

Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee: 49,1998

ISSN 1011-1263

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee

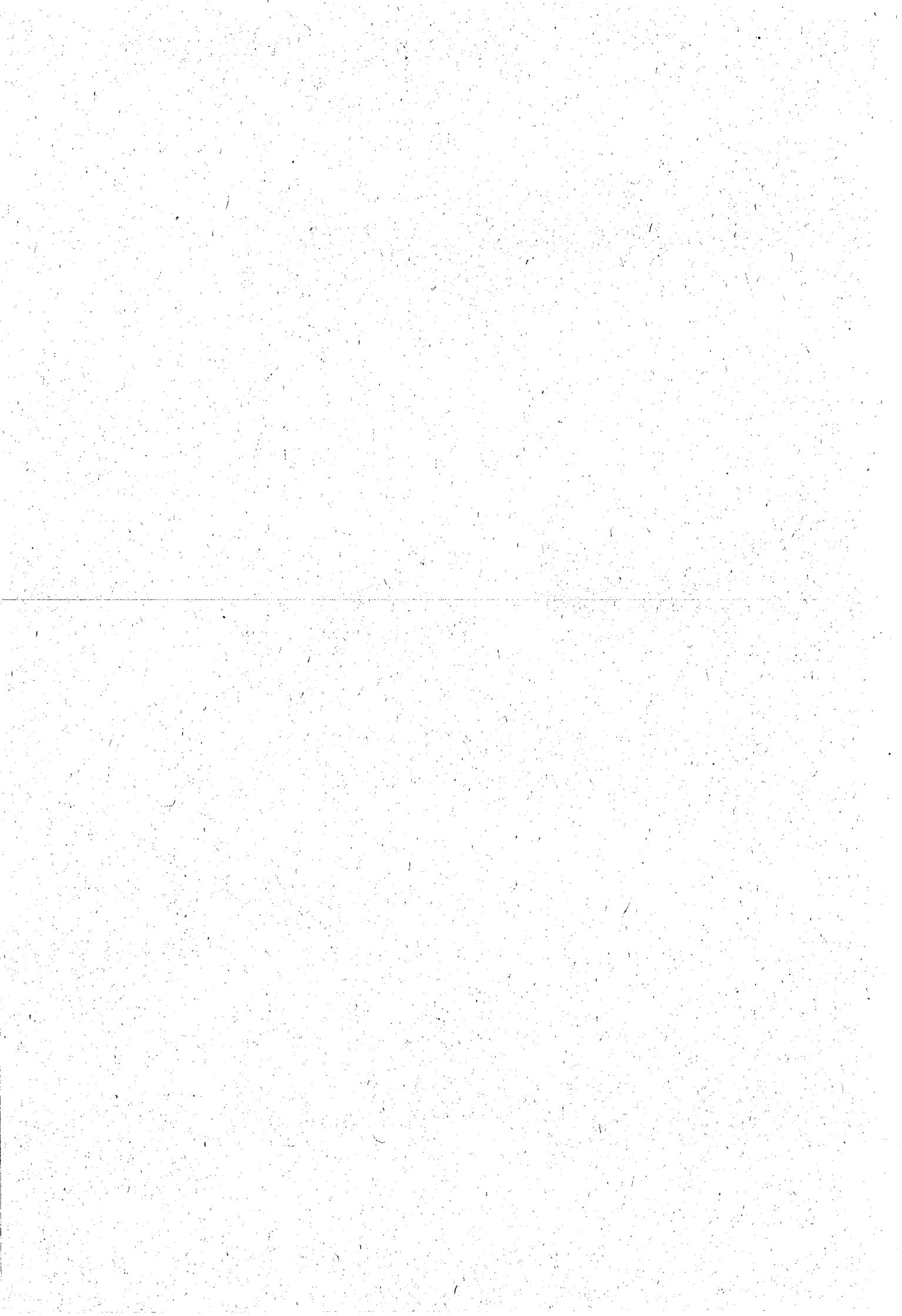
Bericht Nr. 49

**Abschätzung des einwohnerbezogenen
Nährstoffaustrags aus Regentlastungen
im Einzugsgebiet des Bodensees**

(Studie)

**Bearbeiter: Prof. Dr.-Ing. H. Brombach und Geogr. S. Michelbach
UFT - Umwelt und Fluid-Technik -**

- 1998 -



Abstracts

Abschätzung des einwohnerbezogenen Nährstoffaustrags aus Regenentlastungen

Die vorliegende Arbeit fasst die in der Literatur veröffentlichten Daten von Nährstoffeinträgen aus Regenwasserentlastungen und Daten aus eigenen Messprogrammen des Verfassers zusammen und bewertet diese. Kern der Studie ist die Ableitung eines einfachen Verfahrens, mit dessen Hilfe aus der Einwohnerzahl und dem Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung der Nährstoffaustrag aus Regenentlastungen abgeschätzt werden kann. Das Verfahren benutzt neuere Messdaten aus Kanalnetzen, die nach dem Wegfall des Phosphors aus Waschmitteln nach 1990 gewonnen wurden. Voraussetzung für die Anwendung des Verfahrens ist, dass die Kläranlage auch bei Regenwetter einen guten Wirkungsgrad hat und dass die vorhandenen Regenentlastungen den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen. Die Genauigkeit des Schätzverfahrens wird bezogen auf die Jahresentlastungsfracht mit besser als $\pm 30\%$ angenommen.

Estimation des apports de nutriments à partir des déversoirs d'orage, en fonction de la population

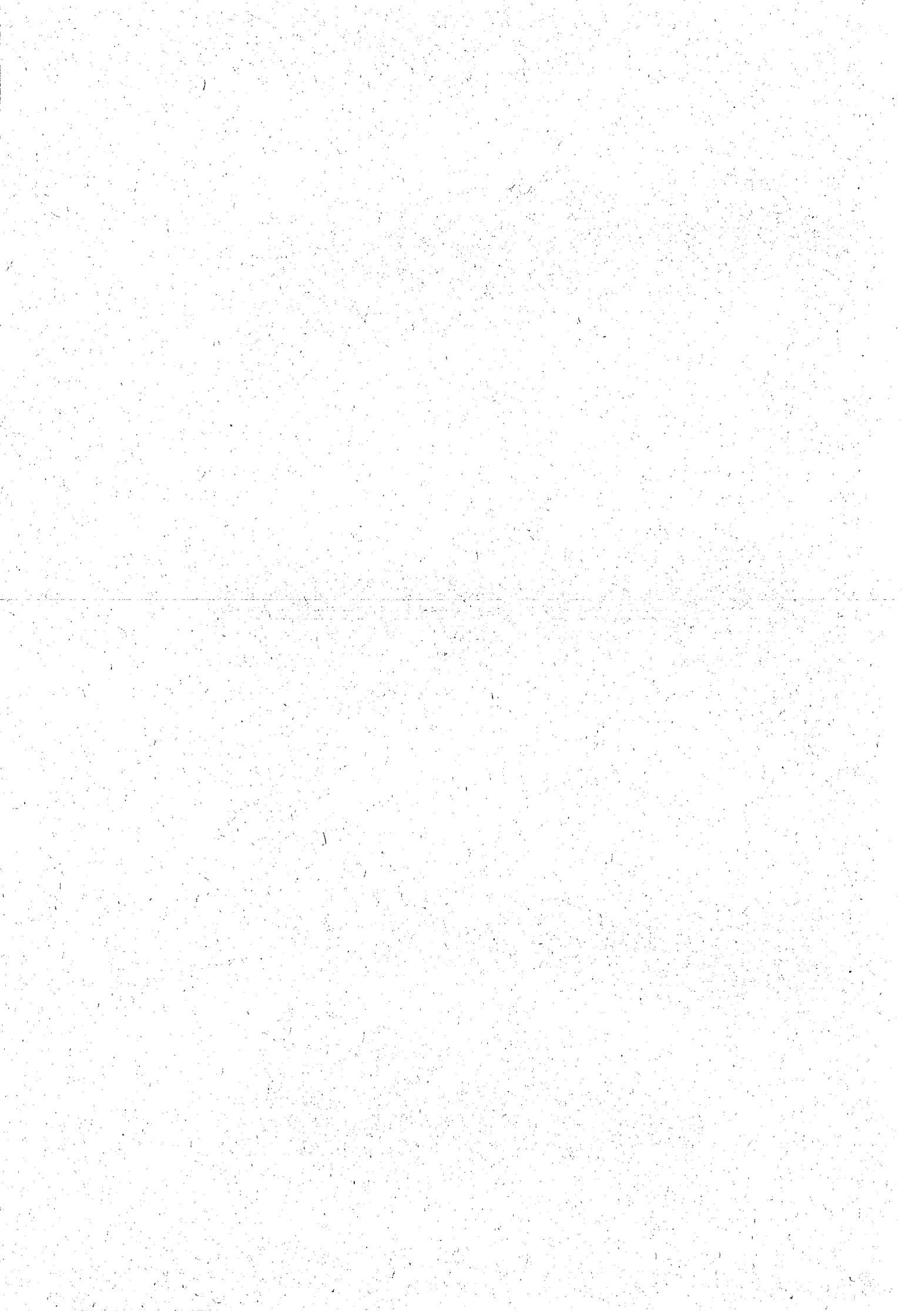
Le présent travail résume les données publiées dans la littérature, relatives aux apports des nutriments à partir des déversoirs d'orage, ainsi que celles issues des programmes de mesure de l'auteur; ce rapport les met en valeur. L'essence de l'étude consiste en l'émergence d'un procédé simple permettant d'estimer les apports de nutriments à partir des déversoirs d'orage, sur la base de la population et de l'efficacité du traitement des eaux météoriques. Ce procédé tient compte de données récentes sur les réseaux de canalisation, accumulées depuis la disparition du phosphore des produits de lessive, après 1990. Pour pouvoir recourir à ce procédé, il faut que la station d'épuration soit efficace, également par temps de pluie, et que les déversoirs d'orage présents correspondent aux règles généralement reconnues de la technique.

La précision de ce procédé estimatif est supérieure à $\pm 30\%$, par rapport au flux annuel déversé.

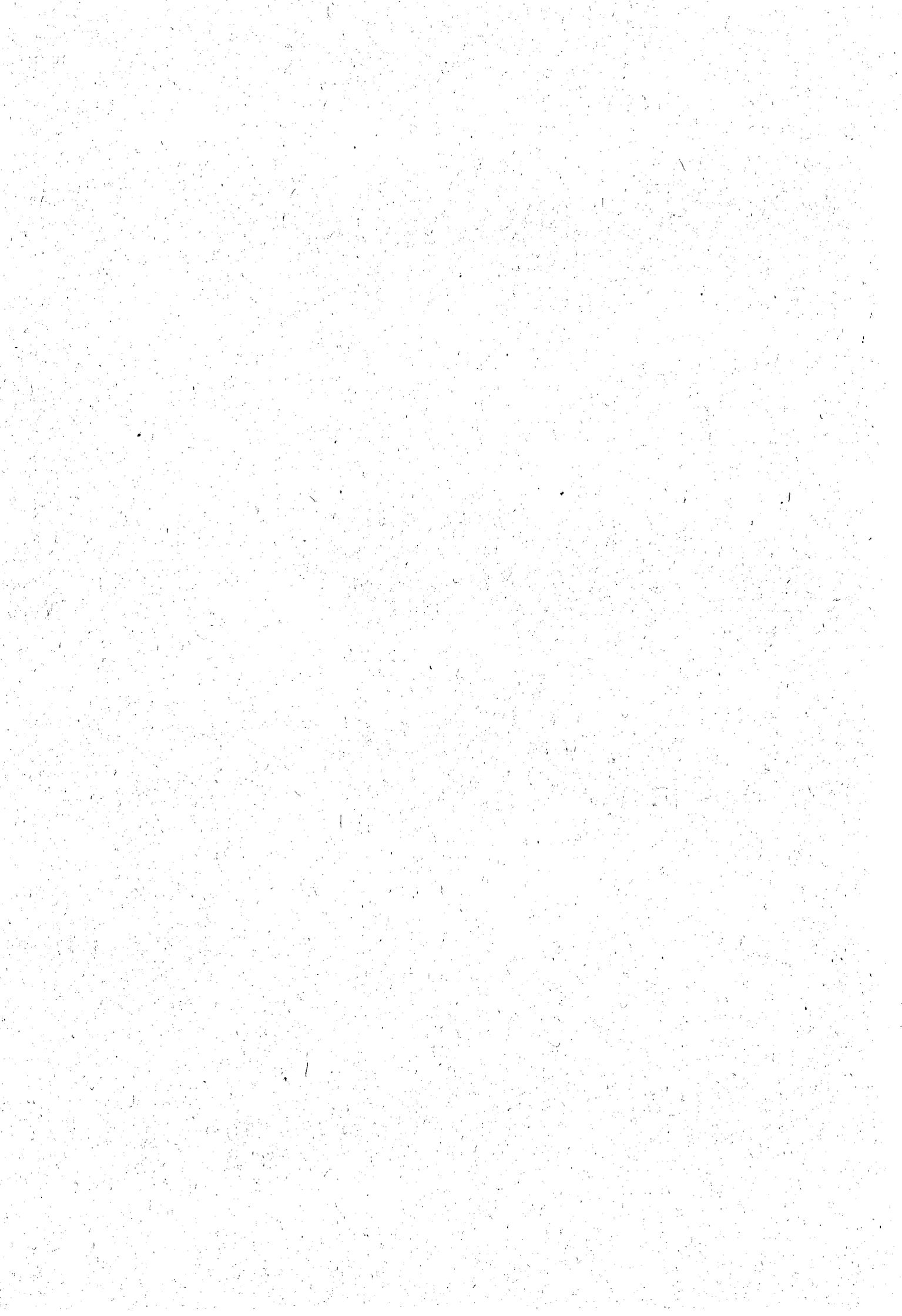
Approximate determination of nutrient discharge from rainwater by-pass

The present work summarises and evaluates the published data for nutrient discharge from rainwater by-pass canals, and includes data from the author's own measurement programs. The aim of the study is to develop a simple procedure for calculating nutrient discharge from rainwater by-pass canals as a function of population, and taking the technical standard of waste water treatment into consideration. The procedure exploits new measurement data on sewerage networks taken after phosphorus was eliminated from washing products in 1990. The proposed procedure may be adopted assuming that sewage treatment remains efficient following rainfall, and that the existing rainwater by-pass is designed according to state-of-the-art technology.

The accuracy of the approximation is estimated to be better than $\pm 30\%$ of annual load of discharge.



Inhalt	Seite
1. Veranlassung	3
2. Der Bodensee	4
2.1 Hydrologie und Einzugsgebiet	4
2.2 Die Nährstoffbelastung des Bodensees	4
3. Literaturstudie und Auswertung aktueller Forschungsprojekte zum Nährstoffaustrag aus Regenentlastungen	6
3.1 Bisherige Arbeiten zum Nährstoffaustrag aus Regenentlastungen	6
3.2 Aktuelle Nährstoffkonzentrationen im Zufluß von Kläranlagen	8
3.3 Neue Forschungsarbeiten zum Nährstoffaustrag aus Regenentlastungen der Mischkanalisation	9
3.4 Nährstoffaustrag aus Regenentlastungen der Trennkanalisation	13
4. Schätzverfahren zur Ermittlung der Nährstofffrachten aus Regenentlastungen	15
4.1 Verfahren zur Abschätzung der entlasteten Wassermengen aus Mischkanalisationen	15
4.2 Zusammenhang zwischen der Konzentration und der Höhe des Mischwasserabflusses	17
4.3 Funktionaler Zusammenhang zwischen Ausbaugrad und Entlastungskonzentration	19
4.4 Verfahren zur Abschätzung des Nährstoffaustrags aus Regenentlastungen	21
5. Bilanzbeispiele, Fehlerabschätzung	23
5.1 Bilanz Einzugsbereich Landratsamt Ravensburg, Einzugsgebiet der Schussen und des Bodensees	23
5.2 Fehlerabschätzung	23
6 Gesamtaustrag an P und N aus den Siedlungsgebieten über Regenentlastungen und Kläranlage	24
7. Zusammenfassung	25
Literatur	27



1. Veranlassung

Die Phosphorkonzentration des Bodensees ist von ihrem maximalen Wert von 87 mg/m³ im Jahre 1979 auf 24 mg/m³ in 1995 zurückgegangen. Demgegenüber steigt der Stickstoffgehalt immer noch leicht an.

Der Rückgang der Phosphorwerte ist hauptsächlich auf einen weitgehenden Ausbau der Abwasseranlagen im Einzugsgebiet des Sees und auf den Rückgang der Phosphorgehalte in den Waschmitteln zurückzuführen. Besondere Bedeutung hat dabei die moderne Abwasserreinigungstechnik. Obwohl der Erfolg dieser Maßnahmen deutlich sichtbar ist, zeigen die Sauerstoffgehalte im Tiefenwasser, daß der See bei ungünstigen Witterungsverhältnissen (zirkulationsarme Winter) immer noch einen kritischen Zustand erreichen kann.

Angesichts der engen technischen und wirtschaftlichen Spielräume und dem inzwischen erreichten hohen Stand der öffentlichen Abwasserentsorgung im See-einzugsgebiet sind die **Erfassung und Quantifizierung der Phosphor- und Stickstoffausträge aus Regenentlastungen von besonderer Bedeutung.**

Brauchbare Abschätzungen der Nährstoffausträge aus Regenentlastungen scheiterten bisher daran, daß die hierfür vorhandenen Ansätze nicht an Entlastungsstellen gemessen, sondern aus den Zuleitungen von Kläranlagen hergeleitet waren. Kenntnisse über die Größenordnung der Nährstoffausträge aus Regenentlastungen sind eine Voraussetzung für die Entwicklung einer effektiven Strategie für die Regenwasserbehandlung in Siedlungen.

Die von der IGKB in Auftrag gegebenen Arbeiten umfassen:

- 1) Durchführung einer **Literaturstudie** zur Ermittlung einwohnerbezogener Phosphor- und Stickstofffrachten in den Entlastungen von Misch- und Trennkanalisationen.
- 2) Ausarbeitung eines Vorschlages, wie die **aus Kanalisationsentlastungen abgegebenen Jahresfrachten** an Stickstoff und Phosphor im Bodensee-Einzugsgebiet einwohnerbezogen und in Abhängigkeit vom Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung abgeschätzt werden können.

2. Der Bodensee

2.1 Hydrologie und Einzugsgebiet

Der Bodensee ist nach dem Genfer See der zweitgrößte See am Nordrand der Alpen. Seine Entstehung ist hauptsächlich glazialen Ursprungs. Der Bodensee und sein 11 487 km² großes Einzugsgebiet gehören zum Abflusssystem des Rheins, siehe Bild 1. Der See selbst hat eine Oberfläche von ca. 540 km². Das Einzugsgebiet umfaßt Teile von Baden-Württemberg, Bayern, Österreich, Liechtenstein, der Schweiz und Italien. Die wichtigsten Zuflüsse zum Bodensee zeigt Bild 2 /1/. Bei einer maximalen Tiefe von ca. 254 m, siehe Bild 3, beträgt das Volumen des Sees 48,5 Milliarden m³. Die Jahressumme der Niederschläge schwankt zwischen 800 mm pro Jahr im baden-württembergischen Teileinzugsgebiet und mehr als 1200 mm pro Jahr in Teilen der Einzugsgebiete der Schweiz und Österreichs. Der mittlere Abfluß, bezogen auf den Pegel Konstanz, ist ca. 372 m³/s, das entspricht ca. 1.000 mm Abflußhöhe pro Jahr oder einer mittleren Verweilzeit des Wassers im Bodensee von 4,1 Jahren.

Der Bodensee und sein Umland ist eine dicht besiedelte Region von europaweiter Bedeutung. Der Naturraum Bodensee hat eine einzigartige Tier- und Pflanzenwelt und ist deshalb von hohem ökologischen Wert. Aus dem See wird das Trinkwasser für über 4 Millionen Menschen in den angrenzenden Ländern gewonnen /2/. Die gesamte Trinkwasserentnahme aus dem Bodensee beträgt mit ca. 0,14 km³/a ca. 1,2 % des Jahreszuflusses von 11,6 km³/a.

2.2 Die Phosphorbelastung des Bodensees

Entscheidend für die Seebelastung ist der Phosphor als maßgeblicher Steuerungsfaktor für die Entwicklung der Algenbiomasse. Seit 1980 ist die Phosphorkonzentration wieder deutlich zurückgegangen, siehe Bild 4 /3/4/.

