

***Internationale Gewässerschutzkommission
für den Bodensee***

Bericht Nr. 53

**Dem Bodensee in den
Abflussjahren 1996 und 1997
zugeführte Stofffrachten**

Bearbeitung

H. Bühner
P. Kirner
G. Wagner

2000

7.2000 750 37414

VORWORT	4
Abstracts (D/F/E)	5
1. EINLEITUNG	7
2. METHODIK (Details s. Anhang)	8
2.1. Generelles Vorgehen	8
2.2. Definitionen	9
2.3. Abkürzungen	9
2.4. Zuflüsse	10
2.5. Abwasserreinigungsanlagen und restliches Abwasser	11
2.6. Diffuser Eintrag aus Randgebieten und Niederschläge auf die Seeoberfläche	11
2.7. Austräge	12
2.8. Zuverlässigkeit der Ergebnisse	12
3. ERGEBNISSE und DISKUSSION	13
3.1. Übersicht über die dem Bodensee zugeführten Stofffrachten	13
3.2. Wassermengenbilanz und Flussschwebstoffe	16
3.3. Phosphor	17
3.3.1. Aktueller Eintrag	17
3.3.2. Herkunft der Belastung	17
3.3.3. Vergleich mit früheren Untersuchungen	19
3.3.4. Phosphor-Bilanz des Sees	19
3.4. Stickstoff	21
3.4.1. Aktueller Eintrag	21
3.4.2. Herkunft der Belastung	21
3.4.3. Vergleich mit früheren Untersuchungen	22
3.4.4. Stickstoff-Bilanz des Sees	23
3.5. Organisch gebundener Kohlenstoff	24
3.6. Sulfat, Chlorid und Leitfähigkeit	25
4. ZUSAMMENFASSUNG	26
5. Literatur	30
6. ANHANG	32
6.1. Allgemeine Vorgaben	32
6.2. Abwasserreinigungsanlagen	33
6.3. Niederschläge	33
6.4. Probengewinnung aus den zur Auswertung herangezogenen Bodenseezuflüssen und -ausflüssen	34
6.5. Flussschwebstoffe und partikuläre Parameter	34
6.6. Übrige Untersuchungen (ohne Flussschwebstoffe)	35
6.7. Ergebnistabellen A1 bis A6	36

VORWORT

Anlässlich der 41. Tagung der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee am 23./24. Mai 1995 in Salzburg wurden die Sachverständigen beauftragt, im Abflussjahr 1996 erneut eine Untersuchung der dem Bodensee zugeführten Stofffrachten durchzuführen.

Während der Untersuchungen im Abflussjahr 1996 blieben die typischen Hochwassersituationen der Bodenseezuflüsse aus. Dies wirkt sich auf die Berechnung von Jahresfrachten aus. Die Untersuchungen wurden daher bis Juni 1997 ausgedehnt. Später wurde beschlossen, die massgebende Bilanzierung auf das Abflussjahr 1997 zu beziehen, welches durch mittlere hydrologische Verhältnisse gekennzeichnet war.

Proben wurden von 20 Seezu- und -ausflüssen sowie von 3 Niederschlagsstationen analysiert. Hinzu kamen umfangreiche Auswertungen der Überwachungsdaten von rund 80 Abwasserreinigungsanlagen sowie detaillierte Schätzungen der restlichen Abwasserbelastung und des diffusen Eintrags.

Die erfolgreiche Durchführung aller Arbeiten gewährleisteten die Mitarbeiter in den Laboratorien, an den Abwasserreinigungsanlagen sowie an den zuständigen amtlichen Stellen der betroffenen Staaten, Länder und Kantone. Massgeblich waren folgende Personen und Stellen beteiligt:

Dr. K. Amberger, Kempten
Dr. A. Ammann, Dübendorf
Dr. B. Baumgartner, Frauenfeld
Dr. U. Bosshart, St. Gallen
Dipl. Ing. K. Bucksteeg
Dr. H. Bühler, Dübendorf
Mag. D. Buhmann, Bregenz
Ing. G. Deplazes, Chur
Dipl. phil. nat. U. Engler, St. Gallen
Ing. R. Grabher, Bregenz
Ing. K. Graf, Bern
Ing. E. Hilbe, Vaduz
Dipl. Ing. K. Hoheisel, Ravensburg
Dipl. Ing. K. Kästner, Kempten
Dipl. phil. U. Koch, Bern
Dipl. Ing. C. Mathis, Bregenz
Dipl. Ing. Sylva Orlamünde
Dr. V. Prasuhn, Bern
Dr. M. Rinderer, Bregenz
Dr. H. Rossknecht, Langenargen
Dipl. Chem. W. Schnegg, Frauenfeld
Dr. G. Wagner, Langenargen
Dr. R. Werner, Bregenz
Dr. U. Widmer, St. Gallen

Baden-Württemberg:

- Gewässerdirektion Donau/Bodensee, Bereich Ravensburg
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
- Institut für Seenforschung der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Langenargen
- Landratsamt Ravensburg
- Bodenseewasserversorgung, BWV, Sipplingen
- Universität Konstanz

Bayern:

- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München
- Wasserwirtschaftsamt Kempten

Österreich/Vorarlberg:

- Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, Bregenz
- Landeswasserbauamt, Bregenz

Fürstentum Liechtenstein:

- Amt für Umweltschutz des Fürstentums Liechtenstein, Vaduz

Schweizerische Eidgenossenschaft:

- Landeshydrologie und -geologie, Bern
- Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, EAWAG, Dübendorf

Schweizerische Kantone:

- Amt für Umwelt des Kantons Graubünden, Chur
- Amt für Umweltschutz des Kantons St.Gallen, St.Gallen
- Amt für Umwelt des Kantons Thurgau, Frauenfeld

Vorbereitung und Durchführung des Programmes oblagen dem IGKB-Fachbereich Einzugsgebiet unter den Vorsitzenden Dr. U. Bosshart und Dr. U. Widmer.

Abstracts (D/F/E)

In den hydrologischen Jahren 1996 und 1997 wurde eine Belastungsstudie für den Bodensee durchgeführt. Ein Ziel war, Massnahmen zur Reduktion von Nährstofffrachten im Einzugsgebiet zu prüfen. Bei der Studie wurden Schwebstoffe, Phosphor, Stickstoff, organischer Kohlenstoff, Sulfat, Chlorid und elektrische Leitfähigkeit erfasst.

Wie in früheren Zuflussuntersuchungen wurden zwei Frachtanteile unterschieden, der konstante, stetig zugeführte Frachtanteil und der von der Witterung abhängige Frachtanteil. Dabei steht jener für den Trockenwetterabfluss, der hauptsächlich vom Abwasser und Sickerwasser stammt, und dieser für die höheren Frachten, die neben Regenentlastungen hauptsächlich von Austrägen aus dem ländlichen Areal stammen. Die Unterscheidung erfolgte mithilfe numerischer Anpassung geeigneter Exponentialfunktionen.

Da 87% der Gesamtfracht direkt gemessen wurden, mussten nur 13% aus Statistiken hergeleitet werden. 1996 war ein trockenes Jahr mit geringen Abflussmengen. Im Abflussjahr 1997 waren Niederschläge und Abflüsse nahe dem langjährigen Mittelwert, was es für Frachten repräsentativ macht.

Die Anstrengungen für die Reduktion der Phosphorfrachten waren in den wesentlichen Punkten erfolgreich. Die aus dem Abwasser stammende P-Fracht fiel von 536 t P im Jahre 1986 auf 170 t P im Jahre 1997. Die Adsorption an Schweb in den Zuflüssen verändert die algenrelevante P-Fracht erheblich. Zusammen mit dem löslichen Frachtanteil aus dem ländlichen Areal und dem Niederschlag auf den See waren im Bodensee-Obersee insgesamt 195 t algenverfügbarer P vorhanden. Der Abwasseranteil betrug 41% für die P-Fracht und 18-26% für die N-Fracht.

Die Phosphorfracht bestimmt die Konzentration im See. Nach Einstellung des Fließgleichgewichts dürfte ein Wert von weniger als 15 µg P/L erreicht werden.

Die bioverfügbaren Stickstofffrachten betrugen 13700 t N für den Obersee. Dabei scheint der Spitzenwert bereits überschritten worden zu sein.

1997 wurden dem Obersee zirka 20000 t gelöster organischer Kohlenstoff und zirka 39000 t an feinem partikulärem Kohlenstoff zugeführt, wobei grobes Treibzeug nicht erfasst wurde.

Bei den Salzen befinden sich die Gehalte annähernd im Fließgleichgewicht.

Schlüsselwörter: Phosphor, Stickstoff, Zuflussuntersuchung, Bodensee

Une étude des affluents a été réalisée pour le lac de Constance durant les années hydrologiques 1996 et 1997. L'un des buts visés était l'examen de toutes les mesures mises en œuvre pour diminuer la charge en nutriments dans le bassin versant. L'étude recouvre les charges en matières en suspension, phosphore, azote, carbone organique, sulfate, chlorure et la conductivité électrique.

Comme dans les rapports précédents, on a fait la distinction entre les charges constantes, déversées continuellement, et les charges dues aux crues. On suppose qu'en temps sec, les écoulements consistent

principalement en eaux usées épurées ainsi qu'en eaux d'infiltration. Les charges plus élevées lors des crues concernent surtout les régions rurales et les déversoirs d'orages. La distinction a été effectuée sur la base de valeurs numériques provenant d'équations exponentielles adéquates.

Alors que 87% des charges totales ont été déterminées par des mesures directes, seules 13% ont été évaluées sur la base de données statistiques. L'année 1996 a été une année sèche, avec de faibles débits. Etant donné que l'année 1997 a été une année moyenne en termes de précipitations et de flux d'eau, elle peut être considérée comme représentative également en ce qui concerne les charges.

Les efforts entrepris pour réduire les charges déversées dans le lac de Constance ont été efficaces quasiment partout. Les charges en P dans les eaux usées ont diminué, passant de 536 t P en 1986 à 170 t P en 1997. L'adsorption par les particules durant le transport dans les cours d'eau réduit les charges en P importantes pour les algues. Avec les charges solubles provenant des régions rurales et les précipitations sur le lac, une quantité totale de 195 t P est disponible pour la production d'algues dans la partie supérieure du lac de Constance. La contribution des eaux usées aux charges en P se monte à 41% et la contribution aux charges en N varie entre 18 et 26%.

La charge en phosphore détermine la concentration dans le lac. Les conditions à l'équilibre indiquent que cette valeur devrait être inférieure à 15 µgP/L.

La part biodisponible de la charge en azote dans la partie supérieure du lac de Constance se monte à 13700 t N. Il semble que le maximum ait déjà été dépassé.

En 1997, la charge en carbone organique dissous se monte à quelque 20000 t contre 39000 t de carbone particulaire fin, sans tenir compte du matériel flottant de plus grande taille.

Pour les sels, les teneurs sont proches de l'équilibre avec les apports.

Mots-clefs : phosphore, azote, étude des affluents, lac de Constance.

In the hydrological years 1996 and 1997 a runoff study for Lake Constance was done. One goal was to examine all the measures in the catchment for reduction of nutrient loads. The study covers suspended solids, phosphorus, nitrogen, organic carbon, sulphate, chloride and conductance loads.

As in previous reports, the loads are separated in two parts, the first which is constant and is running all the time and the second part is related to storm water events. As first guess, the sources of dry weather runoff are mainly treated sewage water as well as seepage of soils. The higher load at spates reflects more the rural part. Separation was done, using numerical fits of suitable exponential equations.

While 87% of total load was directly measured, only 13% were filled with educated guesses. 1996 was a dry year with low runoffs. 1997 was average in terms of precipitation and water flows and is therefore also representative for loads.

The efforts of reducing loads to Lake Constance were almost successful everywhere. Sewage P-load fell since 1986 with 536 t P down to 170 t P in 1997. Adsorption during transport in rivers reduces the relevant P-loads. Together with soluble loads from rural areas and the precipitation on the lake, a total of 195 t P is available for algal production in the upper part of Lake Constance. The sewage contribution to the P-load is 41% and 18-26% for the N-load respectively.

Phosphorus loading is reflected by the concentration in the lake. Steady state conditions point to a value of less than 15 µg P/L.

The bioavailable part of Nitrogen loads to the upper part of Lake Constance were 13700 t N. The peak seems to be passed.

The load with organic carbon was some 20000 t plus 39000 t POM, whereas coarse material is not included.

Turnover of salts is near steady state.

Keywords: Phosphorus, Nitrogen, Runoff study, Lake Constance

1. EINLEITUNG

Der Phosphoreintrag in den Bodensee als wesentliche Ursache für die Eutrophierung erreichte Mitte der 70er Jahre seinen Höhepunkt. Die grössten Phosphorfrachten stammten aus dem damals nur unzureichend gereinigten Abwasser (WAGNER 1976).

Die konsequente Weiterführung der Bau- und Investitionsprogramme (IGKB 1973 und 1981) und erste Auswirkungen der Waschmittelgesetzgebungen führten bis zur Zuflussuntersuchung 1986 (IGKB 1989) zu einer Halbierung des massgeblichen Phosphoreintrages.

Die weiteren Auswirkungen der Massnahmen der letzten Jahre (IGKB 1985) wurden mit der jüngsten Untersuchung erfasst. Wie bisher wurden quantitative und qualitative Umsätze von Phosphor, Stickstoff und organisch gebundenem Kohlenstoff untersucht. Zusätzlich wurden Sulfat, Chlorid und die Leitfähigkeit miterfasst. Die auch natürlich vorkommenden Hauptionen Sulfat und Chlorid werden in Fällsalzen auf Abwasserreinigungsanlagen, bei der winterlichen Strassensalzung (Chlorid) und in Industrie und Haushalt verwendet.

Ergänzend zu den Zuflussuntersuchungen wurde ein Stoffflussmodell an die Verhältnisse des Einzugsgebiets des Bodensees (Abb.1) angepasst (IGKB 1996 und 1999), das die Austragspfade aus dem ländlichen Areal detailliert beschreibt.

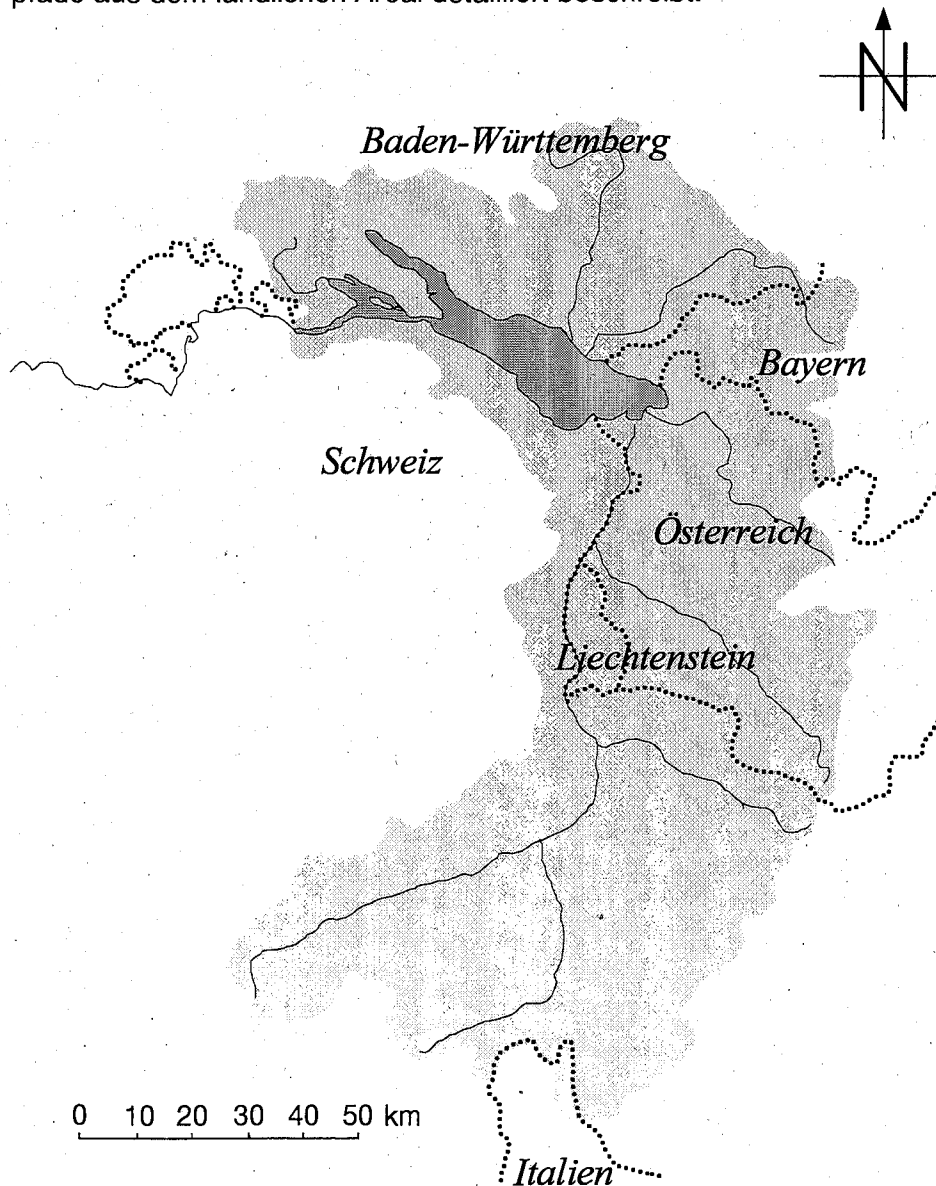


Abb.1: Das Einzugsgebiet des Bodensees und Ländergrenzen

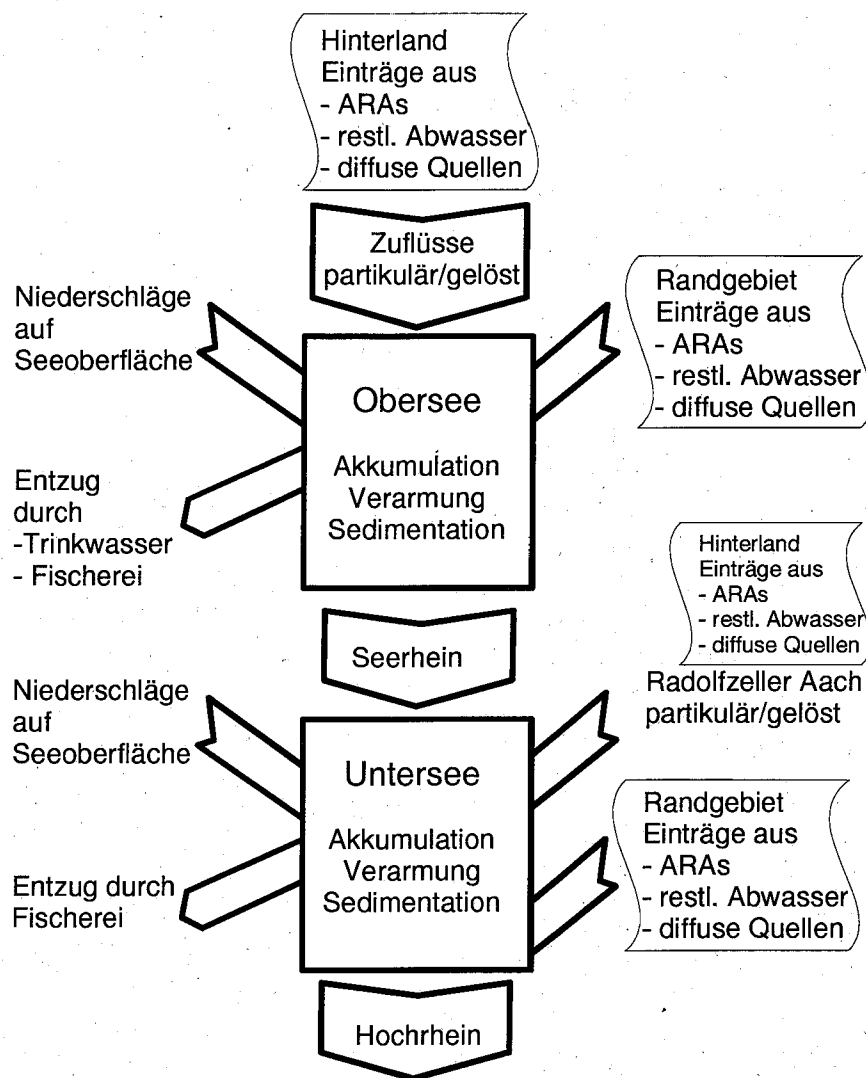


Abb. 2: Untersuchungs- und Fließschema

2. METHODIK (Details s. Anhang)

2.1. Generelles Vorgehen

Der praktischen Durchführung des gesamten Vorhabens lag ein Manual zugrunde, in dem Zuständigkeiten, Terminplanung und Arbeitsgänge von der Probenentnahme bis zur Auswertung geregelt waren (IGKB 1995). Es beruht auf den seit 1958 (KLIFFMÜLLER 1960) bei den Stoffbilanzierungen am Bodensee gesammelten Erfahrungen und umfasst die Art und Weise der Erfassung von Eintragsanteilen aus Zuflüssen, Abwässern, diffusen Quellen sowie aus Niederschlägen. Allen aus dem Einzugsgebiet ausgetragenen Stoffmengen wird unterstellt, dass sie, wenn auch qualitativ verändert, quantitativ in den See gelangen. Das Programm berücksichtigte ausserdem die Seeausflüsse und Entzüge durch Trinkwasserüberleitung in andere Einzugsgebiete und Fischerei (Abb.2). Der Schwerpunkt der Auswertungen liegt auf dem Bodensee-Obersee.

