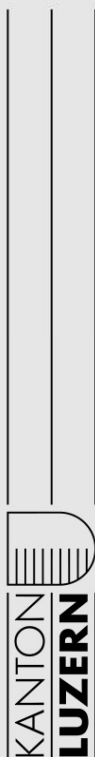




# Sanierung des Sempachersees

*Auswertung der  
Zufluss-Untersuchungen  
1998 bis 2003*

*Januar 2005*



Umwelt und Energie | [umwelt-luzern.ch](http://umwelt-luzern.ch)

**Autor: Peter Herzog**

**Mitwirkende: Cornelia Crespi, Robert Lovas**

Umwelt und Energie  
Abteilung Gewässer  
Libellenrain 15  
Postfach 3439  
CH-6002 Luzern  
[www.umwelt-luzern.ch](http://www.umwelt-luzern.ch)

## Vorwort

Mitglieder des Gemeindeverbandes Sempachersee und die Mitarbeiter des damaligen Gewässerschutzamtes haben 1984 die ersten Zuflussuntersuchungen am Sempachersee veranlasst. In der Zwischenzeit sind 20 Jahre vorbei und die Zuflussuntersuchungen sind zur Daueraufgabe geworden. Zwar spricht man heute weniger von Gewässeruntersuchungen sondern ganz modern von Umwelt- und Gewässermonitoring. Die Aufgabe ist aber mehr oder weniger dieselbe geblieben. Monitoring heisst Überwachung, weiter bedeutet es intensives Beobachten und Untersuchen der Wirkungsbeziehungen zwischen den einzelnen Umweltelementen Luft, Wasser, Boden, Pflanzendecke und Tierwelt. Die Gewässerüberwachung ist ein Teil dieser integralen Umweltbeobachtung und muss daher auch im Sinne eines gesamtheitlichen Aspektes des Umweltmonitorings erfolgen.

Die Überwachung eines Systems dient der frühzeitigen Erkennung von Veränderungen (Frühwarnsystem) als Folge eines äusseren Einflusses. Im Fall Sempachersee soll sie auch dazu dienen, Änderungen laufend zu dokumentieren und eingeleitete Massnahmen im Seeinzugsgebiet zu überprüfen (Erfolgskontrolle). Biologische Systeme sind im Allgemeinen derart komplex, dass sie nicht als Ganzes überwacht werden können. Ein Monitoring beruht daher auf der Überwachung von Teilbereichen des gesamten Systems. Die integrale Gewässeruntersuchung sieht deshalb neben der chemisch-physikalischen Untersuchung der Wasserqualität auch Module für Ökomorphologie (Gesamtheit der Struktur eines Gewässers), Hydrologie, Biologie und Ökotoxikologie (Einfluss von Umweltschadstoffen auf den Gesundheitszustand von Wasserorganismen) vor.

Das Monitoring dauert im Prinzip so lange, bis angenommen werden kann, dass keine weiteren äusseren Faktoren auf das System einwirken und der neue Gleichgewichtszustand wieder erreicht worden ist. Hoffen wir, dass auch der Sempachersee bald einen Gleichgewichtszustand erreichen wird. Gleichgewicht für einen gesunden Sempachersee heisst ständig Phosphor-Konzentrationen unter  $30 \text{ mg/m}^3$  Wasser und jederzeit ein Sauerstoffgehalt im ganzen See von mindestens 4 mg/ Liter. Die Aussichten, dieses Ziel zu erreichen, waren noch nie so gut wie heute.

Dank gehört insbesondere jenen, die mit sehr viel Eigeninitiative und mit grossem Engagement die Überwachung und Sanierung des Sempachersees seit langer Zeit lenken und steuern. Es sind Mitglieder des Gemeindeverbandes, Mitarbeiter der kantonalen Verwaltung, Fachleute von Hochschulen, Hydrologen und Ingenieure von privaten Firmen, aber auch die Landwirte, die wesentlich zur Verbesserung des Seezustandes beigetragen haben.

Ein besonderer Dank gebührt Peter Herzog, der seit 15 Jahren für die Zuflussuntersuchungen und Datenauswertungen verantwortlich ist. Er ist auch Autor dieses Berichtes. Danken möchten wir auch Cornelia Crespi und Robert Lovas, die ihn aktiv unterstützten.

Felix Renner  
Dienststelle Umwelt und Energie (*uwe*)  
Abteilungsleiter Gewässer



# Inhalt

<b>1.</b>	<b>Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Untersuchungsgebiet</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>Methodik</b>	<b>5</b>
<b>3.1.</b>	<b>Allgemeines Messprogramm</b>	<b>5</b>
3.1.1.	Zuflüsse und Abfluss	5
3.1.2.	Abwasserreinigungsanlage	5
3.1.3.	Chemische Analysen	6
<b>3.2.</b>	<b>Niederschlag</b>	<b>6</b>
<b>3.3.</b>	<b>Methodik der Frachtberechnung</b>	<b>6</b>
3.3.1.	Konzentration-Abfluss-Beziehungen	6
3.3.2.	Konzentration-Zeit-Beziehungen	7
<b>3.4.</b>	<b>Ermittlung des Phosphoraustrages aus dem messtechnisch nicht erfassten Einzugsgebiet</b>	<b>8</b>
<b>3.5.</b>	<b>Phosphoreintrag über Niederschläge</b>	<b>8</b>
<b>3.6.</b>	<b>Phosphoreintrag über Abwasser</b>	<b>9</b>
<b>4.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>9</b>
<b>4.1.</b>	<b>Hydrologische Verhältnisse</b>	<b>9</b>
4.1.1.	Niederschläge	9
4.1.2.	Abflussmengen der Zuflüsse	10
4.1.3.	Wasserbilanz	10
<b>4.2.</b>	<b>Phosphorfrachten der Zuflüsse</b>	<b>11</b>
4.2.1.	Phosphorfrachten der Bäche	11
4.2.2.	Flächenspezifische Phosphorfrachten der Zuflüsse	12
4.2.3.	Jährlicher Phosphoreintrag in den Sempachersee	14
4.2.4.	Zeitliche Entwicklung der abflussbereinigten Phosphoreinträge	15
4.2.5.	Entwicklung der jährlichen Phosphorzufuhren von 1954 bis 2003	16
<b>4.3.</b>	<b>Phosphorexport über die Suhre</b>	<b>19</b>
<b>5.</b>	<b>Reaktion des Sempachersees</b>	<b>20</b>
<b>5.1.</b>	<b>Phosphorbelastung und Phosphorinhalt des Sempachersees sowie Nettosedimentation</b>	<b>20</b>
<b>5.2.</b>	<b>Sauerstoffinhalt des Sempachersees</b>	<b>22</b>
<b>6.</b>	<b>Phosphorbilanz für den Sempachersee 1986 bis 2003</b>	<b>22</b>
<b>7.</b>	<b>Stickstoffbilanz des Sempachersees</b>	<b>24</b>
<b>8.</b>	<b>Pestizid-Untersuchungen</b>	<b>26</b>
<b>9.</b>	<b>Einfluss der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf den See und seine Zuflüsse</b>	<b>29</b>
<b>10.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>30</b>
<b>11.</b>	<b>Massnahmen und Empfehlungen</b>	<b>31</b>
<b>12.</b>	<b>Literatur</b>	<b>32</b>



## 1. Einleitung und Zielsetzung

Seit April 1984 werden die Zuflüsse zum Sempachersee im Rahmen des Monitorings von der Dienststelle Umwelt und Energie *uwe* (früher Amt für Umweltschutz AfU) untersucht. Die Daten dieser Untersuchungen wurden periodisch ausgewertet [3, 4, 5]. Die Zuflussuntersuchungen dienen als Erfolgskontrolle der im Seeinzugsgebiet getroffenen externen Massnahmen und sollen vor allem Aufschluss über die Phosphor- und Stickstoffzufuhren zum Sempachersee geben. Phosphor wird im gesamten Textteil dieser Arbeit mit dem Buchstaben P und Stickstoff mit N abgekürzt.

Vom März bis September 2004 wurden an sechs Tagen an drei Zuflüssen und in der Suhre Stichproben entnommen und auf Pestizid-Rückstände untersucht. Die Untersuchungen sollen darüber Auskunft geben, in welchem Umfang und wie sorgfältig im Seeinzugsgebiet Pestizide eingesetzt werden.

Schon 1979 [6] wurde erkannt, dass der Sempachersee nur durch Massnahmen, welche zu einer deutlichen Reduktion der P-Zufuhren aus seinem Einzugsgebiet führen, saniert werden kann. Die Grenzbelastung für den Sempachersee beträgt 4.7 t algenverfügbarer P pro Jahr. Als algenverfügbar wird die Summe von gelöstem bodenbürtigen P, von Gesamt-P aus der Siedlungsentwässerung (ARA-Ausläufe und Regenentlastungen) und Gesamt-P, welcher mit Niederschlägen (im Regen, mit Staub, Laub etc.) direkt auf den See fällt, bezeichnet.

Mit der "Agrarpolitik 2002" des Bundes verknüpft ist eine Änderung des Gewässerschutzgesetzes (GSchG), die es den Kantonen ermöglicht, die Bodenbewirtschaftung in belasteten Gebieten gewässerschonender zu steuern. Gemäss dem neuen, seit 1. Januar 1999 geltenden Artikel 62a leistet der Bund den Kantonen Abgeltungen an Massnahmen, die bei der Bodenbewirtschaftung zur Verhinderung von Abschwemmung und Auswaschung von Stoffen getroffen werden. Im P-Projekt Sempachersee vom 15. Januar 1999 (Kanton Luzern, 1999) werden Bauern im Einzugsgebiet des Sempachersees, die sich "besonders seegerecht" verhalten, zusätzlich entschädigt. Das Projekt hat unter anderem das Ziel, die jährlichen bodenbürtigen P-Zufuhren zum Sempachersee auf die Grenzbelastung von 4.3 t gelösten P zu senken. Das Monitoring an den Zuflüssen zum Sempachersee ist Bestandteil dieses Projektes.

Dank der bisher getroffenen Massnahmen im Seeinzugsgebiet, ab den 70er-Jahren mit dem Bau von Kanalisationen und Abwasserreinigungsanlagen mit P-Fällung, dem Phosphat-Verbot in Waschmitteln (1985) aber auch den wirkungsvollen Massnahmen in der Landwirtschaft, ist der P-Gehalt im Sempachersee von seinem Höchststand von 165 mg/m<sup>3</sup> im Jahre 1986 auf 29 mg/m<sup>3</sup> im Frühjahr 2004 zurückgegangen.

Die vorliegende Arbeit ermittelt die P-Zufuhren zum See für die Periode 1998 bis 2003 und stellt die ermittelten Daten der Zuflussuntersuchungen seit 1986 dar. Unter Einbezug früherer Messdaten kann die Entwicklung der P-Frachten und deren Herkunft in den letzten Jahrzehnten dargestellt werden.

Die Auswertung der Zuflussuntersuchungen hat folgende Ziele:

- Ermittlung der Nährstofffrachten der Zuflüsse zur Berechnung der P-Belastung des Sees und das Erstellen einer P-Bilanz für das ganze Seeinzugsgebiet
- Aufzeigen der Frachtanteile aus den verschiedenen Quellen (bodenbürtige P-Zufuhr, P-Zufuhr aus Abwasser und P-Einträge mit Niederschlägen auf den See)

- Erfolgskontrolle der getroffenen Massnahmen in den einzelnen Bacheinzugsgebieten
- Erkennen der Reaktion des Sempachersees auf Veränderung der P-Belastungen
- Empfehlungen für das Vorgehen bei den zukünftigen Zuflussuntersuchungen

Anlässlich des 20-jährigen Bestehens des Gemeindeverbandes Sempachersee, welcher sich auf Anordnung des Regierungsrates und im Auftrag der Gemeinden mit Massnahmen zur Sanierung des Sempachersee befasst, ist die Geschichte der Seesanie- rung aus der Sicht des Gewässerschutzes [1] und der Landwirtschaft [2] ausführ- lich beschrieben worden.

## 2. Untersuchungsgebiet

Die hydrographischen Kenndaten des Sempachersees sind in der Tabelle 1 aufgelistet. Das Einzugsgebiet des Sempachersees umfasst 61.8 km<sup>2</sup> und die Seeoberfläche 14.4 km<sup>2</sup>. Aus dem mittleren Abfluss von 1.30 m<sup>3</sup>/s und dem Seevolumen von 0.639 km<sup>3</sup> errechnet sich eine mittlere Wasseraufenthaltszeit im Sempachersee von 15.6 Jahren.

Tabelle 1 Hydrographische Kenndaten des Sempachersees

<i>Einzugsgebiet (ohne See)</i>	61.8 km <sup>2</sup>
<i>Seeoberfläche</i>	14.4 km <sup>2</sup>
<i>Länge des Fliessgewässernetzes</i>	141 km
<i>Durchschnittliche Gewässerdichte</i>	2.3 km/km <sup>2</sup>
<i>Höhe über Meer des Einzugsgebietes</i>	505-816 m ü M.
<i>Seevolumen</i>	0.639 km <sup>3</sup>
<i>Max. Tiefe</i>	87 m ü M.
<i>Mittlere Tiefe</i>	44 m ü M.
<i>Max. Länge</i>	7.5 km
<i>Max. Breite</i>	2.4 km
<i>Uferlänge (Seeumfang)</i>	19.8 km
<i>Mittlerer Abfluss (1976 - 2003)</i>	1.30 m <sup>3</sup> /s
<i>Mittlere Wasseraufenthaltszeit</i>	15.6 Jahre

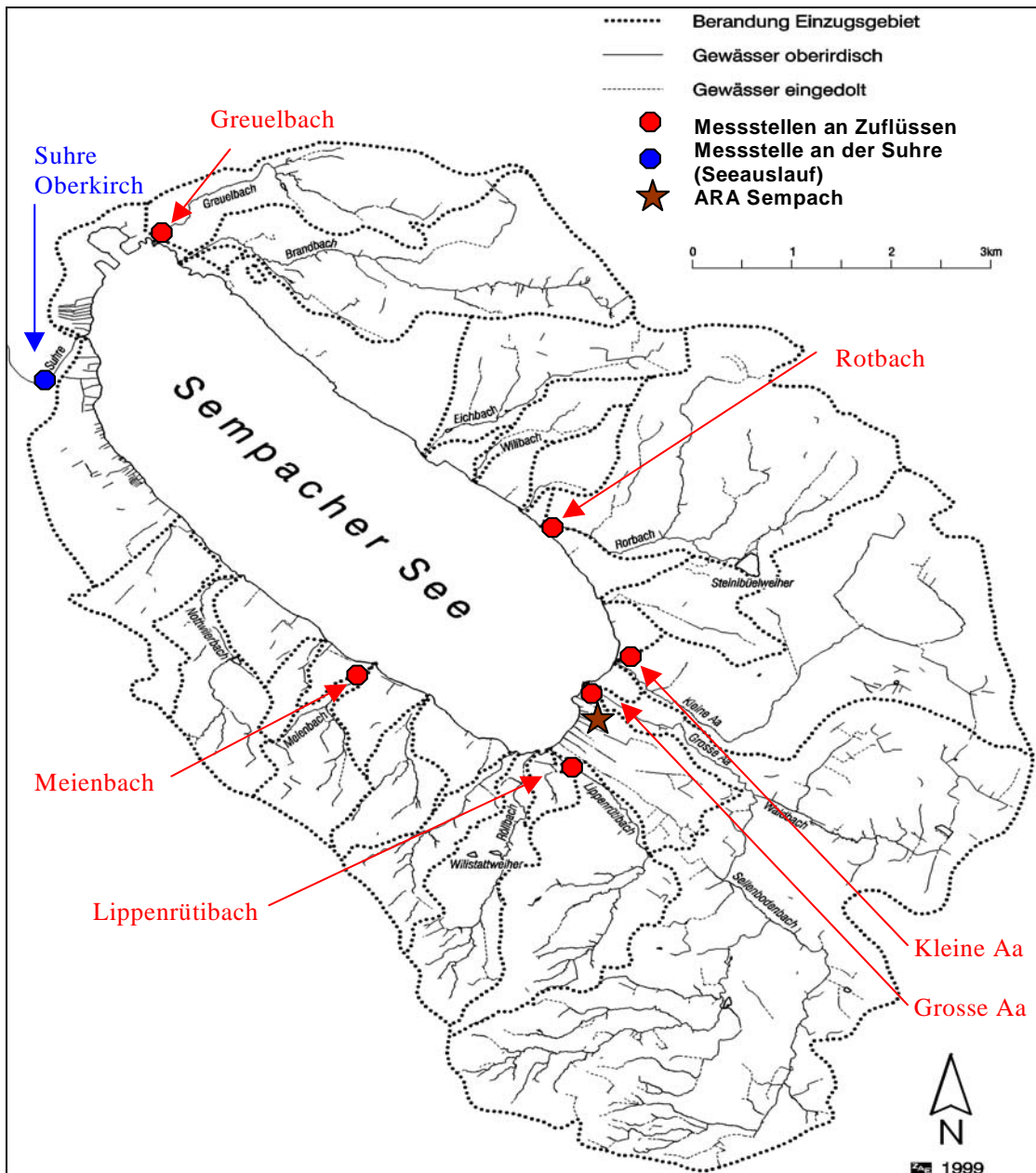
Die Tabelle 2 enthält wichtige Kenngrössen des Seeinzugsgebietes. Nach den aus der Datenbank LAWIS erhaltenen Informationen hat die landwirtschaftliche Nutzfläche im Einzugsgebiet des Sempachersees von 1996 bis 2004 um 0.5 % abgenommen und der Tierbestand in Düngegrossvieheinheiten (DGVE) um 2 % zugenommen. Die Ein- wohnerzahl ist im Seeinzugsgebiet seit 1996 deutlich von 12'600 auf etwa 13'500 an- gestiegen.

Tabelle 2 Kenngrössen des Sempachersee Einzugsgebietes im Jahre 2004

<i>Anzahl Einwohner im Seeinzugsgebiet</i>	<i>13'500 (Schätzung)</i>
<i>Einzugsgebiet (ohne See)</i>	<i>6'181 ha</i>
<i>Waldfläche</i>	<i>959 ha</i>
<i>Landwirtschaftliche Nutzfläche</i>	<i>4'773 ha</i>
<i>- davon Grünflächen</i>	<i>3'736 ha</i>
<i>- davon offene Ackerfläche</i>	<i>965 ha</i>
<i>Tierbestand total</i>	<i>12'100 DGVE</i>
<i>- davon Schweine</i>	<i>37'110 Stück</i>
<i>- davon Rindvieh</i>	<i>8'470 Stück</i>
<i>- davon Nutzgeflügel</i>	<i>88'930 Stück</i>
<i>Tierbelastung der landwirtschaftlichen Nutzfläche</i>	<i>2.52 DGVE/ha</i>
<i>Soll Tierbelastung nach GRUDAF 01[10]</i>	<i>1.80 DGVE/ha</i>
<i>Mittlere jährliche Niederschlagshöhe (1976 - 2002)</i>	<i>1132 mm</i>

Die Abbildung 1 vermittelt einen Überblick über das Einzugsgebiet des Sempachersees mit den Messstellen der beprobten Zuflüsse, deren Einzugsgebiete und der Messstelle Suhre Oberkirch im Seeauslauf. Eingezeichnet ist zudem der Standort der ARA Sempach.

Abbildung 1 Einzugsgebiet Sempachersee



Rund 90% der Abwässer der 13'500 Einwohner im Seeinzugsgebiet werden in Kläranlagen gereinigt, die Abwässer der restlichen Einwohner werden landwirtschaftlich verwertet.

### 3. Methodik

#### 3.1. Allgemeines Messprogramm

##### 3.1.1. Zuflüsse und Abfluss

Seit April 1984 werden die wichtigsten Zuflüsse zum Sempachersee systematisch untersucht. Die Überwachung erfolgte bis Juni 1987 durch periodische Beprobungen (24 Std.-Sammelproben) alle 11 Tage und ab Juli 1987 durch periodische 24 Std.-Sammelproben alle 22 Tage und zusätzlichen Probenahmen bei Hochwasserereignissen. Seit 1995 werden die Grosse Aa, die Kleine Aa, der Lippenrütibach, der Rotbach, der Greuelbach und der Meienbach untersucht. An diesen Bächen wird kontinuierlich der Wasserstand mittels Limnigraphen registriert. Mittels Eichmessungen (Salzverdünnungsmethode, 3-5 mal pro Jahr und Messstelle) werden die Pegel-Abflussbeziehungen bestimmt und mit diesen die täglichen Abflussmengen ermittelt.

Die Tabelle 3 enthält die Anzahl der analysierten Proben.

**Tabelle 3** Anzahl der analysierten Proben an den Zuflüssen des Sempachersees von 1986 bis 2003  
P = periodische Proben, H = Hochwasserproben

Jahr	1986		1987		1988		1989		1990		1991		1992		1993		1994		1995		1996		1997		1998		1999		2000		2001		2002		2003	
	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H				
Grosse Aa	33	23	17	17	41	15	21	15	22	16	10	17	16	16	14	16	15	17	16	15	9	17	7	15	8	15	14	16	11	15	10	17	13	16	8	
Kleine Aa	33	23	14	17	39	15	19	15	23	16	8	17	19	16	14	16	14	17	18	16	10	17	10	15	12	16	18	16	8	16	10	17	12	16	4	
Rotbach	33	23	18	17	38	15	18	15	23									17	19	16	8	17	8	15	11	17	17	16	10	15	10	16	14	14	4	
Lippenrütibach	33	23	77	17	40	15	20	14	21	15	10	17	19	16	14	15	15	17	12	16	5	17	7	15	5	17	15	16	7	15	9	17	13	13	7	
Meienbach						14	6	15	12	16	7	17	17	16	12	16	13	17	15	16	6	17	3	15	8	17	17	16	8	15	8	17	11	15	4	
Nottwilerbach	33	23	12	17	28	15	4	15	13																											
Greuelbach	31	21	16	17	31	15	10	15	17										17	17	16	9	17	5	15	11	17	16	16	13	15	9	17	14	13	8
<b>Total</b>	<b>196</b>	<b>290</b>	<b>319</b>	<b>202</b>	<b>235</b>	<b>98</b>	<b>139</b>	<b>118</b>	<b>120</b>	<b>199</b>	<b>142</b>	<b>142</b>	<b>145</b>	<b>196</b>	<b>153</b>	<b>147</b>	<b>178</b>	<b>122</b>																		

In der Suhre, dem Seeabfluss, wurden im Rahmen der periodischen Untersuchungen der Fliessgewässer bei der Messstelle in Oberkirch monatliche Stichproben entnommen und analysiert. Das Bundesamt für Wasser und Geologie misst an dieser Stelle permanent die Abflussmenge in der Suhre.

##### 3.1.2. Abwasserreinigungsanlage (ARA)

Nachdem Ende 1992 der Betrieb der ARA Hildisrieden eingestellt wurde und seitdem die kommunalen Abwässer dieser Gemeinde in die ARA Surental (Triengen) abgeleitet werden, ist im Einzugsgebiet des Sempachersees nur noch die ARA Sempach-Neuenkirch in Betrieb. In Tabelle 4 (Anhang) sind die jährlichen Abwassermengen und P-Frachten, welche mit dem gereinigten Abwasser in den Sempachersee eingeleitet werden, sowie die prozentuale P-Elimination der ARA in den Jahren 1986 bis 2003 zusammengestellt.