Aus einer Analyse der Phase mit zunehmender Eutrophierung des Sees geht hervor, daß der Zusammenhang zwischen Phosphor und Algenbiomasse im See einer Sättigungskurve folgte, siehe Bild 5 /5/, wobei der Phosphor bei zunehmender Eutrophierung immer weniger zur Bildung von Algenbiomasse beitrug /6/. Unter der Voraussetzung, daß der Zusammenhang zwischen Algenbiomasse und Phosphorgehalt im See bei rückläufigen Konzentrationswerten einer ähnlichen Gesetzmäßigkeit folgt, wird der Effekt der Phosphorverminderung auf das Wachstum der Biomasse mit abnehmender Phosphorkonzentration zunehmend wirksamer.

Durch den Einfluß des Phytoplanktons auf den Sauerstoffgehalt des Tiefenwassers stellt dessen Wachstum die eigentliche Gefahr für das Ökosystem des Sees dar.

Dieses Problem hat durch den seit Mitte der 80er Jahre zu beobachtenden, klimabedingten Trend zu kürzeren und unvollständigeren Vollzirkulationen mit den damit bedingten schlechteren Sauerstoffverhältnissen im Tiefenwasser eine ernst zu nehmende Verschärfung bekommen.

Um die Belastung des Bodensees aufzuzeigen, wurden seit Gründung der IGKB drei großräumige Stoffbilanzen für dessen Einzugsgebiet für die Jahre 1971/72, 1978/79 und 1985/86 aufgestellt und ausgewertet /7/8/9/. Schwerpunkt der Stoffbilanzen waren in allen drei Fällen der Phosphor- und der

Stickstoffeintrag. Kurz nach Abschluß dieser Arbeit wurde mit der vierten Stoffbilanz der Zuflußuntersuchung 1995/97 begonnen. Ihre Ergebnisse können hier aus verständlichen Gründen noch nicht berücksichtigt werden.

Die letzte Bilanz der Jahre 1985/86 hat folgende Phosphorfrachten zum Obersee ergeben, siehe Tabelle 1 /7/.

Tabelle 1: Summe aller Jahres-Phosphorfrachten zum Bodensee Obersee für das Bilanzjahr 1985/86

- 189 t (8%)	gereinigtes Abwasser des Hinterlandes
- 231 t (10 %)	ungereinigtes Abwasser des Hinterlandes
- 54 t (2 %)	gereinigtes Abwasser der Seeanlieger
- 61 t (3 %)	ungereinigtes Abwasser der Seeanlieger
- 42 t (2 %)	Niederschläge auf die Seeoberfläche
- 521 t (23 %)	gesamter gelöster Austrag aus dem ländlichen Areal
- 1.198 t (52 %)	<u>gesamter partikulärer Austrag aus dem ländlichen Areal</u>
2.296 t P	Summe aller Phosphorfrachten pro Jahr

Von den insgesamt 2.296 t Phosphor, die 1985/86 in den Obersee eingetragen wurden, waren 73 % an Flußschwebstoffe gebunden. Für das Pflanzenwachstum ist aber der gelöste Anteil von größerer Bedeutung, da er weitgehend direkt von den Pflanzen aufgenommen werden kann. Vom Eintrag an gelöstem Phosphor, das sind 620 t P oder 27 % des Gesamteintrags, stammten rund 50 % aus dem ländlichen Areal, die andere Hälfte aus gereinigtem und ungereinigtem Abwasser. Wie im Bericht 40 der IGKB /7/ weiter ausgeführt wird, waren es 292 t (12,7 %) aus dem ungereinigten Abwasser der Seeanlieger und des Hinterlandes. Etwas weniger, 243,6 t (10,6 %), stammten aus dem gereinigten Abwasser der Kläranlagen. WAGNER und BÜHRER /7/ kommen nach ihren Frachtabschätzungen zu dem Schluß, daß ein erheblicher Teil des Phosphors aus ungereinigtem Abwasser aus den Regenentlastungen stammen müsse.

Kurz nach Abschluß dieser Arbeit wurde mit der vierten Stoffbilanz, der Zuflußuntersuchung 1995/97 begonnen. Ihre Ergebnisse konnten hier aus verständlichen Gründen noch nicht berücksichtigt werden.

3. Literaturstudie und Auswertung aktueller Forschungsprojekte zum Nährstoffaustrag aus Regenentlastungen

Im folgenden werden frühere und neuere Ergebnisse zum Nährstoffaustrag aus Regenentlastungen vorgestellt und diskutiert.

3.1 Bisherige Arbeiten zum Nährstoffaustrag aus Regenentlastungen

Die Nährstoffbelastung des Bodensees war schon in den 80er Jahren Gegenstand von Forschungsarbeiten. KORB et al. (1986) /10/ haben Anfang der 80er Jahre am Regenüberlaufbecken der Verbandskläranlage des Abwasserreinigungsverbandes „Untere Radolfzeller Ach“ den Phosphorausstrag untersucht. Der Vorfluter für diese Kläranlage ist der Bodensee. Aus insgesamt 10 beprobten Regenüberlaufereignissen ergab sich ein Mittelwert von 5 mg/l P-Ges. Übertragen auf alle anderen Regenentlastungen im Verbandsgebiet betrug der Jahresaustrag an Phosphor 148 - 182 g/(E-a). Um die Größenordnung dieser Werte richtig wichten zu können, ist es von Bedeutung zu wissen, daß die Untersuchung noch zu Zeiten phosphathaltiger Waschmittel stattfand. Weiterhin stammen die Daten von einem Regenüberlaufbecken unmittelbar vor der Kläranlage, was höhere Schmutzkonzentrationen als an den übrigen Entlastungen zur Folge gehabt haben dürfte.

HAHN und HEIß (1989) /11/ haben den Phosphoreintrag in die Gewässer aus Kläranlagen und Regenbecken untersucht. Es wurden die Zulaufkonzentrationen von Kläranlagen ausgewertet. Leider gaben die Autoren keine genauen Angaben zu den ermittelten mittleren Konzentrationen. Nur aus der Abbildung 6 dieser Veröffentlichung läßt sich für den Zufluß zu einer Kläranlage bei Regen eine mittlere Konzentration von ca. 4 mg/l Phosphor ablesen. Vielleicht scheuten die Autoren die Veröffentlichung einer mittleren P-Konzentration, da die Messungen aus den Routinemessungen von Kläranlagen stammten und nicht gezielt auf die Ermittlung der Regenwettersituation ausgelegt waren. Die Autoren erwähnen häufig die Unsicherheiten in allen Summanden der Phosphorbilanz. Die Untersuchung endet letztlich mit einer Gesamtbilanzierung des Phosphoreintrags in den Bodensee. Danach stammen ca. 100 t/a Phosphor aus den Regenentlastungen und ca. 700 t/a aus den Kläranlagenabläufen.

Eine sehr wichtige Arbeit zum Thema Nährstoffbelastung der Gewässer ist die Studie über die Wirkung und Qualitätsziele von Nährstoffen in Fließgewässern /12/, unter Fachleuten kurz auch „Wirkstudie“ genannt. Danach ist mit folgenden einwohnerspezifischen P- und N-Belastungen im häuslichen Abwasser zu rechnen, siehe Tabelle 2:

Tabelle 2: Einwohnerspezifische P- und N-Belastung im häuslichen Abwasser,
Angaben der Wirkstudie /12/ für P erweitert um das Jahr 1993.

	1975	1985	1987	1989/90	1993 (UFT)
	g/E·d	g/E·d	g/E·d	g/E·d	g/E·d
P aus menschlichen Ausscheidungen	1,6 (33 %)	1,6 (45,5%)	1,6 (57%)	1,6 (64%)	1,6 (72%)
P aus Nahrungsmittelresten	0,3 (6%)	0,3 (9%)	0,3 (11%)	0,3 (12%)	0,3 (13%)
P aus Wasch- und Reinigungsmitteln	3 (61%)	1,6 (45,5%)	0,9 (32%)	0,45 (18%)	0,17 (8%)
Sonstiges				0,15 (6%)	0,15 (7%)
Summe	4,9(100%)	3,5(100%)	2,8(100%)	2,5(100%)	2,2(100%)

	g/E·d
N aus menschlichen Ausscheidungen, insgesamt	10-15
davon im Stuhl	ca. 1-2
Harnstoff	8,5-12,75
Ammonium-Stickstoff	0,3-0,45

Die Angaben für das Jahr 1993 im rechten Block der Tabelle stammen vom Verfasser. Nach Angaben des Umweltbundesamtes /13/ ging nach Inkrafttreten der Verordnung über Höchstmengen für Phosphate in Wasch- und Reinigungsmitteln der Phosphorverbrauch für Waschmittel stetig zurück, siehe Bild 6. 1993 wurden nur noch 4.000 t P in Wasch- und Reinigungsmitteln verbraucht. Bezogen auf 65,7 Mio. Einwohner ist dann mit einem Phosphoranfall von 0,17 g/E·d zu rechnen. Insgesamt ging damit 1993 die Phosphorfracht im Abwasser auf ca. 2,2 g/E·d zurück.

Über die Mengen an Gesamt-N aus Speiseresten etc. gibt es nach der Wirkstudie kaum Zahlen. Bezüglich der Wasch- und Reinigungsmittel dürfte die Menge aber 0,15 g/E·d Gesamt-N kaum überschreiten.

Insgesamt werden in der „Wirkstudie“ folgende mittlere Konzentrationen für die Gesamtbilanz des Nährstoffaustrags aus Regenentlastungen zum Ansatz gebracht:

	Mischkanalisation	Trennkanalisation
Phosphor	5 mg/l	1 mg/l
Stickstoff	18 mg/l	3 mg/l

Diese älteren Angaben für den Nährstoffaustrag aus Misch- und Trennkanalisationen sind für die folgenden Überlegungen wichtig, da daran die Erkenntnisse aus den neuen Forschungsarbeiten, die in Kapitel 3.3 vorgestellt werden, in ihrer Bedeutung für den Nährstoffaustrag gemessen werden.

3.2 Aktuelle Nährstoffkonzentrationen im Zufluß von Kläranlagen

Die früheren Angaben zum Nährstoffaustrag aus Mischkanalisationen, KORB ET AL. /10/ und HAHN und HEIß /11/, wurden, wie bereits erwähnt, aus Daten, die von Zuläufen von Kläranlagen stammen, gewonnen. Im folgenden wird deshalb zuerst ein Vergleich dieser Daten mit aktuellen Messungen von Zuläufen von Kläranlagen angestellt. Die Daten stammen von folgenden Kläranlagen /14/15/16/:

Kläranlage Langwiese, Ravensburg (1994)	76.000 E
Kläranlage Bad Mergentheim (1991-1993)	21.792 E
Kläranlage Hardheim-Höpfingen (1991-1993)	12.350 E

Die Ergebnisse der Auswertungen sind in den Bildern 7 bis 9 dargestellt. Die jeweils oberen Graphiken zeigen die Konzentrationen für P-Ges in mg/l. Die Trendgerade der Regressionsrechnung zeigt den Zusammenhang zwischen dem Zufluß und der Konzentration. Danach nimmt mit steigendem Zufluß die Konzentration ab. Für alle der gezeigten Kläranlagenzuflüsse gilt, daß beim höchsten Zufluß die Konzentration unter den Wert von 2 mg/l P zurückgeht. Am aussagekräftigsten sind dabei die Daten des Klärwerks Langwiese in Ravensburg, siehe Bild 7. Bei hohem Mischwasserzufluß sinken die Konzentrationen sogar unter 1 mg/l ab. In Tabelle 3 sind die mittleren Konzentrationen für P und N der drei untersuchten Kläranlagen aufgelistet /14/15/16/. Danach ergeben sich im Mittel 4,1 mg/l P für den gesamten Zufluß.

Tabelle 3: Zulaufkonzentrationen für P der untersuchten Kläranlagen

	P-Ges
	mg/l
Kläranlage Langwiese, Ravensburg, 1994	2,6
Kläranlage Bad Mergentheim, 1991 - 1993	5,4
Kläranlage Hardheim-Höpfingen, 1991 - 1993	4,3
Mittel	4,1

In den jeweils unteren Graphiken der Bilder 7 bis 9 sind die Zulaufkonzentrationen mit den Zuflüssen in Zulauffrachten pro Einwohner und Tag umgerechnet. Zum Vergleich sind die Angaben von MEIßNER /17/, und die Werte aus der „Wirkstudie“ /12/ miteingezeichnet. MEIßNER /17/ stellt auf der Basis der A128 /18/ ein Schätzverfahren vor, womit die über das Jahr im Mischwasser transportierten an Regenentlastungen abgeschlagenen und aus Kläranlagen ausgetragenen Schmutzfrachten bestimmt werden können. Für die Berechnung der einwohnerbezogenen Phosphorfracht nimmt er einen Wert von 1,8 g/E·d an.

Für die untersuchten Kläranlagen wurden folgende mittlere Phosphor-Zulaufmengen ermittelt, siehe auch Bilder 7, 8 und 9:

Kläranlage Langwiese, Ravensburg, 1994 /14/	2,0 gP/E·d
Kläranlage Bad Mergentheim, 1991-1993 /15/	2,4 gP/E·d
Kläranlage Hardheim-Höpfingen, 1991-1993 /16/	1,9 gP/E·d

Mittel	2,1 gP/E·d

Diese Werten stimmen mit der einwohnerspezifischen P-Belastung im häuslichen Abwasser in Tabelle 2 für das Jahr 1993 sehr gut überein.

Weiter zeigen die Trendgeraden in den unteren Graphiken der Bilder 7 bis 9, daß mit zunehmendem Zufluß auch die Zulaufmenge in g/E·d zunimmt. Das bedeutet, daß bei niedrigem Abfluß ein Teil des von den Einwohnern produzierten Phosphors die Kläranlage nicht erreicht, sondern in der Kanalisation sedimentiert oder in die Sielhaut eingelagert wird. DAUBER UND NOVAK /19/ geben zum Beispiel an, daß in 100 g Sielhaut (Trockensubstanz) ca. 0,75 g Phosphor enthalten sind. Zusätzlich kommt hinzu, daß bei Regen auch aus dem Oberflächenschmutz Phosphor in die Kanalisation gespült wird, siehe auch Kapitel 3.4.

Bei Regen werden dann die Kanalablagerungen und die Sielhaut erodiert und mit dem Mischwasser fortgespült. All diese Prozesse haben zur Folge, daß mit steigendem Abfluß höhere Frachten an P, bezogen auf den einzelnen Einwohner, mit dem Mischwasser transportiert werden als bei Trockenwetter. Es stellt sich nun die Frage, inwieweit aus diesen mittleren Konzentrationen im Mischwasserabfluß auf die tatsächlichen Konzentrationen in den Regenentlastungen und damit auf die einwohnerspezifischen Entlastungsmengen geschlossen werden kann. Dazu mehr im folgenden Kapitel.

3.3 Neue Forschungsarbeiten zum Nährstoffaustrag aus Regenentlastungen der Mischkanalisation

Wie in Bild 6 und Tabelle 2 zu sehen ist, hat der P-Verbrauch in Waschmitteln in Deutschland erst nach 1990 sehr niedrige Werte erreicht /13/. Will man für die heutige Situation der Nährstoffmengen in Mischkanalisationen realistische Daten zugrundelegen, so sollten keine Daten vor 1990 benützt werden. Damit ist leider das Datenpotential erheblich eingeschränkt. Es gibt zwar vielfältige Literaturangaben zum Stofftransport in Mischkanalisationen, aber die meisten Quellen stammen aus der Zeit vor 1990, oder neuere Quellen zitieren alte Daten. Zudem sind oft nur Angaben über den gesamten Mischwasserabfluß genannt. Für diese Studie werden aber mittlere Konzentrationen im tatsächlich entlasteten Mischwasser gesucht.

Trotz dieser erheblichen Einschränkungen konnten doch 2 Literaturquellen und 7 Forschungsarbeiten zum Stoffaustrag aus Regenentlastungen in Mischkanalisationen gefunden werden, siehe Tabelle 4. Aus der Schweiz konnten uns nach Rückfrage beim schweizerischen Kommissionsmitglied keine neueren Angaben zum Nährstoffaustrag aus Regenentlastungen gemacht werden.

In Tabelle 4 sind unten die arithmetischen Mittelwerte angegeben. Jeder der in der Tabelle aufgeführten Werte hat natürlich seine eigene Geschichte. Folgende Faktoren können die Konzentration an Regentlastungsanlagen beeinflussen:

- unterschiedliches Stoffangebot durch unterschiedliche Einwohnerdichten, oder durch gewerbliche Starkverschmutzer
- unterschiedliches Niederschlagsdargebot zwischen 444 mm/a von SIEKER /20/ aus Norddeutschland bis zu ca. 900 mm/a von FUCHS /21/ aus dem Schwarzwald, siehe Tabelle 3
- unterschiedlicher Fremdwasseranteil im Trockenwetterabfluß
- Gefälle des Einzugsgebietes:
 - steil - wenig Ablagerungen, niedrigere Entlastungskonzentrationen
 - flach - mehr Ablagerungen, höhere Entlastungskonzentration für feststoffgebundene Schmutzparameter
- unterschiedliches spezifisches Beckenvolumen, je größer das spezifische Volumen, desto niedriger ist die Entlastungskonzentration
- unterschiedlich große weitergeleitete Regenspende
- Entlastung an einem nicht vorentlasteten Fangbecken mit voraussichtlich niedrigerer Entlastungskonzentration oder Entlastung an einem mehrfach vorentlasteten Durchlaufbecken mit voraussichtlich höherer Entlastungskonzentration
- Unterschiede der Meßkampagnen zur Gewinnung der Daten, z.B. unterschiedliche Einzelregen, die den Daten zugrundeliegen, Probenahme etc.

Wie die Fülle dieser Einflußfaktoren zeigt, ist es unmöglich, die Daten über die Einflußfaktoren zu wichten. Für die in Tabelle 4 aufgeführten Werte wird deshalb pauschal unterstellt, daß sie unter gleichen Bedingungen gewonnen wurden. Insbesondere wird für die weiteren Überlegungen angenommen:

- Beckenbemessung erfolgte nach A128 neu,
- Ausbaugrad entspricht 100 %,
- weitergeleitete Regenspende war 1,0 l/s·ha,
- mittlerer Jahresniederschlag war 800 mm,
- Einwohnerdichte war 100 E/ha_u.

Die Auswertung der neuen Forschungsarbeiten ergibt damit eine mittlere Entlastungskonzentration für P-Ges von 1,29 mg/l und für N-Ges von 5,4 mg/l, siehe Tabelle 4. Die Werte liegen um den Faktor 4 niedriger, als sie noch in der „Wirkstudie“ /12/ oder bei HAHN & HEIß /11/ für die Nährstoffbilanzen zugrundegelegt wurden. Die Konzentration von P-Ges paßt aber sehr gut mit den Zulaufkonzentrationen des Klärwerks Langwiese der Stadt Ravensburg zusammen, siehe Bild 9.

Für die starke Abnahme der Entlastungskonzentration sind mehrere Gründe verantwortlich. Einmal ist gegenüber 1985 der Phosphorgehalt in den Wasch- und Reinigungsmitteln gegenüber 1993 um 40 %

bezogen auf die Gesamtfracht pro Einwohner und Tag zurückgegangen. Damit läßt sich aber nur ein Rückgang in der Entlastung von 5 mg/l auf $5 \cdot 0,6 = 3$ mg/l erklären. Es müßten also noch weitere Zusammenhänge vorhanden sein, die die fehlenden 1,7 mg/l P erklären.

Eine erste Erklärung für das Defizit wäre, daß die älteren Zahlen aus den Zulaufkonzentrationen von Kläranlagen abgeleitet und nicht richtig interpretiert wurden. Dazu muß man wissen, wie die Daten auf den Kläranlagen gewonnen werden. Der Klärwärter zieht täglich zur gewohnten Zeit, meistens am frühen Vormittag, seine Proben, damit sie im Laufe des Tages analysiert werden können. Die Probenahme dient zur Bestimmung der stofflichen Belastung der Kläranlage. Vormittags ist der Trockenwetterabfluß typischerweise stärker verschmutzt als im Tagesmittel. Nachts oder bei Regen sind die Schmutzkonzentrationen für P und N in den Zuläufen zu den Kläranlagen deutlich niedriger. Diese Werte fehlen aber aus oben genannten Gründen in den Betriebstagebüchern der Kläranlagen. Der alleinige Schluß von der bei Trockenwetter gemessenen Zulaufkonzentration von Kläranlagen auf die mittlere Konzentration des Mischwasserabflusses ist deshalb nicht immer richtig und führt in der Regel zu zu hohen Werten.