Die Datenbasis für die Berechnung der Frachten aus den Zuflüssen, die Abflüsse aus dem Obersee in den Seerhein bei Konstanz und aus dem Untersee in den Hochrhein bei Stein am Rhein sowie die Niederschlagsdaten einschliesslich methodischer Einzelheiten sind in einem zu diesem Bericht gehörenden Sonderband niedergelegt (s.S. 32).

2.2. Definitionen

- Hinterland : Einzugsgebiet des Sees oberhalb der mündungsnahen Pegel an den untersuchten Zuflüssen
- Randgebiet : Teileinzugsgebiet unterhalb der mündungsnahen Pegel der untersuchten Zuflüsse (Abb.3)
- diffus, diffuser Aus- bzw. Eintrag : ereignisabhängige Stofftransporte aus dem ländlichen Areal
- Ausfluss : Seerhein bei Konstanz/Obersee bzw. Hochrhein bei Stein a. Rh./Untersee
- Abflussjahr : 1. November des Vorjahres bis 31. Oktober des Jahres
- ereignisabhängig : witterungsabhängig (z.B. nach Regen und bei Schneeschmelze) aus Arealen und Kanalisationsentlastungen
- Filtrate : Aufbereitung der Flusswasserproben mittels 0.45 µm Membranfilter
- Schweb : abfiltrierbare Flussschwebstoffe (angegeben als Trockensubstanz)
- restl. Abwasser : Abwasser aus Kanalisationsentlastungen, Kleinkläranlagen und sonstiger dezentraler Abwasserentsorgung.
- bioverfügbar : die Gesamtmenge eines Stoffes abzüglich seines Anteil im Flussschweb:
 - die Stoffe im Filtrat der Zuflusswässer,
 - die entsprechenden gelösten Stoffe im diffusen Eintrag,
 - gelöste plus partikuläre Stoffe aus ARAs und aus restlichem, ungereinigtem Abwasser,
 - gelöste plus partikuläre Stoffe im Niederschlag sowie
 - gelöste Stoffe plus Plankton in den Seeausflüssen.

2.3. Abkürzungen

- BW : Baden-Württemberg
- BY : Bayern
- V : Vorarlberg
- FL : Fürstentum Liechtenstein
- GR : Kanton Graubünden
- SG : Kanton St.Gallen
- TG : Kanton Thurgau
- BWV : Bodenseewasserversorgung
- ARA : Abwasserreinigungsanlage, Kläranlage
- Q : Abfluss, Wassermenge/Zeit
- P : Phosphor
- N : Stickstoff
- KJ-N : Kjeldahl-N, umfasst N_{org} plus Ammonium-Stickstoff
- N im Filtrat : Nitrit-N + Nitrat-N + KJ-N
- C_{org} : organisch gebundener Kohlenstoff (DOC im Filtrat, POC partikulär, TOC gesamt)
- C_{anorg} : anorganisch gebundener Kohlenstoff
- SO₄ : Sulfat-Ion

- Cl : Chlorid-Ion
- e.Lf : elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$, 20°C]

P, N, C_{org} wurden in ihren erfassbaren Verbindungen analysiert und stets auf das Element bezogen, SO_4 und Cl als Ion.

- part : partikulär, im Schweb gebunden
- gel : gelöst im Membranfiltrat
- ges : gesamt, Summe der partikulären und gelösten Fraktionen
- org : organisch gebunden
- anorg : anorganisch gebunden
- restl : restliche

2.4. Zuflüsse

Die Probengewinnung an den mündungsnahen Pegeln der bedeutenden Bodenseezuflüsse (Abb. 3, Tab.1) erfolgte wöchentlich mit Tages-Mischproben aus automatischen Sammelstationen, mit terminiert ausgelegten selbstfüllenden Sammlern sowie mit terminierten und ereignis-abhängigen Stichproben (s. S. 34).

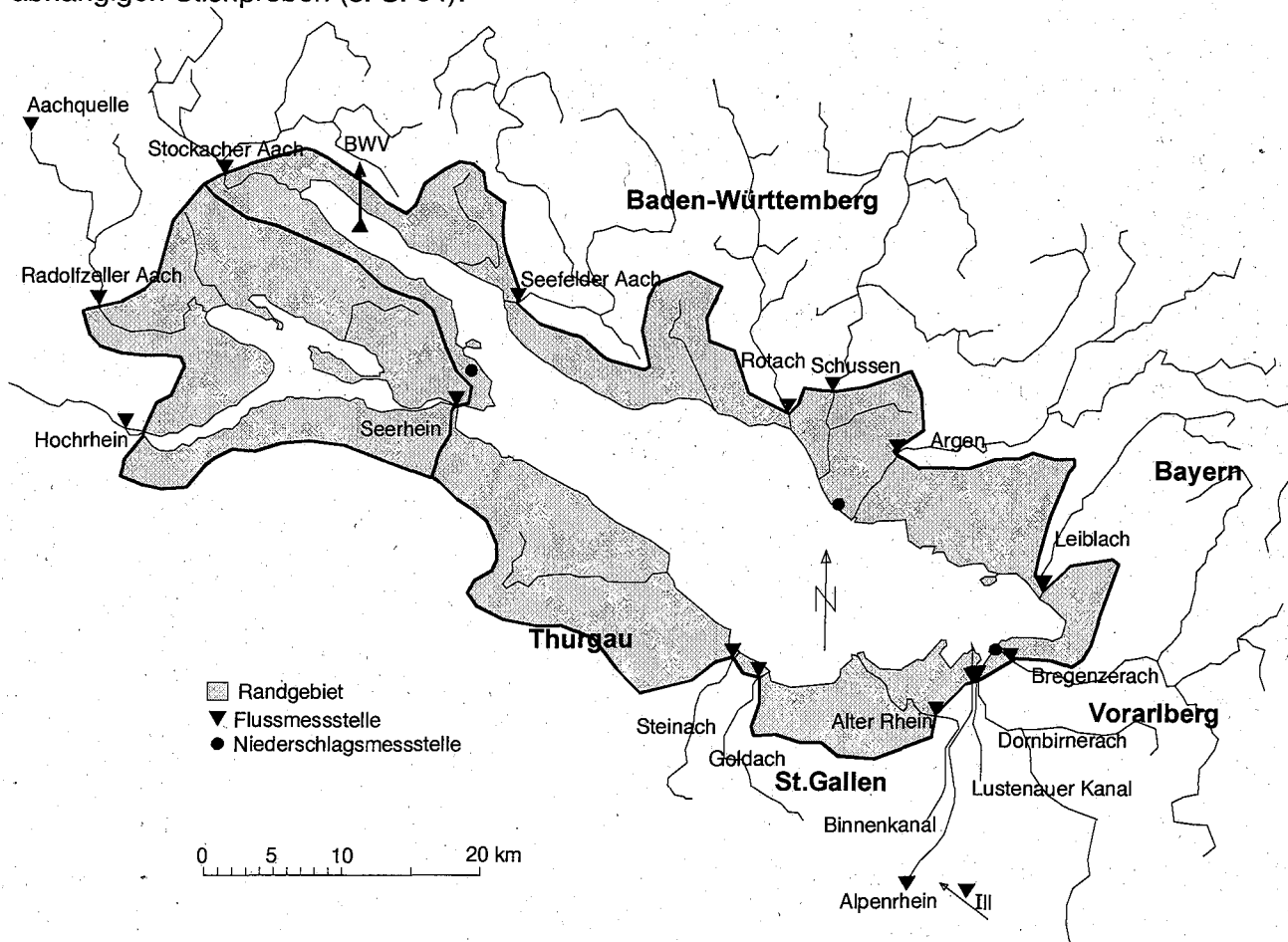


Abb. 3: Das Randgebiet des Bodensees mit den Probenentnahmestationen an den untersuchten Flüssen

Um das Verhalten und den Verbleib der in den See gelangenden Phosphor- und Stickstoff-Frachten beurteilen zu können, muss neben der Untersuchung des Filtrates der Schweb stets gesondert analysiert und beurteilt werden, denn die schwebgebundenen Stoffe sind durch Tief-

einschichtung und rasche Sedimentation der Bioverfügbarkeit weitestgehend entzogen. Geschiebe und grobes Material wurde nicht berücksichtigt.

Die Untersuchungsparameter waren:

- Q
- Schweb
- P, N, C_{org} im Schweb
- P im Filtrat
- N im Filtrat
- DOC
- SO₄
- Cl
- e.Lf.

Die Auswertung der Messdaten erfolgte mit Hilfe von Modellfunktionen für die Beschreibung der Abhängigkeit der Stoffkonzentrationen vom Abfluss bzw. vom Schweb-Aufkommen (bei partikulären Komponenten; s. Anhang).

Bei gelösten Stoffen im Flusswasser kann unterschieden werden zwischen "konstanten", ständigen Beiträgen bei niedriger Wasserführung und "ereignisabhängigen", zusätzlichen Beiträgen bei erhöhten Abflüssen. Erstere resultieren wesentlich aus "punktförmigen" Einleitungen von gereinigtem und ungereinigtem Abwasser, enthalten aber auch Frachten der Quellen aus Grundwasser. Vorversuche zeigten, dass von den täglichen Frachten der 10 geringsten Tagesabflüsse je Fluss und Parameter auf die jährliche "Mindestfracht" hochgerechnet werden kann. Die Differenz zur Gesamtfracht ergibt den "ereignisabhängigen" Anteil, der überwiegend dem diffusen Eintrag aus dem ländlichen Areal zuzuschreiben ist.

Neben den hier untersuchten Seezuflüssen existieren weitere Bäche (Abb. 3 und HETZENAUER 1995), deren Frachten hier über Statistiken miterfasst wurden.

2.5. Abwasserreinigungsanlagen und restliches Abwasser

Die Abläufe der ARAs wurden im Rahmen der Zuflussuntersuchungen intensiv beprobt. Von den seeanliegenden ARAs (Tab.1) wurden Q, P_{ges}, N_{ges}, TOC, Cl und e.Lf erhoben. Hinzu kamen Daten von den im Hinterland liegenden grösseren rund 50 ARAs (Tab. A5).

Die Belastungen aus restlichem, ungereinigtem Abwasser des Hinterlandes und im Randgebiet wurden anhand behördlicher Angaben zusammengestellt und ermittelt (LRA RV 1998). Fehlende Information wurde über Vergleichsrechnungen abgeleitet.

Gereinigtes und ungereinigtes Abwasser zählen zusammen mit dem ständigen Anteil der Zuflüsse bei niedrigen Abflüssen zu den "konstanten" Komponenten.

2.6. Diffuser Eintrag aus Randgebieten und Niederschläge auf die Seeoberfläche

Der diffuse Eintrag aus dem ländlichen Areal der Randgebiete von Ober- und Untersee wurde aus Vergleichen mit dem Verhalten der Zuflüsse abgeleitet. Die Parameter sind identisch mit denen der Zuflüsse. Wie dort wurde in "partikulär" und "gelöst" unterschieden.

Tägliche Niederschläge wurden von Stationen in Konstanz, Langenargen und Hard bei Bregenz auf P_{ges}, N_{ges}, TOC, SO₄, Cl und e.Lf untersucht. Aus den Messdaten wurden Jahresfrachten auf die Flächen von Ober- und Untersee berechnet.

Diffuse Einträge aus Randgebieten und Niederschlag auf die Seeoberfläche zählen zusammen mit den entsprechenden Beiträgen aus den Zuflüssen zu den ereignisabhängigen Komponenten.

2.7. Austräge

Die den See verlassenden Stoffe P_{ges} , N_{ges} , TOC, SO_4 , Cl und e.Lf werden gesamthaft betrachtet und nicht in "partikulär" und "gelöst" unterschieden, weil Schweb im See verbleibt und Partikel im Ausfluss lediglich aus Plankton der seeeigenen Produktion bestehen.

In den Seeabflüssen wurden die täglichen Stoffkonzentrationen zwischen den Beobachtungsterminen linear interpoliert und mit den täglichen Abflüssen zu den einschlägigen Frachten hochgerechnet.

Die mit Trinkwasser dem See entzogenen Stoffmengen wurden nach Angaben der Bodensee-wasserversorgung (BWV 1998) und Daten der IGKB-Untersuchungen in Seemitte bestmöglich berechnet.

Die Entzüge durch Fischfang wurden anhand der Fischfang-Statistik des ISF Langenargen und anhand von Literatur (ROYCE 1984, BROCKHAUS 1968) ermittelt.

Makrophyten wurden gegenüber früher nur noch punktuell entnommen und können heute vernachlässigt werden (SIEGER 1998). Umsätze durch Stäube, Nebel, Pollen, ziehende Vögel u.a. wurden nicht berücksichtigt.

Die Festlegung von Stoffen im Sediment ergibt sich als Differenz aus der Stoffbilanzierung (Tab. A3).

2.8. Zuverlässigkeit der Ergebnisse

Jedes neue Zuflussuntersuchungsprogramm konnte gegenüber dem vorangegangenen methodisch verbessert werden. Die Fehler in den einzelnen Untersuchungsteilen sind unterschiedlich und sollen im folgenden kurz umrissen werden.

Die Abweichungen der Summen aller Teilflächen des Einzugsgebietes von den bekannten Gesamtflächen (LUFT et al. 1990) in Höhe von 0.3% bis zum Seerhein und von 0.01% einschliesslich Untersee sind minimal (Tab.1). Damit wird auch der Fehler des diffusen Eintrags aus dem Randgebiet klein.

Die Wasserbilanzen 1996 und 1997 (Tab. A3) zeigen eine gute Näherung an die Theorie. So fällt der Vergleich der Summe aller gemessenen Einzelbeiträge mit der Modellrechnung (GURTZ et al. 1997) für diese Summe bemerkenswert gut aus.

Die Summen der Stofffrachten aus dem Alpenrhein bei Maienfeld und der Ill müssten grössenordnungsmässig mit den Frachten im Alpenrhein bei Hard übereinstimmen. Die gefundenen Differenzen der Jahresabflussmengen (Tab.1 und 2) weisen auf die Grössenordnungen möglicher Ergebnisstreuungen hin. Alle Auswertungen für den Alpenrhein beruhen auf den Abflüssen am Pegel Diepoldsau und der Probenentnahme bei Hard.

87% der in das System Ober- und Untersee eingetragenen Frachten wurden gemessen, nämlich

- 70% des Eintrags mit den Zuflüssen und dem Niederschlag auf die Seeoberfläche und
- 17% mit den ARAs über die dortige Eigen- oder Fremdüberwachung.

13% des Eintrags wurden bestmöglich geschätzt, nämlich

- 10% mit dem restlichen Abwasser auf der Grundlage von Erfahrungswerten, Statistiken und Gutachten (IGKB 1998b, LRA RV 1998) und
- 3% mit dem diffusen Eintrag aus dem Randgebiet über Folgerungen von Messungen bei den Zuflüssen und von deren Einzugsgebiet auf das Areal.

Hinzu kommen Schätzungen in Einzelfällen, um Beobachtungslücken zu schliessen. Die grossen Frachten (87%) wurden zuverlässig erfasst. Der Einfluss von Streuungen bei den Schätzungen auf das Gesamtergebnis ist relativ gering.

Am Beispiel Phosphor (ohne Schweb) wurde der Fehler in den Bilanzen auf maximal $\pm 10\%$ geschätzt. Die Jahres-Netto-Bilanzen (Tab. A3) enthalten die Ungenauigkeiten aus allen Analysen und Auswertungen. Deshalb sind Angaben zur Sedimentation erst dann verlässlich, wenn die

Umsätze wenigstens 10% des grössten Wertes bei Seeinhalt, Eintrag und Austrag in der einschlägigen Spalte ausmachen.

Die langjährigen Erfahrungen am Bodensee mit Schweb (MÜLLER & FÖRSTNER 1968, WIESER & LINK 1970, WAGNER 1991) lassen erkennen, dass die Güte der Ergebnisse partikulärer Parameter

- von der Beprobung möglichst vieler Hochwasserfälle,
 - von der aliquoten Probengewinnung unter Minimierung von Separierungseffekten von der Entnahme bis zur analytischen Endbehandlung im Labor und
 - von der Abtrennung der Feststoffe durch Membranfiltration der Probe, Trocknung, Massenbestimmung und chemische Analyse der Trockensubstanz
- abhängt. Wegen labortechnischer Gegebenheiten konnte dieser Vorgehensweise nicht immer gefolgt werden. Deshalb ist beim Schweb mit grösserer Streuung als bei den übrigen Komponenten zu rechnen.