Obschon die Belastung der ARA Sempach infolge Zunahme der Bevölkerung seit 1986 bis 2003 eine Verdoppelung erfahren hat, konnte dank umsichtiger Betreuung der ARA und technischer Anpassungen die in den Sempachersee eingeleitete Phosphorfracht auf dem tiefen Stand von rund 350 kg Gesamtposphor pro Jahr gehalten werden. Trotz reger Bautätigkeit und der Erschliessung neuer Siedlungsflächen ist die jährlich zu behandelnde Abwassermenge kaum angestiegen. Die Massnahmen in der Siedlungsentwässerung, das Abtrennen von unverschmutztem Regenwasser und Versickern oder Einleiten über Retention in Oberflächengewässer, sind erfolgreich.

### 3.1.3. Chemische Analysen

Die chemischen Analysen der Proben wurden durch das Kantonale Laboratorium Luzern durchgeführt. In den Proben der Zuflüsse wurden Ammonium (NH<sub>4</sub>-N), Nitrat (NO<sub>3</sub>-N), Orthophosphat (PO<sub>4</sub>-P), gelöster P und Gesamt-P sowie die ungelösten Stoffe (GUS) bestimmt. Zusätzlich wurden im Hauptzufluss (Grosse Aa) bei den periodischen Proben Chlorid (Cl<sup>-</sup>), Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) und der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) analysiert.

An der Stelle Suhre Oberkirch, dem Abfluss des Sempachersees, wurde in den Stichproben neben den oben aufgeführten Messgrössen noch Nitrit (NO<sub>2</sub>-N) analysiert.

## 3.2. Niederschlag

Für die Referenzmessung der Niederschläge, welche auf den See und sein Einzugsgebiet fallen, wird die Messstation Sempach (510 m ü. M., SMA Nr. 6800) verwendet.

## 3.3. Methodik der Frachtberechnung

Hinsichtlich der Methodik der Frachtberechnung und der Fehlerrechnung wird auf den Bericht „Zufluss-Untersuchungen Sempachersee 1992/97“ vom Oktober 1999 [5] verwiesen.

### 3.3.1. Konzentrations-Abfluss-Beziehungen

Für die in diesem Bericht errechneten P-Frachten sind folgende c-Q-Beziehungen verwendet worden:

$$F1: c(Q) = a_1/Q + a_2 \cdot Q^{a_3}$$

$$F2: c(Q) = a_1/Q + a_2 \cdot \log_{10}(Q+1)$$

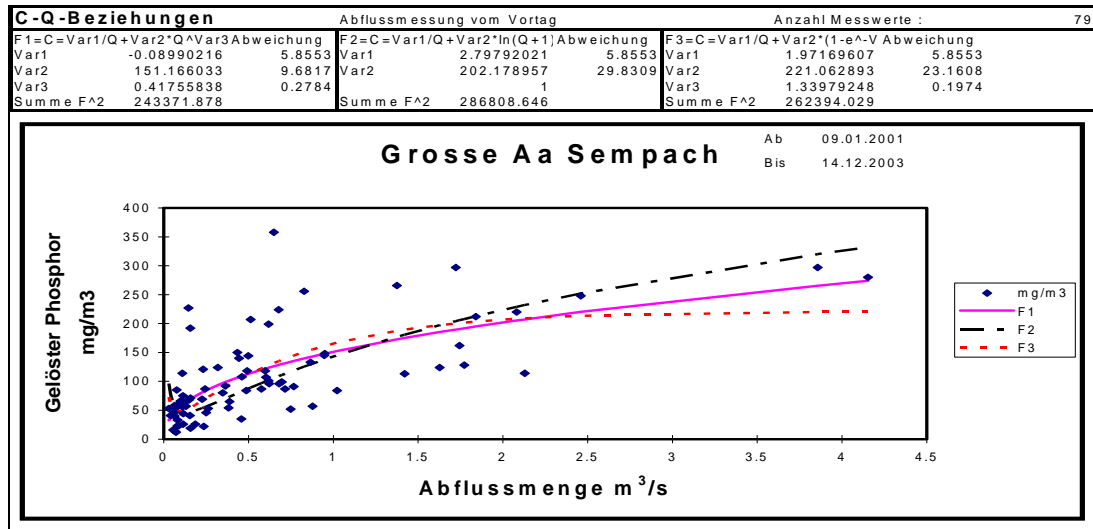
$$F3: c(Q) = a_1/Q + a_2 \cdot (1 - e^{-(a_3 \cdot Q)})$$

Q ist die Abflussmenge, c steht für die P-Konzentration und a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> und a<sub>3</sub> sind die für die Periode gültigen Konstanten.

Aus den in der Gewässerdatenbank der Dienststelle uwe abgelegten Tagesabflussmengen und P-Konzentrationen jeder Messstelle lassen sich für ausgewählte Zeitspannen die c-Q-Beziehungen errechnen. Das Programm liefert gleichzeitig mit den c-Q-Beziehungen die Summe der Fehlerquadrate der einzelnen Messwerte und damit den statistischen Hinweis, welche der c-Q-Beziehungen der tatsächlichen Situation am nächsten kommt. Die so ermittelte beste c-Q-Beziehung inkl. Angaben für die Fehlerrechnung wird in die Datenbank zurück geschrieben. Aus statistischen Gründen sind für eine hinreichende Genauigkeit zur Ermittlung einer c-Q-Beziehung etwa 100 Messwerte notwendig. Beim heutigen Untersuchungsprogramm werden jährlich pro Messstelle je nach Witterungscharakter 20 bis 36 Proben untersucht. Zur Ermittlung der c-Q-Beziehungen werden deshalb gleitende Dreijahresperioden ausgewertet und die erhaltenen c-Q-Beziehungen jeweils für das mittlere Jahr dieser Perioden zur Frachtberechnung verwendet.

Aus den Tagesabflussmengen und den c-Q-Beziehungen lassen sich die Tagesfrachten und durch Summierung dieser Werte die Jahresfrachten errechnen. Die Frachtberechnung für das Jahr 2003 muss, da es sich um das letzte Jahr der Messreihe handelt, als provisorisch angesehen werden.

Abbildung 2 Beispiel Berechnung c-Q-Beziehung von gelöstem P in der Grossen Aa in der Periode 2001 bis 2003



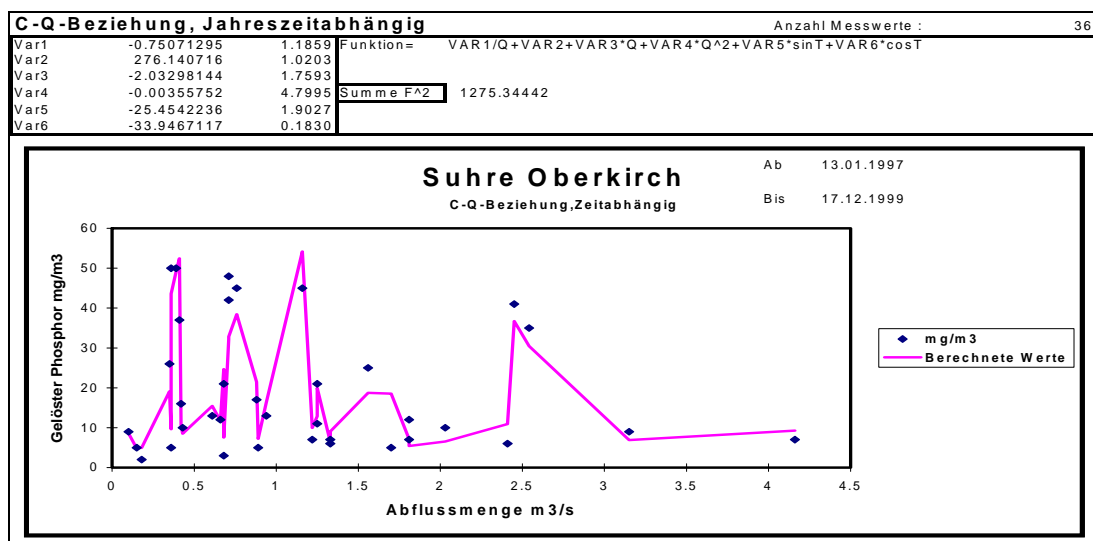
### 3.3.2. Konzentration-Zeit-Beziehungen

Der Seeabfluss wird aus den oberflächennahen Schichten des Sempachersees gespeisen. Die Konzentrationen der Wasserinhaltsstoffe zeigen somit saisonale Schwankungen. Aus diesem Grund erfolgte für die Messstelle Suhre Oberkirch die Frachtberechnung mit nachstehender jahreszeitabhängigen Konzentration-Abfluss-Beziehung:

$$F4: c(Q,t) = a_1/Q + a_2 + a_3 \cdot Q + a_4 \cdot Q^2 + a_5 \cdot \sin(t) + a_6 \cdot \cos(t)$$

Q ist die Abflussmenge, c steht für die P-Konzentration,  $a_1 - a_6$  sind für die Periode gültige Konstanten und t steht für den Tag des Kalenderjahres.

Abbildung 3 Beispiel Berechnung c-Q-t-Beziehung von gelöstem P der Periode 1997 bis 1999 für die Suhre Oberkirch



### 3.4. Ermittlung des Phosphoraustrages aus dem messtechnisch nicht erfassten Einzugsgebiet

In der Berichtsperiode 1998 bis 2003 wurde das Messprogramm an den Zuflüssen gegenüber der Vorperiode unverändert weitergeführt. Dies erlaubt nun, die Ermittlung des P-Austrages aus dem messtechnisch nicht erfassten Einzugsgebiet nach der im Vorgängerbericht [5] erarbeiteten Methode durchzuführen. Die Methode besteht darin, das Seeinzugsgebiet in drei Teileinzugsgebiete aufzuteilen und die flächenspezifischen jährlichen P-Einträge der in den Teileinzugsgebieten gemessenen Zuflüsse auf das ganze Teileinzugsgebiet hochzurechnen. Das südliche Teileinzugsgebiet wird durch die Grosse Aa, die Kleine Aa und den Lippenrütibach, das westliche durch den Meienbach und das östliche Gebiet durch den Rotbach und den Greuelbach repräsentiert. Mit diesem Ansatz wurden auch die Frachten früherer Jahre neu ermittelt. Somit liegen für die Jahre 1986 bis 2003 einheitlich ermittelte Frachtabschätzungen vor.

Tabelle 5 Einzugsgebietsflächen der gemessenen Zuflüsse sowie der Restflächen

Zuflüsse	Gebietsflächen in km <sup>2</sup>			Anteil am Gesamtinzugsgebiet von 61.8 km <sup>2</sup>
	südliches Teileinzugsgebiet	westliches Teileinzugsgebiet	östliches Teileinzugsgebiet	
<b>Grosse Aa</b>	<b>15.58 km<sup>2</sup></b>			25.2%
<b>Kleine Aa</b>	<b>6.98 km<sup>2</sup></b>			11.3%
<b>Lippenrütibach</b>	<b>3.24 km<sup>2</sup></b>			5.2%
Restfläche	5.20 km <sup>2</sup>			8.4%
<b>Total</b>	<b>31.00 km<sup>2</sup></b>			<b>50.2%</b>
<b>Meienbach</b>		<b>1.19 km<sup>2</sup></b>		1.9%
Restfläche		9.38 km <sup>2</sup>		15.2%
<b>Total</b>		<b>10.57 km<sup>2</sup></b>		<b>17.1%</b>
<b>Rotbach</b>			<b>5.95 km<sup>2</sup></b>	9.6%
<b>Greuelbach</b>			<b>2.58 km<sup>2</sup></b>	4.2%
Restfläche			11.68 km <sup>2</sup>	18.9%
<b>Total</b>			<b>20.21 km<sup>2</sup></b>	<b>32.7%</b>

Vom 61.8 km<sup>2</sup> grossen Einzugsgebiet des Sempachersees werden durch Messungen an den Zuflüssen 35.5 km<sup>2</sup> oder 57% überwacht.

### 3.5. Phosphoreintrag über Niederschläge

Im Zusammenhang mit Ammoniak-Immissionsmessungen [7] sind im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches (Weiler Holderhus) vom Dezember 1999 bis Oktober 2000 mittels Passivsammlern auch die P-Mengen im Niederschlag (Regen und Staub) gemessen worden. In der Tabelle 6 sind die Depositionsmengen von P aus den Untersuchungen von 1976, 1985 und 1999/2000 zusammengestellt

Tabelle 6 P-Konzentrationen im Niederschlag

Jahr	Autor	P-Konzentrationen im Niederschlag		
		mg PO <sub>4</sub> -P/m <sup>3</sup>	mg P <sub>gelöst</sub> /m <sup>3</sup>	mg Gesamt-P/m <sup>3</sup>
1976	Krummenacher [8]	36	53	83
1985	Bührer [9]	6	33	27
1999/2000	FUB [7]	52	62	87

Aufgrund der neuesten Messresultate, welche annähernd denjenigen aus dem Jahre 1976 entsprechen, wird im vorliegenden Bericht der jährliche P-Eintrag über die Niederschläge wie in den früheren Berichten mit 53 mg P<sub>gelöst</sub>/m<sup>3</sup> bzw. 83 mg Gesamt-P/m<sup>3</sup> gerechnet.

### 3.6. Phosphoreintrag über Abwasser

Im Einzugsgebiet des Sempachersees ist die Abwassersanierung annähernd abgeschlossen. Direkte Abwassereinleitungen aus Wohnhäusern sind keine bekannt. Allerdings erfolgen bei Starkregen an verschiedenen Stellen Regenwasserentlastungen aus der Kanalisation. In der Regel ist dieses Abwasser jedoch stark verdünnt. Als Schätzwert wird die P-Fracht aus Regenentlastungen, welche in den See münden, mit 100 kg P<sub>gelöst</sub>/Jahr bzw. 200 kg Gesamt-P/Jahr angenommen.

## 4. Ergebnisse

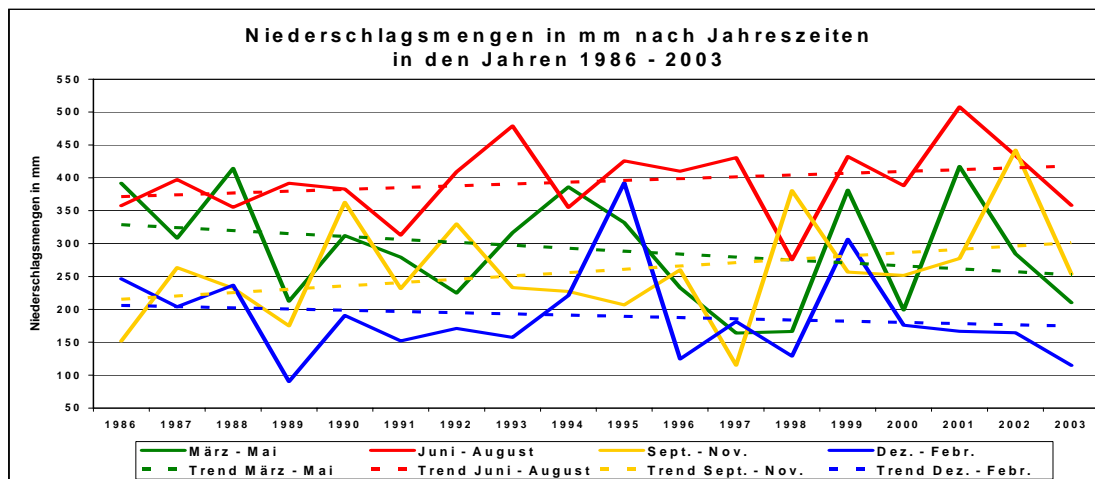
### 4.1. Hydrologische Verhältnisse

#### 4.1.1. Niederschläge

Die Tabelle 7 (Anhang) enthält die monatlichen und jährlichen Niederschlagshöhen in mm von 1986 bis 2003.

Das langjährige Mittel der Niederschlagshöhe (1976 – 2003) der Messstation Sempach beträgt 1125 mm, das Periodenmittel 1986 bis 2003 liegt mit 1134 mm geringfügig darüber. Zur Überprüfung, ob die sich abzeichnende Klimaänderung eine Verlagerung der Niederschläge zwischen den Jahreszeiten zur Folge hat, sind in der Abbildung 4 die Niederschlagsmengen der vier Jahreszeiten sowie deren linearer Trend dargestellt.

Abbildung 4 Niederschläge nach Jahreszeit in mm von 1986 bis 2003 bei der Station Sempach



Aus der Abbildung 4 ist ersichtlich, dass in den Sommermonaten (Juni – August) die grössten Niederschlagsmengen fallen, dies mit steigendem Trend. Die zweithöchsten Niederschlagsmengen wurden in den letzten Jahren im Herbst (September – November) auch mit deutlich steigendem Trend registriert. Die kleinsten Niederschlagsmengen wurden in den Wintermonaten (Dezember – Februar) bei sinkendem Trend gemessen. Mittlere Niederschlagsmengen wurden im Frühling (März – Mai) ebenfalls mit sinkendem Trend registriert.

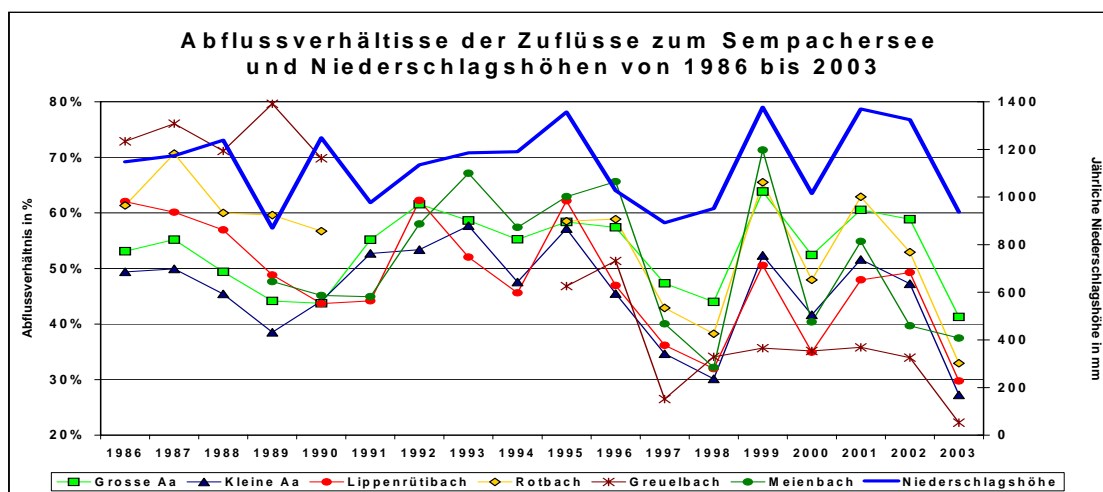
#### 4.1.2. Abflussmengen der Zuflüsse

In Tabellen 8 und 9 (Anhang) sind die Abflusskennzahlen der 6 untersuchten Zuflüsse zum Sempachersee von 1986 bis 2003 zusammengestellt. Neben den Jahresabflussmengen ist der Gebietsabfluss (in Litern pro Sekunde und km<sup>2</sup>), die Abflusshöhe (in mm/Jahr) und das Abflussverhältnis (prozentualer Anteil des Niederschlages, welcher an der Abflussmessstelle gemessen wurde) dargestellt.

Die stark unterschiedlichen Abflussmengen widerspiegeln die extremen Witterungsverhältnisse in der Berichtsperiode. Das Jahr 2003 war eines der trockensten Jahre seit 1986. Der Lippenrütibach und der Greuelbach trockneten während Wochen aus.

In Abbildung 5 sind die Abflussverhältnisse der untersuchten Zuflüsse sowie die Niederschlagshöhen für die Jahre 1986 bis 2003 dargestellt.

**Abbildung 5** Jährliche Abflussverhältnisse der Zuflüsse zum Sempachersee und Niederschlagshöhen von 1986 bis 2003



Aus der Abbildung 5 geht hervor, dass die Abflussverhältnisse der gemessenen Zuflüsse mit Ausnahme der Grossen Aa sinkende Trends zeigen. Insbesondere beim Greuelbach vermindert sich das Abflussverhältnis von 70 bis 80% in den Jahren 1986 – 1990 auf nur noch 20 – 40% in den Jahren 1997 – 2003.

#### 4.1.3. Wasserbilanz

Die Wasserbilanz (Anhang Tabelle 10) ist unter Berücksichtigung der grossen Messungenauigkeiten (Abflussmessung  $\pm 20\%$ ), Unsicherheiten bei der Schätzung der Verdunstung aus dem See und bei den möglichen, aber nicht berücksichtigten Grundwasserzu- oder -abflüssen sehr ausgeglichen.

## 4.2. Phosphorfrachten aus dem Seeinzugsgebiet

### 4.2.1. Phosphorfrachten der Bäche

Mit der in Abschnitt 3.3. beschriebenen Methode wurden die P-Frachten der einzelnen Bäche in den Jahren 1986 bis 2003 berechnet. Die für frühere Berichte berechneten Frachten können daher von den neu ermittelten Frachten geringfügig abweichen. Im Anhang (Tabellen 11 und 12) sind die P-Frachten detailliert zusammengestellt.

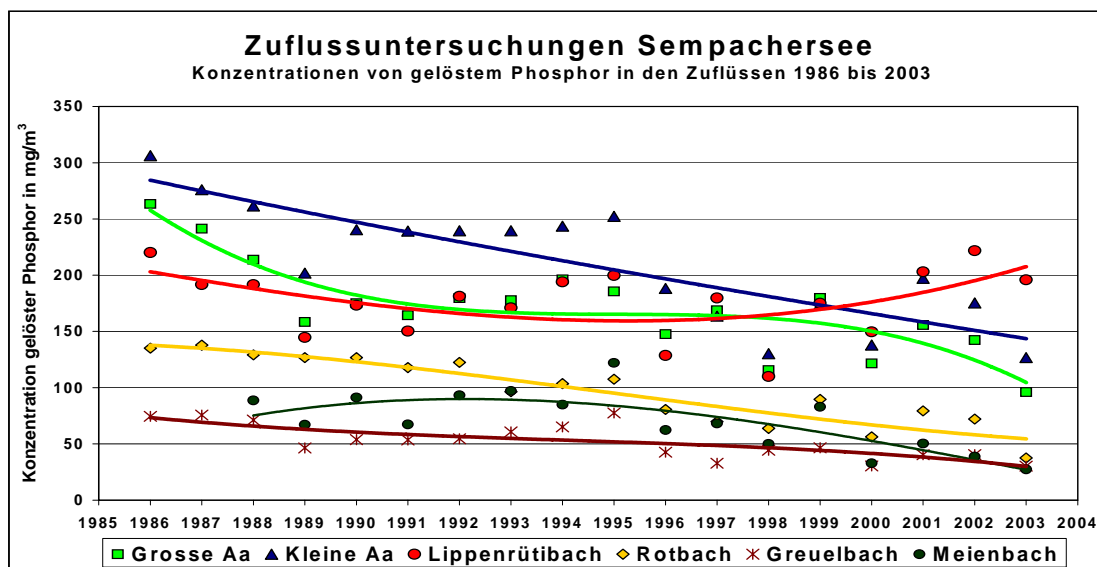
In den Jahren 1990 bis 1993 wurden aus Kostengründen der Rotbach und der Greuelbach nicht beprobt. Es fehlen somit aus dem östlichen Teileinzugsgebiet in diesen Jahren Messdaten. Durch Extrapolation der Jahresfrachten 1990 bis 1993 mit Abflussdaten aus dem südlichen Einzugsgebiet, wurde diese Datenlücke kompensiert. Da Ende 1991 die Gemeinde Hildisrieden an die ARA Surental angeschlossen und somit der Rotbach nicht mehr mit gereinigten häuslichen Abwässern der ARA Hildisrieden belastet wurde, sind die mittleren flächenspezifischen P-Frachten des Rotbaches und des Greuelbaches aus den Jahren 1987 bis 1989 für die Jahre 1990 und 1991 und diejenigen aus den Jahren 1994 bis 1996 für die Jahre 1992 und 1993 zur Frachtberechnung herangezogen worden.