Eine andere Erklärung für das Defizit ist, daß sich die Regenwasserbehandlung mit Hilfe der Regenüberlaufbecken im Einzugsgebiet der Kläranlagen auf die Mischwasserzulaufkonzentrationen auswirkt. Die Regenwasserbehandlung bringt mit Hilfe von zusätzlichem Volumen in Form von Fang- und Durchlaufbecken deutlich mehr Schmutz zur Kläranlage als herkömmliche Kanalnetze. Folglich entweicht an den Entlastungen weniger Schmutzfracht mit mehr Wasser, die Konzentrationen im Überlaufwasser werden kleiner. Man darf deshalb heute nicht einfach von den Zulaufkonzentrationen zu den Kläranlagen auf die Entlastungskonzentrationen an Regenentlastungen schließen.

MEIßNER hat in /17/ den Schmutzaustrag aus einer Mischkanalisation unter der Annahme von mittleren Verhältnissen abgeschätzt. Danach beträgt der Phosphoraustrag aus den Regenentlastungen 23 g/(E·a) im Langzeitmittel oder 0,92 mg/l.

Wie weiter oben schon ausgeführt wurde, ist MEIßNER bei seiner Abschätzung von geringfügig niedrigeren einwohnerspezifischen Phosphorfrachten ausgegangen. Die mittlere Entlastungskonzentration für Phosphor dürfte also etwas höher als 0,92 mg/l liegen.

Es erscheint uns deshalb durchaus plausibel, daß für Phosphor heute mit einer mittleren Entlastungskonzentration von 1,3 mg/l gerechnet werden kann.

Tabelle 4: Gerechnete und gemessene Phosphor- und Stickstoffkonzentrationen im entlasteten Mischwasser an Regenüberlaufbecken

lfd. Nr.	Autor	Ort/Land	Jahr Veröffentlichung	Art der Daten	Meß-Jahr	Entlastung über	P-Gel	P-Ges	NO ₃ -N	NH ₄ -N	NO ₂ -N	N-Ges
							mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
S	Meißner, E. /17/	D	1991	Simulation				0,92				6,7
S	Sieker, F. et al. /20/	D	1992	Simulation				1,3	0,4	4,2		
1	Sieker, F. et al. /20/	Hildesheim, D	1992	Messung	1991	KÜ	0,55	1,89	0,34	3,55		
2	Brombach, H. et al. /22/	Schweigern, D	1994	Messung	1993	BÜ	0,56	1,32	1,6	2,0		
3	Brombach, H. et al. /22/	Unterschüpf 1, D	1994	Messung	1993	BÜ	0,57	2,34	1,3	1,6		
4	Brombach, H. et al. /22/	Unterschüpf 2, D	1994	Messung	1993	KÜ	0,50	1,45	0,7	1,6		
5	Baumgartner, C. /23/	Tengen, D	1990	Messung	1990	WA		1,43				
6	Schulz, W. et al. /24/	Ingolstadt, D	1992	Messung	1991	KÜ		0,9	1,8	1,4	0,05	5,4
7	Brombach, H. et al. /25/	Lauf, D	1995	Messung	1994	BÜ		0,7	1,30	0,90		
8	Brombach, H. et al. /25/	Lauf, D	1995	Messung	1994	KÜ		1,16	0,32	3,02		
9	Brombach, H. /26/	Birkenfeld, D	1995	Messung	1994	BÜ	0,39	0,73	1,4	1,6	0,08	
10	Brombach, H. et al. /25/	Neureuth, D	1995	Messung	1994	KÜ	0,76		0,56	6,02		
11	Brombach, H. et al. /25/	Etzenrot, D	1995	Messung	1994	KÜ	0,24		1,69	2,8		
12	Fuchs, S. /20/	Langenalb, D	1993	Messung	1993	BÜ	0,22	0,93	0,56	2,17	0,13	
	arithmetischer Mittelwert aus Nr. 1 - 12						0,47	1,29	1,05	2,42	0,09	5,4

3.4 Nährstoffaustrag aus Regentlastungen der Trennkanalisation

Es wird angenommen, daß sich das Nährstoffdargebot auf den Oberflächen in städtischen Gebieten in den letzten Jahren nicht wesentlich geändert hat. Für den Nährstoffaustrag aus Trennsystemen wird deshalb die Zusammenstellung von BROMBACH /27/ herangezogen, siehe Tabelle 5.

Tabelle 5: Gemessene Phosphor- und Stickstoffkonzentrationen im Regenabfluß aus Trennkanalisationen

Lfd. Nr.	Autor	Ort/Land	Jahr	Lit. 1)	Proben	AFS	NO3	N-Ges	P-Ges
						mgTS/l	mgN/l	mgN/l	mgP/l
17	Pratt u. Adams	Nottingham UK	1973	(117)	ca. 500	214	-	-	-
11	Löderlund et al	Stockholm E4 DK	1973	(111)	-	282	-	2,1	0,08
5	Brunner	München-Pullach D	1975	(105)	1214	158	-	-	-
6	Göttle	München-Pullach D	1978	(106)	108	153	3,78	2,36	1,56
3	Böhnke et al	Aachen-Muffet D	1979	(103)	-	133	1,1	-	0,13
4	Böhnke et al	Aachen-Tivoli D	1979	(104)	-	239	3,6	-	-
18	Roberts et al	Zürich-Hirzenbach CH	1979	(118)	ca. 500	83	1	2,1	0,18
2	Dauber et al	Zürich-Rossb. N1 CH	1979	(102)	-	110	1,3	2,0	0,28
8	Klein	Obereisesheim A6 D	1982	(108)	-	181	-	-	0,35
7	Klein	Pleidelsheim A81 D	1982	(107)	-	137	-	-	0,25
9	Klein	Ulm-West A8/B10 D	1982	(109)	-	252	-	-	0,31
1	Paulsen	Hildesheim D	1986	(101)	1100	-	3,9	6,1	0,53
21	Harremoës	Kopenhagen-Mu. DK	1986	(121)	-	55	1,2	1,4	0,11
19	van Dam et al	Lelystad NL	1986	(119)	ca. 100	149	(0,8)	3,3	0,34
12	Carleton	Sydney AUS	1989	(112)	> 1000	141	-	-	-
16	de Luca et al	Porto Alegre, BR	1991	(116)	ca. 140	152	1,86	-	0,35
15	Kern et al	Bayreuth D	1992	(115)	ca. 50	224	-	-	-
10	Lange und Moog	Bremen-Nord D	1992	(110)	-	123	1,5	-	1,18
20	Sieker et al	Hildesheim-Beuke D	1992	(120)	ca. 50	117	0,35	-	0,33
13	Xanthopoulos	Karlsruhe D	1992	(113)	> 100	564	0,02	-	1,5
14	Vignoles et al	Toulouse F	1992	(114)	ca. 50	138	0,81	1,48	0,34
() abgeleiteter Wert; - nicht gemessen oder nicht berichtet									
Im arithmetischen Mittel (ohne Nr.16):						247	1,61	2,4	0,49

1) Literaturangabe in /27/

Wie in Kapitel 3.1 bereits ausgeführt, wurden in der Wirkstudie für die Regentlastungen im Trennsystem 1 mg/l beim Phosphor und 3 mg/l beim Stickstoff angesetzt. Die Stickstoffwerte von Tabelle 5 und der Wirkstudie weichen kaum voneinander ab. Für die weiteren Überlegungen wird der Wert aus der Tabelle 5 angesetzt. Die dort gezeigten Phosphorwerte streuen stark. Maßgebend für die Konzentrationen im Regenabfluß aus Trennsystemen ist das Phosphordargebot in der Verschmutzung der Oberfläche.

Folgende Phosphorabträge werden von den Oberflächen berichtet:

MEIßNER /17/	2,5 kg/ha-a
GÖTTLE /28/	4,4 kg/ha-a
SCHULZ /24/	0,97 kg/ha-a

Die Annahme von MEIßNER 2,5 kg/ha-a scheint eher eine mittlere Belastung darzustellen. Ausgehend von dieser Oberflächenverschmutzung errechnet er über einen Jahresniederschlag von 800 mm mit einer angenommenen effektiven Abflußhöhe von 520 mm eine mittlere Konzentration im Regenabfluß von der Oberfläche von 0,48 mg/l P. Dieser Wert deckt sich sehr gut mit dem Mittelwert aus den 16 Einzelwerten in Tabelle 5. So erscheint der Wert für die mittlere P-Konzentration von 0,49 mg/l im Regenabfluß aus Trenngebieten plausibel und wird für die künftigen Berechnungen beibehalten.

4. Schätzverfahren zur Ermittlung der Nährstofffrachten aus Regenentlastungen

Um arbeits- und kostenintensive Einzelerhebungen an den Regenentlastungen zu vermeiden, wurde von der IGKB die Forderung nach einem einfachen und anschaulichen Schätzverfahren gestellt.

Im folgenden Kapitel wird das Kernstück der Studie erläutert. Es handelt sich um ein Schätzverfahren, mit dessen Hilfe von der Einwohnerzahl und dem Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung in % auf die Entlastungsfrachten der Nährstoffe P und N geschlossen wird. Das Schätzverfahren basiert auf folgenden Grundlagen:

- Feststellung der mittleren Entlastungskonzentrationen aus der Literaturstudie und den Forschungsarbeiten, siehe Kapitel 3.2 und 3.3.
- Entwicklung des funktionalen Zusammenhangs zwischen Ausbaugrad und Entlastungsfracht (Wasservolumen).
- Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Höhe des Mischwasserabflusses und der Entlastungskonzentration.
- Entwicklung des funktionalen Zusammenhangs zwischen Ausbaugrad und Entlastungskonzentration.
- Berechnung der Entlastungsfracht pro Einwohner und Jahr über das Mischwasserentlastungsvolumen und über die mittleren Entlastungskonzentrationen für mittlere Verhältnisse.

In den folgenden Unterkapiteln werden die einzelnen Entwicklungsschritte zu diesem Verfahren erläutert.

4.1 Verfahren zur Abschätzung der entlasteten Wassermengen aus Mischkanalisationen

Wie bereits erwähnt, hat MEIßNER /17/ nach dem Formelkatalog der A128 /18/ ein Verfahren entwickelt, mit dem sich die entlasteten Wassermengen aus Mischkanalisationen in Abhängigkeit vom spezifischen Beckenvolumen abschätzen lassen. Basis für die A128 ist der Grundsatz, daß aus einer Mischkanalisation nicht mehr Schmutz pro Jahr entweichen darf als aus einer vergleichbaren Trennkanalisation. Ebenso strebt die A128 an, daß über das Bemessungsverfahren ein spezifisches Beckenvolumen gefunden wird, bei dem trotz unterschiedlicher örtlicher Gegebenheiten ein gleichgroßer Schmutzrückhalt wie bei mittleren Verhältnissen erreicht wird.

Dieser Grundsatz ist für unser Schätzverfahren von besonderer Bedeutung. Es ist damit möglich, eine auf mittleren Gebietsverhältnissen beruhende Nährstoffentlastungsfracht einer nach A128 bemessenen Regenwasserbehandlung auf verschiedene Gebietsverhältnisse wie die Kanalisationen im Einzugsgebiet des Bodensees direkt zu übertragen. Das bedeutet, daß nur über die einwohnerbezogene Nährstoffentlastungsfracht und den Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung der Nährstoffaustrag aus Regenentlastungen abgeschätzt werden kann.

Das Verfahren der A128 in /17/ benötigt Angaben über den Schmutzwasserabfluß Q_s , den Fremdwasserabfluß Q_f , die weitergeleitete Regenspende q_r , das spezifische Beckenvolumen je Hektar versiegelter Fläche h_{Na} , und den örtlichen Jahresniederschlag h_{Na} . MEIßNER /17/ hat in seinem Schätzverfahren die Berechnungsformel für das spezifische Beckenvolumen nach der Entlastungsfracht aufgelöst und erhielt folgende Formel, mit der für ein gegebenes spezifisches Beckenvolumen die tatsächliche Mischwasserentlastungsrate e ermittelt werden kann:

$$\text{Formel (A):} \quad e = H1 / (Vs + H2) - 6 + (h_{Na} - 800) / 40$$

$$\text{für} \quad H1 = (4000 + 25 \cdot q_r) / (0,551 + q_r)$$

$$H2 = (36,8 + 13,5 \cdot q_r) / (0,5 + q_r)$$

e = Entlastungsrate in %.

$H1 + H2$ = Hilfsformeln zur Berechnung

Wie die Formeln zeigen, ist die der weitergeleiteten Regenspende q_r ein wirkungsvoller Faktor für die Entlastungsrate e .

Da es unmöglich ist, für jede Gemeinde im Einzugsgebiet des Bodensees Daten bezüglich der Bemessungsparameter Q_s , Q_f , q_r etc. zu erheben, müssen für das weitere Verfahren mittlere, realistische Annahmen getroffen werden. Nach MEIßNER /17/ und unserer Erfahrung sind 100 Einwohner pro Hektar versiegelter Fläche als mittlere Annahme üblich. Der Wasserverbrauch wird auf 150 l/E·d festgelegt. Der Fremdwasseranfall beträgt 25 % des Trockenwetterabflusses oder 33,3 % des Schmutzwasserabflusses. Als mittlerer Jahresniederschlag werden 800 mm pro Jahr angesetzt. Die mittlere Neigungsgruppe NG_m wird vorerst zwischen 1,0, 2,0 und 3,0 variiert. Der n -Wert für die Kläranlagenauslastung beträgt 2,33.

Aus diesen Annahmen errechnet sich über den Formelkatalog der A128 ein erforderliches spezifisches Beckenvolumen von 23,3 m³/ha. Dieser Wert wird als 100 % Ausbaugrad angesetzt.

Eine wichtige Größe für die Bestimmung des erforderlichen Beckenvolumens ist die Regenabflußspende q_r , die im n -Wert für den Bemessungsabfluß der Kläranlage verborgen ist. Regenüberlaufbecken und Kläranlagen werden für einen Planungszustand bemessen. Dies hat zur Folge, daß die Regenabflußspende im Istzustand oft deutlich höher ist, als sie für die Bemessung angesetzt wurde. Für das folgende Schätzverfahren wird deshalb die Regenabflußspende mit 1,0 l/s·ha angenommen. In Tabelle 6 sind alle gewählten Eingangsgrößen für die Bestimmung des erforderlichen Beckenvolumens nach A128 und der entlasteten Wassermengen aus Mischkanalisationen noch einmal zusammengefaßt.

Über das Schätzverfahren von MEIßNER mit Formel A erhält man den Zusammenhang zwischen Entlastungsfracht e und spezifischem Beckenvolumen V_s in Bild 10. In der oberen Graphik ist die Entlastungsfracht, in der unteren Graphik das Entlastungsvolumen für obige Annahmen dargestellt. Für 100 % Ausbaugrad und die Neigungsgruppe 2,0 ist die Entlastungsfracht 40 % oder 2.592 m³/ha·a, bei

0 % Ausbaugrad steigt die Entlastungsrate auf 71 % oder 4.660 m³ pro Hektar und Jahr an. Für die anderen Neigungsgruppen erhält man etwas höhere oder niedrigere Entlastungsraten oder Frachten. Wie Bild 10 zeigt, ist der Unterschied gegenüber der Neigungsgruppe 2,0 relativ klein. Zur weiteren Vereinfachung wird für die folgenden Überlegungen nur noch die Neigungsgruppe 2,0 zugrundegelegt.

Tabelle 6: Gewählte Eingangsgrößen für die Ermittlung der entlasteten Wassermengen aus Mischwasserkanalisationen.

örtliche Jahresniederschlagshöhe	800	mm
Jahresabflußbeiwert der Niederschläge	0,8	
Fließzeit	30	min
Siedlungsdichte	100	E/ha _u
Wasserverbrauch je Einwohner	150	l/d
Tagesspitzenwert des Trockenwetterabflusses	14	h
Fremdwasseranteil im Trockenwetterabfluß	25	%
Neigungsgruppe	2	
n-Wert für den Bemessungsabfluß der Kläranlage	2,33	
spezifisches Beckenvolumen V _s	23,3	m ³ /ha
Regenabflußspende im Istzustand	1,0	l/s·ha

4.2 Zusammenhang zwischen der Konzentration und der Höhe des Mischwasserabflusses

Die Konzentrationswerte von Tabelle 4 stammen von Messungen an Regenüberlaufbecken, und es wurden relativ viele Ereignisse beprobt. Die dargestellten Werte sind deshalb aussagekräftige Mittelwerte für eine Regenwasserbehandlung mit einem Ausbaugrad von ca. 100 %. Was aber ist mit den Fällen, bei denen der Ausbaugrad entscheidend kleiner als 100 % ist?

Im BMBF-Verbundprojekt NIEDERSCHLAG hat unser Haus im Teilprojekt 3 in Phase I die Sedimentations- und Remobilisierungsvorgänge im Abwasserkanal untersucht /29/. Ergebnisse aus diesem Projekt können eine Antwort auf diese Frage geben. Ein Schwerpunkt der Untersuchungen war der Feststofftransport bei Mischwasserabfluß. Aus 17 Regen konnte folgender Zusammenhang zwischen der Höhe des Mischwasserabflusses und der Konzentration der Feststoffe als Trockensubstanz in mg/l, siehe Bild 11, oben, und der Leitfähigkeit als Maß für den Anteil an gelösten Stoffen, siehe Bild 11, unten, gefunden werden. Die Proben stammen aus einem Mischwasserkanal am Regenüberlauf „Herrenwiesen“. An dieser Stelle war gewährleistet, daß der Mischwasserabfluß weitgehend ohne Rückstaueffekte im Kanal abfließt. Der Verlauf der Kurve der Trockensubstanz ist ein Maß für den an Partikel gebundenen Teil des Phosphors.

Die Kurven in Bild 11 stellen mittlere Konzentrationen von 800 Einzelproben dar. Aus dem großen Datenpool wurden für bestimmte Abflußklassen zuerst frachtgewogene Mittelwerte errechnet. Anschließend wurde für die mittleren Werte der Abflußklassen über Regressionsrechnungen eine Funkti-

schließlich wurde für die mittleren Werte der Abflußklassen über Regressionsrechnungen eine Funktion gesucht, die den Zusammenhang zwischen Abfluß und der Konzentration des jeweiligen Parameters am besten beschreibt. An der Funktion für die Trockensubstanz in Bild 11, oben, erkennt man, daß zuerst mit steigendem Abfluß auch die Konzentrationen stark zunehmen. Dies ist auf das Remobilisieren von Kanalablagerungen zurückzuführen („First Flush“). Mit weiter steigendem Abfluß gehen die Konzentrationen stetig zurück. Die Leitfähigkeit in Bild 11, unten, fällt vom hohen Niveau stetig ab. Das bedeutet, daß die Konzentration der gelösten Stoffe im Mischwasserabfluß von der Verdünnung gesteuert wird.

Es gilt aber für beide Kurven, daß im maßgebenden Teil der Abflußwelle, im potentiellen Bereich der Mischwasserentlastung (Abfluß größer als Q_m der Kläranlage) mit steigendem Abfluß die Konzentrationen abnehmen. Daraus kann für die zu Beginn dieses Kapitels gestellte Frage geschlossen werden, daß mit kleiner werdendem Ausbaugrad, was ja zu einer höheren Mischwasserentlastung führt, die mittleren Entlastungskonzentrationen ansteigen müssen. Am höchsten müßte die Entlastungskonzentration bei 0 % Ausbaugrad sein. Für diesen Zusammenhang gibt es aber so gut wie keine Informationen aus der Literatur. Auch der Versuch, aus den vorliegenden Daten aus dem sehr intensiv analysierten Kanalnetz in Bad Mergentheim weitere Informationen herauszuziehen, gelang nicht.

