

# CHEMISCHE UNTERSUCHUNG DES FUSCHLSEES IM JAHR 1978 UND NÄHRSTOFF - FRACHTBERECHNUNGEN

---

Johannes HASLAUER jr.

## 1. Summary

This article is an investigation of the influence of nitrogen and phosphorus loading on the primary production in Fuschlsee.

Seventeen vertical steps were taken from two measuring points for chemical analysis. A horizontal measuring chain with seventeen points was laid across the lake. Discharge, phosphorus and nitrogen loading of 40 inflows of the catchment area have been recorded. During the period from may to december 1978 temperature and oxygen conditions were measured. During the summer stagnation a decrease of oxygen in the hypolimnion was observed. The total phosphorus input and content in the lake was taken into consideration.

The study will give an up to date information about the trophic state of Fuschlsee.

## 2. Einleitung

Ziel dieser Arbeit ist eine Phosphor- und Stickstoffbilanz für den Fuschlsee während eines Jahresablaufs.

Der Einfluß der Nährstoffe Stickstoff und Phosphor auf die Primärproduktion soll geprüft werden.

Die Untersuchung erstreckt sich auf den Wasserkörper des Fuschlsees sowie seine Zubringer, auf das Einzugsgebiet (Eintrag durch land- und forstwirtschaftliche Nutzung) sowie auf den Fuschlsee- Ausrinn.

### 3. Untersuchungsprogramm und Methode

#### 3.1.

Zur genauen Erfassung des Phosphor- und Stickstoffhaushaltes sowie weiterer Parameter wurden im Fuschlsee zwei Hauptmeßpunkte festgelegt. Diese befinden sich jeweils an den tiefsten Stellen des West- und Ostbeckens. An diesen Hauptmeßpunkten werden seit Mai 1978 monatlich Probenentnahmen in 17 verschiedenen Tiefenstufen durchgeführt. Zusätzlich werden über die Längsachse des Sees an 17 Meßstellen monatlich von 0 bis 20 m **integrierte Proben** genommen. In den verschlammten Bereichen der Ostbucht erfolgen regelmäßig Entnahmen von Benthosproben. An allen Punkten werden folgende Parameter untersucht: Wassertemperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Sauerstoff, Orthophosphat, gesamter löslicher Phosphor, Total-Phosphor, partikulärer Phosphor, anorganische Polyphosphate, Ammonium, Nitrit, Nitrat, löslicher Stickstoff, partikulärer Stickstoff und Totalstickstoff.

Parallel zu diesen Probenentnahmen werden auch Proben zur Bestimmung des Phyto- und Zooplanktons sowie des Chlorophylls genommen und dann an M. DOKULIL\*, O. MOOG und G. MÜLLER weitergeleitet.

#### 3.2.

Zur Erfassung aller zuführenden Oberflächengewässer erfolgen an insgesamt 40 Zubringern Stickstoff- und Phosphor-Konzentrationsmessungen sowie Abflußmengenmessungen, woraus dann die Nährstofffrachten berechnet werden.

#### 3.3.

Um den Einfluß der landwirtschaftlichen Düngung im Einzugsgebiet abschätzen zu können, wurden in den

\* Da Schichtungen von beiden Punkten ausgewertet werden, was entsprechend Zeit erfordert, können im Augenblick noch keine Daten vgl. zu Mond- und Attersee gezeigt werden. Vgl. zu RUTTNER hat der Blaualgenanteil stark zugenommen.

Monaten Mai und Juni über fünf Wochen hindurch täglich Misch- und Einzelproben eines Zubringers genommen, dessen Einzugsgebiet als charakteristisch für die landwirtschaftliche Nutzung dieses Gebietes gelten kann. Auf Grund einer Übereinkunft mit dem Besitzer des einzigen in diesem Bereich befindlichen Bauerngutes, konnte die jeweils pro Flächeneinheit aufgebrauchte Menge an Düngemitteln bestimmt werden. Die im Abfluß gemessenen Änderungen der Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen ermöglichen Rückschlüsse auf den Einfluß und den zeitlichen Verlauf der landwirtschaftlichen Düngung auf den Stickstoff- und Phosphor- Haushalt des Sees. Es muß dabei berücksichtigt werden, daß nur ein Teil der Stickstoff- und Phosphorfracht durch Oberflächengewässer in den See eingebracht wird, ein anderer Teil gelangt über den Grundwasserstrom in den See. Vorerst werden zur Berechnung der Grundwasser- Nährstoffkonzentrationen Werte von unmittelbar am See entspringenden Quellen verwendet. Auch der Einfluß der forstwirtschaftlichen Nutzung kann anhand eines typischen Beispiels (Eibensee- bach) untersucht werden.

