©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Carinthia II	171./91. Jahrgang	S. 427–473	Klagenfurt 1981

Aus dem Kärntner Institut für Seenforschung

Die Nährstoffbelastung des Millstätter Sees und des Wörthersees durch oberflächliche Zuflüsse[1])

Von Liselotte SCHULZ

Mit 20 Abbildungen und 23 Tabellen

Zusammenfassung: Zwischen 1976 und 1980 wurden an den Millstätter-See-Zuflüssen und an den Wörthersee-Zuflüssen vergleichende Untersuchungen der Nährstoffkonzentrationen, Nährstofffrachten und des flächenbezogenen Nährstoffaustrages durchgeführt.

Am Hauptzufluß des Millstätter Sees, dem Riegerbach, wurde ein deutlicher Rückgang der Nährstoffkonzentrationen und der Nährstofffrachten beobachtet, der auf den nahezu vollständigen Ausbau der Abwasserbeseitigungsanlagen im Einzugsgebiet zurückgeführt wird. Die Nährstoffkonzentrationen und -frachten haben sich bei den Wörthersee-Zuflüssen im Untersuchungszeitraum nicht verändert.

Zwischen der Wasserfracht der Zuflüsse und der Höhe der Nährstoffkonzentrationen wurde ein deutlicher Zusammenhang beobachtet.

Synopsis: During the period from 1976 to 1980 the nutrient loads were measured in several brooks in the catchment area of lake "Wörthersee" and lake "Millstätter See" (Carinthia, Austria). The annual nutrient output per ha was calculated for the differently structured catchment areas. These investigations were part of the MAB-program „Carinthian Lakes" (UNESCO).

EINLEITUNG

Im Rahmen des MAB-Projektes „Verlauf und Ursachen der Eutrophierung in zwei Kärntner Seen (Millstätter See und Wörthersee) mit unterschiedlichem Einzugsgebiet" wurden in den Jahren von 1976 bis 1980 die Oberflächenzubringer der beiden genannten Seen untersucht. Die Bestimmung der Nährstofffrachten der Zuflüsse war nur ein Teilaspekt des Projektes, das die Einträge die Seen belastender Stoffe aus den Einzugs-

[1]) Beitrag Nr. 6 zum MAB-Projekt „Kärntner Seen"

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

gebieten und die Reaktion der Seen auf diese Belastungen untersuchte. Die Ergebnisse über den Nährstoffeintrag durch Badegäste (SCHULZ, 1981) sowie über die Natrium- und Chloridmengen, die, bedingt durch die winterliche Salzstreuung, von den Verkehrsflächen abgeschwemmt werden (SAMPL, 1980) wurden bereits veröffentlicht.

Über die Zuflüsse gelangen Nährstoffe, insbesondere Phosphor- und Stickstoffverbindungen, aus häuslichen Abwässern und landwirtschaftlichen Betrieben, direkt oder diffus und durch Erosion und Auswaschungsprozesse im Boden, in die Seen und verursachen eine zunehmende Eutrophierung der stehenden Gewässer. Um der Eutrophierung entgegenzuwirken und die Nährstoffbelastung eines Gewässers herabsetzen zu können, ist eine genaue Kenntnis der Herkunft und der Mengen des jährlich dem Gewässer zugeführten Phosphors und Stickstoffs notwendig.

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war die Bestimmung der Nährstoffmengen, die über die einzelnen Zubringer in den Millstätter See und in den Wörthersee fließen. Mit Hilfe des Vergleiches der Nährstofffrachten der verschiedenen Zuflüsse und des flächenbezogenen Nährstoffaustrages sowie der Erhebung der Nutzungsarten der Einzugsgebiete sollte der relative Beitrag der einzelnen Nährstoffquellen (natürliche Grundlast, häusliche Abwässer, Austrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen) ermittelt werden.

1. UNTERSUCHUNGSPROGRAMM UND METHODEN

Entsprechend der Zielsetzung des vorliegenden Projektes zur Ermittlung der dem Millstätter See und dem Wörthersee jährlich zugeführten Nährstoffmengen wurden die Zuflüsse unmittelbar vor ihrer Mündung in die Seen untersucht.

Der Millstätter See besitzt einen Hauptzufluß, den Riegerbach, der 75 Prozent der gesamten Fläche des Einzugsgebietes entwässert. Seit 1976 werden hier kontinuierliche Messungen der Wasserführungen mit Hilfe eines automatischen Pegelschreibers durchgeführt.

Das restliche Einzugsgebiet wird von zahlreichen kleinen Zuflüssen entwässert; an den zehn größten von ihnen wurden stichprobenartige Untersuchungen (dreimal jährlich) der Wasser- und Nährstofffrachten durchgeführt.

Der Wörthersee besitzt keinen eigentlichen Hauptzufluß, die Entwässerung des Einzugsgebietes erfolgt durch zwölf bedeutendere Bäche, die in das Untersuchungsprogramm aufgenommen wurden.

Der größte Zubringer ist der Reifnitzbach. Hier begannen erste stichprobenartige Messungen im Jahr 1975. Seit 1977 wurden die Wasserführungen kontinuierlich aufgezeichnet. Zur Bestimmung der Wasserfrachten der anderen Zubringer wurde die im Einzugsgebiet des Reifnitzbaches gemes-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

sene Abflußspende auf die Teileinzugsgebiete übertragen und der Jahresabfluß wurde flächenproportional errechnet. Zur Berechnung der Monatswasserfrachten wurde folgendermaßen vorgegangen: Die monatlich gefallenen Niederschläge wurden in Prozent des Jahresniederschlages ausgedrückt und anschließend der dem Niederschlag entsprechende monatliche Prozentanteil vom Jahresabfluß berechnet.

Die Probenentnahme für die chemischen Analysen erfolgte am Reifnitzbach in den Jahren 1976 und 1977 monatlich und seit 1978 einmal wöchentlich. An den kleineren Zubringern wurden die Proben 1976 monatlich und ab 1977 zweimal monatlich entnommen.

Die Laboranalysen erfaßten folgende Parameter: pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Alkalinität und die für die Eutrophierung maßgebenden Phosphor- und Stickstoffverbindungen, Orthophosphat-Phosphor, $P_{gelöst}$, P_{total}, Nitrat-N und Ammonium-N. Nitrit trat nur in unbedeutenden Mengen ($<10\ \mu g/l$) auf und konnte vernachlässigt werden. Die Meßmethoden für die genannten Parameter sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

Tab. 1: Meßmethoden für die physikalischen und chemischen Analysen.

pH	potentiometrisch, Radiometer Copenhagen pH M 62
Alkalinität	Endpunkttitration mit 0,1 n HCl bis pH 4,3
elektrolytische Leitfähigkeit:	WTW Digi 610
Nitrat-N	UV-Extinktion nach VALENTA, 1975
Ammonium-N	kolorimetrische Bestimmung als Indophenol (WAGNER, 1969)
Orthophosphat-P, $P_{gelöst}$, P_{total}	Molybdänblaureaktion nach SCHMID und AMBÜHL (1965)

Die Art der Bodennutzung in den Einzugsgebieten und die Größe der verschiedenen Nutzflächen wurde an Hand der Bodennutzungserhebungen 1976 durch das Statistische Zentralamt in Erfahrung gebracht und durch Planimetrieren aus der Österreichischen Karte 1:25.000, herausgegeben vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, ermittelt. Zum Teil ergaben sich Schwierigkeiten bei der Festlegung der Größe der verschiedenen Nutzflächen, da die Grenzen der Einzugsgebiete nicht immer mit den Grenzen der Gemeinden übereinstimmten. Es wurde jedoch angenommen, daß den Einzugsgebieten benachbarte Flächen eine ähnliche Struktur aufweisen wie die Einzugsgebiete selber und so die Angaben der Gemeinden, deren überwiegende Flächen im Einzugsgebiet liegen, übernommen.

2. EINZUGSGEBIETE

Das Einzugsgebiet des Millstätter Sees ist mit 276 km² etwa 21mal so groß wie die Seefläche. Das nördlich des Sees gelegene Einzugsgebiet wird von den Steilhängen der Nockberge, die bis auf 2000 m ansteigen,

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

begrenzt. Mehrere kleine Bäche sammeln hier das Oberflächenwasser. Südlich des Sees erstreckt sich das Einzugsgebiet nur über einen schmalen, ca. 1 km breiten Hügelzug. Ein eigentlicher Zufluß fehlt hier. Im Osten des Sees liegt das Einzugsgebiet des Riegerbaches, das sowohl durch Hochgebirgsregionen im Raume von Bad Kleinkirchheim als auch durch eine Hügellandschaft rund um den Feldsee gekennzeichnet ist (Abb. 1).

Der See liegt in einer tektonisch vorgezeichneten und von Gletschern überformten Wanne und wurde postglazial durch den großen Schwemmkegel der Lieser aufgestaut. Der geologische Untergrund des Einzugsgebietes gehört dem ostalpinen Kristallin an. Es dominieren Glimmerschiefer, Gneise, Schiefergneise und Amphibolite (PASCHINGER, 1976). Das anstehende Gestein ist über große Flächen mit Moränenschotter bedeckt.

In den Tallagen haben sich die Böden über glazialen Lockersedimenten, in größeren Höhen direkt über verwittertem Gestein entwickelt. Es herrschen Braunerden vor, die in höheren Lagen auf Grund größerer Niederschläge und stärkerer Auswaschung zunehmend podsoliert sind. Es handelt sich vorwiegend um steinig-lehmige, mehr oder weniger sandige Böden (ANDERLE, 1973). Die Humusschicht erreicht in Tal- und Unterhanglagen eine Mächtigkeit bis zu 40 cm, in mittleren Höhenlagen weist sie eine durchschnittliche Dicke von 20 cm auf. Die Oberhang- und Kuppenlagen sind flachgründig.

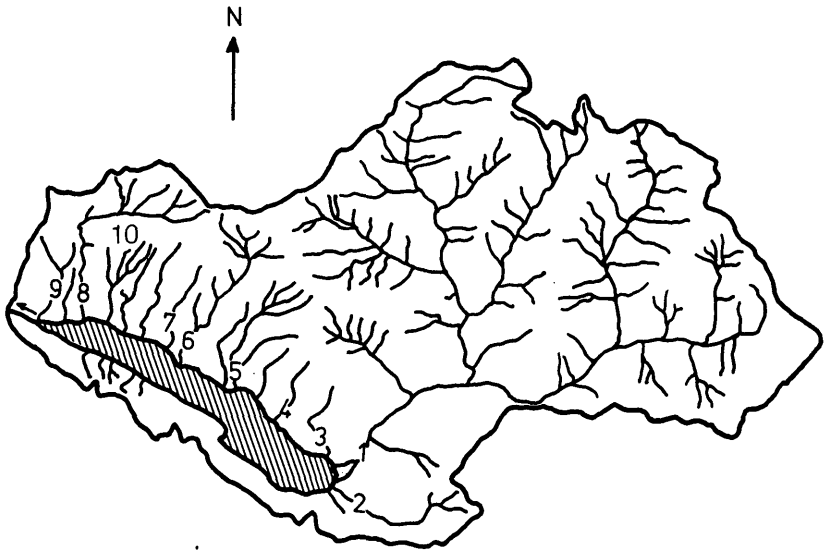

Abb. 1: Einzugsgebiet des Millstätter Sees
1 Riegerbach, 2 = Glanzer Bach, 3 = Matzelsdorfer Bach, 4 = Mühlbach, 5 = Pöllandbach, 6 = Riegenbach, 7 = Laubendorfer Bach, 8 = Burgstallerbach, 9 = Wirlsdorfer Bach, 10 = Gießbach.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Die Wasserkapazität der Böden ist gut, der ausgeglichene Wasserhaushalt verhindert, ausgenommen auf steilen Hanglagen, extreme Erosions- und Auswaschungsprozesse.

Die Ertragsleistung der Böden ist stark von der Oberflächenform des Geländes und von klimatischen Faktoren abhängig. In Tal- und Beckenlagen findet man sehr fruchtbare Böden, auf denen überwiegend Mais und Getreide angebaut werden. In mittleren Berglagen erfolgt ein intensiver Futteranbau, vorwiegend Maisanbau und Grünlandnutzung. In höheren Lagen, im Bereich der Almen, wird eine extensive Weidewirtschaft betrieben. Die gesamte Wirtschaftsfläche des Einzugsgebietes des Millstätter Sees gliedert sich in folgende Nutzungsarten: 47 Prozent sind Waldbestände, es handelt sich vorwiegend um Nadelwald, ebenfalls 47 Prozent werden als Grünland, 6 Prozent als Ackerland genützt.

Im Einzugsgebiet des Millstätter Sees leben 20.073 ständige Bewohner, dies entspricht einer Besiedlungsdichte von 73 Einwohnern pro km^2. Berücksichtigt man auch die Zahl der Nächtigungen des Fremdenverkehrs innerhalb eines Jahres, so errechnet sich hieraus eine Einwohnerzahl von 29 pro km^2, insgesamt ergibt sich folglich eine Besiedlungsdichte von 102 Einwohnern pro km^2.

Die Siedlungen im Einzugsgebiet konzentrieren sich vorwiegend auf den Markt Radenthein (7296 Einwohner) sowie auf die großen Fremdenverkehrsorte (Seeboden, Millstatt, Dellach, Döbriach) am Nordufer des Sees. Weite Teile, vor allem die Hochgebirgsregionen, sind unbesiedelt, nur im Raum von Bad Kleinkirchheim hat sich ein Zentrum des Wintertourismus entwickelt.

Der W ö r t h e r s e e liegt eingebettet in eine Talfurche des Mittelkärntner Berglandes. Er wird von verhältnismäßig sanft ansteigenden Hügelzügen umrahmt. Den Zufluß bildet eine Reihe kleinerer Bäche, die von allen Seiten in den See einmünden (Abb. 2). Der größte von ihnen ist der Reifnitzbach, in dessen Einzugsgebiet sich noch zwei weitere, hintereinandergelegene Seen, der Hafnersee und der Keutschacher See, befinden. Diese Seenkette stellt eine wesentliche Beeinflussung der Wasser- und Nährstofffrachten des Reifnitzbaches dar (SCHULZ, 1978).

Der geologische Untergrund des Wörthersees und seines Einzugsgebietes wird von ostalpinen Gesteinsserien gebildet, die in der Hauptsache aus Phylliten und Glimmerschiefern bestehen und in die Marmorlagen und Amphibolite eingelagert sind. Das anstehende Gestein ist über weite Strecken von Moränenschottern bedeckt. Die Wörthersee-Talung stellt eine tektonische Störung dar, die von Gletschern überformt wurde. Der See wurde postglazial vom breiten Schwemmfächer der Glan aufgestaut.

Die Böden im Einzugsgebiet sind überwiegend Braunerden, humose, sandige Lehmböden. Nur dort, wo in das kristalline Gestein Karbonatsubstrat eingelagert ist, treten Kalksteinbraunerden und teilweise Rendsinen

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

auf, die flächenmäßig jedoch nur eine untergeordnete Rolle spielen. Die Böden liegen in den Tallagen über glazialen Schottern, in höheren Lagen haben sie sich über verwittertem Gestein entwickelt. Der Wasserhaushalt des Bodens ist im allgemeinen ausgeglichen, nur dort, wo die Grundmoräne nahe der Oberfläche liegt, ist die Durchlässigkeit des Bodens gering, so daß es in Hohlformen zur Bodenvernässung und zur Ausbildung größerer Moorflächen kommt (Tabelle 2).

Böden, die über kristallinem Gestein liegen, werden auf Grund ihrer Fruchtbarkeit landwirtschaftlich intensiv genutzt. 15 Prozent der Fläche des gesamten Einzugsgebietes werden als Ackerland, 27 Prozent als Grünland, 3 Prozent als Gärten verwendet. Die Böden über Kalksubstrat sind weniger fruchtbar und überwiegend waldbestanden. 55 Prozent des Einzugsgebietes sind bewaldet.

Die wirtschaftliche Nutzung der Einzugsgebiete der einzelnen Zuflüsse des Wörthersees ist in Tabelle 2 dargestellt.

Einen relativ großen Anteil an Waldbeständen weisen die Einzugsgebiete des Kropfitschbaches (66 Prozent), des Hafnersees und des Keutschacher Sees (58 Prozent), des Damtschacher Baches (63 Prozent) und des Auenbaches (58 Prozent) auf. Für die landwirtschaftliche Nutzung wird mehr als die Hälfte der Fläche im Einzugsgebiet des Pirker Baches (61 Prozent), des Rajachbaches (54 Prozent) und des Töschlingbaches (56 Prozent) herangezogen.

Die Siedlungsschwerpunkte im Einzugsgebiet des Wörthersees konzentrieren sich auf die unmittelbare Seenähe. Am Nordufer liegen die bekannten

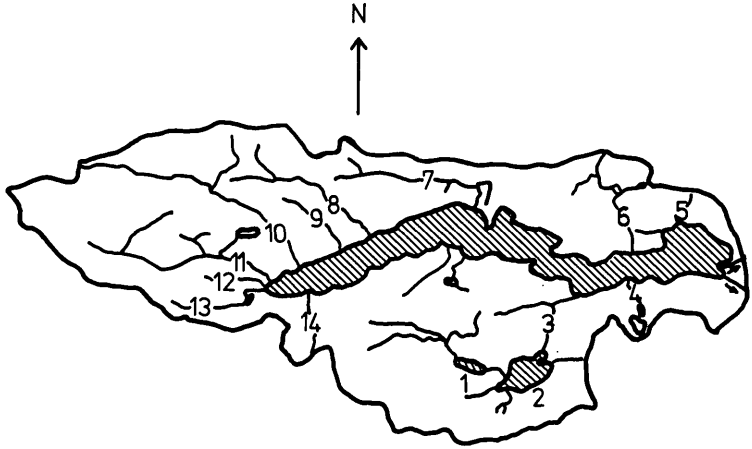

Abb. 2: Einzugsgebiet des Wörthersees
1 = Hafnersee, 2 = Keutschacher See, 3 = Reifnitzbach, 4 = Sekirnbach, 5 = Kropfitschbach, 6 = Pirker Bach, 7 = Mühlbach, 8 = Töschlingbach, 9 = Bach bei Saag, 10 = Römerbach, 11 = Damtschacher Bach, 12 = Postbach, 13 = Rajachbach, 14 = Auenbach

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 2: Bodennutzung in den Einzugsgebieten der Wörthersee-Zuflüsse

Einzugsgebiet	Fläche des Einzugsgebietes, km2	Landw. Nutzfl. %	Wald %	Moor %
Hafnersee-Keutschacher see	29,3	34	58	4
Reifnitzbach, unterhalb des Keutschacher Sees	6,o	52	48	o
Rajachbach	14,2	54	43	3
Damtschacherbach	16,1	33	63	4
Römerbach	1o,4	42	53	5
Pirkerbach	7,6	61	37	2
Mühlbach	7,1	43	56	1
Kropfitschbach	3,3	34	66	o
Töschlingbach	2,7	56	44	o
Postbach	2,5	55	41	1
Auenbach	2,2	37	58	5
Bach bei Saag	o,7	48	49	3

Fremdenverkehrsorte Velden, Pörtschach und Krumpendorf, am Südufer Reifnitz und Maria Wörth. Im Keutschacher Tal sind die Ortschaften Keutschach und Schiefling erwähnenswert. Das im Norden des Sees gelegene Einzugsgebiet weist zahlreiche Streusiedlungen auf, die Hügelzüge im Süden sind relativ unbesiedelt und großteils bewaldet.

