

EXPORTKoeffizienten als Basis einer Nährstoffbilanz
Ein Vergleich zwischen "berechneten" und "gemessenen"
Phosphorbudgets

Export coefficients as a tool for nutrient budgeting

O. MOOG & G. SCHINDLBAUER

1. Abstracts:

The results of measured (field data) and calculated (export coefficients) phosphorus loadings within the Mondsee- and Attersee catchments are compared as follows.

The export coefficients from watersheds with similar natural, cultural, and economic structure, found in the literature, have been applied:

| | | |
|---|-------------------------|---------------------------------------|
| human output per day | 3 g | total phosphorus |
| phosphorus export of various types of land use: | | |
| forests | 1 kg P _{total} | km ⁻² · year ⁻¹ |
| pasture | 30 kg | " |
| arable land | 70 kg | " |
| urban runoff | 100 kg | " |

The term human output includes trade without wastewater output, service professions, and butchers almost as integral of inputs due to human activity independent of distance and way of transport to the receiving water body.

It could be shown that these coefficients lead to

sufficiently agreeing phosphorus loading estimates in comparison to the measured results.

The unknown parameters like phosphorus retention of Irrsee, like nutrient exports of unaffected and also drained wetlands, as well as the unknown P-elimination of the tertiary sewage treatment plants, affected the accuracy of the calculated results.

The coincidence of measured and calculated phosphorus exports is used to explain changed loading behaviour of Nußdorferbach and to assess the purification effect of the sewage treatments. The application of export coefficients for future investigations, decision making and calculations of diverse scenarios has been suggested.

The calculated phosphorus exports made it possible to have an opinion about the single share of the different nutrient sources on the total load (see the following table).

Phosphorus export (in %) of the different nutrient sources:
Attersee- and Mondsee region 1981; total load and total load minus sewage removal

| | Attersee | | Mondsee | |
|----------------------------------|----------|----|---------|----|
| inhabitants | 62 | 49 | 73 | 67 |
| overnight stays | 14 | 12 | 9 | 7 |
| weekend-houses | 3 | 2 | 3 | 2 |
| bathing | 1 | 1 | 1 | 1 |
| industry | 1 | - | 1 | - |
| urban runoff | 2 | 3 | 2 | 3 |
| agriculture | 8 | 16 | 10 | 17 |
| precipitation on lake surface | 9 | 17 | 2 | 3 |

In comparison with other catchment areas it is interesting to state that agriculture has only a share of 8 and 10 percent of the total P_t -input, that the nutrient input from tourism does not exceed 14 %, and that the permanent inhabitants are the most important nutrient source within the Ager catchment.

2. Einleitung:

Die fortschreitende Eutrophierung vieler Seen industrialisierter Länder und die Notwendigkeit kontrollierter Reinhaltungsmaßnahmen führten Ende der 60er Jahre zur Erarbeitung des "Loading"-Konzeptes durch VOLLENWEIDER und fast weltweit zu einer Zunahme limnologischer Untersuchungen an stehenden Gewässern.

Eine Vielzahl von Publikationen über Nährstoffausträge aus Seeneinzugsgebieten sowie Kompilationen dieser Arbeiten (vgl. RECKHOW et al. 1980, HAMM a+b (1976), Kärntner Inst. für Seenforschung b 1980) zielten auf die Schätzung des Nährstoffaustrages aus nicht untersuchten Einzugsgebieten und damit auf weitere Aspekte der Wechselwirkungen zwischen Umland und See.

Vorliegende Arbeit stellt theoretische (berechnete) Frachtraten den tatsächlich in den ubringern gefundenen (gemessenen) Phosphormengen gegenüber.

Dadurch ist eine Kontrolle unterschiedlicher methodischer Ansätze zur Ermittlung von Phosphoreinträgen ermöglicht. Die den Berechnungen zugrunde liegenden Daten stammen zum überwiegenden Teil aus dem Jahr 1981, die Angaben über Kanalanschlüsse wurden auf den gegenwärtigen Stand (1982) gebracht.

Aus der Gegenüberstellung von aktueller und potentieller Phosphorbelastung wird die Effektivität der Reinhaltungsmaßnahmen ersichtlich.

3. Resultate der gemessenen Phosphorausträge des Einzugsgebietes:

Im Rahmen des ÖEP werden in monatlichen Abständen sowie zu Perioden extremer Wasserführung Proben im Mündungsbereich von 14 ubringern des Attersees und drei Zuflüssen des Mondsees entnommen. Dadurch werden 89,7 % des gesamten, beziehungsweise 67,5 % des engen Attersee-Einzugsgebietes und 77,3 % des Mondsee-Einzugsgebietes erfaßt.

Die Bestimmung der Wasserbilanz und Methodik der Frachtberechnungen sind in MOOG (1980^a, 1981) beschrieben, die Rohdaten sind in Tabellenform (Tab. 1-3) dargestellt. Zum Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Nährstoffexporten scheint es wichtig, darauf hinzuweisen, daß bei den Berechnungen zwischen Punktquellen (häusliche, gewerbliche und industrielle Abwässer) und diffusem Eintrag unterschieden wurde, während die Messungen vor den Einmündungen der Attersee- und Mondseezubringer die Summe sämtlicher Teilbelastungen punktförmig erfassen.

3.1. Phosphorbilanz Attersee

Die Ergebnisse der Untersuchungsperiode 1978-1981 ergaben an keinem der beobachteten Attersee-Zuflüsse eine Korrelation von Phosphorkonzentration und Abfluß. Aus diesem Grund ist die Anwendung des arithmetischen Mittels der Totalphosphorkonzentration zur Frachtberechnung statistisch gerechtfertigt (Fracht = Jahresabfluß x Jahresmittel der P - Konzentration).