3. ERGEBNISSE und DISKUSSION

3.1. Übersicht über die dem Bodensee zugeführten Stofffrachten

Die detaillierte Aufstellung (Tab. 1 und 2) über das ganze Einzugsgebiet enthält die Aufschlüsselung der Frachten nach Ländern und Kantonen sowie nach ihrer Herkunft aus Abwasser, Flusswasser und Niederschlag. Die Austräge aus dem See behandeln die Ausflüsse Seerhein bzw. Hochrhein, den Fischfang sowie die Trinkwasserfernleitung durch die BWV. Die Teilfrachten der Ill und des Alpenrheins bei Maienfeld sowie der Aachquelle sind separat ausgewiesen.

Als bioverfügbar wird hier auch die Leitfähigkeit ausgewiesen, wobei dieser Summenparameter für die Hauptionen steht. Die Algen assimilieren zwar die Leitfähigkeit nicht direkt, sondern das dazu gehörige Bikarbonat, Sulfat und Chlorid sowie auch Kationen. Diese Komponenten begrenzen das Algenwachstum im See allerdings kaum, da sie im Überschuss vorhanden sind.

In einer Übersicht wurden die Ergebnisse zu den Gesamtfrachten zum Ober- und Untersee noch weiter zusammengefasst (Tab. 3).

Erläuterungen zu Tab.1 und 2:

- Summe Ein- und Austrag enthält auch das geschätzte Einzugsgebiet der Aach-Quelle zur Radolfzeller Aach.
- "ohne Schweb" erfasst auch Seeplankton, Partikel in Niederschlägen und aus seeanliegenden Kläranlagen.
- Gesamte Zeile in runden Klammern: Zubringer zum darüber aufgeführten Zufluss.
- "VERLUST" betrifft Verdunstung, Stoffverbleib im See (Wasserkörper, Sediment) und ungeklärte Differenzen.
- In Klammern sind zwei Teilfrachten des Alpenrheins sowie die Aachquelle ausgewiesen.

Die für den Obersee und den Untersee massgeblichen Frachten sind jeweils von November (des Vorjahres) bis Oktober berechnet. Dies geschah ohne Ausweisung von Teilfrachten bei den grenzüberschreitenden Abwässern und Zuflüssen:

Argen: überwiegend BW, Teileinzugsgebiet BY

Leiblach: überwiegend BY, kleines Teileinzugsgebiet V,

Mündungsabschnitt = Grenze zwischen BY und V

Bregenzerach: überwiegend V, kleines Teileinzugsgebiet BY

Alpenrhein: überwiegend GR, Teileinzugsgebiete FL, V und SG;
kleines Teileinzugsgebiet Italien

Thurgau: überwiegend Thurgau, kleines Teileinzugsgebiet SG.

Tabelle 1: Niederschlagsflächen und Jahresabflüsse, Jahresfrachten der Flussschwebstoffe (Trockensubstanz) sowie von Phosphor, Stickstoff, organischem Kohlenstoff ohne und in Flussschwebstoffen und von Sulfat, Chlorid und Leitfähigkeit

Abflussjahr 1996

OBERSEE	Fläche km ²	Q Abfluß 10 ⁶ m ³	Fluß- Schweb 10 ³ t	P ohne Schweb t P	P in Schweb t P	N ohne Schweb t N	N in Schweb t N	C ohne Schweb t C	C in Schweb t C	Sulfat t SO ₄	Chlorid t Cl	el. Leitf. Q _{Li} 10 ⁶ m ³ µS/cm
Baden-Württemberg												
Zuflüsse												
Stockacher Aach	213.0	48.2	28	2.0	24.6	213	74	171	463	1317	1516	26.8
Seefelder Aach	270.0	77.9	4	2.3	5.6	290	27	303	187	2381	1687	39.8
Rotach	125.0	45.5	14	2.1	14.4	208	66	195	424	913	789	20.8
Schussen	791.0	292.6	98	18.9	145.2	1447	604	2045	3723	12729	7480	162.3
Argen	652.0	497.3	82	15.8	96.9	1292	512	2323	2954	4564	5045	189.8
ARA												
Dingelsdorf		0.3		0.2		6		4		70	18	0.3
Stockacher Aach		4.1		0.8		56		26		617	198	2.8
Überlinger See		6.5		1.5		71		26		773	43	2.3
Lipbach		2.8		1.8		97		39		1067	231	4.2
Friedrichshafen		7.9		6.1		182		154		1998	76	5.6
Unteres Schussental		3.2		0.4		39		27		430	35	1.3
Kressbronn		1.5		0.4		28		16		310	86	1.3
restliches Abwasser		1.6		6.9		32		51		347	228	4.9
Bayern												
ARA Lindau		5.0		1.1		46		43		506	91	3.7
restliches Abwasser		0.4		1.7		9		14		95	62	1.3
Vorarlberg												
Zuflüsse												
Leiblach (+Kanal)	102.4	84.2	20	4.9	15.8	172	88	370	1299	694	741	33.7
Bregenzerach	826.3	1211.8	227	19.5	239.0	1082	133	2321	583	9370	3280	358.5
Dornbirnerach	195.6	187.1	30	7.6	31.8	533	5	702	853	3990	3363	88.0
Lustenauer Kanal	27.2	35.0	1	2.0	3.7	63	1	206	106	1026	228	15.9
(Ill)	1268.7	1704.7	38	15.3	16.8	1372	109	1030	2840	146875	4295	663.1)
ARA												
Leiblachtal		1.9		3.7		6		252		67	252	2.6
Bregenz		3.3		1.3		100		60		1100	364	4.1
Hofsteig		7.9		6.3		162		107		1772	1086	10.1
restliches Abwasser		0.6		2.6		12		20		137	90	1.9
Kanton Graubünden												
(Rhein Maientfeld)	2623.7	678		24.9	356.8	2377	642	2799	5825	130906	6454	807.3)
Kanton St. Gallen												
Zuflüsse												
Alpenrhein	6119.0	5741.6	449	35.2	316.8	4516	127	5230	8926	266223	14836	1707.6
Alter Rhein	360.0	322.2	18	3.5	25.7	590	88	1030	482	7054	2107	114.1
Goldach	49.8	43.4	5	1.1	5.1	101	10	167	191	441	638	16.3
Steinach	24.2	26.1	2	2.9	4.0	231	11	136	54	754	767	11.4
ARA												
Altenrhein		10.7		7.8		210		161		2299	610	8.2
Morgental		4.7		1.2		91		46		1002	440	4.3
restliches Abwasser		1.4		5.5		27		43		295	194	4.2
Kanton Thurgau												
ARA												
Romanshorn		2.5		1.3		26		21		285	120	1.5
Kesswil		0.6		0.2		11		4		119	20	0.4
Münsterlingen		2.1		0.4		24		11		259	82	1.3
Aachtal		3.6		0.5		50		20		548	170	2.1
restliches Abwasser		0.5		2.3		10		17		113	74	1.6
diffuser Eintrag Randgebiet	654.8	193.3	35	5.3	43.4	388	173	661	1251	1872	1323	51.1
Niederschläge (See)	472.3	426.5		30.2		638		1543		808	214	11.3
Summe EINTRAG	10882.6	9305.9	1013	207.2	971.9	13061	1920	18562	21496	328346	48582	2917.8
Abfluß Seerhein	10919.3	8567.0	0	115.6	0.0	9641	0	16512	0	294169	44258	2396.9
Trinkwasser BWV		127.0	0	2.0	0.0	145	0	273	0	4191	673	37.2
Fischfang (1138 t)				6.8		41		98			9	
Summe AUSTRAG	10919.3	8694.0	0	124.4	0.0	9827	0	16883	0	298360	44940	2434.1
Verlust	-36.7	611.9	1013	82.9	971.9	3234	1920	1679	21496	29986	3642	483.7
UNTERSEE												
Baden-Württemberg												
Zuflüsse												
Seerhein	10919.3	8567.0	0	115.6	0.0	9641	0	16512	0	294169	44258	2396.9
Radolfzeller Aach	773.0	251.2	3	14.6	9.4	935	39	794	265	8766	7039	112.8
(Aach-Quelle)	530.0	234.9	0	16.3	0.0	900	0	704	0	7477	6326	98.7)
ARA												
Radolfzell		3.6		0.4		50		34		544	175	2.5
U. Radolfzeller Aach		1.2		0.3		46		28		508	106	2.0
Konstanz		12.7		5.9		379		280		4151	944	16.6
Gaienhofen		0.5		0.1		8		3		84	26	0.4
restliches Abwasser		1.2		5.0		23		37		252	165	3.6
Kanton Thurgau												
ARA												
Tägerwilen		0.5		0.1		8		6		88	27	0.4
Berlingen		0.7		0.4		18		8		198	46	0.6
Steckborn		0.5		0.2		11		4		118	34	0.4
restliches Abwasser		0.3		1.2		5		8		58	38	0.8
diffuser Eintrag Randgebiet	261.5	77.2	14	2.1	17.3	155	69	264	500	748	528	20.4
Niederschläge (See)	62.4	53.9		2.1		60		129		64	16	0.9
Summe EINTRAG	12016.2	8970.5	18	148.0	26.7	11339	108	18106	764	309748	53403	2558.1
Abfluß Hochrhein	12017.0	8916.0	0	157.1	0.0	8902	0	21097	0	291295	50679	2464.6
Fischfang (143 t)				0.9		5		12			1	
Summe AUSTRAG	12017.0	8916.0	0	158.0	0.0	8907	0	21109	0	291295	50680	2464.6
Verlust	-0.8	54.5	18	-10.0	26.7	2432	108	-3003	764	18453	2723	93.5

Tabelle 2: Niederschlagsflächen und Jahresabflüsse, Jahresfrachten der Flussschwebstoffe (Trockensubstanz) sowie von Phosphor, Stickstoff, organischem Kohlenstoff ohne und in Flussschwebstoffen und von Sulfat, Chlorid und Leitfähigkeit

Abflussjahr 1997

	Fläche km ²	Q Abfluß 10 ⁶ m ³	Fluß- Schweb 10 ³ t	P ohne Schweb t P	P in Schweb t P	N ohne Schweb t N	N in Schweb t N	C ohne Schweb t C	C in Schweb t C	Sulfat t SO ₄	Chlorid t Cl	el. Leitf. Q _{Li} 10 ⁹ m ³ µS/cm
OBERSEE												
Baden-Württemberg												
Zuflüsse												
Stockacher Aach	213.0	43.8	15	1.7	13.8	191	42	154	264	1221	1418	24.7
Seefeldler Aach	270.0	80.3	3	2.7	4.8	311	24	338	188	2491	1764	41.9
Rotach	125.0	46.0	5	2.4	6.3	226	29	207	225	1020	921	23.0
Schussen	791.0	272.8	54	17.8	94.9	1388	375	1995	2485	12329	7301	155.7
Argen	652.0	519.7	52	15.2	71.6	1341	402	2351	2502	4866	5483	204.5
ARA												
Dingelsdorf		0.3		0.2		7		4		81	20	0.3
Stockacher Aach		4.6		0.8		52		33		597	206	2.7
Überlinger See		5.3		0.8		63		24		727	55	2.1
Lipbach		3.0		1.7		81		31		923	208	3.6
Friedrichshafen		7.9		3.4		134		102		1530	41	4.0
Unteres Schussental		3.3		0.5		41		25		472	53	1.5
Kressbronn		1.7		0.3		10		13		118	60	0.7
restliches Abwasser		1.9		6.9		32		48		363	231	5.0
Bayern												
ARA Lindau		5.1		0.8		46		62		527	90	3.8
restliches Abwasser		0.5		1.7		9		13		99	63	1.4
Vorarlberg												
Zuflüsse												
Leiblach (+Kanal)	102.4	90.3	18	5.1	16.0	185	85	408	1056	750	808	36.5
Bregenzrach	826.3	1260.7	204	19.2	228.8	1117	283	2258	4024	9869	3393	371.3
Dornbirnerach	195.6	181.0	27	7.4	29.3	515	5	659	824	3894	3357	85.9
Lustenauer Kanal	27.2	38.4	1	2.2	4.1	73	1	233	121	1106	245	17.0
(Ill)	1268.7	2073.8	213	15.9	73.7	1638	735	1549	21237	160334	4696	745.6)
ARA												
Leiblachthal		1.9		2.1		6		79		66	227	2.1
Bregenz		3.3		1.4		90		38		1034	310	4.0
Hofsteig		8.8		8.4		170		171		1943	963	11.2
restliches Abwasser		0.8		2.6		12		19		143	91	2.0
Kanton Graubünden												
(Rhein Maiefeld)	4869.9	2161		37.9	924.1	3076	1641	3854	11623	148761	6990	1001.0)
Kanton St. Gallen												
Zuflüsse												
Alpenrhein	6119.0	7409.8	1448	45.3	760.1	5350	750	6945	25870	299677	15782	2020.6
Alter Rhein	360.0	353.9	18	3.8	31.5	643	101	1208	585	7437	2240	122.6
Goldach	49.8	36.5	2	0.8	4.0	89	7	134	31	397	594	14.4
Steinach	24.2	20.6	1	2.0	2.2	211	8	104	15	668	706	10.0
ARA												
Alpenrhein		10.7		6.4		233		154		2669	470	9.5
Morgental		4.7		0.8		84		40		957	419	5.0
restliches Abwasser		1.6		5.5		27		41		308	196	4.3
Kanton Thurgau												
ARA												
Romanshorn		2.6		1.0		18		19		206	107	1.2
Kesswil		0.7		0.2		12		5		132	21	0.5
Münsterlingen		2.1		0.5		25		9		286	84	1.2
Aachtal		4.3		0.8		48		17		544	136	2.2
restliches Abwasser		0.6		2.3		10		16		118	75	1.6
diffuser Eintrag Randgebiet	654.8	196.1	23	5.2	32.5	405	126	691	966	1949	1449	54.4
Niederschläge (See)	472.3	395.3		15.6		443		1590		841	269	11.8
Summe EINTRAG	10882.6	11020.7	1872	195.3	1299.8	13698	2236	20240	39155	362355	49855	3264.2
Abfluß Seerhein	10919.3	10694.0	0	132.2	0.0	10654	0	20999	0	358855	55278	2986.1
Trinkwasser BWV		132.4	0	1.7	0.0	161	0	295	0	4475	702	38.9
Fischfang (1219 t)				7.3		44		105			10	
Summe AUSTRAG	10919.3	10826.4	0	141.2	0.0	10859	0	21399	0	363330	55990	3025.0
Verlust	-36.7	194.3	1872	54.3	1299.8	2839	2236	-1159	39155	-975	-6135	239.1
UNTERSEE												
Baden-Württemberg												
Zuflüsse												
Seerhein	10919.3	10694.0	0	132.2	0.0	10654	0	20999	0	358855	55278	2986.1
Radolfzeller Aach	773.0	286.6	6	17.7	14.3	1055	59	962	420	9691	7568	125.9
(Aach-Quelle)	530.0	253.5	0	17.4	0.0	1008	0	806	0	7733	6899	106.6)
ARA												
Radolfzell		2.9		0.4		43		29		491	145	2.1
U. Radolfzeller Aach		1.2		0.5		40		24		463	96	1.7
Konstanz		13.8		5.8		229		222		2624	733	11.0
Gaienhofen		0.6		0.1		10		3		117	32	0.5
restliches Abwasser		1.4		5.0		23		35		263	167	3.6
Kanton Thurgau												
ARA												
Tägerwilen		0.5		0.2		5		5		57	27	0.3
Berlingen		0.8		0.3		20		6		229	47	0.9
Steckborn		0.6		0.2		8		6		92	45	0.5
restliches Abwasser		0.3		1.2		5		8		61	39	0.8
diffuser Eintrag Randgebiet	261.5	78.3	9	2.1	13.0	162	50	276	386	778	579	21.7
Niederschläge (See)	62.4	46.9		1.4		46		148		82	23	1.1
Summe EINTRAG	12016.2	11127.8	15	167.1	27.3	12301	109	22723	806	373803	64779	3156.4
Abfluß Hochrhein	12017.0	11013.0	0	144.4	0.0	10162	0	25131	0	362103	60650	3054.6
Fischfang (112 t)				0.7		4		10			1	
Summe AUSTRAG	12017.0	11013.0	0	145.1	0.0	10166	0	25141	0	362103	60651	3054.6
Verlust	-0.8	114.8	15	22.0	27.3	2135	109	-2418	806	11700	4128	101.8

Tabelle 3: Dem Ober- und Untersee in den Jahren 1996 und 1997 zugeführte Stofffrachten

	ohne Schweb (bioverfügbar)	1996 im Schweb	Summe	ohne Schweb (bioverfügbar)	1997 im Schweb	Summe
OBERSEE						
Wasser [10^6 m^3]	9306	-	9306	11021	-	11021
Flussschwebstoffe [10^3 t]	-	1013	1013	-	1872	1872
Phosphor [t P]	207	972	1179	195	1300	1495
Stickstoff [t N]	13061	1920	14981	13698	2236	15934
org. Kohlenstoff [10^3 t C]	19	21	40	20	39	59
Sulfat [10^3 t SO_4]	328	-	328	362	-	362
Chlorid [10^3 t Cl]	49	-	49	50	-	50
el. Leitfähigkeit [$10^9 \text{ m}^3 \mu\text{S/cm}$]	2918	-	2918	3264	-	3264
UNTERSEE						
Wasser [10^6 m^3]	8971	-	8971	11128	-	11128
Flussschwebstoffe [10^3 t]	-	18	18	-	15	15
Phosphor [t P]	148	27	175	167	27	194
Stickstoff [t N]	11339	108	11447	12301	109	12410
org. Kohlenstoff [10^3 t C]	18	1	19	23	1	24
Sulfat [10^3 t SO_4]	310	-	310	374	-	374
Chlorid [10^3 t Cl]	53	-	53	65	-	65
el. Leitfähigkeit [$10^9 \text{ m}^3 \mu\text{S/cm}$]	¹⁾ 2558	-	2558	3156	-	3156

3.2. Wassermengenbilanz und Flussschwebstoffe

Der Jahresdurchfluss durch den Bodensee liegt im langjährigen Mittel der letzten 50 Jahre bei etwa 12 km^3 (WAGNER 1996). Der jährliche Wechsel von herbst/winterlichem Niedrigwasser mit Hochwässern im Frühjahr und im Sommer prägt den Jahresgang von Konzentrationen und Frachten (Tab. A1) der partikulären und gelösten Stoffe im Stoffzustrom und führt zu Akkumulation oder Verarmung im See. Niedrigwasserjahre führen dort zusätzlich zur Stoffakkumulation, Hochwasserjahre zu Stoffverlusten (Abb. 6).