Das Einzugsgebiet des Wörthersees zählt eine ständige Bevölkerung von 19.031 Einwohnern, dies entspricht einer Besiedlungsdichte von 116 Einwohnern pro km². Berücksichtigt man auch die Zahl der Nächtigungen (Tabelle 3), so entsprechen diese einer Wohnbevölkerung von 48 Einwohnern pro km². Insgesamt errechnet sich damit eine Bevölkerungsdichte von 164 Einwohnern pro km² (Tabelle 3).

Tab. 3: Bevölkerungsdichte im Einzugsgebiet des Millstätter Sees und des Wörthersees unter Berücksichtigung des Fremdenverkehrs.

Einzugsgebiet	Fläche km²	Wohnbevölkerung Einwohnerzahl	Wohnbevölkerung Einwohner pro km²	Fremdenverk.-Nächtigungen	Bevölkerungsdichte einschl. Fremdenverkehr pro km²
Millstätter See	276	20.073	73	2,965.586	102
Wörthersee	164	19.031	116	2,880.945	164

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Als wesentliche Unterschiede zwischen dem Einzugsgebiet des Millstätter Sees und des Wörthersees müssen zunächst die hydrographischen Verhältnisse genannt werden. Das Einzugsgebiet des Millstätter Sees wird durch einen Hauptzufluß entwässert, der 75 Prozent des Oberflächenwassers sammelt. Die einzelnen Zubringer entspringen zum Teil Hochgebirgsregionen. Der in einer Hügellandschaft gelegene Wörthersee wird von einer Reihe kleinerer Bäche gespeist, die von allen Seiten in den See münden. Charakteristisch für das Einzugsgebiet des Wörthersees sind die vielen Kleinseen, die als Rückhaltebecken für Niederschläge und Nährstoffe dienen.

Die Einzugsgebiete der beiden Seen unterscheiden sich auch hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Nutzung. Im Bereich um den Millstätter See werden durchschnittlich 53 Prozent der Fläche landwirtschaftlich genutzt, davon 6 Prozent als Ackerland und 47 Prozent als Grünland, ebenfalls 47 Prozent der Gesamtfläche sind waldbestanden. Der Riegerbach allein entwässert ein zu 62 Prozent landwirtschaftlich und zu 38 Prozent forstwirtschaftlich genutztes Areal. Im Einzugsgebiet des Wörthersees tritt die landwirtschaftliche Nutzung mit 42 Prozent, davon 15 Prozent als Ackerland und 27 Prozent als Grünland, zugunsten der Forstwirtschaft (55 Prozent) zurück.

Wie bereits erwähnt, ist die Bevölkerung im Raume des Millstätter Sees mit 73 Einwohnern pro km^2 um etwa 30 Prozent geringer als im Wörthersee-Einzugsgebiet (116 Einwohner pro km^2), wobei sich nahezu ein Drittel der Bevölkerung auf den Industrieort Radenthein konzentriert. Die Siedlungen

Tab. 4: Anschluß der Ortschaften im Einzugsgebiet des Millstätter Sees an die Kanalisation

Ortschaft	Jahr des Anschlusses	
Radenthein	1974	provisorisch
	1975	definitiv
Pesenthein	1975	
Dellach	1976	
Sappl	1976	
Laubendorf	1976	
Seeboden	1977	
Millstatt	1977	
Döbriach	1977	
Obermillstatt	1977	
Kleinkirchheim	1977	
Untertweng	1978	
Obertweng	1980	
St. Peter	1980	
St. Oswald	1980/1981	
Feld am See	1980	

Bis Ende 1980 waren mehr als 90 Prozent aller Haushalte und Betriebe an die Kanalisation angeschlossen.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

um den Wörthersee liegen wesentlich verstreuter und weiträumiger. Berücksichtigt man auch den Fremdenverkehr, ergibt sich für das Gebiet um den Wörthersee eine um etwa 50 Prozent größere Bevölkerungsdichte. Der Fremdenverkehr war jahrzehntelang eine der Hauptbelastungsquellen der beiden Seen.

Das wichtigste Kriterium für die Unterscheidung der beiden Einzugsgebiete in bezug auf die Nährstoffbelastung des Sees sind die Geschwindigkeit, mit der der Ausbau der Abwasserbeseitigungsanlagen erfolgte und der derzeitige Stand der Sanierungsmaßnahmen.

Am Wörthersee wurde 1964, am Millstätter See 1968 mit dem Kanalisationsbau begonnen. Bereits 1974 wurde im Bereich Millstätter See der Markt Radenthein provisorisch an eine Abwasserbeseitigungsanlage angeschlossen, bis Ende 1977 waren alle größeren Siedlungen und Fremdenverkehrsorte saniert. Derzeit sind nur noch weniger als zehn Prozent aller Haushalte und Betriebe ohne Kanalisation. Der rasche Ausbau der Kanalisationsanlagen war vor allem möglich, weil die Bevölkerung auf ein kleines Areal in Seenähe bzw. auf den Markt Radenthein konzentriert ist. Lediglich der Raum von Bad Kleinkirchheim liegt weiter entfernt, wurde jedoch ebenfalls bereits 1977 kanalisiert (Tabelle 4).

Im Wörthersee-Einzugsgebiet sind die Siedlungen zerstreuter, weitläufiger und daher in ihrer Gesamtheit nicht so leicht erfaßbar, so daß die Sanierungsmaßnahmen wesentlich weniger rasch durchgeführt werden konnten. Über den Stand der Sanierungsmaßnahmen in den einzelnen Untersuchungsjahren gibt Tabelle 5 Auskunft.

Tab. 5: Prozentueller Anteil der Haushalte und Betriebe der Ortschaften im Einzugsgebiet der untersuchten Wörthersee-Zubringer, die an die Kanalisation angeschlossen wurden.

Ortschaften	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Velden	55					80
Pörtschach	12	25	34	48	60	78
Krumpendorf	10			50		80
Reifnitz				50	70	100

Derzeit wird der Wörthersee immer noch durch zahlreiche, im weiteren Einzugsgebiet gelegene, nicht kanalisierte Siedlungen belastet, deren häusliche und landwirtschaftliche Abwässer über Sickeranlagen und den Boden in die Zuflüsse und letztlich in den See gelangen.

3. NIEDERSCHLAG

3.1 Millstätter-See-Einzugsgebiet

Der mittlere Jahresniederschlag im Einzugsgebiet des Millstätter Sees (Meßstelle Millstatt) beträgt 931 mm. Während die Niederschläge der Jahre 1977 (959 mm) und 1978 (896 mm) etwa gleich groß waren wie das

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

langjährige Mittel, zeigten die Jahre 1975, 1976, 1979 und 1980 größere Abweichungen von diesem Wert. Das Jahr 1975 war gekennzeichnet durch extrem hohe Niederschläge. Mit 1172 mm fielen um 26 Prozent mehr Niederschläge als im langjährigen Mittel. Ende März/Anfang April kam es zu so starken Regenfällen, daß im Einzugsgebiet zahlreiche Bergrutsche und Muren abgingen und große Mengen nährstoffreiches organisches Material in die Zuflüsse geschwemmt wurden. Das erste Halbjahr 1976 war auffallend niederschlagsarm und bedingte den geringen Jahresniederschlag (726 mm), der um 22 Prozent kleiner war als der Durchschnitt. 1979 wurde ein Jahresniederschlag von 1060 mm gemessen, der um 14 Prozent über dem Durchschnittswert lag. Das Jahr 1980 war wieder relativ niederschlagsarm (783 mm), es fielen um 16 Prozent weniger Niederschläge als im langjährigen Durchschnitt.

Allgemein charakteristisch für die Niederschlagsereignisse im Einzugsgebiet des Millstätter Sees sind die häufigen und starken Regenfälle in den Monaten Juni und Juli, die auf eine verstärkte Gewittertätigkeit zurückzuführen sind und die Niederschlagsspitzen bis zu 70 mm pro Tag bringen können (Abb. 3a). In den beiden Sommermonaten werden durchschnittlich 15 Regentage pro Monat gezählt.

3.2 Wörthersee-Einzugsgebiet

Ähnliche Niederschlagsverhältnisse wie am Millstätter See findet man am Wörthersee. Auch hier sind die häufigsten und stärksten Niederschläge im Juni und im Juli zu beobachten. Das Mittel liegt bei 15 Regentagen pro Monat, es treten Niederschlagsspitzen bis zu 100 mm pro Tag auf. Das langjährige Mittel des Jahresniederschlages liegt bei 1075 mm. Während der Untersuchungsperioden von 1978 bis 1980 traten nur geringfügige Abweichungen auf. 1978 (1036 mm) wurden um vier Prozent weniger, 1979 (1150 mm) um sieben Prozent und 1980 (1124 mm) um fünf Prozent kleinere Jahresniederschläge gemessen (Abb. 4a).

4. ABFLUSSVERHÄLTNISSE

4.1 Millstätter See

Der durchschnittliche Jahresabfluß des Riegerbaches im Untersuchungszeitraum zwischen 1976 und 1980 lag zwischen 2,65 m^3/s und 4,24 m^3/s. Die Wasserführungen schwankten zwischen 0,57 m^3/s (NQ) und 20,5 m^3/s (HQ) (Tabelle 6).

Die höchsten Wasserfrachten werden in der Regel zur Zeit der Schneeschmelze, Mai bis Juli, beobachtet. Es können jedoch auch starke Niederschläge im Herbst zu einer zweiten Abflußspitze führen, wie im Oktober 1976 und 1980 (Abb. 3b). Die geringsten Abflußspenden wurden immer im Winter, im Jänner oder Feber, gemessen.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

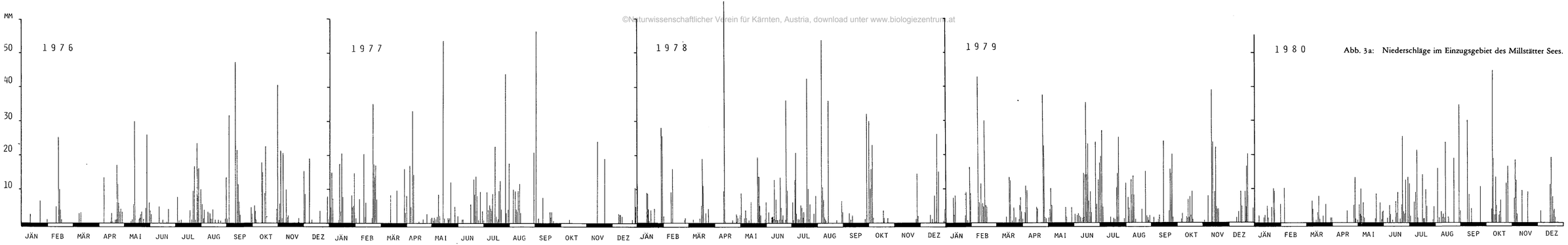

Abb. 3a: Niederschläge im Einzugsgebiet des Millstätter Sees.

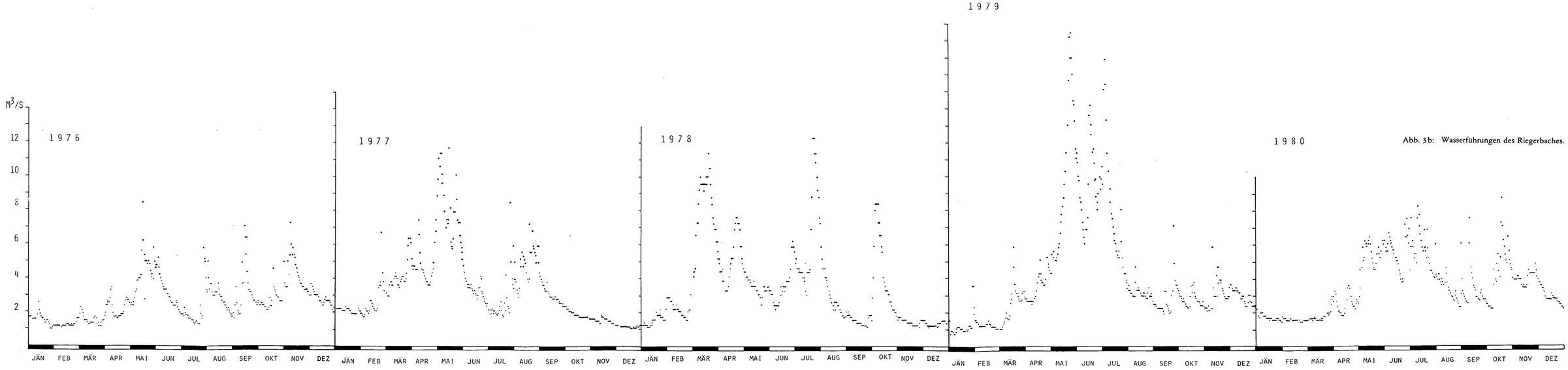

Abb. 3b: Wasserführungen des Riegerbaches.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Tab. 6: Hydrographische Meßwerte des Riegerbaches

Jahr	durchschnittl. Jahresabfluß m^3/s	NQ m^3/s	HQ m^3/s	Niederschlag mm
1976	2,65	0,57	16,0	726
1977	3,39	0,57	16,3	959
1978	3,50	0,64	20,5	896
1979	4,24	0,76	18,5	1060
1980	3,59	1,36	15,4	783

4.2 Wörthersee

Die Wasserführungen des Reifnitzbaches lagen in den Jahren 1977 bis 1980 zwischen 0,07 m^3/s und 4,91 m^3/s. Das Mittel lag zwischen 0,64 m^3/s und 0,83 m^3/s (Abb. 4b). Da es im Einzugsgebiet des Wörthersees keine so ausgeprägte Schneeschmelzperiode gibt wie im Einzugsgebiet des Millstätter Sees, treten die Abflußspitzen nicht regelmäßig im Frühsommer, sondern nach Perioden intensiver Niederschlagstätigkeit auf. Die geringsten Wassermengen werden in der Regel in den Wintermonaten beobachtet.

Tab. 7: Hydrographische Meßwerte des Reifnitzbaches

Jahr	Ø Jahresabfluß m^3/s	NQ m^3/s	HQ m^3/s	Niederschlag mm
1977	0,64	0,07	4,91	972
1978	0,71	0,23	2,46	1036
1979	0,83	0,10	2,66	1150
1980	0,75	0,28	3,94	1124

5. BEZIEHUNG ZWISCHEN NIEDERSCHLAG UND WASSERFÜHRUNG DER ZUFLÜSSE

Im Sommer und im Herbst läßt sich eine deutliche Beziehung zwischen der Niederschlagshöhe und der Wasserführung des Riegerbaches erkennen (Abb. 3a, 3b). Auf einen Starkregen folgt mit einer Verzögerung von ein bis zwei Tagen eine Abflußspitze. Nach Rückgang der Niederschlagstätigkeit klingt die Wasserwelle langsam ab. Im Winter wirken sich hohe Niederschläge kaum auf die Wasserführung aus, da die Niederschläge überwiegend in Form von Schnee fallen und so dem Wasserkreislauf vorübergehend entzogen sind, insbesondere in den Hochgebirgsregionen. Im Frühjahr und im Frühsommer (April bis Juni) verursacht die Schneeschmelze eine erhöhte Wasserführung, so daß niederschlagsbedingte Abflußspitzen vom Schmelzwasser überlagert werden.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Bei den Zuflüssen des Wörthersees wird ein verstärkter Abfluß nach ergiebigen Regenfällen dadurch verzögert und abgemindert, daß einige der Zubringer kleine Seebecken durchfließen. Auch die Moore und Feuchtstandorte im Einzugsgebiet retenieren bei starken Regenfällen. Dem Reifnitzbach sind die beiden Seen Hafnersee und Keutschacher See sowie einige Moorflächen im Keutschacher Tal vorgelagert, daher ist seine Wasserführung relativ ausgeglichen (Abb. 4b). Erst nach einer Verzögerung von drei bis neun Tagen, je nach Ergiebigkeit der Niederschläge, folgt auf eine Niederschlagsspitze ein erhöhter Abfluß. Durch Schneeschmelze bedingte starke Wasserführungen, wie sie beim Riegerbach regelmäßig auftreten, werden am Reifnitzbach nicht beobachtet, da das Einzugsgebiet keine Hochgebirgsregionen einschließt und es im Winter nicht zur Ausbildung so hoher Schneedecken kommt wie teilweise im Einzugsgebiet des Millstätter Sees.

Zwischen der Jahressumme des Niederschlags und dem Jahresabfluß läßt sich sowohl am Riegerbach als auch am Reifnitzbach ein klarer Zusammenhang erkennen (Tabellen 6, 7). In Jahren mit höheren Niederschlägen wurden auch größere Abflußspenden gemessen.