#### 3.4.

Eine umfassende Wasserbilanz des Einzugsgebietes und des Sees wird als Grundlage für das Nährstoffbudget erstellt. Folgende Parameter werden dazu herangezogen: Seeoberfläche, Seevolumen, kontinuierliche Abflußmessungen über das ganze Jahr, Schüttungsmessungen sämtlicher Zubringer, Niederschlagsmessungen und Verdunstung. Aus der Differenz der eingebrachten und ausgetragenen Wasservolumina können Rückschlüsse auf den Grundwasserzufluß getroffen werden.

### 3.5.

Die Primärproduktion wird nach STEEMANN NIELSEN (1952) gemessen.

## 4. Entwicklung des Fuschlsees in den letzten 30 Jahren

Im Jahr 1948 wurde von den Salzburger Stadtwerken mit physikalisch- chemischen, bakteriologischen und biologischen Untersuchungen des Fuschlsees begonnen. Diese Untersuchungen sollten die Eignung des Sees als Trinkwasserreserve für die Stadt Salzburg aufzeigen. Da zu dieser Zeit nur behelfsmäßige Entnahme- und lysenmöglichkeiten gegeben waren, können die in den ersten Jahren gewonnenen Daten nur näherungsweise herangezogen werden. Die in diesen Jahren erstellten Planktonlisten weisen den Fuschlsee als "reinen, oligotrophen Alpensee" aus. Verschmutzungshinweise im biologischen und chemischen Bereich fehlen völlig (KOPETZKY 1949, FREY 1951, KUHN 1954). Im Jahr 1955 wurde von RUTTNER (1956) eine Untersuchung über den Zustand des Pelagials zu vier verschiedenen Terminen durchgeführt. Auch in dieser Untersuchung bestätigte sich der ausgesprochen oligotrophe Charakter des Sees, der zu dieser Zeit weder in seinem Chemismus, Bakteriengehalt noch in der Zusammensetzung und Menge des Planktons Anzeichen einer beginnenden Eutrophierung erkennen läßt.

1966 zeigte sich nach KOPETZKY (1967) gegenüber früheren Untersuchungen eine geringfügige Erhöhung der Nitrat- und Phosphat- Werte im Seewasser. Im Sommer 1966 trat erstmals *Tabellaria fenestrata* auf, die als Zeichen einer gewissen Nährstoffbelastung gilt (SARACENI 1966). Eine Untersuchung von RUTTNER- KOLISKO (1970) zeigt ein massenhaftes Auftreten von *Tabellaria fenestrata* sowie das Neuaufreten einiger anderer Arten, wie

