oben und 14 oben). Vor allem in den Gebieten mit hoher Gülleabschwemmung (Argen, Leiblach, 'Randgebiet Obersee Schweiz') war der prozentuale Anteil der anthropogen diffusen Belastung besonders hoch. In den alpinen Gebieten Ill und Alpenrhein war aufgrund des hohen Anteils unproduktiver Flächen der prozentuale Anteil der anthropogen diffusen Belastung dagegen unterdurchschnittlich. Die grössten absoluten gelösten Einträge stammten aus den Gebieten Alpenrhein, Argen, Bre-

genzerach, Rheintal und Schussen (zusammen 72% der gelösten anthropogen diffusen Fracht) (Abb. 14 oben).

Bei den partikulären Phosphoreinträgen betrug der Anteil der anthropogen diffusen Belastung nur 23% (= 223 t P·y<sup>-1</sup>). Die natürliche Hintergrundlast erreichte - bedingt durch die hohen Stoffeinträge durch 'natürliche Erosion' - im Mittel 77% (Abb. 12 unten). Allein aus dem Gebiet Alpenrhein stammten 121 t P·y<sup>-1</sup> bzw. 54% der partikulären anthropogen diffusen Einträge (vor allem Erosion von Skipisten und Wanderwegen) (Abb. 14 unten). Nur in den ackerbaulich genutzten Gebieten mit hoher Bodenerosion von Ackerflächen wurden hohe prozentuale Anteile (50 - 60%) anthropogen diffuser Belastung erreicht.

Die höchsten flächenspezifischen, anthropogen diffusen, gelösten Phosphoreinträge ergaben sich mit über 0,6 kg P·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup> in den Graslandgebieten mit hoher Viehbesatzdichte und entsprechend hoher Gülleabschwemmung (Argen und Leiblach) (Abb. 16 oben). In den beiden am stärksten alpin geprägten Gebieten Alpenrhein und Ill sowie in den niederschlagsarmen Gebieten Stockacher Aach, Radolfzeller Aach und 'Randgebiete Untersee Baden-Württemberg' ergaben sich beim gelösten Phosphor die niedrigsten anthropogen diffusen Einträge (<0,15 kg P·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup>).

Die höchsten flächenspezifischen, anthropogen diffusen, partikulären Phosphoreinträge lagen mit >0,2 kg P·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup> einerseits in den Ackerbaugebieten mit hoher Bodenerosion von Ackerflächen (Rotach, Stockacher Aach, Seefelder Ach), andererseits im Gebiet Alpenrhein mit anthropogen bedingten Erosion von Skipisten und Wanderwegen (Abb. 16 oben).

Beim Vergleich der anthropogen diffusen, gelösten Phosphoreinträge 1985/86 und 1996/97 zeigt sich, dass in allen Gebieten die Einträge deutlich zurückgegangen\* sind (Abb. 17 oben). Vor allem in den Gebieten mit den höchsten flächenspezifischen Belastungen 1985/86 (Argen, Leiblach, 'Randgebiete Obersee Schweiz') haben sich diese 1996/97 stark verringert\*. Auch die anthropogen diffusen, partikulären Phosphoreinträge haben gegenüber 1985/86 in fast allen Gebieten (Ausnahme: Ill) abgenommen\* (Abb. 17 unten). Auch hier wurden in den Gebieten mit den höchsten Belastungen 1985/86 (Rotach, Stockacher Aach, Seefelder Aach, Schussen) 1996/97 die grössten Reduktionen\* erreicht.

### Stickstoff

Die gelösten Stickstoffeinträge wurden in allen Gebieten überwiegend (66% im Mittel bzw. 7 366 t N·y<sup>-1</sup>) durch die anthropogen diffuse Belastung verursacht und resultierten aus den Auswaschungsverlusten unter landwirtschaftlicher Nutzung (Abb. 13 oben und 15 oben). Vor allem in den stark ackerbaulich geprägten Gebieten (Stockacher Aach, Seefelder Aach, Rotach, Schussen, 'Randgebiet Obersee Baden-Württemberg', Radolfzeller Aach, 'Randgebiet Untersee Baden-Württemberg', 'Randgebiet Untersee Schweiz') war der prozentuale Anteil der anthropogen diffusen Belastung besonders hoch. In den alpinen Gebieten Ill und Alpenrhein war aufgrund des hohen Anteils unproduktiver Flächen der prozentuale Anteil der anthropogen diffusen Belastung dagegen unterdurchschnittlich. Die grössten absoluten gelösten Einträge stammten aus dem Gebiet Alpenrhein (1 461 t N·y<sup>-1</sup>) (Abb. 15 oben).

---

\* Siehe Fussnote S. 17

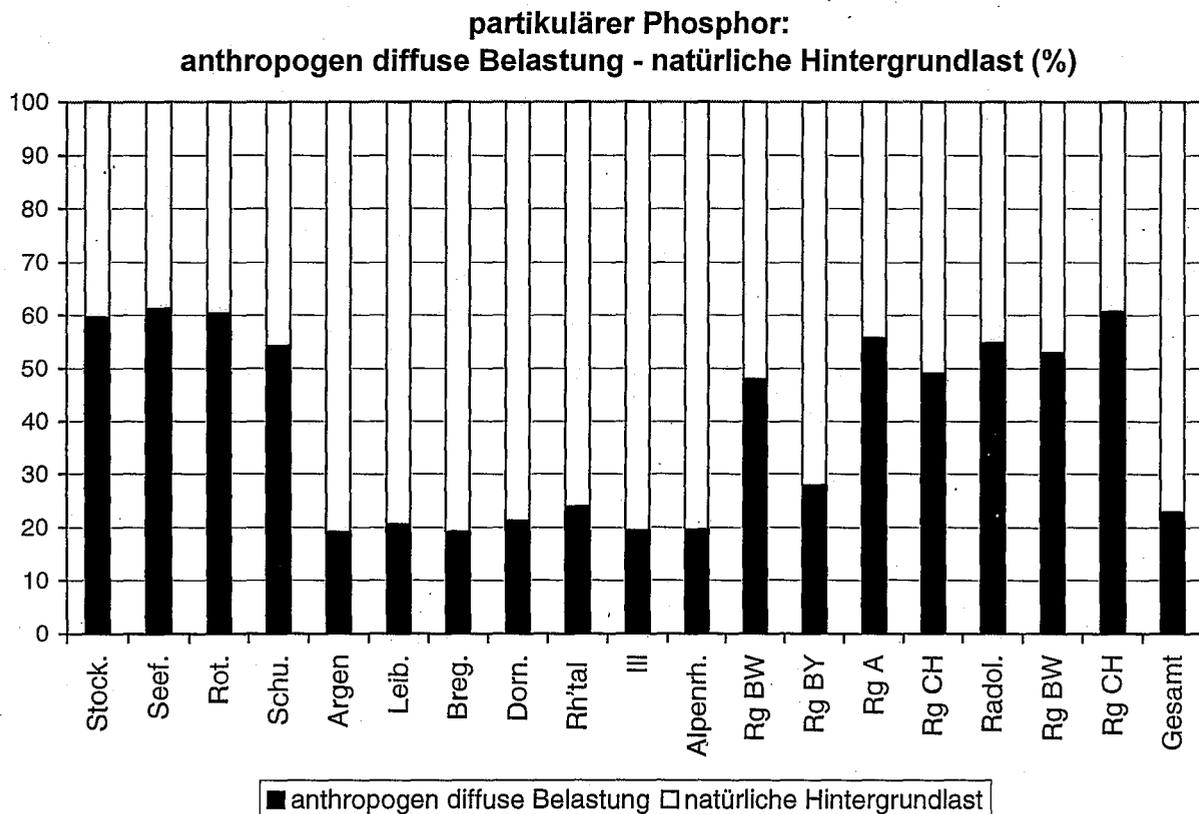
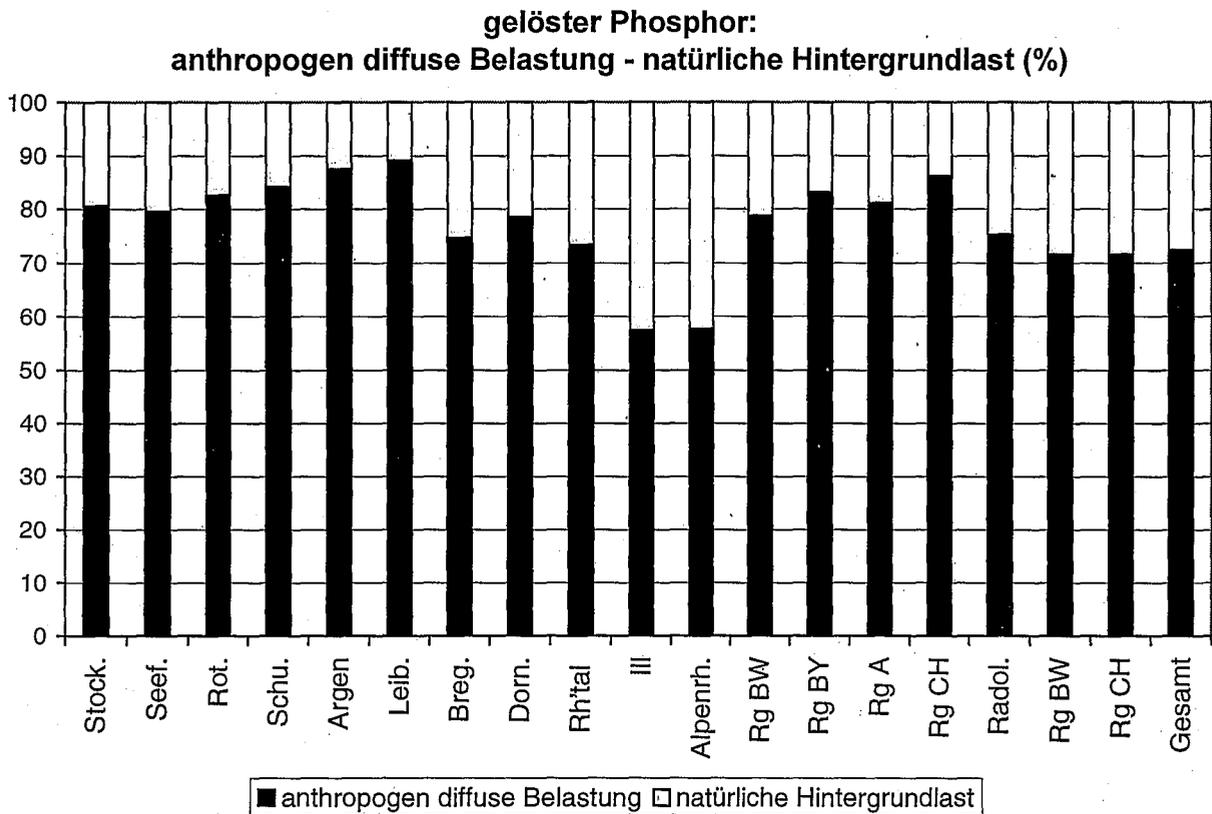


Abb. 12: Prozentuale Anteile von anthropogen diffuser Belastung und natürlicher Hintergrundlast an den Phosphoreinträgen aus diffusen Quellen im hydrologischen Jahr 1996/97 (P-gesamt siehe Anhang Abb. A4).

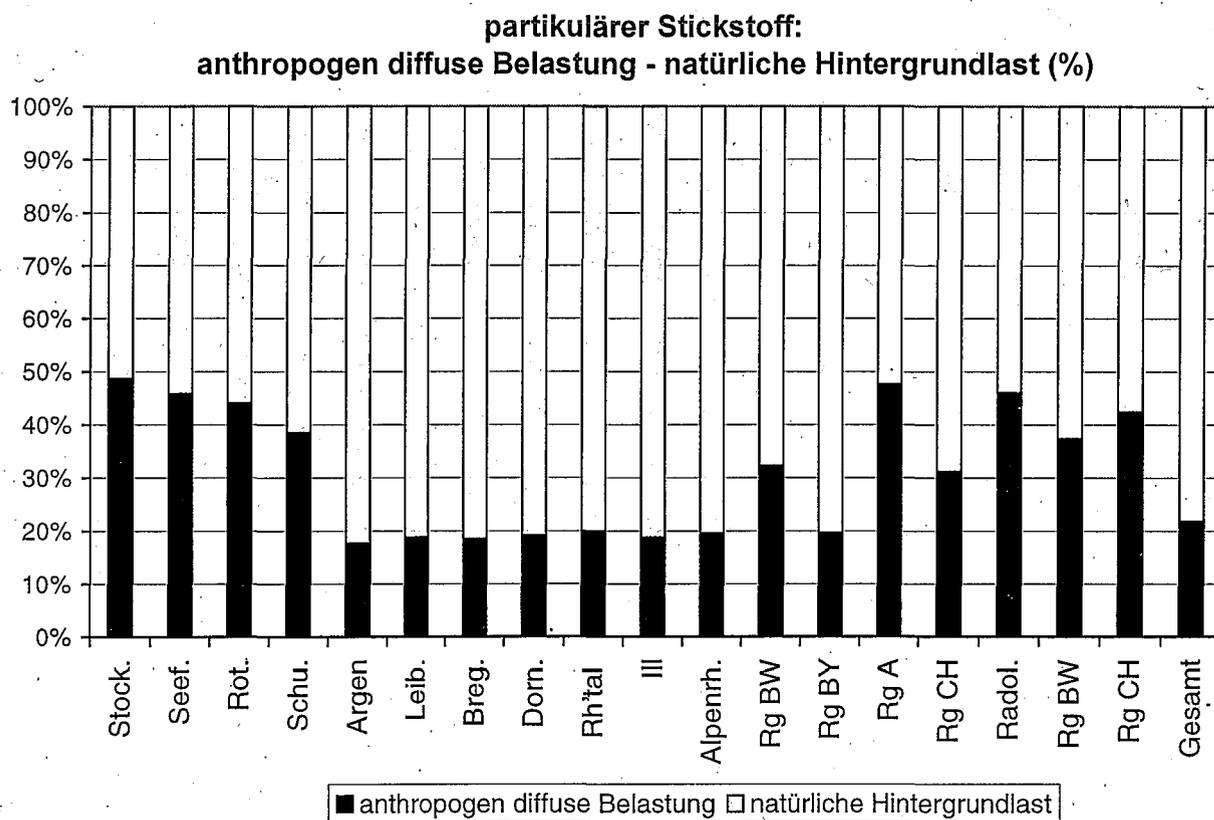
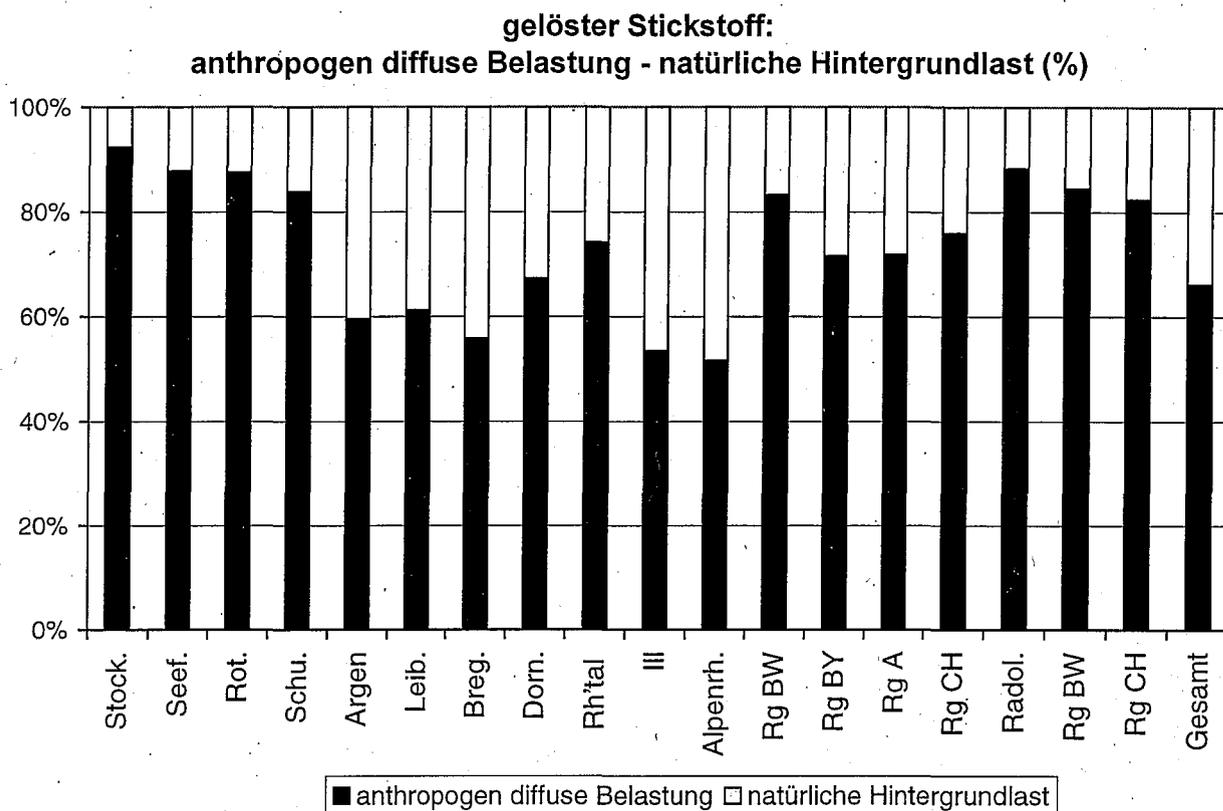


Abb. 13: Prozentuale Anteile von anthropogen diffuser Belastung und natürlicher Hintergrundlast an den Stickstoffeinträgen aus diffusen Quellen im hydrologischen Jahr 1996/97 (N-gesamt siehe Anhang Abb. A4).

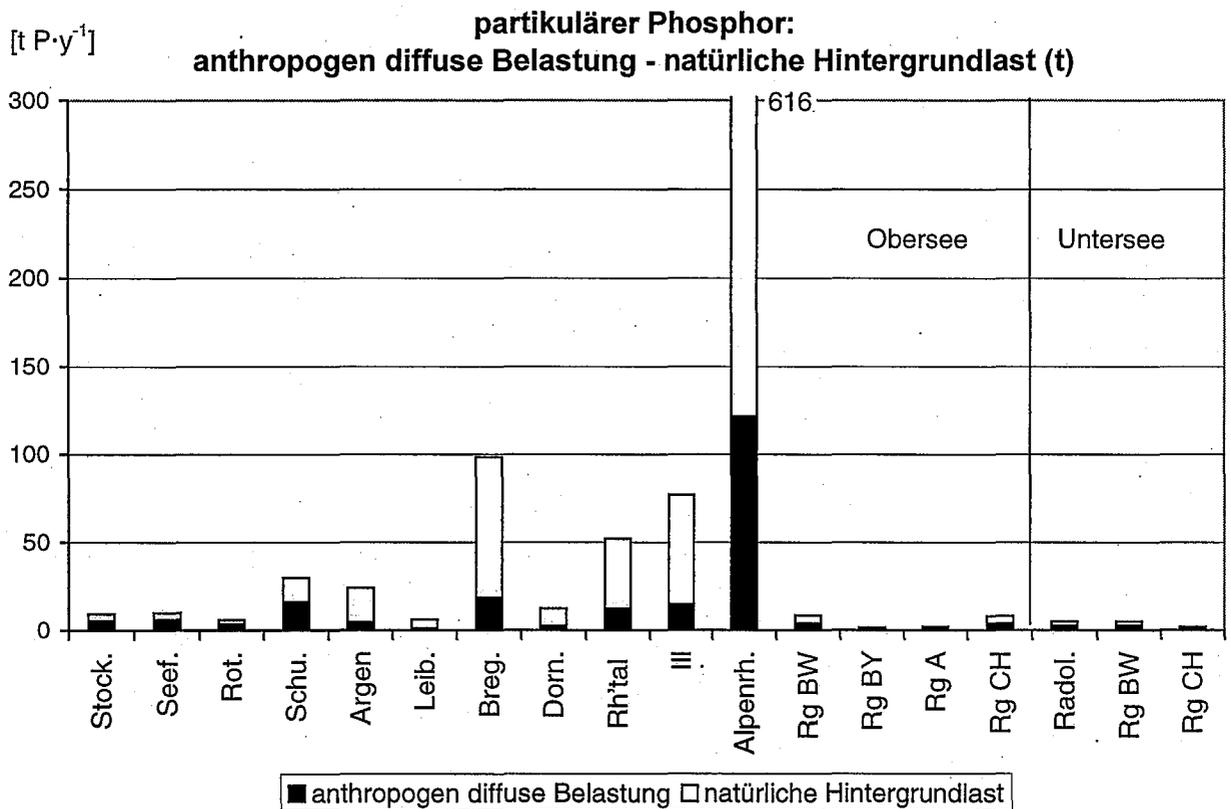
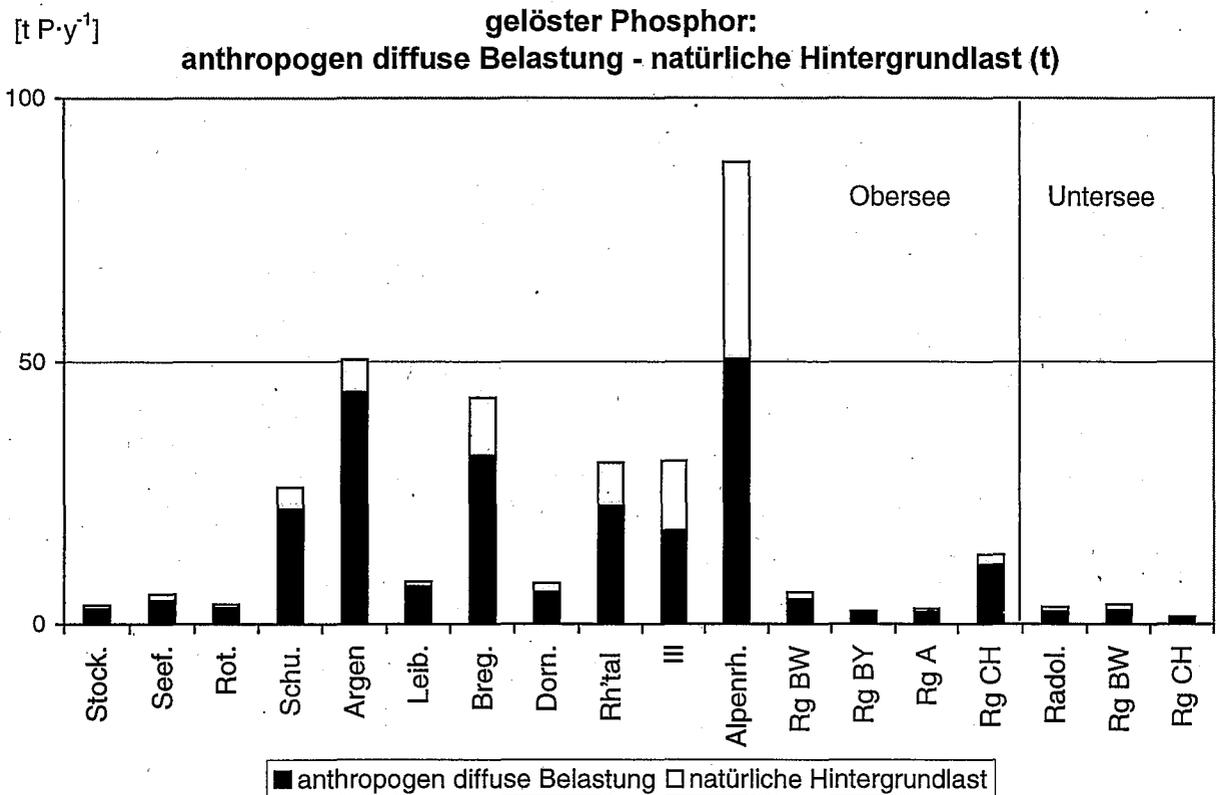


Abb. 14: Gelöste (oben) und partikuläre (unten) Phosphoreinträge aus diffusen Quellen in den verschiedenen Einzugsgebieten für das hydrologische Jahr 1996/97, unterteilt nach ihrem Anteil an anthropogen diffuser Belastung und natürlicher Hintergrundlast (P-gesamt siehe Anhang Abb. A5).