6. TEMPERATURVERHÄLTNISSE

Das Temperaturverhalten eines Flusses wird von Ausdehnung, Höhenlage und Sonnenexposition des Einzugsgebietes sowie der Dauer des Wassertransportes aus dem Einzugsgebiet bis zur Meßstelle beeinflußt. Zwischen Temperatur und Zeitablauf besteht eine gute Korrelation, wenn an den

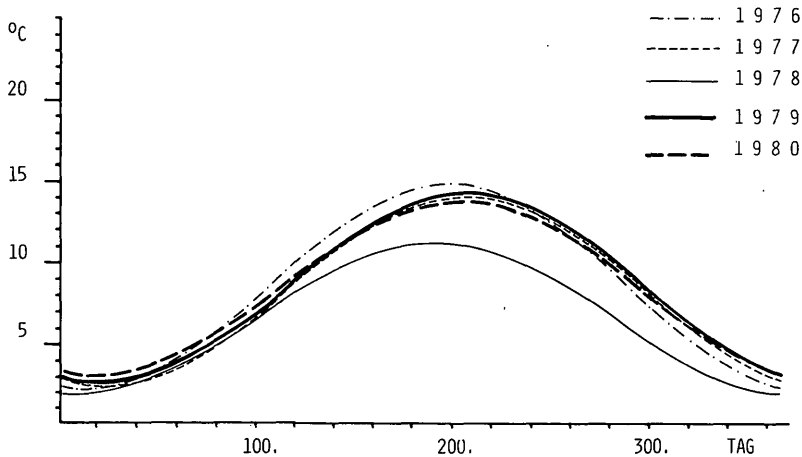

Abb. 5: Temperaturganglinien des Riegerbaches.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

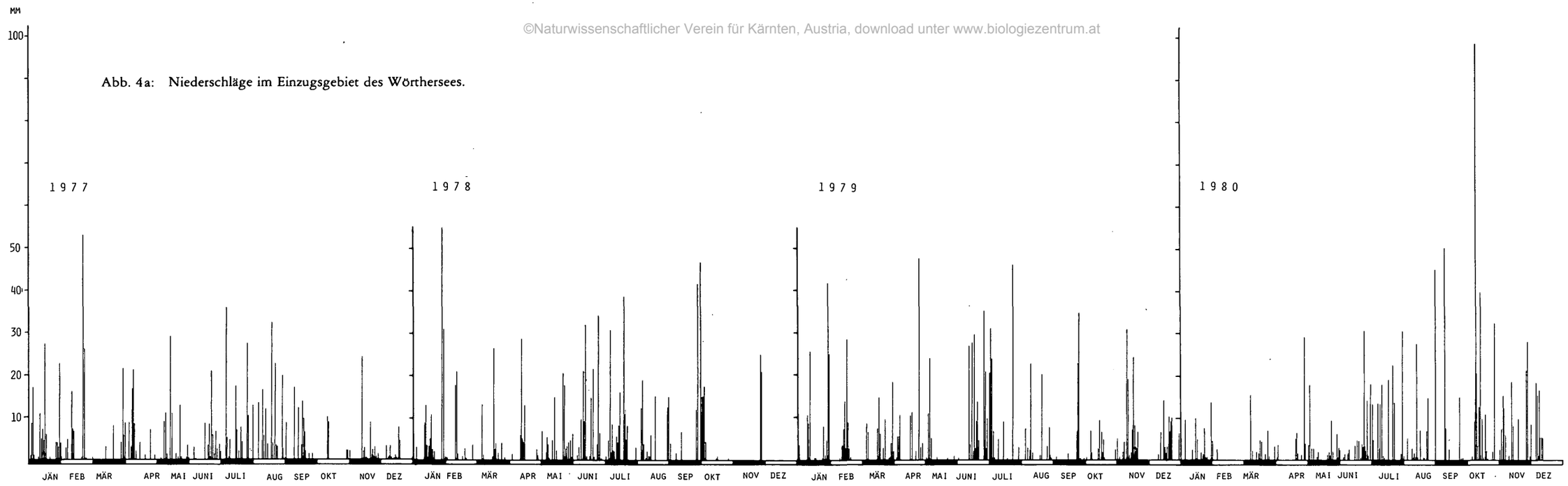

Abb. 4a: Niederschläge im Einzugsgebiet des Wörthersees.

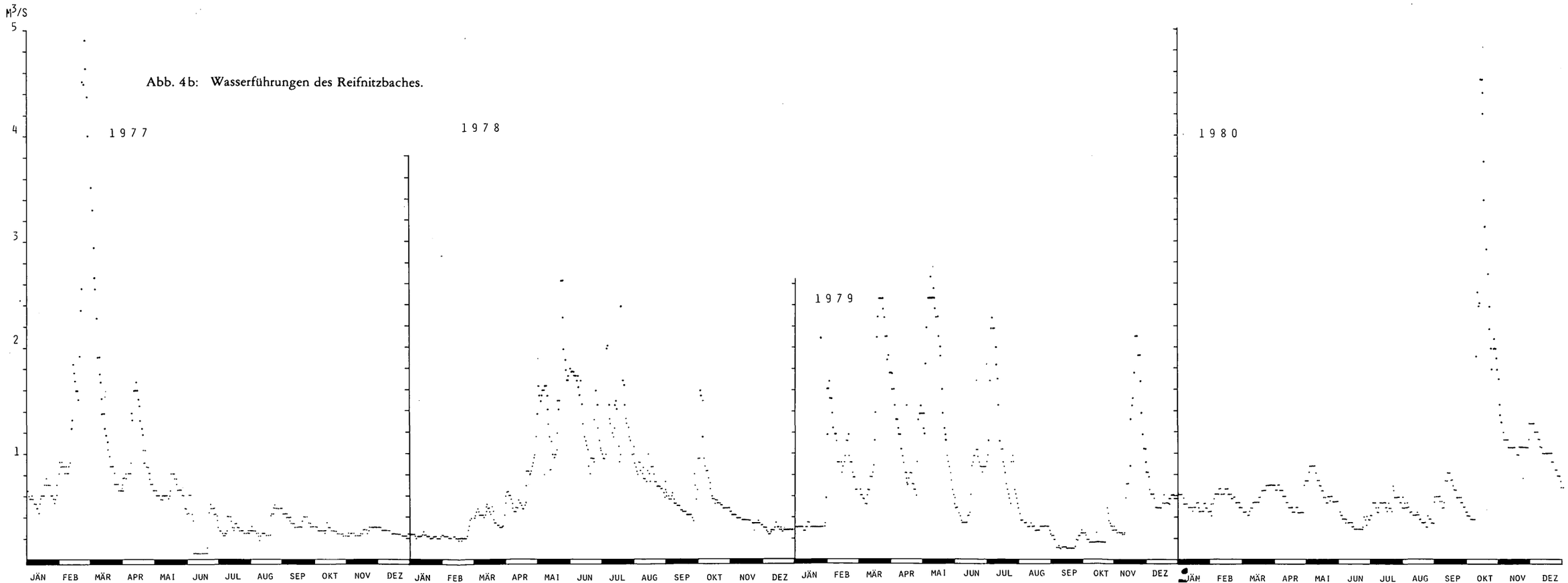

Abb. 4b: Wasserführungen des Reifnitzbaches.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Temperaturgang eine Sinuskurve angepaßt wird (WAGNER, 1978). Für den Riegerbach und den Reifnitzbach ergab sich folgende Funktion (Abb. 5):

$y = a + b \cdot (2 \cdot \pi/365 \cdot (x - c))$

y = Temperatur in °C
x = x-ter Tag im Jahr
a = mittlere Temperatur (°C), um welche die Sinusfunktion schwingt
b = größte Abweichung (°C) von der mittleren Temperatur im Jahresgang
c = zeitliche Verschiebung (in Tagen) des Beginnes der Sinusschwingung

Für den Riegerbach standen regelmäßige Temperaturmessungen aus den Jahren von 1976 bis 1980 zur Verfügung. Der Wendepunkt der Temperaturganglinien lag in diesem Zeitraum zwischen dem 100. und dem 117. Tag, der Temperaturgipfel wurde zwischen dem 191. und dem 208. Tag erreicht.

1976, 1977 und 1980 lagen die Temperaturmaxima bei 18° C, wobei sich der Riegerbach 1980 am langsamsten erwärmte (Abb. 5). 1979 lagen die höchsten Temperaturen bei 15° C. Auffallend niedere Wassertemperaturen wurden 1978 beobachtet, in diesem Jahr erwärmte sich der Riegerbach nicht über 13° C.

Beim Reifnitzbach fällt der Wendepunkt der Temperaturganglinie in den Jahren 1978 bis 1980 in die Zeit zwischen dem 114. und dem 119. Tag im Jahr. Die Temperaturmaxima wurden zwischen dem 205. und dem 210. Tag erreicht (Abb. 6).

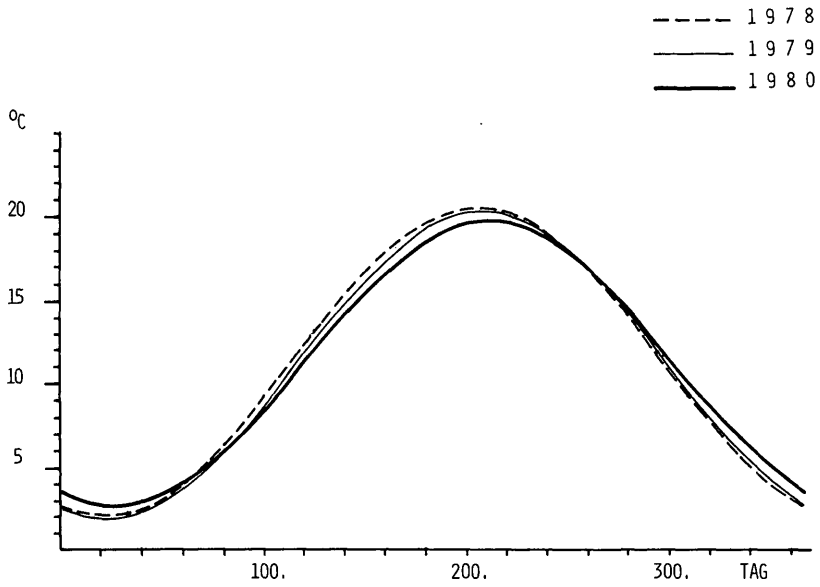

Abb. 6: Temperaturganglinien des Reifnitzbaches.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Die Temperaturganglinien verliefen in den drei Untersuchungsjahren annähernd gleich. Das konstante Temperaturverhalten des Reifnitzbaches ist auf die Pufferwirkung der beiden dem Reifnitzbach vorgeschalteten Seen, Hafnersee und Keutschacher See, zurückzuführen. Auch die hohen Sommertemperaturen, die bis über 20° C ansteigen, sind eine Folge des aus dem Keutschacher See abfließenden warmen Oberflächenwassers.

7. NÄHRSTOFFKONZENTRATIONEN

In der Angabe Gesamt-Phosphor ist die Summe aus gelöstem und partikulärem Phosphor zu verstehen. In dem Parameter gelöster Phosphor sind die Fraktionen Orthophosphat-Phosphor und organisch gelöster Phosphor enthalten. Die Angaben der anorganischen Stickstoffwerte resultieren aus der Summe von Ammonium-Stickstoff und Nitrat-Stickstoff. Nitrit-Stickstoff wurde hier nicht berücksichtigt, da er nur in sehr geringen Konzentrationen nachweisbar war (<10 µg/l).

7.1. MILLSTÄTTER-SEE-ZUBRINGER

Der Riegerbach wurde in den Jahren vor 1974 sehr stark mit Abwässern, insbesondere mit häuslichen Abwässern, belastet. Die hohen Nährstoffkonzentrationen standen im Zusammenhang mit einer massiven Entwicklung des Fremdenverkehrs, die zu einem zunehmenden Abwasseranfall führte. Die Zahl der Nächtigungen im Einzugsgebiet des Millstätter Sees stieg von 1952/53 von 258.900 bis 1970/71 auf 2,818.300 an. Mit fortschreitendem Ausbau der Kanalisation ging die Nährstoffbelastung schrittweise zurück (SAMPL, 1974 und 1975).

Da jetzt nahezu keine Abwässer mehr eingeleitet werden, sind die Gesamt-Phosphor-Konzentrationen des Riegerbaches relativ gering. 1980 wurde eine durchschnittliche Phosphor-Konzentration von 32 µg/l gemessen. Die einzelnen Phosphor-Konzentrationen können im Jahresverlauf erheblich schwanken (Abb. 7a). Die beobachteten Gesamt-Phosphor-Werte lagen 1980 zwischen 10 und 70 µg/l, vereinzelt traten auch Konzentrationen bis zu 190 µg/l auf. Eine deutliche Jahresperiodizität ließ sich nicht erkennen, doch zeigen die Abb. 3b und 7a, daß bei hohen Wasserführungen teilweise auch höhere Gesamt-Phosphor-Konzentrationen auftreten können.

Der Vergleich der 1980 gemessenen Werte mit den Untersuchungsergebnissen der vorangegangenen Jahre zeigt als Folge der Sanierungsmaßnahmen eine Abnahme des Gesamt-Phosphor-Gehaltes von 1973 bis 1980 um 50 Prozent. Vor dem Ausbau der Kanalisation lagen die durchschnittlichen Gesamt-Phosphor-Konzentrationen zwischen 60 und 90 µg/l, derzeit liegen sie bei 32 µg/l. Der außergewöhnlich hohe Phosphor-Gehalt des Jahres 1975 (104 µg/l) ist nicht auf eine größere Abwasserbelastung zurückzuführen, sondern auf eine verstärkte Niederschlagstätigkeit, in

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

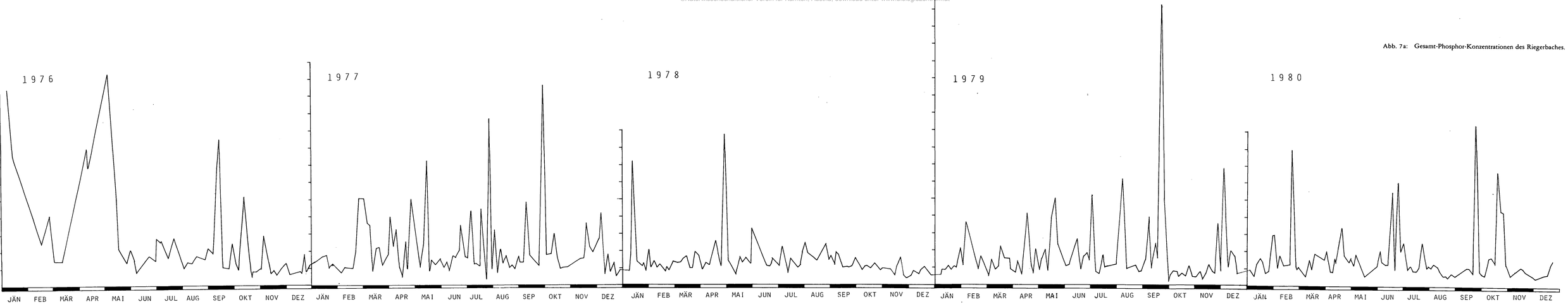

Abb. 7a: Gesamt-Phosphor-Konzentrationen des Riegerbaches.

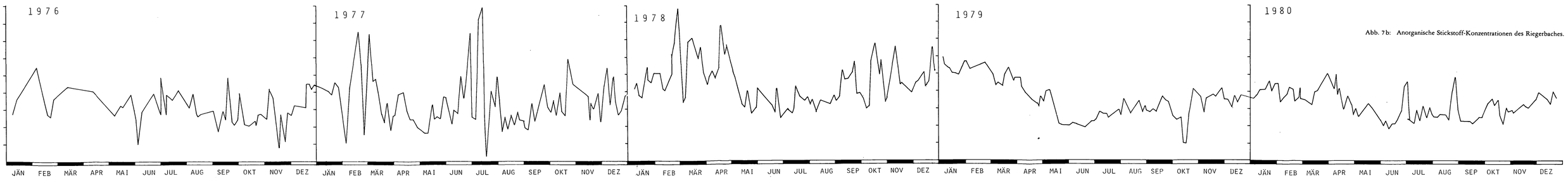

Abb. 7b: Anorganische Stickstoff-Konzentrationen des Riegerbaches.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

deren Folge sehr viel nährstoffreiches organisches Material in Form von partikulärem Phosphor in die Zuflüsse geschwemmt wurde (Tab. 8).

Tabelle 8 : Durchschnittliche Nährstoffkonzentrationen des Riegerbaches (µg/l)

	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
PO_4-P	42	33	17	10	8	7	6	5
P-gelöst		38	25	18	13	12	9	8
P-gesamt	65	85	104	60	48	37	42	32
NO_3-N	632	485	618	564	575	628	559	567
NH_4-N	401	195	108	73	86	183	69	88

Die mit den Abwässern eingebrachten Phosphor-Verbindungen liegen überwiegend als Orthophosphat vor, daher ist die Veränderung der Orthophosphat-P-Konzentrationen ein guter Indikator für die Auswirkungen der Sanierungsmaßnahmen. Vor Ausbau der Kanalisation, im Jahr 1973, wurden noch durchschnittlich 65 Prozent des Gesamt-Phosphor-Gehaltes des Riegerbaches als Orthophosphat eingetragen. Die durchschnittliche Konzentration von Orthophosphat-P betrug 42 µg/l. Bis zum Jahr 1980 sank der Gehalt kontinuierlich bis auf durchschnittlich 5 µg/l ab. Entsprechend wurde auch eine Abnahme des Anteiles am Gesamt-Phosphor-Gehalt von 65 Prozent auf 10 Prozent beobachtet (Tab. 8).

Bedingt durch die Verminderung der Orthophosphat-Belastung, sanken die gelösten Phosphor-Konzentrationen des Riegerbaches von 1974 von durchschnittlich 38 µg/l bis zum Jahr 1980 auf durchschnittlich 8 µg/l ab (Tabelle 8).

Da häusliche Abwässer große Mengen Ammonium-Stickstoff enthalten, kann auch die Ammonium-N-Konzentration als Maß für die Abwässerbelastung des Riegerbaches herangezogen werden. Vor Ausbau der Kanalisation (1973) war die durchschnittliche Ammonium-Stickstoff-Konzentration mit 401 µg/l relativ hoch. Der Anteil am anorganischen Stickstoff-Gehalt betrug 71 Prozent. Bereits nach Anschluß der Marktgemeinde Radenthein an die Kanalisation (1974) ging die Ammonium-N-Konzentration des Riegerbaches schlagartig zurück (Tabelle 8). Derzeit weist der Riegerbach eine durchschnittliche Ammonium-Stickstoff-Konzentration von 70 bis 90 µg/l auf, der Anteil am anorganischen Stickstoff betrug 1980 nur noch 40 Prozent. Ammonium-Konzentrationen unter 100 µg/l, wie sie derzeit im Riegerbach auftreten, sind gering und zeigen, daß der Bach kaum mehr mit Abwasser belastet wird.

Innerhalb eines Jahres können die Ammonium-Stickstoff-Konzentrationen des Riegerbaches beachtlich schwanken. In der Regel wurden Werte zwischen 10 und 200 µg/l gemessen, vereinzelt traten jedoch Konzentra-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

tionen bis zu 500 µg/l auf. Extrem starke Schwankungen wurden 1978 beobachtet, in diesem Jahr pendelten die Ammonium-N-Werte zwischen 20 und 450 µg/l, vereinzelt traten Spitzen bis zu 800 µg/l auf.

Die maximalen Konzentrationen an Ammonium-Stickstoff traten häufig im Winter oder nach längeren Trockenperioden auf, in Monaten, in denen die Wasserführung des Riegerbaches gering war. Bei ansteigender Wasserfracht war ein Verdünnungseffekt zu beobachten. Die geringsten Ammonium-Stickstoff-Konzentrationen wurden meist in den Monaten mit den höchsten Wasserfrachten beobachtet.

Die Nitrat-Stickstoff-Konzentrationen waren während der gesamten Untersuchungsperiode relativ ausgeglichen. Die Jahresdurchschnittswerte lagen zwischen 485 und 632 µg/l und waren somit, auch mit den anderen Zubringern des Millstätter Sees und des Wörthersees verglichen, auffallend niedrig.

Die aus der Summe des Nitrat-N und Ammonium-N berechneten anorganischen Stickstoff-Konzentrationen, die im wesentlichen durch den Nitrat-Stickstoff bestimmt werden, lagen 1973, vor Anschluß der ersten Siedlungen an die Kanalisation, bei 1000 µg/l. Nach dem Anschluß sanken sie, bedingt durch den Rückgang der Ammonium-Stickstoff-Belastung, auf 600 µg/l ab (Tabelle 8).