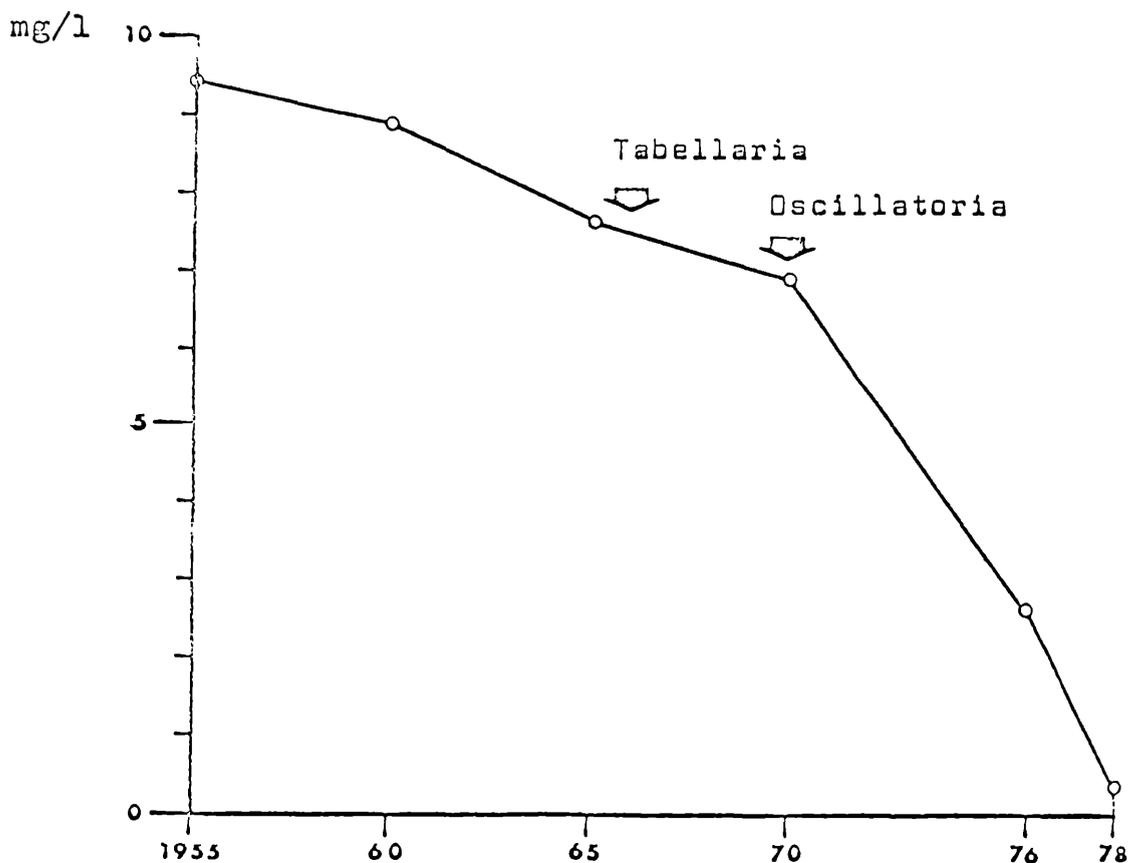


Abbildung 1: Sauerstoffgehalt im Fuschlsee in Bodennähe gegen Ende der Sommerstagnation in mg/l 1955 bis 1978

Oxygen content of Fuschlsee near the bottom at the end of summer- stagnation 1955 - 1978

Daten von RUTTNER (1956) und KOPETZKY sowie HITSCH (unpubliziert, im Auftrag der Salzburger Stadtwerke)

Uroglena volvox, Pseudoanabaena roseola, die auf eine beginnende, wenn auch noch schwache Eutrophierung des Fuschlsees hinweisen. Diese allmählich einsetzende Eutrophierung wirkt sich, wie eine im Sommer 1969 durchgeführte Sedimentbohrung zeigte, im Sediment noch nicht aus.

Im Jahr 1971 (KOPETZKY 1972) hat sich die Gewässergüte des Fuschlsees weiter verschlechtert. Die Stickstoff- und Phosphorwerte nehmen zu und in den biologischen Proben wurde an der Oberfläche *Oscillatoria rubescens* festgestellt. Parallel dazu tritt eine deutliche Abnahme des Sauerstoffs im Hypolimnion am Ende der Sommerstagnation ein (Siehe Abbildung 1). Auf Grund dieser beunruhigenden Entwicklung wurde von den Salzburger Stadtwerken die eheste Sanierung der Abwassereinleitungen gefordert und die Ableitung der Abwässer über eine Seeleitung in die Fuschler Ache vorgeschlagen. Im November 1973 wurde der ReinhaltEVERBAND Fuschlsee- Thalgau gegründet. Im Mai 1977 ging die Seeleitung durch den Fuschlsee und der Verbandssammler bis zur Abwasserreinigungsanlage (ARA) Thalgau in Betrieb. Derzeit wird eine Ringkanalisation am Südufer des Sees verlegt. Aufgabe dieser Untersuchung wird es auch sein, die Auswirkung der Kanalisation auf den Trophiezustand des Sees zu beobachten.

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Wassertemperatur

Der Fuschlsee ist holomiktisch, meist dimiktisch. Die Zirkulationsperioden sind zeitlich von den jeweiligen Witterungsverhältnissen stark abhängig. Im Berichtsjahr 1978 setzt die Herbstzirkulation erst im Dezember voll ein, was auf den verhältnismäßig warmen Herbst dieses Jahres zurückzuführen ist.

Vom Mai bis Dezember 1978 zeigt der Temperaturverlauf in einer ersten Untersuchung (5. Mai) eine - im Vergleich zu anderen Alpenseen - langsame oberflächliche