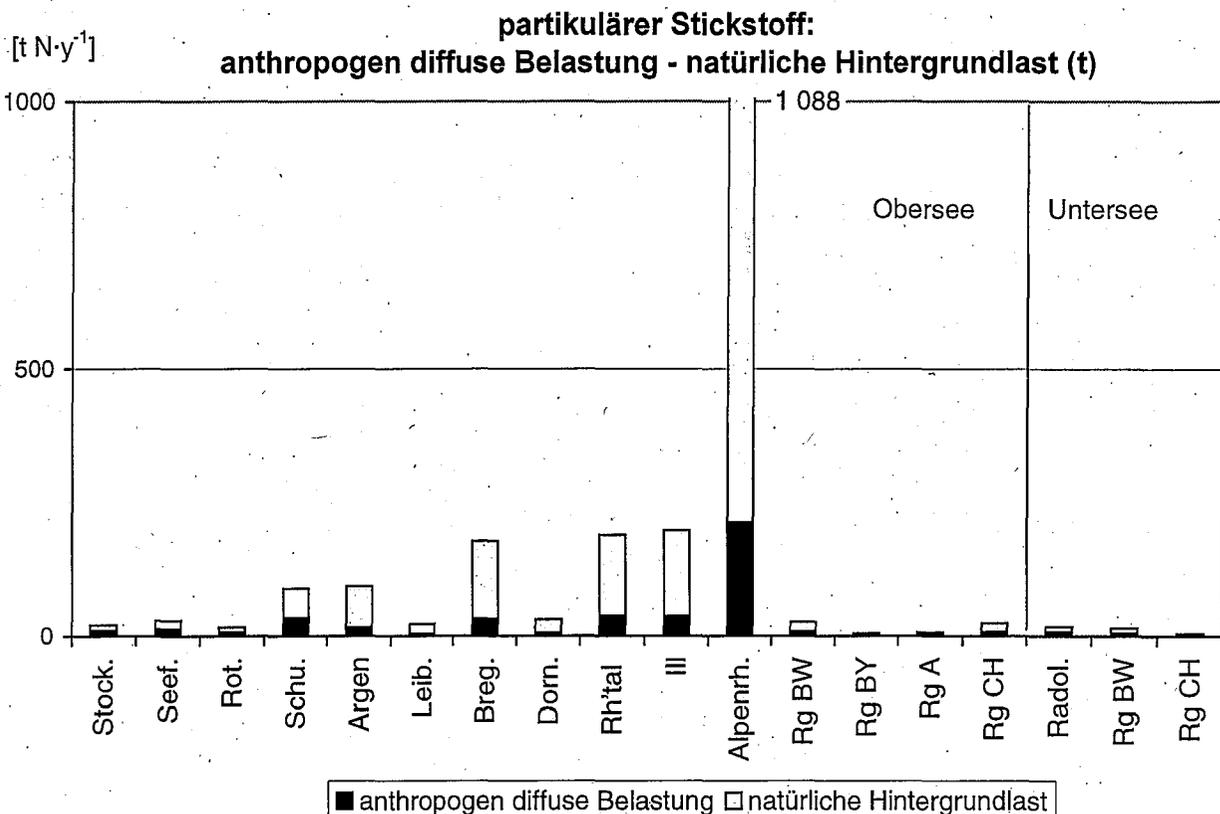
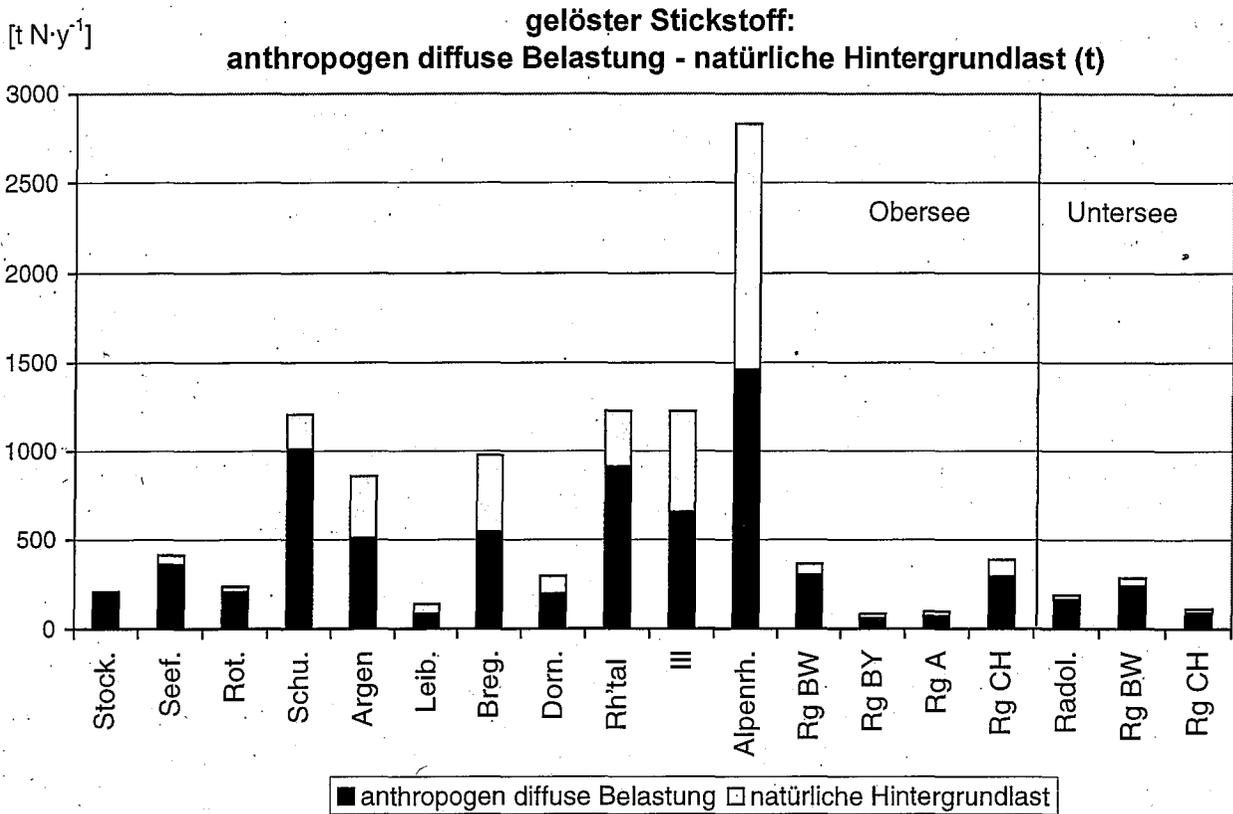


Abb. 15: Gelöste (oben) und partikuläre (unten) Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den verschiedenen Einzugsgebieten für das hydrologische Jahr 1996/97, unterteilt nach ihrem Anteil an anthropogener diffuser Belastung und natürlicher Hintergrundlast (N-gesamt siehe Anhang Abb. A5).

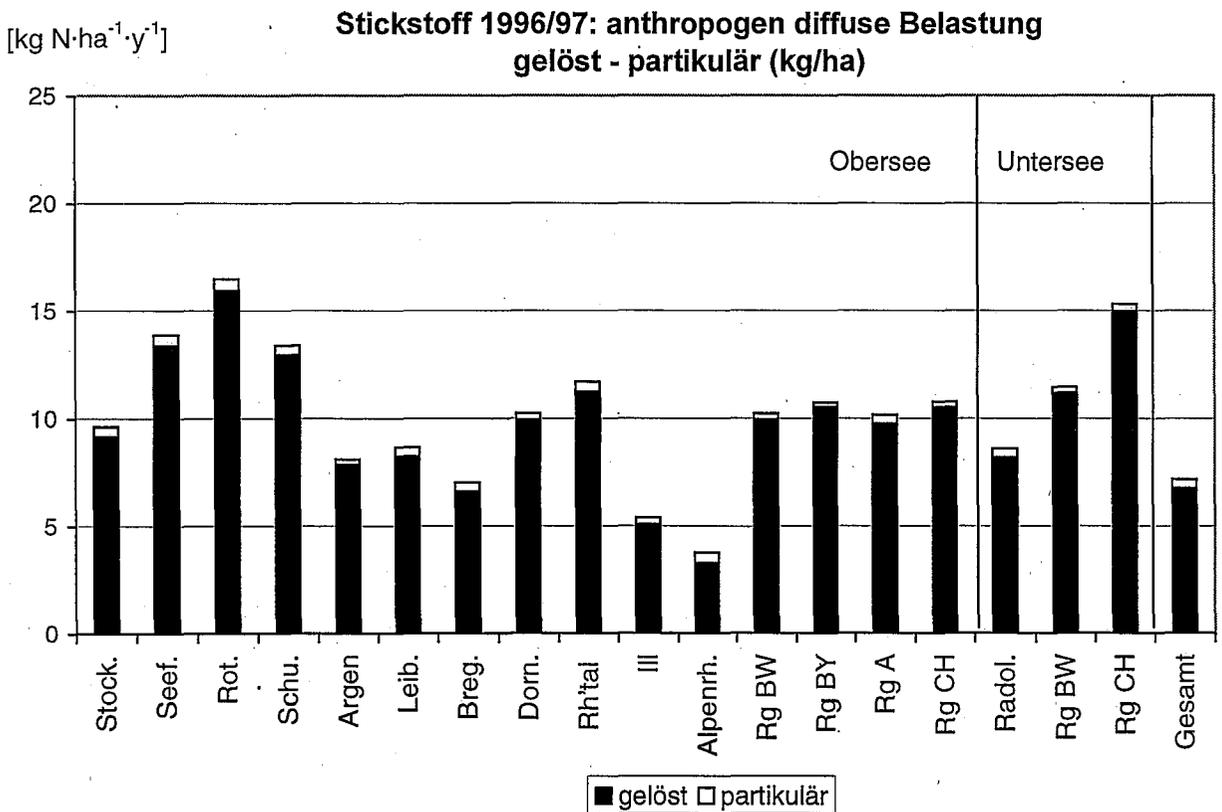
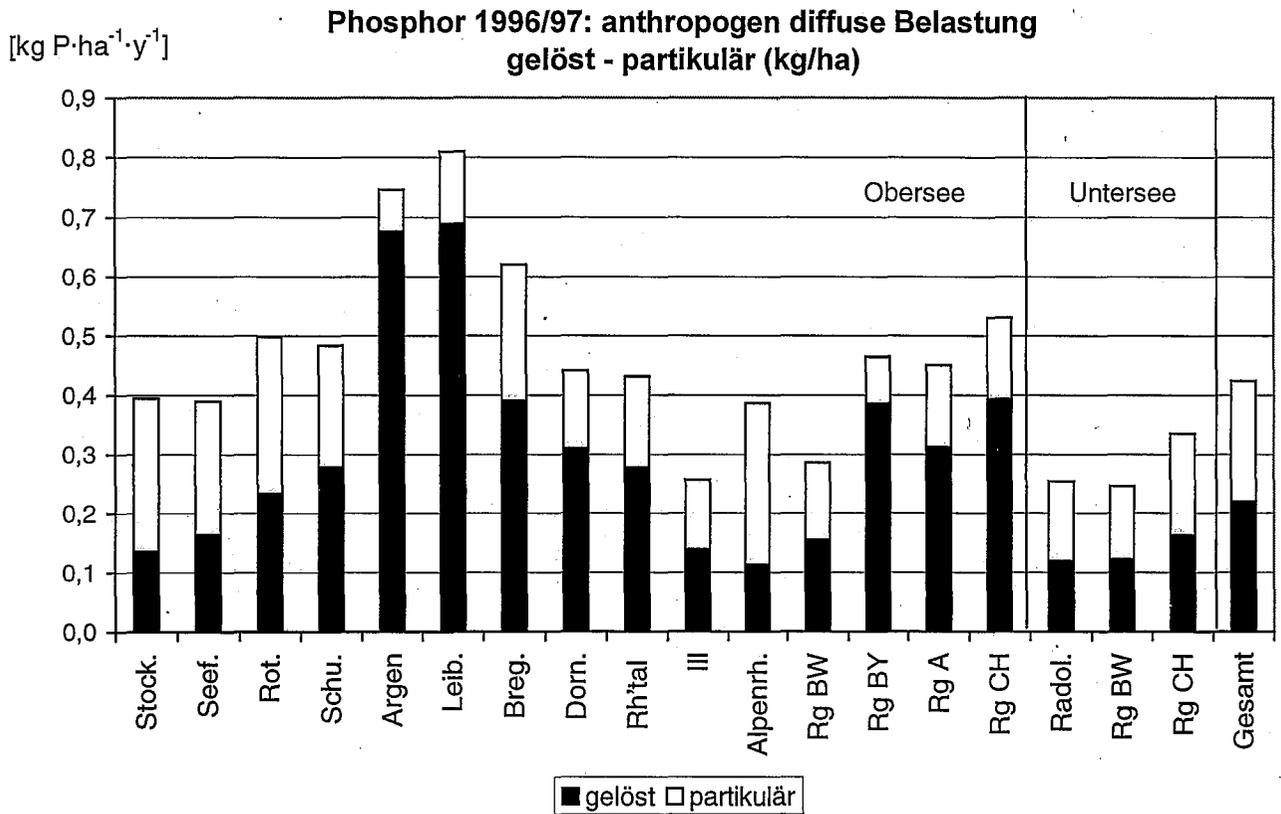
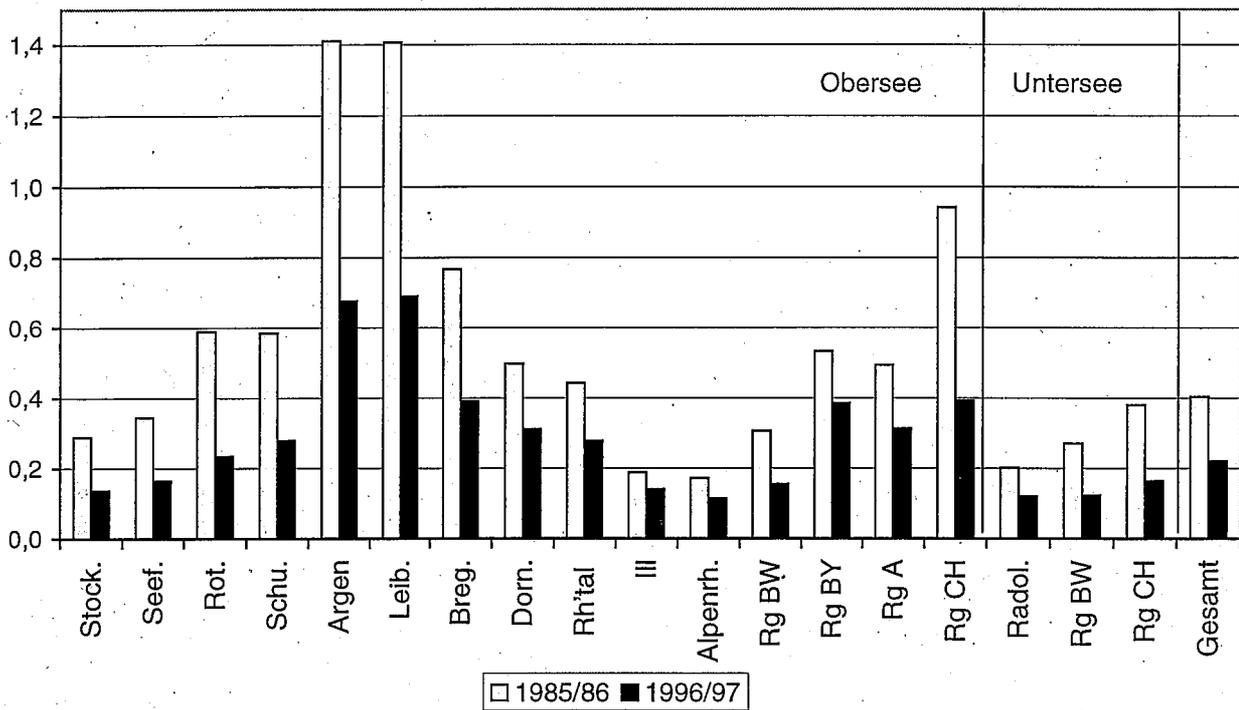


Abb. 16: Anthropogen diffuse Phosphor- und Stickstoffbelastung in den verschiedenen Einzugsgebieten für das hydrologische Jahr 1996/97, aufgegliedert in ihren gelösten und partikulären Anteil (flächenspezifische Werte).

gelöster Phosphor: Vergleich 85/86-96/97  
anthropogen diffuse Belastung (kg/ha)

[kg P·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup>]

partikulärer Phosphor: Vergleich 85/86-96/97  
anthropogen diffuse Belastung (kg/ha)

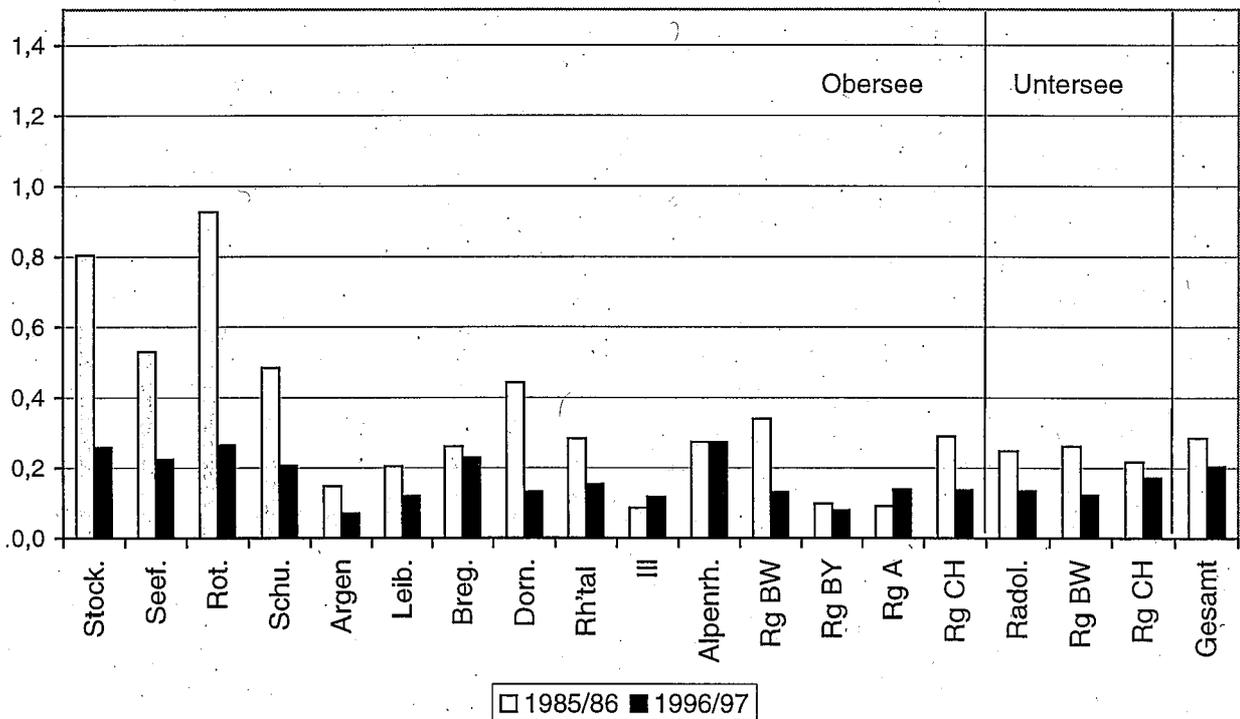
[kg P·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup>]

Abb. 17: Vergleich der gelösten (oben) und partikulären (unten) Phosphoreinträge aus der anthropogen diffusen Belastung der Jahre 1985/86 und 1996/97 (flächenspezifische Werte) (P-gesamt siehe Anhang Abb. A6).