Die Wasserfrachten der Attersee-Zubringer wurden durch Auswertung von Pegeldaten (mehrere Ablesungen pro Tag) beziehungsweise durch Computersimulation (Rain-Runoff-Model; Publikation in Vorb. von Dr. K. FEDPA, IIASA, Laxenburg) ermittelt.

Zur Beschreibung der Genauigkeit der Computersimulation sei vorweggenommen, daß die Schätzwerte für die Jahresschüttung der Ager im Bereich von $\pm 5\%$ der vom Hydrographischen Dienst ÖÖ. beobachteten Wassermenge liegen.

Der Phosphoreintrag aus dem übrigen, nicht gemessenen oder nicht durch ständig wasserführende Bäche entwässerten Einzugsgebiet wurde unter Annahme eines Phosphoraustrages wie in den untersuchten Einzugsgebieten prozentmäßig aufgerechnet (vgl. Tab. 2).

Tabelle 1: Grundlagendaten zur Frachtberechnung
Data set for loading calculations

| Zufluß inflow | Jahresmittel P-Konz. annual mean P _t -conc. (mg/m ³) | Jahresabfluß discharge.y ⁻¹ (10 ⁶ m ³) | Fracht 1981 load 1981 (kg P-Total) |
|------------------|---|--|--|
| Weyreggerbach | 34,6 | 32,05 | 1109 |
| Alexenauerbach | 69,7 | 6,26 | 436 |
| Kienbach | 30,2 | 15,82 | 478 |
| Steinbach | 132,8 | 5,18 | 688 |
| Weissenbach | 4,5 | 99,60 | 448 |
| Loidlbach | 3,2 | 11,79 | 38 |
| Burggrabenbach | 7,3 | 17,96 | 131 |
| Mondseeache | 21,6 | 402,48 | 8694 |
| Stockwinkelb. | 20,6 | 3,64 | 75 |
| Parschallenb. | 121,0 | 4,33 | 524 |
| Dexelbach | 11,4 | 7,42 | 85 |
| Nußdorferbach | 37,2 | 4,01 | 149 |
| Mühlbach | 41,0 | 8,32 | 341 |
| Hainingerbach | 76,5 | 2,59 | 198 |
| Residual area | | | 2262 |

Tabelle 2: Berechnung des Eintrages der Restfläche
Calculation of residual area loading

%-Anteil der Restfläche am engen EZG 32,5 %
 residual area in % of direct Attersee catchment
 (direct Attersee catchment: drainage area with
 exclusion of Mondsee catchment area)

Fracht aus gemessenem EZG (P-Total) 4698 kg

load from measured catchment (Totalphosphorus)

Berechneter Eintrag aus Restfläche 2262 kg
 calculated load from residual area

Zusammen mit dem gemessenen Eintrag durch Niederschlag auf die Seeoberfläche von 1468 kg ergibt sich für 1981 ein Gesamteintrag aus dem engen Attersee-Einzugsgebiet von:

| | |
|---|-----------------|
| Fracht aus gemessenen Einzugsgebieten | 4698 kg P-Total |
| Fracht aus nicht gemessenen EG | 2262 -"- |
| Fracht durch Niederschlag auf Seeoberfl. | 1468 |
| (load by wet precipitation on lake surf.) | |
| | 8428 kg P-Total |
| | ===== |

3.2. Phosphorbilanz Mondsee

63,1 % des Mondsee-Einzugsgebietes werden durch Pegelinrichtungen des öö. Hydrographischen Dienstes an Fuschler Ache und Zeller Ache hydrographisch erfaßt. Unter Annahme eines proportionalen Jahresabflusses von Zeller Ache und Wangauer Ache wurde die Schüttung der Wangauer Ache aus der Größe des Einzugsgebietes berechnet. Die Entnahme von Wasserproben an Fuschler Ache, Zeller Ache und Wangauer Ache erlaubt die Abschätzung des Phosphoraustrages von 77,3 % des Mondsee-Einzugsgebietes. Die Frachtberechnungen werden in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Frachtberechnungen - Mondsee-Einzugsgebiet 1981
loading calculations - Mondsee catchment area 1981

Wangauer Ache:

| | |
|------------------------------|---------------------------------|
| berechnete Jahresschüttung: | $55,34 \times 10^6 \text{ m}^3$ |
| (annual discharge) | |
| arithm. Mittel P-Total-Konz. | $42,69 \text{ mg/m}^3$ |
| (arithm. mean P-total-conc.) | |
| Phosphorfracht | 2362 kg P-total |
| (load) | |

Zeller Ache:

| | |
|--|---|
| Wasserfracht: Monate mit Sommerhochwasser (discharge: month with summer-floods) | $6,67 \times 10^6 \text{ m}^3$ |
| arithm. Mittel: P-total Monate mit SommerHW Fracht Juni, Juli (load june, july) | $153,67 \text{ mg/m}^3$ <u>1025 kg P-total</u> |
| Wasserfracht: restliches Jahr (discharge: residual time) | $53,37 \times 10^6 \text{ m}^3$ |
| arithm. Mittel: P-total Restjahr (arithm. mean: P-total residual year) | $40,5 \text{ mg/m}^3$ |
| Fracht Restjahr (load residual year) | <u>2162 kg P-total</u> |
| Fracht 1981 (load 1981) | <u>3187 kg P-total</u> |

Fuschler Ache:

Wie bereits bei MOOG (1980^b, 1981) ausgeführt, wird die Phosphorfracht der Fuschler Ache sehr deutlich von Hochwässern beeinflußt. Aus diesem Grund sind im folgenden erste Hochwassertage sowie zwei kleinere Hochwässer gesamt extra berechnet. Insgesamt wurden an den beiden Mündungen der Fuschler Ache 35 Proben entnommen (JAGSCH & BRUSCHEK 1982).

| | P _t -Konz. mg/m ³ (mean) | Schüttung discharge 10^6 m^3 | P _t -Fracht P _t -load kg |
|--|--|--|--|
| 1. Hochwassertage (1.days of floods) | 188,0 | 30,437 | 5722 |
| Hochwasser extra 1 (flood extra 1) ⁺ | 138,0 | 0,379 | 52 |
| Hochwasser extra 2 (flood extra 2) ⁺ | 134,0 | 1,274 | 171 |
| Restliche Tage (residual days) | 23,8 | 154,77 | <u>3684</u> |
| | | | <u>9629 kg P_t</u> |

⁺) separate measured flood events

Der Phosphoraustrag aus den restlichen Gebieten, sowie den nicht ständig entwässerten Flächen (21,86 % des gesamten Einzugsgebietes) wurde, wie am Attersee, flächenanteilmäßig mit 3318 kg Totalphosphor berechnet.