Entsprechend den Ammonium- und Nitrat-Stickstoff-Konzentrationen kam es bei höheren Wasserführungen zu einer Verdünnung des anorganischen Stickstoffes. So wurden meist in den Monaten, in denen die Wasserführungen des Riegerbaches am höchsten waren, die geringsten anorganischen Stickstoffkonzentrationen gemessen. 1976 traten – verglichen mit den anderen Untersuchungsjahren – keine ausgeprägten Konzentrationsspitzen auf, entsprechend waren auch die Schwankungen der anorganischen Stickstoff-Konzentrationen gering. 1977 wurden die höchsten Monatswasserfrachten und die niedersten Konzentrationen in der Zeit von März bis Mai beobachtet, 1978 von Mai bis August, und 1979 und 1980 von Mai bis Juli (Abb. 7b).

Die Nährstoff-Konzentrationen des Riegerbaches, die 1980 mit durchschnittlich 32 µg/l P-total, 8 µg/l P-gelöst, 5 µg/l PO_4-P, 600 µg/l Nitrat-N und 100 µg/l Ammonium-N gemessen wurden, können mit Untersuchungsergebnissen von NUSCH (1975) aus einem überwiegend bewaldeten Einzugsgebiet der Wahnbachtalsperre verglichen werden. Er fand für ein Einzugsgebiet mit 70 Prozent Wald und 30 Prozent Wiese und Ackerfläche, das nur dünn besiedelt war, durchschnittliche Gesamt-Phosphor-Konzentrationen von 29 µg/l, Nitrat-Stickstoff-Konzentrationen von 1400 µg/l und Ammonium-Stickstoff-Konzentrationen von 140 µg/l. Im Einzugsgebiet des Riegerbaches sind nur 38 Prozent des Areals waldbestanden, mehr als die Hälfte der Fläche wird als Grünland, allerdings überwiegend für extensive Weidewirtschaft, genutzt. Die intensive land-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

wirtschaftliche Nutzung spielt eine untergeordnete Rolle. Dies zeigen auch die relativ geringen Nitrat-Konzentrationen. Die Siedlungen im Einzugsgebiet des Riegerbaches scheinen die Nährstoffkonzentrationen kaum mehr zu beeinflussen, da der Ammonium-Stickstoff-Gehalt und der Gesamt-Phosphor-Gehalt niedrig sind.

Obwohl an den kleineren Zubringern des Millstätter Sees nur stichprobenartige Untersuchungen der Nährstoffkonzentrationen durchgeführt wurden, zeigten sich doch deutliche Unterschiede zwischen den Bächen und ermöglichten Rückschlüsse auf die Bodennutzung der Einzugsgebiete und den Grad der Abwasserbelastung der Gewässer. Da nur stichprobenartige Messungen durchgeführt wurden, werden hier keine Durchschnittskonzentrationen, sondern der gesamte beobachtete Meßbereich angegeben.

Der Glanzer Bach, der als Waldbach bezeichnet werden kann, da sein Einzugsgebiet überwiegend waldbestanden und nur schwach besiedelt ist, weist die geringsten Nährstoff-Konzentrationen auf. Die Gesamt-Phosphor-Werte lagen während des Untersuchungszeitraumes von 1976–1980 zwischen 5 und 25 µg/l, die P-gelöst-Konzentrationen zwischen 3 und 15 µg/l und die Orthophosphat-P-Konzentrationen unter 10 µg/l. Auch die anorganischen Stickstoffkonzentrationen mit durchschnittlich 600 µg/l, davon lagen 90 Prozent als Nitrat-Stickstoff und 10 Prozent als Ammonium-Stickstoff vor, geben keinen Hinweis auf eine Belastung durch häusliche Abwässer, landwirtschaftliche Betriebswässer oder intensive landwirtschaftliche Nutzung (Tabelle 9).

Die gefundenen Werte sind vergleichbar mit der von Nusch (1975) allgemein für Waldbäche im Gebiet der Wahnbachtalsperre ermittelten Grundlast. Er gibt für Waldbäche eine durchschnittliche Ammonium-N-Konzentration von 30 bis 150 µg/l, eine Nitrat-Konzentration von 700 bis 2000 µg/l und eine Gesamtphosphor-Konzentration von 7 bis 28 µg/l an.

Niedrige Nährstoffkonzentrationen wurden auch am Riegenbach beobachtet. Der Riegenbach entspringt auf der Millstätter Alpe in etwa 1900 m Höhe. Er sammelt zunächst das Oberflächenwasser einer großen Alm und durchfließt dann eine bewaldete Schlucht. Erst kurz vor der Mündung in den Millstätter See berührt er auf einer kurzen Fließstrecke Siedlungsgebiet, das jedoch 1977 an die Kanalisation angeschlossen wurde. Auch der Riegenbach kann somit als Gewässer bezeichnet werden, das ausschließlich natürliche Grundlast führt.

Die am Riegenbach gemessenen Gesamt-Phosphor-Konzentrationen lagen zwischen 6 und 20 µg/l, die P-gelöst-Konzentrationen zwischen 3 und 16 µg/l und die Orthophosphat-P-Konzentrationen zwischen 1 und 13 µg/l. Der Gehalt an anorganischem Stickstoff war kleiner als 1000 µg/l, davon waren 94 Prozent als Nitrat-Stickstoff und 6 Prozent als Ammonium-Stickstoff gebunden (Tabelle 9).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Als Beispiel für einen Bach mit gemischtem Einzugsgebiet, das je zur Hälfte land- und forstwirtschaftlich genutzt wird, wobei sich die landwirtschaftliche Nutzung vorwiegend auf Grünlandnutzung beschränkt, und das größere Siedlungen enthält, die während des Untersuchungszeitraumes an die Kanalisation angeschlossen wurden (Seeboden 1977) ist der Gießbach zu nennen. 1976 lagen die Gesamt-Phosphor-Konzentrationen noch zwischen 45 und 283 µg/l, 1979 wurden Werte zwischen 20–120 µg/l gemessen. Vor Ausbau der Kanalisation traten zum Teil P-gelöst-Konzentrationen bis 264 µg/l, nach Sanierung der Siedlungsschwerpunkte Gehalte von 10–30 µg/l auf. Auch die Ammonium-Stickstoff-Gehalte sanken in diesem Zeitraum ab. 1976 wurden Werte bis zu 213 µg/l gemessen, 1979 lagen die Konzentrationen zwischen 90 und 110 µg/l. Die Nitrat-Stickstoff-Gehalte lagen während des Untersuchungszeitraumes bei 900 µg/l (Tabelle 9).

Der Pöllandbach oder Pesentheiner Bach, der Burgstallerbach, der Laubendorfer Bach sowie der Görtschacher Bach haben gemischte Einzugsgebiete, die zu 67 Prozent waldbestanden und zu 28 Prozent als Grünland genutzt werden. Der Ackerbau spielt eine untergeordnete Rolle (fünf Prozent); die Siedlungen in den Einzugsgebieten sind nahezu alle an die Kanalisation angeschlossen.

Die Gesamt-Phosphor-Konzentrationen lagen bei diesen Bächen zwischen 15 und 90 µg/l, die gelöst-Phosphor-Konzentrationen zwischen 6 und 54 µg/l und die Orthophosphat-Konzentrationen zwischen 3 und 23 µg/l. Nitrat-Stickstoff-Konzentrationen wurden zwischen 1300 und 1700 µg/l gemessen. Die Ammonium-Stickstoff-Gehalte lagen stets unter 100 µg/l (Tabelle 9).

Das Einzugsgebiet des Wirlsdorfer Baches ist noch nicht vollständig an die Kanalisation angeschlossen, es traten daher deutlich höhere Gesamt-Phosphor-Konzentrationen (100 bis 130 µg/l) auf als bei Bächen, deren Einzugsgebiete vollständig saniert wurden (Tabelle 9). Die Nutzung dieses Einzugsgebietes entspricht der des Gießbaches mit 7 Prozent Ackerland, 53 Prozent Grünland und 40 Prozent Wald.

Die höchsten Gesamt-Phosphor-Konzentrationen unter den Millstätter-See-Zuflüssen wies der Matzelsdorfer Bach auf. Die gemessenen Konzentrationen lagen zwischen 15 und 141 µg/l. Die kurzfristig erhöhten Gesamt-Phosphor-Gehalte zeigen die Belastung durch häusliche Abwässer an, denn die Siedlungen am Matzelsdorfer Bach wurden bisher noch nicht an die Kanalisation angeschlossen. Eine – verglichen mit den anderen Millstätter-See-Zubringern – erhöhte Nitrat-Konzentration (2000 µg/l) läßt auf eine intensivere Nutzung durch die Landwirtschaft schließen (Tabelle 9).

Tabelle 9: Nährstoffkonzentrationen der Millstätter See-Zubringer (für den Riegerbach wurden die Meßwerte des Jahres 1980 angegeben, für die kleinere Zubringer der gesamte Meßbereich).

Zubringer	P_{total} µg/l	$P_{gelöst}$ µg/l	PO_4-P µg/l	NO_3-N µg/l	NH_4-N µg/l	$N_{anorganisch}$ µg/l	Prozentant. NO_3-N %
Riegerbach	32	8	5	600	100	700	86
Glanzerbach	10 - 15	4 - 13	3 - 7	500	60	560	90
Matzelsdorferbach	15 -141	8 - 58	3 -51	2000	100	2100	95
Pöllandbach	20 - 90	6 - 19	3 -10	1300	100	1400	92
Riegenbach	6 - 20	3 -16	1 -13	900	60	960	94
Burgstallerbach und Laubendorferbach	15 - 76	11 -54	4 -22	1700	70	1770	96
Gießbach	120 - 20	10 -30	10 -20	900	90	990	91
Wirlsdorferbach	100 -130	50 -100	40	1300	100	1400	92
Obermillstätterbach	70 -90	15 -40	10 -30	1200	100	1300	92
Görtschacherbach	20 -50	10 -15	3 -12	1000	60	1060	94

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

7.2 WÖRTHERSEE-ZUBRINGER

Die Wörthersee-Zuflüsse werden derzeit noch wesentlich stärker mit häuslichen Abwässern belastet als die Millstätter-See-Zuflüsse, da die Siedlungen im Einzugsgebiet des Wörthersees in weit geringerem Maße an Abwasserbeseitigungsanlagen angeschlossen wurden als die im Einzugsgebiet des Millstätter Sees. Darüber hinaus weist das Wörthersee-Einzugsgebiet eine größere Bevölkerungsdichte auf, und auch die Belastung durch den Fremdenverkehr, bezieht man die jährlichen Nächtigungszahlen auf die Fläche des Einzugsgebietes (Tabelle 3), ist deutlich höher als am Millstätter See. Im Einzugsgebiet des Wörthersees gelangen die Nährstoffe aus den häuslichen Abwässern zum Teil über Sickeranlagen und unzureichend gewartete Hauskläranlagen diffus in die Gewässer und führen zu einer erhöhten Nährstoffkonzentration.

Der Mühlbach, der Kropfitschbach und der Römerbach scheinen von den Wörthersee-Zubringern am stärksten mit häuslichen Abwässern belastet zu werden. Sie wiesen die höchsten Gesamt-Phosphor-Konzentrationen mit durchschnittlich 70 bis 74 µg/l auf (Tabelle 10). Auch die Gehalte an gelöstem Phosphor waren mit durchschnittlich 22 bis 44 µg/l größer als in anderen Zuflüssen. Auffallend hohe Ammonium-Stickstoff-Konzentrationen wurden am Kropfitschbach mit durchschnittlich 145 µg/l gemessen.

Auch der Reifnitzbach wird auf seiner kurzen Fließstrecke (2,3 km) zwischen dem Keutschacher See und dem Wörthersee nicht unbeträchtlich mit Phosphor belastet, obwohl die vor der Mündung des Wörthersees gelegene Ortschaft Reifnitz bereits 1978 zu 70 Prozent an die Kanalisation angeschlossen wurde. Während die P-total-Konzentrationen beim Ausrinn aus dem Keutschacher See 1980 bei durchschnittlich 14 µg/l lagen, wurde bei der Mündung eine Phosphorkonzentration von 56 µg/l gemessen, hiervon lagen 43 Prozent in gelöster Form vor (Tabelle 10).

Die Siedlungen im Einzugsgebiet des Reifnitzbaches, die oberhalb des Keutschacher Sees liegen, stellen für den Bach keine Belastung dar, da der Hafnersee und der Keutschacher See vorgeschaltet sind, die als Vorklärbecken dienen. Die Nährstoffkonzentrationen des aus dem Keutschacher See ausfließenden Wassers sind entsprechend niedrig.

Die Gesamt-Phosphor-Konzentrationen des Reifnitzbaches vor der Mündung in den Wörthersee schwankten im Untersuchungszeitraum von 1977 bis 1980 zwischen 10 und 60 µg/l. Darüber hinaus traten vereinzelt Spitzenwerte bis zu 200 µg/l (1979) und 120 µg/l (1980) auf. Der Kurvenverlauf von Abbildung 8a läßt keine Jahresperiodizität und keinen Zusammenhang zwischen Niederschlägen oder Wasserführung und Konzentration erkennen. Möglicherweise zeigen die Konzentrationsspitzen kurzzeitige Belastungen an, sie werden jedoch kaum durch zeitlich aufeinanderfolgende Messungen gestützt.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

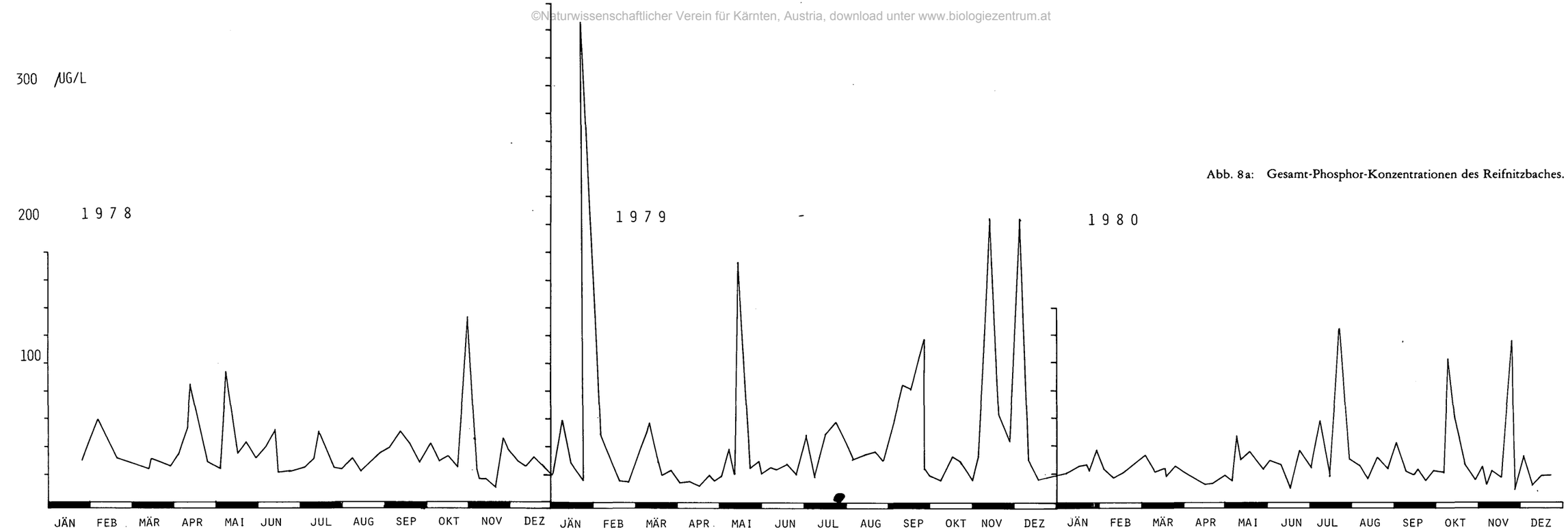

Abb. 8a: Gesamt-Phosphor-Konzentrationen des Reifnitzbaches.

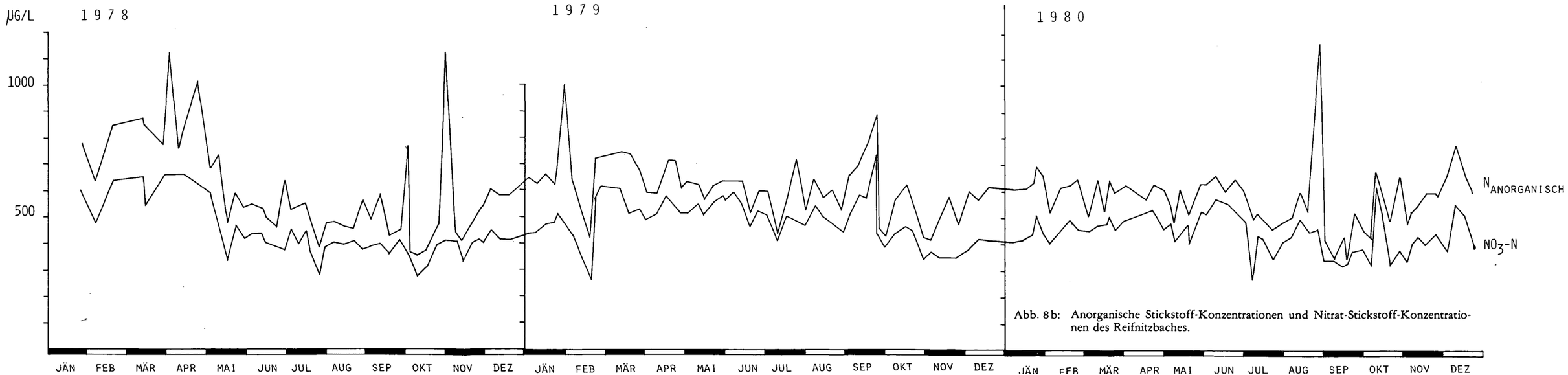

Abb. 8b: Anorganische Stickstoff-Konzentrationen und Nitrat-Stickstoff-Konzentrationen des Reifnitzbaches.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 10 : Nährstoffkonzentrationen der Wörthersee-Zubringer (198o).