Dennoch kann aus den uns vorliegenden Daten immerhin die Größenordnung wie folgt abgeschätzt werden:

Die Konzentration des partikulären Phosphors im Mischwasser bei einem Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung von 0 % kann über das Verhalten der abfiltrierbaren Stoffe abgeleitet werden. Im entlasteten Mischwasser an Regenüberlaufbecken beträgt die mittlere Konzentration für abfiltrierbare Stoffe AFS 260 mg/l, siehe Tabelle 7. Die Daten stammen von Forschungsprojekten, die alle auch in Tabelle 4 aufgeführt sind. BROMBACH hat in /27/ mit Ergänzungen in /22/ einen Mittelwert für Mischwasser für abfiltrierbare Stoffe von 328 mg/l errechnet. Da dieser Wert den gesamten Mischwasserabfluß umfaßt, kann er als Entlastungskonzentration für den Ausbaugrad von 0 % herangezogen werden. Nimmt man weiter an, daß die spezifische Phosphorbeladung der absetzbaren Partikel bei 100 % oder 0 % Ausbaugrad gleich groß ist, dann ist bei einem Ausbaugrad von 0 % die Konzentration des partikulär gebundenen Phosphors um den Faktor $328/260 = 1,26$ höher als der Mittelwert aus Tabelle 4.

Die Konzentration des gelösten Phosphors im Mischwasserabfluß bei einem Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung von 0 % kann über das Verhalten des Ammoniums abgeschätzt werden. In Tabelle 4 beträgt die mittlere Ammonium-Konzentration (gelöster Stickstoff) in den Entlastungen an Regenüberlaufbecken 2,42 mg/l. BROMBACH et al. haben in /22/ für Mischwasser mit 4,8 mg/l einen doppelt so hohen Mittelwert errechnet. Damit dürfte die Konzentration des gelösten Phosphors bei 0 % Ausbaugrad ebenfalls um 100 % höher liegen.

Tabelle 7: Gemessene abfiltrierbare Stoffe (AFS) im entlasteten Mischwasser an Regenüberlaufbecken

Ort	AFS in mg/l
Birkenfeld /26/	131
Etzenrot /25/	112
Langenalb /25/	360
Neureut /25/	92
Schweigern /22/	256
Unterschüpf 1 /22/	576
Unterschüpf 2 /22/	296
Mittelwert	260

4.3 Funktionaler Zusammenhang zwischen Ausbaugrad und Entlastungskonzentration

Mischsystem:

Nach den Ergebnissen des Kapitels 4.2 ergeben sich folgende mittlere Entlastungskonzentrationen für Nährstoffe für die Ausbaugrade der Regenwasserbehandlung von 0 % und 100 %, siehe Tabelle 8.

Für die Abschätzung der Mischwasserentlastungskonzentration für verschiedene Ausbaugrade der Regenwasserbehandlung wurden folgende Funktionen für die einzelnen Parameter mit Hilfe der festgelegten Werte aus Tabelle 8 empirisch ermittelt:

P-Gel	$0,494 \cdot e^{-0,024 \cdot AG} + 0,426$	in mg/l,
P-Ges	$0,805 \cdot e^{-0,019 \cdot AG} + 1,165$	in mg/l,
N-Ges	$6,37 \cdot e^{-0,019 \cdot AG} + 4,44$	in mg/l
NH4-N	$2,7 \cdot e^{-0,022 \cdot AG} + 2,1$	in mg/l
NO3-N	$1,2 \cdot e^{-0,025 \cdot AG} + 1$	in mg/l
NO2-N	$0,106 \cdot e^{-0,019 \cdot AG} + 0,074$	in mg/l,

mit AG = Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung nach A128 neu (1992) in %.

In den Bildern 12 und 13 sind diese Berechnungsfunktionen für die Entlastungskonzentrationen jeweils oben graphisch dargestellt.

Tabelle 8: Mittlere Konzentration der Nährstoffe im entlasteten Mischwasser aus Regenentlastungen bei 0 % und 100 % Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung

Parameter	Einheit	0 % Ausbaugrad	100 % Ausbaugrad
P-Ges	mg/l	1,97	1,29
P-Gel	mg/l	0,94	0,47
N-Ges	mg/l	10,8	5,4
NH4-N	mg/l	4,8	2,4
NO3-N	mg/l	2,2	1,1
NO2-N	mg/l	0,2	0,1

Trennsystem:

Für Trennsysteme wurden nur für Phosphor P-Ges und N-Ges Schätzfunktionen für die Entlastungskonzentration entwickelt. Zur Zeit gibt es noch keine umfassende Bemessungsrichtlinie für die Regenwasserbehandlung im Trennsystem. Es gibt zwar einige, wenige Regenklärbecken, aber sie haben kaum einen Wirkungsgrad bezüglich des Rückhalts an gelösten Stoffen. Beim Phosphor besteht die Gefahr, daß in dauernd gefüllten Regenklärbecken der abgesetzte Phosphor rückgelöst wird und beim nächsten Regen doch in die Gewässer gespült wird. Um diese Problematik zu berücksichtigen, wurde als Berechnungsbasis folgende Annahme getroffen: Das Ziel einer potentiellen Regenwasserbehandlung im Trennsystem bezüglich Phosphor und Stickstoff soll ein Wirkungsgrad von 50 % sein. 50 % Wirkungsgrad entsprechen damit einem vergleichbaren Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung von 100 % in Mischkanalisationen. Die Berechnungsfunktionen für P-Ges und N-Ges lauten dann wie folgt, siehe Bild 14 und 15, jeweils oben:

$$\text{für P-Ges} \quad 0,39 \cdot e^{-0,01 \cdot \text{AG}} + 0,11 \quad \text{in mg/l,}$$

$$\text{für N-ges} \quad 1,35 \cdot e^{-0,022 \cdot \text{AG}} + 1,05 \quad \text{in mg/l}$$

mit AG = Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung im Trennsystem in %.

Für die Ausbaugrade von 0 % und 100 % der Regenwasserbehandlung im Trennsystem ergeben sich die mittlere Entlastungskonzentrationen in Tabelle 9:

Tabelle 9: Mittlere Konzentration der Nährstoffe im entlasteten Regenwasser aus Trennkana-lisationen bei 0 % und 100 % Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung

Parameter	Einheit	0 % Ausbaugrad	100 % Ausbaugrad
P-Ges	mg/l	0,5	0,25
N-Ges	mg/l	2,4	1,2

4.4 Verfahren zur Abschätzung der Nährstoffentlastungsfracht aus Regenentlastungen

Mit Hilfe der im vorigen Kapitel erarbeiteten Funktionen errechnet sich über das Jahresentlastungsvolumen an Mischwasser in Abhängigkeit vom Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung die Jahresentlastungsfracht an Nährstoffen, siehe Kapitel 4.1 und Bild 10. Teilt man die Nährstoffentlastungsfracht durch die Anzahl der Einwohner, hier 100 E/ha, erhält man die Jahresentlastungsfracht in g/(E·a).

In Bild 12, unten, ist das Ergebnis für die Phosphorentlastungsfracht dargestellt. Für einen Ausbaugrad von 100 % beträgt die Entlastungsfracht 33 g/(E·a). MEIßNER hat in /17/ eine Entlastungsfracht von 23 g/(E·a) für 100 % Ausbaugrad ermittelt. Das Ergebnis der Studie ist damit um 43 % größer als der Wert von MEIßNER. Das ist auf die um 40 % höhere Entlastungskonzentration aus der Literaturstudie, siehe Tabelle 4, zurückzuführen. Für den Ausbaugrad von 0 % erhöht sich die Entlastungsfracht auf 92 g/(E·a).

Für den gelösten Phosphor ist die Entlastungsfracht in Bild 12, unten, untere Kurve aufgetragen. An gelöstem Phosphor werden bei 100 % Ausbaugrad 12,2 g/(E·a) und 44 g/(E·a) bei 0 % Ausbaugrad ausgetragen. Für die Stickstoffentlastungsfracht aus Mischkanalisationen und für die Nährstoffentlastungsfracht aus Trennkanalisationen ergeben sich die Funktionen und Ergebnisse in den Bildern 13 bis 15, jeweils unten.

Die zugrundeliegenden Berechnungsfunktionen für die einwohnerbezogenen Nährstoffentlastungsfrachten der Bilder 12 bis 15 lauten wie folgt:

Mischsystem:

P-Gel	$34,55 \cdot e^{-0,026 \cdot AG} + 9,45$	in g/(E·a),
P-Ges	$69,87 \cdot e^{-0,019 \cdot AG} + 22,13$	in g/(E·a),
N-Ges	$406,4 \cdot e^{-0,022 \cdot AG} + 95,6$	in g/(E·a),
NH ₄ -N	$181,1 \cdot e^{-0,025 \cdot AG} + 46,9$	in g/(E·a),
NO ₃ -N	$83,7 \cdot e^{-0,024 \cdot AG} + 20,3$	in g/(E·a),
NO ₂ -N	$7,6 \cdot e^{-0,026 \cdot AG} + 1,84$	in g/(E·a),

mit AG = Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung nach A128 neu (1992) in %.

Trennsystem:

P-Ges	$21,1 \cdot e^{-0,014 \cdot AG} + 10,9$	in g/(E·a),
N-Ges	$88,1 \cdot e^{-0,023 \cdot AG} + 69,9$	in g/(E·a)

mit AG = Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung im Trennsystem in %.

Für die Ausbaugrade von 0 %, 50 % und 100 % der Regenwasserbehandlung in Misch- und Trennsystemen ergeben sich die einwohnerbezogenen jährlichen Phosphor- und Stickstofffrachten in Tabelle 10:

Tabelle 10: Einwohnerbezogene jährliche Phosphor- und Stickstofffrachten aus Regenentlastungen von Misch- und Trennkanalisationen im Bodensee-Einzugsgebiet

Parameter	Entwässerung	Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung			Nachweis
		0 %	50 %	100 %	
Der Ausbaugrad 100 % entspricht einem spezifischen Stauvolumen für die Regenwasserbehandlung von 23,3 m ³ /ha					
P-Ges in g/(E·a)	Mischsystem	92	49	33	Bild 12
P-Gel in g/(E·a)	Mischsystem	44	20	12	Bild 12
N-Ges in g/(E·a)	Mischsystem	506	231	140	Bild 13
P-Ges in g/(E·a)	Trennsystem	32	21	16	Bild 14
N-Ges in g/(E·a)	Trennsystem	158	98	79	Bild 15
Einwohnerbezogene jährliche Phosphor- und Stickstofffrachten aus Regenentlastungen von Misch- und Trennkanalisationen im Bodensee-Einzugsgebiet, Stand 1995					

5. Bilanzbeispiele, Fehlerabschätzung

5.1 Bilanz Einzugsbereich Landratsamt Ravensburg, Einzugsgebiet der Schussen und des Bodensees

Mit dem oben vorgestellten Verfahren werden im folgenden für verschiedene Beispiele die aus Regenentlastungen abgeschlagenen Nährstofffrachten abgeschätzt. Vom ehemaligen Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz WBA in Ravensburg wurden uns dazu Daten über Einwohnerzahlen und den Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung (Stand 1993) aus dessen Einzugsbereich zur Verfügung gestellt /30/. Nach Angaben des Amtes soll für dieses Gebiet ein spezifisches Beckenvolumen von 25 m³/ha als 100 % Ausbaugrad angesetzt werden.

Wendet man die in Kapitel 4 erarbeiteten Funktionen für diese Daten an, dann ergibt sich der Nährstoffaustrag in der Tabelle in Bild 16. Für den gesamten Einzugsbereich des Landratsamtes Ravensburg resultieren ca. 16,1 t Phosphor P-Ges und 6,2 t P-Gel pro Jahr, Tabelle 16 unten. Für das Einzugsgebiet der Schussen, das ist der oberste Datenblock, resultieren 6,5 t Phosphor P-Ges und 2,5 t P-Gel pro Jahr.

Die Ergebnisse des Beispiels Ravensburg sollen nun für das Einzugsgebiet des Bodensees hochgerechnet werden. Unterstellt man, daß heute im Bodensee-Einzugsgebiet ca. 1.200.000 Einwohner leben und der Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung im Mittel 50 % beträgt, dann resultiert daraus eine aus den Kanalnetzen entlastete Nährstofffracht von ca. 59 t Phosphor P-Ges und 24 t P-Gel pro Jahr, siehe unterste Zeile in Tabelle in Bild 16, unten. Frühere Untersuchungen von HAHN & HEIß /11/ hatten noch eine Phosphorfracht aus Regenentlastungen von ca. 100 t P-Gel pro Jahr geschätzt.

5.2 Fehlerabschätzung

Aus diesem Zahlenvergleich und aus der Tatsache, daß die mittlere Entlastungskonzentration für P-Ges, siehe Tabelle 4, mit den Zulaufkonzentrationen von Kläranlagen bei hohem Mischwasserabfluß, siehe Kapitel 3.2, relativ gut übereinstimmt, kann letztlich geschlossen werden, daß das Verfahren zur Abschätzung des Nährstoffeintrags in den Bodensee aus Regenentlastungen realistische Zahlen liefert.

Die Fehlerquote, die mit dem vorliegenden Schätzverfahren verbunden ist, hängt von folgenden Parametern ab:

1. Genauigkeit der Entlastungskonzentrationen aus der Literaturstudie
2. Maß der Erhöhung der Entlastungskonzentration bei schlechter werdendem Ausbaugrad
3. Mittlere Annahmen, die für die Berechnung des Beckenvolumens nach A 128 getroffen wurden, im Vergleich zu den tatsächlichen mittleren Bedingungen am Bodensee.

Insgesamt schätzen wir die Genauigkeit des hier vorgestellten Schätzverfahrens auf besser als $\pm 30\%$ der Jahresentlastungsfracht ein.

6. Gesamtaustrag an Phosphor und Stickstoff aus dem Gesamtsystem Regenwasserbehandlung und Kläranlage

Abschließend soll noch kurz die Frage diskutiert werden, welchen Effekt die Regenwasserbehandlung auf das Gesamtsystem Regenwasserbehandlung und Kläranlage hat. Wenn die Regenwasserbehandlung weiter ausgebaut wird, muß mehr Wasser in den Kläranlagen behandelt werden. Das führt im allgemeinen zu höherem Schmutzaustrag aus der Kläranlage. Es wird immer wieder kritisiert, daß durch den Bau von Regenbecken der Schmutzaustrag an den Kläranlagen stärker zunimmt, als er durch den Ausbau an den Regenentlastungen abnimmt. HARREMOES /31/ hat auf diesen Zusammenhang aufmerksam gemacht.

In Bild 17 ist die Nährstoffbilanz des Gesamtsystems Regenwasserbehandlung und Kläranlage in Abhängigkeit vom Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung dargestellt. Für den P- und N-Austrag aus den Regenentlastungen gelten die nach dem vorgestellten Schätzverfahren berechneten Daten. Das nach dem Verfahren in Kapitel 4.1 nicht entlastete Regenwasser wird zusammen mit dem Schmutzwasser (150 l/E·d oder 55 m³/(E·a)) in einer Kläranlage gereinigt. Als mittlere Ablaufkonzentrationen wurden die Grenzwerte für die Ablaufkonzentrationen von Kläranlagen unterschiedlicher Größenklassen der Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees herangezogen /32/.

Für die Gesamtbilanz des Phosphors ergibt sich in Bild 17, oberer Block der Graphiken, folgendes Bild:

Für die Kläranlagen-Größenkategorie II (600 bis 3.000 EW), III (3.000 bis 30.000 EW) und IV (> 30.000 EW) wird mit steigendem Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung die P-Ges-Entlastungsfracht an den Regenentlastungen stärker vermindert, als die Ablaufracht im Kläranlagenablauf zunimmt. Somit ergibt sich für diese Größenklassen, daß der weitere Ausbau der Regenwasserbehandlung auch tatsächlich zu einer Reduzierung des Phosphoraustrags aus den Siedlungsgebieten führt. Für die Kläranlagen-Größenkategorie I (< 600 EW), für die Ablaufkonzentrationen von 5 mg/l für P-Ges zulässig sind, führt allerdings der weitere Ausbau der Regenwasserbehandlung insgesamt zu einem höheren Phosphoraustrag.

Für die Gesamtbilanz des Stickstoffs ergibt sich das gleiche Bild, siehe untere Graphik in Bild 17. Ist ein Klärwerk nicht auf Denitrifikation ausgelegt, nimmt trotz sinkender Entlastungsfrachten an den Regenentlastungen insgesamt der Stickstoffaustrag aus den Siedlungen leicht zu. Die Stickstoffeliminierung muß durch die Kläranlagen erfolgen.

Das oben beschriebene Verhalten des Gesamtsystems Mischkanalisation, Regenwasserbehandlung und Kläranlage wirft die Frage auf, welche Strategie verfolgt werden soll, um den Phosphor- oder Stickstoffaustrag aus den Kanalisationen und Kläranlagen insgesamt zu vermindern. Diese komplexe Frage kann im Rahmen dieser Studie nicht beantwortet werden.

7. Zusammenfassung

Die Sauerstoffsituation des Tiefenwassers im Bodensee wird durch den klimabedingten Trend zu kürzeren und unvollständigen Vertikalzirkulationen und damit insgesamt zu schlechteren Sauerstoffverhältnissen verschärft. Angesichts dieser Entwicklung kommt einer weiteren Absenkung der für den See immer noch zu hohen Phosphorkonzentration und damit einer Verminderung des Produktionspotentials besondere Bedeutung zu. Die bisher erfolgreiche Strategie zur weiteren Abwasserreinigung muß deshalb fortgesetzt werden.

Eine zuverlässige Nährstoffbilanzierung scheiterte unter anderem an der Tatsache, daß die aus Regenwasserentlastungen stammenden Frachten zwar vereinzelt erfaßt, aber nicht ausgewertet wurden.

Die vorliegende Arbeit faßt die in der Literatur veröffentlichten Daten von Regenwasserentlastungen und Daten aus eigenen Messungen zusammen und bewertet diese.

Kern der Studie ist die Ableitung eines **einfachen Verfahrens**, mit dessen Hilfe aus der Einwohnerzahl und dem **Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung der Nährstoffaustrag aus Regenentlastungen** abgeschätzt werden kann. Das Verfahren benutzt neuere Meßdaten aus den Kanalnetzen, die nach dem Wegfall des Phosphors aus Waschmitteln nach 1990 gewonnen wurden. Weiterhin wird die neue ATV-Richtlinie A 128 (1992) zur Berechnung der entlasteten Wasserfracht herangezogen. Voraussetzung für die Anwendung des Verfahrens ist, daß die Kläranlage auch bei Regenwetter einen guten Wirkungsgrad hat und daß die vorhandenen Regenentlastungen den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen.

Die Genauigkeit des Schätzverfahrens wird bezogen auf die Jahresentlastungsfracht mit besser als $\pm 30\%$ angenommen.

Als wichtigstes Ergebnis einer Literaturstudie und der Auswertung eigener Forschungsarbeiten wurde festgestellt, daß heute (1995) die mittlere Konzentration des Überlaufwassers von Mischwasserkanalisationen an Phosphor (P-Ges) mit ca. 1,3 mg/l um ca. 75 % niedriger ist als bisher angenommen. Ein großer Teil der Abnahme ist auf den Wegfall der Phosphate in den Waschmitteln zurückzuführen. Der übrige Teil der Abnahme wird dadurch erklärt, daß die neue Entlastungskonzentration aus tatsächlich an Regenentlastungen gemessenen Werten ermittelt und nicht mehr aus Kläranlagenzuflüssen abgeleitet wurde. Für Regenentlastungen aus Misch- und Trennkanalisationen ergeben sich die Nährstoffentlastungsfrachten in Tabelle 11.

Übertragen auf das Gesamteinzugsgebiet des Bodensees ergibt sich unter der Annahme einer Einwohnerzahl von 1.200.000 E und einem mittleren Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung von 50 % ein Phosphoreintrag in den Bodensee aus Regenentlastungen der Kanalisationen von ca. 59 t P-Ges und ca. 24 t P-Gel pro Jahr.