Die Totalphosphoreinträge in den Mondsee gliedern sich wie folgt:

| | | |
|--|-------|------------|
| Wangauer Ache | 2362 | kg P-total |
| Zeller Ache | 3187 | " |
| Fuschler Ache | 9629 | " |
| Restgebiet (residual area) | 3318 | " |
| Regen auf Seeoberfläche (wet prec. on lake surface) | 560 | " |
| | 19056 | kg P-total |
| | ===== | |

4. Berechnete Phosphorausträge:

4.1. Phosphorbelaistung Attersee

4.1.1. Abwasser aus kommunalem Bereich

- 9213 ständige Einwohner ergeben eine Phosphorbelaistung von 10088 kg pro Jahr, rechnet man mit 3 g P_t pro Tag. Der Wert von 3 g P_t pro Person und Tag wurde empirisch unter anderem von GÄCHTER & FURRER (1972), HAMM (1976 a+b) und Kärntner Inst. für Seenforschung (1980) für ähnlich strukturierte Natur- und Kulturräume ermittelt. Nach unserer Auffassung stellt dieser Wert eine integrierende Größe dar, welche Entfernung und Transportart zum Vorfluter, sowie Einrichtungen des Dienstleistungssektors, Gewerbebetriebe ohne Abwasseranfall und Fleischereibetriebe inkludiert.

Von den 10088 kg P_t im Jahr 1981 werden 5918 kg kanalisationstechnisch erfaßt (=Abwasser von 5405 ange-

schlossenen Personen der ständigen Wohnbevölkerung). Somit bleibt eine Restbelastung aus ständiger Wohnbevölkerung von $4170 \text{ kg P}_t \cdot \text{a}^{-1}$.

- die Saisonbelastung von 781000 Übernachtungen im Einzugsgebiet ergibt einen Eintrag von 2343 kg P_t pro Jahr, rechnet man pro Übernachtung ebenfalls mit 3 g je Tag. Davon werden 1344 kg durch die Ringkanalisation erfaßt (=448000 Übernachtungen), was zu einer Restbelastung von $999 \text{ kg P}_t \cdot \text{a}^{-1}$ führt.
- etwa 5000 Personen mit Zweitwohnsitz im Untersuchungsgebiet geben eine Phosphormenge von $450 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$, unter der Annahme, daß diese 30 Tage pro Jahr im Attersee-Raum verbringen, ab. Davon werden 270 kg entsorgt. Die Restbelastung beträgt somit $180 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$.

Die Gegenüberstellung von $12881 \text{ kg P} \cdot \text{a}^{-1}$ potentieller Belastung und 5349 kg tatsächlicher Belastung zeigt, daß die Ringkanalisation im kommunalen Bereich eine Reduktion der Phosphorbelastung um $7532 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ oder 58 % im engen Attersee-Einzugsgebiet bewirkt (Rohdaten dazu in SCHINDLBAUER 1982).

4.1.2. Abwasser aus Industriebetrieben

Die jährliche Phosphorabgabe einer Gerberei mit einer Tagesproduktion bzw. Verarbeitung von etwa 700 kg Häuten beträgt bei einem durchschnittlichen Wasserverbrauch von $40 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ und einem P_t -Gehalt von 10 mg pro Liter Abwasser 146 kg im Jahr 1981.

Diese Abwasser werden zur Gänze kanalisationsmäßig erfaßt, und, wie Teile des kommunalen Abwassers, aus dem Einzugsgebiet entfernt und zentral in Lenzig geklärt.

4.1.3. Nährstoffausträge aus land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen

Aus 2546 ha Grünlandflächen (zumeist 2-3 mähdige Wiesen), 647 ha Ackerflächen (davon 66 % Betreide, 13 % Mais und 21 % Hack- und Feldfrüchte) und 12905 ha Wald und Ödlandflächen werden jährlich 1346 kg Totalphosphor ausgetragen. Tabelle 4 gibt Aufschluß über den gebietaspezifischen Phosphoraustausch der untersuchten Einzugsgebiete.

Tabelle 4: Nährstoffausträge aus land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen ($\text{kg P}_{\text{t}} \cdot \text{a}^{-1}$)

P_{t} -export from silvi- & agricultural areas ($\text{kg P}_{\text{t}} \cdot \text{a}^{-1}$)

| Catchment | Ackerland (pasture) | Grünland (grassland) | Wald (forests) | Ödland (wasteland) |
|-----------------|------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|
| Hainingerbach | 35 | 17,0 | 0,5 | - |
| Foithgraben | 38 | 21,6 | 0,76 | - |
| Mühlbach | 178 | 47,1 | 1,29 | - |
| Ackerlingbach | 128 | 30,6 | 2,25 | - |
| Näßtalbach | 32 | 7,5 | 1,39 | - |
| Dexelbach | 14 | 36,0 | 3,40 | - |
| Perschallenbach | 6 | 40,8 | 0,85 | - |
| Urfängbach | - | 19,5 | 1,75 | - |
| Burggrabenbach | | 24,0 | 5,20 | 1,90 |
| Loidlbach | - | 8,1 | 4,16 | 0,97 |
| Weißbach | - | 9,0 | 19,10 | 11,00 |
| Steinbach | - | 21,6 | 1,64 | 0,44 |
| Kienbach | - | 39,0 | 10,40 | 1,3 |
| Alexenauerbach | 3 | 15,0 | 3,36 | - |
| Weyreggerbach | 21 | 195,0 | 19,20 | - |
| Residual Area | - | 232,0 | 36,90 | 1 50 |
| Summe (sum) | 453 | 764 | 112 | 17 |