Im westlichen Einzugsgebiet wurde bis 1987 der Nottwilerbach und ab 1988 der Meienbach beprobt.

Die Tabellen 13 bis 15 (Anhang) zeigen die jährlichen Abflussmengen und P-Frachten der einzelnen Bäche. Im südlichen, mit 31.0 km<sup>2</sup> grössten Teileinzugsgebiet fällt auf, dass im Jahr 1999 weitaus die grösste Fracht an partikulärem P ermittelt wurde, gefolgt von ebenfalls sehr hohen Frachten in den Jahren 2001 und 2002. Beim Rotbach und beim Greuelbach ist seit 1986 eine deutliche Abnahme der Fracht an gelöstem P zu beobachten. Der partikuläre P hingegen zeigt beim Rotbach steigende Tendenz. Beim Meienbach haben in der Untersuchungsperiode 1988 bis 2003 die Frachten an gelöstem P kaum abgenommen.

Der Konzentrationsverlauf an gelöstem P in den 6 beprobten Zuflüssen zum Sempachersee ist in Abbildung 6 dargestellt.

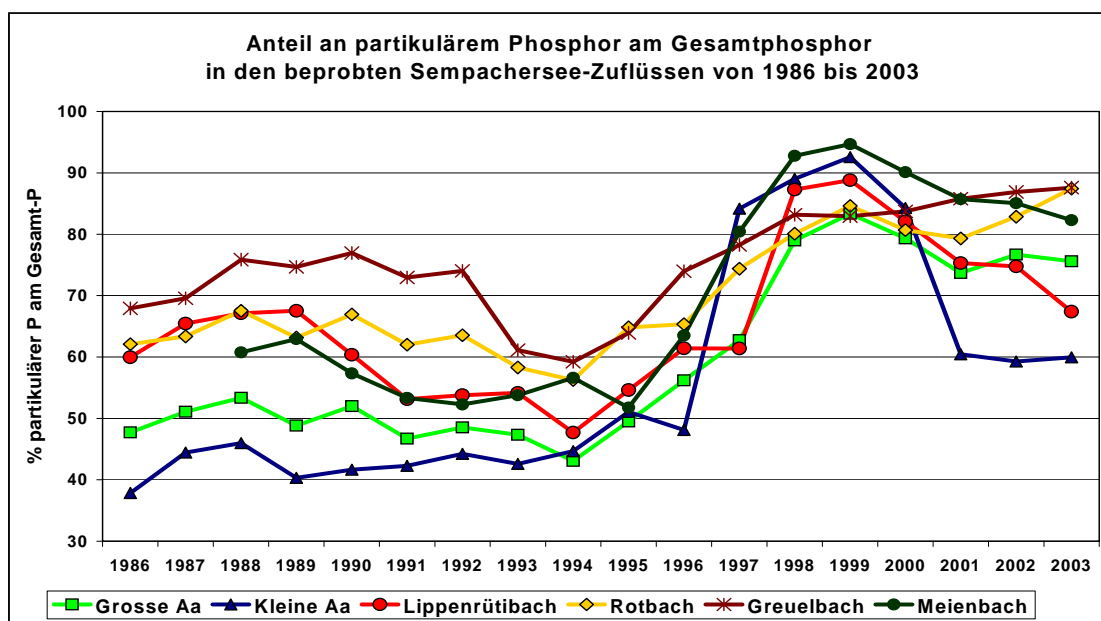
Abbildung 6 Konzentrationen von gelöstem Phosphor in den beprobten Zuflüssen zum Sempachersee von 1986 bis 2003



Der langjährige Trend ist mit Ausnahme des Lippenrütibaches deutlich abnehmend. Die Ursache des Wiederanstiegs der Konzentration an gelöstem P im Lippenrütibach seit 1998 ist nicht bekannt. Tatsache ist, dass auch bei der parallel zur hier beschriebenen Überwachung am Lippenrütibach permanente Messungen vor Ort (On-Line-Messungen) gleichartige Resultate zeigen. Mess- oder Berechnungsfehler können somit ausgeschlossen werden.

Die Abbildung 7 zeigt den prozentualen Anteil von an Partikeln gebundenem P am Gesamt-P in den 6 beprobten Zuflüssen zum Sempachersee.

Abbildung 7 Anteil von partikulärem Phosphor am Gesamtphosphor in den Zuflüssen zum Sempachersee von 1986 bis 2003

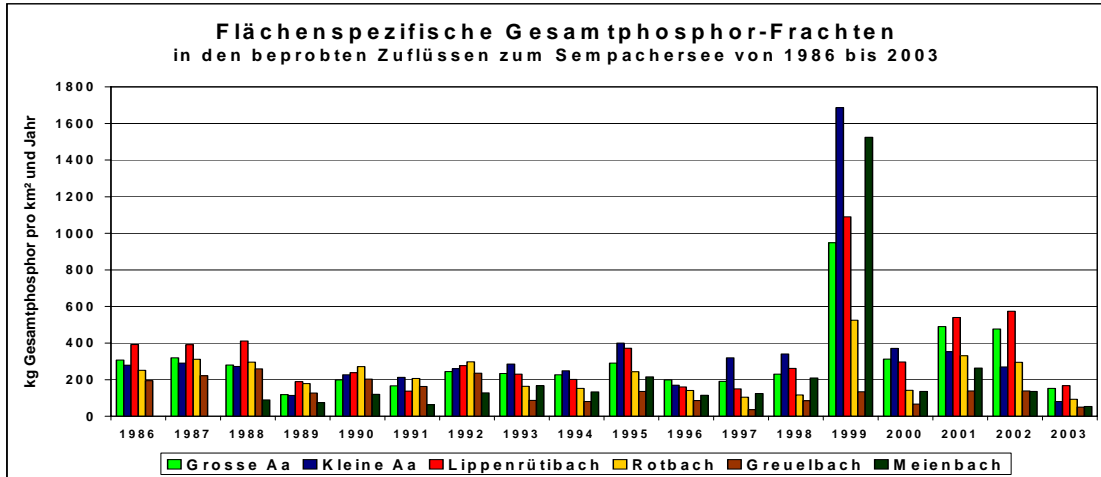


Auffallend ist der starke Anstieg zwischen 1994 und 1999 in allen Zuflüssen. Seit 1999 nehmen die Anteile an partikulärem P bei der Grossen Aa, der Kleinen Aa, dem Lippenrütibach und dem Meienbach wieder ab. Beim Rotbach und Greuelbach verharren die Anteile an partikulärem P auf hohem Niveau.

#### 4.2.2. Flächenspezifische Phosphorfrachten in den Zuflüssen

Die flächenspezifischen Gesamt-P-Frachten in den untersuchten Zuflüssen in der Untersuchungsperiode 1986 bis 2003 sind in Abbildung 8 dargestellt

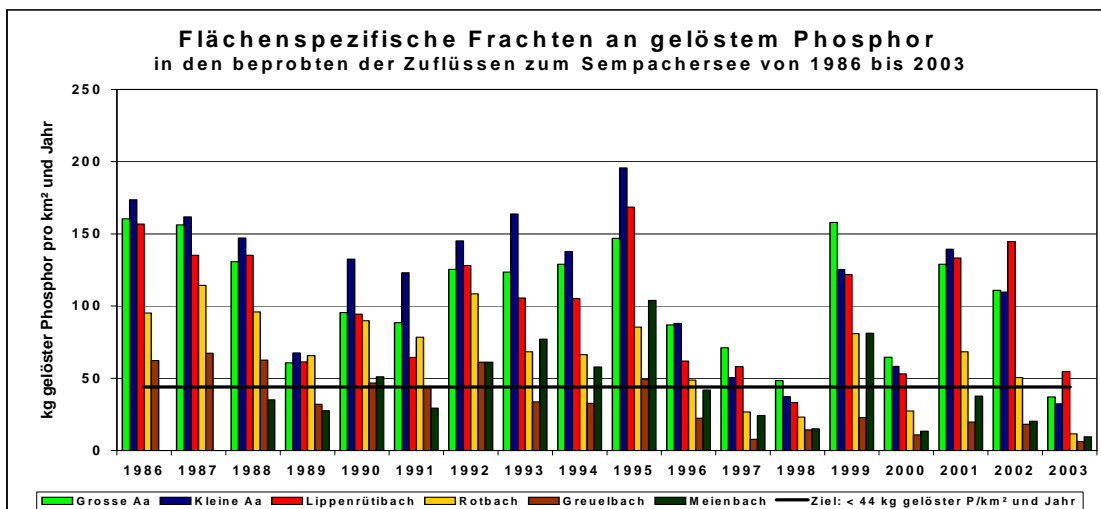
Abbildung 8 Jährliche flächenspezifische Gesamtposphor-Frachten in den beprobten Zuflüssen zum Sempachersee von 1986 bis 2003



Auffallend sind die sehr hohen flächenspezifischen Gesamt-P-Frachten im extrem nassen Jahr 1999, aber auch die Jahre 2001 und 2002 zeigen hohe P-Frachten. Dem gegenüber sind die P-Einträge während des sehr trockenen Jahres 2003 die kleinsten je gemessenen. Betrachtet man die flächenspezifischen Gesamt-P-Frachten der einzelnen Zuflüsse, fallen die sehr hohen Werte der Grossen Aa, der Kleinen Aa und des Lippenrütibaches, alles Zuflüsse aus dem südlichen Einzugsgebiet, auf.

Ein etwas anderes Bild zeigt sich bei den flächenspezifischen Frachten an gelöstem Phosphor in den einzelnen Zuflüssen (Abbildung 9). In der Abbildung ist auch der Zielwert von weniger als 44 kg  $P_{gelöst}/km^2$  und Jahr eingezeichnet. Dieser Wert errechnet sich aus der für den Sempachersee tolerierbaren Fracht von 4,7 t bioverfügbarem P, abzüglich der mit Abwasser oder Niederschlag direkt in den See eingetragenen Gesamt-P Menge von rund 2 t pro Jahr, geteilt durch die Fläche des Seeinzugsgebietes (61.8 km<sup>2</sup>).

Abbildung 9 Jährliche flächenspezifische Fracht an gelöstem Phosphor in den beprobten Zuflüssen zum Sempachersee von 1986 bis 2003



In niederschlagsarmen Jahren (1998 und 2003) erreichen oder unterschreiten die  $P_{\text{gelöst}}$ -Konzentrationen in den Zuflüssen das Sanierungsziel. In regenreichen Jahren hingegen liegen die flächenspezifischen Frachten vor allem bei den Zuflüssen des südlichen Einzugsgebietes (Grosse Aa, Kleine Aa und Lippenrütibach) sowie beim Rotbach deutlich über dem Zielwert.

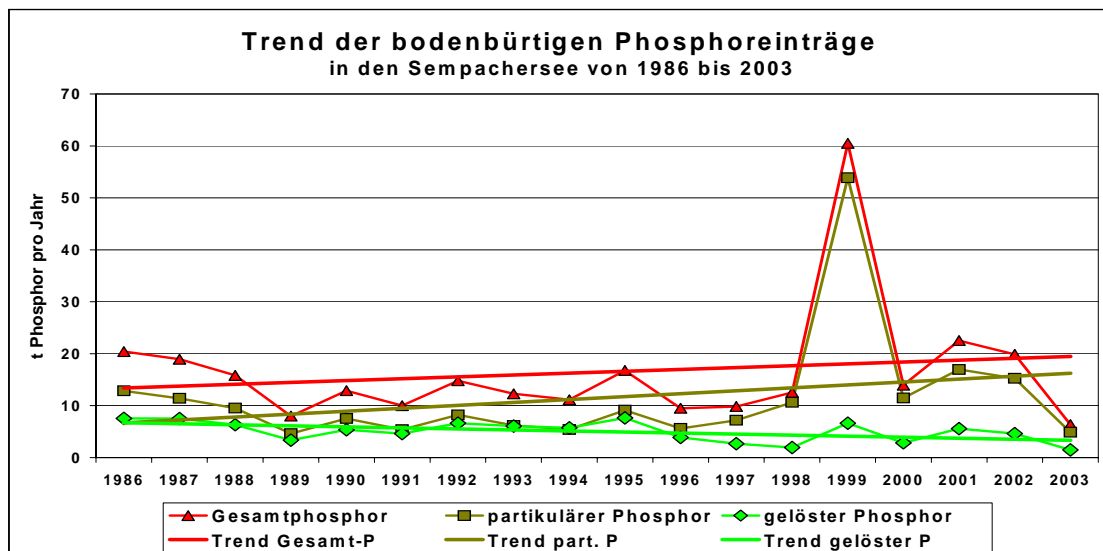
#### 4.2.3. Jährlicher Phosphoreintrag in den Sempachersee

Die P-Zufuhr zum Sempachersee setzt sich aus den bodenbürtigen P-Mengen (in den Bächen gemessen und auf das ganze Einzugsgebiet hochgerechnet), den P-Mengen aus Abwasser (ARA-Auslauf und Regenentlastungen) sowie den P-Mengen, welche mit Niederschlag auf den See fallen, zusammen. In Tabelle 16 (Anhang) sind die jährlichen P-Mengen an Gesamt-P, gelöstem P, partikulärem P und algenverfügbarem P aufgelistet.

Von besonderem Interesse für das Algenwachstum im Sempachersee ist die Zufuhr an biologisch- oder algenverfügbarem Phosphor. Dieser setzt sich zusammen aus gelöstem P aus Abschwemmung und Auswaschung landwirtschaftlich genutzter Böden und Gesamt-P aus Abwasser welches in den See eingeleitet wird, sowie Gesamt-P, der mit Niederschlägen direkt auf den See fällt [10]. Dabei wird angenommen, dass der Gesamt-P-Eintrag mit dem Abwasser uneingeschränkt für das Algenwachstum im See verfügbar ist und der P-Eintrag mit den Niederschlägen zur Hauptsache natürlicher Herkunft (Blütenstaub, Laub etc.) ist und der darin enthaltene P nach dem bakteriellen Abbau den Algen als Nährstoff zur Verfügung steht.

In Abbildung 10 ist der bodenbürtige P-Eintrag in den Sempachersee dargestellt.

Abbildung 10 Jährlicher bodenbürtige Phosphor-Eintrag in den Sempachersee von 1986 bis 2003

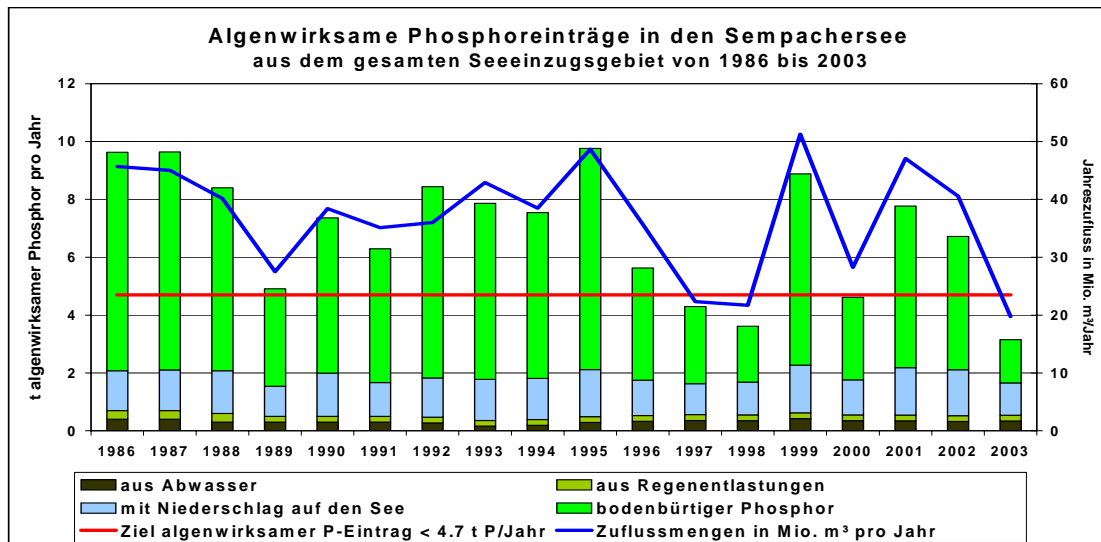


Auffallend ist der durch verschiedene Hochwasserereignisse verursachte sehr grosse Eintrag an partikulärem P im Jahre 1999. Beachtet man die Trends der P-Einträge, ist deutlich sichtbar, dass der Eintrag an gelöstem P abnimmt, gleichzeitig der partikuläre P markant zunimmt. Daraus resultiert eine deutliche Zunahme des Gesamt-P Eintrages.

Der Rückgang des Eintrages an gelöstem P ist ein Hinweis dafür, dass die Massnahmen in der Landwirtschaft [11] zur Verminderung der Abschwemmung und Auswaschung von Nährstoffen Wirkung zeigen. Die markante Zunahme der Einträge an partikulärem P deuten aber auf eine verstärkte Bodenerosion und/oder auf einen weiteren Anstieg des P-Gehaltes in den obersten Bodenschichten hin. Es ist noch ungewiss, ob die massiv ansteigenden Frachten an partikulärem P im Seesediment zurückgehalten werden können. Eine zunehmende Rücklösung von P aus den Seesedimenten hätte für den zukünftigen Zustand des Sempachersees fatale Folgen. Diese Gefahr bestünde insbesondere dann, wenn infolge Sparmassnahmen bei der Seebelüftung die sedimentnahen Wasserschichten nicht mehr genügend mit Sauerstoff versorgt werden könnten.

Für den P- und Sauerstoffhaushalt im Sempachersee ist der biologisch- oder algenwirksame P von ausschlaggebender Bedeutung. In der Abbildung 11 ist der jährliche algenwirksame P-Eintrag in den Sempachersee dargestellt.

Abbildung 11 Jährlicher algenwirksamer Phosphor-Eintrag in den Sempachersee von 1986 bis 2003

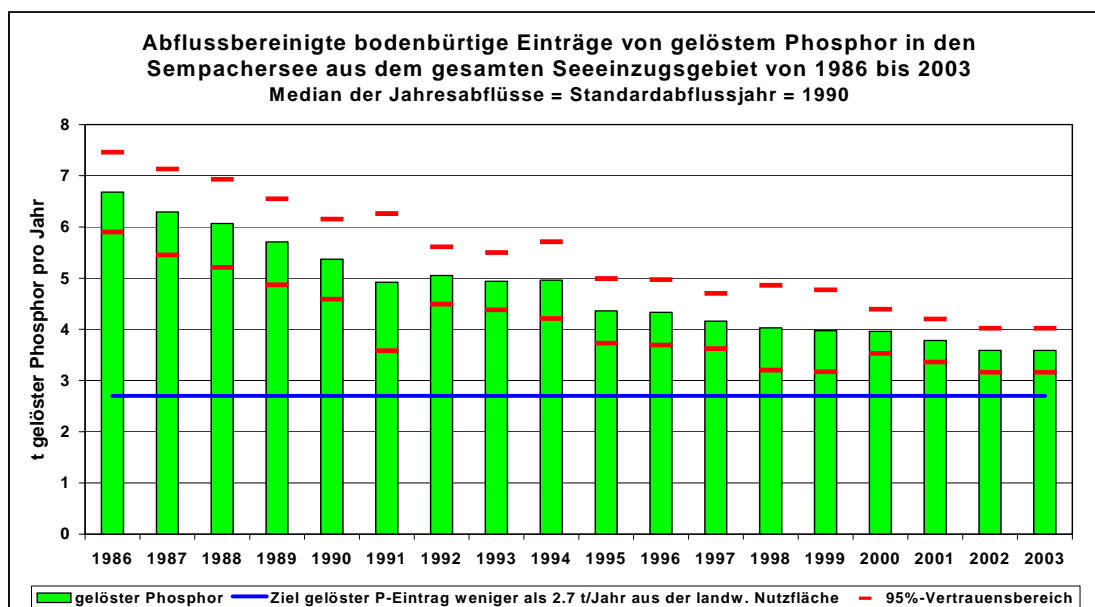


Die jährlichen algenwirksamen P-Einträge in den Sempachersee werden vom bodenbürtigen P-Eintrag dominiert. Je nach Witterungscharakter der einzelnen Jahre fallen diese Frachtanteile sehr unterschiedlich aus. Nachdem die technischen Möglichkeiten der Siedlungsentwässerung und Abwasserreinigung ausgeschöpft sind, können nur noch Massnahmen in der Landwirtschaft zu einer nachhaltigen Gesundung des Sempachersees beitragen.

#### 4.2.4. Zeitliche Entwicklung der abflussbereinigten Phosphoreinträge

Die P-Frachten in den Zuflüssen zum Sempachersee schwanken stark in Abhängigkeit der sehr unterschiedlichen Jahresniederschlagsmengen und der Niederschlagsintensitäten. Allfällige Trends in der Abschwemmung und Auswaschung von P werden deshalb von den Schwankungen im Niederschlag bzw. Abfluss überlagert. Im Gutachten der EAWAG [10] wird daher vorgeschlagen, die Entwicklung der P-Frachten mit den errechneten c-Q-Beziehungen der Jahre 1986 bis 2003 aber mit dem Medianabfluss (1990) modellmässig zu rechnen. Das Resultat dieser Modellrechnung ist in Abbildung 12 enthalten.

Abbildung 12 Abflussbereinigte bodenbürtige Einträge an gelöstem Phosphor in den Sempachersee in den Jahren 1986 bis 2003



Diese Modellrechnung zeigt eine leichte aber stetige Abnahme der jährlichen Frachten an gelöstem P. Das Ziel, ein jährlicher Eintrag von weniger als 2.7 t gelöster P, ist nach dieser Modellrechnung noch nicht ganz erreicht. Die statistische Unsicherheit der Berechnungsmethode, in der Abbildung 12 als 95%-Vertrauensbereich dargestellt, erlaubt erst nach etwa 6 Jahren eine gesicherte Aussage über die Änderung der Jahresfrachten. Eine langjährige Beobachtung der P-Einträge über die Zuflüsse ist daher unabdingbar. In den Tabellen 17 und 18 (Anhang) sind 95%-Vertrauensbereiche der P-Frachten für alle gemessenen Zuflüsse und die Resteinzugsgebiete enthalten.

#### 4.2.5. Entwicklung der jährlichen Phosphorzufuhren von 1954 bis 2003

Unter Zuhilfenahme der Daten früherer Untersuchungen kann die Entwicklung der P-Zufuhren seit 1954 aufgezeigt werden (Tabelle 19). Durch Zusammenfassen der Daten aus mehrjährigen Perioden werden die jährlichen Witterungseinflüsse stark gedämpft.