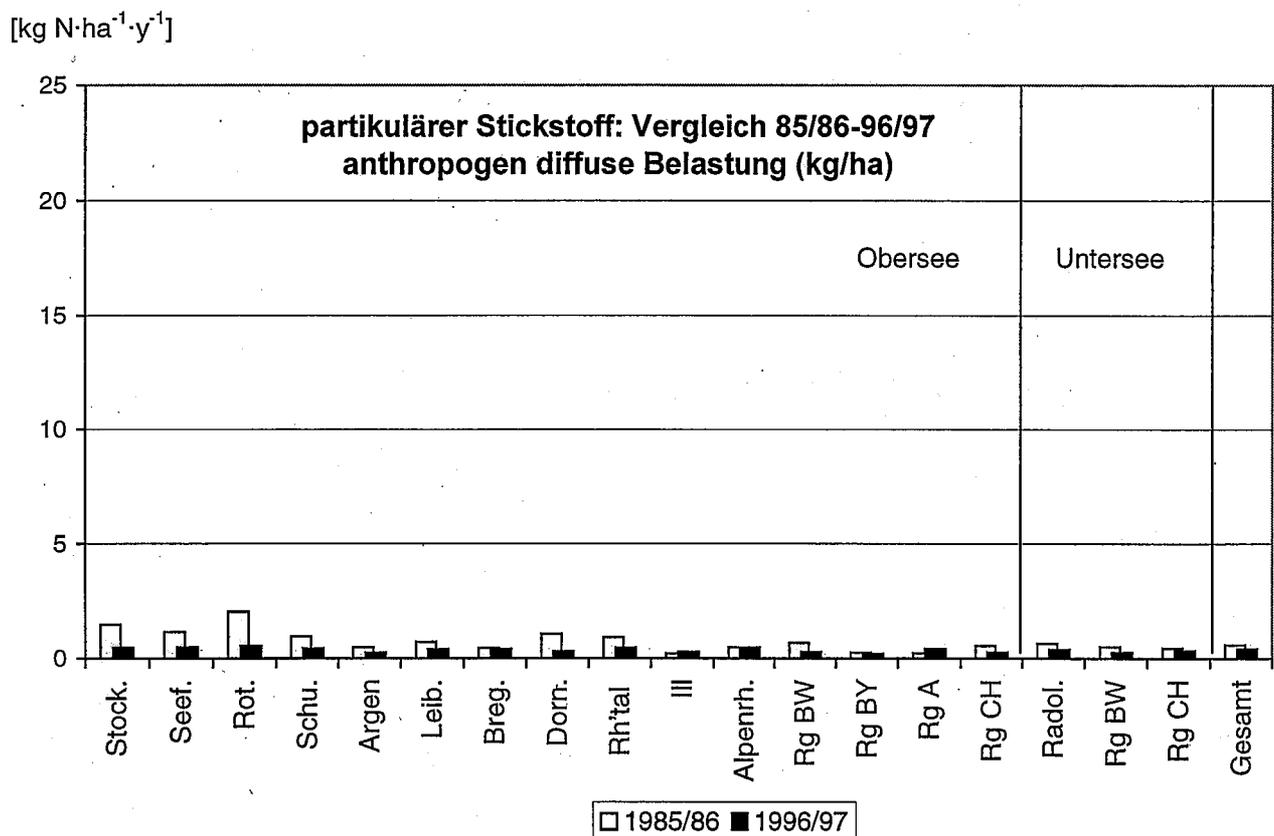
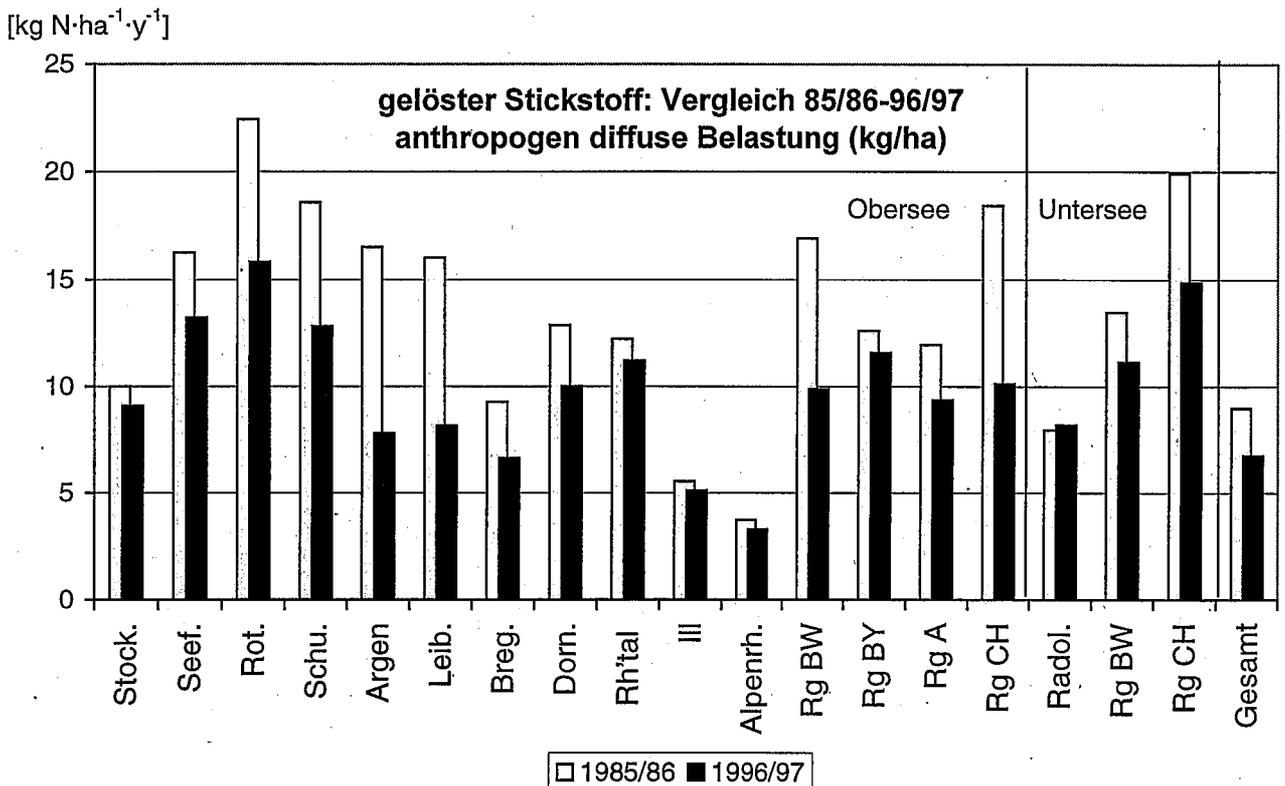


Abb. 18: Vergleich der gelösten (oben) und partikulären (unten) Stickstoffeinträge aus der anthropogen diffusen Belastung der Jahre 1985/86 und 1996/97 (flächenspezifische Werte) (N-gesamt siehe Anhang Abb. A6).

Bei den partikulären Stickstoffeinträgen betrug der Anteil der anthropogen diffusen Belastung nur 22% (= 449 t N·y<sup>-1</sup>). Die natürliche Hintergrundlast erreichte - bedingt durch die hohen Stoffeinträge durch 'natürliche Erosion' - im Mittel 78% (Abb. 13 unten). Allein aus dem Gebiet Alpenrhein stammten 213 t N·y<sup>-1</sup> bzw. 47% der partikulären anthropogen diffusen Einträge (Erosion von Skipisten und Wanderwegen) (Abb. 15 unten). Nur in den ackerbaulich genutzten Gebieten mit hoher Bodenerosion von Ackerflächen wurden hohe prozentuale Anteile (39 - 49%) anthropogen diffuser Belastung erreicht.

Die höchsten flächenspezifischen, anthropogen diffusen, gelösten Stickstoffeinträge ergaben sich mit über 12 kg N·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup> vor allem in den ackerbaulich intensiv genutzten Gebieten (Seefelder Aach, Rotach, Schussen und 'Randgebiet Untersee Schweiz') (Abb. 16 unten): In den beiden am stärksten alpin geprägten Gebieten Alpenrhein und III ergaben sich beim gelösten Stickstoff die niedrigsten anthropogen diffusen Einträge (<6 kg N·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup>).

Die flächenspezifischen, anthropogen diffusen, partikulären Stickstoffeinträge waren mit durchschnittlich 0,4 kg N·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup> in allen Gebieten vergleichsweise niedrig (Abb. 16 unten).

Beim Vergleich der anthropogen diffusen, gelösten Stickstoffeinträge 1985/86 und 1996/97 zeigt sich, dass in allen Gebieten ausser Radolfzeller Aach die Einträge deutlich zurückgegangen\* sind (Abb. 18 oben). Vor allem in den Gebieten mit den höchsten flächenspezifischen Belastungen 1985/86 (Rotach, Schussen, Argen, Leiblach, 'Randgebiete Obersee Baden-Württemberg', 'Randgebiete Obersee Schweiz' und 'Randgebiete Untersee Schweiz') haben sich diese 1996/97 stark verringert\*. Auch die anthropogen diffusen, partikulären Stickstoffeinträge haben gegenüber 1985/86 in fast allen Gebieten (Ausnahme: III) abgenommen\* (Abb. 18 unten).

---

\* Siehe Fussnote S. 17

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

Im folgenden werden die Einträge aus diffusen Quellen denen aus punktuellen Quellen gegenübergestellt. Die diffusen Quellen wurden dabei aufgegliedert in die (diffuse) natürliche Hintergrundlast und die anthropogen diffuse Belastung (Kap. 3.2). Zusätzlich zu den bisherigen Betrachtungen wurden die Stoffeinträge aus der atmosphärischen Deposition auf die Bodenseeoberfläche nach WAGNER (1998) den diffusen Quellen zugeschlagen. Die Zuflüsse von ausserhalb (Aach-Quelle, Ill-Überleitung, etc.) bleiben bei dieser Darstellung unberücksichtigt. Die Daten der punktuellen anthropogenen Quellen umfassen die Stoffeinträge aus zentralen Kläranlagen, der dezentralen Abwasserbeseitigung und Kanalisationsentlastungen. Sie wurden LANDRATSAMT RAVENSBURG (1998) entnommen. In den Abb. 19 bis 22 sind die gesamten und gelösten Phosphor- bzw. Stickstoffeinträge für alle Einzugsgebiete - aufgeschlüsselt nach ihrer Herkunft - zusammengestellt. Die folgende Interpretation der Abbildungen soll sich auf einen Überblick beschränken.

Die Gesamt-Phosphoreinträge betragen im Bodensee-Einzugsgebiet 1996/97 insgesamt  $1\,501\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  (= 100%). Die höchsten Gesamt-Phosphoreinträge (Abb. 19) wurden mit  $729\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  (= 49%) im grössten Gebiet 'Alpenrhein', die niedrigsten mit  $5\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  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. Gegenüber 1985/86 haben sich in allen Gebieten die prozentualen Anteile der diffusen Einträge vergrössert.

Die gelösten Phosphoreinträge betragen im Bodensee-Einzugsgebiet 1996/97 insgesamt  $489\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  (= 100%). Der höchste Eintrag erfolgte ebenfalls im grössten Gebiet 'Alpenrhein' (Abb. 20). Mit  $109\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  betrug er aber nur noch 22% des Gesamteintrages in den Bodensee. Der niedrigste Eintrag wurde mit  $2,6\text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  im 'Randgebiet Untersee Schweiz' erreicht. 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. Auffallend sind die nach wie vor hohen prozentualen Anteile der punktuellen Belastung in den Randgebieten des Bodensees sowie im Gebiet Dornbirnerach.

Zwischen den Gesamt-Stickstoffeinträgen ( $17\,301\text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  =100%, Abb. 21) und den gelösten Stickstoffeinträgen ( $15\,247\text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  =100%, Abb. 22) ergaben sich keine nennenswerten Unterschiede, da die partikulären Einträge weitgehend unbedeutend waren. Die höchsten Stickstoffeinträge wurden im grössten Gebiet 'Alpenrhein' mit  $4\,404\text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  Gesamt-Stickstoff (= 25% des Gesamteintrages im Bodensee-Einzugsgebiet) bzw.  $3\,317\text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  gelösten Stickstoff (= 22% des Gesamteintrages im Bodensee-Einzugsgebiet), die niedrigsten im Gebiet 'Randgebiet Untersee Bayern' mit  $140\text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  Gesamt-Stickstoff und  $135\text{ t N}\cdot\text{y}^{-1}$  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.

# Gesamt-Phosphor

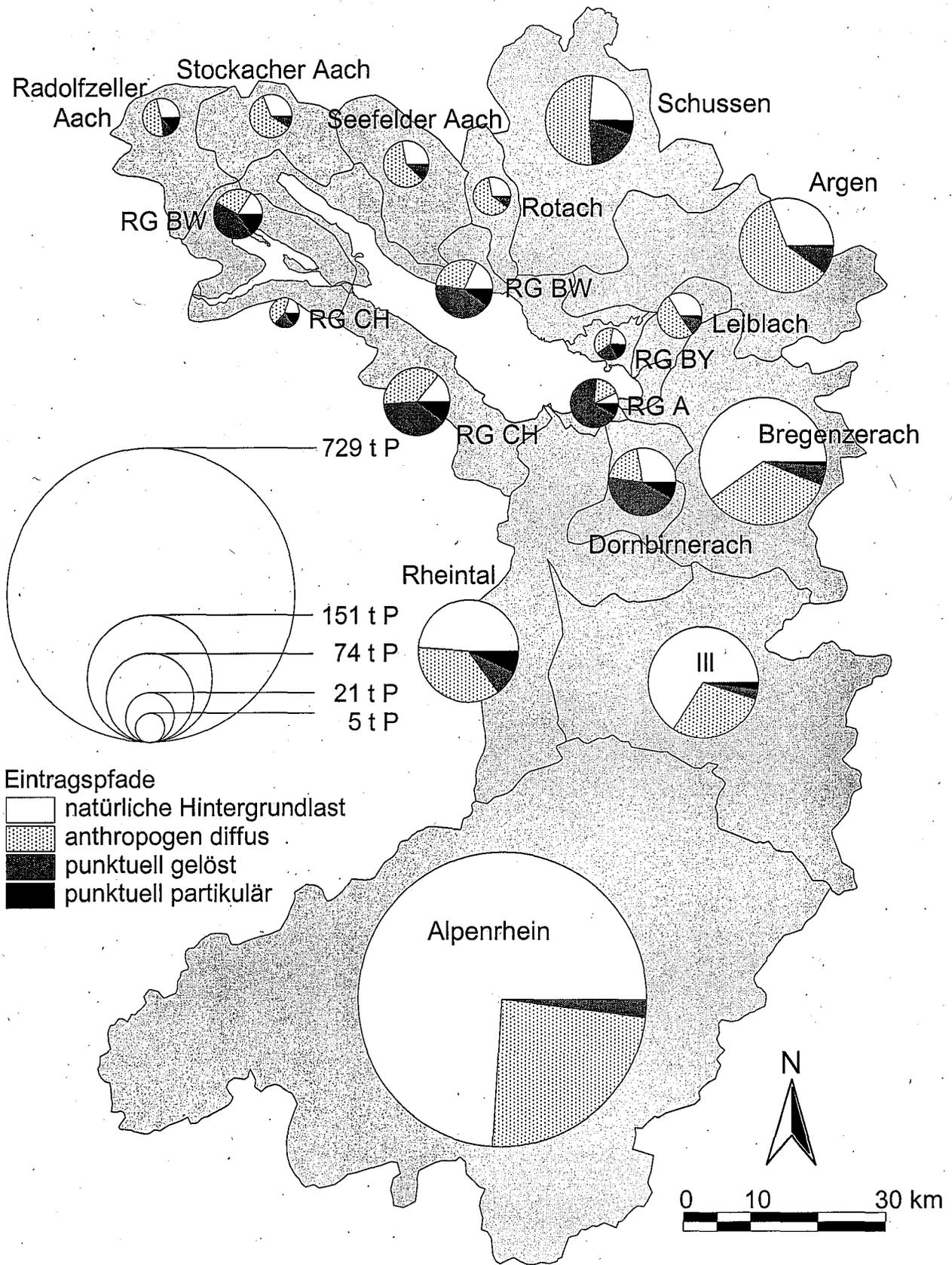


Abb. 19: Totaler Eintrag von Gesamt-Phosphor in die Gewässer im hydrologischen Jahr 1996/97 und Aufteilung nach Herkunft. Genaue Zahlenangaben siehe Tab. A36.

# gelöster Phosphor

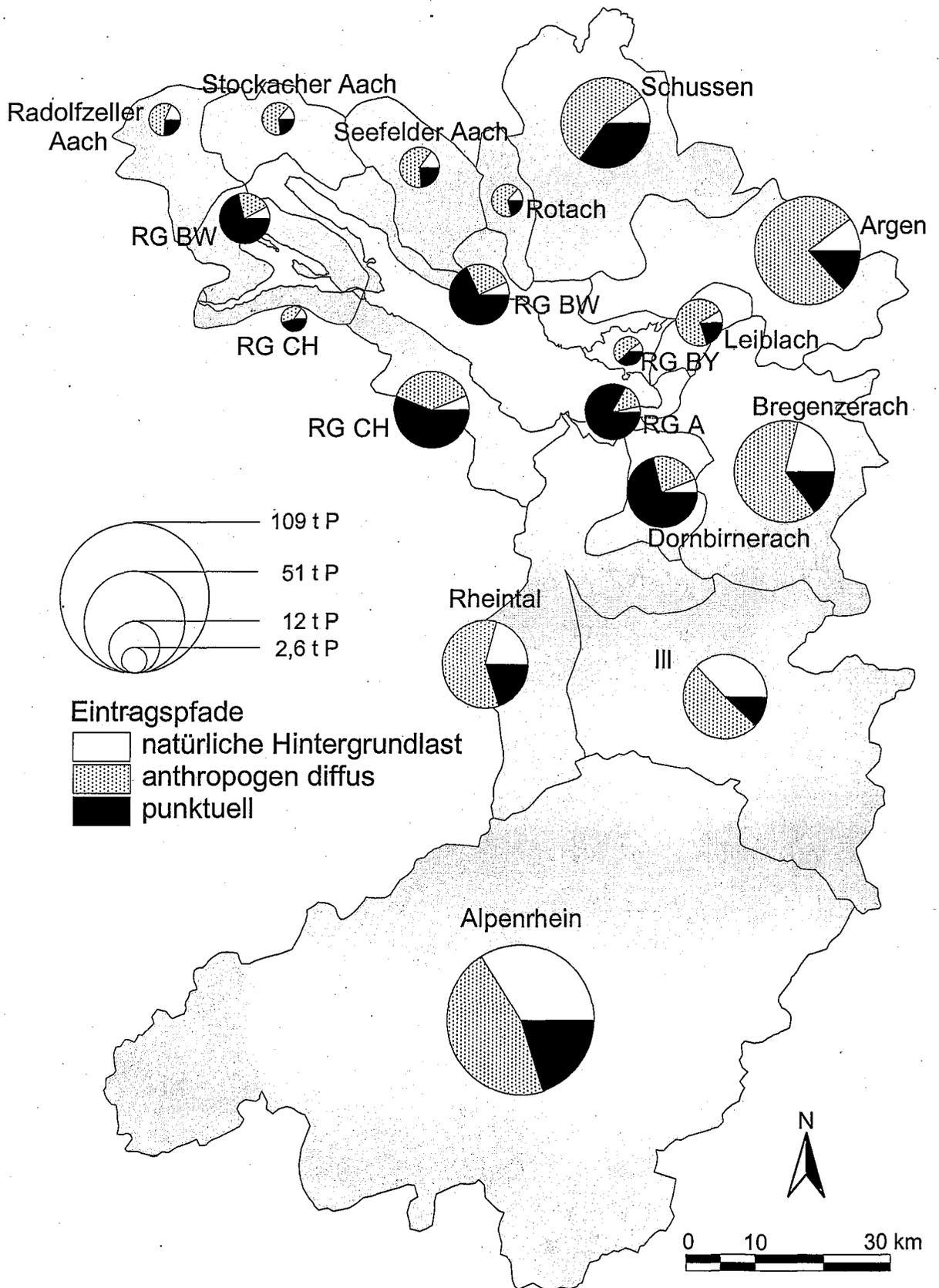


Abb. 20: Totaler Eintrag von gelöstem Phosphor in die Gewässer im hydrologischen Jahr 1996/97 und Aufteilung nach Herkunft. Genaue Zahlenangaben siehe Tab. A37.

# Gesamt-Stickstoff

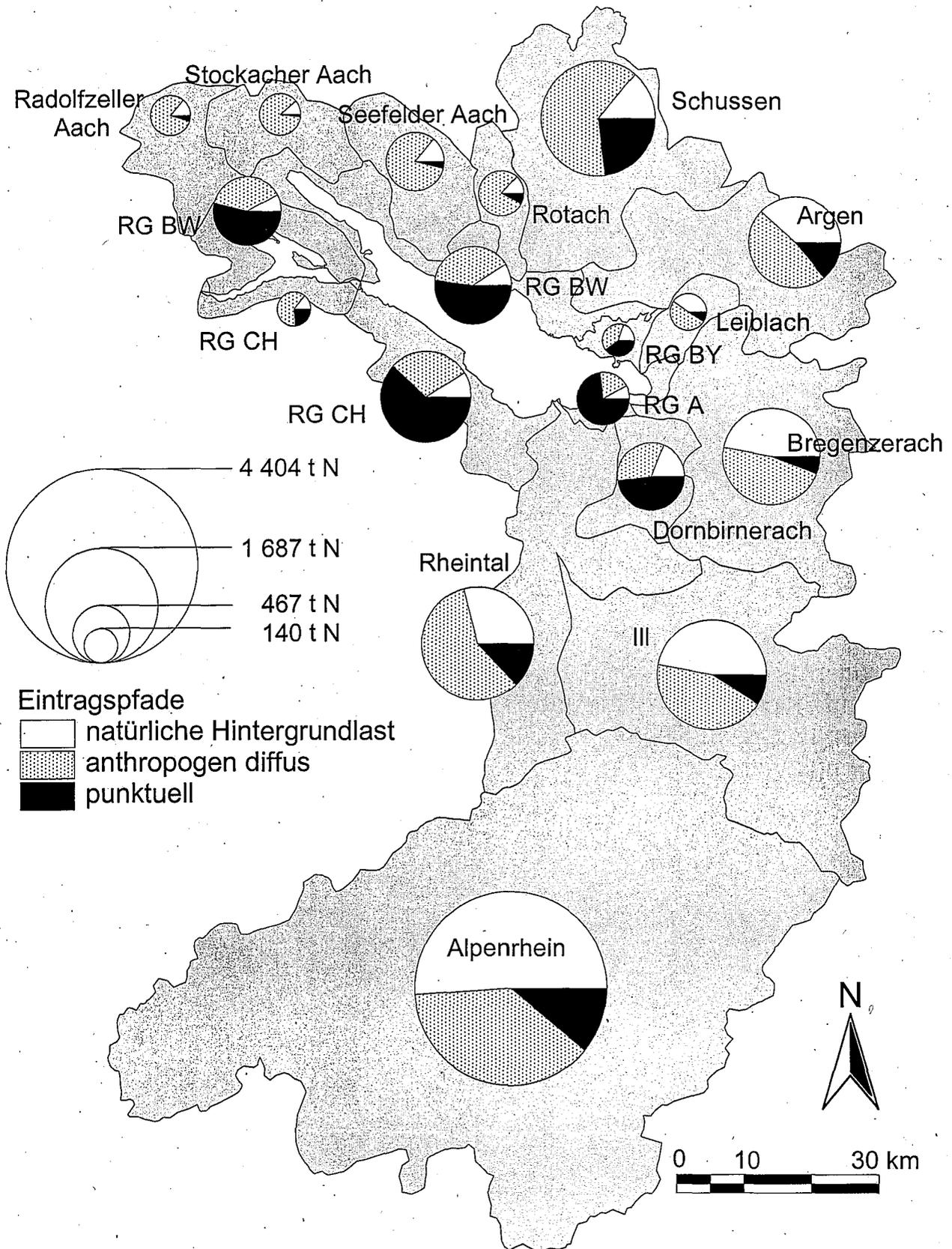


Abb. 21: Totaler Eintrag von Gesamt-Stickstoff in die Gewässer im hydrologischen Jahr 1996/97 und Aufteilung nach Herkunft. Genaue Zahlenangaben siehe Tab. A38.