Der Nährstoff-Austausch aus land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen änderte sich in den letzten Jahrzehnten. Die Gründe dafür liegen in der Umwidmung ehemaliger Ackerflächen in Dauergrünland - zwischen 1949 und 1979 verringerten sich die Ackerflächen um etwa 500 Hektar - sowie in der Aufforstung von Grenzertragsböden im Ausmaß von 250 Hektar.

Der Phosphoraustrag aus den Löden hat sich demnach im Einzugsgebiet des Attersees in den letzten 30 Jahren um etwa 270 kg.a^{-1} vermindert. Der vermehrte Düngereinsatz dürfte diese Austragsreduktion aber kompensieren.

Zur Berechnung der landwirtschaftlichen Phosphorausträge in Tab. 4 wurden aus der Literatur (SÄCHTER & FUHRER 1972, HAMM 1976 a+b, RECKHOW et al. 1980, Kärntner Inst. für Seenforschung 1980) folgende spezifische P_t -Abgaben angenommen:

| | | | |
|---------------|---------|--------|--------------|
| Grünland: 0,3 | kg/ha/a | ergibt | 764 kg P_t |
|---------------|---------|--------|--------------|

| | | | |
|----------------|---|---|--------------|
| Ackerland: 0,7 | " | " | 453 kg P_t |
|----------------|---|---|--------------|

| | | | |
|----------|------|---|--------------|
| Wald und | 0,01 | " | 127 kg P_t |
|----------|------|---|--------------|

Ödland

Versiegelte Fläche:

| | | | |
|-----|---|---|--------------|
| 1,0 | " | " | 241 kg P_t |
|-----|---|---|--------------|

| |
|---------------|
| 1585 kg P_t |
|---------------|

Das Ausmaß an versiegelter Fläche (Gebäude, Straßen, etc.) wurde mit 1,5 % des engen Einzugsgebiets angenommen. Der prozentuelle Anteil dieser Fläche ist im Atterseegebiet geringer als am Mondsee, da die größten Orte (Seewalchen, Kammer, Schörfling) am Seeufer liegen und überdies durch Mischkanalisation entsorgt werden. Weiters wurden Orte mit Regenkärbecken berücksichtigt. Um den entgültigen Gebietsaustrag zu erhalten, müssen 1,5 % (versiegelte Fläche) von Austrägen durch Grün-, Acker- und Ödland sowie Wald (= 20 kg) abgezogen werden, da die versiegelte Fläche für das Gesamtgebiet geschätzt und nicht extra berechnet wurde. Daraus ergibt sich ein P_t -Austrag von 1565 kg P_t .

====

4.1.4. Eintrag durch Niederschläge auf die Seeoberfläche

Messungen ergaben einen Phosphorgehalt von 22 mg/m^3 flüssigen atmosphärischen Niederschlags. Dies ergibt bei einer Seeoberfläche von $45,9 \text{ km}^2$ und einer mittleren jährlichen Nieder-

schlagshöhe von 1454 mm (Regenmesser Weyregg, Attersee, Weissenbach) eine P_t -Zufuhr von 1468 kg im Jahr 1981.

4.1.5. Phosphoreintrag durch Badebetrieb

Nach SCHULZ (1981 a+b) macht der Phosphoreintrag durch den Badebetrieb bei etwa 1 Million Badegästen pro Saison à 0,1 g P_t pro Badegast 100 kg am Attersee aus und stellt demnach eine, für Seen dieser Größenordnung, vernachlässigende Größe dar.

4.1.6. Gesamtbelastung des Attersees mit Ausnahme des Mondsee-Einzugsgebietes

Für den Attersee errechnet sich eine aktuelle Belastung (=tatsächliche Belastung minus Anschlüsse an die Ringkanalisation) aus dem engen Einzugsgebiet von 8482 kg Totalphosphor, die sich wie folgt zusammensetzt:

| | |
|--|-----------------|
| Abwasser kommunaler Bereich | 5349 kg |
| Badegäste | 100 kg |
| Austrag aus land- und forstwirtschaftlichen und versiegelten Fl. | 1565 kg |
| Niederschlag auf die Seeoberfläche | 1468 kg |
| | 8482 kg P-total |

4.2. Phosphorbelastung Mondsee

Während für das Einzugsgebiet des Attersees die häusliche Belastung für das Gesamtgebiet berechnet wurde, finden am Mondsee die Austräge aus den drei wichtigsten Einzugsgebieten Berücksichtigung.

4.2.1. Abwasser aus kommunalem Bereich

Tabelle 5 gibt die Zusammenstellung des Totalphosphoreintrages von ständigen Einwohnern und der Saisonbelastung ohne Berück-

sichtigung kanalisationstechnischer Maßnahmen an.