**Tabelle 19** Jährliche Phosphor-Zufuhren in den Sempachersee in den Jahren 1954 bis 2003

Gesamt-Phosphor	[t/Jahr]							
Quelle	1954/55 1)	1966/67 2)	1976/77 3)	1984/86 4)	1986/88 5)	1989/91 6)	1992/97 7)	1998/2003 2)
Abwasser aus ARA+Regenentlastung Landwirtschaft	3.2	7.1	7.7	2.2	1.2	1.0	0.9	0.6
Abschwemmung/Erosion	0.2	2.1	6.1	11.1	16.1	9.7	10.3	22.5
Niederschläge auf See	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.2	1.3	1.4
<b>Total</b>	<b>4.4</b>	<b>10.3</b>	<b>15.0</b>	<b>14.6</b>	<b>18.7</b>	<b>11.9</b>	<b>12.5</b>	<b>24.5</b>

gelöster Phosphor	[t/Jahr]							
Quelle	1954/55 1)	1966/67 2)	1976/77 3)	1984/86 4)	1986/88 5)	1989/91 6)	1992/97 7)	1998/2003 2)
Abwasser aus ARA+Regenentlastung Landwirtschaft			6.1	1.5	0.9	0.6	0.5	0.2
Abschwemmung/Erosion			4.9	6.7	6.7	4.7	4.8	3.8
Niederschläge auf See			0.8	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9
<b>Total</b>	<b>3.0</b>	<b>8.7</b>	<b>11.8</b>	<b>9.1</b>	<b>8.5</b>	<b>6.1</b>	<b>6.2</b>	<b>5.0</b>

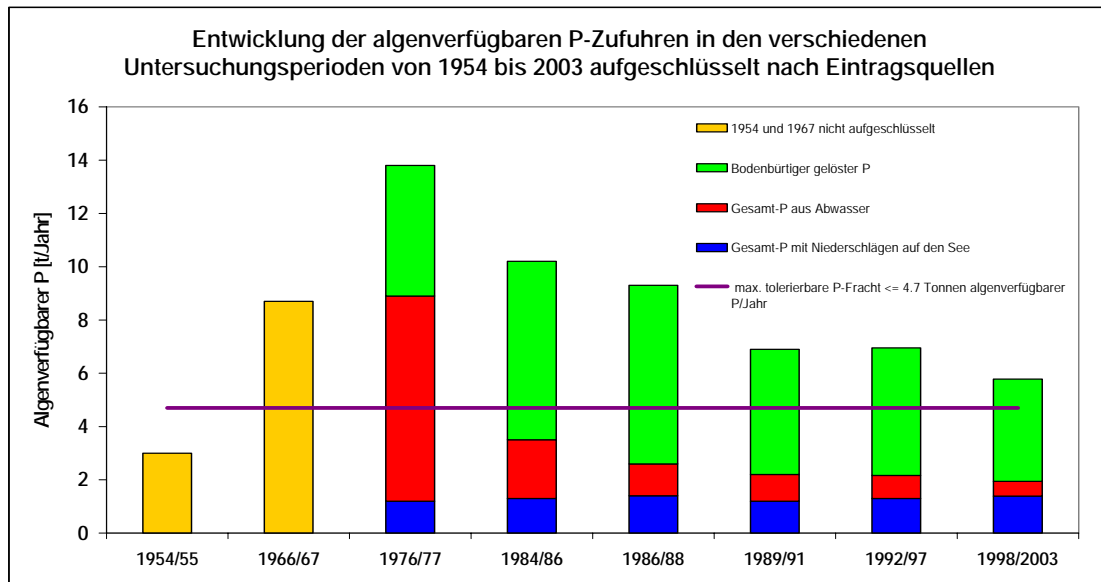
algenverfügbarer Phosphor	[t/Jahr]							
Quelle	1954/55 1)	1966/67 2)	1976/77 3)	1984/86 4)	1986/88 5)	1989/91 6)	1992/97 7)	1998/2003 2)
Abwasser aus ARA+Regenentlastung			7.7	2.2	1.2	1.0	0.9	0.6
<i>Anteil</i>			<i>56%</i>	<i>22%</i>	<i>13%</i>	<i>14%</i>	<i>12%</i>	<i>10%</i>
Landwirtschaft			4.9	6.7	6.7	4.7	4.8	3.8
<i>Anteil</i>			<i>36%</i>	<i>66%</i>	<i>72%</i>	<i>68%</i>	<i>69%</i>	<i>66%</i>
Niederschläge auf See			1.2	1.3	1.4	1.2	1.3	1.4
<b>Total</b>	<b>3.0</b>	<b>8.7</b>	<b>13.8</b>	<b>10.2</b>	<b>9.3</b>	<b>6.9</b>	<b>7.0</b>	<b>5.8</b>
Zielwert	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7

- 1) Thomas (unveröffentlicht)      5) Kunze et al. (1990)  
 2) Angaben uwe                      6) Kunze (1994)  
 3) EAWAG (1979)                    7) Mathis (1999)  
 4) Marti et al. (1987)

Der Anteil an algenverfügbarem P aus dem Abwasser hat sich von der Untersuchungsperiode 1976/77 zur Untersuchungsperiode 1998/2003 von 56% auf 10% reduziert. In der gleichen Zeit erhöhte sich der Anteil aus der Landwirtschaft von 36% auf 66%.

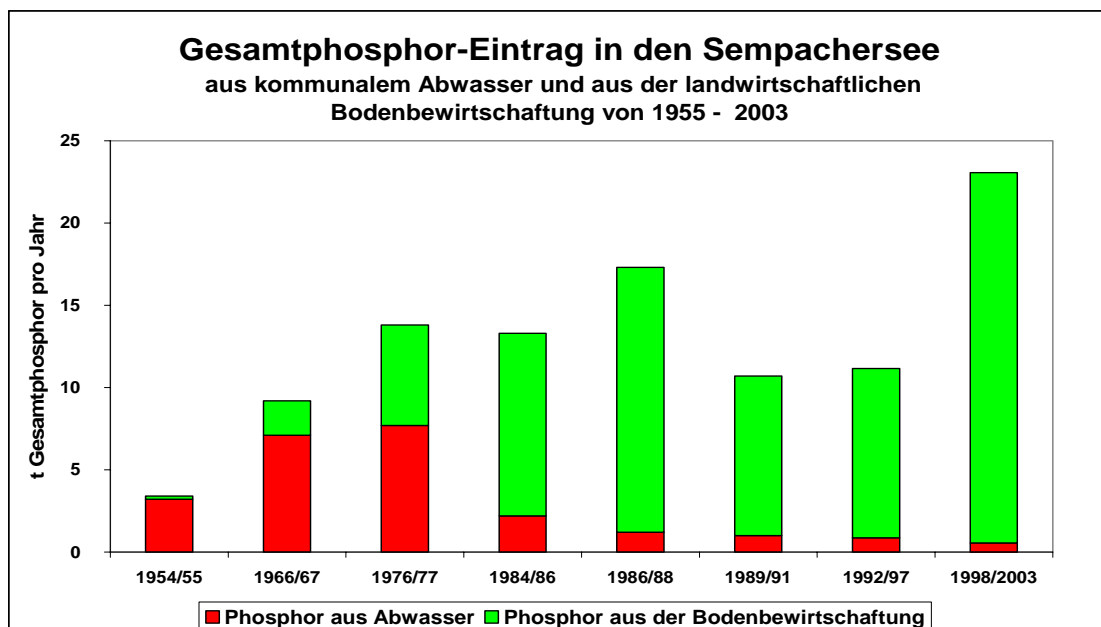
In der Abbildung 13 sind die algenverfügbaren P-Zufuhren zum Sempachersee für die Jahre 1954 bis 2003, zusammengefasst als Mittelwerte von 2- bis 6- jährigen Untersuchungsperioden, dargestellt. Seit der Untersuchungsperiode 1986/88 nehmen die bodenbürtigen P-Zufuhren laufend ab. Der Zielwert von insgesamt weniger als 4.7 t algenverfügbarer P-Zufuhr pro Jahr wird jedoch noch nicht ganz erreicht.

Abbildung 13 Algenverfügbare Phosphorzufuhren von 1954 bis 2003 in den Sempachersee



Die Abbildung 14 zeigt die Periodenmittelwerte der jährlichen Gesamt-P-Einträge in den Sempachersee aus kommunalem Abwasser und durch Auswaschung, Abschwemmung und Erosion aus den landwirtschaftlich genutzten Böden von 1955 bis 2003.

Abbildung 14 Gesamtphosphor-Eintrag in den Sempachersee mit kommunalem Abwasser und aus der landwirtschaftlichen Bodenbewirtschaftung von 1955 bis 2003 (Periodenmittelwerte)



Die Abwassersanierung (Bau von Kanalisationen und Kläranlagen) im Seeinzugsgebiet ist praktisch abgeschlossen. Dennoch sind weitere Massnahmen im Bereich der Siedlungsentwässerung, welche sich aus den generellen Entwässerungsplanungen der

Gemeinden ergeben, dringend notwendig, um den sehr guten Stand der Abwassersanierung zu halten und den Werterhalt der Abwasseranlagen sicherzustellen. Im Weiteren sind Massnahmen zu treffen, um die durch die Ausweitung der Siedlungsgebiete entstehenden Beeinträchtigungen des Wasserkreislaufes zu entschärfen und die lokalen Wasserlebensräume ökologisch aufzuwerten.

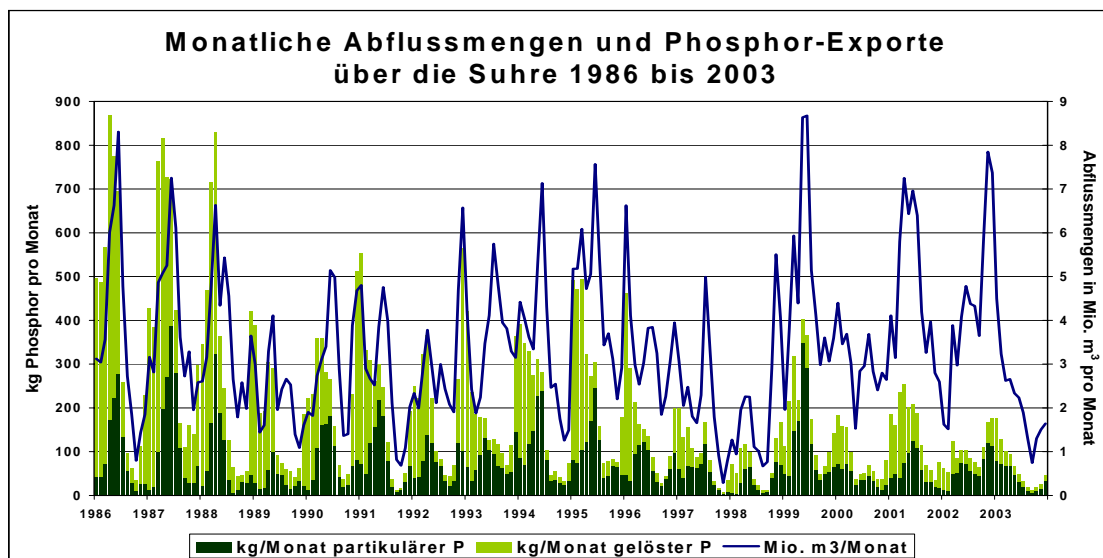
Die Abbildung 14 zeigt zudem mit aller Deutlichkeit auf, dass dank Massnahmen der Abwassersanierung eine erfreuliche Reduktion des Gesamt-P-Eintrages in den Sempachersee erzielt wurde. Wegen der Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion ist allerdings diese Reduktion des Gesamt-P-Eintrages nicht nur kompensiert worden, sondern hat zu einem massiven zusätzlichen Eintrag von Gesamt-P in den Sempachersee geführt. Eine Trendumkehr ist noch nicht in Sicht.

#### 4.3. Phosphorexport über die Suhre

Die P-Frachten, welche aus dem Sempachersee über die Suhre in den Jahren 1986 bis 2003 exportiert wurden, sind in Tabelle 20 aufgelistet. Der P-Export ist seit 1986 infolge abnehmender P-Konzentration im Sempachersee markant zurück gegangen.

Die monatlichen P-Exporte zeigen deutliche Jahreszyklen (Abbildung 15). Von Mai bis Oktober nimmt die P-Konzentration in den oberflächennahen Schichten und somit im Seeabfluss stark ab. Dies führt zu relativ kleinen Monatsfrachten, überwiegend in Form von partikulärem P. Während der Stagnationsphase im Sommerhalbjahr wird P beim Algenwachstum in die Biomasse eingebaut und sinkt mit dem absterbenden Plankton auf den Seegrund ab. Die Konzentration des gelösten P in der oberflächennahen Wasserschicht (Epilimnion) und damit auch im Seeabfluss nimmt stark ab. Bei einsetzender Zirkulation (Dezember) gelangt das nährstoffreichere Tiefenwasser wieder an die Oberfläche und damit in den Seeabfluss, die Suhre. Die Frachten an gelöstem P nehmen dabei stark zu (Januar – Februar). Im Frühling (März – April) setzt bei zunehmender Sonneneinstrahlung starkes Algenwachstum ein. Der gelöste P wird zunehmend in die Biomasse eingebaut und erscheint bei den Messungen in der Suhre zu einem wesentlichen Teil als partikulärer P.

Abbildung 15 Monatliche Abflussmengen und Phosphor-Exporte über die Suhre 1986 bis 2003



Auffallend tief sind die monatlichen P-Exporte im Spätsommer der Trockenjahre 1997, 1998 und 2003. Durch das langanhaltende schöne Wetter und der damit verbundenen intensiveren Sonneneinstrahlung, aber auch infolge geringer P-Einträge durch die Zuflüsse, wurde P fast vollständig in die Biomasse eingebaut und sedimentiert.

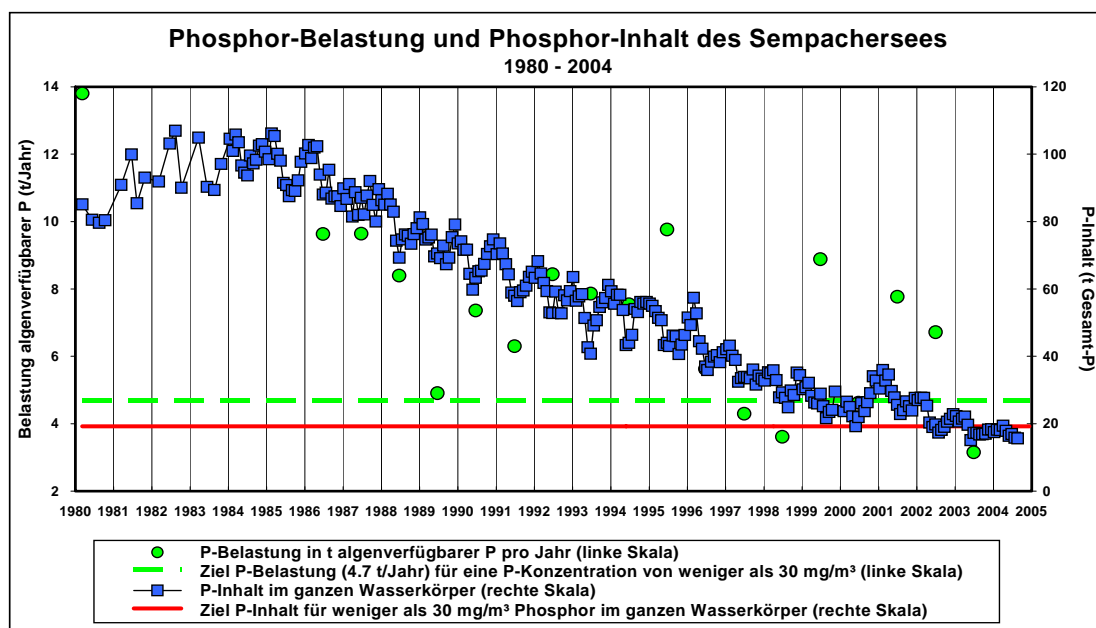
## 5. Reaktion des Sempachersees

Bei der mittleren Wasseraufenthaltszeit im Sempachersee von 15.6 Jahren beträgt die Reaktionszeit, bis sich die P-Einträge in den See auf den P-Inhalt auswirken, rund 5 Jahre [10].

### 5.1. Phosphorbelastung und Phosphorinhalt des Sempachersees sowie Nettosedimentation

Unter der P-Belastung des Sempachersees versteht man die jährlich eingetragene algenverfügbare P-Menge [10]. Die errechneten P-Frachten, die in den Sempachersee gelangen, sind in Abbildung 16 als grüne Punkte eingetragen. Für die Jahre vor 1980 liegen nur grobe Belastungs-Abschätzungen vor. In der Abbildung 16 ist daher anfangs 1980 die Frachtabschätzung von 1977 (Tabelle 19) eingetragen. Die grün gestrichelte Linie markiert das Ziel der P-Belastung von weniger als 4.7 t P pro Jahr, bei welcher sich nach Modellrechnungen der EAWAG [10] eine P-Konzentration von weniger als 30 mg/m<sup>3</sup> einstellen wird. Dargestellt ist mit den blauen Quadraten der P-Inhalt als t Gesamt-P im ganzen Wasserkörper des Sempachersees, wie er durch monatlicher Tiefenprofile ermittelt wird. Die rote Linie schliesslich markiert den P-Inhalt von 19.2 t im Sempachersee, bei welchem die Konzentration von 30 mg P/m<sup>3</sup> erreicht wird.

Abbildung 16 Phosphor-Belastung und Phosphor-Inhalt des Sempachersees von 1980 bis 2003



Seit Mitte 2003 liegt die P-Konzentration im Sempachersee knapp unter dem Zielwert von 30 mg/m<sup>3</sup>. Dies darf als erster grosser Erfolg der Sanierungsbemühungen gewertet

werden. Solange jedoch die landwirtschaftlich genutzten Böden noch massiv mit P überdüngt sind, könnten einige regenreiche Jahre wegen zusätzlicher P-Einträge infolge erhöhter Auswaschung und Abschwemmung von P zu einem raschen Wiederanstieg der P-Konzentration im Sempachersee führen.

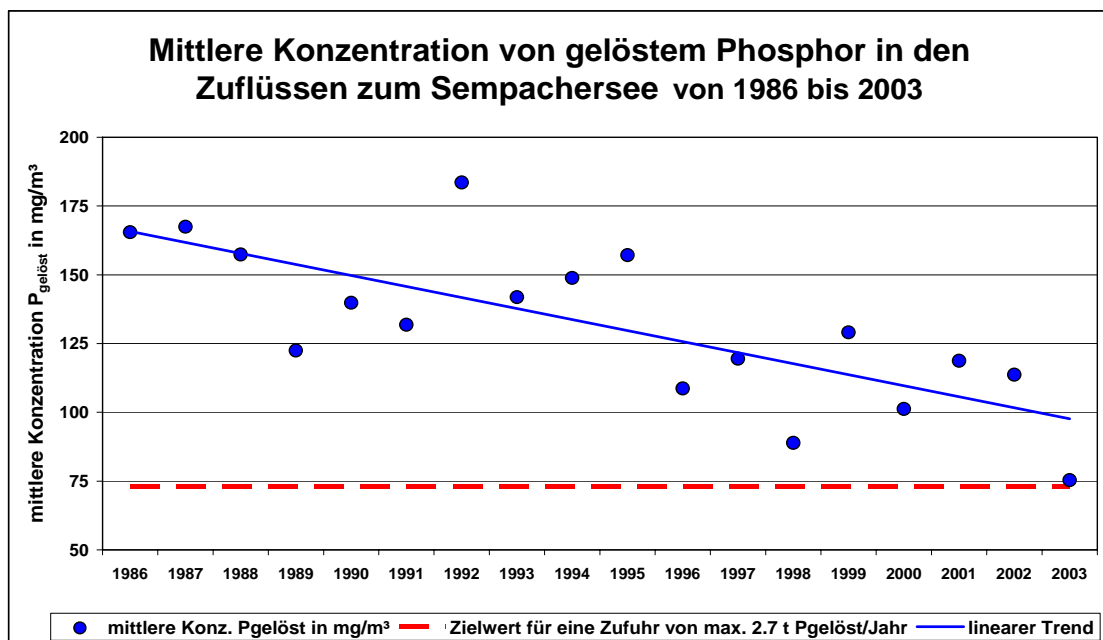
**Tabelle 21 Eintrag und Austrag, Inhaltsänderung und Nettosedimentation von Phosphor im Sempachersee von 1986 bis 2003**

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Eintrag P <sub>algenverfügbar</sub>	9.6	9.6	8.4	4.9	7.4	6.3	8.4	7.9	7.5	9.8	5.6	4.3	3.6	8.9	4.6	7.8	6.7	3.1
- Austrag P <sub>gesamt</sub>	5.4	5.1	4.5	2.1	2.5	2.6	2.4	2.4	2.4	2.8	2.1	1.1	0.9	2.1	1.1	1.7	1.3	0.7
+ Inhaltsänderung P <sub>gesamt</sub>	-12.6	-1.7	-4.2	-5.4	-2.2	-7.0	0.2	-2.9	-2.0	-3.4	-6.5	-6.1	-2.1	-4.4	5.7	-3.5	-2.7	-3.8
= Nettosedimentation	16.8	6.2	8.1	8.2	7.0	10.8	5.9	8.4	7.1	10.3	10.1	9.2	4.8	11.2	-2.1	9.6	8.1	6.3

Unter der P-Nettosedimentation versteht man den Anteil des in den Sempachersee eingetragenen P, welcher definitiv ins Sediment eingebaut wird. Die Nettosedimentation wird aus dem Eintrag des algenverfügbaren P, abzüglich des mit der Suhre aus dem Sempachersee ausgetragenen Gesamt-P und unter Berücksichtigung der Änderung des P-Inhaltes im freien Wasser des Sempachersees errechnet (Tabelle 21). Besonders erwähnenswert ist die sehr grosse Nettosedimentation des Jahres 1999. Sie wurde infolge zahlreicher Intensivniederschläge und des damit verbundenen übermässigen Eintrages an P (Gesamt-P 62,8 t !) in den See verursacht. Die teilweise Rücklösung im nachfolgenden Jahr führte zu einem markanten Anstieg des P-Inhaltes im Sempachersee.

In Abbildung 17 sind die mittleren Konzentrationen von gelöstem P in den Zuflüssen dargestellt, ebenso der Zielwert für eine Zufuhr von 2.7 t P<sub>gelöst</sub>.

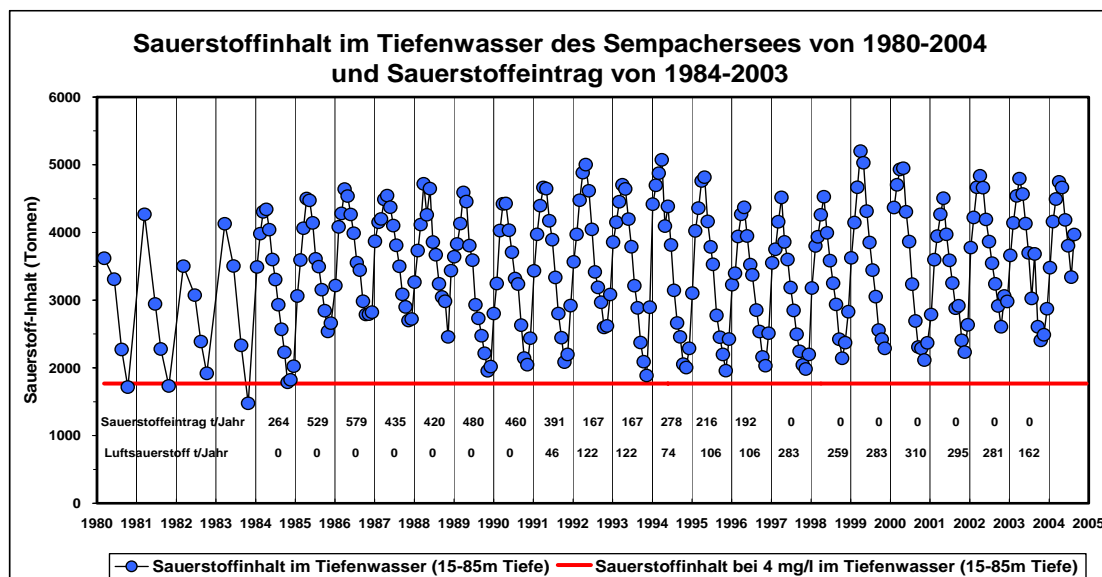
**Abbildung 17 Mittlere Konzentration von gelöstem Phosphor in den Zuflüssen zum Sempachersee von 1986 bis 2003 sowie Zielwert für eine Zufuhr von 2.7 t gelöstem Phosphor/Jahr**



## 5.2. Sauerstoffinhalt des Sempachersees

Dank dem deutlichen Rückgang der P-Konzentration im Sempachersee hat die Algenproduktion im Sommerhalbjahr abgenommen. Dies führt auch zu einer deutlichen Abnahme der Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser. Geht diese Entwicklung weiter, könnte der Sempachersee wohl bald zur Selbstregulation fähig sein, wären da nicht noch grosse Mengen an anaeroben Sedimenten, welche mit Sauerstoff aufoxidiert werden müssen. Die Seebelüftung ist deshalb an diese neue Situation angepasst worden, indem ab 1997 auf den Eintrag von Reinsauerstoff verzichtet wurde und seither im Sommer nur noch feinblasige Luft ins Tiefenwasser eingetragen wird. Ziel ist die Durchmischung des Tiefenwassers, damit auch über dem sauerstoffarmen Sediment im freien Wasser jederzeit mindestens 4 mg/l Sauerstoff vorhanden sind.