Das Abflussjahr 1996 war mit einem Wasserzustrom in den Obersee von 9.3 km^3 unterdurchschnittlich, 1997 mit 11 km^3 knapp ein Mittelwasserjahr. Der Unterschied von 1.7 km^3 beruht auf dem Ausbleiben des typischen Schmelzhochwassers aus dem Alpenrhein 1996. Aus dem übrigen Einzugsgebiet ergeben sich für beide Jahre mit 2.9 km^3 nahezu gleiche Jahreszuflüsse. Jedoch fielen die beiden grössten Hochwässer der gesamten zweijährigen Beurteilungsperiode dort bereits in den November und Dezember 1995; das restliche Abflussjahr 1996 war relativ trocken. In beiden Untersuchungsjahren entsprach die aktuelle Wasserbilanz der Theorie (siehe Kap. 2.8). Auch die Verdunstung entsprach der erwarteten Grössenordnung.

Die grössten Schwebfrachten werden an wenigen Tagen mit Hochwasser transportiert (IGKB 1989, WAGNER 1991). Die beiden erwähnten Hochwasserperioden Ende 1995 führten im Vergleich zu 1997 zu grösseren Schwebzufuhren in den mittleren Seeteil. Im weiteren Verlauf übertraf die Fracht aus dem Alpenrhein (1000 t mehr als 1996) die Beiträge der kleineren Zuflüsse allerdings deutlich.

Bei den Schwebfrachten zum Obersee dominieren die von Alpenrhein und Bregenzerach. Sie reihen sich mit $1013 \cdot 10^3 \text{ t}$ (1996) bzw. $1872 \cdot 10^3 \text{ t}$ (1997), gemessen an der Wasserzufuhr, in die

¹⁾ Mit einem konstanten Faktor lässt sich die elektrische Leitfähigkeit von $\mu\text{S/cm}$ näherungsweise in mg/l Salzgehalt umrechnen. Daher macht es Sinn, die Frachten der el. Leitfähigkeit anzugeben.

Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen ein (IGKB 1989, Tab. A2). Der Untersee erhält Schweb praktisch nur aus der Radolfzeller Aach, die selbst zu mehr als 90% aus Karstwasser besteht.

3.3. Phosphor

3.3.1. Aktueller Eintrag

Dem Obersee wurden 207 (1996) bzw. 195 t (1997) bioverfügbarer Phosphor und zusätzlich im Schweb 972 bzw. 1300 t P zugeführt (Tab. 1, 2 und A2). Dies entsprach (ohne Schweb) jahresmittleren Konzentrationen an bioverfügbarem Phosphor von 22 bzw. 18 µg/l P in der Gesamtzufuhr.

Die entsprechenden Frachten des Seerheins lagen bei 116 bzw. 132 t P. Während der Zirkulationsperiode 1995/96 fielen hohe Konzentrationen auf. Ein Jahresgang war in beiden Jahren nur angedeutet, daher wurden die Phosphorfrachten aus den Chemieproben der epilimnischen Schicht des Sees berechnet.²

Der Untersee wird wesentlich vom Obersee beeinflusst. Er folgt diesem in den Änderungen des Stoffhaushaltes, wenn auch auf höherem Trophie-Niveau. In der zeitlich verschiedenen Lage der Frachtmaxima deutet sich die puffernde Wirkung des Obersees über den Seerhein auf den Untersee an (Abb.4 und 7). Im Zeller See und vor allem im Gnadensee sind die Wirkungen deutlich geringer ausgeprägt.

1996 und 1997 gelangten insgesamt 148 und 167 t bioverfügbarer Phosphor in den Untersee, zusätzlich je 27 t P in Schweb. Die jahresmittleren Konzentrationen an verfügbarem Phosphor waren 16 und 15 µg/l P. In den Hochrhein gelangten schliesslich 157 bzw. 144 t P mit mittleren Konzentrationen von 18 und 13 µg/l P.

3.3.2. Herkunft der Belastung

Die Frachten zum Bodensee werden unterteilt in "konstante" und "ereignisabhängige" (Tab. A4). Die Frage nach den Quellen kann aus dieser Aufteilung nur grob beurteilt werden. Der konstante Anteil der Zuflüsse entspricht weitgehend dem verbliebenen abwasserbürtigen Anteil, da Grund- und Quellwasser nur geringe Mengen Phosphor enthalten. Wegen vielfältiger Reaktionen von P_{gel} reduziert sich die gesamthaft ausgetragene Abwasser-P-Fracht bis zum Eintrag in den See durch Festlegung im Schweb erheblich, nämlich von 1997 von 170 t auf 81 t P (Tab. A4). 1986 erreichten den Obersee von 537 t P noch 293 t. Für 1997 ergibt sich daraus eine Abwasserbeteiligung am Phosphor-Eintrag (195 t ohne Schweb) in den Obersee von 41%. Unter Berücksichtigung des anteiligen Durchsatzes durch den Obersee errechnen sich für den Untersee 44%. Die grösseren Phosphor-Einträge finden heute ereignisabhängig statt.

Die ereignisabhängigen Frachten enthalten neben dem Eintrag aus ländlichem Areal auch die Frachten aus Regenentlastungen, die in der Zwischenzeit sehr stark vermindert wurden. Die Entlastungen treten gleichzeitig mit grosser Wasserführung der Flüsse und grosser Schwebstoffführung auf. Sicher war ihr Beitrag früher grösser als heute. Ihre Auswirkung auf den bioverfügbaren Phosphor an der Flussmündung (nach Umsetzung mit Flussschwebstoffen) kann zahlenmässig nicht belegt werden.

Die Folgen unterschiedlicher Besiedlungsdichten und Nutzungen der Einzugsgebiete werden in den Konzentrationen der Zuflüsse bei verschiedenen Wasserführungen sichtbar. Bisher lag die Stoffkonzentration bei geringer Wasserführung allgemein deutlich über den zusätzlichen ereig-

² Bei der Zuflussuntersuchung 1985/86 hatte sich gezeigt, dass sich, statistisch gesehen, der Seerhein bezüglich Phosphor kaum vom Oberflächenwasser unterscheidet.

nisabhängigen Anteilen bei Hochwasser. So konnten sich auch relativ geringe Frachten im Mündungsbereich auswirken. Heute trifft dies nur noch auf die deutlich belasteten Flüsse zu. Örtliche Belastungsschwerpunkte waren 1997 die Dornbirnerach, die Steinach, die Schussen und der Lustenauer Kanal. Am Untersee bildet die bereits aus ihrer Quelle vorbelastete Radolfzeller Aach einen Schwerpunkt. Die grossen Zuflüsse Alpenrhein und Bregenzerach zeichnen sich durch besonders geringe Konzentrationen aus (Tab. 4).

Tabelle 4: Phosphor-Konzentrationen (ohne Schweb) der verschiedenen Seezuflüsse bei konstanter bzw. ereignisabhängiger Fracht

	$\mu\text{g/l P}$	
	konstant	ereignisabhängig
Dornbirnerach	113	28
Steinach	92	103
Schussen	76	60
Lustenauer Kanal	68	47
Radolfzeller Aach	48	77
Rotach	29	60
Stockacher Aach	26	53
Seefelder Aach	21	43
Leiblach	18	60
Argen	13	35
Alter Rhein	7	14
Alpenrhein	6	6
Goldach	4	25
Bregenzerach	3	17

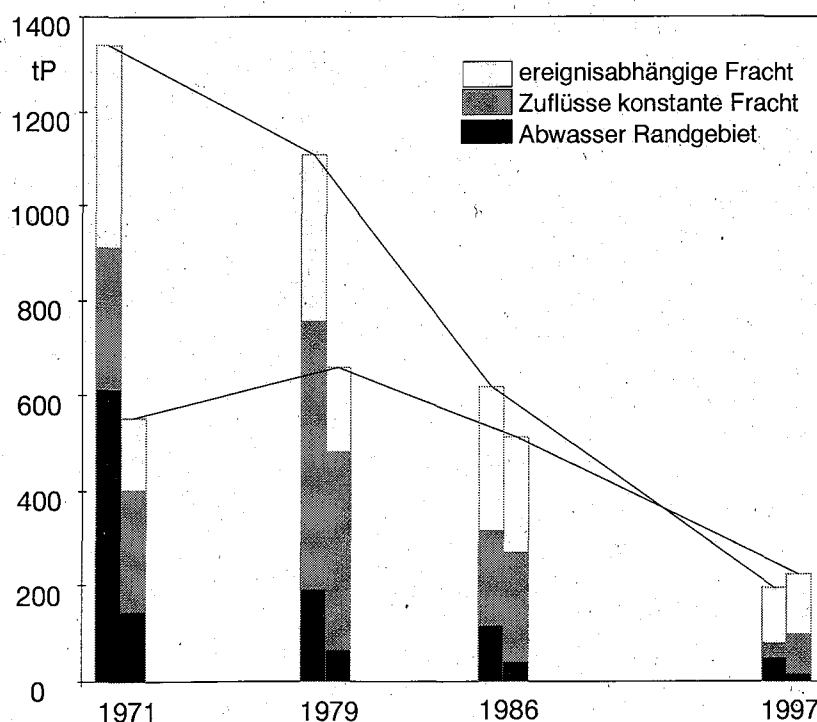


Abb. 4: Die Zufuhr von Phosphor (ohne Schweb) 1971, 1979, 1986 und 1997 zum Obersee (linke Säule) und zum Untersee (rechte Säule).

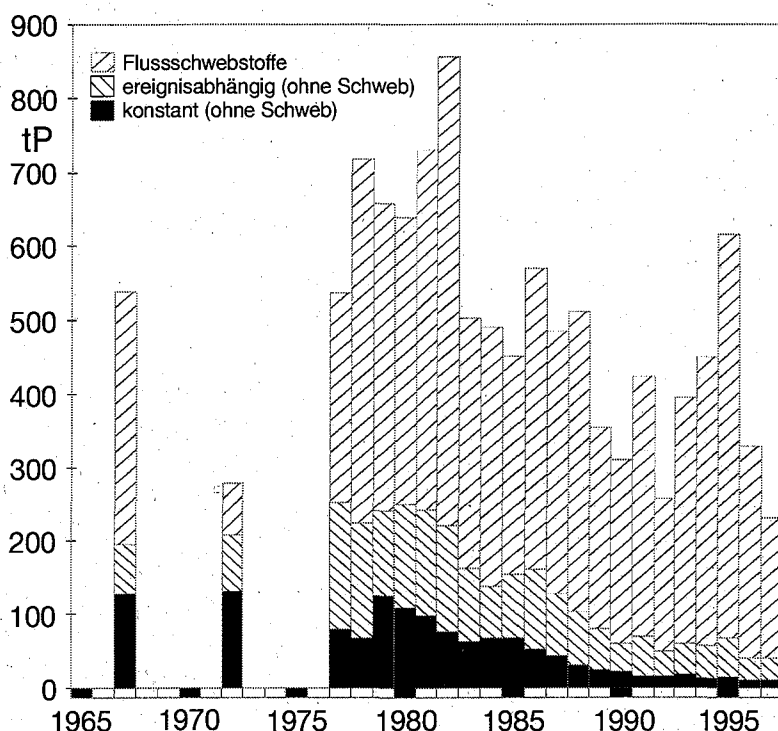


Abb. 5: Die Summe der Phosphor-Zufuhren aus Argen, Schussen, Rotach, Seefelder Aach und Stockacher Aach (baden-württembergischen Zuflüsse) in den Bodensee.

3.3.3. Vergleich mit früheren Untersuchungen

Die Belastung des Bodensees mit bioverfügbaren Phosphorverbindungen ist seit der Bilanzierung 1971/72 von Mal zu Mal erheblich gesunken (Abb. 4 und 5). Dies gilt besonders für die abwasserbürtigen Anteile des Phosphors und hier vor allem für nicht gereinigtes Abwasser. Aber auch bei den übrigen Quellen (diffuser Eintrag und Niederschlag auf die Seeoberfläche) zeigt sich eine deutliche Abnahme. Der Umsatz von Phosphor findet heute auf relativ niedrigem Niveau statt. Insbesondere hat sich die Menge des gesamten nicht mit ARAs erfassten Abwassers (Streusiedlung, Entlastungen) seit den 70er Jahren besonders stark verringert (Abb. 10, Tab. A2 und A6).

Die Menge des Schweb ist von den hydrologischen Abläufen im Untersuchungszeitraum abhängig. Niedrigwasserschweb ist höher Phosphor-konzentriert als Hochwasserschweb. Wegen unterschiedlicher Abflussverhältnisse in den Untersuchungsjahren und grosser Streuung in den Ergebnissen lässt sich in der Gesamtheit des Schweb (1986/96/97: 660/960/690 mg/kg P) noch keine Konzentrationsänderung nachweisen. Auch ist der Phosphor-Anteil im Schweb der grossen Zuflüsse kaum beeinflussbar (vgl. WIESER & LINK 1970).

In der vorliegenden Untersuchung wurde ein neues Verfahren zur Trennung der konstanten Frachten von der Gesamtfracht angewendet (vgl. Kap.6.6, S.35), welches nachträglich auch auf die Daten von 1985/86 angewendet wurde. Daher ergeben sich gegenüber den Zahlen in IGKB 1989 einige Verschiebungen.

3.3.4. Phosphor-Bilanz des Sees

1996 sedimentierten aus dem Seewasserkörper des Obersees 245 t bioverfügbaren Phosphors, im hydrologischen Jahr 1997 lediglich 106 t P. Über beide Untersuchungsjahre hinweg wurden im Vergleich zum Eintrag summarisch 87% Phosphor-Elimination erreicht. Die deutlichen Unterschiede zwischen 1996 (118%; Tab. A3) und 1997 (54%) beruhen sehr wahrscheinlich auf den speziellen hydrologischen Verhältnissen und witterungsbedingten Planktonaktivitäten. Zusätzlich sedimentierten die dem Schweb entsprechenden Mengen (Tab. 5).

Im Untersee sedimentierten 53 bzw. 0 t bioverfügbarer Phosphor aus dem Wasserkörper, dazu die mit Schweb gebundenen Mengen.

Tabelle 5: Phosphor-Bilanzen des Bodensees [t P]

	1996	1997
OBERSEE		
Seeinhalt November Vorjahr	991	829
- Seeinhalt November Jahr	-829	-777
Minderung Seeinhalt	162	52
+ Eintrag (ohne Schweb)	207	195
- Austrag	-124	-141
Sedimentation	245	106
+ Schweb	972	1300
Sedimentation Summe	1217	1406
UNTERSEE		
Seeinhalt November Vorjahr	220	157
- Seeinhalt November Jahr	-157	-180
Minderung Seeinhalt	63	-23
+ Eintrag (ohne Schweb)	148	167
- Austrag	-158	-145
Sedimentation	53	-1
+ Schweb	27	54
Sedimentation Summe	80	53

Die Entzüge durch Trinkwasser und Fischerei (3% Phosphor Obersee) beeinflussen die Bilanzen kaum (Tab.1 und 2). Nur aus dem Obersee wird Trinkwasser aus dem Einzugsgebiet des Bodensees exportiert, wobei die Menge weniger als 2% des Gesamtaustrages beträgt. Bisherige Modellrechnungen (WAGNER 1976, IGKB 1989 und 1993) ergaben, dass die im Schweb enthaltene Phosphor-Menge und zusätzlich mindestens 50% der übrigen Zufuhr ins Sediment gelangen. Dieses Modell wurde bis zum Jahre 1997 weiter geführt und lässt für eine Zufuhr von jährlich 200 t bioverfügbaren Phosphor im Fließgleichgewicht eine Konzentration von etwa 10 µg/l bioverfügbarer Phosphor im See erwarten (Abb.6). Die Modelle wurden allerdings während der starken Zunahme der Phosphor-Belastung Anfang der 70er Jahre und auf hohem Phosphor-Niveau entwickelt und angepasst. Die Bindung von Phosphor in Organismen und die Mitfällung von Phosphat aus dem Wasserkörper mit Calcit waren damals maximal (ROSSKNECHT 1980). Auf dem heute erreichten niedrigen Konzentrationsniveau im See könnten Abweichungen von früheren Eigenschaften der Zufuhr, des Wasserkörpers und des Sedimentes eintreten und zu einer Verzögerung der weiteren Konzentrationsabsenkung im See führen.

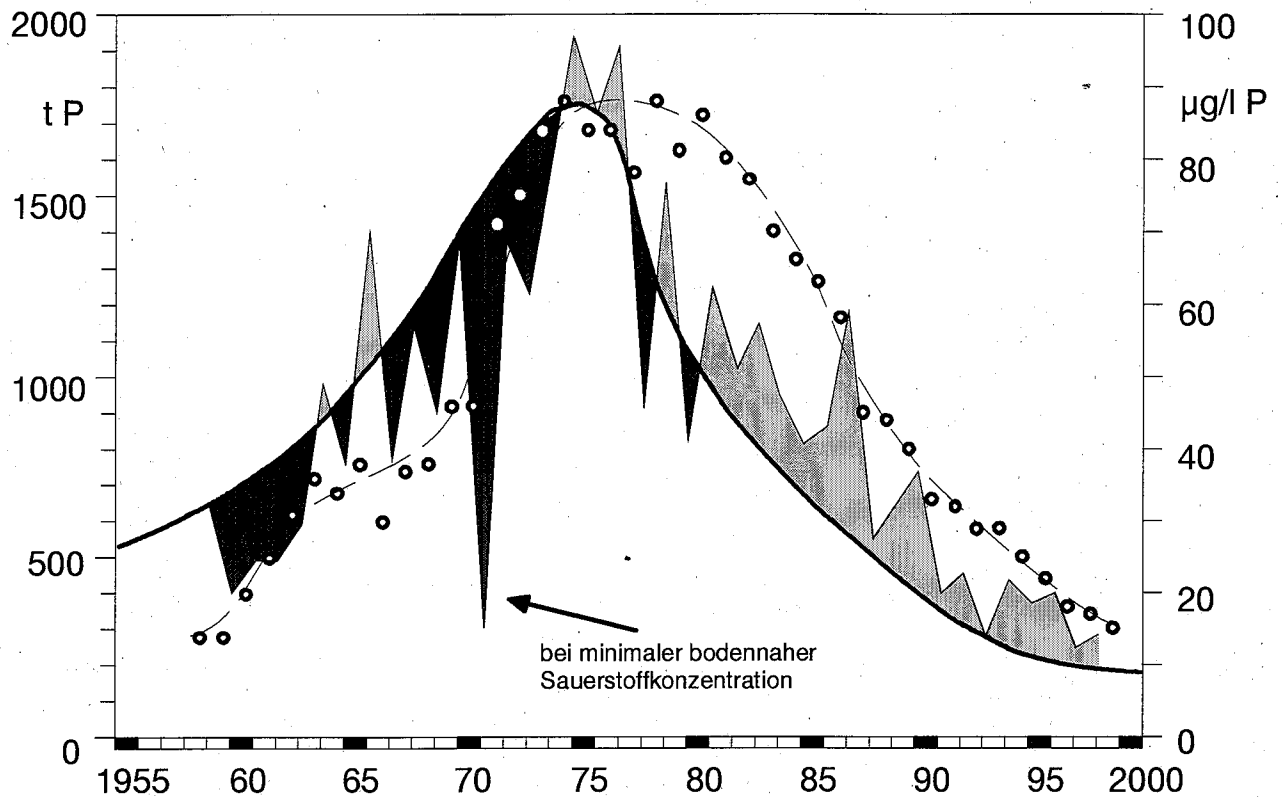
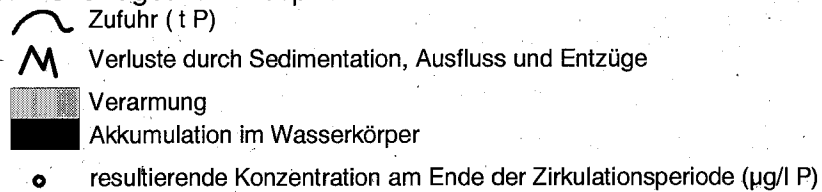


Abb.6: Bioverfügbarer Phosphor im Bodensee-Obersee



3.4. Stickstoff

3.4.1. Aktueller Eintrag

Beim Stickstoff ist das Verhältnis von partikulär gebundenem zum übrigen stets wesentlich kleiner als beim Phosphor (Tab. 1, 2 und A2). 1996 und 1997 wurden dem Obersee mit 13061 und 13698 t N etwa gleich viel zugeführt, mit Schweb zusätzlich 1920 und 2236 t N. Dies entsprach (ohne Schweb) jahresmittleren Konzentrationen von 1404 und 1243 µg/l N.