Tabelle 5: Phosphorus output by inhabitants and overnight stays without consideration of wastewater removal

| Catchments & villages | Einwohner inhabitants | % davon im Einzugsgeb. | Übernachtungen in catchm. overnight stays | Phosphorabgabe in kg P _t /Jahr P _t (kg/year) |
|-----------------------|-----------------------|------------------------------|---|--|
| Fuschler Ache | | % in catchm. overnight stays | | |
| Fuschl | 1109 | 30 + | 283418 | 619 |
| Hof | 2000 | 100 | 84795 | 2444 |
| Eugendorf | 20 | 100 | - | 22 |
| Koppl | 863 | 100 | 23000 | 1014 |
| Plainfeld | 660 | 100 | 1542 | 727 |
| Thalgau | 4009 | 100 | 49350 | 4538 |
| Tiefgraben | 2292 | 75 | 132564 | 2181 |
| St. Lorenz | 1588 | 80 | 142009 | <u>1732</u> <u>13277</u> |
| Zeller Ache | | | | |
| Mondsee | 2140 | 20 | 147507 | 557 |
| Tiefgraben | 2292 | 25 | 132564 | 727 |
| Oberhofen | 440 | 40 ++ | 22000 | 219 |
| Zell/Moos | 613 | 40 ++ | 32000 | <u>309</u> <u>1810</u> |
| Wangauer Ache | | | | |
| Innerschwand | 811 | 30 | 59922 | 320 |
| Oberwang | 1227 | 100 | 30000 | <u>1433</u> <u>1753</u> |
| Residual Area | | | | |
| Unterach | 285 | 100 | 35661 | 419 |
| St. Gilgen | 132 | 100 | 547 | 146 |
| Innerschwand | 811 | 70 | 59922 | 748 |
| Mondsee | 2140 | 80 | 147507 | 2229 |
| St. Lorenz | 1588 | 20 | 142009 | <u>433</u> <u>3975</u> |

*Retention Fuschlseee **Retention Zeller See (=Irrsee)

Berücksichtigt man die P-Retentionswirkung von Fuschlseee (70 % Rückhalt) und Zeller See (60 % Rückhalt), ergäbe sich eine Belastung von 20 815 kg Totalphosphor durch den kommunalen Bereich. Die tatsächliche Belastung ermittelt sich durch Abzug der von den Abwasserreinigungsanlagen (ARA) Thalgau und Mondsee erfaßten Abwässer unter Annahme einer 80 %-igen Phosphorelimination.

Die von den Kläranlagen entsorgte Menge ist in Tab. 6 aufgegliedert.

Tabelle 6: Inhabitants and overnight stays - phosphorus removal by central wastewater treatment

| Catchments & villages | Einwohner angeschlossen | % davon im Einzugsgeb. | Übernachtungen angeschlossen | entsorgte Phosphormenge |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| | Inhabitants connected | % in catchm. | overnight stays connected | reduction of P_t -input |
| Fuschler Ache | | | | |
| Tiefgraben | 290 | 75 | 20000 | 283 |
| St. Lorenz | 230 | 100 | 28000 | 336 |
| Thalgau | 2500 | 100 | 39500 | 2856 |
| Hof | 1544 | 100 | 76183 | 1919 |
| Plainfeld | 220 | 100 | 800 | 243 |
| Koppl | 449 | 100 | 11000 | 525 |
| Fuschl | 1000 | 100 | 237500 | <u>1808</u> |
| | | | | 7970 |
| Zeller Ache | | | | |
| Mondsee | 1750 | 20 | 132000 | 462 |
| Oberhofen | - | - | - | - |
| Zell/Moos | - | - | - | - |
| Tiefgraben | 290 | 25 | 20000 | <u>94</u> |
| | | | | 556 |
| Wangauer Ache | | | | |
| Innerschwand | 140 | 30 | 12000 | 57 |
| Oberwang | - | - | - | - |
| Residual Area | | | | |
| Mondsee | 1750 | 80 | 132000 | 1850 |
| Oberwang | 140 | 70 | 12000 | <u>133</u> |
| | | | | 1983 |

Aus Tabelle 6 wird ersichtlich, daß 10566 kg Totalphosphor vom Mondsee abgehalten werden (50,8 % des gesamten kommunalen P_t Anfalls. Davon werden 20 % über die ARA-Ausrinne wieder dem Gebiet rückgeführt, sodaß sich für das Mondsee-Einzugsgebiet eine tatsächliche Verringerung der Belastung aus kommunalem Bereich von 8453 kg P_t ergibt (40,6 % des totalen kommunalen Anfalls).

4.2.2. Abwasser aus Industriebetrieben

Im Mondsee-Einzugsgebiet befinden sich zwei Käserien. Die Jahresproduktionen betragen:

Käserei Mondsee $3,2 \times 10^6$ Liter

Käserei Innerschwand $5,2 \times 10^6$ Liter

Bei einem Wasserverbrauch von 5 m^3 je 1000 Liter Milch ergibt sich ein jährlicher Wasserverbrauch von $42\ 000 \text{ m}^3$.

Der Total-P Gehalt (mittlerer Konzentrationsbereich in $\text{mg P}_t/1$) bewegt sich zwischen 1 und 10. Unter Annahme eines mittleren P-Gehaltes von 5 mg/l errechnet sich ein P_t -Anfall von 210 kg im Jahr. Auf Grund der Entsorgung der Käsereiabwässer gelangen unter Berücksichtigung einer 80 %igen Elimination rund 40 kg Totalphosphor in den Mondsee.

4.2.3. Nährstoffaustrag aus land- und forstwirtschaftlich genutzten sowie versiegelten Flächen

Die land- und forstwirtschaftlich genutzte sowie versiegelte Fläche im Mondsee-Einzugsgebiet ist aus Tabelle 7 ersichtlich.

Tabelle 7: Mondsee drainage basin - types of land use (km^2)

| | Forests | Row-Crops | Pasture | Residential area |
|---------------|---------|-----------|---------|------------------|
| Fuschler Ache | 41,10 | 1,88 | 42,52 | 2,6 |
| Zeller Ache | 8,60 | 4,37 | 24,18 | 1,15 |
| Wangauer Ache | 24,70 | 0,68 | 9,22 | 0,30 |
| Residual area | 34,50 | 0,91 | 11,25 | 1,44 |

Bei Annahme gleicher spezifischer Phosphorausträge wie im Attersee-Einzugsgebiet ergeben sich die in Tabelle 8 dargestellten Phosphorbelastungen. Die in Klammer gesetzten Werte entsprechen dem Phosphoraustrag unter Berücksichtigung der Phosphorretention von Fuschlsee (70 %) und Irrsee (60 %).