Zubringer	P_{total} µg/l	$P_{gelöst}$ µg/l	PO_4-P µg/l	NO_3-N µg/l	NH_4-N µg/l	$N_{anorgan.}$ µg/l	Prozentant. NO_3-N %
Reifnitzbach	56	24	1o	6oo	15o	75o	8o
Rajachbach	12	5	3	213o	7o	22oo	97
Damtschacherbach	57	23	18	122o	8o	13oo	94
Röm erbach	76	44	39	148o	6o	154o	96
Pirkerbach	7o	13	1o	2245	92	23oo	97
Mühlbach	74	22	18	1271	9o	14oo	93
Sekirnbach	36	7	4	54o	1oo	64o	86
Kropfitschbach	7o	29	24	19oo	15o	2o5o	97
Töschlingbach	36	17	15	14oo	1oo	15oo	94
Postbach	48	15	11	16oo	1oo	17oo	96
Auenbach	58	31	28	13oo	1oo	14oo	94
Bach bei Saag	28	15	13	45o	7o	52o	86

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Die Langzeitentwicklung von 1977 bis 1980 zeigt noch keinen Rückgang der Gesamt-Phosphor-Konzentration (Tabelle 11), obwohl bereits 1978 70 Prozent aller Haushalte und Betriebe im Einzugsgebiet an die Kanalisation angeschlossen wurden.

Die Konzentration an anorganischem Stickstoff des Reifnitzbaches wird im wesentlichen von der Nitrat-Stickstoff-Konzentration bestimmt, deren Anteil am anorganischen Stickstoff durchschnittlich 80 Prozent beträgt. Die im Zeitraum von 1977 bis 1980 gemessenen Werte lagen zwischen 300 µg/l und 800 µg/l, vereinzelt traten Konzentrationen bis zu 1200 µg/l auf (Abb. 8b). Auch die Nitrat-Stickstoffwerte zeigten keinen eindeutigen Jahresgang oder eine Beziehung zu Niederschlag und Wasserführung.

Die vorliegenden Ammonium-Stickstoff-Messungen erbrachten stets Konzentrationen unter 200 µg/l. Es wurde ein leichter Trend zu höheren Gehalten während der Wintermonate beobachtet (Abb. 8b). Als Ursache hiefür wird die im Winter geringere Wasserführung des Reifnitzbaches angenommen.

Auf eine gegenüber den anderen Einzugsgebieten der Wörthersee-Zubringer intensivere landwirtschaftliche Nutzung, wie sie bereits bei der Beschreibung der Nutzflächen festgehalten wurde (Tabelle 2), lassen die Nährstoffuntersuchungen des Rajachbaches (54 Prozent landwirtschaftliche Nutzfläche) und des Pirker Baches (61 Prozent landwirtschaftliche

Tabelle 11 : Durchschnittliche Gesamtphosphor-Konzentrationen (µg/l) der Wörthersee-Zuflüsse.

	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Reifnitzbach	28	25	46	40	56	29
Rajachbach	15	12	13	12	13	12
Damtschacher Bach	63	27	39	55	51	57
Römerbach						76
Pirkerbach	58	46	41	43	57	70
Mühlbach	84	48	40	57	58	74
Sekirner Bach	65	20	43	66	37	36
Kropfitschbach			150	81	124	70
Töschlingbach	98	32	47	68	44	36
Postbach						48
Auenbach						58
Bach bei Saag						28

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Nutzfläche) schließen. An beiden Zubringern wurden durchschnittliche Nitrat-Stickstoff-Konzentrationen über 2000 µg/l gemessen (Tabelle 10). Der Anteil des Nitrat-Stickstoffs am anorganischen Stickstoff betrug bei diesen Bächen 97 Prozent.

Während der Pirker Bach mit durchschnittlich 70 µg/l und Spitzenwerten bis zu 100 µg/l relativ hohe Gesamt-Phosphor-Konzentrationen aufwies, davon allerdings 81 Prozent in partikulärer Form, war der Rajachbach mit durchschnittlich 12 µg/l auffallend phosphorarm. Auch die Maximalwerte des Rajachbaches lagen stets unter 20 µg/l. Die niederen Phosphor-Konzentrationen sind u. a. auf die klärende Wirkung des Bäckerteiches zurückzuführen, der vom Rajachbach 0,8 km vor der Mündung durchflossen wird.

Die geringsten Nährstoffkonzentrationen wurden im Bach bei Saag (durchschnittlich 28 µg/l P-total und 500 µg/l anorganischer Stickstoff) und im Sekirnbach (durchschnittlich 36 µg/l P-total und 700 µg/l anorganischer Stickstoff) (Tabelle 10) gemessen. Im Sekirnbach lag der Gesamtphosphor vorwiegend als partikulärer Phosphor (80 Prozent) vor. Es wird angenommen, daß dieser relativ hohe Gehalt an partikulärem Phosphor durch erhöhte Erosion und Einschwemmung organischer Partikel hervorgerufen wird, da die Fließstrecke des Sekirnbaches durch ein starkes Gefälle und ihre bewaldeten Ufer charakterisiert ist.

Vergleicht man die Ergebnisse der Nährstoffuntersuchungen der Wörthersee-Zuflüsse untereinander, so kann zusammenfassend gesagt werden, daß bis zum Jahr 1980 bei allen Bächen, abgesehen vom Rajachbach, immer noch eine Nährstoffbelastung durch häusliche Abwässer vorliegt, die insbesondere vom Fremdenverkehr beeinflußt wird.

In Tabelle 12 sind die Jahresdurchschnittswerte der Gesamt-Phosphor-Konzentrationen sowie die Mittelwerte des Sommerhalbjahres und des

Tab. 12: Durchschnittliche Gesamt-Phosphor-Konzentrationen der Wörthersee-Zubringer im Sommer- und im Winterhalbjahr 1980 (in µg/l).

Zubringer	Winter-Hj.	Sommer-Hj.	Jahr
Reifnitzbach	29	29	29
Rajachbach	10	14	12
Damtschacher Bach	40	74	57
Römerbach	70	82	76
Pirker Bach	39	101	70
Mühlbach	66	81	74
Sekirnbach	27	47	37
Kropfitschbach	51	89	70
Töschlingbach	39	33	36
Postbach	32	64	48
Auenbach	27	89	58
Bach bei Saag	19	37	28

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Winterhalbjahres 1980 zusammengestellt. Abgesehen vom Reifnitzbach, vom Töschlingbach und vom Rajachbach wiesen alle Bäche im Sommerhalbjahr wesentlich höhere Phosphor-Konzentrationen auf als im Winterhalbjahr. Die Sommerwerte waren zum Teil mehr als doppelt so hoch wie die Winterwerte.

Obwohl während der Untersuchungsperiode von 1976 bis 1980 die Siedlungen im Einzugsgebiet des Wörthersees schrittweise kanalisiert wurden (Tabelle 5), zeichnete sich bisher noch keine Verbesserung der Nährstoffkonzentrationen ab. Dies ist sicherlich darauf zurückzuführen, daß 1978 insgesamt erst 60 Prozent aller Haushalte und Fremdenverkehrsbetriebe und bis 1980 erst 80 Prozent an die Kanalisation angeschlossen wurden. Wahrscheinlich haben sich auch im Boden, bedingt durch die jahrzehntelange Abwasserversickerung, große Mengen an Nährstoffen angereichert, die erst allmählich wieder ausgeschwemmt werden.

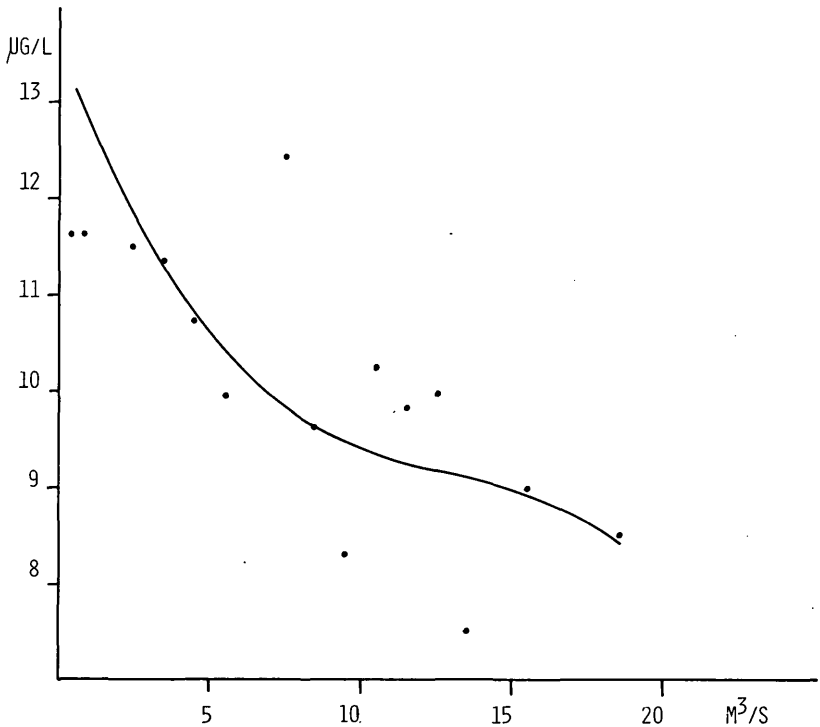

Abb. 9: Beziehung zwischen Wasserführung und gelöstem Phosphor (Konzentration) im Riegerbach (1976–1979).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

8. BEZIEHUNG ZWISCHEN WASSERFÜHRUNG UND KONZENTRATION DER NÄHRSTOFFE

Es wurde versucht, mit Hilfe einfacher polynomer Regressionen eine Beziehung zwischen der Wasserführung und den Nährstoffkonzentrationen zu finden und festzustellen, ob eine Zunahme der Wasserführung eine Verdünnung der Nährstoffe oder eine Konzentrationserhöhung durch Ausschwemmung verursacht oder ob die Nährstoffkonzentrationen durch die Wasserführung nicht beeinflußt werden.

Da die vorliegenden Wertpaare sehr inhomogen waren, wurden sie nach ihrer Wasserführung in Klassen eingeteilt und von den Konzentrationen innerhalb der Klassen ein Mittelwert gebildet. Ein möglicher Zusammenhang zwischen den Klassenmitteln der Wasserführung und den Mittelwerten der Konzentration an Gesamt-Phosphor, gelöstem Phosphor, partikulärem Phosphor und anorganischem Stickstoff wurde mit einer polynomen Regression dritten Grades geprüft.

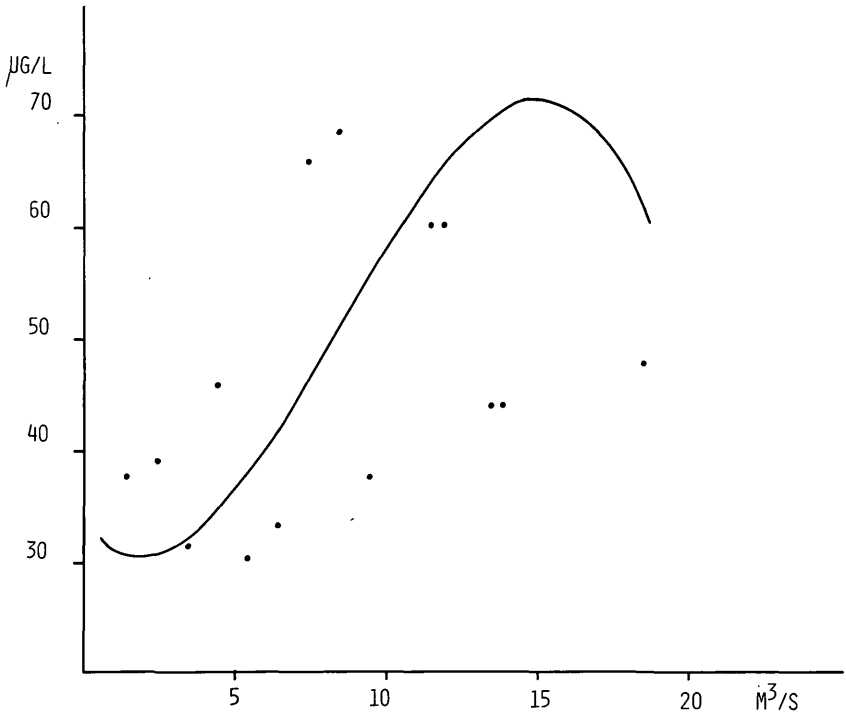

Abb. 10: Beziehung zwischen Wasserführung und partikulärem Phosphor (Konzentration) im Riegerbach (1976–1979).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

8.1 Riegerbach

Die Konzentrationen an P-gelöst des Riegerbaches nehmen mit steigendem Abfluß durch Verdünnung ab (Abb. 9). Der partikuläre Phosphor zeigt eine gegenläufige Beziehung. Bei niederer Wasserführung ist auch die Konzentration an P-partikulär gering und steigt mit zunehmender Wasserführung, bedingt durch Ausschwemmung und Erosion phosphorhaltiger Partikel, an (Abb. 10). Auf Grund des weit höheren Anteiles von partikulärem Phosphor am Gesamt-Phosphor gegenüber der gelösten Phosphor-Fraktion bestimmt der partikuläre Phosphor auch die Beziehung zwischen Wasserführung und Gesamt-Phosphor-Konzentration (Abb. 11). Der anorganische Stickstoff verhält sich wie der gelöste Phosphor, die Konzentrationen sinken mit steigender Wasserführung (Abb. 12).

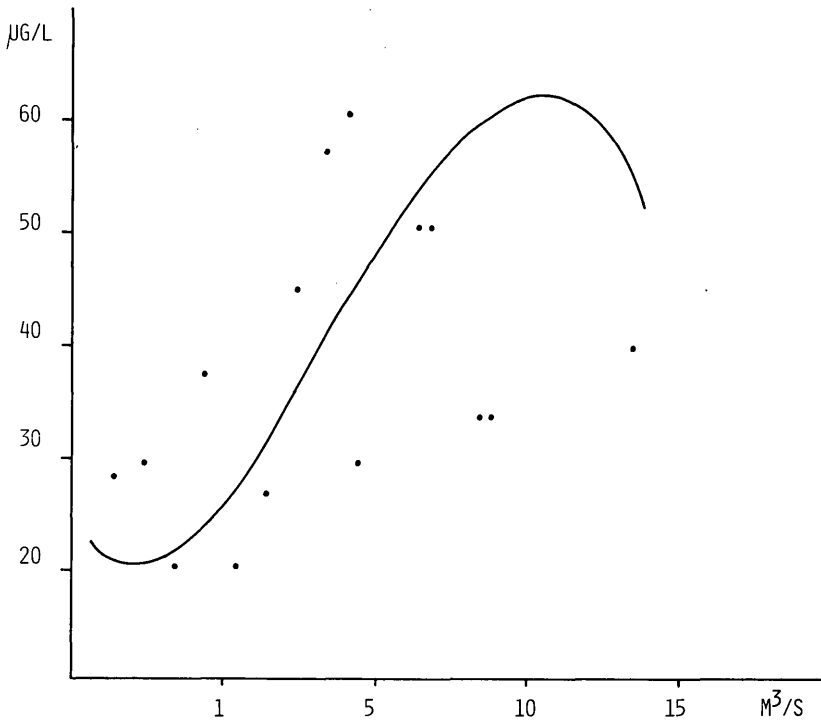

Abb. 11: Beziehung zwischen Wasserführung und Gesamtphosphor-Konzentration im Riegerbach (1976–1979).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

8.2 Reifnitzbach

Die gelösten Phosphor-Konzentrationen des Reifnitzbaches werden wie auch die des Riegerbaches bei ansteigender Wasserführung verdünnt (Abb. 13). Die Gesamt-Phosphor-Konzentrationen zeigten im Gegensatz zum Riegerbach bei zunehmendem Abfluß ebenfalls eine Abnahme (Abb. 14). Das Einzugsgebiet, in dem der Reifnitzbach Nährstoffe aufnehmen kann, ist sehr klein, daher ist auch die Phosphor-Menge, die er auf der kurzen Fließstrecke vom Keutschacher See zum Wörthersee aufnimmt, relativ konstant. Eine Erosion phosphorhaltiger Partikel tritt nur in geringem Maße auf. Bei hoher Wasserführung erhält der Bach überwiegend nährstoffarmes Wasser aus dem Epilimnion des Keutschacher Sees, das die vorhandene Phosphor-Menge verdünnt. Sowohl beim partikulären Phosphor, dem Nitrat-Stickstoff, als auch beim anorganischen Stickstoff waren die erhobenen Werte so inhomogen, daß keine Beziehung zwischen der Wasserführung und der Konzentration erkennbar war.

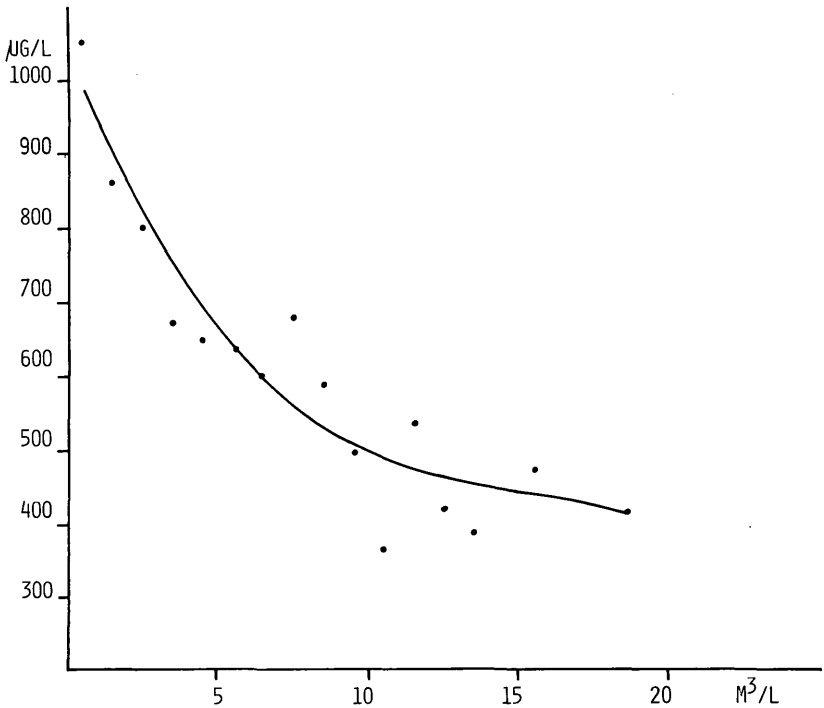

Abb. 12: Beziehung zwischen Wasserführung und anorganischem Stickstoff (Konzentration) im Riegerbach (1976–1979).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

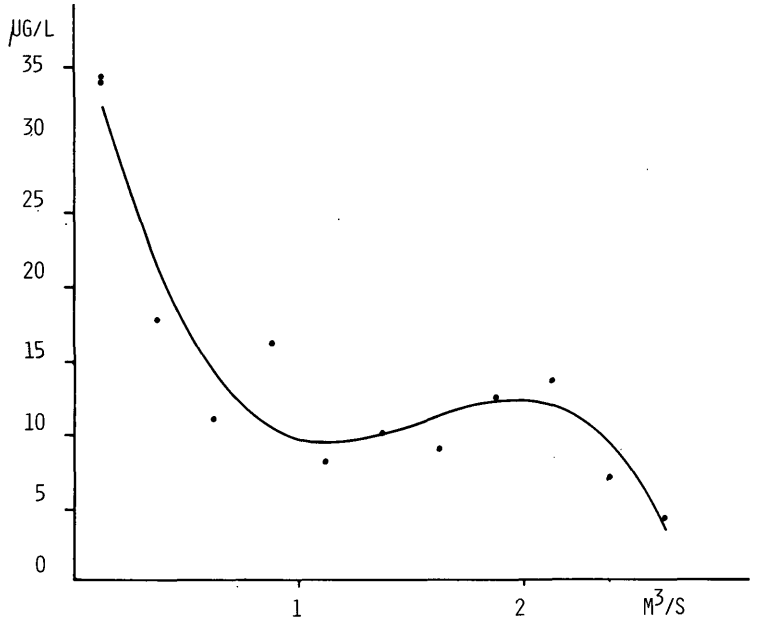

Abb. 13: Beziehung zwischen Wasserführung und gelöstem Phosphor (Konzentration) im Reifnitzbach (1978–1979).