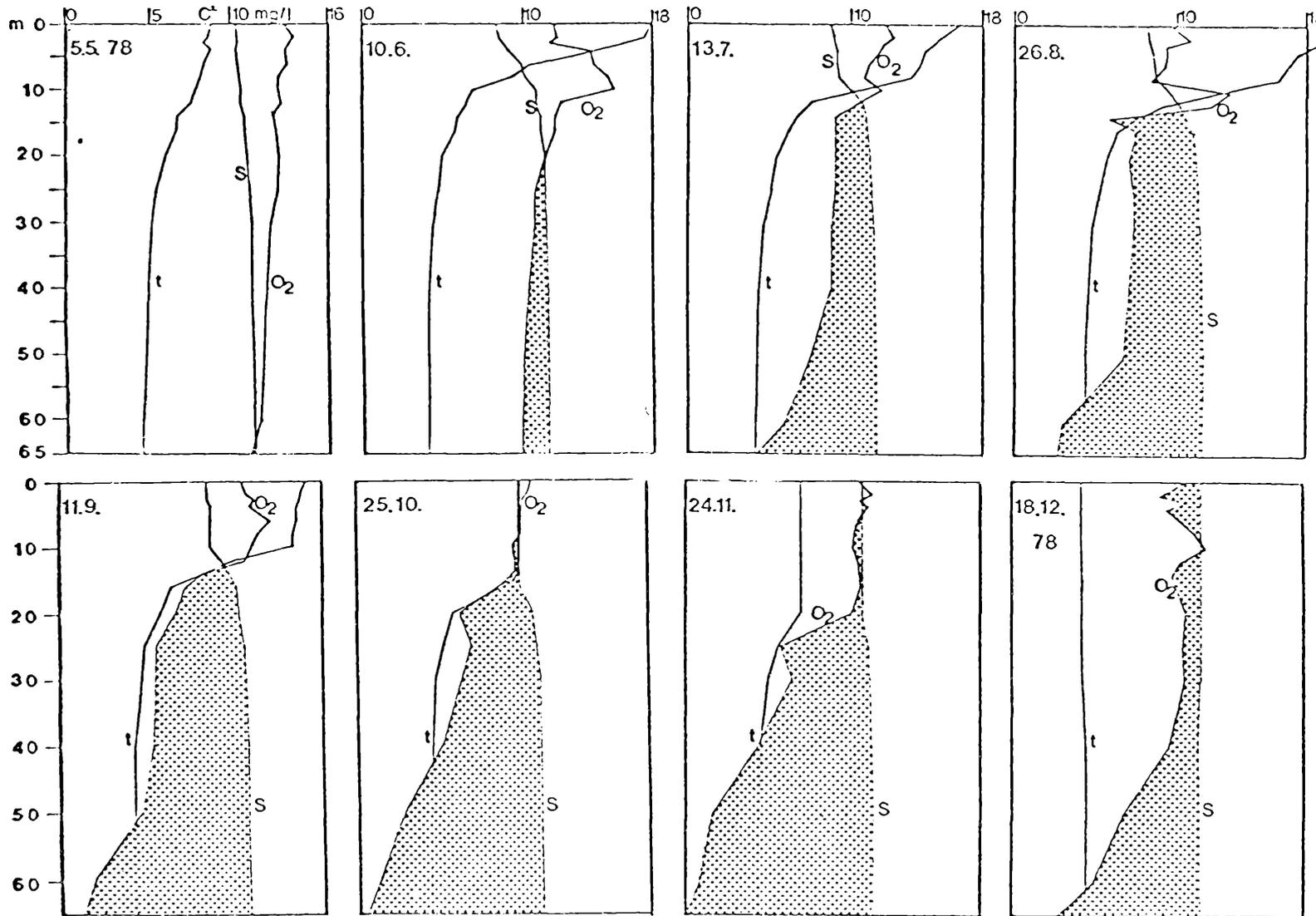


Abbildung 2: Fuschlsee, Temperatur, Sauerstoffsättigung, Sauerstoffgehalt 1978  
 Fuschlsee, Temperature, saturation, oxygen content 1978

Erwärmung (Abbildung 2). Im Juni weist der Temperaturverlauf unter einer dünnen, nur zwei m dicken, warmen Deckschicht ein starkes Temperaturgefälle auf. Die Sprungschicht reicht bis in eine Tiefe von etwa 10 m, der Gradient beträgt  $1,3^{\circ}\text{C}/\text{m}$ .

Im Juli erreichen die wärmeren Schichten des Epilimnions eine Tiefe von 8 m, das Metalimnion reicht bis 12 m. Die Temperatur in 63 m Tiefe zeigt gegenüber der Messung vom 10. Juni eine Zunahme um  $0,2^{\circ}\text{C}$ .

Im August erreicht die Oberflächenschicht mit  $19,1^{\circ}\text{C}$  die maximale gemessene Temperatur. Die Sprungschicht beginnt in etwa 8 m und reicht bis in eine Tiefe von 14 bis 16 m. Im Hypolimnion liegen die Temperaturen bei  $4^{\circ}\text{C}$ .

Im September beginnt der See oberflächlich abzukühlen, die Temperaturschichtung ist noch stark ausgeprägt.

Das homotherme Epilimnion reicht bis 10 m Tiefe.

Im November ist das Epilimnion auf  $7,1^{\circ}\text{C}$  bis in eine Tiefe von 20 m abgekühlt.