## gelöster Stickstoff

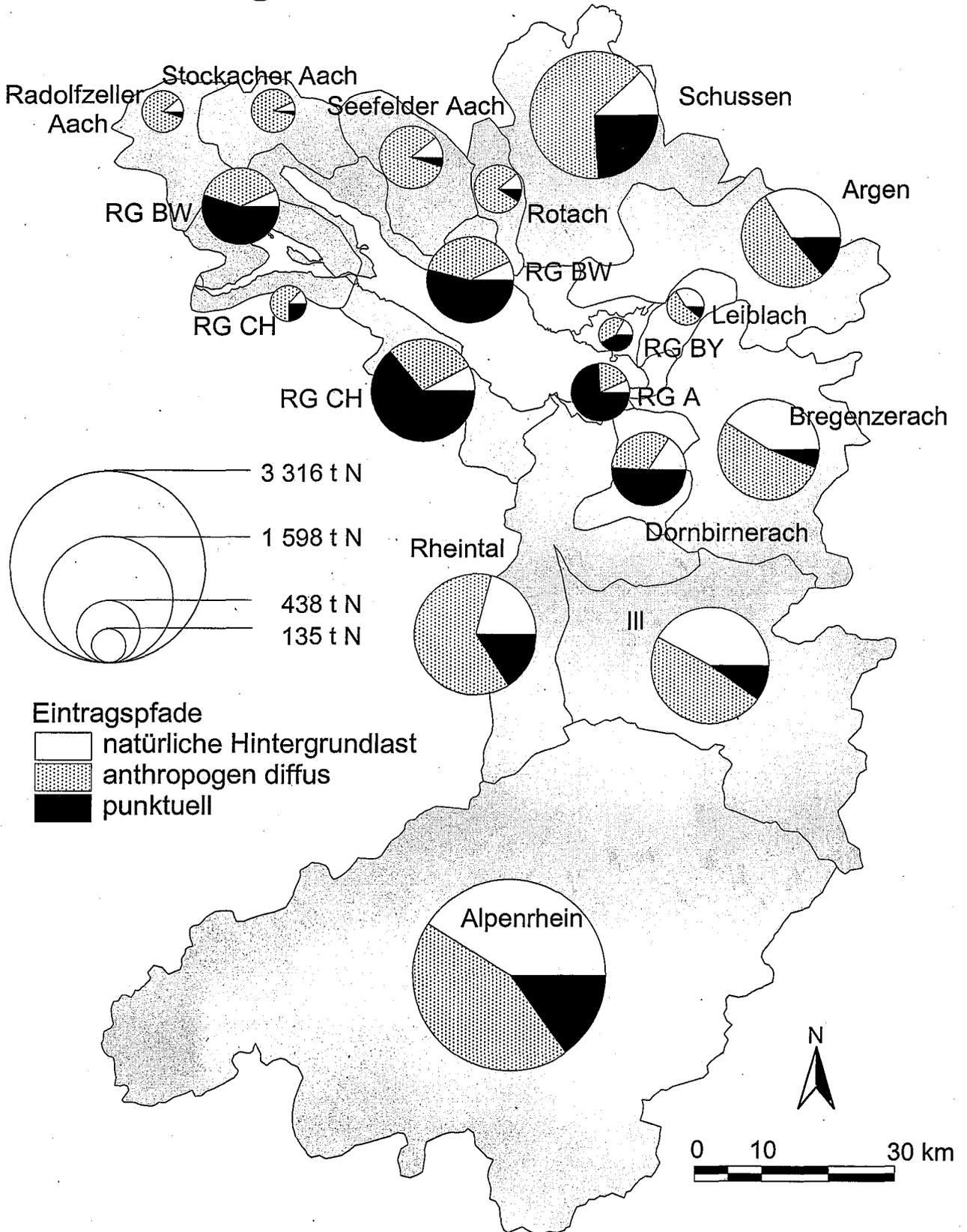


Abb. 22: Totaler Eintrag von gelöstem Stickstoff in die Gewässer im hydrologischen Jahr 1996/97 und Aufteilung nach Herkunft. Genaue Zahlenangaben siehe Tab. A39.

## 4. Mögliche Ursachen für die Veränderungen diffuser Nährstoffeinträge gegenüber 1985/86

Wie die Zusammenstellung der Ergebnisse der Modellberechnungen in Kapitel 3 gezeigt hat, haben sich die diffusen Nährstoffeinträge gegenüber 1985/86 stark verändert. Dabei haben sich sowohl die gesamten Frachten als auch die Anteile der einzelnen Eintragspfade von Gebiet zu Gebiet und für Phosphor und Stickstoff unterschiedlich entwickelt. Im Folgenden werden für die wichtigsten Eintragspfade (Abschwemmung von Grasland, Bodenerosion von Ackerflächen, Auswaschung unter Acker- und Grasland) mögliche Ursachen aufgezeigt. Dazu wurden für die Grob- und Detailberechnung mehrere Modellläufe durchgeführt, indem immer nur ein Parameter (Wasserflüsse, Landnutzung, Verlustkoeffizienten) gegenüber den Werten von 1985/86 verändert wurde. Es wurde versucht abzuschätzen, wie gross der Einfluss der klimatischen Parameter gegenüber den landwirtschaftlichen Parametern (Nutzung, Düngung etc.) ist. Da diese aber miteinander verflochten sind, ist eine exakte Zuweisung nicht möglich. Die angegebenen Werte sind als grobe Richtwerte anzusehen.

Einer der wichtigsten Gründe - neben den veränderten klimatischen Bedingungen - sind Veränderungen in der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsweise. Diese resultieren aus veränderten Rahmenbedingungen (Agrar- und Umweltpolitik, gesetzliche Grundlagen, Beratung, Information, Weiterbildung, Betriebstechnik, Umweltbewusstsein etc.). Da diese Rahmenbedingungen von Land zu Land unterschiedlich sind, soll zunächst länderspezifisch ein kurzer Überblick über die wichtigsten gesetzlichen Grundlagen gegeben werden.

### 4.1 Gesetzliche Grundlagen und Instrumente zur Umsetzung

#### a) Schweiz:

In der Schweiz bilden die Artikel 70 und 76 (ehemals 31b) des Landwirtschaftsgesetzes sowie die Direktzahlungs- und die Bioverordnung die rechtsverbindlichen Grundlagen für die Förderung von besonders umweltschonenden Produktionsformen in der Landwirtschaft. Zu den Programmen, welche für den Gewässerschutz von Bedeutung sind, gehören der 'Biologische Landbau' (BIO), die 'Integrierte Produktion' (IP) und der 'Ökologische Ausgleich'. Seit 1993 erhalten Betriebe Direktzahlungen für 'besondere ökologische Leistungen' nach Art. 70 und 76 (ehemals 31b) des Landwirtschaftsgesetzes. Als Mindestanforderungen müssen die Bestimmungen der Umweltschutz- und Gewässerschutz-Gesetzgebung eingehalten sowie gewisse Auflagen in den Bereichen Fruchtfolge, Bodenschutz, Düngung, Pflanzenschutz und Ökologischer Ausgleich erfüllt werden (vgl. PRASUHN et al. 1997). 1997 wurden in den hydrologischen Einzugsgebieten im Bodenseebereich zwischen 57% und 72% der landwirtschaftlichen Nutzfläche bzw. insgesamt 53 690 ha nach den Regeln des Programmes 'IP', zwischen 3% und 29% der landwirtschaftlichen Nutzfläche bzw. insgesamt 14 794 ha nach den Regeln des Programmes 'BIO' bewirtschaftet. Zwischen 7% und 28% der LN bzw. über 18 000 ha unterlagen dem Programm 'Ökologischer Ausgleich' (vgl. Tab. A 40).

### **Vermutete Auswirkungen der Programme auf die Stoffverluste im schweizerischen Teil des Bodensee-Einzugsgebietes:**

**Ackerland:** In PRASUHN et al. (1997) und BRAUN et al. (1997) wurden für die Schweiz Reduktionspotentiale von Massnahmen, die die Phosphorverluste durch Bodenerosion von Ackerland und die Stickstoffverluste durch Auswaschung unter Ackerland vermindern, gerechnet. Diese Massnahmen entsprechen weitgehend den Vorschriften, die für die Programme 'BIO', 'IP' und 'ökologischer Ausgleich' in der Schweiz derzeit gelten. Demnach können die Phosphorverluste durch Bodenerosion von Ackerland bei vollständiger IP- bzw. BIO-Beteiligung gegenüber dem Zustand anfangs der achtziger Jahre im Mittel um rund 36%, die Stickstoffverluste durch Auswaschung unter Ackerland um rund 30% vermindert werden.

**Grasland:** In PRASUHN et al. (1997) und BRAUN et al. (1997) wurden für die Schweiz Reduktionspotentiale von Massnahmen, die die Phosphorabschwemmung von Grasland vermindern, gerechnet. Diese Massnahmen entsprechen weitgehend den Vorschriften, die für die Programme 'BIO', 'IP' und 'ökologischer Ausgleich' in der Schweiz derzeit gelten. Demnach kann die Phosphorabschwemmung von Grasland bei vollständiger IP- bzw. BIO-Beteiligung gegenüber dem Zustand anfangs der achtziger Jahre um rund 42% vermindert werden.

### **b) Österreich:**

Nach Auskunft von Herrn Osl (Vorarlberger Landesregierung) sind in Vorarlberg folgende Programme von Bedeutung:

- ÖPUL = Österreichisches Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft (BMLF 1996)
- WRG = Wasserrechtsgesetz-Novelle 1990
- Regeln der guten fachlichen Praxis (BGBL 1995)
- Richtlinie für die sachgerechte Düngung des Fachbeirates für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz.

Das ÖPUL hat in Österreich die grösste Bedeutung. Über 90% der LN in Vorarlberg unterliegen dem ÖPUL (Details siehe Tab. A41). Die Viehbesatzdichte ist strenger geregelt als im WRG, die Regeln der guten fachlichen Praxis und die Richtlinie für die sachgerechte Düngung sind Auflagen für die Förderung über ÖPUL.

### **Vermutete Auswirkungen des ÖPUL auf die Stoffverluste in Vorarlberg:**

**Ackerland:** Das Ackerland ist mit rund 2'100 ha offene Ackerfläche und 900 ha Klee gras und Ackerwiese im Einzugsgebiet des Bodensees relativ gering. Durch Begrünungsmassnahmen zur Verringerung der Brachezeiten im Rahmen der Fruchtfolgestabilisierung (639 ha), Verzicht auf leichtlösliche Handelsdünger im Ackerbau (45 ha), extensiver Getreideanbau (10 ha) und IP im Gemüsebau (12 ha) und BIO-Landbau werden auf rund 25% des Ackerlandes spezielle Massnahmen ergriffen. Die anderen Flächen unterliegen überwiegend der Elementarförderung. Für sie gelten die "Regeln der guten fachlichen Praxis" und die "Richtlinien für die sachgerechte Düngung". Insgesamt sollte dadurch - unter Ausklammerung der klimatischen Gegebenheiten - mit deutlich geringeren Stickstoffverlusten aus dem Ackerland gegenüber 1985/86 zu rechnen sein. Auch die Phosphorverluste durch Bodenerosion von Ackerflächen sollten sich erheblich vermindert haben.

**Grasland:** Die Abstockung des Viehbestandes auf 2.5 GVE/ha LN bzw. 2.0 GVE/ha LN (ab 1.1.98) als Auflage für die Elementarförderung bringt eine deutliche, nahezu flächendeckende Reduktion der anfallenden Hofdünger mit sich. Die gleichzeitig hohe Akzeptanz des Verzichtes auf leichtlösliche Handelsdünger im Grasland (über 70% des düngungswürdigen Graslandes) führt zu einer Düngungsintensität, die - unter Einhaltung der "Regeln der guten fachlichen Praxis" - sowohl die Abschwemmungs- als auch die Auswaschungsverluste unter Grasland gegenüber 1985/86 erheblich verringern sollte.

### **c) Bayern:**

Nach Auskunft von Herrn Birk (Amt für Landwirtschaft und Ernährung Kempten/Lindau) sind in Bayern - neben der Düngeverordnung des Bundes ('gute fachliche Praxis', BMELF 1996) - folgende Programme von Bedeutung (vgl. Tab. A42):

- KULAP = Bayerisches Kulturlandschaftsprogramm (BSELF 1997)
- Programm 'Honorierung umweltschonender Landbewirtschaftung' (seit 1993, ab 1998 Stufe I des KULAP) (BSELF 1997)
- Gülleprogramm (1995 abgeschlossen)

576 Betriebe (= ca. 50% aller Betriebe) mit 7'672 ha LN (= ca. 40% der LN des Landkreises Lindau) nehmen am KULAP-Programm teil.

### **Vermutete Auswirkungen der Programme auf die Stoffverluste in Bayern:**

**Ackerland:** Im Rahmen des KULAP werden u.a. folgende Bewirtschaftungsauflagen honoriert: Extensive Fruchtfolge, Mulchsaat bei Reihenkulturen, Ökologischer Landbau. Im Programm 'Honorierung umweltschonender Landbewirtschaftung' gelten u.a. folgende Verpflichtungen: Verbot von Grünlandumbruch, Erosionsschutz bei Reihenkulturen, Verbot von Meliorationsmassnahmen. Durch diese Massnahmen sollten bei einer Beteiligung von ca. 50% aller Betriebe sowohl die Erosions- als auch die Auswaschungsverluste unter Ackerland gegenüber 1985/86 erheblich verringert worden sein.

**Grasland:** Im Rahmen des Gülleprogrammes wurden in 436 Betrieben des Landkreises Lindau die Lagerkapazitäten erhöht, so dass der derzeitige Stand als ausreichend angesehen wird. Im Rahmen des KULAP werden u.a. folgende Bewirtschaftungsauflagen honoriert: Extensive Grünlandnutzung mit generellem Umbruchverbot und Verzicht auf Mineraldünger, Extensive Weidenutzung durch Schafe und Ziegen, Extensivierung von Wiesen mit Schnitzaufgaben, umweltschonende Flüssigmistausbringung. Im Programm 'Honorierung umweltschonender Landbewirtschaftung' gelten u.a. folgende Verpflichtungen: Begrenzung auf max. 2,0 GV/ha LN, Verzicht auf Ausbringung von Hofdüngern vom 15. November bis 15. Februar. Durch diese Massnahmen sollten bei einer Beteiligung von ca. 50% aller Betriebe sowohl die Abschwemmungs- als auch die Auswaschungsverluste unter Grasland gegenüber 1985/86 erheblich verringert worden sein.

### **d) Baden-Württemberg:**

Nach Auskunft von Herrn Gommeringer (Amt für Landwirtschaft, Landschafts- und Bodenkultur Ravensburg) sind in Baden-Württemberg (alle Angaben für die Landkreise Ravensburg, Konstanz und Bodenseekreis für 1996/97) - neben der Düngeverordnung des Bundes ('gute fachliche Praxis', BMELF 1996) - folgende Programme von Bedeutung (vgl. Tab. A43):

- SchALVO = Schutzgebietsausgleichsverordnung für Wasserschutzgebiete
- MEKA = Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich (BRONNER et al. 1997, BURGMAYER & MIERSCH 1997a u. b, MLR 1998). Ziel: Marktentlastung durch geringere Flächenintensität und Honorierung von Leistungen der Landwirtschaft für die Kulturlandschaft
- Landschaftspflege-Richtlinie
- Stilllegungsflächen nach KPR (Kulturpflanzenregelung)
- Gülleprogramm EMI (abgeschlossen) und Förderung des Güllelagerraumes im Rahmen des Agrarinvestitionsförderprogrammes (AFP)
- Regionale Projekte: 'Aktionsprogramm zur Sanierung oberschwäbischer Seen'. Rund 400 ha LN sind vertraglich geregelt extensiviert, Dünge- und Anbauberatung, Bau von Sedimentationsbecken etc. (STREHLE 1998)
- 'Modellprojekt Konstanz': Extensivierung der Landnutzung und Massnahmen des Biotopverbundes, Biomilch vom Bodensee GmbH etc.

**Vermutete Auswirkungen der Programme auf die Stoffverluste in Baden-Württemberg:**

**Ackerland:** Rund 5 084 ha Landwirtschaftliche Nutzfläche wurden 1996/97 gemäss SchALVO gedüngt, d.h. mit einer 20-prozentigen Reduktion der N-Düngung gegenüber der ordnungsgemässen Düngung. 1 150 ha Ackerland waren Stilllegungsflächen ohne Düngung und Nutzung während des Stilllegungszeitraumes. Relevante MEKA-Massnahmen waren: Völliger Verzicht auf chemisch-synthetische Düngemittel (2 168 ha LN), Ökologischer Landbau gemäss EU-Verordnung Nr. 2092/91 (1 495 ha LN), Verzicht auf Wachstumsregulatoren und reduzierte N-Düngung (2 741 ha Ackerland), Begrünungsmassnahmen im Ackerbau und bei Dauerkulturen (4 723 ha), Mulchsaat im Ackerbau (903 ha). Durch diese Massnahmen sollten sowohl die Erosions- als auch die Auswaschungsverluste unter Ackerland gegenüber 1985/86 verringert worden sein.

**Grasland:** Neben den bereits beim Ackerland aufgeführten Massnahmen (reduzierte Düngung nach SchALVO (5 084 ha LN), Verzicht auf chemisch-synthetische Düngemittel nach MEKA (2 168 ha LN) und ökologischer Landbau (1 495 ha LN)), gelten weiter folgende MEKA-Massnahmen: Extensive Grünlandnutzung mit max. 1,4 RGV/ha Hauptfutterfläche und max. 1,4 GV/ha LN (3 064 ha), Grünland mit zwei Nutzungen (789 ha) und einschüriges Grünland (61 ha). Die nach der Landschaftspflege-Richtlinie extensivierte Fläche mit Einschränkungen nach Anzahl und Zeitpunkt der Nutzungen und/oder bei der Düngung betrug 769 ha. Die Güllelagerkapazität hat sich erheblich erhöht. Durch diese Massnahmen sollten die Abschwemmungs- und Auswaschungsverluste unter Grasland gegenüber 1985/86 verringert worden sein.

## 4.2 Mögliche Ursachen für die Veränderungen der Phosphorverluste durch Abschwemmung von Grasland

### a) veränderte Wasserflüsse:

Die Niederschläge lagen 1996/97 in den meisten Gebieten unter denen von 1985/86, teilweise auch unter dem langjährigen Mittel. Ausserdem gab es weniger Starkregenereignisse. Dadurch war auch der Oberflächenabfluss auf Grasland deutlich geringer (vgl. Kap. 2.3.4, Tab. 5).

### b) Landnutzungsänderungen:

In den meisten Gebieten hat die Graslandfläche deutlich abgenommen, insgesamt um rund 15'000 ha bzw. 3% (vgl. Kap. 2.3.1, Tab. 3). Damit hat sich die Fläche, auf die Hofdünger ausgebracht und abgeschwemmt werden können, verringert.

### c) Änderungen in der Bewirtschaftungsweise

Der Hofdüngeranfall (und vermutlich auch der Mineraldüngereinsatz) war 1996/97 deutlich geringer als 1985/86 (vgl. Kap. 2.3.3, Tab. 4). Da der Rückgang des Hofdüngeranfalls stärker war als die Abnahme der Graslandfläche, ist davon auszugehen, dass die Hofdüngermenge pro Flächeneinheit im Mittel abgenommen hat. Dies vermindert die Gefahr einer Abschwemmung von Nährstoffen bzw. deren Phosphor-Konzentration im Oberflächenabfluss.

Seit 1985/86 gibt es in allen Ländern verschärfte gesetzliche Regelungen zur Lagerkapazität, Lagerung und Ausbringung von Hofdüngern. Dadurch müssen weniger oder keine Hofdünger mehr im Winter oder zu Zeiten mit ungünstigen Boden- und Witterungsverhältnissen ausgebracht werden. Dies vermindert die Gefahr von Gülleabschwemmung erheblich. Auch verbesserte Ausbringungstechniken tragen dazu bei. Die vermehrte Anlage ungedüngter Gewässerrandstreifen vermindert weiterhin den Hofdüngereintrag in die Gewässer.

Die Umstellung vieler Betriebe auf 'BIO' und 'IP' oder die Teilnahme an anderen umweltrelevanten Programmen (vgl. Kap. 4.1) sowie die Beratung, Schulung und Weiterbildung vieler Landwirte und Landwirtinnen sollten insgesamt zu einer nachhaltigeren und umweltverträglicheren Bewirtschaftungsweise geführt haben. Generell sollte daraus ein der Umwelt gegenüber verantwortungsvoller Umgang mit Düngern resultieren, auch wenn es weiterhin immer einige 'schwarze Schafe' geben wird. Auch sind neue Zielkonflikte z.B. zwischen Tierschutz und Gewässerschutz entstanden. So kann die vermehrte Freilandhaltung von Nutztieren (vor allem Schweine und Hühner) bei zu hohem Besatz oder an ungünstigen Standorten die Abschwemmungsgefahr von Nährstoffen erhöhen. Insgesamt sollte aber das veränderte Bewusstsein bei vielen Landwirten und Landwirtinnen zu einer Verringerung der Abschwemmungsverluste beigetragen haben.

In den Modellrechnungen für 1996/97 wurden diese Punkte folgendermassen berücksichtigt:

#### 1. Hauptberechnung:

- Die geringeren Niederschläge gehen direkt in das Modell ein, ausserdem wurde der Anteil, der oberflächlich in ein Gewässer gelangt, verringert (vgl. Kap. 2.4). Insgesamt hätten die Phosphorverluste durch Abschwemmung allein durch die veränderten Wasserflüsse um rund 107 t P bzw. 31% abgenommen (Tab. A44).

- Die veränderte Landnutzung geht über die Flächenanteile an Grasland direkt in das Modell ein. Insgesamt hätten allein durch die Abnahme der Graslandfläche – bei unveränderten Wasserflüssen und Verlustkoeffizienten – die Phosphorverluste durch Abschwemmung um rund 20 t P bzw. 6% abgenommen (Tab. A44).
- Um die Veränderungen in der Bewirtschaftungsweise zu berücksichtigen, wurden die nutzungsspezifischen Verlustkoeffizienten verändert (Tab. A18). In PRASUHN et al. (1997) und BRAUN et al. (1997) wurden für die Schweiz Reduktionspotentiale von Massnahmen, die die Phosphorabschwemmung von Grasland vermindern, gerechnet (vgl. Kap. 4.1). Sie wurden für die Beurteilung der Verlustkoeffizienten herangezogen. Geht man noch davon aus, dass ein Teil der Massnahmen sich bereits in der veränderten Landnutzung widerspiegelt, und dass man die Ergebnisse auch auf die anderen Länder übertragen kann, wird vorgeschlagen, die nutzungsspezifischen Verlustkoeffizienten 'Abschwemmung von Grasland' zwischen 10% und 25% - je nach Gebiet - gegenüber den Werten von 1985/86 zu reduzieren (Tab. A18). Die höheren Werte wurden in den Gebieten mit den grösseren Belastungen und höheren Viehdichten verwendet, da davon ausgegangen wurde, dass hier die Massnahmen eher gegriffen haben. Insgesamt hätten die Phosphorverluste durch Abschwemmung allein durch die veränderten Verlustkoeffizienten um rund 65 t P bzw. 19% abgenommen (Tab. A44).

Unter der Berücksichtigung aller Parameter ergibt sich für die Periode 1996/97 für das Bodensee-Einzugsgebiet gegenüber den berechneten Werten von 1985/86 bei der Hauptberechnung eine Reduktion der Phosphoreinträge durch Abschwemmung von Grasland von 162 t P bzw. 46%.