Tabelle 11: Einwohnerbezogene jährliche Phosphor- und Stickstofffrachten aus Regenentlastungen von Misch- und Trennkanalisationen im Bodensee-Einzugsgebiet, Stand 1995

Parameter	Entwässerung	Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung			Nachweis
		0 %	50 %	100 %	
Der Ausbaugrad 100 % entspricht einem spezifischen Stauvolumen für die Regenwasserbehandlung von 23,3 m ³ /ha					
P-Ges in g/(E·a)	Mischsystem	92	49	33	Bild 12
P-Gel in g/(E·a)	Mischsystem	44	20	12	Bild 12
N-Ges in g/(E·a)	Mischsystem	506	231	140	Bild 13
P-Ges in g/(E·a)	Trennsystem	32	21	16	Bild 14
N-Ges in g/(E·a)	Trennsystem	158	98	79	Bild 15

Eine Betrachtung der Nährstoffbilanz des Gesamtsystems Regenwasserbehandlung und Kläranlage hat ergeben, daß sich die aus der Kanalisation in den Bodensee abgegebene Phosphorfracht mit den Methoden der Regenwasserbehandlung effektiv verringern läßt, wenn die Kläranlagen für eine Phosphatfällung ausgelegt sind. Auch bei der Stickstofffracht zeigt die Regenwasserbehandlung einen guten Wirkungsgrad. Betrachtet man aber den Gesamtwirkungsgrad Regenwasserbehandlung und Kläranlage, so muß die Kläranlage für eine Denitrifikation ausgelegt sein, wenn der Stickstoffaustrag insgesamt wirkungsvoll vermindert werden soll.

Literatur

- /1/ Müller, H.: Limnologie des Bodensees. Wasserwirtschaft 80, Heft 7/8, S. 388- 392, 1990.
- /2/ Broschüre des Umweltministeriums Baden-Württemberg: Umweltprogramm Bodensee-Raum. Koelblin Druck, 1995.
- /3/ Orbig, K.-E.: Gewässerschutz am Bodensee. Wasserwirtschaft 80, Heft 7/8, S. 374-378, 1990.
- /4/ Wagner, G.: Zum Stand der P-Belastung des Bodensee-Obersees - Sanierungserfolge. Deutsche Gesellschaft für Limnologie, Jahrestagung 1991 in Mondsee, S. 46-50, 1991.
- /5/ Kümmerlin, R.E.: Oligotrophierungsvorgänge im Bodensee. Deutsche Gesellschaft für Limnologie, erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung 1991 in Mondsee, S. 56-61, 1991.
- /6/ Tilzer, M.M.: Keine Reaktion der Primärproduktion des Bodensees auf verminderte Nährstoffbelastung? Deutsche Gesellschaft für Limnologie, erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung 1991 in Mondsee, S. 67-70, 1991.
- /7/ Wagner, G., Bühner, H.: Die Belastung des Bodensees mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen, organisch gebundenem Kohlenstoff und Borat im Abflußjahr 1985/86. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Bericht Nr. 40, 1989.
- /8/ Die Belastung des Bodensees mit Phosphor-, Stickstoff und organischen Verbindungen im Seejahr 1971/72. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Bericht Nr. 40.
- /9/ Die Belastung des Bodensees mit Phosphor-, Stickstoff und organischem Kohlenstoff im Seejahr 1978/79. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Bericht Nr. 40.
- /10/ Korb, I., Längle, P., Lukas, W.: Zum Phosphoraustrag aus einem überwiegend im Mischverfahren entwässerten Gebiet. Korrespondenz Abwasser, Jhg. 33, Heft 3, S. 208 - 214, 1986.
- /11/ Hahn, H., Heiß, H.-J.: Phosphateintrag in die Gewässer aus Kläranlagen und Regenbecken. Möglichkeiten und Schwierigkeiten der Abschätzung. gwf Wasser-Abwasser 130, Heft 7, S.341-350, 1989.
- /12/ Hamm, A.: Studie über die Wirkungen und Qualitätsziele von Nährstoffen in Fließgewässern („Wirkstudie“). Academia Verlag, Sankt Augustin, 1989.
- /13/ Umweltbundesamt: Daten zur Umwelt 1992/93. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1994.
- /14/ Brombach, H. und Obermeyer, D.: Stadthydrologische Studie Stadt Ravensburg, in Bearbeitung.
- /15/ Brombach, H. und Guerra, M.: Schmutzfrachtberechnung und Optimierung der Regenwasserbehandlung für das Entwässerungsnetz der Kernstadt Bad Mergentheim, Schlußbericht 1990, unveröffentlicht.
- /16/ Brombach, H., Michelbach, S. und Weiß, S.: Stadthydrologische Studie über den Ausbau der Regenwasserbehandlung der Stadt Hardheim, Schlußbericht 1996, unveröffentlicht.
- /17/ Meißner, E.: Abschätzung der mittleren Jahresschmutzwasserfracht aus Mischwassereinleitungen. Wasser - Abwasser - Abfall, Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft Universität - Gesamthochschule Kassel Heft 7, S. 69- 78, 1991.
- /18/ A 128: Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungen in Mischwasserkanälen, GFA, St. Augustin, 1992.

- /19/ Dauber, L. und Novak, B.: Quellen und Senken der Schmutzstoffe in Regenabflüssen einer städtischen Mischkanalisation. Forschungsbericht 29 -104, EAWAG, 1982.
- /20/ Fuchs, S.: Wirkung von Stoßbelastungen auf kleine Fließgewässer. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft Band 123, S. 87-109, 1993.
- /21/ Sieker, F., Lammersen, R., Ristenpart, E.: Bilanzierung von Schmutzstoffeinträgen aus dem Niederschlags-Abflußgeschehen in einem Gewässer. Teilprojekt 7, Schlußbericht des BMFT-Verbundprojektes NIEDERSCHLAG, Schriftenreihe des ISSW Karlsruhe, 1992.
- /22/ Brombach, H., Michelbach, S., Weiß, G.: Siedlungsentwässerung im ländlichen Raum - Wechselwirkungen zwischen Mischentwässerung, Kläranlage und Vorfluter am Beispiel des Umpfertales. Schlußbericht. Auftraggeber: Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg. Auftragnehmer: Fa. Umwelt- und Fluid-Technik, Bad Mergentheim, 1994.
- /23/ Baumgartner, C.: Qualitative Untersuchungen zur Regenwasserbehandlung durch einen Wirbelabscheider. Diplomarbeit, Universität Karlsruhe, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, 1990.
- /24/ Schulz, W., Niemann, J., Kleber-Lerchbaumer, U. und Kaballo, H.P.: Wirksamkeit von Regenbächen in Mischsystemen zur Beeinflussung des Transportes von anthropogenen Schadstoffen. Teilprojekt 5, Schlußbericht des BMFT-Verbundprojektes NIEDERSCHLAG, Schriftenreihe des ISSW Karlsruhe, 1992.
- /25/ Brombach, H., Michelbach S. und Schäfer, M.: Entlastungstätigkeit und Stoffrückhalt in Regenüberlaufbecken im Untersuchungsgebiet „Alb“. 3. Zwischenpräsentation des BMBF-Verbundprojektes NIEDERSCHLAG in Karlsruhe, Oktober 1995.
- /26/ Brombach, H.: Erprobung der Trommelfilteranlage am RÜB Bachrausch in Birkenfeld, Schlußbericht. Auftraggeber: Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg. Auftragnehmer: Umwelt- und Fluid-Technik GmbH, Bad Mergentheim, 1995.
- /27/ Brombach, H.: Verschmutzung von Regen- und Mischwasser. ATV-Workshop Bemessung von Kanälen und Regenwasserbehandlungsanlagen Mai 1993. 9. EWPCA - ISWA Symposium und IFAT 1993, München.
- /28/ Göttle, A.: Ursachen und Mechanismen der Regenwasserverschmutzung. - Ein Beitrag zur Modellierung der Abflußbeschaffenheit in städtischen Gebieten. Berichte aus Wasserwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen Nr. 23, Technische Universität München, 1978.
- /29/ Brombach, H., Michelbach, S. und Wöhrle, C.: Sedimentations- und Remobilisierungsvorgänge im Abwasserkanal. Teilprojekt 3, Schlußbericht des BMFT-Verbundprojektes NIEDERSCHLAG, Schriftenreihe des ISSW Karlsruhe, 1992.
- /30/ Stand der Regenwasserbehandlung im Dienstgebiet des Amtes für Wasserwirtschaft und Bodenschutz Ravensburg. Schreiben vom 28.01.1994.
- /31/ Harremoes, P., Hansen, O. and Sund, Ch.: Rain Run-Off From Sewer Systems & Treatment Plants. Engineering Foundation Conferences, Urban Stormwater Enhancement, Source Control, Retrofitting and Combined Sewer Technology, Davos, Switzerland, 1989.
- /32/ Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB): Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees vom 27. Mai 1987.

Auswahl weiterer Literatur:

- D'Andrea, M., Maunder, D.E.: Characterization of Urban Nonpoint Source Discharges in Metropolitan Toronto. Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, Niagara Falls, Canada, S. 525-530, 1993.
- Eckmann, R.: In-situ Bestimmung der Zooplankton-Tagesration adulter Felchen. Deutsche Gesellschaft für Limnologie, erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung 1992 in Konstanz, S. 244-248, 1992.
- Eckmann, R.: Frühlingsetter, Trophiegrad des Bodensees und Jahrgangsstärken von Felchen. Deutsche Gesellschaft für Limnologie, erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung 1991 in Mondsee, S. 116-120, 1991.
- Elster, H.J.: Wechselwirkungen zwischen Chemie und Biologie bei der Eutrophierung des Bodensees. Vom Wasser Bd. 43, S. 1-13, 1974.
- Firk, W., Gegenmantel, H.-F.: Nährstoffquellen - Einführung, Übersicht, Größenordnungen. 1. Siedlungswasserwirtschaftliches Symposium - Stickstoff und Phosphor in Fließgewässern - Wissensstand und Folgerungen für die Abwasserreinigung, in: Wasser - Abwasser - Abfall, Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft Universität - Gesamthochschule Kassel, S.44-59, 1986.
- Gleisberg, D.: Reduced P-Input From Detergents. 9. EWPCA - ISWA Symposium, Documentation, München, 11.-14. Mai 1993, S. 23 - 45.
- Imbrock, F., Eckmann, R., Appenzeller, A.: Untersuchungen zur saisonalen Verteilung der Flußbarsche (*Perca fluviatilis*, L.) im Bodensee mittels Echolotaufzeichnungen und in-situ Beobachtungen. Deutsche Gesellschaft für Limnologie, erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung 1994 in Hamburg, S. 789-793, 1991.
- Lehn, H.: Trophiewandel in zwei Bodenseebecken von 1954/55 bis 1986. Deutsche Gesellschaft für Limnologie, erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung 1991 in Mondsee, S. 41-45, 1991.
- Maier, D.: Zur Rolle der Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein (ABWR) im Gewässerschutz. gwf Wasser- Abwasser 132, Heft 9, S. 474-479.
- Naber, G.: Wassergewinnung aus dem Bodensee. Wasserwirtschaft 80, Heft 7/8, S. 381-387, 1990.
- Sakakibara, T., Sasabe, K., Tanaka, S., Masaki, T.: Development of Measurement and Monitoring Station for Stormwater in Combined Sewer System. Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, Niagara Falls, Canada, S. 676-681, 1993.
- Scharf, B.W., Ehlscheid, T.: Extensivierung der Fischerei - ein Beitrag zur Oligotrophierung von Seen. Natur und Landschaft, 68. Jhg., Heft 11, S. 562-564, 1993.
- Sontheimer, H.: Nährstoffelimination auf Kläranlagen und Trinkwassergewinnung. Wasserkalender 1995, Jahrbuch für das gesamte Wasserfach, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1994.
- Sperling, F.: Nährstofffrachten aus Mischwassereinleitungen. 1. Siedlungswasserwirtschaftliches Symposium - Stickstoff und Phosphor in Fließgewässern - Wissensstand und Folgerungen für die Abwasserreinigung, in: Wasser - Abwasser - Abfall, Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft Universität - Gesamthochschule Kassel, S.44-59, 1986.

Tilzer, M.M.; Gaedke, U., Giovanoli, F., Geller, W.: Der Stoffhaushalt des Bodensees - Prozeßorientierte Ökosystemforschung am größten deutschen Binnensee. *Wasserkalender 1990, Jahrbuch für das gesamte Wasserfach*, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1989.

Willmitzer, H.: Biomanipulation zur Sanierung von Seen und Talsperren. *Wasserwirtschaft Wassertechnik Heft 3*, S. 20-22, 1995.

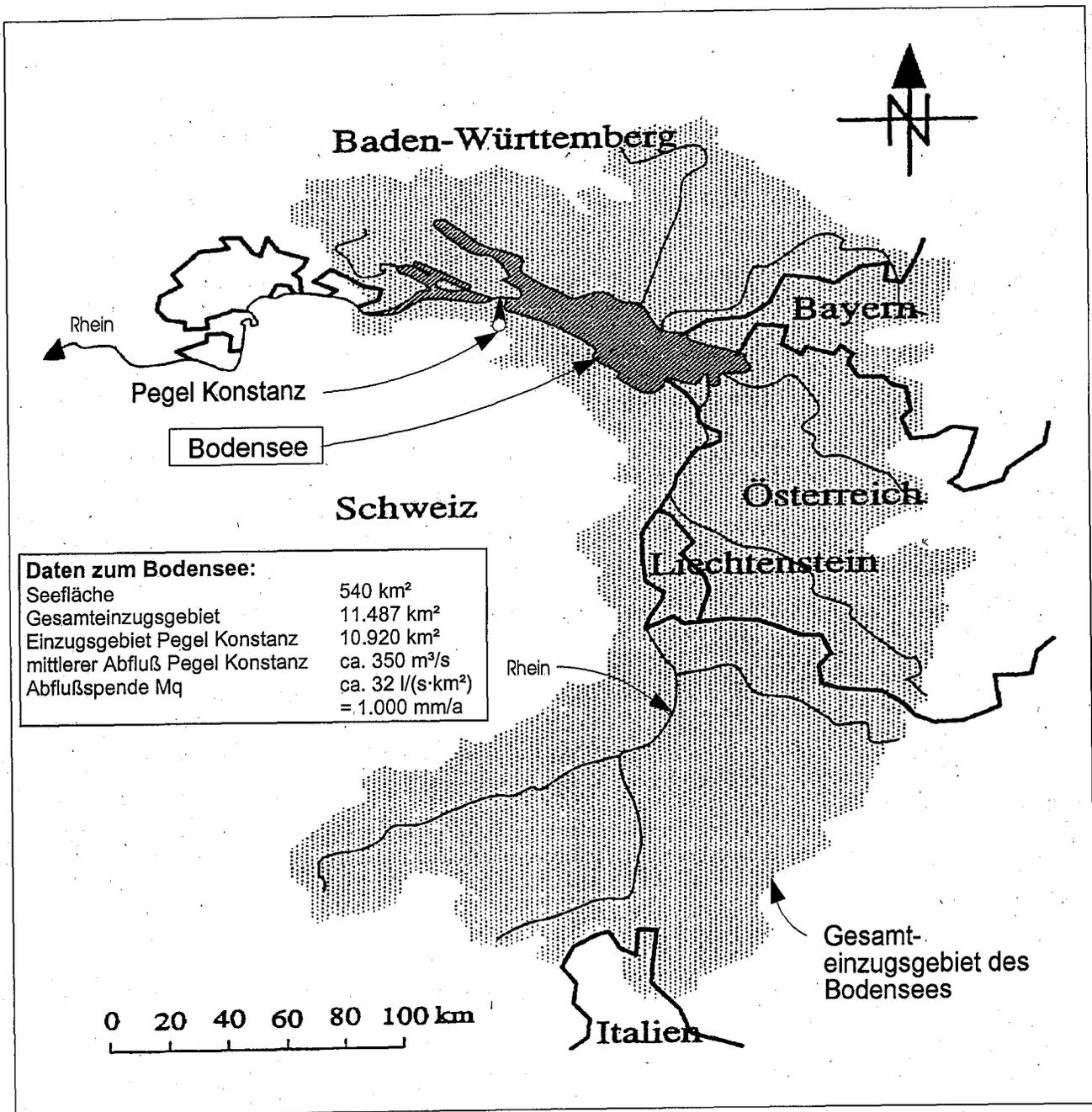


Bild 1: Übersicht über das Einzugsgebiet des Bodensees /7/

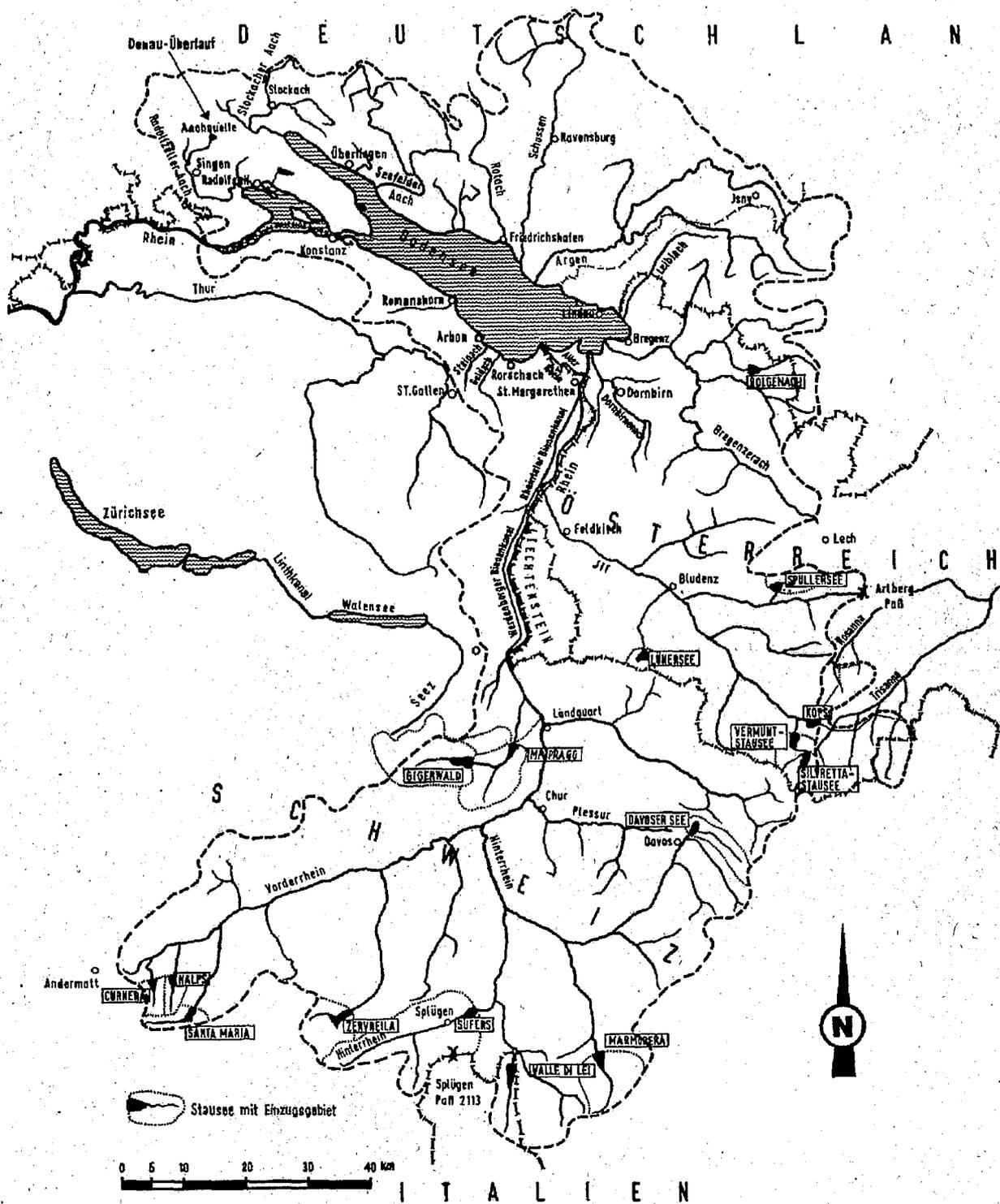
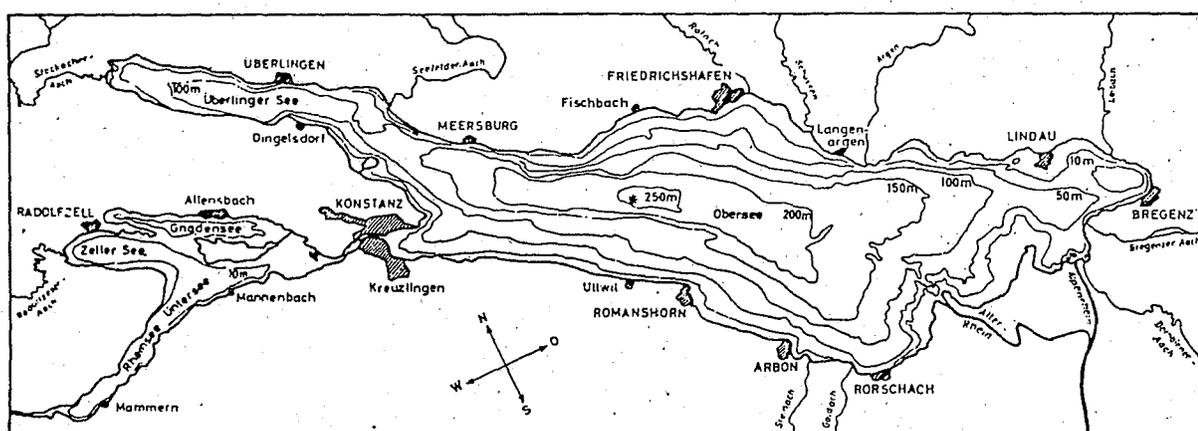


Bild 2: Die wichtigsten Zuflüsse zum Bodensee /1/



* Untersuchungsstation Seemitte Fischbach – Uttwil.