Im Dezember liegt die Temperatur bei  $4,3^{\circ}\text{C}$ ; die Temperatur in 40 m Tiefe beträgt noch  $4,5^{\circ}\text{C}$ , was darauf hindeutet, daß die Zirkulation erst bis in diese Tiefe vorgedrungen ist. Die Winterstagnation setzt zwischen November und Dezember ein.

## 5.2. Sauerstoff (Abbildung 2)

Am 5. Mai hat die Frühjahrsvollzirkulation zu einer Auffüllung der Sauerstoffvorräte bis in Bodennähe geführt. Die Mikroschichtung nach ALSTERBERG (1929) ist kaum angedeutet. Der Sauerstoffgehalt zeigt sogar im Hypolimnion eine geringe Übersättigung an. Im Juni setzt mit der beginnenden Sommerstagnation im Hypolimnion eine Sauerstoffzehrung ein, die in 60 m zu einer nur mehr 86 prozentigen Sättigung führt.

Im Metalimnion findet sich zu dieser Zeit ein ausgeprägtes  $O_2$ -Maximum in 10 m Tiefe.

Im Juli setzt sich dieser Prozeß der Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser fort, das metalimnische Maximum ist abgebaut.

Ende August findet sich neuerdings ein metalimnisches  $O_2$ -Maximum in 10 m Tiefe. Die Sauerstoffzehrung im Hypolimnion nimmt nach oben hin zu, der Sauerstoffgehalt in 30 m Tiefe erreicht nur mehr 65 Prozent des Sättigungswertes.

Im September erreicht die Sauerstoffzehrung im Hypolimnion ein zumindest für Edelfische gefährliches Ausmaß. Der Sauerstoffgehalt sinkt in 50 m Tiefe auf 4,6 mg/l ab. In 6 m Tiefe ist ein schwächeres, epilimnische Maximum ausgebildet. Im Oktober nimmt die Sauerstoffzehrung weiter zu und erreicht im November ein Maximum. Der Sauerstoffgehalt sinkt in Bodennähe auf 0 ab, in 50 m Tiefe findet sich ein  $O_2$ -Gehalt von 1,7 mg/l im Westbecken bzw. 2,3 mg/l im Ostbecken. Im Dezember ist nach der Herbstzirkulation eine deutliche Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse zu erkennen. Das Sauerstoffdefizit hat sich verringert, die Durchmischung hat aber noch nicht zu einer vollen Sättigung geführt. (Siehe Abbildung 2). Inwieweit epi- bzw. metalimnische  $O_2$ -Maxima auf die Primärproduktion zurückgeführt werden können, wird Aufgabe weiterer Untersuchungen sein.

### 5.3. Wasserbilanz

Der Zusammenhang zwischen Zufluß (Z), Abfluß (A) und Verdunstung (V) im Bereich eines Sees wird für einen längeren Zeitabschnitt durch die Grundgleichung des Wasserhaushalts  $Z = A + V$  wiedergegeben.

Der Gesamteintrag setzt sich zusammen aus den Niederschlägen, den Zuflüssen der Oberflächengewässer, Quellaustritten und dem Grundwassereinstrom. (Siehe auch HAMM, 1976)

Für die Erstellung der vorläufigen Wasserbilanz des Fuschlsees werden gemessene Werte oder - wo solche Messungen fehlen - langjährige Durchschnittswerte herangezogen. Der Grundwassereinstrom wird aus der Differenz des gemessenen Austrags (Abfluß, Verdunstung) und dem Eintrag (Oberflächengewässer, Niederschlag) abgeschätzt. Abbildung 3 zeigt die Wasserbilanz.

Bei einem Wasservolumen von ca. 100 Mill. m<sup>3</sup> beträgt der Eintrag aus Oberflächengewässern 13,5 Mill. m<sup>3</sup>, die Niederschlagsmengen werden mit 4,3 Mill. m<sup>3</sup> pro Jahr angegeben (Siehe Hydrographisches Jahrbuch, 1974).

Die jährliche Abflußmenge durch die Fuschler Ache beträgt nach dem Schreibpegel der Hydrographischen Abteilung der Salzburger Landesregierung 35,6 Mill. m<sup>3</sup>.

Die Verdunstungsmenge wird nach KASPEROWSKI (1978) und KRESSER (1969 und 1977) mit 0,02 Mill. m<sup>3</sup> eingesetzt.

Damit ergibt sich ein Grundwassereinstrom von ca. 17,8 Mill. m<sup>3</sup>, was einen Anteil von etwa 50 Prozent ausmacht.

Aus der vorliegenden Wasserbilanz ergibt sich für den Fuschlsee eine theoretische Erneuerungszeit von etwa 2,6 Jahren.