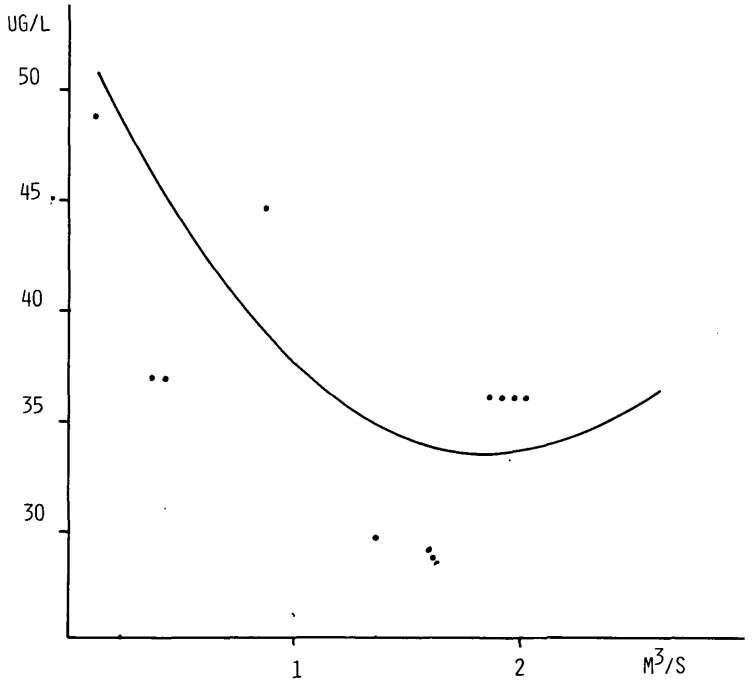

Abb. 14: Beziehung zwischen Wasserführung und Gesamt-Phosphor-Konzentration im Reifnitzbach (1978–1979).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

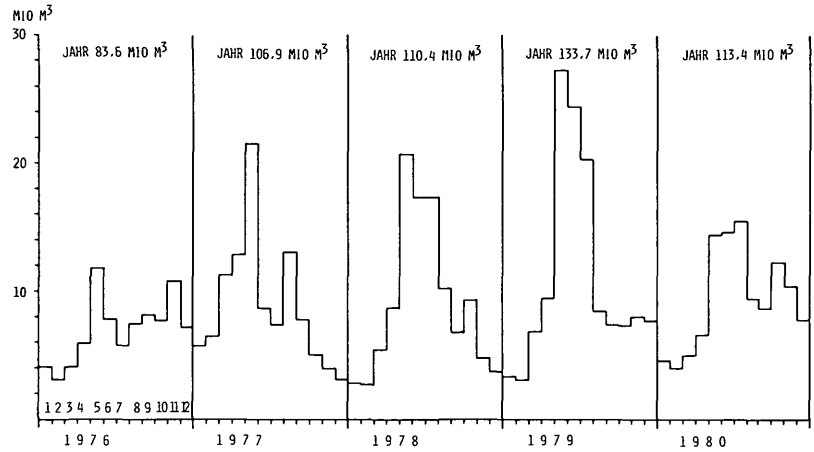

Abb. 15a: Monatswasserfrachten des Riegerbaches.

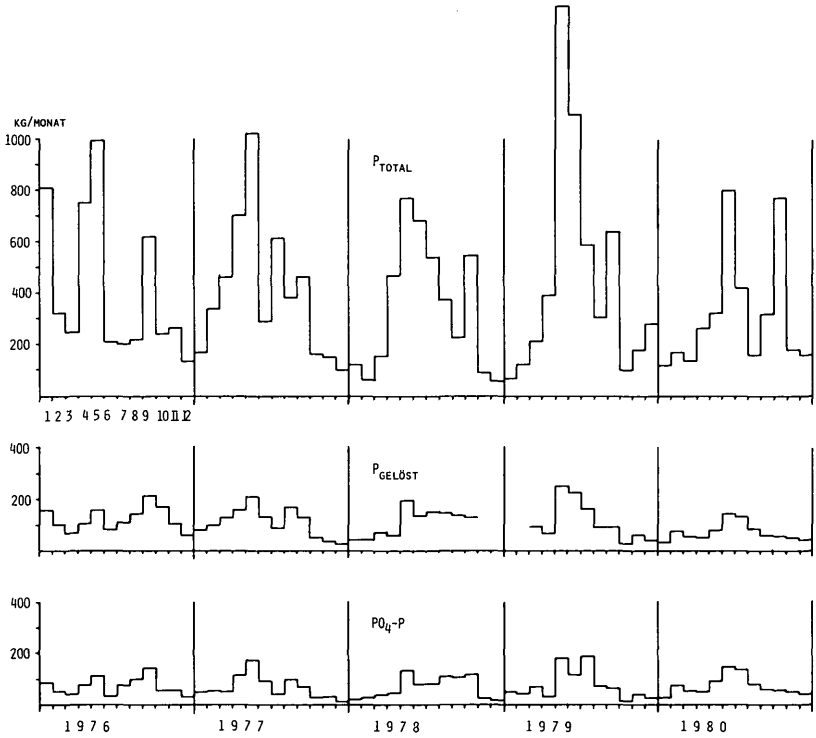

Abb. 15b: Monatsfrachten Gesamt-Phosphor, gelöster Phosphor und Orthophosphat-Phosphor des Reifnitzbaches.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

9. NÄHRSTOFFFRACHTEN

9.1 Millstätter-See-Zubringer

Die Phosphor-Frachten des Riegerbaches folgen im Jahresgang im wesentlichen den Wasserfrachten. Dies gilt sowohl für den Gesamt-Phosphor als auch für den gelösten Phosphor und das Orthophosphat (Abb. 15a, b). Die Wasserführung stellt somit neben den Nährstoffkonzentrationen einen maßgebenden Parameter für die Höhe der Nährstofffrachten dar.

Die größten Wasserfrachten und damit auch die größten Phosphor-Frachten wurden in allen Untersuchungsjahren im Mai, zur Zeit der Schneeschmelze in den Gebirgsregionen, gemessen. Nur im Jahr 1980 trat keine so ausgeprägte Frachtspitze auf. In diesem Jahr war der Abfluß des

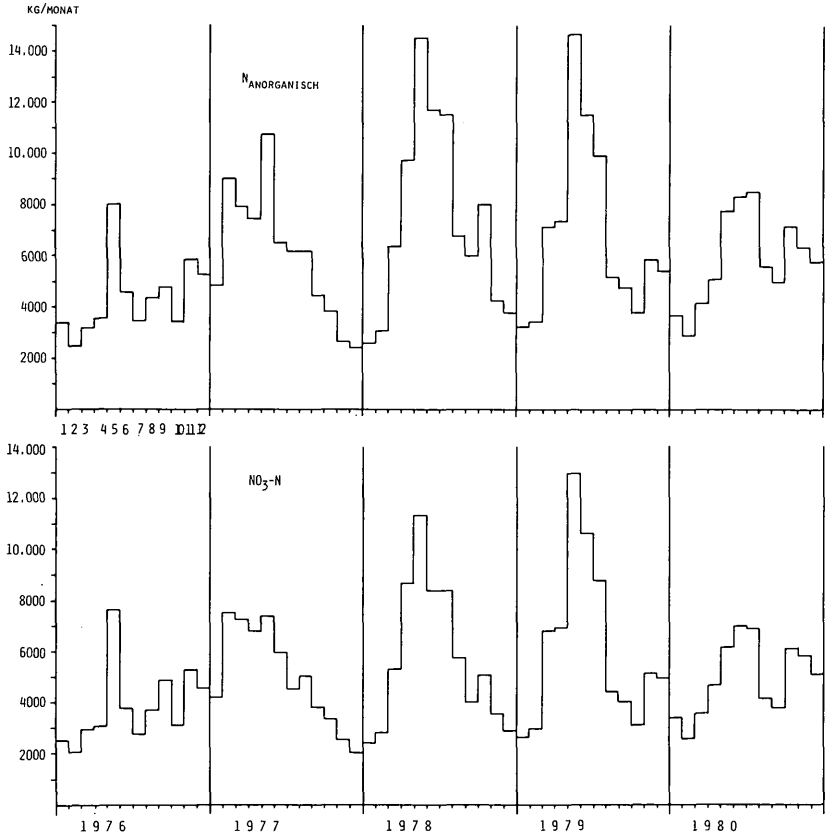

Abb. 16: Monatsfrachten anorganischer Stickstoff und Nitrat-Stickstoff des Riegerbaches.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Riegerbaches, bedingt durch geringere Niederschläge, wesentlich kleiner als in den vorangegangenen Jahren, darüber hinaus setzte die Schneeschmelze 1980 auf Grund der kühlen Witterung im Frühjahr verzögert ein.

Auch der Jahresgang der Frachten an anorganischem Stickstoff entspricht exakt dem Verlauf der Wasserfrachten. Die größten Mengen an anorganischem Stickstoff wurden jeweils im Mai verfrachtet, im Jahr 1980 fallen wiederum die deutlich geringeren Frachtwerte auf, die witterungsbedingt sind (Abb. 16).

Nitrat-Stickstoff und Ammonium-Stickstoff zeigen gute Übereinstimmung mit den monatlichen Wasserfrachten, wobei der Nitrat-Stickstoff auf Grund seines größeren Anteiles an der Fracht von anorganischem Stickstoff den bedeutenderen Einfluß auf die Höhe der Monatsfrachten ausübt (Abb. 16).

Eine Gegenüberstellung der Gesamt-Phosphor-Jahresfrachten des Riegerbaches aus den Jahren 1973 bis 1980 läßt deutlich die Erfolge der Sanierungsmaßnahmen erkennen. Bevor die ersten Siedlungen im Einzugsgebiet an Abwasserbeseitigungsanlagen angeschlossen wurden (1974), führte der Riegerbach dem Millstätter See jährlich 12.300 kg Gesamt-Phosphor zu (SAMPL, 1974). Bereits 1974, nach dem provisorischen Anschluß des Marktes Radenthein, war die Gesamt-Phosphor-Fracht um nahezu 50 Prozent zurückgegangen, 1980 wurde nur mehr eine Jahresfracht von 3856 kg gemessen (Tabelle 13).

Parallel zum Rückgang der Gesamt-Phosphor-Frachten wurde auch eine Abnahme der Frachten an gelöstem Phosphor beobachtet. Leider liegen hiefür nur Meßwerte seit dem Jahr 1976 vor, von 1976 bis 1980 gingen die P-gelöst-Frachten des Riegerbaches von 1466 kg auf 894 kg pro Jahr schrittweise zurück. Die Orthophosphat-Frachten haben sich im selben Zeitraum nicht verändert (Tabelle 13).

Das Jahr 1975 und, wenn auch in weit geringerem Ausmaß, das Jahr 1979, zeigte gegenüber den vorangegangenen Jahren höhere Gesamt-Phosphor-Frachten. 1975 hatten extrem hohe Niederschläge teilweise zu Katastrophenhochwässern geführt, mit denen große Mengen phosphorhaltiger Partikel in den Riegerbach geschwemmt wurden. Auch 1979 kam es infolge erhöhter Niederschlagstätigkeit, der Jahresniederschlag lag um 14 Prozent über dem langjährigen Mittel, zu verstärkten Erosionserscheinungen und damit zu höheren Gesamt-Phosphor-Frachten. Daß die erhöhten Gesamt-Phosphor-Frachten der Jahre 1975 und 1979 durch stärkere Erosion phosphorhaltiger Partikel verursacht wurden, zeigen die P-gelöst-Frachten, die im selben Zeitraum nicht anstiegen.

Zwischen den Frachten an anorganischem Stickstoff und damit auch den Nitrat-Stickstoff- und Ammonium-Stickstoff-Frachten des Riegerbaches in den Jahren zwischen 1976 und 1980 und dem Ausmaß der Sanierungsmaßnahmen im Einzugsgebiet war kein Zusammenhang erkennbar. Auch

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

konnte keine Beziehung zwischen der Niederschlagstätigkeit und der Größe der Fracht beobachtet werden. Die Unterschiede der Frachtwerte der einzelnen Untersuchungsjahre (Tabelle 13) ergaben sich aus Konzentrations- und Wasserführungsdifferenzen.

Die Gesamt-Phosphor-Frachten sowie die anorganischen Stickstoff-Frachten der kleineren Zubringer des Millstätter Sees sind in Tabelle 14 und Tabelle 15 zusammengestellt.

Tabelle 13 : Nährstoff-Frachten des Riegerbaches in den Jahren 1973 - 1980 (kg/a)

	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
P-total	12.300	6.900	19.000	5.060	4.960	4.076	5.500	3.856
P-gelöst				1.466	1.321	1.224	1.190	894
PO_4-P				846	809	800	930	894
N-anorg.				52.200	72.200	88.400	82.300	70.300
NO_3-N				46.300	60.300	68.500	73.300	59.300
NH_4-N				5.900	11.900	19.900	9.000	11.000

Tabelle 14 : Gesamt-Phosphor-Fracht der Millstätter See-Zubringer (kg)

	1976	1977	1978	1979	1980
Riegerbach	5060	4960	4076	5500	3856
Glanzerbach	86	110	98	92	
Matzelsdorferbach	13	49	62	23	
Mühlbach				118	
Pöllandbach	54	168	153	99	
Riegenbach	63	67	75	(227)	
Burgstallerbach					
Laubendorferbach					
Tschierwegbach	230	224	194		
Gießbach	(530)	82	96	144	
Wirlsdorferbach	351	325	351	410	
Obermillstätterbach	37	32	53		
Görtschacherbach	33	32	56		

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 15: Anorganische Stickstofffracht der Millstätter See-Zubringer (kg)

	1976	1977	1978	1979
Riegerbach	52.200	72.200	88.400	82.300
Glanzerbach	2.500	6.300	3.700	5.000
Matzelsdorferbach	2.100	3.700	2.400	3.600
Mühlbach			1.801	
Pöllandbach	4.000	5.000	8.700	5.900
Riegenbach	4.800	5.200	6.000	7.000
Burgstallerbach Laubendorferbach	10.000	9.900	10.300	
Gießbach	6.200	3.600	4.300	7.100
Wirlsdorferbach	3.200	4.500	4.800	6.000
Obermillstätterbach	600	1.600	2.200	
Görtschacherbach	1.200	1.400	1.600	

Die angeführten Daten geben nur die Größenordnung der Jahresfrachten der einzelnen Zubringer an, da sie jeweils nur aus drei Messungen berechnet wurden; so können auch die Frachtwerte der verschiedenen Jahre nicht miteinander verglichen werden. Insgesamt sind die kleineren Zubringer des Millstätter Sees mit weniger als 20 Prozent an der Gesamt-Phosphor-Belastung des Sees durch Oberflächenzuflüsse beteiligt. Der Anteil an der Belastung durch anorganischen Stickstoff liegt zwischen 30 und 40 Prozent.

9.2 Wörthersee-Zubringer

An der Gesamt-Phosphor-Belastung des Wörthersees durch Oberflächenzubringer, nimmt man die Untersuchungsergebnisse des Jahres 1980 als Berechnungsgrundlage, ist der Reifnitzbach mit einem Anteil von 21 Prozent, der Damtschacher Bach mit 16 Prozent und der Römerbach mit 12 Prozent am Eintrag beteiligt. Auf die anderen Bäche entfallen weniger als 10 Prozent der Oberflächenbelastung, von ihnen bringen der Pirker Bach und der Mühlbach die höchsten Gesamt-Phosphor-Frachten (Tabelle 16).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Vom jährlichen Eintrag von anorganischem Stickstoff in den Wörthersee fließen 27 Prozent über den Rajachbach, 14 Prozent über den Reifnitzbach und je 10 Prozent über den Pirker Bach und den Damtschacher Bach in den See. Die anderen Zuflüsse sind jeweils mit weniger als 10 Prozent an der Gesamtbelastung beteiligt (Tabelle 17).

Während des Untersuchungszeitraumes von 1975 bis 1980 konnte an keinem der Wörthersee-Zubringer ein Rückgang der Nährstofffrachten beobachtet werden. Daß die Nährstofffrachten trotz bereits fortgeschrittenen Ausbaues der Abwasserbeseitigungsanlagen bisher noch nicht abgesunken sind, liegt sicherlich auch darin begründet, daß einerseits die fertiggestellten Kanalisationen zunächst nur die im unmittelbaren Uferbereich des Wörthersees gelegenen Ortsteile erfaßten, deren Abwässer die Zuflüsse nicht direkt belastet haben, und andererseits die im weiteren Einzugsbereich gelegenen Siedlungen bis zum Jahr 1980 zum Großteil noch nicht entsorgt wurden.

Zwischen dem Jahresgang der Gesamt-Phosphor-Frachten und den Wasserfrachten des Reifnitzbaches bestand kein so ausgeprägter Zusammen-

Tabelle 16 : Jährliche Gesamtphosphorfracht der Wörthersee-Zuflüsse (kg)

	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Reifnitzbach	717	818	497	749	1208	753
Rajachbach	179	138	138	142	177	177
Damtschacher Bach	547	275	254	424	402	576
Römerbach						422
Pirkerbach	243	168	134	156	148	282
Mühlbach	315	144	118	185	230	286
Sekirner Bach	145	69	71	141	98	98
Kropfitschbach			231	125	205	126
Töschlingbach	124	50	49	74	79	55
Postbach						83
Auenbach						57
Bach bei Saag						12
Restfläche	1332	755	904	986	1151	633
Gesamtfracht	3602	2417	2396	2982	3698	3560

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

hang, wie er am Riegerbach beobachtet wurde (Abb. 17, 18a). Bezeichnend für die Phosphor-Fracht des Reifnitzbaches waren die relativ geringen Unterschiede zwischen den Frachtwerten einzelner Monate, die u. a. auf die Pufferwirkung des Keutschacher Sees und auf das relativ kleine Einzugsgebiet des Baches zwischen Keutschacher See und Wörthersee (6 km^2) zurückgeführt werden können. Allgemein wurden in Monaten mit höheren Niederschlägen auch größere Abflußspenden und Gesamt-Phosphor-Frachten beobachtet.