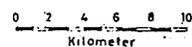


Bild 3: Der Bodensee mit den seeanliegenden Gemeinden

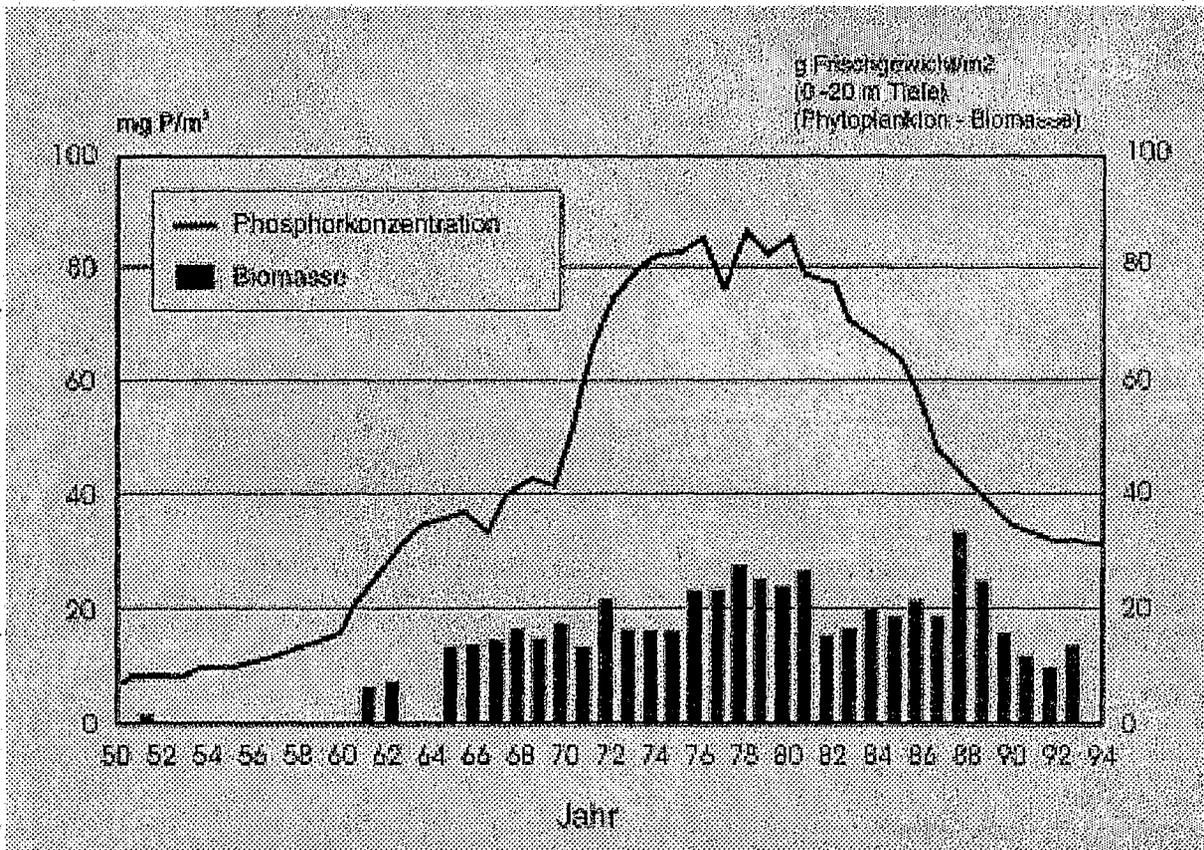


Bild 4: Die Entwicklung der Phosphorbelastung des Bodensees und ihre Wirkung auf die Phytoplankton-Biomasse /2/

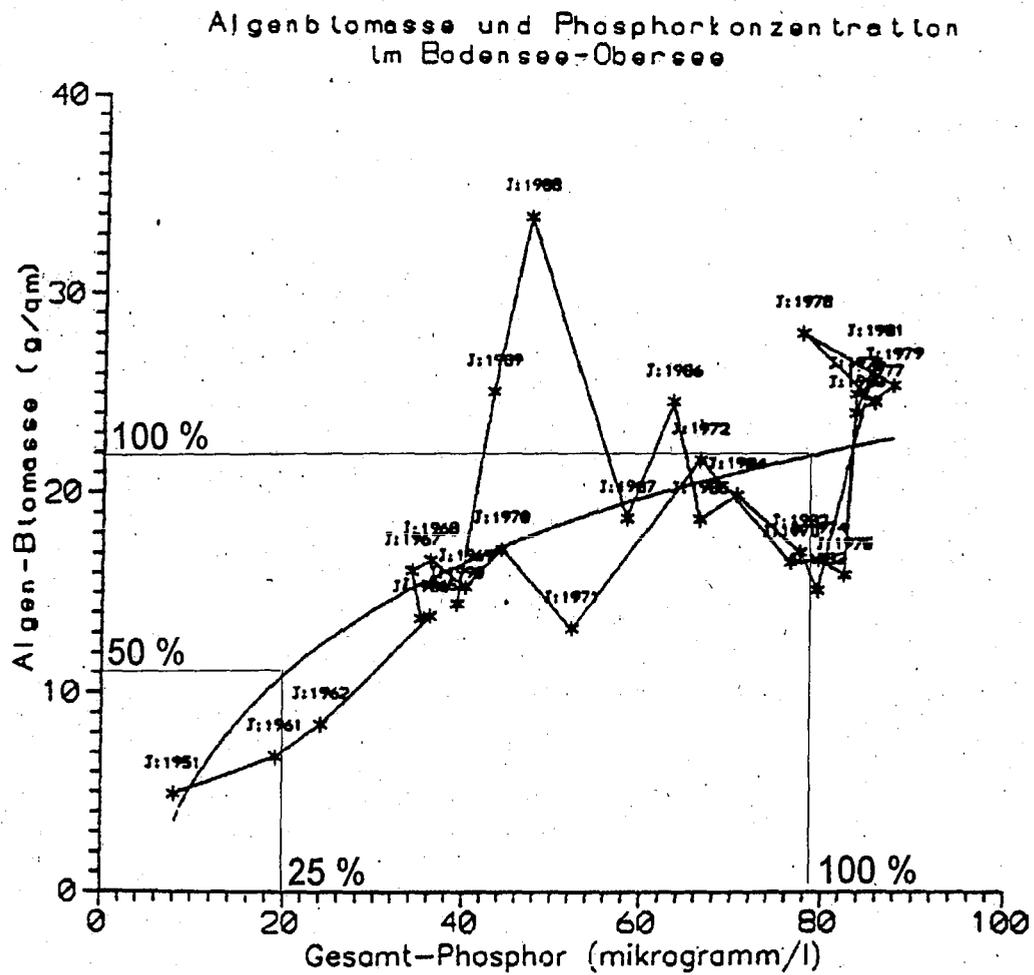


Bild 5: Der Zusammenhang zwischen der Höhe der Phosphorkonzentration und der Menge an Algenbiomasse /5/

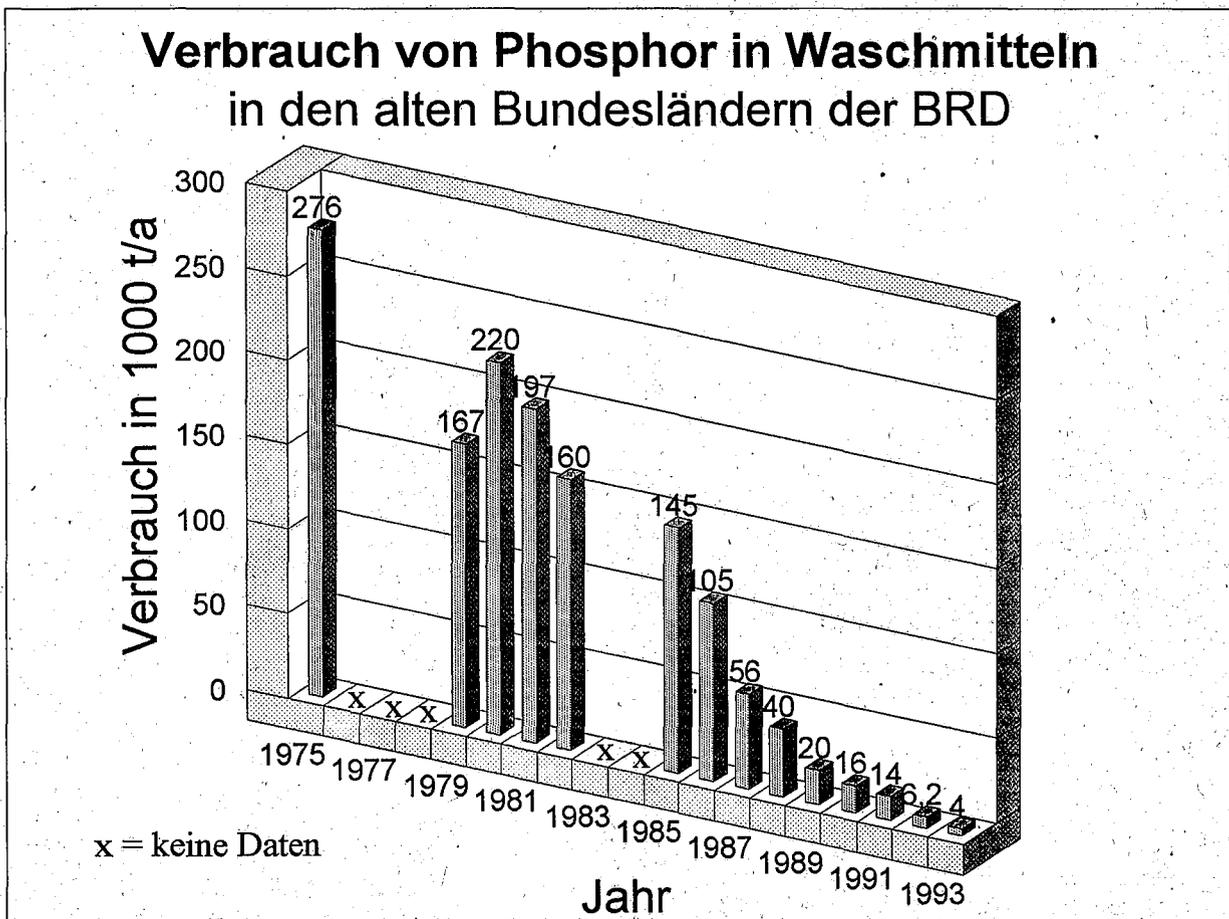


Bild 6: Verbrauch von Phosphor in Waschmitteln in den alten Bundesländern
(Quelle: Umweltbundesamt /13/)

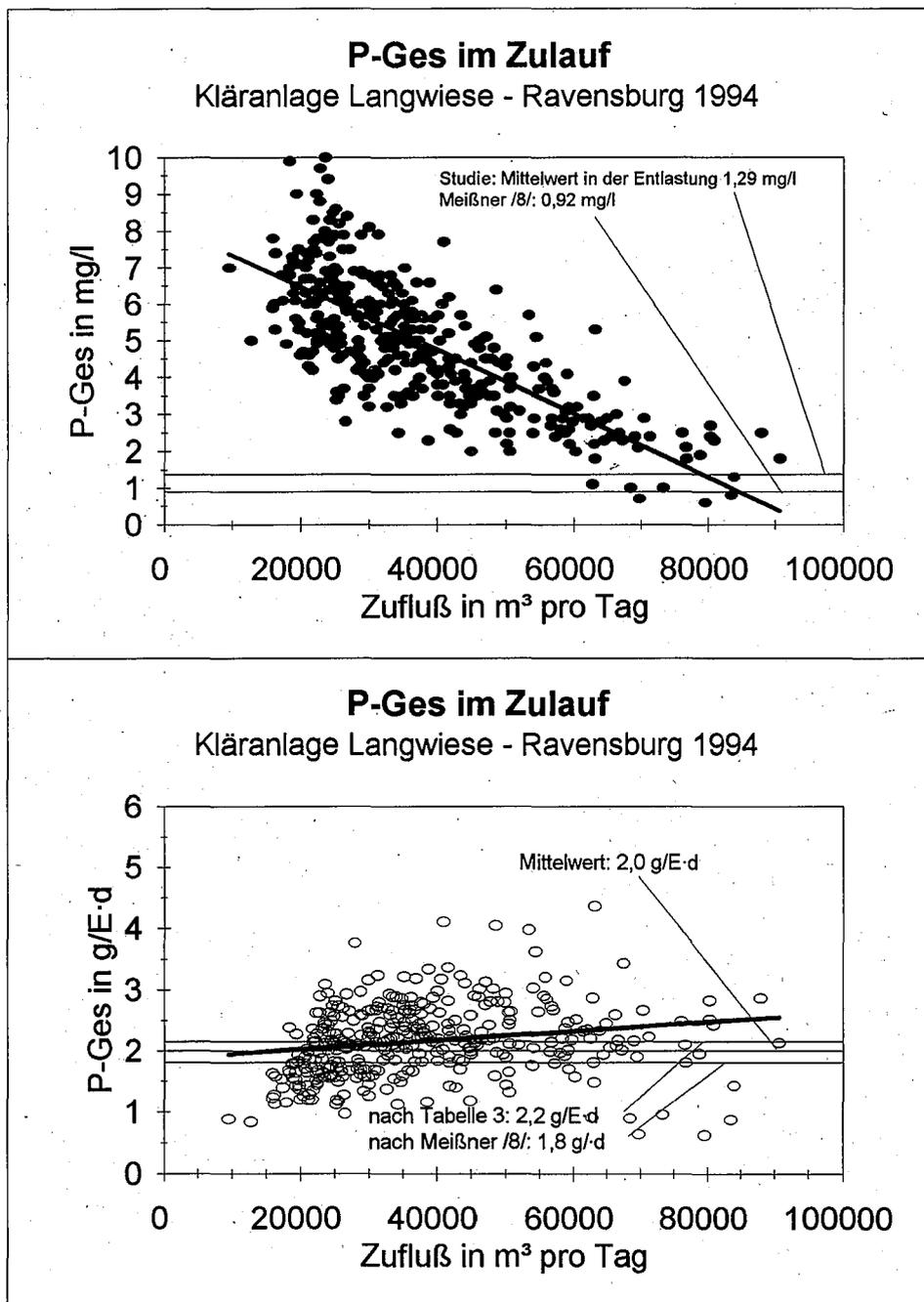


Bild 7: Phosphorkonzentration (oben) und -fracht (unten) im Zufluß zur Kläranlage Langwiese bei Ravensburg

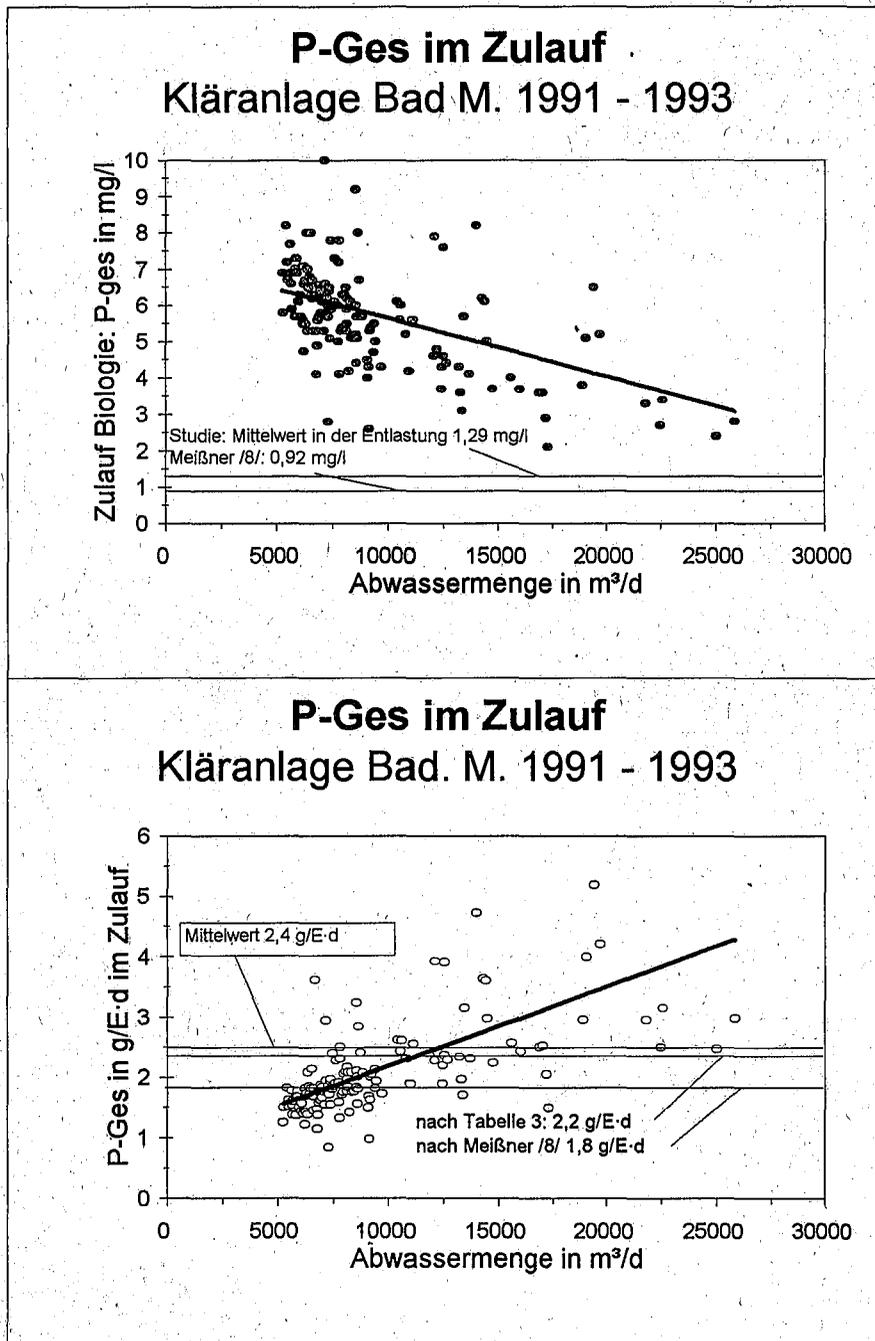


Bild 8: Phosphorkonzentration (oben) und -fracht (unten) im Zufluß zur Kläranlage Bad Mergentheim