Abbildung 18 Sauerstoffinhalt im Tiefenwasser des Sempachersees sowie Eintragsmenge von Sauerstoff von 1980 bis 2003



Die Abbildung 18 zeigt den Sauerstoffinhalt des Tiefenwassers sowie die jährlichen Einträge an Reinsauerstoff (bis 1996) und Luftsauerstoff (ab 1991).

## 6. Phosphorbilanz für den Sempachersee von 1986 bis 2003

Die Tabelle 22 zeigt die Bilanz des Gesamt-P im Sempachersee.

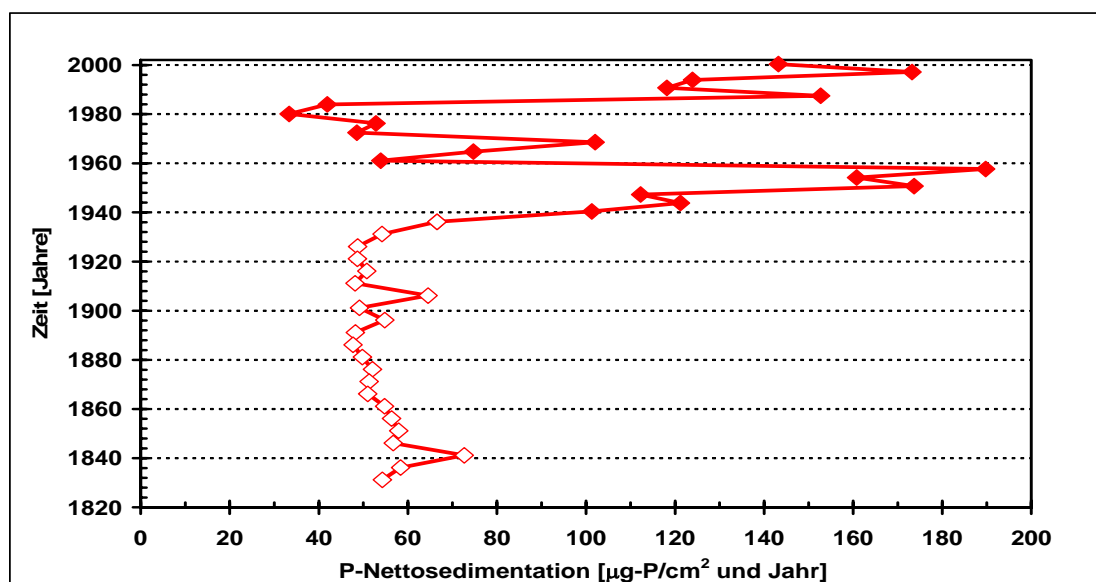
Tabelle 22 Eintrag, Austrag und Rückhalt von Phosphor im Sempachersee von 1986 bis 2003

	Gesamtphosphor-Bilanz Sempachersee in t Phosphor pro Jahr																	
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
<b>Einträge</b>																		
aus Einzugsgebiet	20.42	18.95	15.84	7.99	12.89	10.01	14.81	12.28	11.15	16.78	9.50	9.85	12.56	60.49	13.96	22.54	19.87	6.36
aus ARA Sempach	0.40	0.40	0.30	0.30	0.30	0.30	0.27	0.16	0.19	0.29	0.33	0.36	0.35	0.42	0.35	0.34	0.32	0.34
von Regenentlastungen	0.30	0.30	0.30	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Deposition auf See	1.37	1.40	1.48	1.04	1.49	1.17	1.36	1.42	1.42	1.62	1.22	1.07	1.14	1.65	1.21	1.64	1.58	1.12
<b>Total Einträge</b>	<b>22.49</b>	<b>21.05</b>	<b>17.92</b>	<b>9.53</b>	<b>14.88</b>	<b>11.68</b>	<b>16.64</b>	<b>14.06</b>	<b>12.97</b>	<b>18.90</b>	<b>11.25</b>	<b>11.47</b>	<b>14.24</b>	<b>62.75</b>	<b>15.72</b>	<b>24.72</b>	<b>21.97</b>	<b>8.02</b>
Export über Suhre	5.42	5.12	4.48	2.14	2.53	2.58	2.35	2.36	2.38	2.79	2.06	1.12	0.91	2.10	1.06	1.66	1.31	0.68
Inhaltsänderung im freien Wasser	-12.58	-1.68	-4.22	-5.41	-2.20	-7.04	0.21	-2.92	-1.98	-3.37	-6.49	-6.06	-2.14	-4.40	5.65	-3.53	-2.73	-3.84
<b>Phosphorrückhalt im Sediment</b>	<b>29.65</b>	<b>17.61</b>	<b>17.66</b>	<b>12.80</b>	<b>14.55</b>	<b>16.14</b>	<b>14.08</b>	<b>14.62</b>	<b>12.56</b>	<b>19.48</b>	<b>15.68</b>	<b>16.41</b>	<b>15.48</b>	<b>65.05</b>	<b>9.01</b>	<b>26.60</b>	<b>23.39</b>	<b>11.18</b>

Von 1986 bis 2003 sind rund 330 t Gesamt-P in den Sempachersee eingetragen worden, 43 t wurden über den Seeauslauf, die Suhre, ausgeschwemmt. In derselben Zeitspanne hat der P-Inhalt des Sempachersees im freien Wasser um 65 t abgenommen. Im Seesediment wurden 352 t Phosphor eingelagert. Pro m<sup>2</sup> Seegrund sind somit seit 1986 etwa 24 g P deponiert worden. Ob diese enorme P-Menge auf immer im Sediment verbleibt, ist ungewiss. Befürchtungen, dass insbesondere bei ungenügender Sauerstoffversorgung der sedimentnahen Wasserschichten eine verstärkte Rücklösung einsetzen könnte, sind berechtigt.

Zur Überprüfung der P-Nettosedimentation wurde durch die EAWAG im Auftrag der Dienststelle uwe an einem 2002 entnommenen Sedimentkern aus dem Sempachersee die P-Konzentrationen der einzelnen Sedimentschichten analysiert [14]. Die Abbildung 19 zeigt die Nettosedimentationsrate der Jahre 1830 bis 2000.

Abbildung 19 Nettosedimentationsrate in Funktion der Zeit von 1936 bis 2002. Die offenen Symbole bezeichnen den Zeitraum mit oxischen Sedimenten

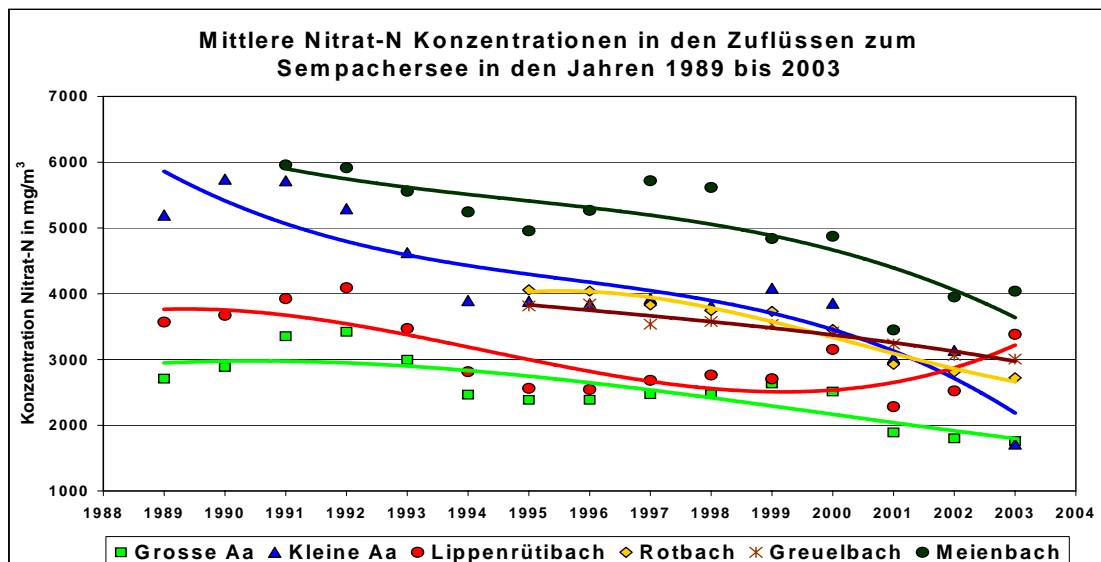


Die jährlichen Nettosedimentationen zwischen 1986 und 2002, errechnet aus der P-Bilanz (Tabelle 22) bzw. ermittelt aus den Sedimentanalysen, stimmen innerhalb der Fehlertoleranz überraschend gut überein (340 t bzw. 330 t). Aufgrund der Sedimentanalysen verlief die Überdüngung des Sempachersees in drei Wellen; während des 2. Weltkrieges, verstärkt jedoch in der Nachkriegszeit bis 1960, erfolgte eine erhebliche Überdüngung wegen eines zu hohen Kunstdüngereinsatzes. Thomasmehl, ein „Abfall“ der Schwerindustrie, wurde in dieser Zeit im Übermass eingesetzt. Bis Mitte der 70er Jahre dürfte zunehmend P aus den Textilwaschmitteln dazugekommen sein. Mit dem Bau von Kläranlagen mit integrierter P-Fällung sowie dem P-Verbot in Textilwaschmitteln ab 1986 dürfte dieser P-Anteil wiederum zurückgegangen sein. Die intensive Tierproduktion, vor allem die Schweinemast mit massiven Futtermittelimporten in das See-einzugsgebiet, hat ab Mitte der 80er-Jahre zu der noch heute vorhandenen, nicht tolerierbaren Überdüngung der Böden und damit zum verstärkten Risiko von Erosion und Auswaschung bei Intensivregen geführt. Dieser extrem hohe P-Eintrag ist im Sediment von 1985 bis 2000 zu finden.

## 7. Stickstoffbilanz des Sempachersees

Für eine umfassende N-Bilanz fehlen genaue Analysendaten. In den Zuflüssen wurden bis 1995 vereinzelt die Nitrat- und Ammonium-Konzentrationen gemessen. Ab 1995 sind diese Daten lückenlos vorhanden. Neben Nitrat und Ammonium spielen auch Nitrit und in organischen Substanzen eingebauter N in den Gewässern eine wichtige Rolle. Von den N-Komponenten dominiert jedoch Nitrat. Nitrat ist sehr gut wasserlöslich und wird daher in den Böden nicht zurückgehalten. Hohe Nitratkonzentrationen in den Zuflüssen zeigen, dass bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung N-Dünger im Übermass verwendet wird. In den Zuflüssen wurden die Nitrat- und Ammonium-Frachten mit der unter 3.3. beschriebenen Methode ermittelt. Im Gegensatz zum P nehmen beim Nitrat die gemessenen Konzentrationen bei hohen Abflussmengen nicht zu sondern eher ab (Verdünnungseffekt). Nitrat wird hauptsächlich aus den Böden ausgewaschen und gelangt nicht durch Erosion in die Gewässer. In Abbildung 20 sind die Jahresmittel der Nitrat-Konzentrationen in den beprobten Zuflüssen dargestellt.

Abbildung 20 Mittlere Nitratstickstoff-Konzentration in den Zuflüssen zum Sempachersee von 1995 bis 2003



Die höchsten Nitrat-Konzentrationen werden im Meienbach gemessen, gefolgt von der Kleinen Aa, dem Rotbach und dem Greuelbach. Die Grosse Aa weist die niedrigsten Nitrat-Konzentrationen auf. Mit Ausnahme des Lippenrütibaches haben in den letzten Jahren die Nitrat-Konzentrationen in den untersuchten Zuflüssen deutlich abgenommen.

In Anlehnung an die Arbeit von Höhener [15] wurde die N-Bilanz des Sempachersees abgeschätzt. Die N-Einträge in den Sempachersee setzen sich aus den ermittelten Nitrat- und Ammonium-N-Frachten der Zuflüsse, den Nitrat- und Ammonium-N-Frachten aus der ARA Sempach sowie rund 2.5 t N pro Jahr aus Regenentlastungen, welche in den See münden, zusammen. Die N-Deposition auf den See wurde mit 1.56 t N pro km<sup>2</sup> und Jahr berücksichtigt und die N-Nettosedimentation wird mit 3,3 t N pro km<sup>2</sup> (Seefläche 13 km<sup>2</sup> bei über 10 m Tiefe) und Jahr angenommen. Die N-Exporte aus dem Sempachersee setzten sich aus den ermittelten Nitrat-N-Frachten beim Seeauslauf (Suhre Oberkirch) sowie dem mit der Planktonbiomasse

ausgeschwemmten N zusammen. Dabei wird postuliert, dass in der Planktonbiomasse pro Mol P 16 Mole N vorhanden seien (Redfield-Verhältnis) was pro g partikulärem P 7.23 g organischem N entspricht. Die Tabelle 23 enthält die N-Bilanz für den Sempachersee für die Jahre 1995 bis 2003.

Tabelle 23 Stickstoffbilanz für den Sempachersee für die Jahre 1995 bis 2003

<b>Stickstoff-Bilanz Sempachersee in t N</b>									
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
<b>Einträge</b>									
Nitrat-N mit Zuflüssen	171.9	129.0	79.5	75.1	181.6	94.2	124.1	106.0	50.2
Ammonium-N mit Zuflüssen	3.2	2.3	1.4	1.5	4.3	2.1	2.7	2.5	1.0
Nitrat-N aus Ara Sempach	13.2	9.8	14.8	23.9	9.7	10.5	10.2	14.8	6.7
Ammonium-N aus ARA Sempach	4.8	5.2	7.0	3.9	9.7	13.6	7.3	6.0	8.0
anorg. N aus Regenentlastungen	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
N-Deposition auf See	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
<b>Total Eintrag</b>	<b>218.0</b>	<b>171.3</b>	<b>127.7</b>	<b>129.5</b>	<b>230.2</b>	<b>145.4</b>	<b>169.3</b>	<b>154.3</b>	<b>90.9</b>
Nettosedimentation	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9
Export Nitrat-N über Suhre	15.6	13.8	7.1	7.3	17.3	12.1	17.0	13.9	11.7
Export org. N über Suhre	8.5	6.2	4.1	3.2	9.6	4.5	5.7	4.8	2.0
<b>Total Export</b>	<b>24.2</b>	<b>20.0</b>	<b>11.2</b>	<b>10.5</b>	<b>26.8</b>	<b>16.6</b>	<b>22.7</b>	<b>18.7</b>	<b>13.6</b>
<b>Bilanz bzw. Denitrifikation</b>	<b>151.0</b>	<b>108.4</b>	<b>73.6</b>	<b>76.1</b>	<b>160.5</b>	<b>85.8</b>	<b>103.7</b>	<b>92.6</b>	<b>34.3</b>
Denitrifikation in % vom Eintrag	69	63	58	59	70	59	61	60	38

Die Daten zeigen, dass in niederschlagsreichen Jahren (1995, 1999) die N-Einträge sehr hoch sind. In diesen Jahren kann aufgrund der Bilanz eine deutlich erhöhte Denitrifikation, d.h. die biochemische Umwandlung von anorganischem N in Luftstickstoff, erkannt werden. Die Denitrifikation erreicht in niederschlagsreichen Jahren (1999) rund 70% und fällt in trockenen Jahren (2003) auf 38 % zurück. Aufgrund der unsicheren Datenlage können keine gesicherten Trends beim N-Eintrag und N-Export erkannt werden.

## 8. Pestizid-Untersuchungen

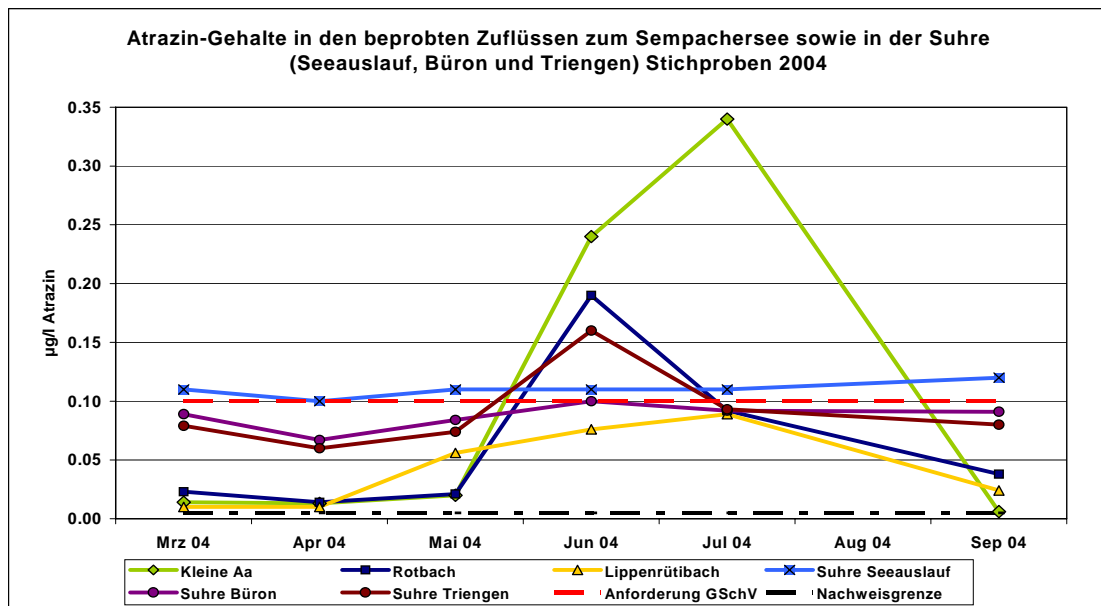
Vom März bis September 2004 wurden an den Zuflüssen Kleine Aa, Rotbach und Lippenrütibach sowie an der Suhre beim Seeauslauf (Oberkirch), bei Büron und Triengen an 6 Tagen Stichproben entnommen und im Labor der Rheinüberwachungsstation (Amt für Umwelt und Energie, Baudepartement des Kantons Basel-Stadt) auf Pestizidspuren untersucht. Das Analysenprogramm umfasste rund 150 bekannte Pestizide (Herbizide, Fungizide, Insektizide). Hinsichtlich Pestizide in unseren Gewässern verlangt die Gewässerschutzverordnung, dass die Konzentration von Einzelstoffen den Wert von 0,1 µg/l nicht überschreiten darf. In Tabelle 24 sind die Untersuchungsergebnisse zusammengefasst. Die Zahl vor dem Schrägstrich entspricht der Anzahl gefundener Pestizide mit einer Konzentration von über 0,1 µg/l, die Zahl nach dem Schrägstrich die Anzahl der gefundenen Pestizide mit einer Konzentration zwischen der Nachweisgrenze und dem kritischen Wert von 0,1 µg/l. Dieser Wert stammt aus Abs. 22, Anhang 2 der Gewässerschutzverordnung und gilt für Grundwasser, welches als Trinkwasser genutzt wird oder dafür vorgesehen ist.

Tabelle 24 Häufigkeit von Pestizidspuren in den beprobten Zuflüssen zum Sempachersee und in der Suhre

Probenahmedatum	23.03.2004	19.04.2004	25.05.2004	17.06.2004	07.07.2004	15.09.2004
Kleine Aa	0/6	0/8	0/9	1/7	3/9	1/6
Rotbach	1/4	0/9	0/7	1/5	0/5	1/5
Lippenrütibach	0/5	1/4	0/2	0/3	0/4	0/6
Suhre Seeauslauf	1/7	1/7	1/5	1/6	1/6	1/7
Suhre Büron	0/9	1/8	0/7	1/6	0/6	0/7
Suhre Triengen	0/10	2/10	0/12	1/8	0/8	1/7

Aufgrund der Häufigkeitsverteilung ist von den beprobten Zuflüssen zum Sempachersee die Kleine Aa mit Pestiziden am stärksten belastet, gefolgt vom Rotbach und dem Lippenrütibach. Die Suhre ist beim Seeauslauf in Oberkirch am stärksten belastet, gefolgt von der Stelle bei Triengen. Die weitaus häufigste Überschreitung des kritischen Wertes stammt von Atrazin, welches in den Zuflüssen und der Suhre regelmässig und in relativ hohen Konzentrationen gefunden wird. Die Abbildung 21 zeigt die Atrazin-Gehalte in den 3 beprobten Zuflüssen sowie in der Suhre. Beunruhigend ist, dass die Atrazin-Konzentrationen im Seeauslauf (Suhre Oberkirch) an allen Messtagen bei 0,1 µg/l oder leicht darüber lagen. Der erste Analysenwert vom 23.3.04 stammt aus der Zeit der Frühjahrszirkulation und weist darauf hin, dass die Atrazin-Konzentration im gesamten Seevolumen und ganzjährig bei rund 0,11 µg/l liegen muss. Zusammen mit dem Abbauprodukt des Atrazins, dem Desethylatrazin, welches am 23.3.04 mit 0,053 µg/l gemessen wurde, resultiert im Sempachersee ein Atrazin-Inhalt von ca. 100 kg Wirksubstanz. Geht man davon aus, dass im Seeauslauf ganzjährig 0,15 µg/l Atrazin (inkl. Abbauprodukte) vorhanden ist, wird rund 6 kg Atrazin pro Jahr aus dem Sempachersee ausgetragen. Da der Atrazin-Abbau im Sempachersee nur langsam stattfindet, muss von einem Atrazin-Eintrag in den Sempachersee von mehr als 6 kg pro Jahr ausgegangen werden.

Abbildung 21 Atrazin-Gehalte in den beprobten Zuflüssen zum Sempachersee sowie in der Suhre



Literaturstudien [16] zeigen, dass die Nichteffektkonzentration (**predicted no-effect concentration; PNEC**) für Atrazin bei 0.05 µg/l liegt. Zur Festlegung dieses Wertes wurden Toxizitätsdaten für Fische, Wasserflöhe und Algen zusammengetragen. Algen zeigten dabei die grösste Empfindlichkeit. Somit ist nicht auszuschliessen, dass gewisse empfindliche Algenarten durch die festgestellten Atrazin-Konzentrationen in den Zuflüssen, dem Sempachersee und in der Suhre beeinträchtigt werden. Die gemessenen hohen Atrazin-Konzentrationen sind nicht tolerierbar, wenn man bedenkt, dass der Sempachersee für die ganze Region als Trinkwasserreservoir dient. Die Landwirtschaft ist gefordert, den Atrazin-Einsatz massiv zu reduzieren oder gänzlich darauf zu verzichten! Andere europäische Staaten haben den Einsatz von Atrazin aufgrund seiner ökologischen Bedenklichkeit vor über 10 Jahren verboten; noch immer wird dort dieses Pestizid mit langsam abnehmenden Konzentrationen in den Gewässern gemessen. Ein Verbot auch in der Schweiz ist überfällig.