Nach einem Konzentrationsmaximum während der Zirkulationsperiode ist von Mai bis August ein deutlicher Rückgang als Folge der oberflächennahen Konzentrationsabnahme im Obersee in diesen Monaten zu beobachten. Entsprechend der unterschiedlichen Durchflussmengen betrugen die Frachten im Seerhein 9641 (1996) und 10654 (1997) t N. Zusammen mit den anderen Quellen gelangten insgesamt 11339 und 12301 t N in den Untersee mit mittleren Konzentrationen von 1264 und 1105 µg/l N. Die Zufuhr an partikulärem Stickstoff war mit 108 und 109 t N sehr klein.

Der Eintrag in den Hochrhein lag bei 8902 bzw. 10162 t N mit mittleren Konzentrationen von 998 und 923 µg/l N.

3.4.2. Herkunft der Belastung

Die Frachten zum Bodensee werden unterteilt in "konstante" und "ereignisabhängige" (Tab. A4). Der konstante Anteil enthält sowohl den abwasserbürtigen Anteil, als auch Stoffe aus Quellwas-

ser (Berechnung siehe S. 35). Auch das Wasser der Wasserversorgung enthält Stickstoff (als Nitrat) aus Grundwasser, welche die Stickstoff-Fracht aus dem Abwasser vergrössern. Es enthält jedoch kaum P (als Phosphat) und organische Substanz.

Die ereignisabhängigen Frachten (ausser Niederschläge auf die Seeoberfläche) repräsentieren den diffusen Eintrag. Die Stickstoff-Konzentration dieses Anteils wäre mindestens auch für das Reinwasser als Träger des konstanten Abwasseranteils anzusetzen. Für den Beurteilungszeitraum ergibt sich so unter Einbezug aller abwasserbürtigen Frachten (Tab. A4 und A5, ohne Schweb) die Abwasserbeteiligung am Stickstoff-Eintrag in den Obersee mit 18 - 26%. Der weit aus grösste Frachtanteil stammt damit aus dem ländlichen Areal.

Die Reihung der Belastung im Niedrigwasserbereich der Zuflüsse ähnelt der von Phosphor (s. 3.3.2). Am stärksten ist die Steinach belastet, deren Abfluss überwiegend aus gereinigtem Abwasser besteht. Beim Lustenauer Kanal spielt bei grosser Belastung Denitrifikation eine Rolle. In den nordwestlichen Zuflüssen Stockacher Aach, Seefelder Aach, Rotach und Schussen weisen die Stickstoff-Konzentrationserhöhungen bei Hochwasser auf erhebliche diffuse Einträge hin (Tab. 6).

Tab. 6: Stickstoff-Konzentrationen (ohne Schweb) bei konstanter bzw. ereignisabhängiger Fracht

	mg/l N	
	konstant	ereignisabhängig
Steinach	21.2	4.1
Dornbirnerach	5.3	2.4
Schussen	5.0	5.2
Radolfzeller Aach	4.5	2.8
Stockacher Aach	4.4	4.3
Rotach	3.5	5.4
Goldach	3.5	2.3
Seefelder Aach	3.3	4.3
Argen	2.3	2.7
Leiblach	2.1	2.0
Alter Rhein	2.1	1.6
Bregenzerach	1.3	0.8
Lustenauer Kanal	1.2	2.5
Alpenrhein	1.1	0.6

Kontrollrechnungen unter der Berücksichtigung des Umsatzes der abwasserbürtigen Anteile lassen (auch für 1985/86, IGKB 1989) den Schluss zu, dass Stickstoff-Einträge aus Niederschlägen auf das Einzugsgebiet (im Gegensatz zu P) erheblich auf die Konzentrationsverhältnisse im See auswirken.

3.4.3. Vergleich mit früheren Untersuchungen

Im Gegensatz zum Phosphor stiegen die bioverfügbaren Stickstoffeinträge in den See von 1971/72 bis 1985/86 an und zeigten erst bei der Untersuchung 1996/97 eine Abnahme (Abb. 7 und 8). Wie bei Phosphor wirkt sich die Verminderung der Frachten aus restlichem, ungereinigtem Abwasser aus (Abb. 11, Tab. A2 und A5).

Auch wenn der Stickstoff für die Algen im Bodensee kaum wachstumsbegrenzend wirkt, so kommt ihm doch für die Lebensgemeinschaften im See hohe Bedeutung zu. Über das N/P-Verhältnis beeinflusst er vor allem das Artenspektrum und muss deshalb weiterhin aufmerksam verfolgt werden.

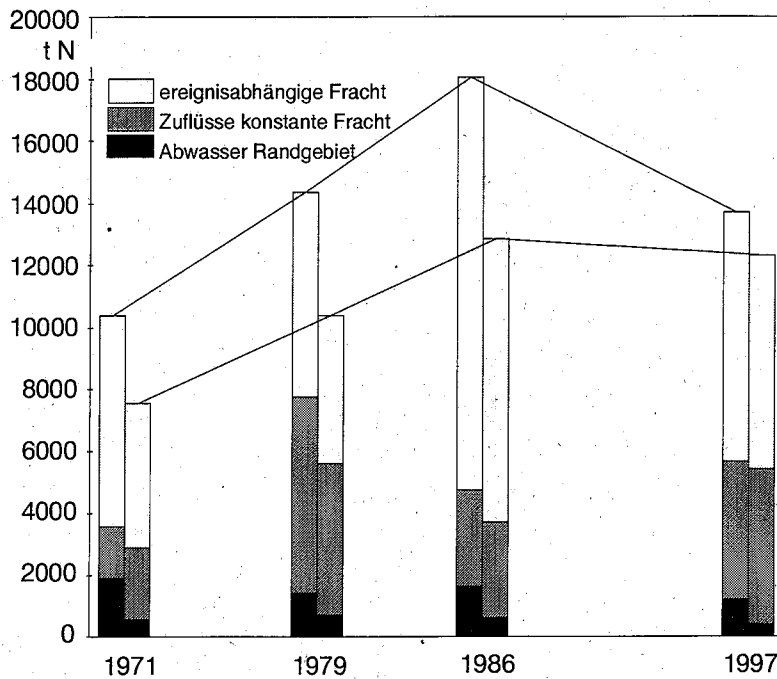


Abb. 7: Die Zufuhr von Stickstoff (ohne Schweb) 1971, 1979, 1986 und 1997 zum Obersee (linke Säule) und zum Untersee (rechte Säule)

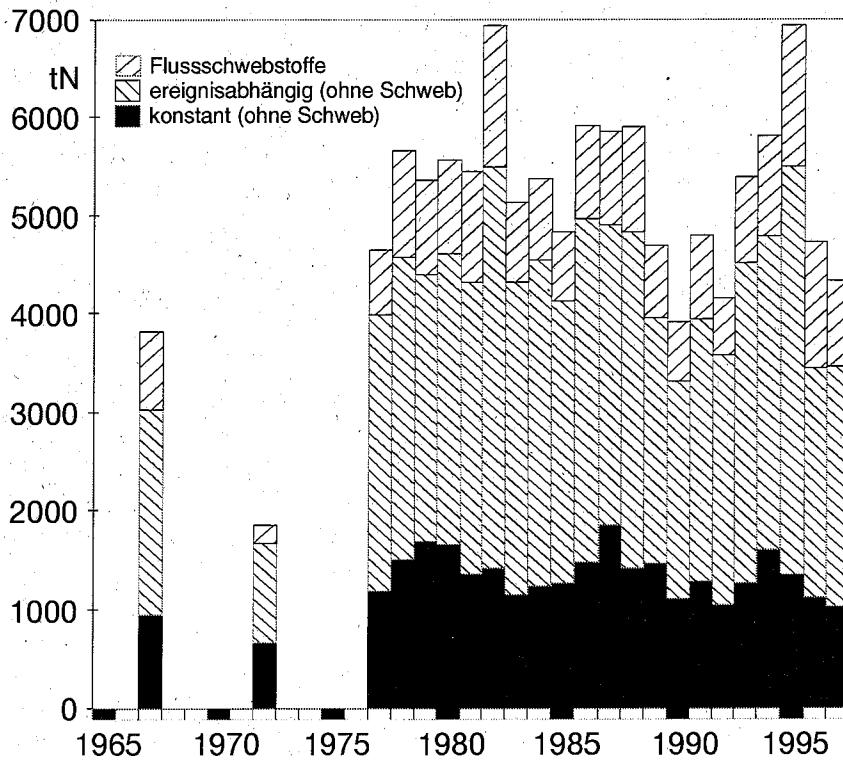


Abb. 8: Die Summe der Stickstoff-Zufuhren aus Argen, Schussen, Rotach, Seefelder Aach und Stockacher Aach (baden-württembergischen Zuflüsse) in den Bodensee.

3.4.4. Stickstoff-Bilanz des Sees

Der Rückhalt von Stickstoff durch Sedimentation ist klein, gemessen am Gesamtumsatz und an den Verhältnissen bei P. Auch hier verbleiben mindestens die dem Schweb-gebundenen Anteil entsprechenden Stickstoff-Mengen im Sediment. Im Obersee wurden 1996 zusätzlich rund

11000 t N aus dem Seewasserkörper im Sediment gebunden. 1997 war der Rückhalt sehr klein und nicht signifikant bestimmbar. Diese grosse Differenz kann auf den unterschiedlichen Wetterverläufen beider Jahre beruhen. Unter Berücksichtigung der Durchflussverhältnisse scheint der Stickstoffhaushalt der beiden Jahre im Fliessgleichgewicht zu sein. Aus dem Wasserkörper des Untersees sedimentierten in beiden Untersuchungsjahren mit rund 2400 bis 2500 t N ähnliche Beträge (Tab. 7).

Tabelle 7: Stickstoff-Bilanzen des Bodensees [t N]

	1996	1997
OBERSEE		
Seeinhalt November Vorjahr	61330	53584
- Seeinhalt November Jahr	-53584	-56336
Minderung Seeinhalt	7746	-2752
+ Eintrag (ohne Schweb)	13061	13698
- Austrag	-9827	-10859
Sedimentation	10980	87
+ Schweb	1920	2236
Sedimentation Summe	12900	2323
UNTERSEE		
Seeinhalt November Vorjahr	707	768
- Seeinhalt November Jahr	-768	-705
Minderung Seeinhalt	-61	63
+ Eintrag (ohne Schweb)	11339	12301
- Austrag	-8907	-10166
Sedimentation	2371	2324
+ Schweb	109	250
Sedimentation Summe	2480	2574

3.5. Organisch gebundener Kohlenstoff

In den Abflussjahren 1996 und 1997 wurden dem Obersee rund 19000 und 20000 t organischer Kohlenstoff zugeführt, im Schweb zusätzlich 21000 und 39000 t C_{org}. Grobes Treibzeug aus Zuflüssen wurde mit den Untersuchungen nicht erfasst. Verluste im Obersee (ohne Schweb) werden durch die Produktion ausgeglichen (Abb. 9). In den Untersee gelangten 18000 und 23000 t C, davon etwa 90% über den Seerhein. Schweb aus der Radolfzeller Aach beteiligte sich mit weniger als 1000 t C. Im Untersee wird die Sedimentationsrate durch Produktion überkompensiert, so dass schliesslich 21000 bzw. 25000 t C in den Hochrhein gelangten.

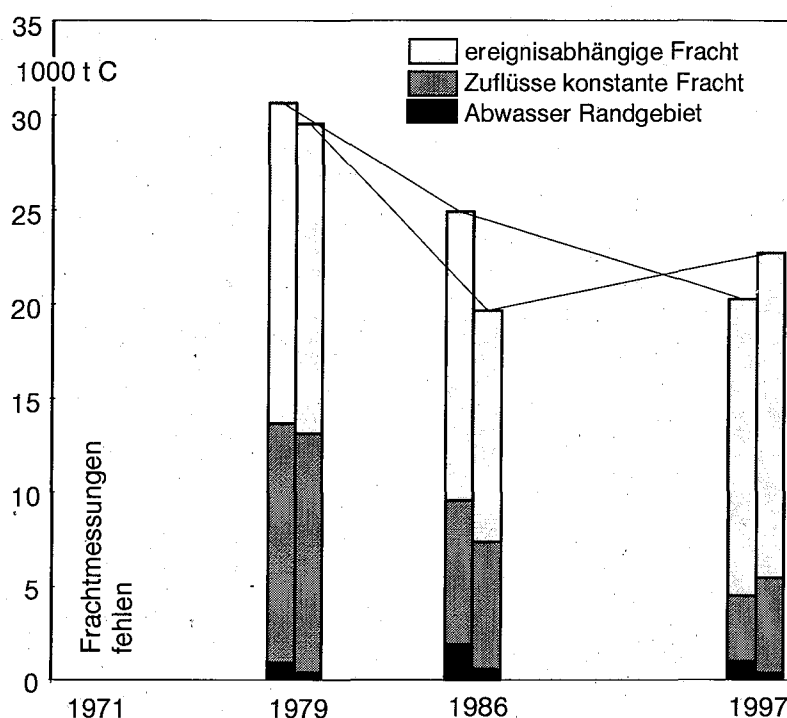


Abb. 9: Die Zufuhren von C_{org} (ohne Schweb) 1979, 1986 und 1997 zum Obersee (linke Säule) und zum Untersee (rechte Säule)

Die C_{org} -Frachten stammen überwiegend aus dem ländlichen Areal. Für das Abflussjahr 1997 ergibt sich für den Obersee eine Abwasserbeteiligung von lediglich 23% C_{org} des Eintrages (ohne Schweb) in den Obersee. Die Frachten haben sich besonders im Bereich des ungeklärten Abwassers verringert (Abb. 9, Tab. A2).

Wegen der Umsätze zwischen C_{anorg} und C_{org} im See und zugleich mit der Atmosphäre wird die Bilanz (Tab. A3) lückenhaft. Negative Sedimentation 1996 aus dem Seewasser mag auf erhöhter Bioproduktion bei niedrigem Durchfluss im Niedrigwasserjahr beruhen. Hinweise darauf liefern auch grosse Sedimentationsraten bei Phosphor und Stickstoff (Tab. 5 und 7).

3.6. Sulfat, Chlorid und Leitfähigkeit

Dem Bodensee werden grosse Mengen von natürlichen Salzen, hier vertreten durch Sulfat, Chlorid und dem Summenparameter Leitfähigkeit, zugeführt. Sie wurden erstmalig in das Untersuchungsprogramm aufgenommen, um Grundlagen zur Beurteilung anthropogener Anteile zu schaffen, denn der Chlorid-Gehalt im See (IGKB 1998a) hatte sich in den letzten Jahrzehnten allmählich vergrössert.

Im Mittel für die hydrologischen Jahre 1996 und 1997 betrugen die Zufuhren für

den Obersee ca.	345000 t SO_4 ,	50000 t Cl und	3091 $10^9 m^3 \mu S/cm$ e.Lf,
den Untersee ca.	342000 t SO_4 ,	59000 t Cl und	2857 $10^9 m^3 \mu S/cm$ e.Lf,
und Hochrhein ca.	327000 t SO_4 ,	56000 t Cl und	2760 $10^9 m^3 \mu S/cm$ e.Lf ³

(Tab.1 und 2).

Bei Sulfat (SO_4) diktiert die Ill über den Alpenrhein das Geschehen im See (MÜLLER 1969). Für beide Untersuchungsjahre ergibt sich unterhalb des Alpenrheins bei Maienfeld (33 mg/l SO_4) nach der Einmündung der Ill (81 mg/l SO_4) eine allmähliche Verdünnung in Alpenrhein (43 mg/l SO_4), Seerhein (34 mg/l SO_4) und Hochrhein (33 mg/l SO_4). Die aus ihrer Quelle vorbelastete Radolfzeller Aach liefert erhöhte Sulfat- und Chlorid-Beiträge in den Untersee. Auffällig hoch ist die ereignisabhängige Salzfracht der Stockacher Aach (Tab. 8).

³ vgl. Fussnote S. 16

Bei Berücksichtigung auch des Reinwasseranteils im konstanten Beitrag (analog N, S.22) ergeben sich Beteiligungen der Abwässer mit 11 - 35% SO₄, 35 - 47% Cl und 8 - 15% e.Lf vom Gesamteintrag in den Obersee (vgl. auch Ausführung zu N, Kap. 3.4.2, S. 22).

Tab. 8: Chlorid-Konzentrationen bei konstanter bzw. ereignisabhängiger Fracht 1997

	mg/l Cl	
	konstant	ereignisabhängig
Dornbirnerach	92	6
Steinach	66	16
Schussen	40	20
Goldach	40	12
Radolfzeller Aach	36	16
Stockacher Aach	31	34
Seefeldler Aach	22	22
Rotach	22	19
Leiblach	17	8
Argen	15	9
Alter Rhein	10	4
Bregenzerach	9	2
Lustenauer Kanal	8	5
Alpenrhein	5	1

Die grosse anthropogene Cl-Fracht ist eine Ursache für die beobachtete allmähliche Konzentrationserhöhung im See (IGKB 1998a). Der Abwasserbeitrag von SO₄ (nur 11% des Gesamteintrages in den Obersee, Tab. A5) ist sehr wahrscheinlich unterschätzt. Darüber hinaus erscheint der abwasserbürtige Anteil der Sulfat-Fracht am Gesamteintrag in den See auch deshalb niedrig, weil der Alpenrhein, respektive die Ill, diesen Einfluss mit seiner grossen natürlichen Fracht kaschiert.