Tabelle 8: Mondsee drainage basin - P_t export (kg.y^{-1}) of different types of land use. Values in brackets: P-retention of Fuschlsee (70 %) and Zeller See (60 %).

| | Forest | Row Crops | Pasture | Residential area |
|---------------|-----------------|------------------|-------------------|------------------|
| Fuschler Ache | 41,1 (14,84) | 131,8 (7,84) | 1275,6 (109,2) | 260 (18,9) |
| Zeller Ache | 8,6 (5,04) | 305,9 (80,64) | 725,4 (234,0) | 115 (40,80) |
| Wangauer Ache | 24,70 | 60,2 | 276,6 | 30 |
| Residual area | 34,5 | 63,7 | 337,5 | 144 |

Im Mondsee-Einzugsgebiet, vor allem im Bereich der Zeller Ache, treten im Spektrum der Grünlandnutzung auch Feuchtwiesen auf. Die Quantifizierung des Austrages dieser Flächen ist auf Grund des unbekannten Quotienten zwischen drainiertem und naturbelassenen Flächen schwierig. Obwohl Drainagierungen (erhöhter Nährstoffaustausch !) im Einzugsgebiet der Zeller Ache häufig durchgeführt wurden und werden, wird bezüglich des spezifischen P-Austrages aus Feuchtgebieten und Dauergrünland nicht unterschieden.

Insgesamt ergibt sich für das Mondsee-Areal ein Phosphor-Austausch von 17 126 kg Totalphosphor im Jahr 1981.

Tabelle 9: Mondsee - Fracht 1981 Mondsee-loading 1981

| | Bevölkerung & Übernachtungen inhabitants & overnight stays | Land- & forstw. land use | Fracht load |
|--|---|-----------------------------|----------------|
| | total | connected | output |
| Fuschler Ache | 13277 | 6376 ⁺ | 6901 |
| Zeller Ache | 1810 | 556 | 1254 |
| Wangauer Ache | 1753 | 57 | 1696 |
| Residual area | 3975 | 1983 | 1992 |
| ARA Mondsee(20%) | | | 559 |
| Regen (rain) | | | 560 |
| Wochenendhäuser & Badehäuser (geschätzt nach Atterseeeverhältnissen) | | | 560 |
| | | | <hr/> |
| | | | 17126 |

⁺mit 20 % ARA Thalgau

5. Diskussion:

Tabelle 10: Vergleich berechneter und gemessener P_t -Austräge
 Comparison of calculated and measured P_t -exports

Attersee (enges Einzugsgebiet; direct catchment area)

| berechnet (calculated) | gemessen (measured) |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <u>8482 kg P_t/year</u> | <u>8428 kg P_t/year</u> |

Mondsee (gesamtes Einzugsgebiet; total catchment area)

| | berechnet (calculated) | gemessen (measured) |
|--------------------------------|---------------------------|------------------------|
| Fuschler Ache | 8458 | 9629 |
| Zeller Ache | 2329 | 3187 |
| Wangauer Ache | 2088 | 2362 |
| Residual Area | 2572 | 3318 |
| Total (each input included) | <u>17126</u> | <u>19056</u> |

Der Vergleich gemessener und berechneter Phosphoreinträge in den Attersee weist eine gute Übereinstimmung auf (vgl. Tab. 10). Grund dafür dürfte die besonders genaue Erhebung der geographischen Verhältnisse im engen Attersee-Einzugsgebiet sein, welche im Rahmen einer Dissertation (SCHINDLBAUER 1981) erfolgte. Die detailgerechte Anpassung dieser geographischen Studie an die Fragestellungen des ÖEP wurde im Rahmen von Werkverträgen vorgenommen. Dabei galt es, die im Bereich politischer Grenzen erhobenen Werte auf die natürlichen Grenzen (Wasserscheiden) umzulegen.

Obwohl die auffällig genaue Übereinstimmung von gemessenen und berechneten Werten in diesem Fall zufällig sein könnte, scheint die Verwendung empirischer Export-

koeffizienten zur Berechnung der Belastung eines Wasser-
körpers größtenordnungsmäßig zu den selben Ergebnissen
wie die Messungen zu führen (siehe Beispiel Nußdorferbach).

Die parallele Anwendung beider Methoden kann dazu
dienen, eventuelle Fehler anhand divergierender Ergebnisse
zu erkennen. Da die Berechnung der P_t -Belastung mit Hilfe
der Exportkoeffizienten sehr einfach ist und die vor-
liegende Untersuchung zeigt, daß die Exportkoeffizienten
für das Ager-Einzugsgebiet passende Ergebnisse liefern,
kann in Zukunft diese Methode die ständige Messung der
Einträge ersetzen.

Auch im Einzugsgebiet des Mondsees liefern die
berechneten und gemessenen Phosphorausträge Werte gleicher
Größenordnung. Die hier auftretenden Unterschiede von
maximal 30 % bestätigen ebenfalls die Güte der verwendeten
Methoden, zumal die Erhebung der geographischen Daten der
Einzugsgebiete in vereinfachter Form vorgenommen wurde.
Der Aussagewert der gemessenen und berechneten Phosphor-
austräge erscheint sogar empfindlich genug zu sein, um
die aufgezeigten Unterschiede der P-Exporte diskutieren
zu können.

Die Unterschätzung des berechneten Austrages der
Zeller Ache von 850 kg scheint ein deutlicher Hinweis für
erhöhte Nährstoffausträge aus den naturbelassenen Feucht-
gebieten und drainagierten Feuchtwiesen. Eine zukünftige
Kartierung des Ausmaßes und Alters drainagierter Gebiete
soll Aufschluß über den tatsächlichen P-Austrag geben.
Vorläufige, auf kartographischer Auswertung basierende
Austragseschätzungen ergaben einen Jahresaustrag von
mindestens 400 kg Totalphosphor.