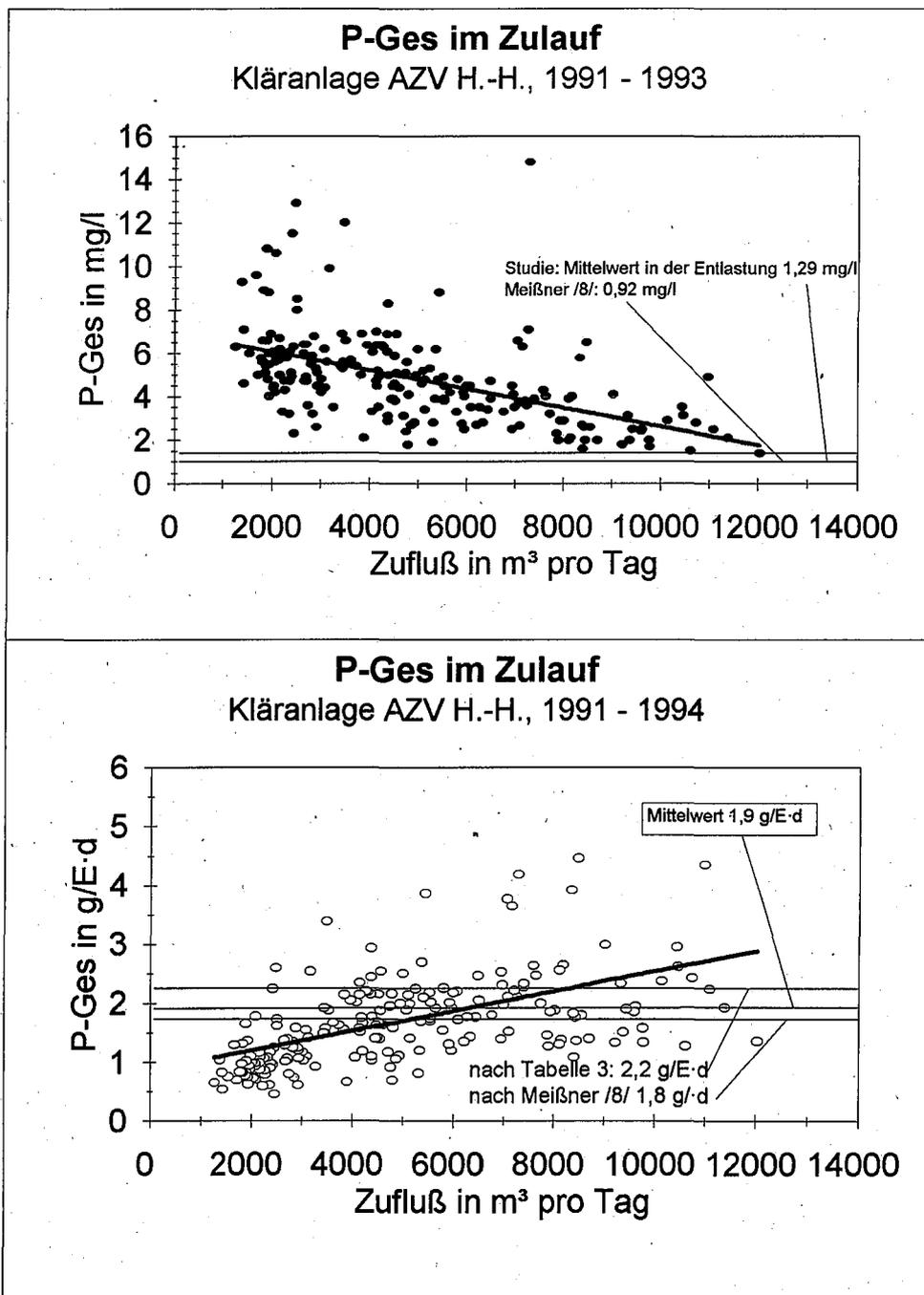


Bild 9: Phosphorkonzentration (oben) und -fracht (unten) im Zufluß zur Kläranlage Hardheim-Höpfingen

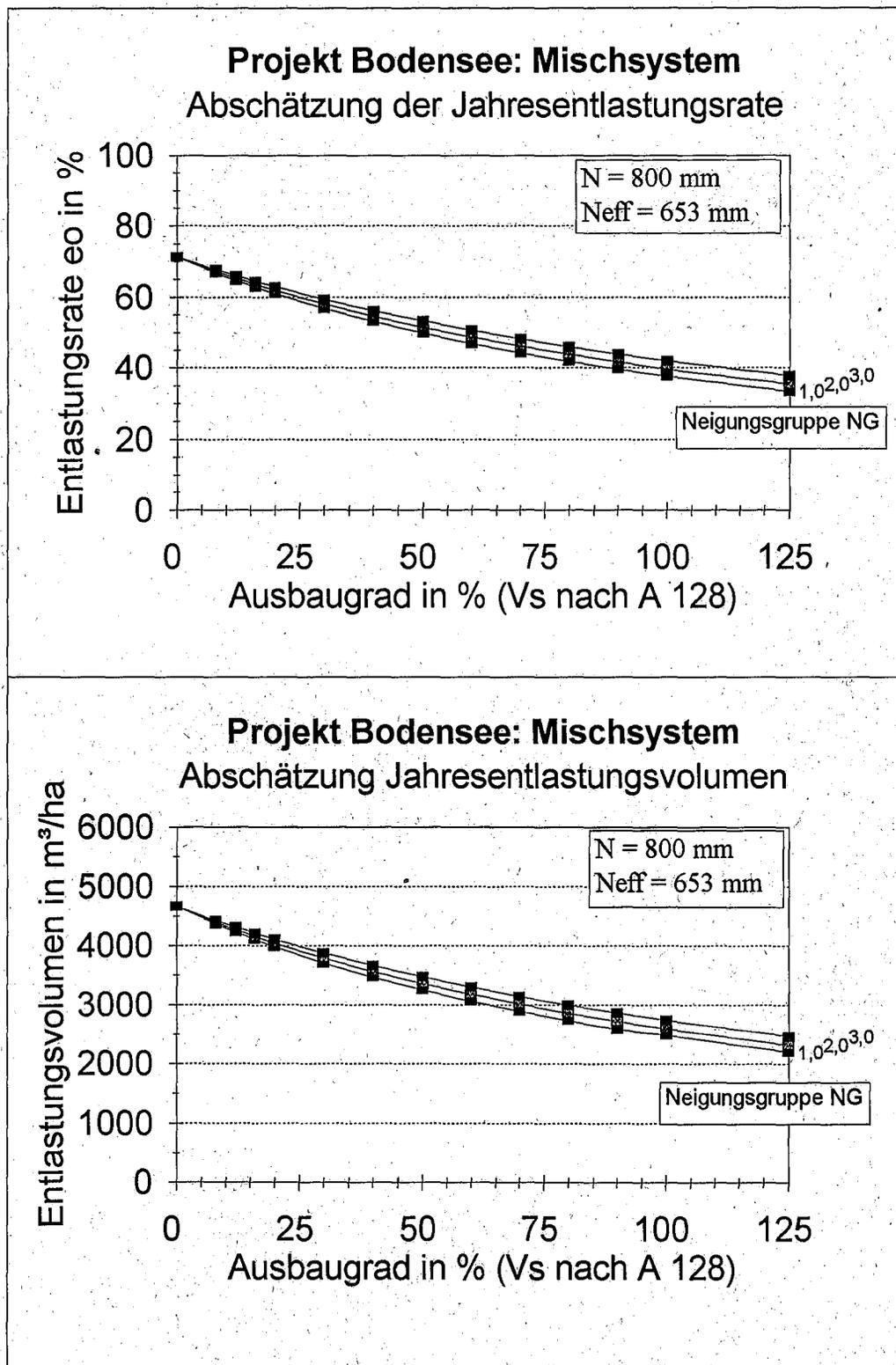
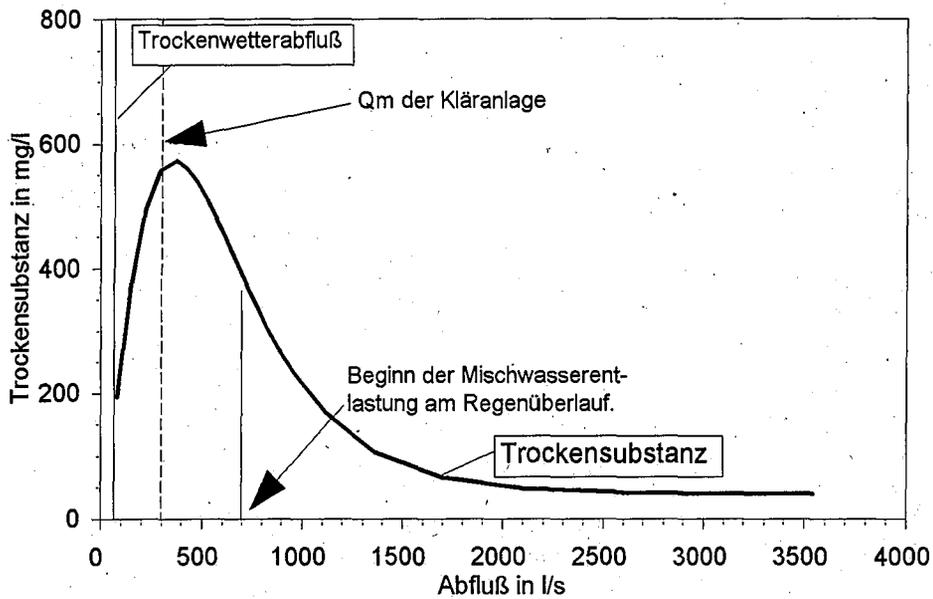


Bild 10: Mischwasserentlastungsrate und Mischwasserentlastungsvolumen bei einem Jahresniederschlag von 800 mm und einem Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung nach A128 (1992) für mittlere Verhältnisse, siehe Kapitel 4, für verschiedene Neigungsgruppen.

Mischwasserkanal am RÜ Herrenwiesen

Zusammenhang: TS in mg/l und Abfluß Q



Mischwasserkanal am RÜ Herrenwiesen

Zusammenhang: Leitfähigkeit - Abfluß

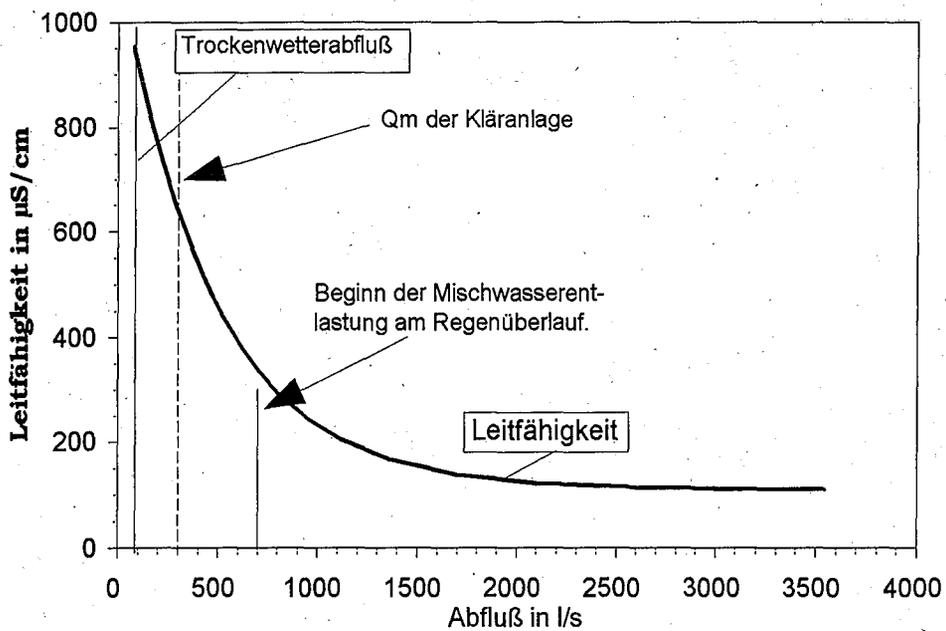


Bild 11: Zusammenhang zwischen der Trockensubstanz und der Leitfähigkeit und der Höhe des Mischwasserabflusses im Mischwasserkanal an einem Regenüberlauf

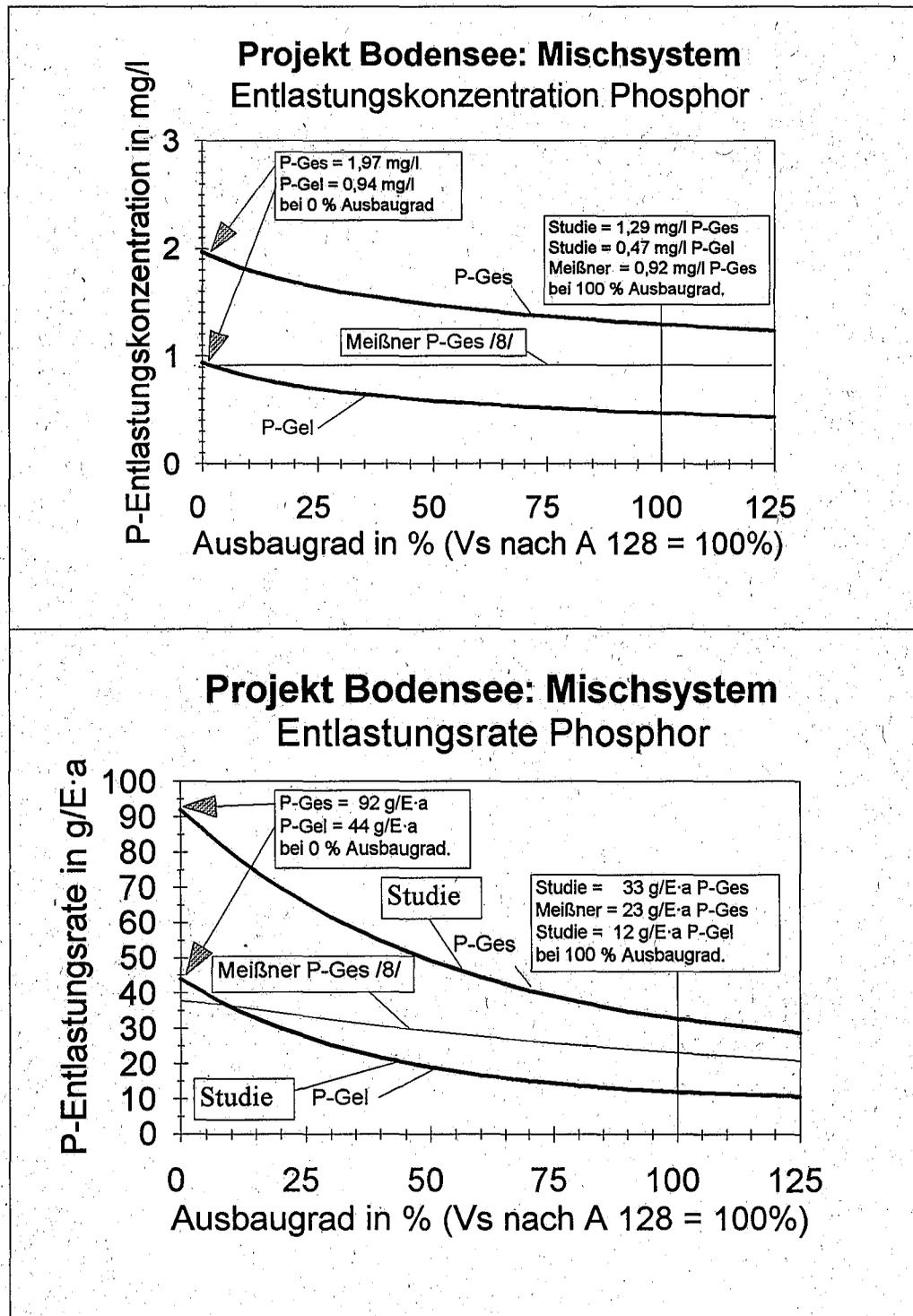


Bild 12: Phosphor-Konzentration im entlasteten Mischwasser und einwohnerbezogene P-Entlastungsfracht in Abhängigkeit vom Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung

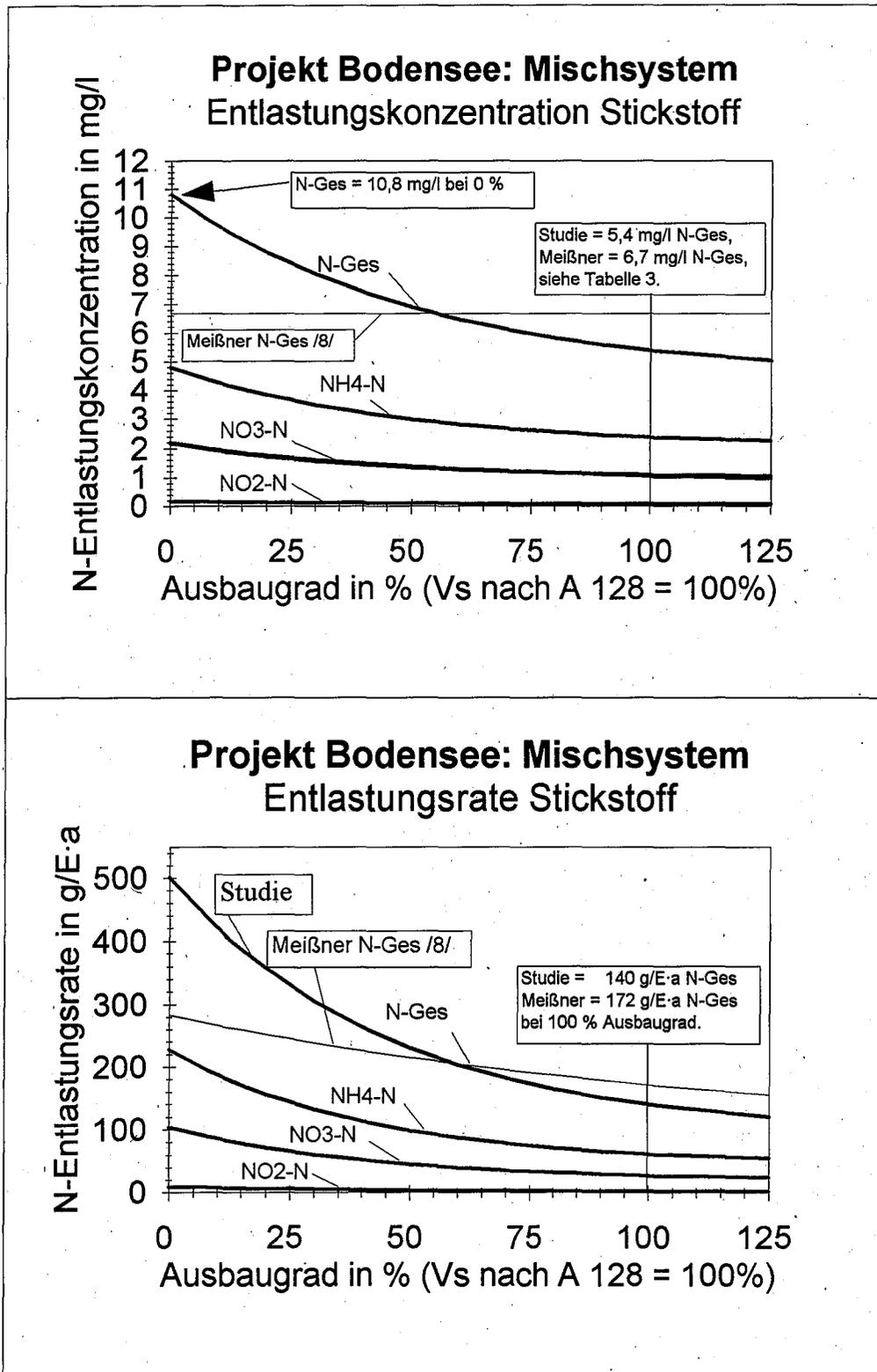


Bild 13: Stickstoff-Konzentration im entlasteten Mischwasser und einwohnerbezogene Stickstoff-Jahresentlastungsfracht in Abhängigkeit vom Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung

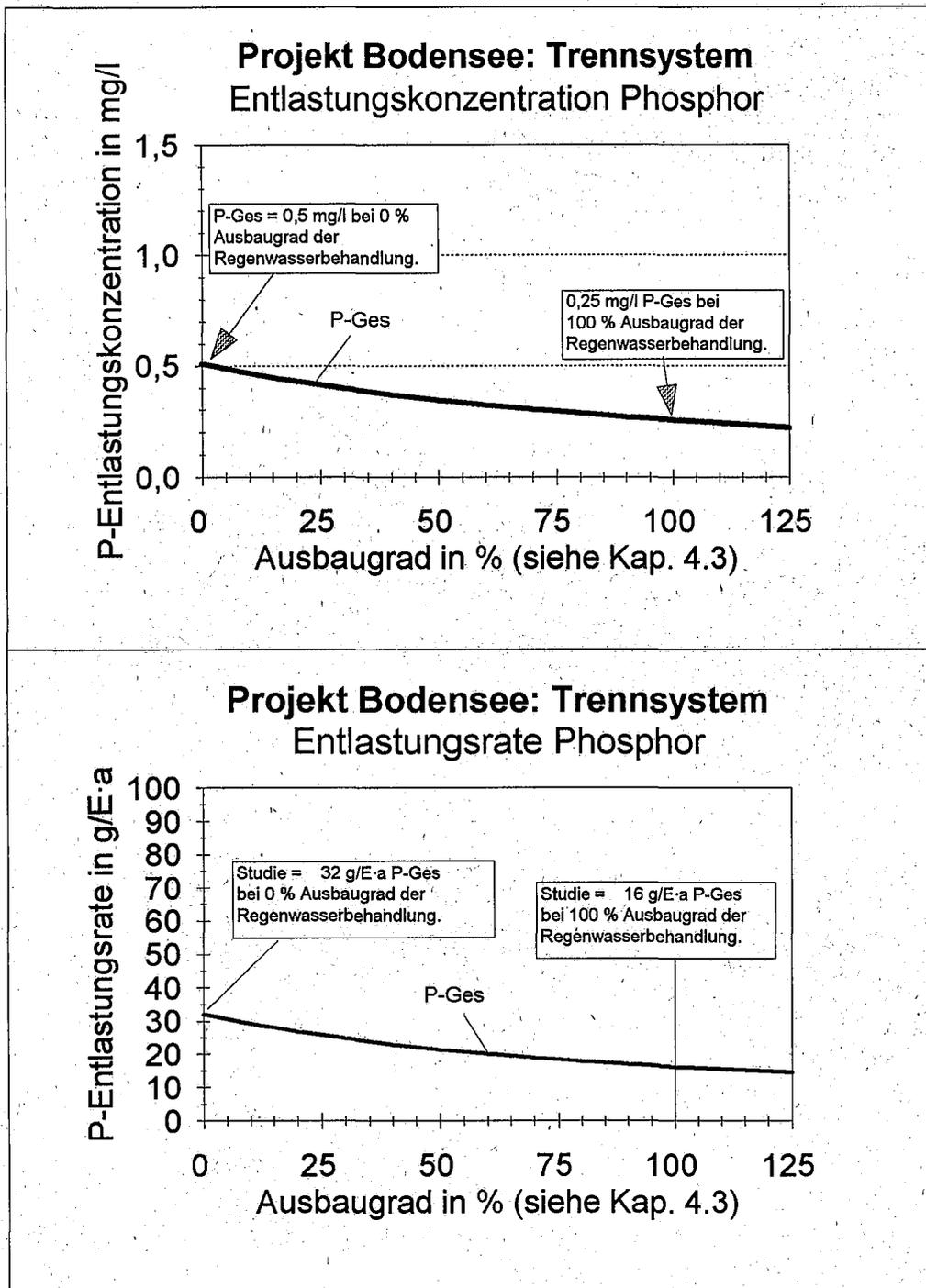


Bild 14: Phosphor-Konzentration und einwohnerbezogene Phosphor-Entlastungsfracht im Regenabfluß aus Trenngebieten in Abhängigkeit vom Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung, siehe auch Kapitel 4.3 und 4.4.