Für die geringe Beteiligung von Abwasser am e.Lf-Umsatz geben die aus dem Areal stammenden Salzbildner (Ca, Mg, Karbonate u.a.) den Ausschlag.

Da SO₄, Cl und e.Lf erstmalig gesamthaft erfasst wurden, sind keine Vergleiche zu früheren Untersuchungen möglich.

Die Fehlbeträge (Sedimentation, Tab. A3) bei SO₄, Cl und e.Lf liegen deutlich unter 10% der Seeinhalte bzw. der Ein- oder Austräge und sind damit als nicht signifikant nachgewiesen. Dies trifft auch auf die Streuung in den Frachtweitergaben vom Obersee in den Untersee und dessen Ausfluss zu. Daher kann davon ausgegangen werden, dass sich das Gewässersystem im Rahmen der erzielten Genauigkeit bei den beschriebenen Salzen annähernd im Fließgleichgewicht befindet.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Zur Ermittlung der dem Bodensee in den Abflussjahren 1996 und 1997 zugeführten Stofffrachten wurden von November 1995 bis Juni 1997 umfangreiche Erhebungen durchgeführt. Sie umfassten:

- Untersuchungen von Proben der wichtigsten Zu- und Abflüsse von Ober- und Untersee
- Frachtberechnung mit Hilfe der Abflüsse,
- Ermittlung der Jahresfrachten aus den Abwasserreinigungsanlagen im Einzugsgebiet des Bodensees
- Ermittlung der Jahresfrachten von Regenentlastungen, von dezentralen Anlagen und von nicht gereinigtem Abwasser,
- Schätzung der diffusen Stoffeinträge aus dem ländlichen Areal des Randgebietes,
- Untersuchungen von Niederschlägen an drei Stationen mit Berechnung der Jahresfrachten auf die Seeoberfläche
- Berechnungen der jährlichen Entzüge durch Fischerei und Trinkwasserüberleitung in andere Einzugsgebiete.

An den Flüssen wurden nach einem festgelegten Probenentnahmeplan Tagesmischproben mit automatischen Sammelstationen und selbstfüllenden Sammlern entnommen. Hierbei wurden Abflussereignisse, Wochen- und Jahresgänge berücksichtigt. Darüber hinaus wurden Stichproben ereignisabhängig oder in konstanten Zeitabständen gewonnen.

Für die Darstellung der Beziehungen zwischen Abfluss und Konzentration in den Seezuflüssen wurden e-Funktionen verwendet. Mit deren Hilfe wurden die täglichen Frachten eines Jahres geschätzt. Bei den Seeausflüssen wurden die täglichen Konzentrationen zwischen den zeitlich dichten Untersuchungen linear interpoliert und mit den Abflüssen zu Tagesfrachten verrechnet. Die ermittelten Tagesfrachten wurden zu Monats- und Jahresfrachten aufaddiert. Bilanziert wurden die Jahresfrachten aus den Zuflüssen und aus dem Randgebiet (gereinigtes und restliches Abwasser, diffuser Eintrag) sowie aus dem Niederschlag auf die Seeoberfläche. Ausserdem wurden die aus dem See abfliessenden Frachten und die Seeinhalte zu Beginn und am Ende des Abflussjahres sowie die Sedimentationsraten bestimmt.

87% der Stofffrachten wurden aus Messungen ermittelt, der Rest aufgrund von statistischen Erhebungen und Vergleichsrechnungen bestmöglich geschätzt.

1996 war ein Jahr mit unterdurchschnittlichen Abflüssen. Deshalb ist das Abflussjahr 1997, in dem etwa mittlere hydrologische Verhältnissen herrschten, als repräsentatives Jahr anzusehen.

Für das Jahr 1997 ergaben sich folgende Gesamtfrachten:

	t P	t N	t C _{org}	t SO ₄	t Cl
Obersee:	1495	15934	59395	362355	49855
Untersee:	194	12410	23529	373803	64779

Mit 1.9 Mio t Flussschwebstoffen wurden dem Bodensee-Obersee partikulär 1300 t P (= 87% der Gesamtfracht), 2200 t N (14%) und 39000 t C_{org} (66%) zugeführt. Die Zufuhr von Flussschwebstoffen zum Untersee ist sehr gering.

Die bioverfügbaren Frachten betragen 1997:

	t P	t N	t C _{org}
Obersee:	195	13698	20240
Untersee:	167	12301	22723

Wesentliche Anteile stammen aus dem ländlichen Areal.

Im Bodensee sedimentiert mehr Phosphor und Stickstoff, als mit Flussschwebstoffen eingetragen wird. Im Obersee sedimentierten 1406 t P und 2323 t N, im Untersee 53 t P und 2574 t N.

Kontrollrechnungen unter der Berücksichtigung des Umsatzes der abwasserbürtigen Anteile lassen den Schluss zu, dass sich die Stickstoff-Einträge aus Niederschlägen auf das Einzugsgebiet erheblich auf die Konzentrationsverhältnisse im See auswirken.

Die Anstrengungen zur Reduktion der Stoffeinträge in den Bodensee waren in allen wesentlichen Bereichen erfolgreich. Stark sanken die abwasserbürtigen Phosphor-Belastungen, davon besonders die aus nichtgereinigtem Abwasser. Sie gingen im gesamten Einzugsgebiet des Obersees seit 1986 von 536 t P auf 170 t P zurück. Hiervon wurde bis zum Eintrag in den See etwa die Hälfte an Flussschwebstoffen gebunden.

Grössenordnungsmässig stammen 41% der Phosphor-Fracht ohne Schweb nach dem Umsatz bis zum Eintrag in den See aus Abwasser, von der Stickstoff-Fracht dagegen nur 18 - 26%. Bei Cl beträgt dieser Anteil 35 - 47 %, bei SO₄ 11 - 35%, bei C_{org} 23% und bei e.Lf 8 - 15%. Chlorid und Sulfat stammen zwar zu erheblichen Teilen aus dem Abwasser, sind jedoch nicht eutrophierungsrelevant. Als überdurchschnittlich salzbelastet fielen Dornbirnerach, Steinach, Schussen, Goldach und Radolfzeller Aach auf.

Der Phosphor-Inhalt nahm während der Untersuchungen im Obersee weiter ab.

Mit den festgestellten Einträgen scheint unter einer zeitlichen Verzögerung eine Phosphor-Konzentration unter 15 µg/l P am Ende der Zirkulationsperiode erreichbar.

Dies dokumentiert die Richtigkeit der in den Bau- und Investitionsprogrammen vorgegebenen und von den Anliegerländern getroffenen Massnahmen.

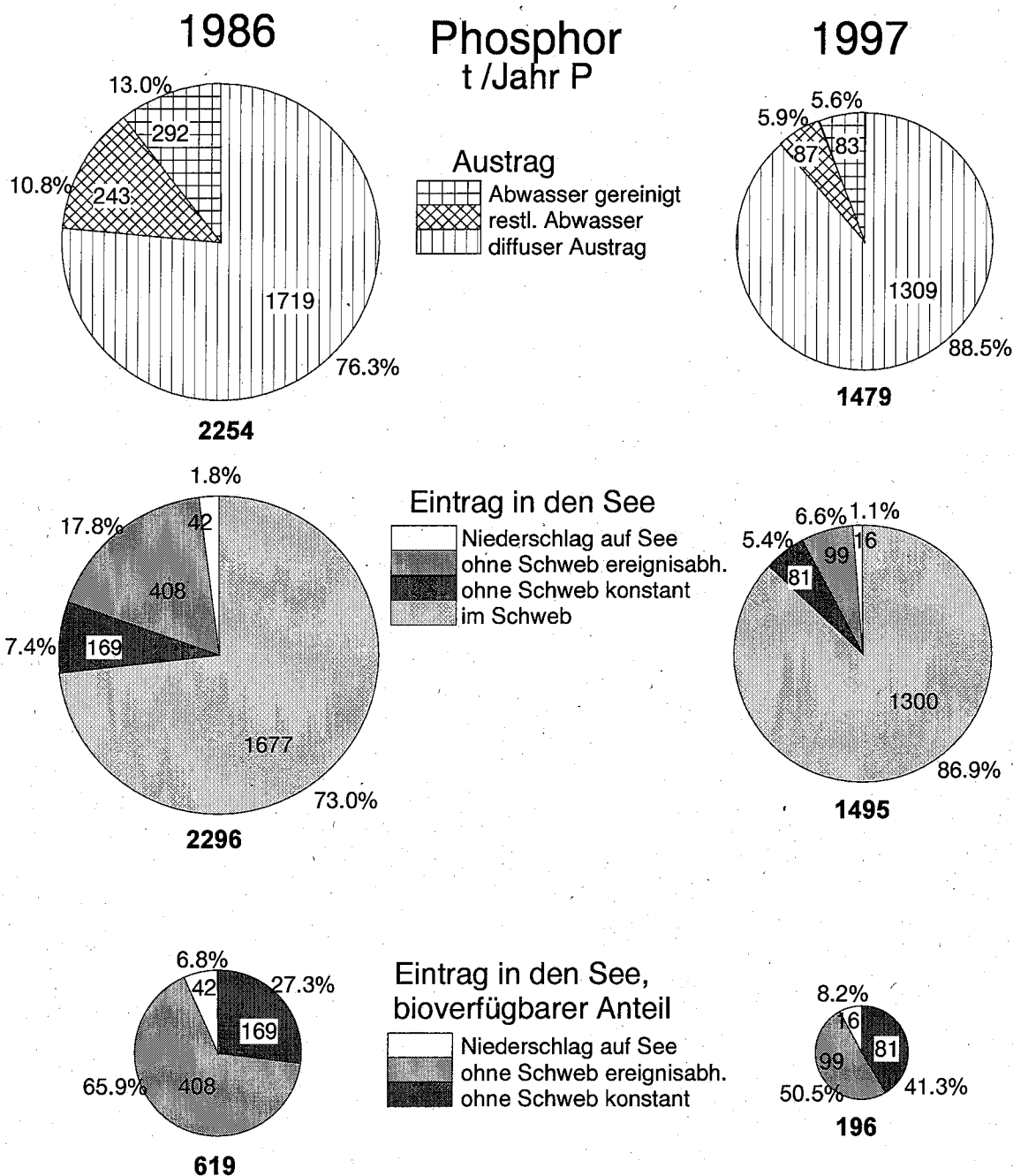


Abb. 10: Phosphor-Austräge aus dem Einzugsgebiet und Einträge in den Bodensee-Obersee sowie die bioverfügbaren Anteile 1986⁴⁾ und 1997

⁴⁾ Siehe S. 17 und 19 hinsichtlich Abweichungen gegenüber IGKB-Bericht Nr.40 (1989); im Bericht Nr. 40 waren im entsprechenden Diagramm auch noch die potenziell biologisch aktiven Emissionen ausgewiesen.

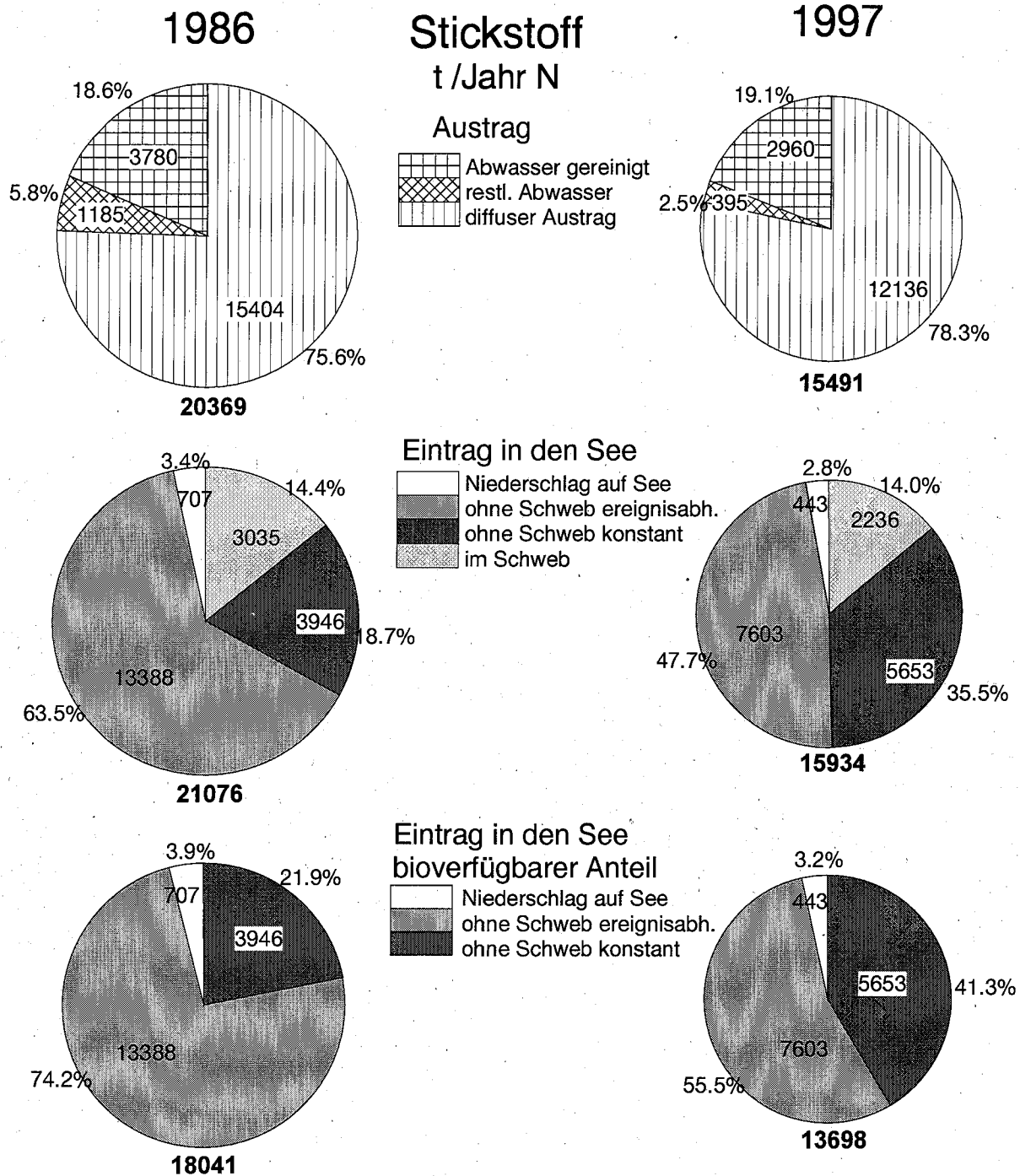


Abb. 11: Stickstoff-Austräge aus dem Einzugsgebiet und Einträge in den Bodensee-Obersee sowie die bioverfügbaren Anteile 1986 und 1997

5. Literatur

- BWV, Bodenseewasserversorgung Labor Sipplingen (1998): formlose Mitteilung von Wassermengen und mittleren Stoffkonzentrationen.
- BRAUN, E., & K.SCHÄRPF (1994): Internationale Bodensee-Tiefenvermessung 1990.- Landesvermessungsamt Baden-Württemberg (Hrsg.), 98 S., Anlagen und Karte.
- BROCKHAUS, F.A. (1968): Stichworte "Eiweiss" und "Fischmehl".- Verlag F.A. Brockhaus, Wiesbaden, Bd.5 und 6.
- GURTZ, J., H.LANG, G.LUFT, F.STROBEL & G.WAGNER (1997): Untersuchung der Wasserbilanz des Bodensees.- Geogr.Inst.ETH ZÜRICH, Berichte und Skripten 61, 82 S.
- HETZENAUER, H. (1995): Zur stofflichen Belastung baden- württembergischer Bodenseezuflüsse.- Interner Bericht der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 17 S.
- IGKB (1973) Bau- und Investitionsprogramm - Stand der Abwasserbeseitigung - Ber.Int.Gewässerschutzkomm.Bodensee 13, 8 S. (Eigenverlag).
- IGKB (1981) Bau- und Investitionsprogramm, Stand der Abwasserbeseitigung im Einzugsgebiet des Bodensee-Obersees und des Untersees Planungszeitraum 1978-1985- Ber.Int.Gewässerschutzkomm.Bodensee 24, 20 S. (Eigenverlag).
- IGKB (1982): Die Auswirkung der Reinhaltmassnahmen auf die limnologische Entwicklung des Bodensees (Lagebericht).- Ber.Int.Gewässerschutzkomm.Bodensee 30, 33 S. (Eigenverlag).
- IGKB (1985): Bau- und Investitionsprogramm - Stand der Abwasserbeseitigung im Einzugsgebiet des Bodensee-Obersees und des Untersees.- Ber.Int.Gewässerschutzkomm. Bodensee 33, 24 S. (Eigenverlag).
- IGKB (1989): Die Belastung des Bodensees mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen, organisch gebundenem Kohlenstoff und Borat im Abflussjahr 1985/86.- Ber.Int.Gewässerschutzkomm. Bodensee 40, 50 S. und Sonderband mit Messdaten (Eigenverlag).
- IGKB (1993): Dynamische Simulation des Bodensee-Obersees und tolerierbare Phosphorfracht.- Ber.Int.Gewässerschutzkomm. Bodensee 44, 53 S. (Eigenverlag).
- IGKB (1995): Arbeitsmanual für die Untersuchung der dem Bodensee zugeführten Stofffrachten im Abflussjahr 1996 (1.11.1995 - 31.10.1996).- Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, 21 S. (Eigenverlag).
- IGKB (1996): Methoden zur Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den Bodensee.- Ber.Int.Gewässerschutzkomm.Bodensee 45, 113 S. (Eigenverlag).
- IGKB (1998a): Langjährige Entwicklung chemischer Parameter im Bodensee-Obersee.- Ber.Int.Gewässerschutzkomm.Bodensee 48, 143 S. (Eigenverlag).
- IGKB (1998b): Abschätzung des einwohnerbezogenen Nährstoffaustrags aus Regenentlastungen im Einzugsgebiet des Bodensees.- Ber.Int.Gewässerschutzkomm.Bodensee 49, 47 S. (Eigenverlag).
- IGKB (1999): Phosphor und Stickstoff aus diffusen Quellen im Einzugsgebiet des Bodensees.- Ber.Int.Gewässerschutzkomm.Bodensee 51,84 S. (Eigenverlag)

- ISF/INPHO (1993): Inhaltsberechnung zwischen Schichtflächen im Bodensee-Obersee und Untersee.- INPHO Forschungsinstitut für photogrammetrische Informationsverarbeitung GmbH, D-70174 Stuttgart, Tabellenwerk im Auftrag des ISF Langenargen.
- KLIFFMÜLLER, R. (1960): Beiträge zum Stoffhaushalt des Bodensees (Obersee). I. Die in den Bodensee (Obersee) eingebrachten Schmutz- und Nährstoffe und ihr Verbleib (Versuch einer bilanzmässigen Erfassung für 1958/59).- *Int.Rev.ges.Hydrobiol.*45: 359 - 380.
- MÜLLER, G. (1969): Hohe Strontium-Gehalte und Sr/Ca-Verhältnisse im Bodensee-Wasser und in den Wässern des Alpenrhein- Einzugsgebietes.- *GWF* 110: 103 - 108.
- MÜLLER, G., & U. FÖRSTNER (1968): Sedimenttransport im Mündungsgebiet des Alpenrheins.- *Geol.Rundschau* 58: 229 - 259.
- LRA RV, Landratsamt Ravensburg (1998): Stoffausträge aus den Siedlungsbereichen des Bodenseeeinzugsgebietes 1996.- Interner Bericht im Auftrag der IGKB, ??S.
- LUFT, G., Gé van den EERTWEGH & HJ.VIESER (1990): Veränderung der Bodensee-Wasserstände von 1887 bis 1987.- *Handbuch Hydrologie Baden-Württemberg* 6.2, 77 S. und Anlagen.
- ROSSKNECHT, H. (1980): Phosphatelimination durch autochthone Calcitfällung im Bodensee-Obersee.- *Arch.Hydrobiol.*88: 328 - 344.
- ROYCE, W.F. (1984): *Introduction to the Practice of Fishery Science*.- Academic press. Inc., New York, 428 S.
- SIEGER (1998): mündl.Mitt. Gewässerdirektion Ravensburg.
- WAGNER, G. (1976): Simulationsmodelle der Seeneutrophierung, dargestellt am Beispiel des Bodensee-Obersees, Teil 2: Simulation des Phosphorhaushalts des Bodensee-Obersees.- *Arch. Hydrobiol.* 78: 1 - 41.
- WAGNER, G. (1983): Untersuchungen über den boden- und düngerebedingten Anteil an der Gewässereutrophierung unter besonderer Berücksichtigung des Bodensees, Teil 3.- Wasserwirtschaftliches Untersuchungsprogramm im Auftrag des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg, Manuskript, 19 S.
- WAGNER, G.(1991): Fallstudie Bodensee.- in A.HAMM (Hrsg.): Studie über Wirkungen und Qualitätsziele von Nährstoffen in Fließgewässern.- ACADEMIA Verlag Sankt Augustin, ISBN 3-88345-380-3: 806 - 819.
- WAGNER, G. (1996): Stoffbilanzierung und Prognosen mit Hilfe von Simulationsmodellen.- in Institut für Seenforschung 1920 - 1995, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, ISBN 3-88251-242-3: 17 - 21.
- WIESER, E., & P.LINK (1970): Ein Beitrag zur Frage der Eutrophierung des Bodensees durch den Alpenrhein.- *Schweiz.Z.Hydrol.*32: 439 - 452.