An der Fuschler Ache läßt sich der Unterschied zwischen
8458 berechneten und 9629 gemessenen Kilogramm P_t -Fracht
durch Annahme eines schlechteren Wirkungsgrades als 80 %
der ARA Thalgau erklären. Dazu ist festzuhalten, daß
nach mündlicher Mitteilung von Organen der Salzburger
Landesregierung ein besserer Wirkungsgrad als 80 % nicht
erreicht wird.

Im Falle der Wangauer Ache, einem methodisch einfach zu beschreibendem Gebiet (kein See als Retentionskörper, kaum Anschlüsse an die Ringkanalisation, Übereinstimmung zwischen politischen Grenzen und natürlichem Einzugsgebiet), zeigte sich die beste Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Austragswerten.

Interessant für die Erstellung zukünftiger Phosphorbilanzen ist die Diskussion der Überschätzung des "gemessenen" Nährstoffaustausches aus dem restlichen Einzugsgebiet um 750 kg. Tatsächlich wurde im restlichen Gebiet der Austrag nicht gemessen, sondern auf Grund der Messungen im untersuchten Einzugsgebiet, unter Annahme gleicher Verhältnisse flächenportional umgerechnet. Nach Erhebung der angeschlossenen Einwohner zeigte sich jedoch, daß die Annahme gleicher Verhältnisse falsch war, da im restlichen Einzugsgebiet 76,4 % der Einwohner durch die Ringkanalisation entsorgt werden, und daher dem Mondsee eine geringere Phosphorfracht aus dem restlichen Gebiet zufällt.

Aus diesem Grund findet der berechnete Wert des Austrages aus den Restgebieten Eingang in die entgültige Phosphorbilanz.

Ein Anwendungsbeispiel des Gebrauches berechneter Phosphorasträge soll im folgenden den Hintergrund von Frachtveränderungen am Nußdorferbach durchleuchten.

Am Nußdorferbach wurden 1976 von JAGSCH (unpubl. Daten, Bundesinstitut für Gewässerforschung und Fischereiwirtschaft) Konzentrationsmessungen durchgeführt und eine hohe Phosphorfracht festgestellt. Während der letzten Jahre erfolgte durch Anschlüsse an die Ringkanalisation eine abwassermäßige Entsorgung des Einzugsgebietes, welche sich in wesentlich niedrigeren P-Frachten ausdrückte. Im folgenden wird die Entsorgungsleistung durch den Reinhaltingsverband Attersee rechnerisch nachvollzogen und mit den gemessenen Frachten 1976 und 1981 verglichen.

Die Phosphorfracht 1976 betrug:

Jahresschüttung (nach simul. Wasserbilanz von Dr. K. Fedra, IIASA-Laxenburg): $2,95 \times 10^6 \text{ m}^3$

arithm. Mittel der P_{total} -Konz. ($n=12$): $256 \text{ mg P}_{\text{total}}/\text{m}^3$

$$\underline{\text{Fracht: }} 2,95 \times 256 = \underline{\underline{690 \text{ kg P}_{\text{total}}}}$$

1981 waren bereits 290 ständige Bewohner und 25600 Übernachtungen sowie ein Gerbereibetrieb an die Ringkanalisation angeschlossen. Die Entsorgungsleistung in kg P_{total} durch die Ringkanalisation läßt sich wie folgt berechnen.

$$\begin{array}{rcl} 290 \text{ Einwohner} & \times & 365 \text{ Tage} = 105\,850 \\ + \text{Übernachtungen} & & \underline{25\,600} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 131\,450 \times 3 \text{ g P}_{\text{total}}/\text{Tag} = \\ = \underline{\underline{394 \text{ kg P}_{\text{total}}/\text{Jahr}}} \quad 1981 \end{array}$$

Gerberei: 700 kg Häute/Tag mit einem Abwasseranfall von $40 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}$ à $10 \text{ mg P}_{\text{total}}$

$$0,4 \text{ kg P}_{\text{total}}/\text{Tag} = \underline{\underline{146 \text{ kg P}_{\text{total}}/\text{Jahr}}}$$

$$\text{Gesamte Entsorgungsleistung: } \underline{\underline{540 \text{ kg P}_{\text{total}}/\text{Jahr}}}$$

Die gemessene Phosphorfracht 1981 betrug:

Jahresschüttung (Quelle wie oben): $4,01 \times 10^6 \text{ m}^3$

arithm. Mittel der P_{total} -Konz. ($n=11$): $37 \text{ mg P}_{\text{total}}/\text{m}^3$

$$\underline{\text{Fracht: }} 4,01 \times 37 = \underline{\underline{149 \text{ kg P}_{\text{total}}}}$$

Zieht man von der Phosphorfracht 1976 die entsortete Phosphormenge 1981 ab und vergleicht mit der Phosphorfracht 1981 ergibt sich eine erstaunliche Übereinstimmung zwischen den gemessenen Frachten und der Auswirkung der berechneten Entsorgung:

$$\begin{array}{rcl} 690 - 540 = 150 & \text{zu} & \underline{\underline{149 \text{ kg P}_{\text{total}}}} \end{array}$$

Dies bedeutet, daß unter Annahme unveränderter Landnutzung (Jahresaustrag: 41 kg) und gleicher Bevölkerungsstruktur in den letzten fünf Jahren allein die Abwasserentsorgung durch den Reinhalteungsverband Attersee die Phosphorfracht des ußdorferbaches um 540 kg senken konnte.