## 2. Kontrollberechnung:<sup>\*</sup>

- Die geringeren Niederschläge gehen zwar über einen Niederschlagsfaktor, der sich am mittleren zu erwartenden Oberflächenabfluss auf Grasland orientiert, ein (Tab. A24), haben aber nicht das Gewicht, wie bei der Hauptberechnung (vgl. Fussnote). Rund 18 t P bzw. 7% beträgt die Reduktion gegenüber den Mittelwerten von 1985/86 (Tab. A45).
- Die veränderte Landnutzung geht in das Modell über die Flächenanteile der verschiedenen Nutzungsformen direkt ein. Neben der Verringerung der gesamten Graslandfläche gehen hier auch Änderungen in der Nutzungsform (Kunstwiese, Mähweiden, Heimweiden, Dauerwiesen, extensiv genutzte Wiese etc.) ein. Die Reduktion aufgrund der veränderten Landnutzung beträgt für das Bodenseegebiet insgesamt rund 42 t P bzw. 17%, wobei grosse Unterschiede zwischen den einzelnen Einzugsgebieten bestehen (Tab. A45).
- Die Änderungen in der Bewirtschaftungsweise gehen einerseits über einen Viehbesatzfaktor (Tab. A24) ein, andererseits wurden Annahmen bezüglich der Gülleabschwem-

<sup>\*</sup> Mit der Kontrollberechnung können - methodisch bedingt (vgl. PRASUHN et al. 1996) - nur langjährige Mittel der jeweiligen Stoffverluste berechnet werden. So gehen die Jahresniederschlagsmenge, nicht aber Anzahl und Intensität von Starkregenereignissen, in die Berechnung ein. Die für 1985/86 berechneten mittleren Stoffverluste waren aufgrund der klimatischen Bedingungen niedriger, als die tatsächlichen Stoffverluste im hydrologischen Jahr 1985/86. Bei der Kontrollberechnung 1996/97 kann dagegen aufgrund der klimatischen Bedingungen davon ausgegangen werden, dass die berechneten Mittelwerte den tatsächlichen Stoffverlusten im hydrologischen Jahr 1996/97 weitgehend entsprechen. Die Veränderungen 1996/97 gegenüber 1985/86 beziehen sich auf die mittleren Stoffverluste 1985/86 und klammern somit die veränderten klimatischen Bedingungen zu einem grossen Teil aus. Sie sind daher geringer, als bei der Hauptberechnung.

mung verändert. So wird vor allem neu von einer erheblich geringeren Gülleabschwemmungsgefahr im Winter ausgegangen (Tab. A23). Rund 13 t P bzw. 5% beträgt die Reduktion gegenüber 1985/86 (Tab. A45).

Insgesamt - unter Berücksichtigung aller Parameter - ergibt sich für das Bodensee-Einzugsgebiet gegenüber den berechneten Mittelwerten von 1985/86 bei der Kontrollberechnung für die Periode 1996/97 eine Reduktion der Phosphorverluste von rund 72 t P bzw. 29%. Für das hydrologische Jahr 1985/86 wurde keine Kontrollberechnung durchgeführt, da die speziellen klimatischen Bedingungen nicht erfasst werden konnten.

**Fazit: Die Phosphoreinträge durch Abschwemmung von Grasland haben sich nach den Modellberechnungen 1996/97 (180 t P, Tab. 9) gegenüber 1985/86 (349 t P) um rund 168 t P bzw. 48% verringert (Tab. A32 u. A33). Abgeleitet aus verschiedenen Modellläufen von Haupt- und Kontrollberechnung resultieren grössenordnungsmässig 80 t P bzw. 23% aus den veränderten klimatischen Bedingungen (weniger Niederschlagsmenge und Starkregen), rund 88 t P bzw. 25% aus der veränderten Landnutzung und Bewirtschaftungsweise.**

### **4.3 Mögliche Ursachen für die Veränderungen der Phosphorverluste durch Bodenerosion von Ackerland**

#### **a) Veränderte Wasserflüsse:**

Die Niederschläge lagen 1996/97 in den meisten Gebieten unter denen von 1985/86, teilweise auch unter dem langjährigen Mittel. Ausserdem gab es weniger erosive Starkregenereignisse (vgl. Kap. 2.3.4, Tab. 5). Dadurch haben sich die Bodenabträge verringert.

#### **b) Landnutzungsänderungen:**

In den meisten Gebieten hat die Ackerfläche zugenommen, insgesamt um rund 4'000 ha bzw. 7% (vgl. Kap. 2.3.1, Tab. 3). Dies sollte die Phosphorverluste durch Bodenerosion erhöhen. Andererseits haben sich aber auch die Kulturanteile deutlich verändert. So haben die Anteile erosionsgefährdeter Kulturen abgenommen (vgl. Kap. 2.3.1, Tab. 3), was wiederum die Phosphorverluste durch Bodenerosion verringern sollte.

#### **c) Änderungen in der Bewirtschaftungsweise**

Die Umstellung vieler Betriebe auf 'BIO' und 'IP' oder die Teilnahme an anderen umweltrelevanten Programmen (vgl. Kap. 4.1) sowie die Beratung, Schulung und Weiterbildung vieler Landwirte und Landwirtinnen sollten insgesamt zu einer nachhaltigeren und umweltverträglicheren Bewirtschaftungsweise geführt haben. So haben konservierende Bodenbearbeitungsverfahren, geänderte Fruchtfolgen, Zwischenfruchtanbau, etc. weiter an Verbreitung gefunden. Insgesamt sollte das veränderte Bewusstsein bei vielen Landwirten und Landwirtinnen zu einer Verringerung der Bodenerosionsverluste beigetragen haben.

In den Modellrechnungen für 1996/97 wurden diese Punkte folgendermassen berücksichtigt:

### 1. Hauptberechnung:

- Die geringeren Niederschläge gehen bei der Bodenerosion nicht direkt in das Modell ein, sie sind zusammen mit den Veränderungen der Bewirtschaftungsweise in den Verlustkoeffizienten enthalten. Diese wurden aufgrund weniger erosiver Starkregenereignisse verringert (Tab. A19). Weiterhin wurde der Anteil, der oberflächlich in ein Gewässer gelangt, verringert. Insgesamt hätten nur durch die Veränderung der Verlustkoeffizienten - bei unverändertem Ackerlandanteil - die Phosphorverluste durch Bodenerosion um rund 68 t P bzw. 59% abgenommen (Tab. A46).
- Die veränderte Landnutzung geht über die Flächenanteile an Ackerland und Rebland direkt in das Modell ein. Insgesamt hätten allein durch die Zunahme der Ackerfläche - bei unveränderten Wasserflüssen und Verlustkoeffizienten - die Phosphorverluste durch Bodenerosion um rund 15 t P bzw. 13% zugenommen (Tab. A46).
- Die Veränderungen in der Bewirtschaftungsweise wurden - zusammen mit den Einflüssen der Niederschläge - durch die Veränderungen der nutzungsspezifischen Verlustkoeffizienten berücksichtigt (siehe oben). In PRASUHN et al. (1997) und BRAUN et al. (1997) wurden für die Schweiz Reduktionspotentiale von Massnahmen, die die Phosphorverluste durch Bodenerosion von Ackerland vermindern, angegeben (vgl. Kap. 4.1). Sie wurden für die Beurteilung der Verlustkoeffizienten mit herangezogen.
- Der Phosphorgehalt des Bodens wurde unverändert übernommen, da angenommen werden kann, dass Änderungen (vor allem Abnahmen) im Phosphorgehalt der Böden nur sehr langsam stattfinden. Der Phosphor-Anreicherungsfaktor im Erosionsmaterial wurde gegenüber 1985/86 einheitlich für alle Gebiete mit 1.86 nach WILKE & SCHAUB (1996) angenommen. Diese Veränderung hat keinen grossen Einfluss auf die Ergebnisse.

Insgesamt - unter Berücksichtigung aller Parameter - ergibt sich für die Periode 1996/97 für das Bodensee-Einzugsgebiet gegenüber den berechneten Werten von 1985/86 bei der Hauptberechnung eine Reduktion der Phosphorverluste durch Bodenerosion von 68 t P bzw. 60%, gegenüber den 1985/86 berechneten Mittelwerten von 13 t P bzw. 22%.

### 2. Kontrollberechnung\*

- In Gebieten mit deutlich geringerem Niederschlag als der Mittelwert, der der Kontrollberechnung 1985/86 zugrunde gelegt wurde, wurden die berechneten Phosphorverluste um 5% reduziert.
- Die veränderte Landnutzung geht in das Modell über die Flächenanteile der verschiedenen Kulturarten direkt ein. Neben der Zunahme der gesamten Ackerlandfläche gehen hier auch Änderungen in der Nutzungsform (Silomais, Körnermais, Gerste, Weizen etc.) ein (Kap. 2.3.1). Verändert man nur die Landnutzung im Modell bei gleichbleibenden Verlustkoeffizienten von 1985/86, kommt es trotz Zunahme der offenen Ackerfläche aufgrund von Veränderungen in den Kulturarten (Fruchtfolgen) im Bodenseegebiet insgesamt zu einer Verminderung der Phosphoreinträge durch Bodenerosion von rund 2 t P bzw. 3%, wobei grosse Unterschiede zwischen den einzelnen Einzugsgebieten bestehen (Tab. A47). Die Kontrollberechnung ist beim Parameter Landnutzung also wesentlich sensibler als die Hauptberechnung.

\* Siehe Fussnote Kap. 4.2, S. 58

- Die Änderungen in der Bewirtschaftungsweise gehen über veränderte Verlustkoeffizienten in das Modell ein (Tab. A25). Rund 7 t P bzw. 12% beträgt die Reduktion gegenüber 1985/86 (Tab. A47), wenn bei gleicher Landnutzung wie 1985/86 nur die Verlustkoeffizienten verändert werden.

Insgesamt - unter Berücksichtigung aller Parameter - ergibt sich für das Bodensee-Einzugsgebiet gegenüber den berechneten Mittelwerten von 1985/86 bei der Kontrollberechnung für die Periode 1996/97 eine Reduktion der Phosphorverluste von rund 13 t P bzw. 21%. Für das hydrologische Jahr 1985/86 wurde keine Kontrollberechnung durchgeführt, da die speziellen klimatischen Bedingungen nicht erfasst werden konnten.

**Fazit: Die Phosphoreinträge durch Bodenerosion von Ackerland haben sich nach den Modellberechnungen 1996/97 (46 t P, Tab. 9) gegenüber 1985/86 (114 t P) um rund 68 t P bzw. 59% verringert (Tab. A32 u. A33). Abgeleitet aus verschiedenen Modellläufen von Haupt- und Kontrollberechnung resultieren grössenordnungsmässig 59 t P bzw. 52% aus den veränderten klimatischen Bedingungen (weniger Niederschlagsmenge und Starkregen), rund 9 t P bzw. 8% aus der veränderten Landnutzung und Bewirtschaftungsweise (trotz Zunahme der offenen Ackerfläche).**

#### **4.4 Mögliche Ursachen für die Veränderungen der Stickstoffverluste durch Auswaschung unter Acker- und Grasland**

##### **a) veränderte Wasserflüsse:**

Die Niederschläge lagen 1996/97 in den meisten Gebieten unter denen von 1985/86, teilweise auch unter dem langjährigen Mittel (vgl. Kap. 2.3.4, Tab. 5). Dadurch hat sich die Sickerwassermenge verringert. Dies vermindert die Stickstofffracht.

##### **b) Landnutzungsänderungen:**

In den meisten Gebieten hat die Ackerfläche zugenommen, insgesamt um rund 4'000 ha bzw. 7% (vgl. Kap. 2.3.1, Tab. 3). Dies sollte die Stickstoffverluste durch Auswaschung erhöhen. Andererseits haben sich aber auch die Kulturanteile deutlich verändert. So haben die Anteile auswaschungsgefährdeter Kulturen beim Ackerland abgenommen, was wiederum die Stickstoffverluste durch Auswaschung verringern sollte.

##### **c) Änderungen in der Bewirtschaftungsweise**

Die Umstellung vieler Betriebe auf 'BIO' und 'IP' oder die Teilnahme an anderen umweltrelevanten Programmen (vgl. Kap. 4.1) sowie die Beratung, Schulung und Weiterbildung vieler Landwirte und Landwirtinnen sollten insgesamt zu einer nachhaltigeren und umweltverträglicheren Bewirtschaftungsweise geführt haben. So haben geänderte Fruchtfolgen, Zwischenfruchtanbau und angepasste Düngung etc. weiter an Verbreitung gefunden. Insgesamt sollte das veränderte Bewusstsein bei vielen Landwirten und Landwirtinnen zu einer Verringerung der Auswaschungsverluste beigetragen haben.

In den Modellrechnungen für 1996/97, wurden diese Punkte folgendermassen berücksichtigt:

### 1. Hauptberechnung:

- Die geringeren Niederschläge schlagen sich in einem deutlich geringeren Sickerwasseranfall unter Acker- und Grasland nieder (vgl. Kap. 3.1.1, Tab. 6). Insgesamt hätten sich durch die Veränderungen in den Wasserflüssen - bei gleichbleibender Landnutzung und Verlustkoeffizienten - die Stickstoffverluste durch Auswaschung unter Ackerland um 866 t N bzw. 25%, die unter Grasland um 512 t N bzw. 9% verringert (Tab. A48 u. A49).
- Die veränderte Landnutzung geht über die Flächenanteile an Ackerland und Grasland direkt in das Modell ein. Insgesamt hätten allein durch die Zunahme der Ackerfläche - bei unveränderten Wasserflüssen und Verlustkoeffizienten - die Stickstoffverluste durch Auswaschung unter Ackerland um rund 387 t N bzw. 11% zugenommen (Tab. A48). Die Abnahme des Graslandes würde zu einer Reduktion der Auswaschungsverluste unter Grasland von 290 t N bzw. 5% führen (Tab. A49).
- Um die Veränderungen in der Bewirtschaftungsweise zu berücksichtigen, wurden die nutzungsspezifischen Verlustkoeffizienten verändert (Tab. A20). In PRASUHN et al. (1997) und BRAUN et al. (1997) wurden für die Schweiz Reduktionspotentiale von Massnahmen, die die Stickstoffauswaschung unter Ackerland vermindern, gerechnet (vgl. Kap. 4.1). Sie wurden für die Beurteilung der Verlustkoeffizienten herangezogen. Insgesamt hätten nur durch die Veränderung der Verlustkoeffizienten - bei unveränderten Wasserflüssen und Landnutzung - die Stickstoffverluste durch Auswaschung unter Ackerland um 416 t N bzw. 12%, die unter Grasland um 329 t N bzw. 6% abgenommen (Tab. A48 u. A49).

Unter der Berücksichtigung aller Parameter ergibt sich für die Periode 1996/97 für das Bodensee-Einzugsgebiet gegenüber den berechneten Werten von 1985/86 bei der Hauptberechnung eine Reduktion der Stickstoffverluste durch Auswaschung unter Ackerland von 941 t N bzw. 27%; gegenüber den 1985/86 berechneten Mittelwerten von 522 t N bzw. 17%. Die Reduktion der Auswaschungsverluste unter Grasland beträgt 997 t N bzw. 18% gegenüber 1985/86 bzw. 1062 t N bzw. 19% gegenüber den damals berechneten Mittelwerten.

### 2. Kontrollberechnung:

- Die Niederschläge gehen bei der Kontrollberechnung nicht ein, da von mittleren klimatischen Verhältnissen ausgegangen wird (s. Fussnote 1).
- Die veränderte Landnutzung geht in das Modell über die Flächenanteile der verschiedenen Kulturarten direkt ein. Neben der Zunahme der gesamten Ackerfläche und der Abnahme des Graslandes gehen hier auch Änderungen in der Nutzungsform (Silomais, Körnermais, Gerste, Weizen bzw. Weide, Naturwiese, Kunstwiese etc.) ein (vgl. Kap. 2.3.1). Verändert man nur die Landnutzung im Modell bei gleichbleibenden Verlustkoeffizienten von 1985/86 kommt es wegen der Zunahme der offenen Ackerfläche und aufgrund von Veränderungen in den Kulturarten (Fruchtfolgen) im Bodenseegebiet insgesamt zu einer Erhöhung der Stickstoffeinträge durch Auswaschung unter Ackerland von 102 t N bzw. 3%, wobei grosse Unterschiede zwischen den einzelnen Einzugsgebieten bestehen (Tab. A50). Beim Grasland bewirken die Abnahme der Fläche und die Änderungen in der Nutzungsform eine Reduktion von 35 t N bzw. 1% (Tab. A51).

---

\* Siehe Fussnote Kap. 4.2, S. 58

- Die Änderungen in der Bewirtschaftungsweise gehen über veränderte Verlustkoeffizienten ein (Tab. A26 u. A27). Rund 395 t N bzw. 13% beim Ackerland und 16 t N bzw. <1% beim Grasland beträgt die Reduktion gegenüber 1985/86 (Tab. A50 u. A51), wenn bei gleicher Landnutzung wie 1985/86 nur die Verlustkoeffizienten verändert werden.

Insgesamt - unter Berücksichtigung aller Parameter - ergibt sich für das Bodenseegebiet gegenüber den berechneten Mittelwerten von 1985/86 bei der Kontrollberechnung für die Periode 1996/97 eine Reduktion der Stickstoffverluste durch Auswaschung unter Ackerland von 291 t N bzw. 10% und eine Zunahme der Verluste unter Grasland von 32 t N bzw. 1%.

Die Zunahme beim Grasland entspricht vermutlich nicht den realen Gegebenheiten, sondern resultiert daraus, dass die Aufgliederung in verschiedenen Nutzungsformen mit entsprechenden Verlustkoeffizienten 1996/97 wesentlich detaillierter vorlag. 1985/86 wurden die Einträge vermutlich unterschätzt.

**Fazit: Die Stickstoffeinträge durch Auswaschung (inkl. Drainage) unter Ackerland haben sich nach den Modellberechnungen 1996/97 (2 618 t N, Tab. 12) gegenüber 1985/86 (3 454 t N) um rund 836 t N bzw. 24% verringert (Tab. A34 u. A35). Abgeleitet aus verschiedenen Modellläufen von Haupt- und Kontrollberechnung resultieren grössenordnungsmässig rund 536 t N bzw. 16% aus den veränderten klimatischen Bedingungen (weniger Niederschlagsmenge), rund 300 t N bzw. 7% aus der veränderten Landnutzung und Bewirtschaftungsweise (trotz Zunahme der offenen Ackerfläche).**

**Die Stickstoffeinträge durch Auswaschung unter Grasland (inkl. Drainage) haben sich nach den Modellberechnungen 1996/97 (4 348 t N, Tab. 12) gegenüber 1985/86 (5 661 t N) um rund 1 313 t N bzw. 23% verringert (Tab. A34 u. A35). Abgeleitet aus verschiedenen Modellläufen von Haupt- und Kontrollberechnung resultieren grössenordnungsmässig 50% bzw. 656 t N aus den veränderten klimatischen Bedingungen (weniger Niederschlagsmenge), rund 50% bzw. 656 t N aus der Abnahme der Graslandfläche und der veränderten Bewirtschaftungsweise.**

## 5. Kontrollen

Die im Stofffluss-Modell berechneten Abflüsse und Material- und Stoffeinträge aus diffusen Quellen konnten mit den von der IGKB im Rahmen der Zuflussuntersuchungen 1996/97 durchgeführten Messungen (WAGNER 1998) sowie denen der Zuflussuntersuchungen früherer Jahre (WAGNER & BÜHRER 1989, BÜHRER & WAGNER 1982, WAGNER 1976a und b, 1983, 1987a, WAGNER et al. 1976) verglichen werden.

### 5.1 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 1996/97 (WAGNER 1998), andererseits langjährige Mittelwerte aus hydrologischen Jahrbüchern zur Verfügung. In den meisten Gebieten konnte eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Werten gefunden werden (Tab. 16). Insgesamt - unter Berücksichtigung externer Zu- oder Abflüsse - wurde für das Bodensee-Einzugsgebiet eine um 190 Mio. m<sup>3</sup> niedrigere Abflussmenge gegenüber den Zuflussuntersuchungen errechnet, was mit etwa 1.7% der gesamten Abflussmenge von 11 013 Mio. m<sup>3</sup> einer vernachlässigbaren Grösse entspricht. Davon entfällt der grösste Teil auf das Gebiet 'Rheintal', für welches der Messwert nur durch Differenzrechnung ermittelt werden konnte, da kein direkter Messwert existiert.

### 5.2 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. 17). Im allgemeinen konnte eine zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen den gemessenen und berechneten Werten erzielt werden. Der sehr niedrige Messwert der Seefelder Aach und der sehr hohe Wert im Alpenrhein (Maienfeld) konnten nicht erklärt werden. 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. 17 deutlich.

### 5.3 Vergleich gemessener und berechneter Phosphor- und Stickstoffeinträge

Die im Rahmen der Zuflussuntersuchungen 1996/97 am jeweiligen Einzugsgebietsausgang ermittelten Stofffrachten von WAGNER (1998) stellen den Ausgangswert für den Vergleich dar. Dabei muss berücksichtigt werden, dass bereits diese Daten mit gewissen Ungenauigkeiten behaftet sind (Probenahme, Analytik, Berechnung der Jahresfrachten). Insgesamt ergibt der Vergleich der von WAGNER (1998) ermittelten Frachten mit der Summe aus der im Stofffluss-Modell berechneten Gesamt-Phosphor- und Gesamt-Stickstoffeinträge plus den Einträgen aus punktuellen Quellen eine gute Übereinstimmung (Tab. 18 u. 19). Grössere Abweichungen in einzelnen Gebieten sind i.d.R. auf gebietsspezifische Besonderheiten zurückzuführen. Bei den partikulären und gelösten Anteilen der Gesamtfracht sind die Abweichungen im allgemeinen bedeutend höher. Gegenüber den im Stofffluss-Modell berechneten diffusen partikulären Stofffrachten (+ punktuellen partikulären Stofffrachten) von 1 013

t P·y<sup>-1</sup> und 2 055 t N·y<sup>-1</sup> für den Bodensee wurden an den Pegelstationen der Zuflüsse mit 1 327 t P·y<sup>-1</sup> und 2 345 t N·y<sup>-1</sup> höhere partikuläre Stofffrachten gemessen. Die um 314 t P·y<sup>-1</sup> und 290 t N·y<sup>-1</sup> 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.
- Nachfällung durch Eisen aus Kläranlagen sowie Calcitfällung.

Die in den Zuflüssen gemessenen gelösten Stofffrachten sind niedriger als die berechneten gelösten Einträge in die Gewässer. Diese aus Umsetzungsprozessen im Gewässer resultierenden Unterschiede zwischen gelösten und partikulären Anteilen am berechneten Eintrag ins Gewässer und am Messwert an der Pegelmessstelle am Einzugsgebietsausgang sind natürlich und hängen von der Fließstrecke, der chemischen Wasserbeschaffenheit etc. ab.