Auch für den anorganischen Stickstoff wurde ein deutlicher Zusammenhang zwischen Fracht und Abflußspende festgestellt. Auf jeden Anstieg der Wasserfracht folgte eine Zunahme der Fracht von anorganischem Stickstoff (Abb. 18a, b).

Die Jahresgänge der Frachtwerte der kleineren Zubringer des Wörthersees zeigten einen ähnlichen Verlauf wie die des Reifnitzbaches (Abb. 19, 20).

Tabelle 17 : Jährliche anorganische Stickstoff-Fracht (kg) der Wörthersee-Zuflüsse

	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Reifnitzbach	9.126	14.724	12.233	14.463	15.595	14.356
Rojachbach	19.952	14.386	20.348	23.839	28.188	27.405
Damtschacher Bach	6.477	6.587	7.992	9.148	10.783	9.777
Römerbach						7.486
Pirkerbach	5.172	3.485	5.945	7.583	8.512	9.799
Mühlbach	3.752	3.681	4.039	4.622	4.736	4.468
Sekirner Bach	2.156	1.092	1.704	1.943	1.815	1.495
Kropfitschbach			2.746	2.697	2.879	3.141
Töschlingbach	2.430	1.747	2.704	2.255	1.960	1.869
Postbach						1.936
Auenbach						1.419
Bach bei Saag						189
Restfläche	25.175	20.424	26.427	28.688	30.496	17.558
Gesamtfracht	74.210	66.126	84.138	95.238	104.964	100.898

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

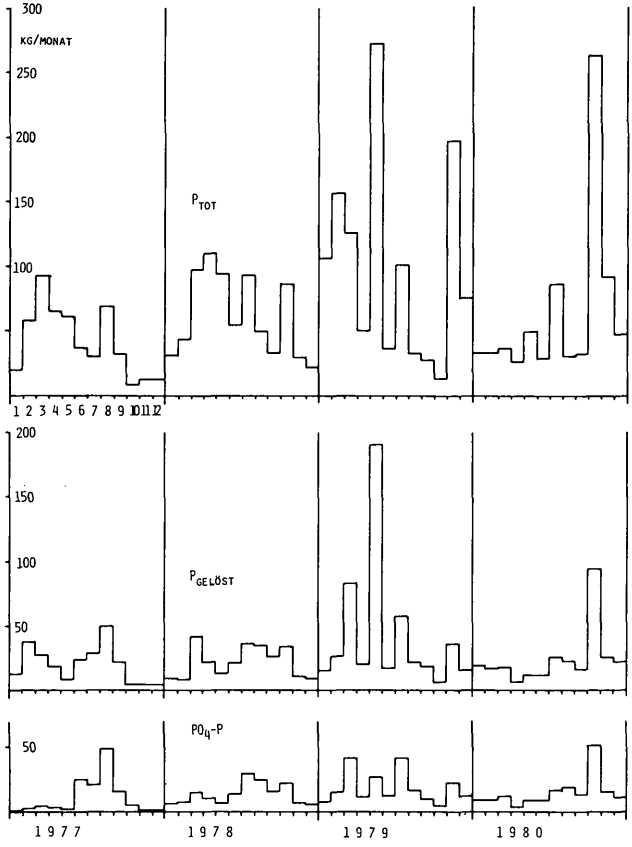

Abb. 17: Monatsfrachten Gesamt-Phosphor, gelöster Phosphor und Orthophosphat-Phosphor des Reifnitzbaches.

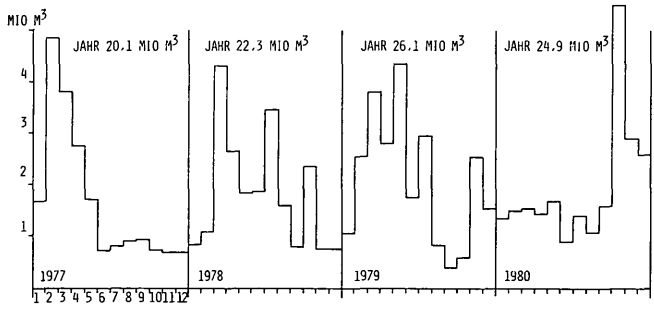

Abb. 18a: Monatswasserfrachten des Reifnitzbaches.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

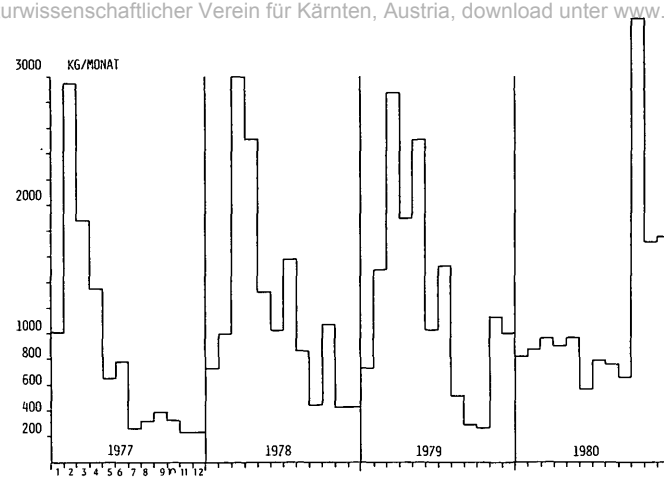

Abb. 18b: Anorganische Stickstofffrachten des Reifnitzbaches.

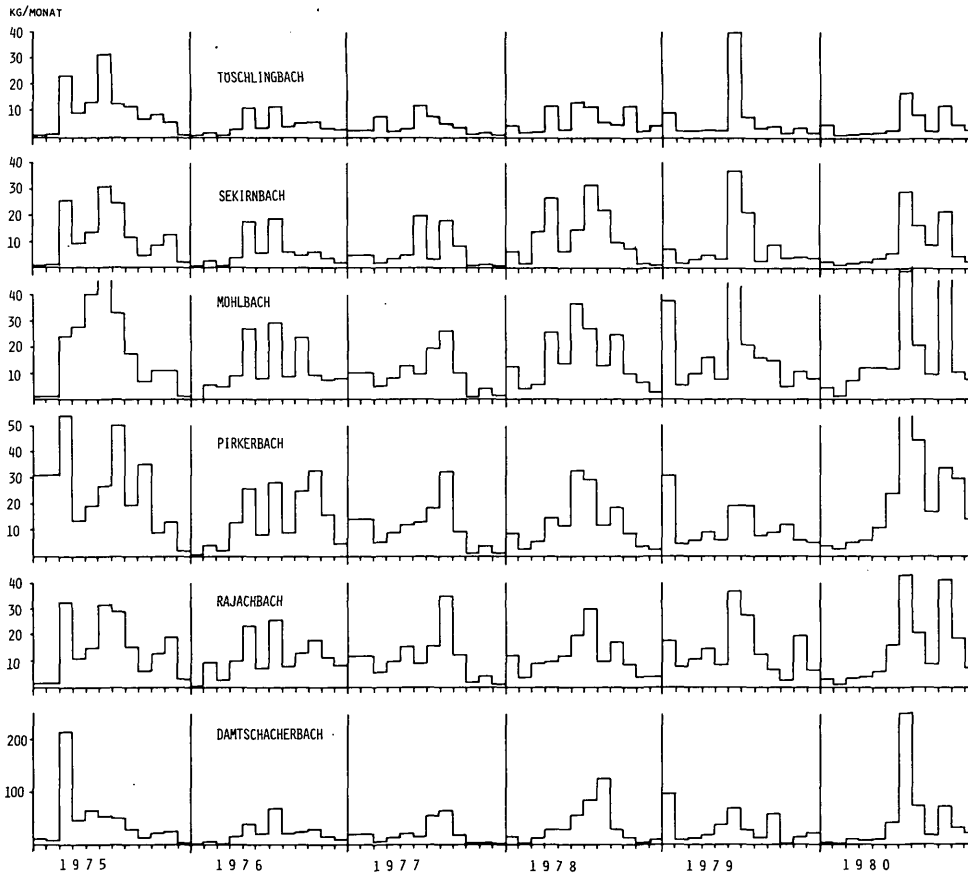

Abb. 19: Gesamtphosphor-Monatsfrachten der Zuflüsse zum Wörthersee.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

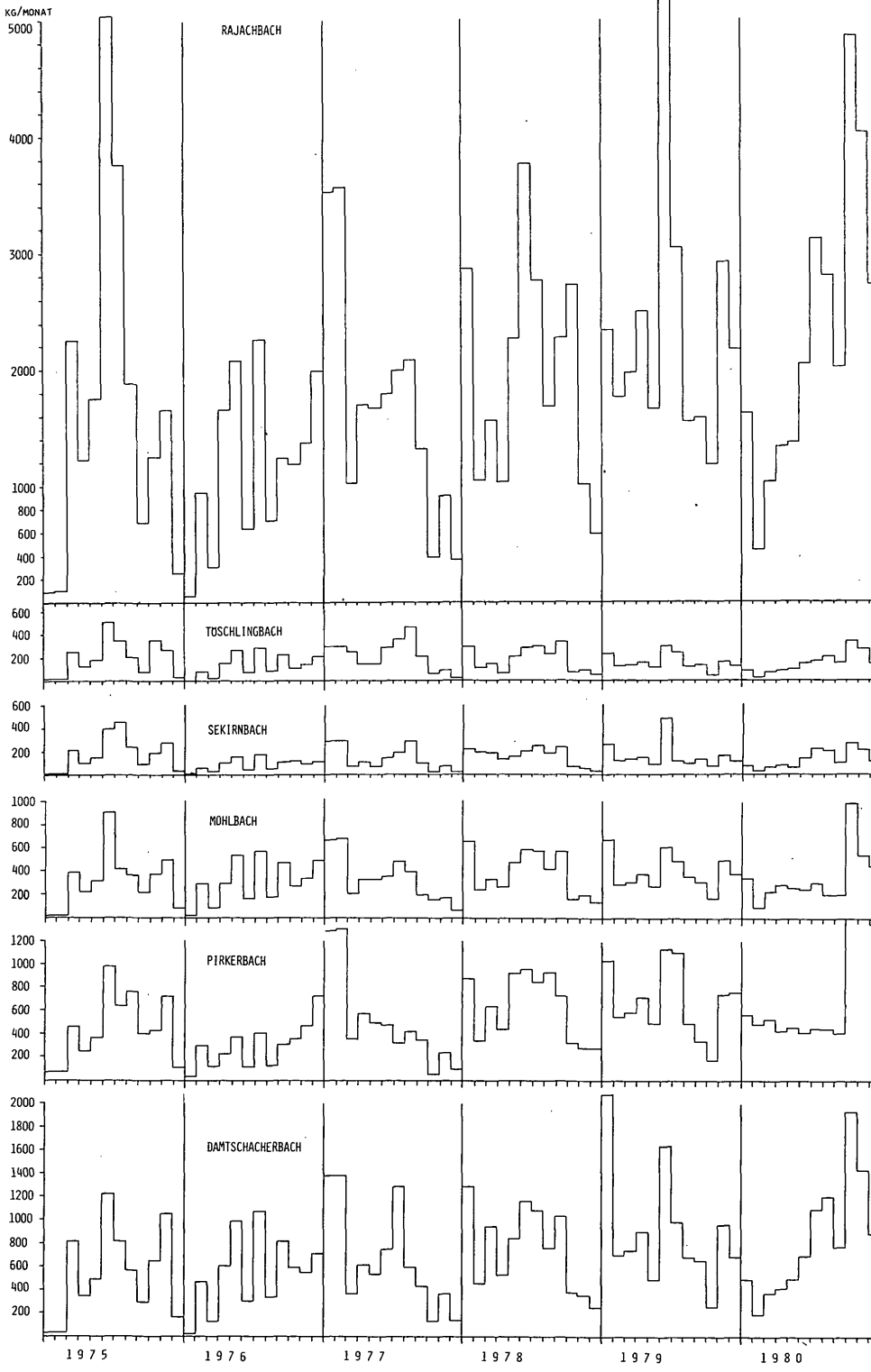

Abb. 20: Monatsfrachten anorganischer Stickstoff der Zuflüsse zum Wörthersee.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

10. FLÄCHENBEZOGENER NÄHRSTOFF-AUSTRAG AUS DEN EINZUGSGEBIETEN

Tabellen 18 bis 21 geben einen Überblick über die aus den Jahresfrachten und der Fläche der Einzugsgebiete der Millstätter-See-Zubringer bzw. der Wörthersee-Zubringer errechneten flächenbezogenen Austragswerte von Gesamt-Phosphor und anorganischem Stickstoff.

Phosphor

Die Millstätter-See-Zuflüsse wiesen, abgesehen vom Wirlsdorfer Bach, einen geringen flächenbezogenen Gesamt-Phosphor-Austrag auf. Die gefundenen Werte lagen 1979 zwischen 0,07 und 0,19 kg/ha.a. Sie können verglichen werden mit Untersuchungsergebnissen von HAMM (1976) aus dem Einzugsgebiet des Tegernsees, das zu 59 Prozent aus Wald, zu 26 Prozent aus Grünland und 9 Prozent aus Almen besteht, und in dem 6 Prozent der Fläche auf Ortsgebiet entfallen, das jedoch durch Abwasserbeseitigungsanlagen entsorgt wird. Hier lagen die Austragswerte für Gesamt-Phosphor zwischen 0,12 und 0,34 kg/ha.a. Die gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus dem Millstätter-See-Einzugsgebiet, das eine ähnliche Struktur aufweist, zeigt, daß die Millstätter-See-Zuflüsse derzeit kaum mehr mit Nährstoffen aus Siedlungsgebieten belastet werden und

Tabelle 18: Gesamtphosphoraustrag ($kg.ha^{-1}.a^{-1}$) aus Teileinzugsgebieten des Wörthersees

	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Reifnitzbach	0,20	0,23	0,22	0,21	0,34	0,21
Rajachbach	0,07	0,05	0,05	0,05	0,07	0,07
Damtschacher Bach	0,34	0,17	0,16	0,26	0,25	0,36
Römerbach						0,41
Pirkerbach	0,32	0,22	0,18	0,21	0,18	0,37
Mühlbach	0,44	0,20	0,17	0,26	0,32	0,40
Sekirner Bach	0,30	0,14	0,15	0,29	0,20	0,20
Kropfitschbach			0,65	0,38	0,62	0,38
Töschlingbach	0,46	0,19	0,18	0,27	0,29	0,20
Postbach						0,33
Auenbach						0,26
Bach bei Saag						0,17
Restfläche	0,30	0,17	0,22	0,24	0,28	0,25
Gesamtfläche	0,25	0,17	0,17	0,21	0,26	0,25

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

daß sich auch die jahrzehntelange Abwasserversickerung im Einzugsgebiet nicht mehr auf die Nährstofffrachten der Bäche auswirkt.

Vor 1974 lag der Gesamt-Phosphor-Austrag im Einzugsgebiet des Riegerbaches noch bei 0,59 kg/ha.a (Tabelle 20). Mit Ausbau der Abwasserentsorgungsanlagen sanken die Austragswerte kontinuierlich bis zum Jahr 1980 auf 0,19 kg/ha.a. Der erhöhte Gesamt-Phosphor-Austrag im Jahre 1975, der, wie bereits erwähnt, durch Hochwässer bedingt war, kann in diese Entwicklungsreihe nicht einbezogen werden.

BUCKSTEEG und HOLLFELDER (1975) geben für Gebirgsbäche im Einzugsgebiet der Füssener Seen Gesamt-Phosphor-Austräge von 0,10 kg/ha.a an. NUSCH (1975) fand einen durchschnittlichen Gesamt-Phosphor-Austrag aus dünnbesiedelten Waldgebieten von ebenfalls 0,10 kg/ha.a. Ähnlich niedere Werte wurden am Glanzer Bach (0,07 kg/ha.a), der als Waldbach eingestuft wurde, am Riegenbach (0,10 kg/ha.a), der als relativ unbelasteter Gebirgsbach angesehen werden kann, und am Gießbach (0,10 kg/ha.a), der ein Einzugsgebiet entwässert, das überwiegend aus Wald und extensiv genutztem Grünland zusammengesetzt ist, gefunden.

Im Einzugsgebiet des Wörthersees traten an keinem Bach, ausgenommen am Rajachbach, entsprechend geringe Gesamt-Phosphor-Austragswerte

Tabelle 19 : Anorganischer Stickstoffaustrag ($kg.ha^{-1}.a^{-1}$) aus Teileinzugsgebieten des Wörthersees

	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Reifnitzbach	2,59	4,17	3,47	4,10	4,42	4,07
Rajachbach	7,50	5,41	7,65	8,96	10,60	10,30
Damtschacher Bach	4,00	4,09	4,96	5,68	6,70	6,07
Römerbach						7,20
Pirkerbach	6,81	4,59	7,82	9,98	11,20	12,89
Mühlbach	5,28	5,18	5,69	6,51	6,67	6,29
Sekirner Bach	4,49	2,28	3,55	4,05	3,78	3,11
Kropfitschbach			8,32	8,17	8,72	9,52
Töschlingbach	9,00	6,47	10,01	8,35	7,26	6,92
Postbach						7,74
Auenbach						6,45
Bach bei Saag						2,70
Restfläche	5,67	4,60	6,43	6,98	7,42	6,94
Gesamtfracht	5,13	4,57	5,82	6,59	7,26	6,98

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

auf (Tabelle 18). Dies kann als Hinweis darauf gewertet werden, daß im gesamten Einzugsgebiet des Wörthersees noch eine gewisse Abwasserbelastung vorliegt. Auch beim Rajachbach kann trotz des relativ geringen Gesamt-Phosphor-Austrages aus dem Einzugsgebiet (0,05 kg/ha.a) eine Belastung durch häusliche Abwässer nicht völlig ausgeschlossen werden, da dieser Bach auf seiner Fließstrecke einen Teich durchfließt, der als Vorklärbecken dient.

Die in den anderen Einzugsgebieten des Wörthersees gemessenen Gesamt-Phosphor-Austragswerte lagen zwischen 0,20 und 0,41 kg/ha.a. Es handelt sich vorwiegend um Einzugsgebiete, die je zur Hälfte land- und forstwirtschaftlich genutzt werden, wobei die landwirtschaftliche Nutzung überwiegend als Grünlandnutzung betrieben wird – Ackerbau spielt eine untergeordnete Rolle.

In diese Gruppe muß auch ein Zubringer des Millstätter Sees, der Wirlsdorfer Bach, für den ein Gesamt-Phosphor-Austrag von durchschnittlich 0,54 kg/ha.a berechnet wurde, eingestuft werden.