In der Tabelle 25 sind die weiteren bei unseren Untersuchungen gefundenen Höchstkonzentrationen von Pestizidrückstände aufgelistet. Zusätzlich sind die Nachweisgrenze und wo vorhanden der PNEC-Wert aufgeführt. In allen Zuflüssen, vor allem aber in der Kleinen Aa (in allen 5 Proben), ist Diazinon gefunden worden. Diazinon ist ein Insektizid, welches vor allem im Gemüse- und Obstbau eingesetzt wird. Diazinon ist sehr giftig für Wasserorganismen und kann bei den gefundenen Konzentrationen, welche weit über dem PNEC-Wert liegen, eine schädliche Wirkung auf Wasserlebewesen haben. Gleiches gilt, wenn auch in etwas geringerem Ausmass, für Metolachlor, Parathion-Ethyl und Diuron.

Eine Sonderstellung nimmt DEET ein. DEET ist ein sehr wirkungsvolles Insekten-Abwehrmittel und wirkt als Nervengift. Es ist in allen beprobten Zuflüssen, vor allem aber in der Suhre, gefunden worden. Problematisch ist bei diesem Pestizid, dass es nicht abbaubar ist. Einmal in der Umwelt freigesetzt, bleibt es dort für alle Zeiten. Es erstaunt nicht, dass DEET bereits in der Nordsee nachweisbar ist. Die Verwendung von DEET sollte weltweit verboten werden!

Tabelle 25 Höchstkonzentrationen der gefundenen Pestizide an den sechs Untersuchungsstellen sowie Nachweisgrenze und bekannte PNEC-Werte. Die rot markierten Konzentrationen weisen auf die Überschreitung des Anforderungswertes gemäss Gewässerschutzverordnung hin.

Pestizid	Nachweisgrenze	Kleine Aa	Lippenrühbach	Rotbach	Seeauslauf	Suhre Büron	Suhre Triengen	PNEC
DEET	0.005	0.060	0.018	0.007	0.020	0.017	0.037	
Desethylterbuthylazin	0.005	0.018	-	-	0.007	0.005	0.005	
Desisopropylatrazin	0.005	-	-	-	-	0.022	-	
Diazinon	0.005	0.096	0.050	0.011	-	0.022	0.039	0.003
Dichlorbenzamid	0.005	-	-	-	-	0.012	-	
Ethofumesate	0.005	0.008	-	0.012	-	-	-	
Iprodion	0.005	0.110	-	-	-	-	-	
Irgarol 1051	0.005	-	-	-	-	-	0.011	
Metalaxyl	0.005	0.350	0.008	-	-	-	-	
Metamitron	0.005	-	-	0.025	-	-	-	
Metazachlor	0.005	-	-	0.057	-	-	-	
Metolachlor	0.005	0.039	-	0.084	0.008	0.007	0.010	0.070
Orbencarb	0.005	-	-	-	-	0.010	0.010	
Parathion-Ethyl	0.005	0.007	-	-	-	-	-	0.005
Penconazol	0.005	0.006	-	-	-	-	-	
Pirimicarb	0.005	-	0.018	0.049	-	-	0.005	
Propazin	0.005	0.006	-	-	-	-	-	
Propyzamid	0.005	-	0.007	-	-	-	-	
Simazin	0.005	0.026	-	0.007	0.018	0.017	0.020	0.700
Terbutylazin	0.005	0.048	-	0.042	0.011	0.010	0.015	
Terbutryn	0.005	-	-	-	-	-	0.540	
Bentazon	0.010	-	0.018	0.013	-	-	-	
Fluoroxypyr	0.010	-	-	-	-	0.026	-	
MCPA	0.010	-	-	0.021	-	0.084	0.120	
Mecoprop	0.010	0.016	-	0.063	0.015	0.062	0.110	5.000
Chlortoluron	0.010	-	-	0.190	-	-	-	
Diuron	0.025	-	-	-	-	-	0.036	0.006
Isoproturon	0.025	0.058	0.120	0.093	-	0.110	0.087	0.300
Metoxuron	0.025	-	-	-	0.028	-	-	
O/Dimethachlor		0.200	0.006	0.101	-	-	-	

Terbutryn, ein Herbizid, welches beim Wintergetreide zum Einsatz kommt, wurde in der Suhre bei Triengen am 15. September 2004 in sehr hoher Konzentration gemessen. Es spricht vieles dafür, dass die Anwendung dieses Herbizides zwischen Büron und Triengen nicht mit der nötigen Sorgfalt erfolgte. Auch für den Nachweis des Herbizides Chlortoluron im Rotbach sowie der Fungizide Iprodion und Metalaxyl in der Kleinen Aa vom 4. März 2004 muss davon ausgegangen werden, dass diese Pflanzenbehandlungsmittel unsorgfältig eingesetzt wurden.

Diese Pestizid-Untersuchungen zeigen nur einen kleinen Ausschnitt aus der Problematik der Pestizide in unseren Gewässern. Nur dank der Aufmerksamkeit des Analytikers wurden in den Proben der Kleinen Aa in erheblichen Konzentrationen neuartige Fungizide gefunden, welche erst seit wenigen Jahren zugelassen sind. Es handelt sich um die Fungizide Pyrifenox, Azostrobin und Azoxystrobin, die in Konzentrationen von 0.4 bis 1.1 µg/l in den Proben vom 4.7.04 und 15.9.04 gefunden wurden. Da es sich bei dieser Untersuchung um eine halbquantitative Bestimmung handelt, muss von einem Vertrauensbereich von ± 50% ausgegangen werden.

Das Unbehagen über die Pestizidfunde in unseren Oberflächengewässern vergrössert sich noch durch die Tatsache, dass oft die Abbauprodukte der Pestizide grössere Toxizität aufweisen können als die angewendeten Wirkstoffe selbst. Zudem ist wenig bekannt über Synergiewirkungen zwischen den verschiedenen Pestiziden und/oder deren Abbauprodukten.

## **9. Einfluss der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf den See und seine Zuflüsse**

Seit der erfolgreich durchgeführter Abwassersanierung (ca. 1985) stammt der Hauptanteil der Nährstoffeinträge in den Sempachersee den aus der intensiv betriebenen Landwirtschaft. Von den 330 t Gesamt-P, welche von 1986 bis 2003 in den Sempachersee eingetragen wurden, stammen 90% aus Düngerüberschüssen landwirtschaftlicher Nutzflächen, aus mangelhaften Entwässerungen landwirtschaftlicher Liegenschaften oder aus fehlerhaften Hofdüngereinrichtungen.

Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, liegt die Tierbelastung im Einzugsgebiet des Sempachersees 2004 mit 2.52 DGVE/ha über der ökologisch anzustrebender „Soll-Tierbelastung“ von 1.80 DGVE pro ha. Mit dem Einsatz von phosphorreduziertem Futter in der Schweinemast konnte in den letzten Jahren die massive Überdüngung der Böden [2] allerdings etwas reduziert werden.

Die Ursache für die in den Abbildungen 6 und 20 sichtbare Zunahme der Nährstoffkonzentrationen (P und N) im Lippenrütibach seit 1998 ist unklar. Wie Modellrechnungen [17] zeigen, muss vermutet werden, dass im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches die Speicherkapazität des Bodens erschöpft ist und der Nährstoffspeicher Boden zu „überlaufen“ beginnt.

Die in Abbildung 5 gezeigten sinkenden Trends der Abflussverhältnisse bei den gemessenen Zuflüssen könnte ein Hinweis darauf sein, dass infolge neuer Ernteverfahren (Silierung) die Grünfütterproduktion massiv gesteigert wurde, was zu einer stärkeren Verdunstung und damit einem verstärkten Feuchteentzug des Bodens führt.

Der Anstieg des Anteils an partikulärem P in 5 der 6 untersuchten Zuflüssen seit 1994 (Abbildungen 7 und 10) könnte auf die zunehmende Bodenverdichtung und dadurch verstärkte Erosion oder Abschwemmung zurück geführt werden. Es besteht die Gefahr, dass durch das häufigere Befahren von Wiesland (6 – 7 Schnitte pro Jahr) das Erosions- und Abschwemmrisko ansteigt.

Auch die Abbildung 14 zeigt die starke Zunahme des Gesamt-P Eintrages in den Sempachersee seit 1966. Der Grund für diese Zunahme dürfte die Anreicherung von P in den Böden sein. Es ist die Aufgabe der Landwirtschaft, durch angepasste Massnahmen und eine nachhaltige Produktionsweise die P-Vorräte in den Böden abzubauen. Die Reduktion der Einträge an Gesamt-P in den Sempachersee ist zwingend notwendig, denn aus heutiger Sicht ist ungewiss, ob der im Seesediment abgelagerte P langfristig im Seesediment zurückgehalten werden kann. Eine rasche Rücklösung ist bei Sauerstoffmangel im Tiefenwasser möglich und hätte für den See fatale Folgen. Die Gesundung des Sempachersees ist also erst gesichert, wenn die P-Depots in den landwirtschaftlich genutzten Böden abgebaut sind.

Die Pestiziduntersuchungen von 2004 zeigen, dass zu sorglos mit den ökologisch oft bedenklichen Stoffen umgegangen wird. Aufgrund der gefundenen z.T. recht hohen

Konzentrationen müssen der Umgang und der Einsatz dieser Hilfsmittel wesentlich verbessert werden. Neben Pestizid-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen können auch sehr oft Abschwemmungen von Betriebsflächen, auf welchen Feldspritzen gefüllt, gereinigt oder gewartet werden, als eine wesentliche Ursache der Belastung von Oberflächengewässern mit Pestiziden verantwortlich sein.

Mit der Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion einher ging auch die „Strukturverbesserung“ der landwirtschaftlichen Nutzflächen. Im Zuge dieser Massnahmen sind Mulden und feuchte Flächen drainiert und Bachläufe eingedolt worden. Heute sind von den Bachläufen im Einzugsgebiet des Sempachersees rund 40 % eingedolt und von den noch offen geführten Bächen nur noch 50% in einem naturnahen Zustand [2]. Mit der Renaturierung von Bächen und Extensivierung von drainierten Flächen könnte die Abschwemmung von P und damit der P-Eintrag in den See wesentlich reduziert werden.

## 10. Zusammenfassung

Für die vorliegende Arbeit wurden die von 1986 bis 2003 erhobenen Daten nach einer einheitlichen Methode ausgewertet. Die Abflussmengen und die jährlichen Frachten an gelöstem Phosphor, Phosphat, partikulärem Phosphor, Gesamt-Phosphor, Nitrat und Ammonium sind somit in den untersuchten Zuflüssen des Sempachersees und der Suhre (Seeauslauf) bekannt. Für den Wasserhaushalt, für Phosphor und Stickstoff wurden Bilanzen für den Sempachersee erstellt.

Obwohl sich die auf den Sempachersee und sein Einzugsgebiet gefallenen jährlichen Regenmengen im Verlauf der Untersuchungsperiode 1986 bis 2003 nicht verändert haben, zeigt sich ein Trend hin zu niederschlagsreicheren Sommern und trockeneren Wintern. Zudem ist zu erkennen, dass in fünf von sechs gemessenen Zuflüssen das Abflussverhältnis abnimmt.

Durch Aufschlüsselung der Phosphor-Frachten nach den verschiedenen Verursachern kann gezeigt werden, dass die grossen Bemühungen zur Sammlung und Reinigung der kommunalen Abwässer äusserst erfolgreich waren.

Anders entwickelt sich der Phosphor-Eintrag aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Wohl nehmen die ermittelten Frachten von gelöstem Phosphor mit Ausnahme des Lippenrütibaches in den beprobten Zuflüssen langsam ab. Beim partikulären Phosphor zeigt sich aber seit 1994 eine markante Zunahme. Die flächenspezifischen Frachten an gelöstem Phosphor sind in den südlichen Zuflüssen Grosse Aa, Kleine Aa und Lippenrütibach mit rund  $100 \text{ kg P}_{\text{gelöst}}/\text{km}^2$  weiterhin sehr hoch. Beim Greuelbach und beim Meienbach liegen diese Werte lediglich bei etwa  $25 \text{ kg P}_{\text{gelöst}}/\text{km}^2$ . Die Jahresfracht an bodenbürtigem gelöstem Phosphor aus dem ganzen Seeinzugsgebiet nimmt jährlich um 2.7 % ab, wie die abflussbereinigte Modellrechnung der Frachten zeigt.

Der Export an Gesamt-Phosphor aus dem Sempachersee über die Suhre hat von 5420 kg im Jahre 1986 auf nur noch 680 kg im Jahre 2003 abgenommen. Diese jährliche Abnahme von rund 5% ist erfreulich und kann als ein Zeichen für die fortschreitende Gesundung des Sempachersees gewertet werden.

Aus der Phosphor-Bilanz des Sempachersees geht hervor, dass von 1986 bis 2003 pro  $\text{m}^2$  Seegrund rund 24 g Phosphor abgelagert wurden. Diese Phosphor-Menge ist in einer rund 5 cm dicken Sedimentschicht eingelagert und stellt, verglichen mit unseren

landwirtschaftlich genutzten Böden, eine mit Phosphor massiv angereicherte Bodenschicht dar. Nur wenn das Tiefenwasser und damit die Sedimente genügend mit Sauerstoff versorgt werden, kann eine Rücklösung von P verhindert werden.

Beim Stickstoff-Eintrag in den Sempachersee ist seit 1995 kein Rückgang feststellbar. Der Hauptanteil, rund 100 t jährlich, stammt aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Je etwa 20 t Stickstoff werden jährlich durch Abwasser und Deposition (Staub und Regen) auf die Seeoberfläche in den See eingetragen. Rund die Hälfte der Deposition stammt zudem aus der intensiven Tierhaltung. Die Stickstoff-Bilanz zeigt, dass jährlich rund 100 t Nitrat-Stickstoff im See durch Mikroorganismen in Luft-Stickstoff, in geringen Mengen aber auch in Lachgas, umgewandelt werden.

Die in den Zuflüssen und im Sempachersee gefundenen Pestizidkonzentrationen zeigen, dass die Pflanzenbehandlungsmittel oft nicht mit der nötigen Sorgfalt verwendet werden. Nachteilige Auswirkungen auf die tierischen und pflanzlichen Lebensgemeinschaften der Gewässer sind mit den gefundenen Pestizidkonzentrationen nicht auszuschliessen. Aufgrund der gemessenen Konzentrationen müsste der Einsatz massiv reduziert werden und zudem muss sichergestellt werden, dass sämtliche pestizidhaltigen Reinigungsabwässer auf den Kulturen versprüht werden damit sie keinesfalls in Kanalisationen, Drainageleitungen und Bäche gelangen können.

## **11. Massnahmen und Empfehlungen**

Das Monitoring an den Zuflüssen ist weiter zu führen. Hinweise aus der Bevölkerung lassen vermuten, dass der Nottwilerbach insbesondere bei Regenfällen stark mit Nährstoffen belastet ist. Derzeit werden während den routinemässigen Probenahmen Stichproben entnommen und analysiert. Bestätigen diese Analysen die gemachten Beobachtungen, ist zu entscheiden, ob der Nottwilerbach neu ins Untersuchungsprogramm aufgenommen werden soll.

Das Monitoring im Sempachersee, die Aufnahme eines monatliches Tiefenprofils, ist weiterzuführen. Es dient der Steuerung der Belüftungsanlage. Ziel ist es, jederzeit und in jeder Tiefe eine Sauerstoffkonzentration von mindestens 4 mg/l mit geringst möglichem Energieeinsatz der Kompressoranlage aufrecht erhalten zu können.

Da die Anreicherung von P in den Böden immer noch zunimmt, ist es die Aufgabe der Landwirtschaft, durch angepasste Massnahmen und eine nachhaltige Produktionsweise die P-Vorräte in den Böden abzubauen. Das Phosphor-Projekt ist deshalb weiterzuführen; dabei ist das Schwergewicht auf die Nachhaltigkeit zu legen. Die eingeführten Massnahmen müssen auch nach Abschluss des Projektes unvermindert wirken. Es darf nicht sein, dass nach Abschluss des Phosphor-Projektes das Pendel zurück schwingt und die Phosphor-Belastung der Böden und der Phosphor-Eintrag in den Sempachersee wieder ansteigen.

Der Einsatz von Pestiziden ist zu reduzieren und das Ausbringen hat sorgfältiger zu erfolgen. Dadurch sollen empfindliche Wasserlebewesen geschützt, vor allem aber der Sempachersee als Trinkwasserspeicher erhalten werden.

## 12. Literatur

- [1] Stadelmann P. et al. (2005): 20 Jahre Gewässerschutz für den Sempachersee. Umwelt und Energie (uwe) Kanton Luzern
- [2] Blum J. (2005): Massnahmen in der Landwirtschaft zur Gesundung des Sempachersees (1980 – 2003). Landwirtschaft und Wald (lawa) Kanton Luzern
- [3] Kunze U., Gächter R. und Stumm W. (1990): Sanierung des Sempachersees: Auswertungen der Zuflussuntersuchungen: Messperiode Januar 1986 bis Dezember 1988. EAWAG-Auftrag Nr. 4691, Dübendorf.
- [4] Kunze U. (1994): Sanierung des Sempachersees: Auswertung der Zuflussuntersuchungen 1989 bis 1991. Kant. Amt für Umweltschutz, Luzern.
- [5] Mathis B. (1999): Zufluss-Untersuchungen Sempachersee 1992/97. Kant. Amt für Umweltschutz, Oktober 1999
- [6] Bühler H., Gächter R. und Stumm W. (1979): Gutachten über die Sanierungsmöglichkeiten des Sempachersees. EAWAG Auftrag Nr. 4564 des Militär- und Polizeidepartement des Kantons Luzern und des Kantonalen Amtes für Gewässerschutz, 31. August 1979, Dübendorf.
- [7] FUB - Forschungsstelle für Umweltbeobachtung Rapperswil (2002): Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz 2000 und 2001. Im Auftrag des BUWAL und der Kantone Genf, Luzern und Thurgau, Juni 2002, 62 S.
- [8] Krummenacher T. (1976): Die Nährstoffbilanz des Alpnachersees. Diss. ETHZ Nr. 5689.
- [9] Bühler H., Szabo E. und Ambühl H. (1985): Die Belastung des Greifensees mit Phosphor, Stickstoff, Kohlenstoff, geochemischen Stoffen und Schwermetallen in den Jahren 1977/78. Schriftenreihe der EAWAG.
- [10] Moosmann L., Wüest A. (2003): Phosphorbilanz von Sempachersee und Baldeggersee; Eintrag durch Zuflüsse, Seeinterne Bilanz. EAWAG im Auftrag des Amtes für Umweltschutz Luzern, Kastanienbaum, Juli 2003, 47 und 32 S.
- [11] Kanton Luzern (1999): P-Projekt Sempachersee
- [12] GRUDAF (2001): Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. Agrarforschung 8 (6): 2001
- [13] Wehrli B., Wüest A. (1996): Zehn Jahre Seenbelüftung: Erfahrungen und Optionen. Schriftenreihe der EAWAG Nr. 9
- [14] Moosmann L., Müller B.: Phosphor-Nettosedimentation im Sempachersee aus dem Sedimentkern SE02-2. EAWAG im Auftrag Kanton Luzern, Dienststelle Umwelt und Energie. Mai 2004, 7 S.
- [15] Höhener P. (1990): Der Stickstoffhaushalt von Seen, illustriert am Beispiel des Sempachersees. Diss. ETH Nr. 9157, 132 S.
- [16] Chèvre N. (2003): Risikobeurteilung von Pestiziden in Schweizer Oberflächengewässern. Gas Wasser Abwasser, (83) 12: 906-917
- [17] Egli M. (1998): Entwicklung der P-Konzentration im Boden in Abhängigkeit der Nährstoffbelastung: eine Abschätzung. Kant. Amt für Umweltschutz, Luzern 26 S.

## Anhang

**Tabelle 4** Abwassermengen, Belastung in Einwohnerwerten, P-Frachten im Auslauf und Wirkungsgrad der P-Elimination der ARA Sempach-Neuenkirch in den Jahren 1986 - 2003

ARA Sempach-Neuenkirch					
Jahr	Abwassermenge Mio. m <sup>3</sup> /Jahr	Belastung in Einwohnerwerten	Wirkungsgrad P-Elimination in %	Jahresfrachten im ARA-Abfluss	
				kg Gesamt-P	kg gelöster P
1986	1.32	5000	95	400	100
1987	1.40	5300	93	400	100
1988	1.34	6000	94	300	100
1989	1.15	5950	94	300	100
1990	1.22	5820	94	300	100
1991	1.07	6520	93	300	100
1992	1.27	7000	95	270	90
1993	1.20	6440	95	160	80
1994	1.22	7750	95	190	80
1995	1.36	7340	92	290	110
1996	1.23	7510	92	330	120
1997	1.10	9550	89	360	50
1998	1.20	10760	94	350	137
1999	1.44	10780	94	420	153
2000	1.21	9730	93	348	140
2001	1.38	8860	93	343	140
2002	1.43	10850	95	323	130
2003	1.26	10730	94	340	140

**Tabelle 7** Monatliche Niederschläge sowie Jahressummen in mm Niederschlagshöhe von 1986 bis 2003 bei der Station Sempach

Jahr	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Januar	133.4	69.7	62.2	11.4	28.2	60.3	19.4	36.7	90.4	107.8	10.0	27.1	61.0	52.0	37.2	105.2	18.4	56.3
Februar	48.4	91.5	85.5	48.3	111.3	25.2	62.8	17.0	43.0	100.4	62.5	67.4	35.4	126.4	107.5	21.2	80.6	16.8
März	79.2	73.0	210.1	45.6	67.3	56.4	89.7	52.4	46.4	113.0	30.2	26.8	53.2	38.6	61.9	206.1	53.5	45.5
April	148.1	87.8	66.2	130.2	79.9	68.0	75.6	76.2	91.8	71.0	66.3	84.2	65.8	131.3	44.4	127.0	62.6	55.0
Mai	164.5	147.4	138.2	36.8	164.9	155.1	59.5	187.8	247.9	147.8	136.3	53.1	47.4	211.3	92.8	84.2	168.3	109.7
Juni	133.9	221.4	146.2	88.2	203.6	166.1	130.1	117.1	103.0	153.4	131.3	184.9	89.5	145.9	94.4	265.1	158.5	131.4
Juli	109.1	79.6	108.9	172.6	80.6	102.1	148.8	243.1	92.6	71.9	141.0	165.3	101.4	109.9	180.2	136.3	144.4	134.8
August	114.7	96.5	100.3	131.0	98.8	44.7	130.3	118.6	159.5	200.4	137.7	80.7	84.7	176.6	113.5	106.5	130.8	92.0
September	31.2	150.5	68.5	64.4	96.9	76.0	66.6	87.1	107.3	124.8	53.2	47.2	153.5	124.6	99.9	147.0	153.1	57.7
Oktober	73.4	33.0	115.6	85.0	107.2	44.8	148.7	99.8	81.9	6.5	111.7	31.1	126.0	35.8	87.9	69.7	126.3	127.7
November	47.3	80.2	48.2	25.6	158.8	110.8	114.7	46.2	38.2	75.6	95.2	36.8	101.2	96.3	64.0	60.7	162.7	68.2
Dezember	64.7	42.8	89.0	30.5	51.1	66.6	88.8	103.7	87.9	184.2	52.0	87.0	32.7	128.1	31.1	40.3	65.5	41.9
Summe	1148	1173	1239	870	1249	976	1135	1186	1190	1357	1027	892	952	1377	1015	1369	1325	937

**Tabelle 8 Abflusskennzahlen der Grossen Aa, Kleinen Aa und des Lippenrütibaches von 1986 bis 2003 (südliches Teileinzugsgebiet)**