<b>Abflüsse</b>	1985/86	1985/86	1996/97	1996/97		langjähriges Mittel
Einzugsgebiete	IGKB <sup>1)</sup>	Modell	IGKB <sup>2)</sup>	Modell	Differenz	Literatur <sup>7)</sup>
	(Mio m <sup>3</sup> )					
Stockacher Aach	55	68	44	43	1	58
Seefelder Aach	119	117	80	79	1	100
Rotach	74	75	46	44	2	57
Schussen	398	405	273	271	2	340
Argen	623	625	520	519	1	611
Leiblach	100	101	90	82	8	105
Bregenzerach	1 317	1 324	1 261	1 267	-6	1 473
Dornbirnerach	212	217	181	213	-32	229
Rheintal <sup>3)</sup>	658	629	866	665	201	
Ill	1 915	1 717	2 074	1 780	274	2088
Alpenrhein <sup>4)</sup>	5 003	4 942	4 870	4 845	25	5 235
Randgebiet BW	110	112	-	75		
Randgebiet BY	17	38	-	40		
Randgebiet A	37	70	-	59		
Randgebiet CH <sup>5)</sup>	190	197	-	126		
(Summe Randgebiete)	(354)	(417)	322	(299)	23	
<b>Summe Obersee</b>	<b>10 827</b>	<b>10 637</b>	<b>10 626</b>	<b>10 126</b>	<b>500</b>	
Radolfzeller Aach <sup>6)</sup>	34	44	33	41	-8	
Randgebiet BW	65	81	-	56		
Randgebiet CH	38	30	-	22		
(Summe Randgebiete)	(103)	(111)	100	(78)	23	
<b>Summe Untersee</b>	<b>138</b>	<b>155</b>	<b>133</b>	<b>119</b>	<b>14</b>	
<b>Gesamt-Bodensee</b>	<b>10 965</b>	<b>10 792</b>	<b>10 759</b>	<b>10 245</b>	<b>514</b>	
Zufluss Aach-Quelle	+206	+206	+254	+254		+261
Überleitung Ill		+243		+260		
Überleitungen Alpenrhein		+75		+75		
Abfluss Radolfz.-ARA Bibertal		-10		-10		
<b>Gesamt-Bodensee</b>	<b>11 171</b>	<b>11 304</b>	<b>11 013</b>	<b>10 823</b>	<b>190</b>	

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

2) = n. WAGNER (1998)

3) = Alter Rhein + Lustenauer Kanal + Teil von SG + Teil von Alpenrhein der IGKB

4) = Alpenrhein (Maienfeld), nicht Alpenrhein (Lustenau) - Ill - Rheintal

5) = inkl. Goldach + Steinach

6) = Radolfzeller Aach ohne Aach-Quelle

7) = Hydrologische Jahrbücher Schweiz, Österreich, Deutschland

Tab. 16: Vergleich der gemessenen und berechneten Abflüsse im hydrologischen Jahr 1996/97 sowie 1985/86 und im langjährigen Mittel.

Schwebstoffe	67/68 u. 71/72 <sup>1)</sup>	78/79 <sup>2)</sup>	78/79 <sup>2)</sup>	(77-85) <sup>3)</sup>	85/86 <sup>4)</sup>	85/86 <sup>4)</sup>	85/86	96/97 <sup>5)</sup>	96/97
	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)	(1000 t)
Stockacher Aach	13	33	3	18	37	33	36	15	13
Seefelder Aach	18	15	8	30	19	30	26	3	14
Rotach	29	16	8	10	39	130	37	5	8
Schussen	38	39	23	44	52	728	56	54	45
Argen	97	107	83	100	76	93	96	52	57
Leiblach	36	28	11		26	17	26	18	14
Bregenzerach	390	276	243		270	279	275	204	243
Dornbirnerach	37	62	50		112	208	105	27	29
Rheintal <sup>6)</sup>	32	32	42		89	176	237	69	119
III					138	138	139	213	189
Alpenrhein	3962 <sup>7)</sup>	1949 <sup>7)</sup>	719 <sup>7)</sup>		1655	1644	1532	2161 <sup>8)</sup>	1531
Randgebiet BW					7		19	}	13
Randgebiet BY					1		4		3
Randgebiet A					1		4		4
Randgebiet CH <sup>9)</sup>					23	1107	25		12
<b>Summe Obersee</b>					<b>2545</b>	<b>4444</b>	<b>2615</b>	<b>1872</b>	<b>2293</b>
Radolfzeller Aach		11	4	6	3	2	9	6	8
Randgebiet BW					4		8	}	7
Randgebiet CH					1		3		9
<b>Summe Untersee</b>					<b>8</b>	<b>2</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>17</b>
<b>Gesamt-Bodensee</b>	<b>4653/1056</b>	<b>2600</b>			<b>2552</b>	<b>4446</b>	<b>2635</b>	<b>1887</b>	<b>2310</b>

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) = n. WAGNER (1998)

6) = Alter Rhein + Lustenauer Kanal + Teil von SG + Teil von Alpenrhein der IGKB

7) = Alpenrhein inkl. III

8) = Alpenrhein (Maienfeld), nicht Alpenrhein (Lustenau) - III - Rheintal

9) = inkl. Goldach + Steinach

Tab. 17: Vergleich gemessener und berechneter Schwebstofffrachten im hydrologischen Jahr 1996/97.

Phosphoreinträge										IGKB <sup>3)</sup>		
Einzugsgebiet	diffus <sup>1)</sup>			punktuell <sup>2)</sup>			Summe			P-Gesamt	P-part.	P-gelöst
	P-Gesamt	P-part.	P-gelöst	P-Gesamt	P-part.	P-gelöst	P-Gesamt	P-part.	P-gelöst			
	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)			
Stockacher Aach	13	9	4	2	<1	1	14	10	5	16	14	2
Seefelder Aach	16	10	6	2	<1	2	18	10	7	8	5	3
Rotach	9	6	4	1	<1	1	11	6	5	9	6	2
Schussen	56	30	26	18	4	14	74	33	41	113	95	18
Argen	75	24	50	9	1	8	84	25	58	87	72	15
Leiblach	14	6	8	3	1	2	17	7	10	21	16	5
Bregenzerach	142	98	43	10	2	8	151	100	51	248	229	19
Dornbirnerach	20	12	8	22	4	18	42	16	26	37	29	7
Rheintal <sup>4)</sup>	83	52	31	13	6	8	97	58	39	42	36	6
Ill	111	77	34	7	3	4	118	80	38	90	74	16
Alpenrhein <sup>5)</sup>	704	616	88	25	4	21	729	620	109	962	924	38
Randgebiet BW	14	8	6	15	3	12	30	11	18	96	39	57
Randgebiet BY	4	1	2	3	1	2	6	3	4			
Randgebiet A	5	2	3	14	2	13	19	3	16			
Randgebiet CH <sup>6)</sup>	21	8	13	21	4	16	42	13	29			
<b>Summe Obersee</b>	<b>1286</b>	<b>960</b>	<b>326</b>	<b>165</b>	<b>35</b>	<b>130</b>	<b>1451</b>	<b>995</b>	<b>456</b>	<b>1480<sup>8)</sup></b>	<b>1300</b>	<b>180</b>
Radolfzeller Aach <sup>7)</sup>	28	5	23	3	2	1	31	7	24	32	14	18
Randgebiet BW	9	5	4	12	3	9	21	8	13	30	13	16
Randgebiet CH	3	2	1	2	1	1	5	2	3			
<b>Summe Untersee</b>	<b>40</b>	<b>12</b>	<b>28</b>	<b>16</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>57</b>	<b>17</b>	<b>39</b>	<b>62</b>	<b>27</b>	<b>34</b>
<b>Gesamt-Bodensee</b>	<b>1327</b>	<b>972</b>	<b>354</b>	<b>182</b>	<b>41</b>	<b>141</b>	<b>1506</b>	<b>1012</b>	<b>495</b>	<b>1542</b>	<b>1327</b>	<b>214</b>

1) nach vorliegender Modellberechnung

2) nach LANDRATSAMT RAVENSBURG (1998)

3) nach WAGNER (1998)

4) = Alter Rhein + Lustenauer Kanal + Teil von Alpenrhein der IGKB, Werte in Spalte 4 bei IGKB nur Alter Rhein + Lustenauer Kanal und somit geringer.

5) = Werte in Spalte 4 bei IGKB Messwert Alpenrhein (Maienfeld), nicht Alpenrhein (Lustenau) - Ill - Rheintal

6) = inkl. Goldach und Steinach

7) = Radolfzeller Aach mit Aach-Quelle

8) = Summe mit Wert von Alpenrhein (Lustenau) nach WAGNER (1998), ohne Alpenrhein (Maienfeld), Ill und Rheintal

Tab. 18: Vergleich der über Modellrechnungen geschätzten (diffus + punktuell) und aus gemessenen Stofffrachten berechneten Phosphoreinträge im hydrologischen Jahr 1996/97 (ohne Deposition auf die Seefläche).

Stickstoffeinträge										
Einzugsgebiet	diffus <sup>1)</sup>			punktuell <sup>2)</sup> N-Gesamt	Summe			IGKB <sup>3)</sup>		
	N-Gesamt				N-Gesamt			N-Gesamt		
	N-part.	N-gelöst			N-part.	N-gelöst		N-part.	N-gelöst	
(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	
Stockacher Aach	232	21	211	7	239	21	218	233	42	191
Seefeldler Aach	445	29	416	22	467	29	438	335	24	311
Rotach	255	16	239	24	279	16	263	255	29	226
Schussen	1307	89	1218	380	1687	89	1598	1763	375	1388
Argen	952	92	859	143	1095	92	1002	1743	402	1341
Leiblach	163	23	140	18	181	23	158	270	85	185
Bregenzrach	1156	178	978	66	1222	178	1044	1400	283	1117
Dornbirnerach	324	31	293	298	622	31	591	520	5	515
Rheintal <sup>4)</sup>	1421	190	1231	225	1646	190	1456	818	102	716
Ill	1621	198	1423	132	1753	198	1555	2373	735	1638
Alpenrhein <sup>5)</sup>	3968	1088	2881	486	4454	1088	3367	4717	1641	3076
Randgebiet BW	391	26	365	420	811	26	785	}	2056	141
Randgebiet BY	84	5	79	56	140	5	135			
Randgebiet A	107	7	101	278	385	7	379			
Randgebiet CH <sup>6)</sup>	421	24	397	681	1102	24	1078			
<b>Summe Obersee</b>	<b>12847</b>	<b>2017</b>	<b>10831</b>	<b>3234</b>	<b>16081</b>	<b>2017</b>	<b>14065</b>	<b>15491<sup>8)</sup></b>	<b>2236</b>	<b>13255</b>
Radolfzeller Aach <sup>7)</sup>	1307	17	1290	12	1319	17	1302	1114	59	1055
Randgebiet BW	301	16	286	346	647	16	632	}	595	50
Randgebiet CH	118	5	113	38	156	5	151			
<b>Summe Untersee</b>	<b>1726</b>	<b>38</b>	<b>1689</b>	<b>396</b>	<b>2122</b>	<b>38</b>	<b>2085</b>	<b>1709</b>	<b>109</b>	<b>1600</b>
<b>Gesamt-Bodensee</b>	<b>14573</b>	<b>2055</b>	<b>12520</b>	<b>3630</b>	<b>18203</b>	<b>2055</b>	<b>16150</b>	<b>17200</b>	<b>2345</b>	<b>14855</b>

1) nach vorliegender Modellberechnung

2) nach LANDRATSAMT RAVENSBURG (1998)

3) nach WAGNER (1998)

4) = Alter Rhein + Lustenauer Kanal + Teil von Alpenrhein der IGKB, Werte in Spalte 4 bei IGKB nur Alter Rhein + Lustenauer Kanal und somit geringer

5) = Werte in Spalte 4 bei IGKB Messwert Alpenrhein (Maienfeld), nicht Alpenrhein (Lustenau) - Ill - Rheintal

6) = inkl. Goldach und Steinach

7) = Radolfzeller Aach mit Aach-Quelle

8) = Summe mit Wert von Alpenrhein (Lustenau) nach WAGNER (1998), ohne Alpenrhein (Maienfeld), Ill und Rheintal

Tab. 19: Vergleich der über Modellrechnungen geschätzten (diffus + punktuell) und aus gemessenen Stofffrachten berechneten Stickstoffeinträge im hydrologischen Jahr 1996/97 (ohne Deposition auf die Seefläche).

## 6. Schlussbetrachtung für das gesamte Bodensee-Einzugsgebiet

### Phosphoreinträge:

Im hydrologischen Jahr 1996/97 wurden dem Bodensee nach den Modellberechnungen insgesamt  $1\,526 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  Gesamt-Phosphor über die Zuflüsse, aus dem ufernahen Areal und aus den Niederschlägen auf den See zugeführt (Abb. 24 u. Tab. 20). Dies sind  $841 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. 36% weniger als 1985/86.

- $182 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. 12% stammten aus punktuellen Quellen (90 t P Abläufe ARA, 61 t P Kanalisationsentlastungen, 31 t P dezentrale Abwasserentsorgung),
- $1\,344 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. 88% 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. Trotz deutlicher Abnahme der diffusen Einträge gegenüber 1985/86 ( $-447 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. -25%) hat sich ihr prozentualer Anteil 1996/97 vergrößert, da die punktuellen Einträge im gleichen Zeitraum stärker abgenommen haben ( $-395 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. -68%).

- $1\,013 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. 66% waren partikulär gebundener Phosphor,
- $513 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. 34% 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. 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. Gegenüber 1985/86 hat der Anteil an gelöstem Phosphor erheblich stärker abgenommen\* ( $-700 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. -58%) als der an partikulärem ( $-141 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. -12%).

- $860 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. 56% waren natürliche Hintergrundlast,
- $666 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. 44% 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. Gegenüber 1985/86 hat sich die natürliche Hintergrundlast um  $118 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. 12%, die anthropogene Belastung um  $724 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. 52% verringert\*. Damit hat sich 1996/97 das prozentuale Verhältnis von natürlicher Hintergrundlast zu anthropogener Belastung fast umgekehrt.

Wichtigste Eintragspfade der diffusen Quellen (Abb. 26 u. 28) waren mit

- $915 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. 69% die 'natürliche' Erosion,
- $180 \text{ t P}\cdot\text{y}^{-1}$  bzw. 14% die Abschwemmung von Grasland

Berücksichtigt man, dass die Einträge durch 'natürliche' Erosion überwiegend der natürlichen Hintergrundlast zuzurechnen sind, war die Abschwemmung von Grasland der dominante anthropogen diffus bedingte Eintragspfad.

\* Siehe Fussnote S. 17

Aus den Ergebnissen der verschiedenen Modellläufe für die wichtigsten Eintragspfade in Kapitel 4 wird abgeleitet, dass die **Abnahme der Gesamt-Phosphoreinträge** aus diffusen Quellen von 447 t P·y<sup>-1</sup> bzw. 25% gegenüber 1985/86 grössenordnungsmässig **zu zwei Dritteln (= rund 17% bzw. 297 t P·y<sup>-1</sup>) den veränderten klimatischen Bedingungen** der beiden Vergleichsjahre und **zu einem Drittel (= rund 8% bzw. 150 t P·y<sup>-1</sup>) den veränderten (landwirtschaftlichen) Nutzungen** zuzuschreiben ist. Das UBA (1994) prognostizierte für die Bundesrepublik Deutschland eine Reduktion der gesamten Phosphoreinträge aus der Landwirtschaft von 1985 bis 1995 um 21% und liegt damit mit seiner Prognose deutlich höher, wenn man im Bodensee-Einzugsgebiet nur die Veränderungen, die aus der landwirtschaftlichen Nutzung resultieren, berücksichtigt. Allerdings ist im Bodensee-Einzugsgebiet der Anteil alpiner Flächen, die aufgrund der hohen natürlichen Hintergrundlast nur ein geringes Reduktionspotential aufweisen, vergleichsweise hoch.

Die **Abnahme der gelösten Phosphoreinträge** aus diffusen Quellen von 265 t P·y<sup>-1</sup> bzw. 42% gegenüber 1985/86 ist schätzungsweise **jeweils zur Hälfte (= rund 21% bzw. 132 t P·y<sup>-1</sup>) den veränderten klimatischen Bedingungen** der beiden Vergleichsjahre und **den veränderten (landwirtschaftlichen) Nutzungen** zuzuschreiben.

### Stickstoffeinträge:

Im hydrologischen Jahr 1996/97 wurden dem Bodensee insgesamt 18 693 t N·y<sup>-1</sup> Gesamtstickstoff über die Zuflüsse, aus dem ufernahen Areal und aus den Niederschlägen auf den See zugeführt (Abb. 24 u. Tab. 21). Dies sind 5 139 t N·y<sup>-1</sup> bzw. 22% weniger als 1985/86.

- 3 630 t N·y<sup>-1</sup> bzw. 19% stammten aus punktuellen Quellen, (3 195 t N Abläufe ARA, 281 t N Kanalisationsentlastungen, 154 t N dezentrale Abwasserentsorgung),
- 15 063 t N·y<sup>-1</sup> bzw. 81% 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. Trotz deutlicher Abnahme der diffusen Einträge gegenüber 1985/86 (-3 203 t N·y<sup>-1</sup> bzw. -18%) hat sich ihr prozentualer Anteil 1996/97 vergrössert, da die punktuellen Einträge im gleichen Zeitraum stärker abgenommen haben (-1 936 t N·y<sup>-1</sup> bzw. -35%).

- 2 054 t N·y<sup>-1</sup> bzw. 11% waren partikulär gebundener Stickstoff,
- 16 639 t N·y<sup>-1</sup> bzw. 89% gelöster bzw. bioverfügbarer Stickstoff.

Diese Stickstoffkomponenten veränderten sich während des Transportes in den Flüssen durch Einbau in organisches Material und Mineralisation, so dass beim Eintritt in den Bodensee eine andere Zusammensetzung vorlag. 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. Gegenüber 1985/86 haben die Anteile an gelöstem Stickstoff (-4 626 t N·y<sup>-1</sup> bzw. -22%) und partikulärem Stickstoff (-513 t N·y<sup>-1</sup> bzw. -20%) prozentual etwa gleich stark abgenommen.

---

Siehe Fussnote S. 17

- 6 294 t N·y<sup>-1</sup> bzw. 34% waren natürliche Hintergrundlast,
- 12 399 t N·y<sup>-1</sup> bzw. 66% 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. Gegenüber 1985/86 hat sich die natürliche Hintergrundlast um 388 t N·y<sup>-1</sup> bzw. 6%, die anthropogene Belastung um 4 753 t N·y<sup>-1</sup> bzw. 28% verringert. Damit hat sich der prozentuale Anteil der anthropogenen Belastung verkleinert.

Wichtigste Eintragspfade der diffusen Quellen (Abb. 26 u. 28) waren mit

- 4 348 t N·y<sup>-1</sup> bzw. 29% die Auswaschung unter Grasland,
- 2 618 t N·y<sup>-1</sup> bzw. 17% die Auswaschung unter Ackerland,
- 2 021 t N·y<sup>-1</sup> bzw. 13% die Auswaschung unter Wald und
- 1 898 t N·y<sup>-1</sup> bzw. 13% die 'natürliche' Erosion.

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 diffus bedingten Eintragspfade.

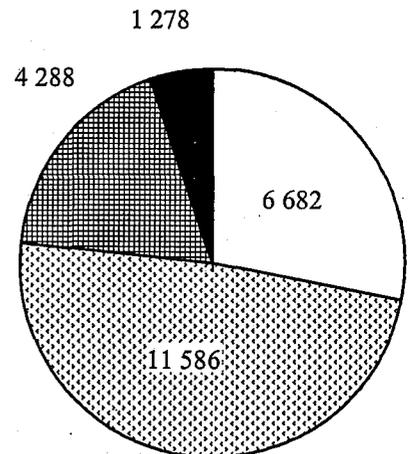
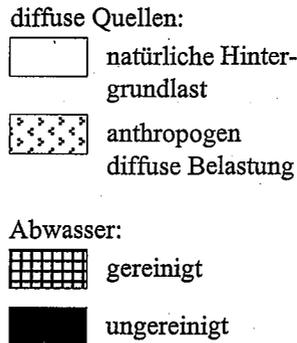
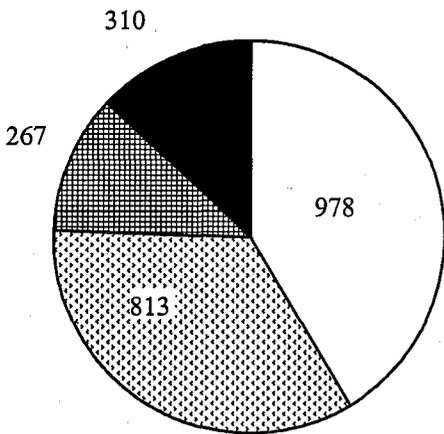
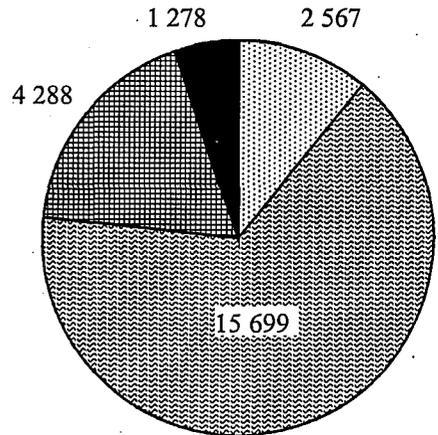
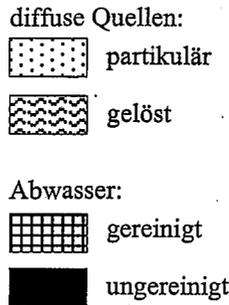
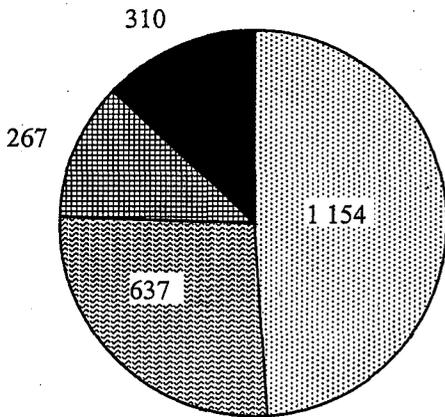
Aus den Ergebnissen der verschiedenen Modellläufe für die wichtigsten Eintragspfade in Kapitel 4 wird abgeleitet, dass die **Abnahme der Gesamt-Stickstoffeinträge** aus diffusen Quellen von 3 203 t N·y<sup>-1</sup> bzw. 18% gegenüber 1985/86 grössenordnungsmässig **zu etwas mehr als der Hälfte (= rund 10% bzw. 1 750 t N·y<sup>-1</sup>) den veränderten klimatischen Bedingungen** der beiden Vergleichsjahre und **zu etwas weniger als der Hälfte (= rund 8% bzw. 1 450 t N·y<sup>-1</sup>) den veränderten (landwirtschaftlichen) Nutzungen** zuzuschreiben ist. Das UBA (1994) prognostizierte für die Bundesrepublik Deutschland eine Reduktion der gesamten Stickstoffeinträge aus der Landwirtschaft von 1985 bis 1995 um 17% und liegt damit mit seiner Prognose deutlich höher, wenn man im Bodensee-Einzugsgebiet nur die Veränderungen, die aus der landwirtschaftlichen Nutzung resultieren, berücksichtigt. Allerdings ist im Bodensee-Einzugsgebiet der Anteil alpiner Flächen, die aufgrund der hohen natürlichen Hintergrundlast nur ein geringes Reduktionspotential aufweisen, vergleichsweise hoch.