#### 5.4. Phosphorbilanz

Zur Erstellung der vorläufigen Phosphorbilanz werden folgende Faktoren berücksichtigt:

Der Gesamteintrag an Phosphor (Jahresphosphorfracht der Oberflächengewässer, der Niederschläge, Vögel und des Grundwassers), der Austrag durch die Fuschler Ache sowie der durchschnittliche P- Gehalt des Sees.

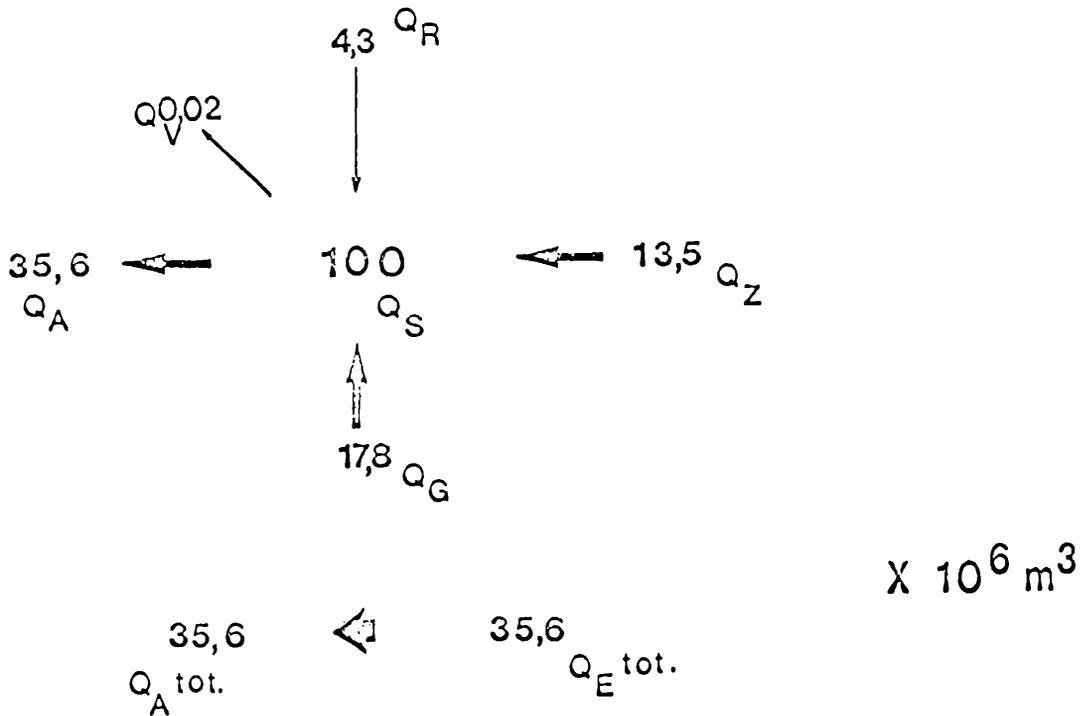


Abbildung 3: Vorläufige Wasserbilanz für den Fuschlsee 1978

Hydraulic inflow and outflow of Fuschlsee 1978

- $Q_R$  = Niederschlag pro Jahr
- $Q_V$  = Verdunstung
- $Q_Z$  = Oberflächenzubringer
- $Q_S$  = Wasservolumen See
- $Q_A$  = Abfluß
- $Q_G$  = Grundwasser
- $Q_{A\text{tot}}$  = Gesamtabfluß
- $Q_{E\text{tot}}$  = Gesamteintrag

Der Phosphor ist atomar berechnet und angegeben.  
 In Abbildung 4 werden die einzelnen Parameter dieser  
 vorläufigen Phosphorbilanz für 1978 dargestellt,  
 wobei von 8 Monaten auf das Jahr umgerechnet wird.