Für ähnlich strukturierte Einzugsgebiete außerhalb Kärntens können folgende Literaturvergleiche herangezogen werden (eine umfangreichere Zusammenstellung von Daten über den flächenbezogenen Nährstoffaustrag erfolgte durch das Kärntner Institut für Seenforschung, 1980):

BERNHARD (1978) gibt einen durchschnittlichen Gesamt-Phosphor-Austrag von 0,05 kg/ha.a für Wälder, von 0,4 kg/ha.a für ackerbaulich genutzte Flächen und von 0,2 kg/ha.a für Wiesen ohne Weidenutzung an.

Tabelle 20 : Gesamtphosphoraustrag ($kg.ha^{-1}.a^{-1}$) aus Teileinzugsgebieten des Millstätter Sees

	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Riegerbach	0,59	0,33	0,92	0,24	0,24	0,20	0,27	0,19
Matzelsdorfer Bach				0,05	0,19	0,24	0,09	
Mühlbach						0,39		
Pöllandbach				0,09	0,28	0,26	0,17	
Riegenbach				0,06	0,06	0,07	0,21	
Burgstaller Bach								
Laubendorfer Bach				0,20	0,19	0,17		
Gießbach				0,09	0,08	0,09	0,13	
Wirlsdorfer Bach				0,53	0,49	0,53	0,62	
Obermillstätter Bach				0,12	0,10	0,17		
Görtschacher Bach				0,11	0,11	0,19		
Südufer				0,06	0,08	0,07	0,07	

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Da im Einzugsgebiet des Wörthersees der Ackerbau keine bedeutende Rolle spielt und das Einzugsgebiet zu etwa 50 Prozent als Wald und 50 Prozent als Grünland genutzt wird, kann angenommen werden, daß Einzugsgebiete mit Austragswerten von über 0,2 kg/ha.a auf eine diffuse Belastung aus Siedlungsgebieten zurückzuführen sind.

HAMM (1976) gibt für diffus ortsbeeinflußte Bäche Gesamt-Phosphor-Austragswerte von 0,6 kg/ha.a an.

Anorganischer Stickstoff

Um auf den relativen Anteil der landwirtschaftlichen Nutzung der Einzugsgebiete schließen zu können, wurden die Austragswerte für anorganischen Stickstoff der einzelnen Zubringer miteinander verglichen.

Von den untersuchten Bächen wiesen der Rajachbach (10,3 kg/ha.a) und der Pirker Bach (12,9 kg/ha.a) im Einzugsgebiet des Wörthersees und der Matzelsdorfer Bach (durchschnittlich 11,4 kg/ha.a) im Einzugsgebiet des Millstätter Sees erhöhte anorganische Stickstoff-Austragswerte auf (Tabellen 19, 21). Bei allen anderen Bächen lagen die Austragswerte unter 10 kg/ha.a. Da NUSCH (1975) bereits für unbelastete Waldbäche anorganische Stickstoff-Austräge von 10 kg/ha.a angibt, kann geschlossen werden, daß im Einzugsgebiet des Rajachbaches, des Pirker Baches und des Matzelsdorfer Baches zwar gegenüber den anderen Zubringern des Wörthersees bzw. Millstätter Sees eine relativ intensivere landwirtschaftliche Nutzung erfolgt, daß diese jedoch, absolut gesehen, eine untergeordnete Rolle spielt.

Tabelle 21: Anorganischer Stickstoffaustrag ($kg.ha^{-1}.a^{-1}$) aus Teileinzugsgebieten des Millstätter Sees

	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Riegerbach	8,2	2,5	3,3	4,3	4,0	3,4
Matzelsdorfer Bach		8,1	14,1	9,3	13,9	
Mühlbach				6,0		
Pöllandbach		6,7	8,2	14,5	9,8	
Riegenbach		4,4	4,8	5,5	6,5	
Burgstaller Bach						
Laubendorfer Bach		8,6	8,6	9,0		
Gießbach		5,9	3,3	4,0	6,7	
Wirlsdorfer Bach		4,8	6,8	7,3	9,2	
Obermillstätter Bach		1,8	5,2	7,1		
Görtschacher Bach		4,2	5,0	5,6		
Südufer		1,8	4,5	2,6	3,6	

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Daß die Einzugsgebiete des Rajachbaches und des Matzelsdorfer Baches landwirtschaftlich intensiver genutzt werden, ist auch aus dem Verhältnis Phosphor:Stickstoff zu erkennen (Tabellen 22, 23), das bei diesen Bächen mit 1:155 bzw. 1:160 gegenüber den anderen Zuflüssen deutlich zugunsten des Stickstoffs verschoben ist.

Tabelle 22 : Verhälnis Phosphor : Stickstoff der Nährstoff-Frachten der Wörthersee-Zuflüsse

	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Reifnitzbach	1 : 13	1 : 18	1 : 25	1 : 19	1 : 13	1 : 19
Rajachbach	1 :111	1 :104	1 :148	1 :168	1 :159	1 :155
Damtschacher Bach	1 : 12	1 : 24	1 : 31	1 : 22	1 : 27	1 : 17
Römerbach						1 : 18
Pirkerbach	1 : 21	1 : 21	1 : 44	1 : 49	1 : 57	1 : 35
Mühlbach	1 : 12	1 : 26	1 : 34	1 : 25	1 : 21	1 : 16
Sekirner Bach	1 : 15	1 : 16	1 : 24	1 : 14	1 : 18	1 : 15
Kropfitschbach			1 : 12	1 : 22	1 : 14	1 : 25
Töschlingbach	1 : 20	1 : 35	1 : 55	1 : 30	1 : 25	1 : 34
Postbach						1 : 23
Auenbach						1 : 25
Bach bei Saag						1 : 16

Tabelle 23 : Verhältnis Phosphor: Stickstoff der Nährstoff-Frachten der Millstätter See-Zuflüsse

	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Riegerbach	1 : 10	1 : 11	1 : 14	1 : 22	1 : 15	1 : 18
Matzelsdorfer Bach		1 :160	1 : 74	1 : 39	1 :160	
Mühlbach				1 : 15		
Pöllandbach		1 : 75	1 : 29	1 : 57	1 : 59	
Piegenbach		1 : 76	1 : 78	1 : 31	1 : 66	
Burgstaller Bach Laubendorfer Bach		1 : 43	1 : 44	1 : 53	1 : 47	
Gießbach		1 : 12	1 : 43	1 : 45	1 : 50	
Wirlsdorfer Bach		1 : 9	1 : 14	1 : 14	1 : 15	
Obermillstätter Bach		1 : 15	1 : 51	1 : 41		
Görtschacher Bach		1 : 37	1 : 46	1 : 29		
Südufer		1 : 29	1 : 57	1 : 37	1 : 55	

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Zusammenfassend können für die Zubringer des Millstätter Sees und des Wörthersees folgende Austragswerte angegeben werden:

a) Unbelastete Wald- oder Gebirgsbäche, deren Einzugsgebiete nur schwach besiedelt sind, weisen Gesamt-Phosphor-Austragswerte zwischen 0,07 und 0,10 kg/ha.a auf (Glanzer Bach, Riegenbach, Gießbach). Diese Werte können als Grundlast aus Gesteinsverhältnissen und Boden angesehen werden.

b) Bei Bächen, die Einzugsgebiete entwässern, die überwiegend land- und forstwirtschaftlich genutzt werden, wobei die landwirtschaftliche Nutzung in Form von Gründlandnutzung betrieben wird, und deren Siedlungen durch großräumige Kanalisationsanlagen entsorgt werden, liegen die Gesamt-Phosphor-Austragswerte zwischen 0,1 und 0,2 kg/ha.a (überwiegende Zahl der Millstätter-See-Zubringer).

c) In Einzugsgebieten von Bächen, in denen noch eine diffuse Belastung aus Siedlungen vorliegt, treten Gesamt-Phosphor-Austragswerte bis zu 0,54 kg/ha.a auf (überwiegende Zahl der Wörthersee-Zubringer und der Wirlsdorfer Bach).

11. RÜCKBLICK AUF DIE ERGEBNISSE

11.1: Das Einzugsgebiet des Millstätter Sees weist eine durchschnittliche Bevölkerungsdichte, schließt man auch den Fremdenverkehr mit ein, von 102 Einwohnern pro km² auf. Die Fläche des Einzugsgebietes wird zu 42 Prozent als Wald, 42 Prozent als Grünland, vorwiegend extensiv bewirtschaftet, und zu 6 Prozent als Ackerland genutzt. 10 Prozent der Fläche sind unproduktiv. Die Siedlungen im Einzugsgebiet werden nahezu vollständig durch großräumige Abwasserbeseitigungsanlagen entsorgt.

Das Einzugsgebiet des Wörthersees ist mit 164 Einwohnern pro km² dichter besiedelt als das Einzugsgebiet des Millstätter Sees. Bisher wurden nur etwa 80 Prozent der Haushalte und Fremdenverkehrsbetriebe an Kanalisationsanlagen angeschlossen. Die Nutzflächen des Einzugsgebietes gliedern sich in 55 Prozent Wald, 27 Prozent Grünland und 15 Prozent Ackerland.

11.2: Zwischen 1976 und 1980 wurden an den Millstätter-See- und Wörthersee-Zuflüssen vergleichende Untersuchungen der Nährstoffkonzentrationen und Nährstofffrachten durchgeführt. Für die einzelnen Zubringer wurden die flächenbezogenen Nährstoffausträge erhoben.

11.3: Bäche mit unterschiedlich genutzten Einzugsgebieten zeigten verschieden hohe Nährstoffkonzentrationen. In dünn besiedelten Einzugsgebieten, in denen große Flächen extensiv als Weideland genutzt werden (Almen), wurden geringere Gesamt-Phosphor-Konzentrationen gemessen als in überwiegend bewaldeten Gebieten. Bei intensiverer landwirtschaftlicher Nutzung konnten im Bachwasser erhöhte Nitrat-Stickstoff-Konzen-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

trationen beobachtet werden. Bäche aus besiedelten Einzugsgebieten wiesen deutlich höhere Phosphor-Konzentrationen auf, wenn sie Gebiete entwässerten, in denen noch keine vollständige Abwasserbeseitigung erfolgte.

Die Phosphor-Konzentrationen und die Konzentrationen des anorganischen Stickstoffs des Riegerbaches zeigten eine deutliche Beziehung zur Wasserführung. Bei ansteigender Wasserfracht erfolgte eine verstärkte Erosion phosphorhaltiger Partikel, die zu einer Zunahme des partikulären Phosphors und damit zu einem Anstieg der Gesamt-Phosphor-Konzentration führte. Bei den gelösten Phosphorverbindungen sowie beim anorganischen Stickstoff, der im wesentlichen von der Nitrat-Stickstoff-Konzentration bestimmt wurde, wurde eine Verdünnung der Konzentrationen bei erhöhten Wasserführungen beobachtet.

Ein Zusammenhang zwischen der Höhe der Phosphor-Konzentrationen und der Wasserführung wurde auch beim Reifnitzbach festgestellt. Sowohl die gelösten Phosphor-Konzentrationen als auch die Gesamt-Phosphor-Konzentrationen sanken bei steigendem Abfluß durch Verdünnung ab. Dieses, verglichen mit dem Riegerbach, gegenläufige Verhalten des Gesamt-Phosphors ist darauf zurückzuführen, daß der Reifnitzbach ein relativ kleines direktes Einzugsgebiet aufweist und er nach ergiebigen Niederschlägen größere Mengen nährstoffarmen Oberflächenwassers aus dem Keutschacher See erhält.

11.4: Die Frachtwerte der Stickstoff- und Phosphor-Verbindungen folgten sowohl beim Riegerbach als auch bei den Wörthersee-Zubringern proportional den Wasserfrachten. Beim Reifnitzbach war die Beziehung zwischen Gesamt-Phosphor-Fracht und Wasserführung allerdings weniger klar ausgeprägt, da die Nährstofffrachten dieses Baches weitgehend abhängig sind von den Nährstoffmengen, die aus dem vorgeschalteten Keutschacher See ausgeschwemmt werden.

11.5: Am Hauptzufluß des Millstätter Sees, dem Riegerbach, wurde ein deutlicher Rückgang der Nährstoffkonzentrationen, der Nährstofffrachten und der Nährstoffaustragswerte beobachtet, der auf den nahezu vollständigen Ausbau der Abwasserbeseitigungsanlagen im Einzugsgebiet zurückgeführt werden kann. Seit 1973 ist beispielsweise die Gesamt-Phosphor-Fracht des Riegerbaches um zwei Drittel zurückgegangen.

Die Nährstoffkonzentrationen und -frachten der Wörthersee-Zuflüsse haben sich im Untersuchungszeitraum von 1975 bis 1980 nicht auffallend verändert. Hier liegt immer noch eine diffuse Belastung durch häusliche Abwässer vor. Im Einzugsgebiet des Wörthersees ist der Anschluß der Siedlungen an die Abwasserentsorgungsanlagen nicht so rasch erfolgt wie im Einzugsgebiet des Millstätter Sees, da die Siedlungen verstreuter liegen und schwerer erfaßt werden können. Die bereits fertiggestellten Kanalisationen erfassen hier überwiegend die im direkten Uferbereich des Sees gelegenen Ortsteile, die die Zubringerbäche nicht direkt belastet haben.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Die im weiteren Einzugsgebiet gelegenen Siedlungen wurden bisher zum Großteil noch nicht saniert.

11.6: Für die unterschiedlich strukturierten Einzugsgebiete der Millstätter-See- und Wörthersee-Zuflüsse wurden charakteristische Nährstoffaustragswerte festgestellt.

Der Gesamt-Phosphor-Austrag aus überwiegend bewaldeten und nur dünn besiedelten Einzugsgebieten lag zwischen 0,07 und 0,10 kg/ha.a.

Einzugsgebiete, die je zur Hälfte landwirtschaftlich (überwiegend Grünlandnutzung) und forstwirtschaftlich genutzt werden, und deren Siedlungen durch großräumige Kanalisationsanlagen entsorgt werden, wiesen Gesamt-Phosphor-Austragswerte zwischen 0,1 und 0,2 kg/ha.a auf.

In gemischten Einzugsgebieten, in denen noch eine diffuse Belastung aus Siedlungen vorliegt, wurden Gesamt-Phosphor-Austräge bis zu 0,54 kg/ha.a gemessen.

DANK

Für die sorgfältige Durchführung der Analysen danke ich Frau Christa KANZ, für die Zeichenarbeiten Herrn Reinhard DOBERNIG, für die Erhebung der Nutzflächen der Einzugsgebiete Herrn Hannes PONGRATZ und für die Messungen der Wasserführung den Mitarbeitern des Hydrographischen Dienstes des Amtes der Kärntner Landesregierung.

LITERATUR

ANDERLE, N. (1973): Die Grundwasser- und Bodenkarte von Kärnten. – Schriftenreihe für Raumforschung und Raumplanung. 13. Band. Hrsgg. vom Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. Landesplanung, 97 S.

BERNHARD, H. (1978): Phosphor, Wege und Verbleib in der Bundesrepublik Deutschland. Probleme des Umweltschutzes und der Rohstoffversorgung. Hrsgg. vom Hauptausschuß „Phosphate und Wasser" der Fachgruppe Wasserchemie. Verlag Chemie, Weinheim. 285 S.

BERNHARD, H., SUCH, A., WILHELMS, A. (1969): Untersuchungen über die Nährstofffrachten aus vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten mit ländlicher Besiedlung. – Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie. Band 16. Herausgeber: H. LIEBMANN. Verlag R. Oldenbourg, München–Wien, S. 60–118.

BUCKSTEEG, K., HOLLFELDER, F. (1975): Phosphor und Gewässerschutz. – Bau-intern, Wasser und Abwasser 6:115–120.

HAMM, A. (1976): Untersuchungen zur Nährstoffbilanz am Tegernsee und Schliersee nach der Abwasserfernhaltung – zugleich ein Beitrag über die diffusen Nährstoffquellen im Einzugsgebiet bayrischer Alpen- und Voralpenseen. – Zeitschr. Wasser- und Abwasserforschung 9:110–121 und 135–149.

Kärntner Institut für Seenforschung (1980): Einfluß von Bodenerosion und Düngemittelabschwemmung auf die Gewässereutrophierung. Sichtung und Auswertung von Literaturangaben, Auswertung österreichischer Untersuchungen. Forschungen 1979 des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

NUSCH, E. A. (1975): Vergleichende Untersuchungen über die Belastung von Oberflächengewässern aus landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten. – Forschung und Beratung, Reihe C, Heft 30. Untersuchungen zur Kontamination von Grund- und Oberflächenwasser durch land- und forstwirtschaftliche Bodennutzung. Kolloquium in der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen, vom 2. und 3. Oktober 1975.

OECD (1973): Impact of fertilizers and agricultural waste products on the quality of waters, Paris.

PASCHINGER, H. (1976): Kärnten, eine geographische Landeskunde. 1. Teil: Allgemeine Darstellung. – Verlag des Landesmuseums für Kärnten.

SAMPL, H. (1974): Die Nährstoff-Fracht der Zuflüsse und die Auswirkungen der Abwässer des Magnesitwerkes Radenthein auf den Millstätter See. – Kärntner Naturschutzblätter, Sonderheft Nr. 2, 13. Jahrgang, 49–82.

– (1975): Das limnische Ökosystem des Millstätter Sees in Kärnten in den letzten 40 Jahren. – Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Wien 1975:129–137.

– (1980): Untersuchungen zum Natrium- und Chloridgehalt einiger Kärntner Seen. – Carinthia II, 170/90:533–547.

SCHMID, M., AMBÜHL, H. (1965): Die Bestimmung geringster Mengen Phosphation im Wasser von Binnenseen. Schweiz. Z. Hydrol. 27, 172.

SCHULZ, L. (1981): Nährstoffeintrag in Seen durch Badegäste. Zbl. Bkt. Hyg., I. Abt. Orig. B. (in Druck).

SCHULZ, N. (1978): Das Einzugsgebiet des Keutschacher Sees (Kärnten, Österreich) – erste Grundlagendaten für ein limnologisches Untersuchungsprogramm. – Carinthia II, 168/88:447–454.

VALENTA, J. (1975): Die UV-Extinktion zur Bestimmung von Nitrat und als Summenparameter für die organischen Substanzen. Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee–Rhein, Chemische, physikalische, biologische und bakteriologische Untersuchungen, Analysenverfahren. Siebenter Bericht:60–81.

WAGNER, G., und STIELER, B. (1978): Temperaturgang in Bodenseezuflüssen. – Schr. Ver. Gesch. Bodensees 96:241–244.

WAGNER, R. (1969): Neue Aspekte zur Stickstoffanalytik in der Wasserchemie. – Jahrbuch „Vom Wasser" 31:263–318.

Anschrift des Verfassers: Dr. Liselotte SCHULZ, Kärntner Institut für Seenforschung, Flatschacher Straße 70, A-9020 Klagenfurt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Carinthia II

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: 171_91

Autor(en)/Author(s): Schulz Liselotte

Artikel/Article: Die Nährstoffbelastung des Millstätter Sees und des Wörthersees durch oberflächliche Zuflüsse. (Mit 20 Abbildungen und 23 Tabellen) 427-473