6. ANHANG

6.1. Allgemeine Vorgaben

Aufgrund von Beschlüssen der IGKB-Sachverständigen vom September 1997 wurden die Messdaten von 11/95 bis 6/97 für die Frachtberechnungen herangezogen (teilweise bis 12/97). 1996 war extrem trocken. Deshalb hat das etwa mittlere Abflussjahr 1997 Priorität in der Auswertung.

Die Flächen der Einzugsgebiete wurden unverändert gegenüber IGKB-Bericht Nr.40 übernommen, die Oberflächen von Obersee und Untersee (Hochrhein/Stein) aus der jüngsten Seevermessung (LUFT et al. 1990, BRAUN & SCHÄRPF 1994, ISF/INPHO 1993). Die bisher (IGKB 1989) summarisch ausgewiesenen Zuflüsse des Kantons Thurgau wurden gemeinsam mit dem diffusen Eintrag aus dem Randgebiet abgehandelt, gesamthaft je für Ober- und Untersee.

Die Datenzusammenstellung und Auswertung erfolgte durch das ISF Langenargen über Werkverträge unter Beteiligung der zuständigen amtlichen Stellen und unter Führung durch den IGKB-Fachbereich Einzugsgebiet, die Endfertigung an der EAWAG Dübendorf. Ein Sonderband "Daten" enthält die den Berechnungen zu Grunde liegenden überarbeiteten Dateien und methodische Details. Er wird bei folgenden Ämtern und Stellen deponiert:

- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für Seenforschung, Langenargen
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München
- Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, Bregenz
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, CH-3003 Bern
- Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, EAWAG, CH- 8600 Dübendorf
- Amt für Umwelt des Kantons Thurgau, CH-8500 Frauenfeld
- Amt für Umweltschutz des Kantons St.Gallen , CH-9000 St.Gallen
- Amt für Umwelt des Kantons Graubünden, CH-7000 Chur

6.2. Abwasserreinigungsanlagen

Von folgenden Anlagen wurden die Abläufe untersucht:

	im Randgebiet: Tab.1	im Hinterland: Tab. A5
BW	- Dingelsdorf-Wallhausen - AV Stockacher Aach - AV Überlinger See - AV Lipbach-Bodensee - Stadt Friedrichshafen - AV Unteres Schussental - AV Langenargen-Kressbronn - Gaienhofen - AV Untere Radolfzeller Aach - Radolfzell - Konstanz	- Buggensegel - Frickingen - Haslachmühle - Aulendorf - Bad Waldsee - Kisslegg - Baienfurt - Mittl.Schussental - Langwiese - Ried - Vogt - Wangen
BY	- Lindau	- Grünenbach - Obere Leiblach - Rothach - Oberstaufen
V	- AV Leiblachtal - Bregenz - Region Hofsteig (Hard)	- Region Bezau - Dornbirn-Schwarzach - Region Hohenems - Region Vorderland - Region Feldkirch - Region Walgau - Region Bludenz - Region Montafon
GR		- Chur - Davos - Igis/Landquart - Arosa
FL		- Bendern
SG	- AV Altenrhein - AV Morgental	- Buchs - Rosenbergsau - St.Gallen-Hofen
TG	- AV Region Romanshorn - AV Region Kesswil - AV Region Münsterlingen - AV Aachtal - AV Tägerwilen-Gottlieben - AV Untersee - Steckborn	

6.3. Niederschläge

Tägliche Niederschläge wurden von Stationen in Konstanz, Langenargen und Hard bei Bregenz auf P_{ges} , N_{ges} , TOC, SO_4 , Cl und e.Lf untersucht. Die flächenspezifischen Einzelfrachten (Konzentration $\times$ Niederschlagshöhen) wurden zu Jahresfrachten aufaddiert. Diese wurden für den Obersee nach dem Schlüssel (Konstanz + 2 $\times$ Langenargen + Bregenz)/4 auf die Seeoberfläche umgerechnet. Für den Untersee wurde nur von Konstanz ausgegangen.

6.4. Probengewinnung aus den zur Auswertung herangezogenen Bodenseezuflüssen und -ausflüssen

Von den Anliegern wurden an den mündungsnahen Pegeln der wichtigen Zuflüsse (Abb.3) eingesetzt:

- Automatische Sammelstationen			
BW	Stockacher Aach/Wahlwies,	24-Std-Mischprobe	2x wöchentlich
	Seefelder Aach/Mühlhofen,	"	"
	Rotach/Friedrichshafen,	"	"
	Schussen/Gerbertshaus,	"	"
	Argen/Giessen,	"	"
	Radolfzeller Aach/Rielasingen,	"	"
V	Dornbirnerach/Lauterach,	"	"
GR	Alpenrhein/Maienfeld,	"	"
BW	Seerhein/Konstanz,	24-Std-Mischprobe	6-tägig
- Selbstfüllende Sammler			
V	Leiblach/Unterhochsteg,	24-Std-Mischprobe	17-tägig
	Bregenzerach/Kennelbach,	"	"
	Lustenauer Kanal, Lustenau,	"	"
	Ill/Gisingen,	"	"
SG	Alter Rhein/St.Margrethen,	"	"
	Goldach/Goldach,	"	"
	Steinach/Steinach,	"	"
- Momentane Stichproben			
V	Alpenrhein/Hard,		17-tägig
BW	Aachquelle der Radolfzeller Aach/Aach,		14-tägig
TG	Ausfluss Untersee/Stein,		"

An den Sammelstationen mit täglichen 24-Std-Mischprobe wurden 2 Proben je Woche mit grösstem Schwebgehalt ausgewählt. Bei durchgehendem Niedrigwasser erfolgte die Auswahl nach vorgegebenem Kalender, so dass auch Jahreszeit und Wochengang anteilig erfasst wurden. Bei Ausfällen von Automaten und bei Hochwasserereignissen (selbstfüllende Sammler und Stichproben) wurden zusätzliche Stichproben genommen.

Die Abflüsse in Diepoldsau als mündungsnächstem, langjährigem Pegel befinden sich im Einklang mit der Wasserbilanz. Die Untersuchung der chemischen Parameter bei Lustenau entsprach der geforderten Methodik, und alle Auswertungen des Alpenrheins beruhen auf der entsprechenden Kombination dieser beiden Orte. Die schweizerischen NADUF-Daten waren nicht Manual-konform. Da die Problematik der stofflichen Veränderungen in Mehrtages sammelproben erkannt war, wurde zwar eine Online-Analytik installiert, welche aber keine Resultate lieferte.

6.5. Flussschwebstoffe und partikuläre Parameter

Die Flussschwebstoffe wurden generell berechnet mit

$$Y = \frac{K_1}{e^{(K_2/x^{K_3})}} \quad (\text{IGKB 1989}) \quad [1]$$

mit : Y = Stoffkonzentration [mg/l]
x = Abfluss, Q [m³/s]
K₁ bis K₃ = flussspezifische positive Koeffizienten.

Auch die partikulären Komponenten im Schweb der Zuflüsse (ausser Zuflüsse von Baden-Württemberg) wurden über diese Funktion berechnet, indem für die Funktionsanpassungen ihre Konzentration im Wasser eingesetzt wurde. Mit Hilfe der täglichen Abflüsse wurden tägliche mittlere Konzentrationen geschätzt. Die täglichen Frachten ergaben sich aus der Multiplikation mit dem Abfluss.

Von den partikulären Inhaltstoffen im Schweb von Radolfzeller Aach, Stockacher Aach, Seefelder Aach, Rotach, Schussen und Argen wurde die Konzentration von Parametern in der Trockensubstanz des Schweb zunächst ausgedrückt als

$$Y = \frac{K_1}{x + K_2} + K_3 \quad [2]$$

mit : Y = Stoffkonzentration [ppm oder % der Trockensubstanz]
 x = Schwebkonzentration im Wasser [mg/l]
 K_1 bis K_3 = flussspezifische positive Koeffizienten

Die weitere Berechnung erfolgte hier über die Ableitung der täglichen Schweb-Konzentrationen nach [1] und getrennt daraus der täglichen Konzentrationen der Inhaltstoffe nach [2]. Die abschliessende Multiplikation der Ergebnisse aus [1] und [2] mit dem Abfluss führte zu den täglichen Frachten.

In der Aach-Quelle wurde kein Schweb nachgewiesen.

6.6. Übrige Untersuchungen (ohne Flussschwebstoffe)

In Einzelfällen waren Ergänzungen und Näherungen notwendig und auch möglich, um Datenlücken mit Blick auf komplette Bilanzen von Ober- und Untersee nicht =0 setzen zu müssen. Dazu wird auf den Sonderband verwiesen.

Für die Stoffkalkulationen in den Zuflüssen wurde eine vom ISF Langenargen entwickelte Funktion eingesetzt. Die Funktion bei Stoffen im Filtrat ist

$$Y = \frac{K_1}{x + K_2} + \frac{K_3 \cdot x^{K_4}}{e^{x \cdot K_5}} \quad [3]$$

mit : Y = Stoffkonzentration [$\mu\text{g/l}$, mg/l oder $\mu\text{S/cm}$]
 x = Abfluss, Q [m^3/s]
 K_1 bis K_5 = flussspezifische positive Koeffizienten

und enthält eine geringfügige Veränderung gegenüber einer früheren Version (IGKB 1989, Hyperbel verschoben). Die Fracht ergibt sich aus der Multiplikation beider Seiten der Gleichung mit dem Abfluss $n \cdot a \cdot c \cdot h$ deren Anpassung. Diese neue Formel enthält keinen Term für einen konstanten Anteil der Fracht, der anhand der kleinsten 10 Abflüsse bestimmt wurde.

Der diffuse Eintrag aus dem ländlichen Areal der Randgebiete von Ober- und Untersee unterhalb der mündungsnahen Flusspegel wurde aus deren halber Gebietsfläche, der Einzugsgebietsfläche der kleineren Zuflüsse und aus deren Stofffrachten an den Untersuchungspegel jährlich proportional abgeleitet, bei den gelösten Stoff-Komponenten nur aus deren ereignisabhängigen Anteilen. Die grossen Zuflüsse: Alpenrhein und Bregenzer Aach sind für dieses Rechenverfahren zu gering belastet und zudem ist das Einzugsgebiet zu weit vom See entfernt. Die Radolfzeller Aach ist wegen der Donauversickerung ein Spezialfall und der Sulfatgehalt im Quellwasser ist ausserdem atypisch hoch.

Der tägliche Abfluss aus dem Obersee wurde aus dem Wasserbilanz-Modell des ISF (GURTZ et al. 1997), der tägliche Abfluss aus dem Untersee vom Pegel Flurlingen $\times 0.9757$ (IGKB 1989) abgeleitet. Die täglichen Stoffkonzentrationen in den Seeabflüssen wurden linear zwischen den

Beobachtungsterminen interpoliert und mit den täglichen Abflüssen zu den einschlägigen Frachten hochgerechnet.

6.7. Ergebnistabellen A1 bis A6

Tabelle A1: Monatsfrachtsummen der untersuchten Zuflüsse zum Bodensee-Obersee (ohne Randgebiet)

Tabelle A2: Vergleich der Ergebnisse bisheriger Untersuchungen jährlicher Stofffrachten (P, N, C_{org}) zum Bodensee ohne Schweb und in Flussschwebstoffen

Tabelle A3: Jahres-Netto-Stoffbilanzen für den Bodensee

Tabelle A4: Konstante und ereignisabhängige Stoffeinträge in den Bodensee (ohne Schweb) aus Flüssen, Randgebiet und Niederschlag

Tabelle A5: Die Belastung des Bodensees mit Stoffen aus Abwasser

Tabelle A6: Die Beteiligung von Abwasser an Phosphor- und Stickstoff-Frachten zum Bodensee-Obersee 1986, 1996 und 1997

Tabelle A1: Monatsfrachtsummen der untersuchten Zuflüsse zum Bodensee-Obersee (ohne Randgebiet)

Abflussjahr 1996

	Nov	Dez	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Summe	Summe konst.Fracht
Wasserführung [$10^6 \text{ m}^3/\text{a}$]	609.56	736.03	434.47	367.75	540.91	551.89	995.46	928.06	1171.08	802.62	702.65	772.36	8612.83	2690.67
el. Leitfähigkeit [$10^9 \text{ m}^3 \times \mu\text{S}/\text{cm}$]	216.57	250.06	167.84	139.51	196.23	195.61	292.88	264.63	327.03	251.96	228.63	254.28	2785.22	1124.12
Gesamte ungelöste Stoffe [t]	48954.15	169940.89	7470.04	3571.43	51325.62	8650.14	145676.33	92498.38	307298.65	52258.84	43932.62	46190.33	977767.42	0.00 *)
Phosphor im Filtrat [t]	10.47	16.53	5.93	4.26	10.22	7.10	11.43	8.39	14.82	8.86	8.79	10.98	117.79	30.32
Phosphor partikulär [t]	65.38	185.19	15.62	9.57	62.09	19.63	123.71	70.14	209.72	52.56	55.01	59.82	928.46	0.00 *)
Stickstoff im Filtrat [t]	940.30	1212.08	687.45	529.27	862.29	740.80	1022.68	852.12	1190.38	899.57	806.76	994.35	10738.04	4230.48
Stickstoff partikulär [t]	226.76	619.83	47.04	20.69	150.25	36.30	100.72	19.17	307.99	55.04	55.09	108.16	1747.03	0.00 *)
Org. Kohlenstoff im Filtrat, DOC [t]	1239.04	1850.03	734.43	520.08	1211.14	877.65	1629.13	1272.87	2047.13	1224.57	1147.83	1444.12	15198.01	3292.17
Org. Kohlenstoff partikulär, POC [t]	1621.21	4068.92	404.06	217.86	1152.02	405.17	2316.13	1798.16	5052.18	1273.60	714.14	1221.87	20245.32	0.00 *)
Chlorid [t]	3811.49	4390.15	3354.33	2699.01	3730.09	3267.84	3671.50	3076.74	3930.01	3521.16	3162.96	3860.42	42475.68	26682.57
Sulfat [t]	23116.34	24537.31	19821.14	18706.84	20439.60	21658.67	32400.72	32340.95	34912.46	29865.21	26036.83	27620.02	311456.10	167968.48

Abflussjahr 1997

	Nov	Dez	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Summe	Summe konst.Fracht
Wasserführung [$10^6 \text{ m}^3/\text{a}$]	768.17	741.79	511.30	526.57	590.03	701.09	1164.80	1460.67	1766.40	961.38	551.42	610.06	10353.68	3076.71
el. Leitfähigkeit [$10^9 \text{ m}^3 \times \mu\text{S}/\text{cm}$]	254.34	262.09	181.99	192.82	209.26	229.45	319.26	360.37	451.05	275.66	184.75	207.02	3128.05	1239.80
Gesamte ungelöste Stoffe [t]	37249.80	45194.46	6853.76	32311.17	9387.86	33891.28	189421.96	600757.21	750105.64	103587.30	9857.20	30042.36	1848660.00	0.00 *)
Phosphor im Filtrat [t]	10.73	13.54	5.53	9.69	7.53	8.53	11.68	12.66	23.24	9.08	5.22	8.14	125.57	31.56
Phosphor partikulär [t]	51.19	72.67	15.27	48.97	21.64	44.99	119.32	286.80	472.33	76.87	16.85	40.46	1267.36	0.00 *)
Stickstoff im Filtrat [t]	1008.87	1212.57	662.70	877.72	800.31	813.62	1061.21	1179.73	1745.69	907.76	611.92	758.68	11640.78	4443.94
Stickstoff partikulär [t]	113.72	245.66	23.62	172.57	45.92	37.34	38.98	519.53	814.33	23.36	10.14	65.06	2110.22	0.00 *)
Org. Kohlenstoff im Filtrat, DOC [t]	1424.06	1724.53	731.15	1160.29	957.85	1133.44	1677.32	1841.16	3256.42	1362.92	701.00	1025.53	16995.67	3527.19
Org. Kohlenstoff partikulär, POC [t]	1310.66	1913.73	352.05	1276.58	487.17	592.86	3284.41	10670.30	15288.86	1950.42	364.78	696.63	38188.44	0.00 *)
Chlorid [t]	3959.86	4812.14	3079.81	3740.98	3492.33	3214.42	3615.38	3711.09	5198.19	3285.98	2699.39	3201.97	44011.55	26474.79
Sulfat [t]	27521.91	26536.97	23404.65	20361.22	23348.23	25829.48	35525.59	39174.92	42737.31	33248.06	23932.63	24102.73	345723.70	181217.88

*) Die Frachten der partikulären Parameter wurden bei kleinem Abfluss gleich Null gesetzt.