Die **Abnahme der gelösten Stickstoffeinträge** aus diffusen Quellen von 2 690 t N·y<sup>-1</sup> bzw. 17% gegenüber 1985/86 ist ebenfalls grössenordnungsmässig **zu etwas mehr als der Hälfte (= rund 9% bzw. 1 440 t N·y<sup>-1</sup>) den veränderten klimatischen Bedingungen** der beiden Vergleichsjahre und **zu etwas weniger als der Hälfte (= rund 8% bzw. 1 250 t N·y<sup>-1</sup>) den veränderten (landwirtschaftlichen) Nutzungen** zuzuschreiben.

**1985/86**

**Gesamt-Phosphor**  
Summe 2 367 t P

**Gesamt-Stickstoff**  
Summe 23 832 t N



**gelöster Phosphor**  
Summe 1 213 t P

**gelöster Stickstoff**  
Summe 21 265 t N

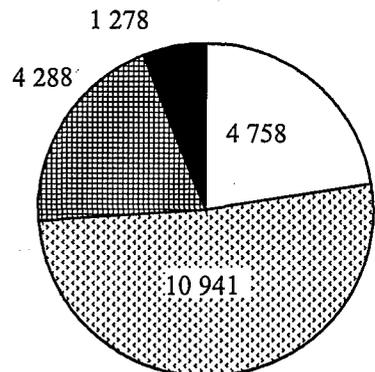
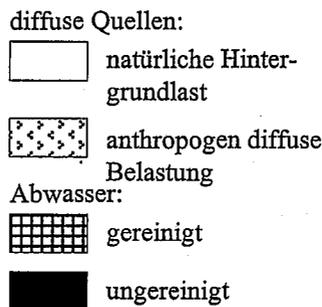
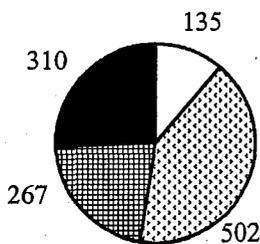
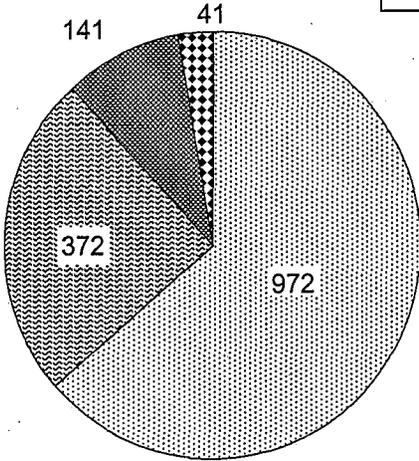


Abb. 23: Aufschlüsselung der Phosphor- und Stickstofffrachten (inkl. Niederschlag auf See-  
fläche und externe Zuflüsse) im Bodensee-Einzugsgebiet (Obersee und Untersee)  
nach ihren Quellen für das hydrologische Jahr 1985/86 (aus PRASUHN et al.  
1996).

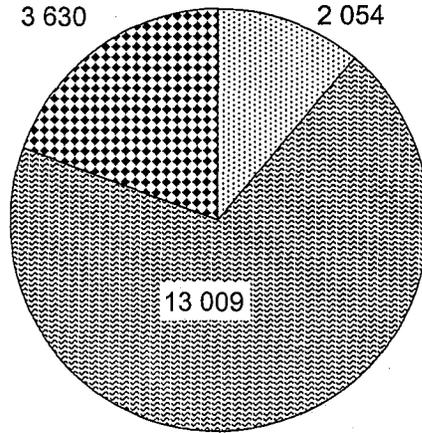
**Gesamt-Phosphor**  
Summe 1 526 t

**1996/97**

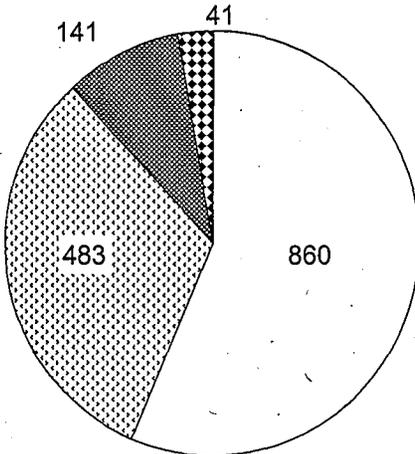
**Gesamt-Stickstoff**  
Summe 18 693 t



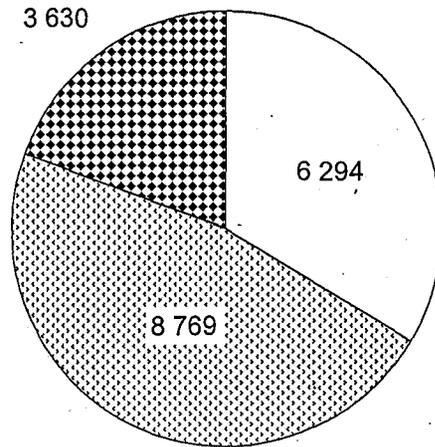
- ▨ diffus partikulär
- ▩ diffus gelöst
- ▧ punktuell gelöst
- ▦ punktuell partikulär



- ▨ diffus partikulär
- ▩ diffus gelöst
- ▧ punktuell gelöst
- ▦ punktuell gesamt

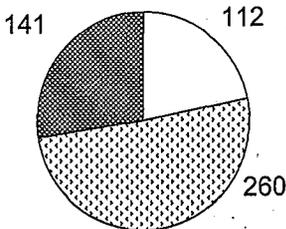


- natürliche Hintergrundlast
- ▩ anthropogen diffuse Belastung
- ▧ punktuell gelöst
- ▦ punktuell partikulär



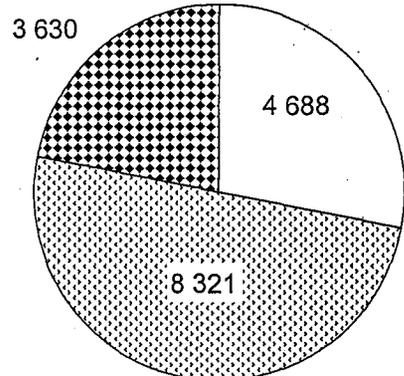
- natürliche Hintergrundlast
- ▩ anthropogen diffuse Belastung
- ▦ punktuell gesamt

**gelöster Phosphor**  
Summe 513 t



- natürliche Hintergrundlast
- ▩ anthropogen diffuse Belastung
- ▧ punktuell gelöst

**gelöster Stickstoff**  
Summe 16 639 t

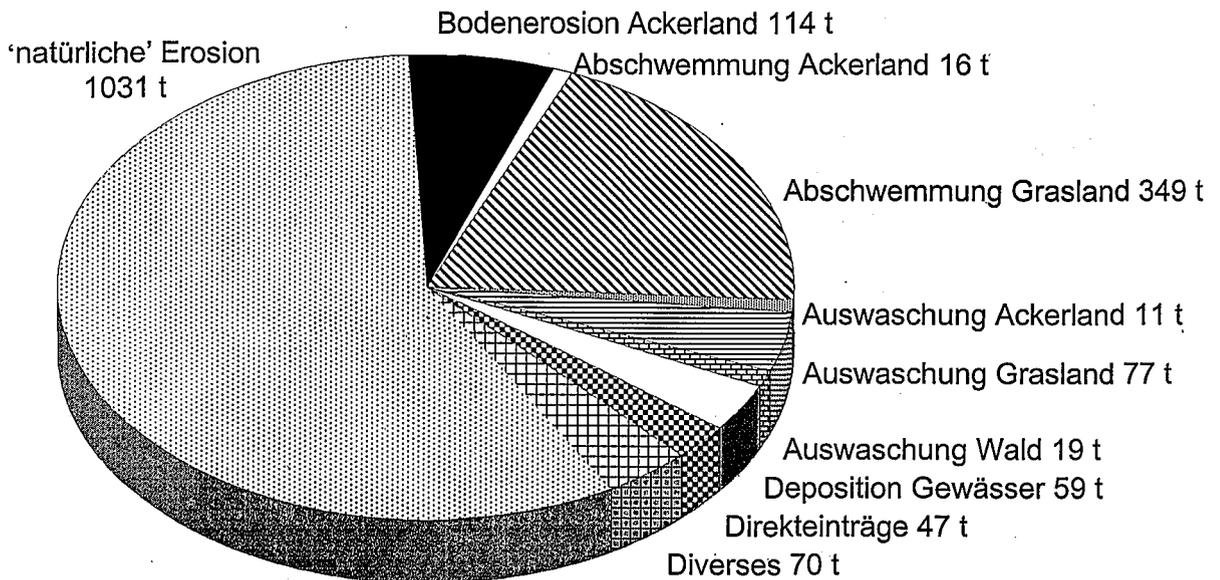


- natürliche Hintergrundlast
- ▩ anthropogen diffuse Belastung
- ▦ punktuell gesamt

Abb. 24: Aufschlüsselung der Phosphor- und Stickstofffrachten (inkl. Niederschlag auf See-  
fläche und externe Zuflüsse) im Bodensee-Einzugsgebiet (Obersee und Untersee)  
nach ihren Quellen für das hydrologische Jahr 1996/97.

# 1985/86

## Diffuse Gesamt-Phosphoreinträge im Bodensee-Einzugsgebiet 1 791 t P



## Diffuse Gesamt-Stickstoffeinträge im Bodensee-Einzugsgebiet 18 267 t N

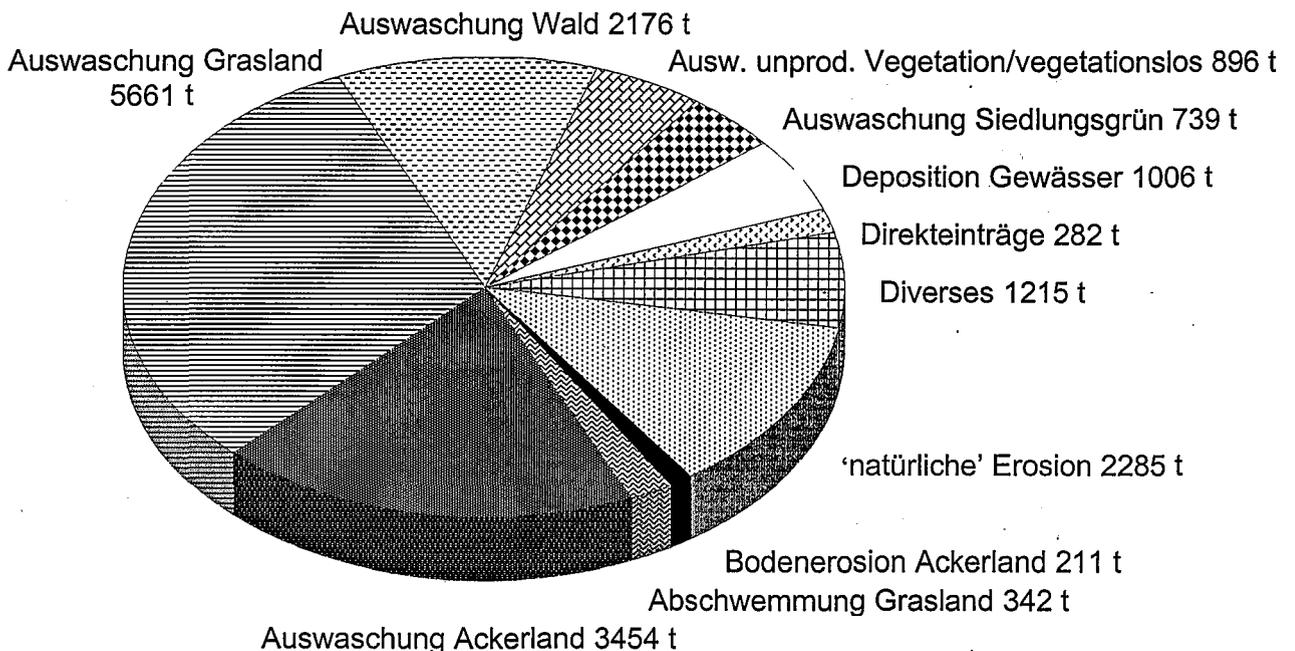
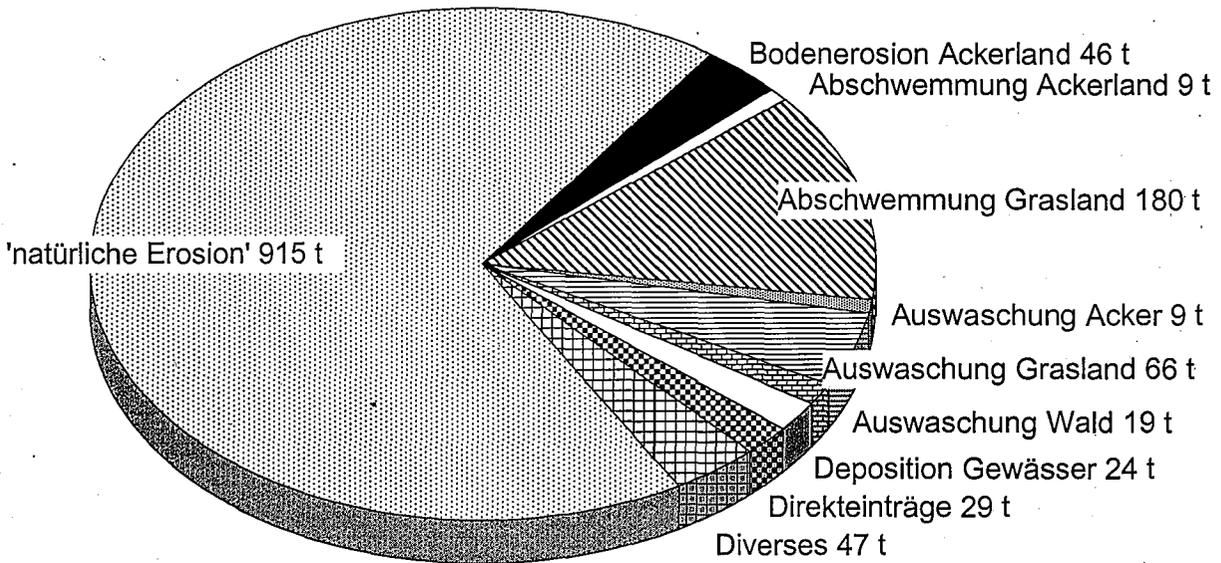


Abb. 25: Aufschlüsselung der Gesamt-Phosphor- und Gesamt-Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen im gesamten Bodensee-Einzugsgebiet nach Haupteintragspfaden für 1985/86 (inkl. Deposition auf die Seefläche) (aus PRASUHN et al. 1996).

# 1996/97

## Diffuse Gesamt-Phosphoreinträge im Bodensee-Einzugsgebiet 1 344 t P



## Diffuse Gesamt-Stickstoffeinträge im Bodensee-Einzugsgebiet 15 063 t N

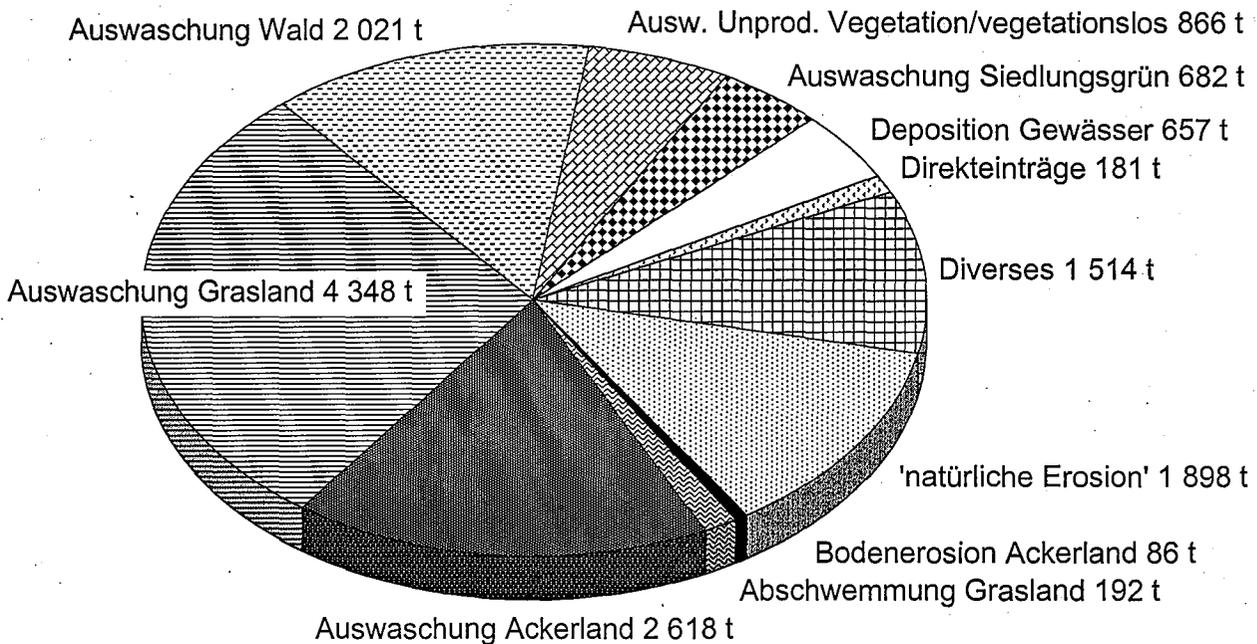
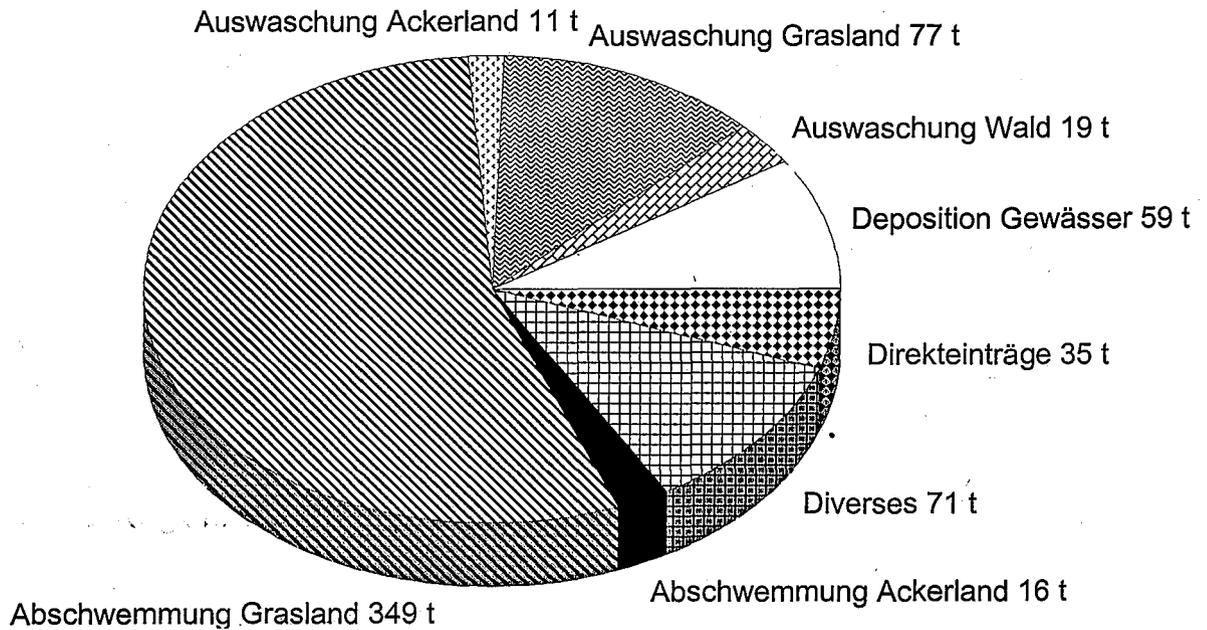


Abb. 26: Aufschlüsselung der Gesamt-Phosphor- und Gesamt-Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen im gesamten Bodensee-Einzugsgebiet nach Haupteintragspfaden für 1996/97 (inkl. Deposition auf die Seefläche).