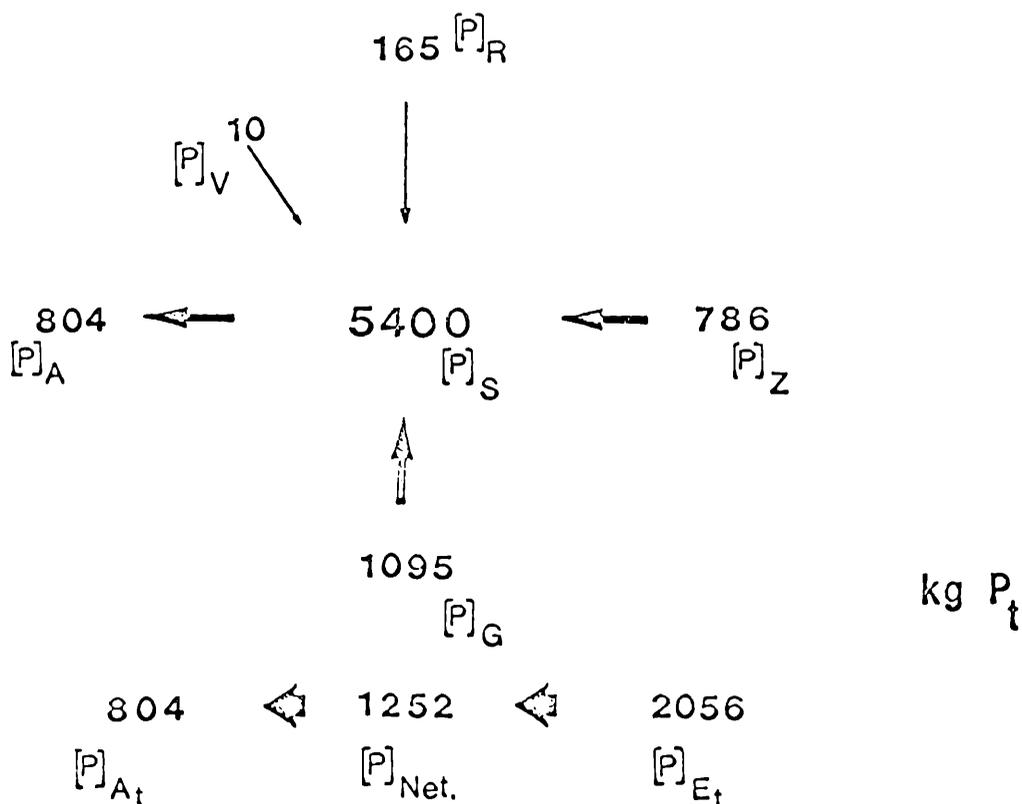


Abbildung 4: Vorläufige Phosphorbilanz für den Fuschlsee 1978

Phosphorus input and output of Fuschlsee 1978

- $P_R$  = Eintrag durch Niederschlag
- $P_V$  = Eintrag durch Wasservögel
- $P_Z$  = Eintrag durch Oberflächenzubringer
- $P_G$  = Eintrag durch das Grundwasser
- $P_A$  = Austrag durch die Fuschler Ache
- $P_{Atot}$  = Gesamtaustrag
- $P_{Etot}$  = Gesamteintrag
- $P_{net}$  = Nettoeintrag

Durch Oberflächengewässer gelangen im Berichtsjahr 1978 786 kg Phosphor in den See, durch Niederschläge 165 kg. Der Eintrag durch Wasservögel wird mit 10 kg angesetzt (Siehe Kapitel MÜLLER, Phosphorbilanz in der Seenkette Fuschlsee - Mondsee - Attersee).

T/m	MAI	JUNI	JULI	AUG.	SEPT.	OKT.	NOV.	DEZ.
0	65	35	30	33	67	90	89	54
2	30	20	38	28	75	90	40	57
3	22	37	30	62	60	107	44	46
4	23	20	30	30	66	86	11	57
6	32	21	26	48	82	104	98	39
8	24	29	34	49	62	78	38	52
10	19	38	56	73	72	85	55	75
12	30	178	59	64	56	106	74	53
14	24	23	60	63	67	72	45	51
16	17	22	89	53	55	85	26	52
20	28	18	34	62	82	88	36	44
25	5	38	30	40	70	102	71	18
30	35	29	39	24	92	110	47	21
40	12	43	42	18	39	73	33	40
50	33	38	45	41	74	97	45	48
60	32	38	51	52	58	349	97	82
65	34	36	53	56	59	352	96	83

Tabelle 1: Totalphosphorkonzentrationen ( $\text{mg/m}^3$ )  
im Westbecken des Fuschlsees 1978  
Total- phosphorus concentration ( $\text{mg/m}^3$ )

Auf Grund der durch starke Algenschichtungen hervorgerufenen, lokal sehr starken Konzentrationsschwankungen wird beim Fuschlsees auf eine Darstellung der Werte in Isoplethen verzichtet.

Die Phosphorkonzentration des Grundwassers kann vorerst nur nach Messungen der Konzentration von drei, unmittelbar am See entspringenden Karstquellen angenommen werden. Der Eintrag durch das Grundwasser wird mit 1095 kg eingesetzt.

Daraus ergibt sich ein Gesamteintrag von 2056 kg Phosphor in den Fuschlsee im Jahr 1978. Der Gesamtaustrag beträgt 804 kg. Der Nettoeintrag beträgt 1252 kg Phosphor im Jahr 1978.