6. Zusammenfassung

- Vorliegende Arbeit vergleicht die Resultate im Freiland gemessener sowie mittels Anwendung von Exportkoeffizienten errechneter Phosphorausträge im Mondsee- und Attersee-Einzugsgebiet.
- Die aus der Literatur übernommenen Austragswerte aus ähnlich strukturierten Natur- und Kulturräumen von

3 g P_{total} pro Person und Tag

1 kg P_{total} pro km² Wald pro Jahr

30 "--" Grünland pro Jahr

70 "--" Ackerland pro Jahr

100 "--" versiegelter Fläche pro Jahr

boten genügend genaue Schätzwerte im Vergleich zu den gemessenen Austrägen und können für das gesamte Ager-Einzugsgebiet angewendet werden.

Die Ergebnisse berechneter und gemessener Phosphorausträge lagen stets im Bereich der gleichen Größenordnung, die dabei auftretenden Unterschiede konnten sinngemäß erklärt werden.

- Unbekannte Größen wie Phosphorrückhalt in Seen, der Austrag aus naturbelassenen und drainagierten Feuchtgebieten, sowie der nicht durch Messungen erfaßte Wirkungsgrad der Phosphor-elimination der Kläranlagen stellten Fehlerquellen dar, welche die Genauigkeit der Berechnungen des Phosphoraustrages herabsetzten.
- Die gute Übereinstimmung gemessener und berechneter P-Austräge ermöglicht die Anwendung von Exportkoeffizienten als billiges Hilfsmittel zur Klärung, Vorhersage oder Überprüfung von Fragen oder Ergebnissen des Komplexes der Phosphorbilanzierung.
- Auf Grund der berechneten Austräge ist es möglich, den Anteil der einzelnen Nährstoffquellen offenzulegen. Interessant dabei ist es, daß der Anteil der Landwirtschaft am Attersee 8 % und am Mondsee 10 % nicht übersteigt, die Nächtigungen am Attersee für nur 14 %, am Mondsee für nur 9 % des Gesamteintrages verantwortlich sind, während der Haupt-

eintrag von den ständigen Einwohnern (62% am Attersee, 73% am Mondsee) stammt.

7. Literatur:

- BERNHARDT, H. (1979): Phosphor Wege und Verbleib in der BRD
Hrsg. von Hauptausschuß "Phosphate und Wasser" der
Fachgruppe Wasserchemie in der Gesellschaft Deutscher
Chemiker. - Weinheim-New York.
- GÄCHTER, R., O. J. FURRER (1972): Der Beitrag der Landwirt-
schaft zur Eutrophierung der Gewässer in der Schweiz.-
Bd.34/1: 41-70.
- HAMM, A. (1976 a): Untersuchungen zur Nährstoffbilanz am
Tegernsee und Schliersee nach der Abwasserentfernung -
zugleich ein Beitrag über die diffusen Nährstoffquellen
im Einzugsgebiet bayrischer Alpen- und Vorlandseen.- Zeitschrift
Wasser- und Abwasserforschung, 9: 110-121 u.
135-149.
- HAMM, A. (1976 b): Zur Nährstoffbelastung von Gewässern aus
diffusen Quellen: Flächenbezogene P-Abgaben - eine Er-
gebnis- und Literaturzusammenstellung.- Zeitschrift für
Wasser- und Abwasserforschung, Jg. 9 Nr.1.
- JAGSCH, A., G. BRUSCHEK (1982): Zustand von Mondsee, Irrsee
und Mondsee-Zuflüssen: Ergebnisse der Wasserchemie 1981.-
Arb. Labor Weyregg 6:
- KÄRNTNER INST. FÜR SEENFORSCHUNG (Hrsg.): Einfluß von Boden-
erosion und Düngemittelabschwemmung auf die Gewässer-
eutrophierung. Forschungsvorhaben 1979: Sichtung und Aus-
wertung von Literaturangaben - Auswertung österr. Unter-
suchungen.
- MOOG, O. (1980 a): Die Phosphorbilanz der Ager-Seenkette für
die Jahre 1978 und 1979.- Arb. Labor Weyregg 4: 6-30.
- MOOG, O. (1980 b): Die Fuschler Ache: Chemische Charakteri-
sierung, Nährstoff-Fracht, Partikelfracht und Plankton-
drift im Jahr 1979.- Arb. Labor Weyregg 4: 74-126.

- MOOG, O. (1981): Waserbilanzierung des Ager-Seenketten-Sy-
tems: Stand 1980.- Arb. Labor Weyregg 5: 43-50.
- RECKHOW, K. M., M. N. BEAULAC & J. T. SIMPSON (1980): Modeling
phosphorus loading and lake response under uncertainty:
a manual and compilation of expert coefficients.- EPA
440/5-80-011.
- SCHINDLBAUER, G. (1981): Agrargeographie des Atterseegebietes.-
Dissertation am Geogr. Inst. d. Univ. Salzburg.
- SCHINDLBAUER, G. (1982): Das hydrographische Einzugsgebiet
des Attersees - Geographische Untersuchungen als Grund-
lage für eine Nährstoffbilanzierung.- Arb. Labor Wey-
regg 6:
- SCHULZ, L. (1981): Die Nährstoffbelastung des Millstätter Sees
und des Wörthersees durch oberflächliche Zuflüsse.- Carin-
thia II, Jg. 171/91: 427-473.
- SCHULZ, L (1981 b): Nährstoffeintrag in Seen durch Badegäste.-
bl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B 173: 528-548.
- VOIGTLÄNDER, G. (1978): Nährstoffauswaschung aus dem Grün-
land und Gewässerbelastung.- Z. f. Wasser- und Abwasser-
forschung, Jg. 11/1: 28-31.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1982

Band/Volume: [6_1982](#)

Autor(en)/Author(s): Moog Otto, Schindlbauer Gottfried

Artikel/Article: [EXPORTKoeffizienten als Basis einer Nährstoffbilanz ein Vergleich zwischen "berechneten" und "gemessenen" Phosphorbudgets](#) Exportcoefficients as a tool for nutrient budgeting 57-79