Tabelle A2: Vergleich der Ergebnisse bisheriger Untersuchungen jährlicher Stofffrachten (P, N, org.C) zum Bodensee ohne Schweb und in Flussschwebstoffen

	P [t]					N [t]					org.C [t]			
	1971/72	78/79	85/86	95/96	96/97	71/72	78/79	85/86	95/96	96/97	78/79	85/86	95/96	96/97
O b e r s e e														
Flüsse	605	853	437	118	126	7083	11861	14716	10738	11641	27521	20624	15198	16996
seeanl.ARAS	231	112	53	35	30	679	1179	1349	1206	1119	728	684	1016	826
restl.Abwasser	380	81	63	19	19	1223	268	267	90	90	151	1231	144	137
diffuser Eintrag	55	20	25	5	5	540	424	1002	388	405	976	1002	661	691
Niederschläge	70	42	42	30	16	840	739	707	638	443	1296	1375	1543	1590
Summe ohne Schweb	1341	1108	620	207	195	10365	14471	18041	13061	13698	30672	24916	18562	20240
im Schweb	800	1850	1677	972	1300	1600	4654	3035	1920	2236	ca80000	33392	21496	39155
Summe Q [Mio m³]	8757	11158	11338	9306	11021	8757	11158	11338	9306	11021	11158	11338	9306	11021
U n t e r s e e														
Seerhein	289	504	406	225	189	5741	8650	10571	9641	10654	27093	17944	16512	20999
übrige Flüsse	100	75	48	15	18	1064	700	1147	935	1055	1186	640	794	962
seeanl.ARAS	41	25	23	7	7	204	535	518	519	356	288	184	362	294
restl.Abwasser	104	40	18	6	6	330	164	82	28	28	83	339	45	43
diffuser Eintrag	8	11	10	2	2	94	253	403	155	162	479	403	264	276
Niederschläge	9	3	9	2	1	111	159	113	60	46	428	175	129	148
Summe ohne Schweb	551	658	514	258	224	7544	10461	12834	11339	12301	29557	19685	18106	22723
im Schweb	110	53	8	27	27	75	163	43	108	109	-	480	764	806
Summe Q [Mio m³]	8300	11300	11359	8971	11128	8300	11300	11359	8971	11128	11300	11359	8971	11128
Abfluss Untersee	496	608	307	157	144	7008	10170	10589	8902	10162	26188	17727	21097	25131
Summe Q [Mio m³]	7675	11240	11204	8916	11013	7675	11240	11204	8916	11013	11240	11204	8916	11013

Kommentar: Die Frachten sind von der Niederschlags- und Abflusscharakteristik des Untersuchungsjahres geprägt

1971/72 extremes Niedrigwasser

1978/79 durchschnittlicher Abfluss

1985/86 durchschnittlicher Abfluss

1995/96 Niedrigwasser

1996/97 durchschnittlicher Abfluss

Tabelle A3: Jahres-Netto-Stoffbilanzen für den Bodensee

	Q bzw. V Mio m ³	P t	N ¹⁾ 10 ³ t	TOC ¹⁾ 10 ³ t	SO ₄ 10 ³ t	Cl 10 ³ t	e.Lf ²⁾
Obersee 1996							
Inhalt Nov.95	47406	991	61.3	108.5	1699	247.6	13653
- Inhalt Nov.96	-47543	-829	-53.6	-123.4	-1598	-241.6	-13816
Minderung Inhalt	-137	162	7.7	-15.0	1006	6.1	-163
+ Eintrag (o.Schweb)	9306	207	13.1	18.6	328	48.6	2918
- Austrag	-8694	-124	-9.8	-16.9	-298	-44.9	-2434
Sedimentation ³⁾	475	245	11.0	-13.3	131	9.7	321
+ Flussschweb	0	972	1.9	21.5	0	0.0	0
Sedimentation	475	1217	12.9	8.2	131	9.7	321
Untersee 1996							
Inhalt Nov.95	783	220	0.7	1.8	24	4.5	211
- Inhalt Nov.96	-800	-157	-0.8	-1.5	-26	-5.0	-221
Minderung Inhalt	-17	63	-0.1	0.3	-2	-0.5	-10
+ Eintrag (o.Schweb)	8971	148	11.3	18.1	310	53.4	2558
- Austrag	-8916	-158	-8.9	-21.1	-291	-50.7	-2465
Sedimentation ³⁾	38	53	2.4	-2.7	17	2.2	83
+ Flussschweb	0	27	0.1	0.8	0	0.0	0
Sedimentation	38	80	2.5	-2.0	17	2.2	83
Obersee 1997							
Inhalt Nov.96	47543	829	53.6	123.4	1598	241.6	13816
- Inhalt Nov.97	-47402	-777	-56.3	-110.0	-1607	-235.4	-13794
Minderung Inhalt	141	52	-2.8	13.4	-9	6.2	22
+ Eintrag (o.Schweb)	11021	195	13.7	20.2	362	49.9	3264
- Austrag	-10826	-141	-10.9	-21.4	-363	-56.0	-3025
Sedimentation ³⁾	336	106	0.1	12.2	-10	0.1	261
+ Flussschweb	0	1300	2.2	39.2	0	0.0	0
Sedimentation	336	1406	2.3	51.4	-10	0.1	261
Untersee 1997							
Inhalt Nov.96	800	157	0.8	1.5	26	5	221
- Inhalt Nov.97	-783	-180	-0.7	-1.6	-25	-4.6	-217
Minderung Inhalt	17	-23	0.1	-0.1	1	0.4	4
+ Eintrag (o.Schweb)	11128	167	12.3	22.7	374	64.8	3156
- Austrag	-11013	-145	-10.2	-25.1	-362	-60.7	-3055
Sedimentation ³⁾	132	-1	2.3	-2.6	13	4.5	105
+ Flussschweb	0	54	0.3	0.8	0	0	0
Sedimentation	132	53	2.6	-1.8	13	4.5	105

¹⁾ Die Stickstoff-Bilanz ist eine gute Näherung. Wegen des Umsatzes im See und zugleich mit der Atmosphäre ist die C-org-Bilanz aber fiktiv!

²⁾ als Fracht: 10⁹ m³ × µS/cm

³⁾ Sedimentation vertritt auch

- Verdunstung (Q) und Austausch mit der Atmosphäre nach Mineralisation (N und TOC)
- wenn negativ: Überkompensation der Verluste durch Produktion (TOC) und/oder durch Freisetzung aus dem Sediment oder aus Schwebstoffen

Tabelle A4: Konstante und ereignisabhängige Stoffeinträge in den Bodensee (ohne Schweb) aus Flüssen, Randgebiet und Niederschlag

	Q [Mio m³]		P [t]		N [t]		org.C [t]		SO ₄ [t]		Cl [t]		e.Lf *)	
	konst.	ereig.	konst.	ereig..	konst.	ereig.	konst.	ereig.	konst.	ereig.	konst.	ereig.	konst.	ereig.
Trockenes Abflussjahr 1996														
Obersee Flüsse **)	2691	5922	30.3	87.5	4230	6508	3292	11906	167968	143488	26683	15793	1124	1661
ARAs	69		34.9		1206		1016		13223		3922		56	
restl. Abwasser	5		19		90		144		987		649		14	
diffuser Eintrag		193		5.3		388		661		1872		1323		51
Niederschlag		426		30.2		638		1543		808		214		11
Summen	2764	6542	84.2	123	5526	7534	4452	14110	182178	146168	31253	17330	1194	1724
Anteile [%]	29.7	70.3	40.6	59.4	42.3	57.7	24	76	55.5	44.5	64.3	35.7	40.9	59.1
Total	9306		207.2		13061		18562		328346		48582		2918	
Untersee														
Seerhein	2544	6023	47.0	68.6	4079	5562	3960	12552	163215	130954	28471	15787	981	1416
Radolfz.Aach	158	94	7.7	6.9	684	251	462	331	7228	1538	5506	1533	87	25
ARAs	20		7.4		519		362		5691		1359		23	
restl. Abwasser	1		6.2		28		45		310		204		4	
diffuser Eintrag		77		2.1		155		264		748		528		20
Niederschlag		54		2.1		60		129		64		16		1
Summen	2723	6247	112.9	144.8	5310	6028	4829	13276	176444	133304	35540	17864	1096	1462
Anteile [%]	30.4	69.6	43.8	56.2	46.8	53.2	26.7	73.3	57	43	66.6	33.4	42.8	57.2
Total	8971		257.7		11339		18106		309748		53403		2558	
Mittleres Abflussjahr 1997														
Obersee Flüsse	3077	7277	31.6	94	4444	7197	3527	13468	181218	164506	26475	17537	1240	1888
ARAs	70		30.0		1119		826		12811		3468		56	
restl. Abwasser	6		19.0		90		137		1031		657		14	
diffuser Eintrag		196		5.2		405		691		1949		1449		54
Niederschlag		395		15.6		443		1590		841		269		12
Summen	3152	7868	80.6	114.8	5653	8045	4490	15749	195060	167295	30600	19255	1310	1954
Anteile [%]	28.6	71	41.3	58.7	41.3	58.7	22.2	77.8	53.8	46.2	61.4	38.6	40.1	59.9
Total	11021		195.3		13698		20240		362355		49855		3264	
Untersee														
Seerhein	3059	7635	54.6	77.6	4397	6257	4658	16341	193176	165679	33929	21349	1198	1788
Radolfz.Aach	151	136	7.3	10.4	676	380	449	513	7150	2541	5370	2198	87	39
ARAs	20		7.5		356		294		4073		1125		17	
restl. Abwasser	2		6.2		28		43		324		206		4	
diffuser Eintrag		78		2.1		162		276		778		579		22
Niederschlag		47		1.4		46		148		82		23		1
Summen	3232	7896	99.0	124.8	5457	6845	5444	17278	204723	169080	40630	24149	1306	1850
Anteile [%]	29	71	44.2	55.8	44.4	55.6	24	76	54.8	45.2	62.7	37.3	41.4	58.6
Total	11128		223.8		12301		22723		373803		64779		3156	

*) als Fracht 10⁹ m³ × µS/cm

**) Die Frachten der Flüsse unterteilt in konstante und ereignisabhängige Beiträge

Tabelle A5: Die Belastung des Bodensees mit Stoffen aus dem Abwasser

	1996							1997						
	Q Mio m ³	P t	N t	TOC t	SO ₄ t	Cl t	e.Lf *)	Q Mio m ³	P t	N t	TOC t	SO ₄ t	Cl t	e.Lf *)
O b e r s e e														
B - W: ¹⁾	39.5	12.9	547	649	-	637	15.0	40.0	12.9	483	709	-	633	14.1
Bayern: ²⁾	7.3	4.8	105	51	-	665	5.3	7.0	3.5	71	62	-	580	4.6
V: ³⁾	39.4	16.6	407	525	-	5260	58.8	34.6	19.2	398	469	-	3917	49
FL: ⁴⁾	6.6	4.0	102	20	-	562	5.8	6.8	2.9	101	20	-	557	5.7
GR: ⁵⁾	15.3	6.0	314	133	-	1504	9.0	16.2	6.0	297	127	-	1478	9.2
SG: ⁶⁾	22.6	7.4	490	209	-	2297	17.5	22.1	7.7	401	220	-	2401	17.3
ARA-Summe	130.6	51.6	1965	1586	21541	10926	111.4	126.6	52.2	1751	1607	20048	9567	100
restl. ARAs	7.1	5.0	94	85	1028	675	14.6	7.0	4.8	90	75	1036	660	14.3
restl. Abwasser	20.4	63.8	305	495	3341	2196	47.4	22.1	63.8	305	557	3489	2224	48.2
Summe Hinterland	158.1	120.4	2364	2165	25909	13797	173.3	155.7	120.8	2147	2240	24574	12451	162.5
seenahe ARAs	68.6	34.9	1206	1016	13223	3922	56.2	70.1	30.0	1119	826	12811	3468	55.6
r.Abw. Randgebiet	4.6	19.0	90	144	987	649	14.0	5.5	19.0	90	137	1031	657	14.2
Summe Abwasser	231.3	174.2	3661	3326	40119	18367	243.5	231.3	169.7	3356	3203	38415	16576	232.4
U n t e r s e e														
restl. ARAs	0.3	0.1	3	4	28	19	0.4	0.3	0.1	2	3	27	17	0.4
restl. Abwasser	0.8	2.6	12	20	132	87	1.9	0.9	2.6	12	22	137	88	1.9
Summe Hinterland	1.1	2.7	15	23	160	105	2.3	1.2	2.7	14	25	164	105	2.3
seenahe ARAs	19.8	7.4	519	362	5691	1359	22.8	20.3	7.5	356	294	4073	1125	17
r.Abw. Randgebiet	1.4	6.2	28	45	310	204	4.4	1.7	6.2	28	43	324	206	4.5
Summe Abwasser	22.4	16.3	562	431	6161	1667	29.5	23.2	16.4	398	362	4561	1436	23.8

*) als Fracht 10⁹m³ × µS/cm¹⁾ B - W : ARAs Buggensegel, Frickingen, Haslachmühle, Aulendorf, Bad Waldsee, Kisslegg, Baienfurt, M.Schussental, Langwiese, Ried, Vogt, Wangen²⁾ BY : ARAs Oberstaufen, O.Leiblach, Rothach, Grünenbach³⁾ V : ARAs R.Bezau, Dornbirn, R.Hohenems, R.Vorderland, R.Feldkirch, R.Walgau, R.Bludenz, R.Montafon⁴⁾ FL : ARA Benden⁵⁾ GR : ARAs Chur, Davos, Igis/Landquart, Arosa⁶⁾ SG : ARAs St.Gallen-Hofen, Rosenbergsau, Buchs

Tabelle A6: Die Beteiligung von Abwasser an Phosphor- und Stickstoff-Frachten zum Bodensee-Obersee 1986, 1996 und 1997

	P [t]			N [t]		
	1986	1996	1997	1986	1996	1997
Von der Gesamtfracht	2296	1179	1495	21076	14981	15934
davon im Schweb	1677	972	1300	3035	1920	2236
stammten aus	-----					
ARAs, Hinterland	189	57	57	2420	2059	1841
restl. Abw., Hinterland	231	64	64	929	305	305
ARAs, Randgebiet	54	35	30	1360	1206	1119
restl. Abw., Randgebiet	61	19	19	256	90	90
diffusen Einträgen	1719	974	1309	15404	10683	12136
Niederschlägen	42	30	16	707	638	443

Veröffentlichungen der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB)

- Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees vom 1. Juni 1967
überarbeitete Fassung vom 9. Mai 1972
Neufassung vom 27. Mai 1987
- Schutz dem Bodensee, Jubiläumsschrift, 15 Jahre Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee 1974
- Schutz dem Bodensee, Faltbatt, 25 Jahre Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee 1984
- 40 Jahre Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Jubiläumsschrift 1999
- Limnologischer Zustand des Bodensees, Jahresberichte (Grüne Berichte) seit 1976

IGKB-Berichte (Blaue Berichte)

- | | | |
|--------|---|------|
| Nr. 1 | Zustand und neuere Entwicklung des Bodensees | 1963 |
| Nr. 2 | Die Abwasserbelastung der Uferzone des Bodensees | 1964 |
| Nr. 3 | Die Sauerstoffschichtung im tiefen Hypolimnion des Bodensee-Obersees 1963/64 mit Berücksichtigung einiger Untersuchungsergebnisse aus früheren Jahren | 1964 |
| Nr. 4 | Gewässerschutzvorschriften der Bodensee-Anliegerstaaten | 1966 |
| Nr. 5 | Die Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse des Bodensees in den Jahren 1961 bis 1963 | 1967 |
| Nr. 6 | Untersuchungen zur Feststellung der Ursache für die Verschmutzung des Bodensees | 1967 |
| Nr. 7 | Stellungnahme der Sachverständigen zur Frage einer Bodensee-Ringleitung | 1967 |
| Nr. 8 | Die Sauerstoffbilanz des Bodensee-Obersees | 1967 |
| Nr. 9 | Bodensee-Sedimente | 1971 |
| Nr. 10 | Bericht über den Bodensee | 1971 |
| Nr. 11 | Die Berechnung von Frachten gelöster Phosphor- und Stickstoffverbindungen aus Konzentrationsmessungen in Bodenseezuflüssen | 1973 |
| Nr. 12 | Die Makrophytenvegetation in der Uferzone des Bodensees | 1973 |
| Nr. 13 | Bau- und Investitionsprogramm - Stand der Abwasserbeseitigung | 1973 |
| Nr. 14 | Regenentlastungsanlagen, Bemessung und Gestaltung | 1973 |
| Nr. 15 | Strömungsverhältnisse im Bodensee-Untersee und der Wasseraustausch zwischen den einzelnen Seebecken | 1974 |
| Nr. 16 | Zustand und neuere Entwicklung des Bodensees | 1975 |
| Nr. 17 | Die Belastung des Bodensees mit Phosphor-, Stickstoff- und organischen Verbindungen im Seejahr 1971/72 | 1976 |
| Nr. 18 | Die Phytoplanktonentwicklung im Bodensee in den Jahren 1961 bis 1963 | 1976 |
| Nr. 19 | Stand der technischen Möglichkeiten der Phosphorelimination aus kommunalen Abwässern | 1977 |
| Nr. 20 | Die Entwicklung des Crustaceenplanktons im Bodensee, Obersee (1962-1974) und Rheinsee (1963-1973) | 1977 |
| Nr. 21 | Die langjährige Entwicklung des Phytoplanktons im Bodensee (1963-1973), Teil 1 Untersee | 1977 |
| Nr. 22 | Chemismus des Freiwassers des Bodensee-Obersees in den Jahren 1961 bis 1974 | 1979 |
| Nr. 23 | Die langjährige Entwicklung des Phytoplanktons im Bodensee (1965-1975), Teil 2 Obersee | 1979 |

Nr. 24	Bau- und Investitionsprogramm, Stand der Abwasserbeseitigung im Einzugsgebiet des Bodensee-Obersees und des Untersees Planungszeitraum 1978-1985	1981
Nr. 25	Zum biologischen Zustand des Seebodens des Bodensees in den Jahren 1972 bis 1978	1981
Nr. 26	Die submersen Makrophyten des Bodensees - 1978 im Vergleich mit 1967 -	1981
Nr. 27	Die Veränderungen der submersen Vegetation des Bodensees in ausgewählten Testflächen in den Jahren 1967 bis 1978	1981
Nr. 28	Die Belastung des Bodensees mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen und organischem Kohlenstoff im Abflussjahr 1978/79	1982
Nr. 29	Limnologische Auswirkungen der 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
Nr. 52	Transport wassergefährdender Stoffe im Ufer- und im Zuflussbereich des Bodensees	2000
Nr. 53	Dem Bodensee in den Abflussjahren 1996 und 1997 zugeführte Stofffrachten	2000