Für den Wasserkörper ergibt sich - aus den monatlich gemessenen und gemittelten Phosphorkonzentrationen - für den Beobachtungszeitraum von Mai bis Dezember ein durchschnittlicher Gehalt von 5400 kg.

Siehe auch die Tabelle 1.

## 6. Zusammenfassung

Die im Fuschlsee gemessenen Konzentrationswerte von 54 mg Totalphosphor/m<sup>3</sup> (gemittelt) und 587 mg Totalstickstoff/m<sup>3</sup> (gemittelt) weisen den Fuschlsee nach VOLLENWEIDER (Siehe Kapitel G. MÜLLER, Phosphorbilanz in der Seenkette Fuschlsee - Mondsee - Attersee) als meso- bis eutrophen See aus. Die kritische Belastung (VOLLENWEIDER 1976) von 1000 kg wird mit (vorläufig) 1252 kg deutlich überschritten. Die Untersuchungen, bs. über den Zusammenhang Primärproduktion - Nährstoffe, sollen 1979 weitergeführt werden.

## 7. Literatur

ALSTERBERG G., 1929, Die thermischen und chemischen Ausgleiche in den Seen zwischen Boden- und Wasserkontakt sowie ihre biologische Bedeutung, Int. Rev. ges. Hydrobiol. 24, 290 - 327

- FREY R., 1951, Das Fuschlsees- Projekt, Die zukünftige Seewasserversorgung Salzburgs, Amtsblatt der Landeshauptstadt Salzburg, 2. Jg. Nr. 36, 8. Sept. 1951
- FREY R., 1954, Die Fuschlsees- Trinkwasserleitung, In: Gas, Wasser, Wärme, Zeitschrift der Österr. Ver. Gas- und Wasserfach, 8., 9/10
- HAMM A., 1976, Untersuchungen zur Nährstoffbilanz am Tegernsee und Schliersee nach der Abwasserfernhaltung - zugleich ein Beitrag über die diffusen Nährstoffquellen im Einzugsgebiet bayerischer Alpen- und Voralpenseen, Wasser und Abwasser 9. Jg., 4
- HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO, 1977, Hydrographisches Jahrbuch 1974, 82. Band
- KASPEROWSKI E., 1978, Aspekte der Wasserwirtschaft im Bereich einer Umweltschutzrahmenplanung, Gesundheitswesen und Umweltschutz, Revue des Österr. Bundesinstituts für Gesundheitswesen 2, 1978, 134 - 141
- KOPECKY J., 1967, Kurzfassung der Untersuchungsergebnisse aus dem Fuschlsees vom Jahr 1966, unveröffentl. Mitt. i. A. der Salzburger Stadtwerke
- KOPECKY J., 1971, Zunehmende Eutrophierung des Fuschlsees und Jahresübersicht 1970, unveröffentl. Mitt. i. A. der Salzburger Stadtwerke
- KOPECKY J., 1972, Die zunehmende Eutrophierung des Fuschlsees von 1961 bis 1971, unveröffentl. Mitt. i. A. der Salzburger Stadtwerke
- KRESSER W., 1969, Wasser und Gewässerschutz, Verlag für Geschichte und Politik, Wien, 81, 3 - 32
- KRESSER W., 1977, Wasserbilanz und Umweltschutz, Umwelt 14
- KUHN H., 1954, Das Netzplankton des nährstoffarmen Fuschlsees im Vergleich zum Plankton des nährstoffreichen Zürichsees, Mikrokosmos 42, 8
- RUTTNER F., 1956, Gutachten über den gegenwärtigen Zustand des Pelagials im Fuschlsees, Biol. Station Lunz
- RUTTNER- KOLISKO A., 1970, Nachtragsgutachten über den limnologischen Zustand des Fuschlsees im Jahre 1969 Biol. Station Lunz
- SARACENI C., 1966, Il Fabbisogno in Fosforo o Ferro nella Coltura di tre Specie di Diatomee Planctoniche del Lago Maggiore (Tabellaria fenestrata Kützing, Fragilaria crotonensis Kitton, Asterionella formosa Hassall) Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 20, 117 - 132
- STEEMANN NIELSEN E., 1952, The use of radioactive carbon for measuring organic production in the sea, J. Cons. Int. Explor. Mer. 18, 117 - 140
- VOLLENWEIDER R., 1976, Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication, Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 33, 53 - 83

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Arbeiten aus dem Labor Weyregg](#)

Jahr/Year: 1979

Band/Volume: [3\\_1979](#)

Autor(en)/Author(s): Haslauer Johann jr.

Artikel/Article: [CHEMISCHE UNTERSUCHUNG DES FUSCHLSEES IM JAHR 1978  
UND NÄHRSTOFF - FRACHTBERECHNUNGEN 53-67](#)