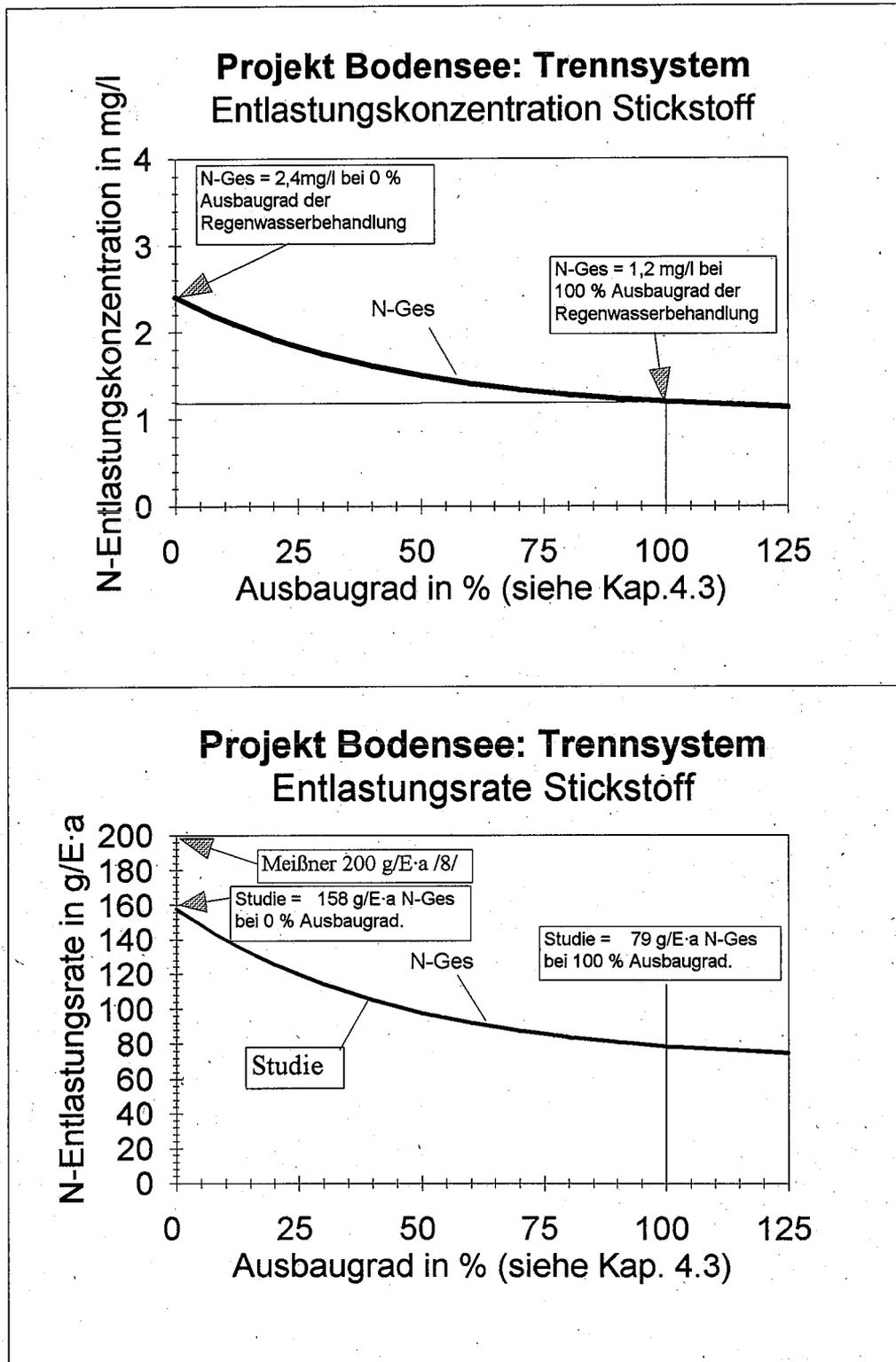


Bild 15: Stickstoff-Konzentration und einwohnerbezogene Stickstoff-Entlastungsfracht im Regenabfluß aus Trennkanalesationen in Abhängigkeit vom Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung, siehe auch Kapitel 4.3 und 4.4.

Ort	E	AG	Vs	P-Ges	P-Ges	P-Gel	P-Gel	N-Ges	NH4-N	NO3-N	NO2-N	N-Ges	NH4-N	NO3-N	NO2-N
	Stück	%	m³/ha	g/E-a	kg/a	g/E-a	kg/a	g/E-a	g/E-a	g/E-a	g/E-a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a
Schussenried	5490	90	22,5	35	190,9	12,8	70,2	151,7	66	30,0	2,57	832,6	362,3	164,4	14,1
Otterswang	580	25	6,25	66	38,0	27,5	15,9	329,8	144	66,2	5,81	191,3	83,4	38,4	3,4
Altshausen	3597	70	17,5	41	146,1	15,0	54,1	182,6	78	35,9	3,07	657,0	281,9	129,1	11,0
Aulendorf	6293	84	21	36	228,4	13,3	83,9	159,6	69	31,4	2,70	1004,1	434,7	197,9	17,0
Bad Waldsee	11194	51	12,75	49	544,5	18,6	208,5	227,8	98	44,9	3,86	2550,0	1091,5	502,7	43,2
Bergatreute	1811	98	24,5	33	59,7	12,2	22,0	142,6	63	28,3	2,43	258,3	113,2	51,2	4,4
Bodnegg	1540	100	25	33	50,2	12,0	18,5	140,6	62	27,9	2,40	216,5	95,1	43,0	3,7
Boms	369	50	12,5	49	18,1	18,9	7,0	230,7	99	45,5	3,91	85,1	36,5	16,8	1,4
Ebenweiler	800	100	25	33	26,1	12,0	9,6	140,6	62	27,9	2,40	112,5	49,4	22,3	1,9
Ebersbach	1028	94	23,5	34	34,8	12,4	12,8	146,9	64	29,1	2,50	151,0	66,0	29,9	2,6
Ettishofen	10705	36	9	57	614,3	23,0	246,2	279,5	121	55,6	4,82	2992,0	1290,3	595,0	51,6
Fronhofen	806	30	7,5	62	49,7	25,3	20,4	305,4	132	61,0	5,32	246,2	106,8	49,2	4,3
Gebrazhofen	912	100	25	33	29,7	12,0	11,0	140,6	62	27,9	2,40	128,2	56,3	25,4	2,2
Haggenmoos	238	100	25	33	7,8	12,0	2,9	140,6	62	27,9	2,40	33,5	14,7	6,6	0,6
Killegg	5121	47	11,75	51	259,8	19,6	100,5	240,0	103	47,4	4,08	1228,9	526,6	242,7	20,9
Langwiese	74529	70	17,5	41	3026,6	15,0	1121,5	182,6	78	35,9	3,07	13611,9	5840,9	2675,6	228,9
Reute	3391	26	6,5	65	219,6	27,0	91,6	324,7	141	65,1	5,71	1101,2	479,6	220,9	19,3
Schlier	4696	49	12,25	50	233,2	19,1	89,8	233,8	100	46,1	3,97	1097,7	470,1	216,6	18,6
Wolfegg	2209	30	7,5	62	136,2	25,3	55,9	305,4	132	61,0	5,32	674,7	292,6	134,8	11,8
Tettnang	9906	33	8,25	59	589,0	24,1	238,7	292,0	126	58,2	5,06	2892,9	1250,8	576,6	50,1
Schönach	648	70	17,5	41	26,3	15,0	9,8	182,6	78	35,9	3,07	118,35	50,8	23,3	2,0
Buggensegel	7709	69	17,25	41	315,8	15,2	117,1	184,6	79	36,3	3,10	1422,9	610,3	279,7	23,9
Frickingen	4391	77	19,25	38	168,2	14,1	62,0	170,2	73	33,5	2,87	747,4	321,9	147,0	12,6
Grasbeuren	5182	36	9	57	297,4	23,0	119,2	279,5	121	55,6	4,82	1448,3	624,6	288,0	25,0
Hattenweiler	188	100	25	33	6,1	12,0	2,3	140,6	62	27,9	2,40	26,4	11,6	5,2	0,5
Taisersdorf	264	100	25	33	8,6	12,0	3,2	140,6	62	27,9	2,40	37,1	16,3	7,4	0,6
Untersiggingen	2288	100	25	33	74,5	12,0	27,5	140,6	62	27,9	2,40	321,7	141,3	63,8	5,5
Herdwangen	687	40	10	55	37,7	21,7	14,9	264,0	114	52,3	4,53	181,4	78,0	36,0	3,1
Aach-Linz	1170	40	10	55	64,1	21,7	25,3	264,0	114	52,3	4,53	308,9	132,8	61,2	5,3
Haslachmühle	5377	100	25	33	175,2	12,0	64,6	140,6	62	27,9	2,40	755,9	332,1	150,0	12,9
Urbanstobel	1871	92	23	34	64,2	12,6	23,6	149,2	65	29,5	2,53	279,2	121,7	55,2	4,7
Oberteuringen	3141	43	10,75	53	166,5	20,7	65,2	253,2	109	50,1	4,32	795,4	341,5	157,4	13,6
Beuren	483	100	25	33	15,7	12,0	5,8	140,6	62	27,9	2,40	67,9	29,8	13,5	1,2
Bilderzhofen	352	100	25	33	11,5	12,0	4,2	140,6	62	27,9	2,40	49,5	21,7	9,8	0,8
Dürren	1408	99	24,75	33	46,2	12,1	17,0	141,6	62	28,1	2,42	199,4	87,5	39,5	3,4
Eglofs (Trennsystem)	511	0		32	16,4			158,0				80,7			
Eisenharz	706	29	7,25	62	44,1	25,7	18,1	310,1	135	62,0	5,42	218,9	95,0	43,8	3,8
Wangen	24777	72	18	40	989,1	14,8	365,8	178,9	77	35,2	3,01	4432,4	1903,8	871,4	74,6
Apflau	3318	61	15,25	44	146,2	16,5	54,8	201,7	86	39,7	3,40	669,2	286,4	131,6	11,3
Vogt	5279	97	24,25	33	175,2	12,2	64,5	143,7	63	28,5	2,45	758,4	332,2	150,2	12,9
Ried	10515	12	3	78	817,6	34,7	365,3	407,4	181	83,1	7,40	4283,8	1903,9	873,3	77,8
Friedrichshafen	50702	46	11,5	51	2600,3	19,9	1008,9	243,2	104	48,1	4,14	12329,6	5285,3	2436,2	209,8
Immenstaad	19979	32	8	60	1202,1	24,5	489,2	296,4	128	59,1	5,15	5922,0	2562,8	1181,4	102,8
Kreßbronn	13028	35	8,75	58	756,4	23,4	304,3	283,6	122	56,4	4,90	3694,5	1594,5	735,2	63,8
Uhdingen	34461	88	22	35	1215,0	13,0	446,5	154,2	67	30,4	2,61	5313,1	2307,7	1048,6	90,0
Eriskirch	23085														
Reiskirch RW	2686	20	5	70	187,8	30,0	80,6	357,1	157	72,1	6,36	959,1	421,0	193,6	17,1

Ort	E Stück	AG %	P-Ges g/E-a	P-Ges		P-Gel		N-Ges g/E-a	NH4-N g/E-a	NO3-N g/E-a	NO2-N g/E-a	N-Ges in t/a	NH4-N in t/a	NO3-N in t/a	NO2-N in t/a
				t/a	t/a	t/a	t/a								
LRA Ravensburg	369421	30 %	49	16,1		6,2						75,5	32,6	14,94	1,29
				4,8		1,9		22,6	9,77	4,48	0,39				
Bodensee-Einzugsgebiet	1200000	50	49	59,0	19,8	23,8		230,7	99	45,5	3,91	276,9	118,5	54,6	4,69
Schussen	145215	64,2	43	6,5	17,0	2,5						30,1	12,9	5,94	0,51

Bild 16: Bilanz des P- und N-Austrags aus Misch- und Trennkansalisationen im Bereich des Landratsamtes Ravensburg aus Regenentlastungen, für das Einzugsgebiet der Schussen und hochgerechnet für das gesamte Bodensee-Einzugsgebiet bei einem geschätzten Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung von 50 %.

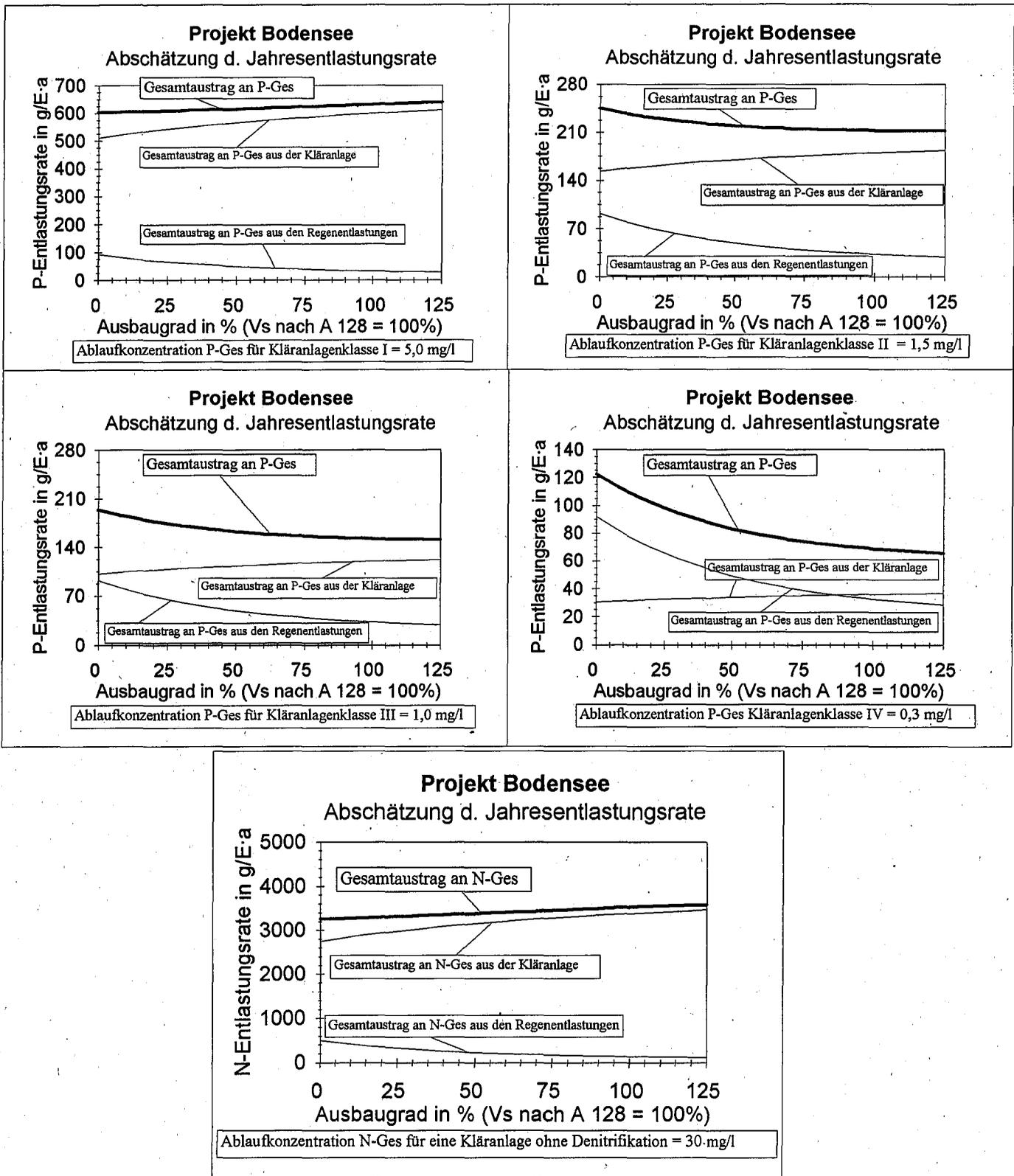


Bild 17: Abhängigkeit der einwohnerbezogenen Jahresentlastungsfracht für P und N vom Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung, bezogen auf das Gesamtsystem Regenwasserbehandlung - Kläranlage.

Veröffentlichungen der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB)

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

IGKB-Berichte (Blaue Berichte)

- Nr. 1 Zustand und neuere Entwicklung des Bodensees 1963
- Nr. 2 Die Abwasserbelastung der Uferzone des Bodensees 1964
- Nr. 3 Die Sauerstoffschichtung im tiefen Hypolimnion des Bodensee-Obersees 1963/64 mit Berücksichtigung einiger Untersuchungsergebnisse aus früheren Jahren 1964
- Nr. 4 Gewässerschutzvorschriften der Bodensee-Anliegerstaaten 1966
- Nr. 5 Die Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse des Bodensees in den Jahren 1961 bis 1963 1967
- Nr. 6 Untersuchungen zur Feststellung der Ursache für die Verschmutzung des Bodensees 1967
- Nr. 7 Stellungnahme der Sachverständigen zur Frage einer Bodensee-Ringleitung 1967
- Nr. 8 Die Sauerstoffbilanz des Bodensee-Obersees 1967
- Nr. 9 Bodensee-Sedimente 1971
- Nr. 10 Bericht über den Bodensee 1971
- Nr. 11 Die Berechnung von Frachten gelöster Phosphor- und Stickstoffverbindungen aus Konzentrationsmessungen in Bodenseezuflüssen 1973
- Nr. 12 Die Makrophytenvegetation in der Uferzone des Bodensees 1973
- Nr. 13 Bau- und Investitionsprogramm - Stand der Abwasserbeseitigung 1973
- Nr. 14 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