Zuflüsse	Jahr	Jahresabfluss Mio. m <sup>3</sup> /Jahr	Gebietsabfluss <sup>1)</sup> l/s*km <sup>2</sup>	Abflusshöhe <sup>2)</sup> mm/Jahr	Abflussverhältnis <sup>3)</sup> %	Periodenmittel %	Niederschlagshöhe mm/Jahr
<b>Grosse Aa</b> 15.58 km <sup>2</sup>	1986	9.496	19.33	610	53%	50%	1148
	1987	10.088	20.53	648	55%		1173
	1988	9.533	19.40	612	49%		1239
	1989	5.981	12.17	384	44%		870
	1990	8.507	17.32	546	44%		1249
	1991	8.390	17.08	538	55%		976
	1992	10.886	22.16	699	62%	56%	1135
	1993	10.831	22.04	695	59%		1186
	1994	10.241	20.84	657	55%		1190
	1995	12.338	25.11	792	58%		1357
	1996	9.189	18.70	590	57%		1027
	1997	6.573	13.38	422	47%		892
	1998	6.523	13.28	419	44%	53%	952
	1999	13.692	27.87	879	64%		1377
2000	8.288	16.87	532	52%	1015		
2001	12.918	26.29	829	61%	1369		
2002	12.148	24.73	780	59%	1325		
2003	6.027	12.27	387	41%	937		
<b>Kleine Aa</b> 6.98 km <sup>2</sup>	1986	3.957	17.98	567	49%	47%	1148
	1987	4.090	18.58	586	50%		1173
	1988	3.927	17.84	563	45%		1239
	1989	2.338	10.62	335	39%		870
	1990	3.846	17.47	551	44%		1249
	1991	3.591	16.31	514	53%		976
	1992	4.228	19.21	606	53%	49%	1135
	1993	4.773	21.68	684	58%		1186
	1994	3.949	17.94	566	48%		1190
	1995	5.413	24.59	776	57%		1357
	1996	3.263	14.82	467	45%		1027
	1997	2.157	9.80	309	35%		892
	1998	2.004	9.10	287	30%	42%	952
	1999	5.031	22.86	721	52%		1377
2000	2.950	13.40	423	42%	1015		
2001	4.933	22.41	707	52%	1369		
2002	4.369	19.85	626	47%	1325		
2003	1.783	8.10	255	27%	937		
<b>Lippenrütibach</b> 3.24 km <sup>2</sup>	1986	2.307	22.58	712	62%	53%	1148
	1987	2.286	22.37	706	60%		1173
	1988	2.285	22.37	705	57%		1239
	1989	1.375	13.46	425	49%		870
	1990	1.767	17.29	545	44%		1249
	1991	1.397	13.67	431	44%		976
	1992	2.289	22.40	706	62%	51%	1135
	1993	1.999	19.56	617	52%		1186
	1994	1.759	17.21	543	46%		1190
	1995	2.733	26.74	843	62%		1357
	1996	1.563	15.30	482	47%		1027
	1997	1.046	10.23	323	36%		892
	1998	0.986	9.65	304	32%	41%	952
	1999	2.256	22.08	696	51%		1377
2000	1.149	11.25	355	35%	1015		
2001	2.128	20.82	657	48%	1369		
2002	2.115	20.70	653	49%	1325		
2003	0.903	8.84	279	30%	937		

1), 2) Gebietsabfluss und Abflusshöhe sind die Quotienten aus der Abflussmenge und der Einzugsgebietsfläche

3) Abflussverhältnis ist der Quotient aus der Abflusshöhe und der Niederschlagshöhe

**Tabelle 9 Abflusskennzahlen des Rotbaches und des Greuelbaches (östliches Teileinzugsgebiet) sowie des Meienbaches (westliches Teileinzugsgebiet) von 1986 bis 2003**

Zuflüsse	Jahr	Jahresabfluss Mio. m³/Jahr	Gebietsabfluss <sup>1)</sup> l/s*km²	Abflusshöhe <sup>2)</sup> mm/Jahr	Abflussverhältnis <sup>3)</sup> %	Periodenmittel %	Niederschlagshöhe mm/Jahr
<b>Rotbach</b> 5.95 km²	1986	4.190	22.33	704	61%	62%	1148
	1987	4.934	26.30	829	71%		1173
	1988	4.421	23.56	743	60%		1239
	1989	3.084	16.44	518	60%	53%	870
	1990	4.215	22.46	708	57%		1249
	1995	4.722	25.17	794	58%		1357
	1996	3.599	19.18	605	59%	50%	1027
	1997	2.276	12.13	383	43%		892
	1998	2.166	11.54	364	38%		952
	1999	5.367	28.60	902	66%	50%	1377
	2000	2.895	15.43	487	48%		1015
	2001	5.125	27.31	861	63%		1369
	2002	4.172	22.23	701	53%	50%	1325
2003	1.837	9.79	309	33%	937		
<b>Greuelbach</b> 2.58 km²	1986	2.158	26.53	837	73%	74%	1148
	1987	2.303	28.30	892	76%		1173
	1988	2.274	27.95	881	71%		1239
	1989	1.787	21.96	692	80%	42%	870
	1990	2.249	27.65	872	70%		1249
	1995	1.639	20.14	635	47%		1357
	1996	1.361	16.73	528	51%	33%	1027
	1997	0.610	7.50	236	27%		892
	1998	0.837	10.29	325	34%		952
	1999	1.267	15.57	491	36%	33%	1377
	2000	0.920	11.31	357	35%		1015
	2001	1.265	15.55	490	36%		1369
	2002	1.161	14.27	450	34%	33%	1325
2003	0.538	6.61	209	22%	937		
<b>Meienbach</b> 1.19 km²	1989	0.493	13.14	414	48%	46%	870
	1990	0.671	17.87	564	45%		1249
	1991	0.522	13.91	439	45%		976
	1992	0.784	20.88	658	58%	59%	1135
	1993	0.947	25.24	796	67%		1186
	1994	0.813	21.66	683	57%		1190
	1995	1.016	27.07	854	63%	46%	1357
	1996	0.802	21.38	674	66%		1027
	1997	0.425	11.32	357	40%		892
	1998	0.364	9.71	306	32%	46%	952
	1999	1.168	31.14	982	71%		1377
	2000	0.488	13.00	410	40%		1015
	2001	0.894	23.82	751	55%	46%	1369
2002	0.626	16.67	526	40%	1325		
2003	0.418	11.14	351	37%	937		

1), 2) Gebietsabfluss und Abflusshöhe sind die Quotienten aus der Abflussmenge und der Einzugsgebietsfläche  
3) Abflussverhältnis ist der Quotient aus der Abflusshöhe und der Niederschlagshöhe

**Tabelle 10 Wasserbilanz des Sempachersees von 1986 bis 2003 in Mio. m³**

Jahr	Zuflüsse gemessen Mio. m³	Rest- einzugs- gebiete Mio. m³	Regen auf den See Mio. m³	ARA Sempach gemessen Mio. m³	Summe Zufluss in See Mio. m³	Verdun- stung aus See Mio. m³	See- abfluss Suhre Mio. m³	Trinkwasserbe- zug aus Sem- pachersee Mio. m³	Summe Abfluss aus See Mio. m³	Änderung Inhalt im See Mio. m³	Wasser- bilanz +/- Mio. m³
1986	23.9	21.8	16.5	1.32	63.5	11.5	44.1	0.66	56.3	-0.72	7.9
1987	24.9	20.1	16.9	1.40	63.3	11.5	48.7	0.68	60.9	-0.58	3.0
1988	24.3	17.2	17.8	1.34	60.7	11.5	44.2	0.69	56.4	1.73	2.6
1989	16.0	12.5	12.5	1.15	42.1	11.5	27.1	0.71	39.3	-1.58	4.4
1990	22.6	17.2	18.0	1.22	58.9	11.5	37.3	0.68	49.5	2.30	7.2
1991	20.0	15.1	14.0	1.07	50.2	11.5	32.2	0.66	44.4	-2.01	7.9
1992	26.3	9.7	16.3	1.27	53.6	11.5	36.8	0.62	48.9	3.16	1.6
1993	24.2	18.7	17.1	1.21	61.2	11.5	43.1	0.52	55.1	-1.73	7.8
1994	21.9	16.6	17.1	1.22	56.8	11.5	41.7	0.51	53.7	1.01	2.1
1995	27.9	20.8	19.5	1.36	69.6	11.5	54.6	0.45	66.5	2.59	0.4
1996	19.8	15.9	14.7	1.23	51.6	11.5	41.2	0.52	53.2	-3.74	2.1
1997	13.1	9.3	12.8	1.10	36.3	11.5	25.5	0.51	37.5	-1.15	-0.1
1998	12.9	8.8	13.7	1.20	36.6	11.5	24.7	0.52	36.8	0.86	-1.0
1999	28.8	22.5	19.8	1.44	72.5	11.5	55.9	0.33	67.7	2.73	2.0
2000	16.7	11.6	14.6	1.21	44.1	11.5	36.2	0.35	48.1	-3.59	-0.4
2001	27.3	19.8	19.7	1.38	68.1	11.5	56.9	0.34	68.8	-0.72	0.1
2002	24.6	16.0	19.1	1.44	61.0	11.5	52.3	0.38	64.2	4.74	-7.9
2003	11.5	8.3	13.5	1.26	34.5	11.5	26.0	0.63	38.1	-4.03	0.4
<b>Mittelwert</b>	<b>21.5</b>	<b>15.7</b>	<b>16.3</b>	<b>1.27</b>	<b>54.7</b>	<b>11.5</b>	<b>40.5</b>	<b>0.54</b>	<b>52.5</b>	<b>-0.04</b>	<b>2.2</b>

Tabelle 11

Ermittlung der P-Zufuhren aus dem Einzugsgebiet des Sempachersees 1986 bis 1994

		1986		1987		1988		1989		1990		1991		1992		1993		1994	
Gesamt-Phosphor	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht	Fracht [kg/a]	spez. Fracht	Fracht [kg/a]	spez. Fracht	Fracht [kg/a]	spez. Fracht	Fracht [kg/a]	spez. Fracht	Fracht [kg/a]	spez. Fracht	Fracht [kg/a]	spez. Fracht	Fracht [kg/a]	spez. Fracht	Fracht [kg/a]	spez. Fracht
			[kg/a km <sup>2</sup> ]		[kg/a km <sup>2</sup> ]		[kg/a km <sup>2</sup> ]		[kg/a km <sup>2</sup> ]		[kg/a km <sup>2</sup> ]		[kg/a km <sup>2</sup> ]		[kg/a km <sup>2</sup> ]		[kg/a km <sup>2</sup> ]		[kg/a km <sup>2</sup> ]
Grosse Aa 1)	15.58	4785	307	4979	319	4368	280	1851	119	3102	199	2590	166	3799	244	3655	235	3533	227
Kleine Aa 1)	6.98	1950	279	2032	291	1901	272	791	113	1585	227	1488	213	1816	260	1991	285	1738	249
Lippenrütbach 1)	3.24	1269	392	1268	391	1332	411	613	189	772	238	446	138	898	277	746	230	652	201
Summe 1)	25.81	8004		8279		7601		3255		5459		4524		6513		6392		5923	
Mittel 1)			310		321		295		126		212		175		252		248		230
<b>Rest-EZG 1)</b>	<b>5.20</b>	<b>1610</b>		<b>1670</b>		<b>1530</b>		<b>660</b>		<b>1100</b>		<b>910</b>		<b>1310</b>		<b>1290</b>		<b>1190</b>	
Rotbach 2) 4)	5.95	1493	251	1856	312	1758	296	1062	179	1615	272	1230	207	1770	298	975	164	904	152
Greuelbach 2) 4)	2.58	502	194	572	221	671	260	328	127	525	203	423	164	608	235	224	87	208	80
Summe 2)	8.53	1995		2428		2429		1390		2140		1652		2379		1199		1111	
Mittel 2)			234		285		285		163		251		194		279		141		130
<b>Rest-EZG 2)</b>	<b>11.68</b>	<b>2730</b>		<b>3320</b>		<b>3330</b>		<b>1900</b>		<b>2930</b>		<b>2260</b>		<b>3260</b>		<b>1640</b>		<b>1520</b>	
Meienbach 3)	1.19					107	90	89	75	143	120	75	63	153	128	199	167	159	133
Nottwilerbach 5)	1.59	881	554	471	296														
<b>Rest-EZG 3)</b>	<b>9.38</b>	<b>5200</b>		<b>2780</b>		<b>840</b>		<b>700</b>		<b>1120</b>		<b>590</b>		<b>1200</b>		<b>1560</b>		<b>1250</b>	
<b>Resteinzugsgebiete</b>		<b>9540</b>		<b>7770</b>		<b>5700</b>		<b>3260</b>		<b>5150</b>		<b>3760</b>		<b>5770</b>		<b>4490</b>		<b>3960</b>	
<b>Einzugsgebiet Total<sup>6)</sup></b>	<b>61.79</b>	<b>20420</b>	<b>± 2040</b>	<b>18950</b>	<b>± 2290</b>	<b>15840</b>	<b>± 1830</b>	<b>7990</b>	<b>± 910</b>	<b>12890</b>	<b>± 1890</b>	<b>10010</b>	<b>± 1090</b>	<b>14810</b>	<b>± 1440</b>	<b>12280</b>	<b>± 1370</b>	<b>11150</b>	<b>± 1370</b>
<b>gelöster Phosphor</b>	<b>Fläche [km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>
Grosse Aa 1)	15.58	2501	141	2435	151	2038	131	947	61	1489	96	1380	89	1955	125	1925	124	2011	129
Kleine Aa 1)	6.98	1212	159	1129	166	1027	147	472	68	925	133	859	123	1013	145	1143	164	962	138
Lippenrütbach 1)	3.24	508	133	438	129	438	135	199	61	306	94	209	65	415	128	342	106	341	105
Summe 1)	25.81	4221		4002		3503		1618		2720		2448		3383		3410		3314	
Mittel 1)			164		155		136		63		105		95		131		132		128
<b>Rest-EZG 1)</b>	<b>5.20</b>	<b>850</b>		<b>810</b>		<b>710</b>		<b>330</b>		<b>550</b>		<b>490</b>		<b>680</b>		<b>690</b>		<b>670</b>	
Rotbach 2) 4)	5.95	566	92	680	112	571	96	391	66	534	90	467	79	645	109	407	68	395	66
Greuelbach 2) 4)	2.58	161	60	174	65	162	63	83	32	121	47	114	44	158	61	87	34	85	33
Summe 2)	8.53	727		854		733		474		655		581		803		494		480	
Mittel 2)			85		100		86		56		77		68		94		58		56
<b>Rest-EZG 2)</b>	<b>11.68</b>	<b>1000</b>		<b>1170</b>		<b>1000</b>		<b>650</b>		<b>900</b>		<b>800</b>		<b>1100</b>		<b>680</b>		<b>660</b>	
Meienbach 3)	1.19					42	35	33	28	61	51	35	29	73	61	92	77	69	58
Nottwilerbach 5)	1.59	110	69	102	64														
<b>Rest-EZG 3)</b>	<b>9.38</b>	<b>650</b>		<b>600</b>		<b>330</b>		<b>260</b>		<b>480</b>		<b>280</b>		<b>570</b>		<b>720</b>		<b>540</b>	
<b>Resteinzugsgebiete</b>		<b>2500</b>		<b>2580</b>		<b>2040</b>		<b>1240</b>		<b>1930</b>		<b>1570</b>		<b>2350</b>		<b>2090</b>		<b>1870</b>	
<b>Einzugsgebiet Total<sup>6)</sup></b>	<b>61.79</b>	<b>7560</b>	<b>± 910</b>	<b>7540</b>	<b>± 920</b>	<b>6320</b>	<b>± 760</b>	<b>3370</b>	<b>± 380</b>	<b>5370</b>	<b>± 780</b>	<b>4630</b>	<b>± 1010</b>	<b>6610</b>	<b>± 730</b>	<b>6090</b>	<b>± 700</b>	<b>5730</b>	<b>± 1200</b>
<b>PO<sub>4</sub>-P</b>	<b>Fläche [km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>
Grosse Aa 1)	15.58	2138	137	2221	143	1848	119	794	51	1305	84	1172	75	1693	109	1660	107	1783	114
Kleine Aa 1)	6.98	1052	151	1032	148	917	131	418	60	820	117	777	111	879	126	991	142	851	122
Lippenrütbach 1)	3.24	461	142	398	123	397	123	183	56	269	83	181	56	367	113	300	93	309	95
Summe 1)	25.81	3651		3651		3162		1395		2394		2130		2939		2951		2943	
Mittel 1)			141		141		123		54		93		83		114		114		114
<b>Rest-EZG 1)</b>	<b>5.20</b>	<b>740</b>		<b>740</b>		<b>640</b>		<b>280</b>		<b>480</b>		<b>430</b>		<b>590</b>		<b>590</b>		<b>590</b>	
Rotbach 2) 4)	5.95	485	84	593	84	483	81	288	48	434	73	369	62	509	86	351	59	350	59
Greuelbach 2) 4)	2.58	134	52	146	57	131	51	65	25	95	37	89	35	123	48	72	28	72	28
Summe 2)	8.53	619		739		614		353		529		458		633		423		422	
Mittel 2)			73		87		72		41		62		54		74		50		49
<b>Rest-EZG 2)</b>	<b>11.68</b>	<b>850</b>		<b>1010</b>		<b>840</b>		<b>480</b>		<b>720</b>		<b>630</b>		<b>870</b>		<b>580</b>		<b>580</b>	
Meienbach 3)	1.19					38	32	29	24	53	44	38	32	63	53	65	54	58	49
Nottwilerbach 5)	1.59	92	58	86	54														
<b>Rest-EZG 3)</b>	<b>9.38</b>	<b>540</b>		<b>510</b>		<b>300</b>		<b>230</b>		<b>420</b>		<b>300</b>		<b>500</b>		<b>510</b>		<b>460</b>	
<b>Resteinzugsgebiete</b>		<b>2130</b>		<b>2260</b>		<b>1780</b>		<b>990</b>		<b>1620</b>		<b>1360</b>		<b>1960</b>		<b>1680</b>		<b>1630</b>	
<b>Einzugsgebiet Total<sup>6)</sup></b>	<b>61.79</b>	<b>6490</b>	<b>± 820</b>	<b>6740</b>	<b>± 860</b>	<b>5590</b>	<b>± 690</b>	<b>2770</b>	<b>± 300</b>	<b>4600</b>	<b>± 730</b>	<b>3990</b>	<b>± 830</b>	<b>5590</b>	<b>± 630</b>	<b>5120</b>	<b>± 610</b>	<b>5050</b>	<b>± 1110</b>

Tabelle 12

Ermittlung der P-Zufuhren aus dem Einzugsgebiet des Sempachersees 1995 bis 2003

provisorisch!

		1995		1996		1997		1998		1999		2000		2001		2002		2003	
Gesamt-Phosphor	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]
		Grosse Aa 1)	15.58	4536	291	3097	199	2977	191	3587	230	14785	949	4875	313	7644	490	7429	477
Kleine Aa 1)	6.98	2791	400	1183	169	2231	320	2378	341	11770	1686	2590	371	2460	352	1881	269	564	81
Lippenrütibach 1)	3.24	1203	371	521	161	487	150	848	262	3532	1090	960	296	1749	540	1858	574	543	168
Summe 1)	25.81	8530		4801		5695		6813		30087		8425		11853		11168		3480	
Mittel 1)			331		186		221		264		1166		326		459		433		135
Rest-EZG 1)	5.20	1720		970		1150		1370		6060		1700		2390		2250		700	
Rotbach 2) 4)	5.95	1445	243	837	141	621	104	693	117	3124	525	844	142	1967	331	1756	235	549	92
Greuelbach 2) 4)	2.58	352	136	223	86	92	36	220	85	346	134	172	67	369	139	369	139	129	50
Summe 2)	8.53	1797		1060		713		913		3470		1016		2326		2115		678	
Mittel 2)			211		124		84		107		407		119		273		248		79
Rest-EZG 2)	11.68	2460		1450		980		1250		4750		1390		3180		2900		930	
Meienbach 3)	1.19	257	215	137	115	148	124	250	209	1820	1525	162	136	315	264	162	136	64	54
Nottwilerbach 5)	1.59																		
Rest-EZG 3)	9.38	2020		1080		1160		1960		14300		1270		2480		1270		510	
Resteinzugsgebiete		6200		3500		3290		4580		25110		4360		8050		6420		2140	
Einzugsgebiet Total <sup>6)</sup>	61.79	16780	± 1930	9500	± 1350	9850	± 1550	12560	± 2160	60490	± 8130	13960	± 2590	22540	± 2700	19870	± 2710	6360	± 1110
gelöster Phosphor	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]
Grosse Aa 1)	15.58	2290	147	1356	87	1109	71	754	48	2461	158	1007	65	2011	129	1730	111	579	37
Kleine Aa 1)	6.98	1366	196	614	88	353	51	261	37	875	125	407	58	973	139	766	110	226	32
Lippenrütibach 1)	3.24	546	169	201	62	188	58	108	33	395	122	172	53	432	133	469	145	177	55
Summe 1)	25.81	4202		2171		1650		1123		3731		1586		3416		2965		982	
Mittel 1)			163		84		64		44		145		61		132		115		38
Rest-EZG 1)	5.20	850		440		330		230		750		320		690		600		200	
Rotbach 2) 4)	5.95	1208	85	290	49	159	27	138	23	481	81	163	27	407	68	301	51	69	12
Greuelbach 2) 4)	2.58	507	49	58	22	20	8	37	14	59	23	28	11	51	20	47	18	16	6
Summe 2)	8.53	635		348		179		175		540		191		458		348		85	
Mittel 2)			74		41		21		21		63		22		54		41		10
Rest-EZG 2)	11.68	870		480		250		240		740		260		630		480		120	
Meienbach 3)	1.19	124	104	50	42	29	24	18	15	97	81	16	52	45	38	24.2	20	11.4	10
Nottwilerbach 5)	1.59																		
Rest-EZG 3)	9.38	970		390		230		140		760		490		350		190		90	
Resteinzugsgebiete		2690		1310		810		610		2250		1070		1670		1270		410	
Einzugsgebiet Total <sup>6)</sup>	61.79	7650	± 1050	3880	± 550	2670	± 530	1930	± 290	6620	± 1010	2860	± 350	5590	± 670	4610	± 600	1490	± 200
PO <sub>4</sub> -P	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]
Grosse Aa 1)	15.58	2040	131	1195	77	978	63	637	41	2133	137	851	55	1684	108	1389	89	453	29
Kleine Aa 1)	6.98	1226	176	544	78	309	44	223	32	766	110	349	50	819	117	638	91	183	26
Lippenrütibach 1)	3.24	471	145	181	56	170	52	90	28	331	102	151	47	386	119	418	129	162	50
Summe 1)	25.81	3737		1920		1457		950		3230		1351		2889		2445		798	
Mittel 1)			145		74		56		37		125		52		112		95		31
Rest-EZG 1)	5.20	750		390		290		190		650		270		580		490		160	
Rotbach 2) 4)	5.95	450	76	247	42	148	25	116	20	396	67	157	26	318	53	205	34	78	13
Greuelbach 2) 4)	2.58	114	44	46	18	14	5	26	10	48	19	21	8	38	15	34	13	11	4
Summe 2)	8.53	564		293		162		142		444		178		356		239		89	
Mittel 2)			66		34		19		17		52		21		42		28		10
Rest-EZG 2)	11.68	770		400		220		190		610		240		490		330		120	
Meienbach 3)	1.19	110	92	41	34	24	20	17	14	72	60	12	10	35	29	22.7	19	10.1	8
Nottwilerbach 5)	1.59																		
Rest-EZG 3)	9.38	860		320		190		130		570		90		280		180		80	
Resteinzugsgebiete		2380		1110		700		510		1830		600		1350		1000		360	
Einzugsgebiet Total <sup>6)</sup>	61.79	6790	± 1000	3360	± 500	2340	± 520	1620	± 260	5580	± 920	2140	± 300	4630	± 570	3710	± 500	1260	± 170

Tabelle 13 Jährliche Abflussmengen und Phosphorfrachten der Grossen Aa, der Kleinen Aa und des Lippenrütibaches in den Jahren 1986 bis 2003 (südliches Einzugsgebiet)