# 1985/86

## Diffuse gelöste Phosphoreinträge im Bodensee-Einzugsgebiet 637 t P



## Diffuse gelöste Stickstoffeinträge im Bodensee-Einzugsgebiet 15 703 t N

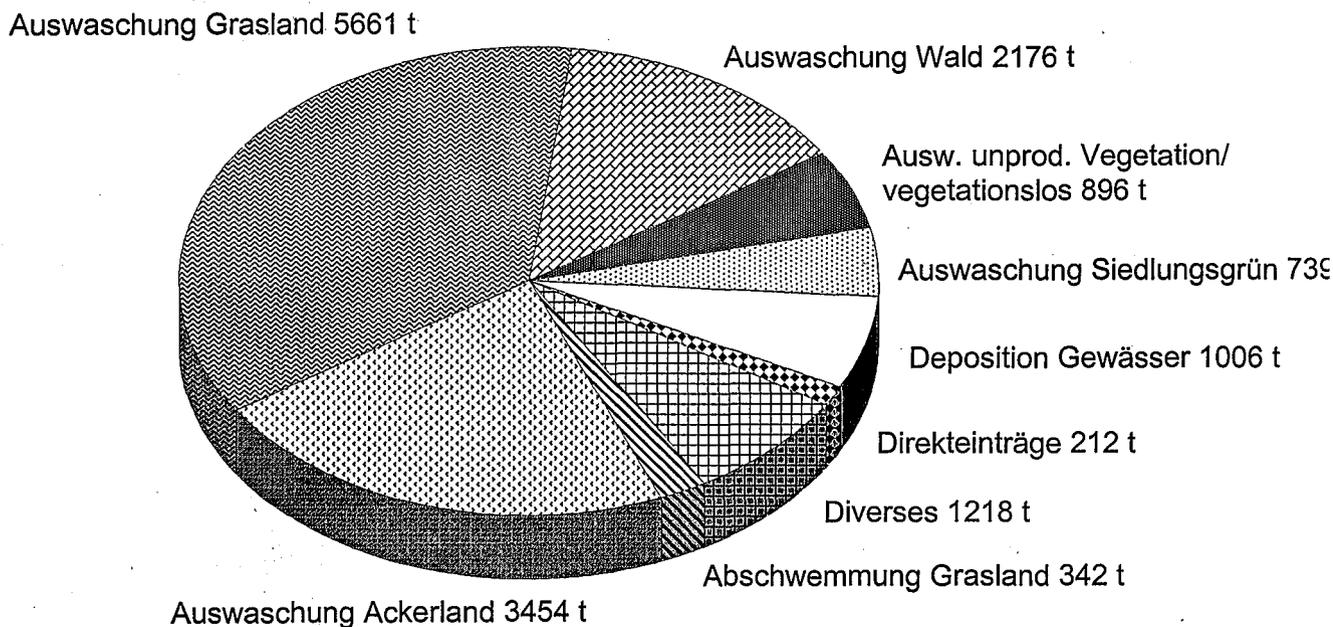
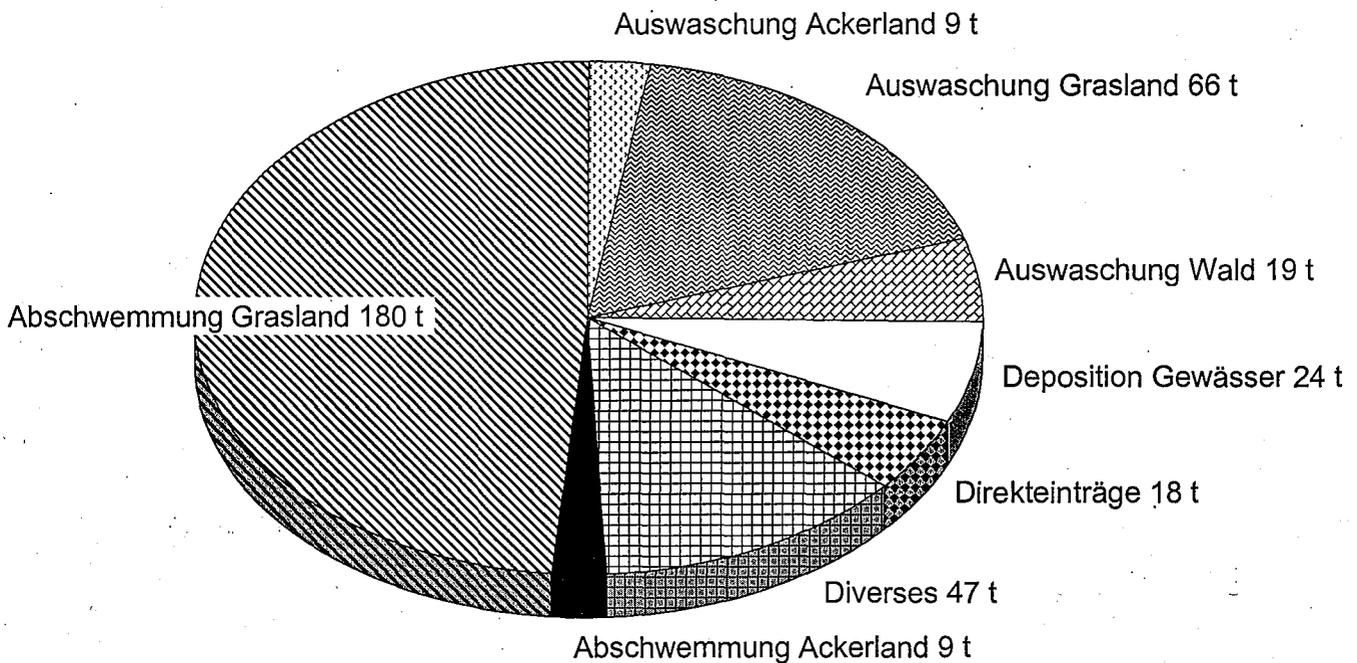


Abb. 27: Aufschlüsselung der gelösten Phosphor- und Gesamt-Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen im gesamten Bodensee-Einzugsgebiet nach Haupteintragspfaden für 1985/86 (inkl. Deposition auf die Seefläche) (aus PRASUHN et al. 1996).

# 1996/97

## Diffuse gelöste Phosphoreinträge im Bodensee-Einzugsgebiet

372 t P



## Diffuse gelöste Stickstoffeinträge im Bodensee-Einzugsgebiet

13 009 t N

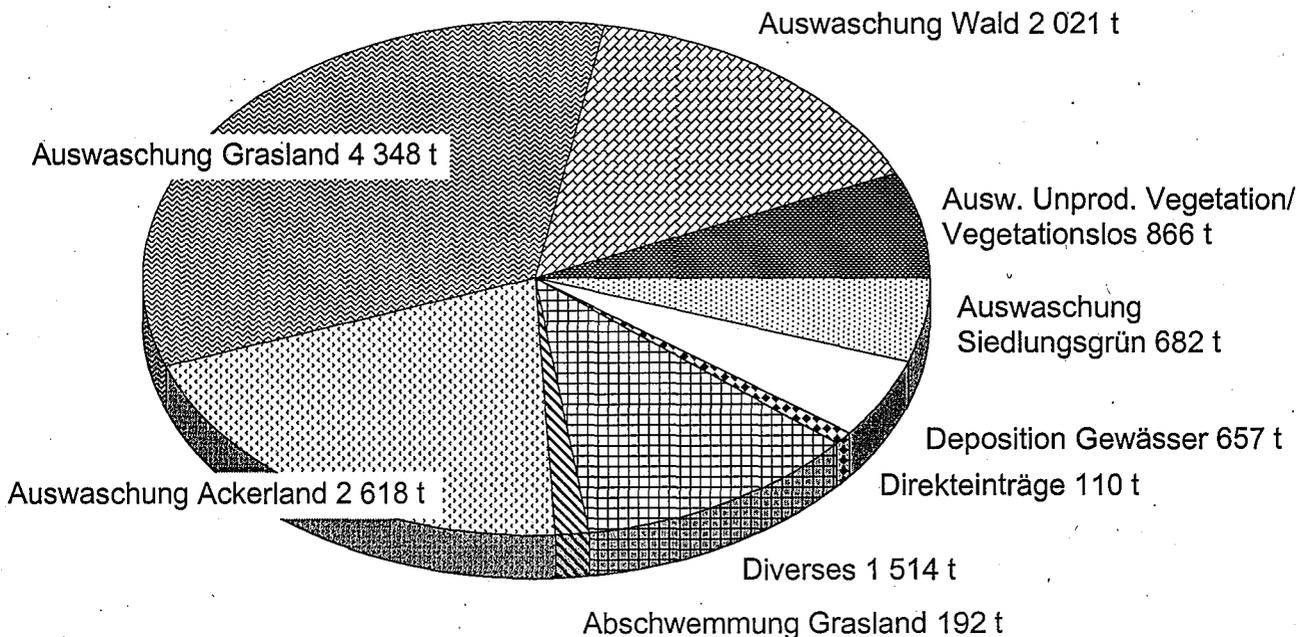


Abb. 28: Aufschlüsselung der gelösten Phosphor- und gelösten Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen im gesamten Bodensee-Einzugsgebiet nach Haupteintragspfaden für 1996/97 (inkl. Deposition auf die Seefläche).

	1996/97		1985/86		Veränderung gegenüber 1985/86	
	[t P·y <sup>-1</sup> ]	[%]	[t P·y <sup>-1</sup> ]	[%]	[t P·y <sup>-1</sup> ]	[%]
<b>Gesamt-Phosphor</b>	<b>1 526</b>	<b>100%</b>	<b>2 367</b>	<b>100%</b>	<b>-841</b>	<b>-36%</b>
diffuse Quellen	1 344	88%	1 791	76%	-447	-25%
punktuelle Quellen	182	12%	577	24%	-395	-68%
gelöster Phosphor	513	34%	1 213	51%	-700	-58%
partikulärer Phosphor	1 013	66%	1 154	49%	-141	-12%
natürliche Hintergrundlast	860	56%	978	41%	-118	-12%
anthropogene Belastung	666	44%	1 390	59%	-724	-52%
<b>diffuse Quellen</b>	<b>1 344</b>	<b>100%</b>	<b>1 791</b>	<b>100%</b>	<b>-447</b>	<b>-25%</b>
gelöster Phosphor	372	28%	637	36%	-265	-42%
partikulärer Phosphor	972	72%	1 154	64%	-182	-16%
natürl. Hintergrundlast	860	64%	978	55%	-118	-12%
anthropo. diff. Belast.	483	36%	813	45%	-330	-41%
<b>gelöster Phosphor</b>	<b>372</b>	<b>100%</b>	<b>637</b>	<b>100%</b>	<b>-265</b>	<b>-42%</b>
natürl. Hintergrundlast	112	30%	135	21%	-23	-17%
anthropo. diff. Belast.	260	70%	502	79%	-242	-48%
<b>partikulärer Phosphor</b>	<b>972</b>	<b>100%</b>	<b>1 154</b>	<b>100%</b>	<b>-182</b>	<b>-16%</b>
natürl. Hintergrundlast	749	77%	843	73%	-94	-11%
anthropo. diff. Belast.	223	23%	311	27%	-88	-28%
<b>natürl. Hintergrundlast</b>	<b>860</b>	<b>100%</b>	<b>978</b>	<b>100%</b>	<b>-118</b>	<b>-12%</b>
gelöster Phosphor	112	13%	135	14%	-23	-17%
partikulärer Phosphor	749	87%	843	86%	-94	-11%
<b>anthropo. diff. Belast.</b>	<b>483</b>	<b>100%</b>	<b>813</b>	<b>100%</b>	<b>-330</b>	<b>-41%</b>
gelöster Phosphor	260	54%	502	62%	-242	-48%
partikulärer Phosphor	223	46%	311	38%	-88	-28%

Tab. 20: Zusammenstellung der berechneten Eintragsquellen von Phosphor im gesamten Bodensee-Einzugsgebiet (Ober- und Untersee inkl. Seefläche und externe Zuflüsse) für 1996/97 und Vergleich mit den Ergebnissen der Modellrechnung 1985/86.

	1996/97		1985/86		Veränderung gegenüber 1985/86	
	[t N·y <sup>-1</sup> ]	[%]	[t N·y <sup>-1</sup> ]	[%]	[t N·y <sup>-1</sup> ]	[%]
<b>Gesamt-Stickstoff</b>	<b>18 693</b>	<b>100%</b>	<b>23 832</b>	<b>100%</b>	<b>-5 139</b>	<b>-22%</b>
diffuse Quellen	15 063	81%	18 266	77%	-3 203	-18%
punktuelle Quellen	3 630	19%	5 566	23%	-1 936	-35%
gelöster Stickstoff	16 639	89%	21 265	89%	-4 626	-22%
partikulärer Stickstoff	2 054	11%	2 567	11%	-513	-20%
natürliche Hintergrundlast	6 294	34%	6 682	28%	-388	-6%
anthropogene Belastung	12 399	66%	17 152	72%	-4 753	-28%
<b>diffuse Quellen</b>	<b>15 063</b>	<b>100%</b>	<b>18 266</b>	<b>100%</b>	<b>-3 203</b>	<b>-18%</b>
gelöster Stickstoff	13 009	86%	15 703	86%	-2 690	-17%
partikulärer Stickstoff	2 054	14%	2 564	14%	-513	-20%
natürl. Hintergrundlast	6 294	42%	6 682	37%	-388	-6%
anthropo. diff. Belast.	8 769	58%	11 586	63%	-2 817	-24%
<b>gelöster Stickstoff</b>	<b>13 009</b>	<b>100%</b>	<b>15 699</b>	<b>100%</b>	<b>-2 690</b>	<b>-17%</b>
natürl. Hintergrundlast	4 688	36%	4 758	30%	-69	-1%
anthropo. diff. Belast.	8 321	64%	10 941	70%	-2 620	-24%
<b>partikulärer Stickstoff</b>	<b>2 054</b>	<b>100%</b>	<b>2 567</b>	<b>100%</b>	<b>-513</b>	<b>-20%</b>
natürl. Hintergrundlast	1 606	78%	1 924	75%	-318	-17%
anthropo. diff. Belast.	449	22%	645	25%	-196	-30%
<b>natürl. Hintergrundlast</b>	<b>6 294</b>	<b>100%</b>	<b>6 682</b>	<b>100%</b>	<b>-388</b>	<b>-6%</b>
gelöster Stickstoff	4 688	74%	4 758	71%	-70	-1%
partikulärer Stickstoff	1 606	26%	1 924	29%	-318	-17%
<b>anthropo. diff. Belast.</b>	<b>8 769</b>	<b>100%</b>	<b>11 586</b>	<b>100%</b>	<b>-2 817</b>	<b>-24%</b>
gelöster Stickstoff	8 321	95%	10 941	94%	-2 620	-24%
partikulärer Stickstoff	449	5%	645	6%	-196	-30%

Tab. 21: Zusammenstellung der berechneten Eintragsquellen von Stickstoff im gesamten Bodensee-Einzugsgebiet (Ober- und Untersee inkl. Seefläche und externe Zuflüsse) für 1996/97 und Vergleich mit den Ergebnissen der Modellrechnung 1985/86.



## 7. Literaturverzeichnis

- AMT FÜR VOLKSWIRTSCHAFT DES FÜRSTENTUMS LIECHTENSTEIN (Hrsg.) 1997: Statistisches Jahrbuch 1997 Fürstentum Liechtenstein. – Vaduz.
- BACH, M. & H.-G. FREDE (1998): Agricultural nitrogen, phosphorus and potassium balances in Germany - Methodology and trends 1970 to 1995. - Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 161, 385-393.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG (1997): Bodennutzungshaupterhebung 1995, Flächenerhebung 1992, Viehzählung 1996. - Datenausdruck ausgewählter Gemeinden.
- BFS (= Bundesamt für Statistik) (1992): Die Bodennutzung der Schweiz. Arealstatistik 1979/85. Resultate nach Gemeinden. - Statistik der Schweiz, Reihe 2, Raum, Landschaft u. Umwelt, Bern, 227 S.
- BFS (1998): Eidg. Betriebszählung 1996: Kulturland nach Gemeinden. - Diskette BFS, Bern,
- BGBL (= Bundesgesetzblatt) (1995): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über ökologische Mindestkriterien für die Gewährung von ausschliesslich national finanzierten betrieblichen Förderungsmaßnahmen: Regeln der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft, BGBl Nr. 859, Österreichische Staatsdruckerei, 3 S.
- BLW (= Bundesamt für Landwirtschaft) (1998): Landwirtschaftliche Nutzfläche und Ökoausgleichsfläche nach Produktionsrichtung auf Bezirksebene für 1997. Unveröffentlichte Daten.
- BMELF (= Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1996): Die neue Düngeverordnung. Verordnungstext, Erläuterungen. - BMELF, Referat Öffentlichkeitsarbeit, Bonn, 55 S.
- BMLF (= Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft) (1996): Ökologische Evaluierung des Umweltprogrammes (ÖPUL). - Bericht des BMFL an die Europäische Kommission gemäss Art. 16 der VO (EG) Nr. 746/96, Wien, Band 1 + 2, 377 S.
- BSELF (= Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) 1997: Merkblatt über das Bayerische Kulturlandschaftsprogramm - Teil A (KULAP-A) Stufe I - Honorierung umweltschonender Landbewirtschaftungsmethoden. Stand 12/97 und Stufe II - Honorierung zusätzlicher Bewirtschaftungsaufgaben, Stand 12/97, 5 S.
- 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.
- BRAUN, M., KOPSE ROLLI, D. & V. PRASUHN (1997): Abschätzung der Verminderung der Nährstoffverluste in die Gewässer durch Massnahmen in der Landwirtschaft - Schriftenreihe Umwelt Nr. 293, Gewässerschutz, BUWAL, 100 S.
- BRONNER, G., OPPERMAN, R. & S. RÖSLER (1997): Umweltleistungen als Grundlage der landwirtschaftlichen Förderung. Vorschläge zur Fortentwicklung des MEKA-Programms in Baden-Württemberg. - Naturschutz und Landschaftsplanung 29/12, 357-365.
- 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.
- BURGMAIER, K. & K. MIERSCH (1997a): Konventionell und ökologisch wirtschaftende Betriebe im Vergleich - Landinfo 1/97, 37-40.

- BURGMAYER, K. & K. MIERSCH (1997b): Verbreitung der MEKA-Massnahmen im Ackerbau - Landinfo 2/97, 43-48.
- FREDE, G. & S. DABBERT (Hrsg.) (1998): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. - ecomed-Verlag, Landberg, 451 S.
- GÄCHTER, R., MARES, A., STAMM, C., KUNZE, U. & J. BLUM (1996): Dünger düngt Sem-pachersee. - Agrarforschung 3/7, 329-332.
- JORDAN, F. & C. MÜLLER (1998): Oberflächenabfluss, Boden- und Nährstoffaustrag von ackerbaulich genutzten Flächen. - Mitt. Deutsche Bodenkundl. Gesellsch. 87, 375-378.
- LADEMANN, H. & R. PÖTHIG (1994): Untersuchungen zur Phosphorbelastung, Phosphor-verlagerung und Phosphorsorptionsfähigkeit dräniertes Ackerflächen als Beitrag zum Gewässerschutz. - Vom Wasser 82, 323-334.
- LANDRATSAMT RAVENSBURG (1998): Stoffausträge aus dem Siedlungsbereich des Bodensee-Einzugsgebietes. - Interner Bericht im Auftrag der AG 'Fachbereich Einzugsgebiet' der IGKB, Landratsamt Ravensburg.
- LANGNER, M. (1998): Nachhaltige Wasserwirtschaft im Spannungsfeld "Trinkwasserversorgung und Landwirtschaft". - Wasser & Boden 50/3, 29-42.
- MLR (= Ministerium Ländlicher Raum) (1998): Richtlinie des Ministeriums Ländlicher Raum zur Förderung der Erhaltung und Pflege der Kulturlandschaft und von Erzeugungspraktiken, die der Marktentlastung dienen (Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich - MEKA -) vom 27. April 1998 - Az.65-8872.50, Stuttgart, 14 S.
- POMMER, G., NEYER, H. & F. JORDAN (1997): Phosphorbelastungen eines voralpinen Sees mit Grünlandnutzung im Einzugsgebiet. - Agribiol. Res. 50/4, 325-332.
- 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.
- PRASUHN, V., SPIESS, E. & M. BRAUN (1996): Methoden zur Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den Bodensee. - Bericht Internationale Gewässerschutzkommission Bodensee (IGKB) Nr. 45, 113 S. + Anhang (Sonderband), 83 S.
- PRASUHN, V., BRAUN, M. & D. KOPSE ROLLI (1997): Massnahmen zur Verminderung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus der Landwirtschaft in die Gewässer, dargestellt am Beispiel von 20 hydrologischen Einzugsgebieten im Kt. Bern. - Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft Bern, 216 S.
- RICHTER, G. (Hrsg.) (1998): Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. - Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt, 264 S.
- ROSSKNECHT, H. (1998): Zur stofflichen Belastung des Bodensees. - In: KOORDINIERUNGSSTELLE BEIM LANDRATSAMT RAVENSBURG (Hrsg.): Internationale Seen-Fachtagung 1998. Aktionsprogramm zur Sanierung oberschwäbischer Seen. 247-249.
- SCHRÖPEL, R. (1997): Wirtschaftsdünger und Wasserqualität von Allgäuer Seen: Nur geringe Phosphatausträge. - Schwäbischer Bauer Nr. 41, 44-46.
- STREHLE, H.M. (1998): "Aktionsprogramm zur Sanierung oberschwäbischer Seen": Untersuchungsprogramm, Massnahmen, Ergebnisse. - In: KOORDINIERUNGSSTELLE BEIM LANDRATSAMT RAVENSBURG (Hrsg.): Internationale Seen-Fachtagung 1998. Aktionsprogramm zur Sanierung oberschwäbischer Seen. 25-31.
- STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1989): Statistik von Baden-Württemberg. Band 400. Gemeindestatistik 1989. Heft 2: Bodennutzung 1987, Viehhal-

- tung 1988 und Struktur landwirtschaftlicher Betriebe 1987 in den Landwirtschaftsamtbezirken. Stuttgart.
- STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1997a): Flächenerhebung 1997 - Diskette.
- STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1997b): Agrarberichterstattung 1995. Betriebsgrößenstruktur, Bodennutzung und Viehhaltung; sozialökonomische Betriebstypisierung und -systematik. Gemeindestatistik 1996. - Statistik von Baden-Württemberg, Band 510, Heft 3.
- UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.) (1994): Stoffliche Belastung der Gewässer durch die Landwirtschaft und Massnahmen zu ihrer Verringerung. - UBA-Berichte 2, Berlin, 208 S.
- 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 düngedingten 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 (1998): Ergebnisse der Zuflussuntersuchungen 1996/97. - Interner Bericht z.H. der AG 'Fachbereich Einzugsgebiet' der IGKB.
- 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.
- WERNER, J. (1997): Arealstatistische Daten Vorarlberg. Flächenerhebung 1994, Agrarstatistik 1995, digitalisierte Katastralmappe 1997, Viehzählung 1995. - Datenzusammenstellung aus amtlichen Statistiken auf Diskette.
- WILKE, B. & D. SCHAUB (1996): Phosphatanreicherung bei Bodenerosion. - Mitt. Deutsche Bodenkundl. Gesellsch. 79, 435-438.

## Anhang (Sonderband)

Der Anhang ist eine Ergänzung zum Bericht: "Phosphor und Stickstoff aus diffusen Quellen im Einzugsgebiet des Bodensees 1996/97" und enthält in erster Linie zusätzliches Datenmaterial sowie methodische Hinweise.

Er enthält eine detaillierte Aufschlüsselung aller verwendeten Grundlagendaten für die Modellberechnungen (Bodennutzung, Tierzahlen, Niederschläge). Weiter folgen Tabellen mit den neu verwendeten Verlustkoeffizienten für die Berechnung der Stoffflüsse, die Ergebnisse des Vergleichs der Haupt- und Kontrollberechnung sowie zusätzliche Auswertungen und Ergebnisse der Modellberechnungen in tabellarischer und graphischer Form.

### Inhaltsverzeichnis

A1. Bodennutzungsarten	A 1
A2. Tierzahlen	A13
A3. Niederschläge	A24
A4. Verlustkoeffizienten	A26
A5. Ergebnisse Modellberechnungen	A35
A6. Ursachen für die Veränderungen	A53

Der Anhang kann bezogen werden bei:

- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Abteilung V, Institut für Seenforschung und Fischereiwesen (ISF), D-88081 Langenargen
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, D-80602 München
- Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, A-6901 Bregenz
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), CH-3003 Bern
- Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), CH-8600 Dübendorf
- Amt für Umweltschutz des Kantons St.Gallen, CH-9001 St.Gallen
- Amt für Umwelt des Kantons Thurgau, CH-8500 Frauenfeld
- Amt für Umweltschutz des Kantons Graubünden, CH-7001 Chur
- Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL) Liebefeld, CH-3003 Bern

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, Faltblatt, 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 Regentlastungsanlagen, 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 Schifffahrt auf den Bodensee	1982
Nr. 30	Die Auswirkungen der Reinhaltmassnahmen 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
Nr. 46	Die submersen Makrophyten des Bodensees - 1993 im Vergleich mit 1978 und 1967	1998
Nr. 47	Zustand des Seebodens 1992-1994 Sedimentinventare - Phosphor - Oligochaeten	1998
Nr. 48	Langjährige Entwicklung chemischer Parameter im Bodensee-Obersee	1998
Nr. 49	Abschätzung des einwohnerbezogenen Nährstoffaustrags aus Regenentlastungen im Einzugsgebiet des Bodensees	1998
Nr. 50	Mathematisches Modell des Alpenrhein-Einstroms in den Bodensee	1999
Nr. 51	Phosphor und Stickstoff aus diffusen Quellen im Einzugsgebiet des Bodensees 1996/97	1999