	Jahr	Abfluss Mio. m <sup>3</sup> /Jahr	PO <sub>4</sub> -P kg/Jahr	gelöster P kg/Jahr	partikulärer P kg/Jahr	Gesamt-P kg/Jahr
<b>Grosse Aa</b>	1986	9.496	2138	2501	2284	4785
	1987	10.088	2221	2435	2544	4979
	1988	9.533	1848	2038	2330	4368
	1989	5.981	794	947	904	1851
	1990	8.507	1305	1489	1613	3102
	1991	8.390	1172	1380	1210	2590
	1992	10.886	1693	1955	1844	3799
	1993	10.831	1660	1925	1730	3655
	1994	10.241	1783	2011	1522	3533
	1995	12.338	2040	2290	2246	4536
	1996	9.189	1195	1356	1741	3097
	1997	6.573	978	1109	1868	2977
	1998	6.523	637	754	2833	3587
	1999	13.692	2133	2461	12324	14785
	2000	8.288	851	1007	3868	4875
2001	12.918	1684	2011	5633	7644	
2002	12.148	1389	1730	5699	7429	
2003	6.027	453	579	1794	2373	
<b>Kleine Aa</b>	1986	3.957	1052	1212	738	1950
	1987	4.090	1032	1129	903	2032
	1988	3.927	917	1027	874	1901
	1989	2.338	418	472	319	791
	1990	3.846	820	925	660	1585
	1991	3.591	777	859	629	1488
	1992	4.228	879	1013	803	1816
	1993	4.773	991	1143	848	1991
	1994	3.949	851	962	776	1738
	1995	5.413	1226	1366	1425	2791
	1996	3.263	544	614	569	1183
	1997	2.157	309	353	1878	2231
	1998	2.003	223	261	2117	2378
	1999	5.031	766	875	10895	11770
	2000	2.950	349	407	2183	2590
2001	4.933	819	973	1487	2460	
2002	4.369	638	766	1115	1881	
2003	1.783	183	226	338	564	
<b>Lippenrütibach</b>	1986	2.307	461	508	761	1269
	1987	2.286	398	438	830	1268
	1988	2.285	397	438	894	1332
	1989	1.375	183	199	414	613
	1990	1.765	269	306	466	772
	1991	1.391	181	209	237	446
	1992	2.289	367	415	483	898
	1993	1.999	300	342	404	746
	1994	1.758	309	341	311	652
	1995	2.732	471	546	657	1203
	1996	1.563	181	201	320	521
	1997	1.046	170	188	299	487
	1998	0.982	90	108	740	848
	1999	2.256	331	395	3137	3532
	2000	1.149	151	172	788	960
2001	2.128	386	432	1317	1749	
2002	2.115	418	469	1389	1858	
2003	0.903	162	177	366	543	

**Tabelle 14** Jährliche Abflussmengen und Phosphorfrachten des Rotbaches und des Greuelbaches in den Jahren 1986 bis 2003 (östliches Einzugsgebiet)

	Jahr	Abfluss Mio. m <sup>3</sup> /Jahr	PO <sub>4</sub> -P kg/Jahr	gelöster P kg/Jahr	partikulärer P kg/Jahr	Gesamt-P kg/Jahr
<b>Rotbach</b>	1986	4.190	485	566	927	1493
	1987	4.934	593	680	1176	1856
	1988	4.421	483	571	1187	1758
	1989	3.084	288	391	671	1062
	1990	4.215	434	534	1081	1615
	1991	3.961	369	467	763	1230
	1992	5.270	509	645	1125	1770
	1993	4.214	351	407	569	975
	1994	3.817	350	395	508	904
	1995	4.722	450	508	937	1445
	1996	3.599	247	290	547	837
	1997	2.276	148	159	462	621
	1998	2.165	116	138	555	693
	1999	5.367	396	481	2643	3124
	2000	2.895	157	163	681	844
	2001	5.125	318	407	1560	1967
2002	4.172	205	301	1455	1756	
2003	1.837	78	69	480	549	
<b>Greuelbach</b>	1986	2.158	134	161	341	502
	1987	2.303	146	174	398	572
	1988	2.274	131	162	509	671
	1989	1.787	65	83	245	328
	1990	2.249	95	121	404	525
	1991	2.133	89	114	308	423
	1992	2.887	123	158	450	608
	1993	1.435	72	87	137	224
	1994	1.300	72	85	123	208
	1995	1.639	114	127	225	352
	1996	1.361	46	58	165	223
	1997	0.610	14	20	72	92
	1998	0.833	26	37	183	220
	1999	1.267	48	59	287	346
	2000	0.920	21	28	144	172
	2001	1.265	38	51	308	359
2002	1.161	34	47	312	359	
2003	0.528	11	16	113	129	

**Tabelle 15** Jährliche Abflussmengen und Phosphorfrachten des Meienbaches in den Jahren 1988 bis 2003 und des Nottwilerbaches in den Jahren 1986 und 1987 (westliches Einzugsgebiet)

	Jahr	Abfluss Mio. m <sup>3</sup> /Jahr	PO <sub>4</sub> -P kg/Jahr	gelöster P kg/Jahr	partikulärer P kg/Jahr	Gesamt-P kg/Jahr
<b>Meienbach</b>	1988	0.473	38	42	65	107
	1989	0.492	29	33	56	89
	1990	0.668	53	61	82	143
	1991	0.520	38	35	40	75
	1992	0.783	63	73	80	153
	1993	0.947	65	92	107	199
	1994	0.813	58	69	90	159
	1995	1.016	110	124	133	257
	1996	0.802	41	50	87	137
	1997	0.425	24	29	119	148
	1998	0.360	17	18	232	250
	1999	1.168	72	97	1723	1820
	2000	0.488	12	16	146	162
	2001	0.894	35	45	270	315
2002	0.625	23	24	138	162	
2003	0.418	10	11	53	64	
<b>Nottwilerbach</b>	1986	1.759	92	110	771	881
	1987	1.217	86	102	369	471

**Tabelle 16** Jährlicher Phosphor-Eintrag in den Sempachersee in den Jahren 1986 bis 2003

Gesamtphosphor in kg/Jahr

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Zuflüsse gemessen	10880	11178	10137	4734	7742	6251	9045	7790	7193	10584	5998	6556	7976	35377	9603	14494	13445	4222
Resteinzugsgebiete	9540	7770	5700	3260	5150	3760	5770	4490	3960	6200	3500	3290	4580	25110	4360	8050	6420	2140
ARA Sempach	400	400	300	300	300	300	270	160	190	290	330	360	350	420	348	343	323	340
Regenentlastungen in See	300	300	300	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Niederschlag auf den See	1372	1402	1481	1040	1493	1167	1357	1418	1422	1622	1218	1066	1138	1646	1213	1636	1584	1120
<b>Total Zufuhr in See</b>	<b>22492</b>	<b>21050</b>	<b>17918</b>	<b>9534</b>	<b>14885</b>	<b>11678</b>	<b>16641</b>	<b>14058</b>	<b>12966</b>	<b>18896</b>	<b>11246</b>	<b>11472</b>	<b>14244</b>	<b>62753</b>	<b>15724</b>	<b>24723</b>	<b>21972</b>	<b>8022</b>

Gelöster Phosphor in kg/Jahr

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Zuflüsse gemessen	5058	4958	4278	2125	3436	3064	4259	3996	3863	4961	2569	1858	1316	4368	1793	3919	3337	1078
Resteinzugsgebiete	2500	2580	2040	1240	1930	1570	2350	2090	1870	2690	1310	810	610	2250	1070	1670	1270	410
ARA Sempach	100	100	100	100	100	100	90	80	80	110	120	50	137	153	140	140	130	140
Regenentlastungen in See	200	200	200	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Niederschlag auf den See	876	895	946	664	953	745	866	905	908	1036	778	681	727	1051	775	1045	1011	715
<b>Total Zufuhr in See</b>	<b>8734</b>	<b>8733</b>	<b>7564</b>	<b>4229</b>	<b>6519</b>	<b>5579</b>	<b>7666</b>	<b>7171</b>	<b>6821</b>	<b>8897</b>	<b>4877</b>	<b>3499</b>	<b>2890</b>	<b>7922</b>	<b>3878</b>	<b>6874</b>	<b>5848</b>	<b>2444</b>

Partikulärer Phosphor in kg/Jahr

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Zuflüsse gemessen	5822	6220	5859	2609	4306	3187	4785	3794	3330	5623	3429	4698	6660	31009	7810	10575	10108	3144
Resteinzugsgebiete	7040	5190	3660	2020	3220	2190	3420	2400	2090	3510	2190	2480	3970	22860	3290	6380	5150	1730
ARA Sempach	300	300	200	200	200	200	180	80	110	180	210	310	213	267	208	203	193	200
Regenentlastungen in See	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Niederschlag auf den See	496	507	535	376	540	422	490	512	514	586	440	385	411	595	438	591	572	405
<b>Total Zufuhr in See</b>	<b>13758</b>	<b>12317</b>	<b>10354</b>	<b>5305</b>	<b>8366</b>	<b>6099</b>	<b>8976</b>	<b>6887</b>	<b>6144</b>	<b>9999</b>	<b>6369</b>	<b>7973</b>	<b>11354</b>	<b>54831</b>	<b>11846</b>	<b>17849</b>	<b>16123</b>	<b>5579</b>

Algenverfügbarer Phosphor in kg/Jahr

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Zuflüsse gemessen	5058	4958	4278	2125	3436	3064	4259	3996	3863	4961	2569	1858	1316	4368	1793	3919	3337	1078
Resteinzugsgebiete	2500	2580	2040	1240	1930	1570	2350	2090	1870	2690	1310	810	610	2250	1070	1670	1270	410
ARA Sempach	400	400	300	300	300	300	270	160	190	290	330	360	350	420	348	343	323	340
Regenentlastungen in See	300	300	300	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Niederschlag auf den See	1372	1402	1481	1040	1493	1167	1357	1418	1422	1622	1218	1066	1138	1646	1213	1636	1584	1120
<b>Total Zufuhr in See</b>	<b>9630</b>	<b>9640</b>	<b>8399</b>	<b>4905</b>	<b>7359</b>	<b>6301</b>	<b>8436</b>	<b>7863</b>	<b>7545</b>	<b>9763</b>	<b>5627</b>	<b>4294</b>	<b>3614</b>	<b>8884</b>	<b>4624</b>	<b>7768</b>	<b>6714</b>	<b>3148</b>

**Tabelle 20** Jährlicher Abfluss und Phosphorexport über die Suhre in den Jahren 1986 bis 2003

Jahr	Jahresabfluss Mio. m <sup>3</sup> /Jahr	Gesamt-P kg/Jahr	gelöster P kg/Jahr	partikulärer P kg/Jahr
1986	44.124	5420	4110	1310
1987	48.696	5120	3810	1310
1988	44.184	4480	3220	1260
1989	27.099	2140	1400	740
1990	37.286	2530	1670	860
1991	32.213	2580	1670	910
1992	36.757	2350	1480	870
1993	43.063	2360	1360	1000
1994	41.666	2380	1340	1040
1995	54.578	2790	1630	1160
1996	41.165	2050	1210	840
1997	25.504	1120	550	570
1998	24.736	900	470	430
1999	55.903	2100	790	1310
2000	36.242	1060	440	620
2001	56.913	1660	870	790
2002	52.283	1310	650	660
2003	25.966	680	410	270

Tabelle 17

95%-Vertrauensbereiche der P-Zufuhren 1986 bis 1994

		1986		1987		1988		1989		1990		1991		1992		1993		1994	
Gesamt-Phosphor	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]
Grosse Aa 1)	15.58	1565	100	1917	123	1501	96	729	47	1691	109	838	54	1137	73	1116	72	1141	73
Kleine Aa 1)	6.98	667	96	659	94	593	85	259	37	480	69	511	73	577	83	614	88	584	84
Lippenrütibach 1)	3.24	503	155	445	137	447	138	216	67	242	75	139	43	272	84	226	70	221	68
Summe 1)	25.81	2735		3021		2541		1204		2413		1488		1986		1956		1946	
Mittel 1)			106		117		98		47		94		58		77		76		75
Rest-EZG 1)	5.20	550		610		510		240		490		300		400		390		390	
Rotbach 2) 4)	5.95	482	81	594	100	518	87	305	51	451	76	308	52	411	69	276	46	275	46
Greuelbach 2) 4)	2.58	185	72	212	82	239	92	121	47	192	74	133	52	178	69	65	25	65	25
Summe 2)	8.53	667		806		757		426		643		441		589		341		340	
Mittel 2)			78		94		89		50		75		52		69		40		40
Rest-EZG 2)	11.68	910		1100		1040		580		880		600		810		470		460	
Meienbach 3)	1.19					39	33	32	27	51	43	39	33	52	44	63	53	55	46
Nottwilerbach 5)	1.59	305	192	184	116														
Rest-EZG 3)	9.38	1800		1090		310		250		400		310		410		500		430	
Resteinzugsgebiete		3260		2800		1860		1070		1770		1210		1620		1360		1280	
Einzugsgebiet Total <sup>6)</sup>		± 2040		± 2290		± 1830		± 910		± 1890		± 1090		± 1440		± 1370		± 1370	
<b>gelöster Phosphor</b>	<b>Fläche [km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>
Grosse Aa 1)	15.58	754	48	805	52	643	41	312	20	687	44	928	60	591	38	574	37	1126	72
Kleine Aa 1)	6.98	390	56	341	49	298	43	131	19	261	37	276	40	311	45	336	48	309	44
Lippenrütibach 1)	3.24	161	50	131	40	130	40	60	19	89	27	61	19	124	38	103	32	112	35
Summe 1)	25.81	1305		1277		1071		503		1037		1265		1026		1013		1547	
Mittel 1)			51		49		42		19		40		49		40		39		60
Rest-EZG 1)	5.20	260		260		220		100		210		250		210		200		310	
Rotbach 2) 4)	5.95	159	27	189	32	170	29	114	19	154	26	212	36	172	29	110	19	168	28
Greuelbach 2) 4)	2.58	43	17	47	18	47	18	23	9	36	14	51	20	42	16	28	11	43	17
Summe 2)	8.53	202		236		217		137		190		264		214		138		211	
Mittel 2)			24		28		25		16		22		31		25		16		25
Rest-EZG 2)	11.68	280		320		300		190		260		360		290		190		290	
Meienbach 3)	1.19					16	13	12	10	24	20	22	18	28	23	34	28	27	23
Nottwilerbach 5)	1.59	57	36	29	18														
Rest-EZG 3)	9.38	340		170		130		90		190		170		220		270		210	
Resteinzugsgebiete		880		750		650		380		660		780		720		660		810	
Einzugsgebiet Total <sup>6)</sup>		± 910		± 920		± 760		± 380		± 780		± 1010		± 730		± 700		± 1200	
<b>PO<sub>4</sub>-P</b>	<b>Fläche [km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>	<b>Fracht [kg/a]</b>	<b>spez. Fracht [kg/a km<sup>2</sup>]</b>
Grosse Aa 1)	15.58	639	41	736	47	590	38	255	16	667	43	764	49	520	33	502	32	1045	67
Kleine Aa 1)	6.98	343	49	313	45	268	38	116	17	232	33	249	36	271	39	292	42	273	39
Lippenrütibach 1)	3.24	150	46	121	37	119	37	55	17	79	24	53	16	111	34	92	28	103	32
Summe 1)	25.81	1132		1170		977		426		978		1066		902		886		1421	
Mittel 1)			44		45		38		17		38		41		35		34		55
Rest-EZG 1)	5.20	230		240		200		90		200		210		180		180		290	
Rotbach 2) 4)	5.95	140	24	170	29	134	23	72	12	111	19	142	24	120	20	92	16	148	25
Greuelbach 2) 4)	2.58	37	14	41	16	41	16	17	7	28	11	39	15	33	13	25	10	40	15
Summe 2)	8.53	177		211		175		89		139		180		153		117		188	
Mittel 2)			21		25		21		10		16		21		18		14		22
Rest-EZG 2)	11.68	240		290		240		120		190		250		210		160		260	
Meienbach 3)	1.19					14	12	11	9	22	18	12	10	24	20	27	23	25	21
Nottwilerbach 5)	1.59	115	72	58	36														
Rest-EZG 3)	9.38	680		340		110		90		170		90		190		210		200	
Resteinzugsgebiete		1150		870		550		300		560		550		580		550		750	
Einzugsgebiet Total <sup>6)</sup>		± 820		± 860		± 690		± 300		± 730		± 830		± 630		± 610		± 1110	

Tabelle 18

95%-Vertrauensbereiche der P-Zufuhren 1995 bis 2003

provisorisch!

Gesamt-Phosphor	Fläche [km <sup>2</sup> ]	1995		1996		1997		1998		1999		2000		2001		2002		2003	
		Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]
Grosse Aa 1)	15.58	1508	97	1173	75	1081	69	1612	103	6010	386	2002	128	2299	148	2348	151	949	61
Kleine Aa 1)	6.98	884	127	477	68	995	143	1135	163	4403	631	1284	184	757	108	721	103	379	54
Lippenrütbach 1)	3.24	382	118	181	56	219	68	564	174	1603	495	585	181	606	187	684	211	230	71
Summe 1)	25.81	2774		1831		2295		3311		12016		3871		3662		3753		1558	
Mittel 1)			107		71		89		128		466		150		142		145		60
Rest-EZG 1)	<b>5.20</b>	<b>560</b>		<b>370</b>		<b>460</b>		<b>670</b>		<b>2420</b>		<b>780</b>		<b>740</b>		<b>760</b>		<b>310</b>	
Rotbach 2) 4)	5.95	479	81	277	47	218	37	329	55	1158	195	418	70	619	104	611	103	225	38
Greuelbach 2) 4)	2.58	120	46	75	29	35	14	78	30	118	46	66	26	175	68	178	69	85	33
Summe 2)	8.53	599		352		253		407		1276		484		794		789		310	
Mittel 2)			70		41		30		48		150		57		93		92		36
Rest-EZG 2)	<b>11.68</b>	<b>820</b>		<b>480</b>		<b>350</b>		<b>560</b>		<b>1750</b>		<b>660</b>		<b>1090</b>		<b>1080</b>		<b>420</b>	
Meienbach 3)	1.19	94	79	50	42	93	78	131	110	734	615	178	149	169	141	87	93	87	42
Nottwilerbach 5)	1.59																		
Rest-EZG 3)	<b>9.38</b>	<b>740</b>		<b>390</b>		<b>730</b>		<b>1030</b>		<b>5770</b>		<b>1400</b>		<b>1330</b>		<b>870</b>		<b>400</b>	
Resteinzugsgebiete		<b>2120</b>		<b>1240</b>		<b>1540</b>		<b>2280</b>		<b>9940</b>		<b>2840</b>		<b>3160</b>		<b>2710</b>		<b>1130</b>	
Einzugsgebiet Total <sup>6)</sup>		<b>± 1930</b>		<b>± 1350</b>		<b>± 1550</b>		<b>± 2160</b>		<b>± 8130</b>		<b>± 2590</b>		<b>± 2700</b>		<b>± 2710</b>		<b>± 1110</b>	
gelöster Phosphor	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]
Grosse Aa 1)	15.58	894	57	450	29	503	32	269	17	943	61	314	20	560	36	526	34	176	11
Kleine Aa 1)	6.98	410	59	258	37	107	15	73	10	238	34	112	16	285	41	228	33	70	10
Lippenrütbach 1)	3.24	173	53	69	21	68	21	36	11	119	37	49	15	116	36	104	32	48	15
Summe 1)	25.81	1477		777		678		378		1300		475		961		858		294	
Mittel 1)			57		30		26		15		50		18		37		33		11
Rest-EZG 1)	<b>5.20</b>	<b>300</b>		<b>160</b>		<b>140</b>		<b>80</b>		<b>260</b>		<b>100</b>		<b>190</b>		<b>170</b>		<b>60</b>	
Rotbach 2) 4)	5.95	171	29	97	16	51	9	45	8	145	24	53	9	133	22	104	18	24	4
Greuelbach 2) 4)	2.58	52	20	22	9	7	3	12	5	19	7	9	3	16	6	15	6	6	2
Summe 2)	8.53	223		119		58		57		164		62		149		119		29	
Mittel 2)			26		14		7		7		19		7		17		14		3
Rest-EZG 2)	<b>11.68</b>	<b>310</b>		<b>160</b>		<b>80</b>		<b>80</b>		<b>220</b>		<b>80</b>		<b>200</b>		<b>160</b>		<b>40</b>	
Meienbach 3)	1.19	50	42	19	16	12	10	7	6	32	27	8	7	20	17	11	9	5	4
Nottwilerbach 5)	1.59																		
Rest-EZG 3)	<b>9.38</b>	<b>390</b>		<b>150</b>		<b>90</b>		<b>60</b>		<b>250</b>		<b>60</b>		<b>160</b>		<b>80</b>		<b>40</b>	
Resteinzugsgebiete		<b>1000</b>		<b>470</b>		<b>310</b>		<b>220</b>		<b>730</b>		<b>240</b>		<b>550</b>		<b>410</b>		<b>140</b>	
Einzugsgebiet Total <sup>6)</sup>		<b>± 1050</b>		<b>± 550</b>		<b>± 530</b>		<b>± 290</b>		<b>± 1010</b>		<b>± 350</b>		<b>± 670</b>		<b>± 600</b>		<b>± 200</b>	
PO <sub>4</sub> -P	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km <sup>2</sup> ]
Grosse Aa 1)	15.58	806	52	406	26	494	32	241	15	872	56	269	17	476	31	435	28	143	9
Kleine Aa 1)	6.98	481	69	244	35	95	14	63	9	213	31	98	14	245	35	193	28	58	8
Lippenrütbach 1)	3.24	157	48	64	20	63	19	30	9	100	31	43	13	106	33	119	37	44	14
Summe 1)	25.81	1444		714		662		334		1185		410		827		747		245	
Mittel 1)			56		28		25		13		46		16		32		29		9
Rest-EZG 1)	<b>5.20</b>	<b>290</b>		<b>140</b>		<b>130</b>		<b>70</b>		<b>240</b>		<b>80</b>		<b>170</b>		<b>150</b>		<b>50</b>	
Rotbach 2) 4)	5.95	158	27	86	14	49	8	37	6	126	21	50	8	112	19	58	10	28	5
Greuelbach 2) 4)	2.58	53	21	19	7	7	3	12	5	17	7	7	3	13	5	12	5	4	2
Summe 2)	8.53	211		105		56		49		143		57		124		70		33	
Mittel 2)			25		12		7		6		17		7		15		8		4
Rest-EZG 2)	<b>11.68</b>	<b>290</b>		<b>140</b>		<b>80</b>		<b>70</b>		<b>200</b>		<b>80</b>		<b>170</b>		<b>100</b>		<b>40</b>	
Meienbach 3)	1.19	47	39	17	14	12	10	6	5	21	18	7	6	17	14	10	8	5	4
Nottwilerbach 5)	1.59																		
Rest-EZG 3)	<b>9.38</b>	<b>370</b>		<b>130</b>		<b>90</b>		<b>50</b>		<b>170</b>		<b>60</b>		<b>130</b>		<b>80</b>		<b>40</b>	
Resteinzugsgebiete		<b>950</b>		<b>410</b>		<b>300</b>		<b>190</b>		<b>610</b>		<b>220</b>		<b>470</b>		<b>330</b>		<b>130</b>	
Einzugsgebiet Total <sup>6)</sup>		<b>± 1000</b>		<b>± 500</b>		<b>± 520</b>		<b>± 260</b>		<b>± 920</b>		<b>± 300</b>		<b>± 570</b>		<b>± 500</b>		<b>± 170</b>	