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

Carinthia II	176./96. Jahrgang	S. 443–461	Klagenfurt 1986

Aus dem Kärntner Institut für Seenforschung

Zur Frage der Versauerung von Hochgebirgsseen in Kärnten

Von Wolfgang HONSIG-ERLENBURG und Roland PSENNER

Mit 5 Abbildungen

Zusammenfassung: Insgesamt 31 Kärntner Hochgebirgsseen mit vorwiegend kristallinem geologischem Untergrund wurden in Hinblick auf Versauerung untersucht. 13 Seen wurden unter Einbeziehung von Versauerungsmodellen genauer betrachtet.

Der Großteil der untersuchten Hochgebirgsseen erscheint nicht versauert und auch keiner akuten Versauerungsgefährdung ausgesetzt. Jedoch zeigt sich eine gewisse Gefährdung für die Seen rund um das Mölltal, wobei im Vergleich mit älteren Daten vor allem für die Seen um den Wangenitzsee eine Versauerung bereits eingetreten ist. Insbesondere Hochgebirgstümpel weisen deutliche Versauerungstendenzen auf. Die Anwendung von skandinavischen Versauerungsmodellen erweist sich zum Teil als problematisch. So tritt nicht nur Sulfat als wesentlicher Versauerungsparameter auf, sondern auch Nitrat, das im Durchschnitt der untersuchten Seen etwa zwölf Prozent der Anionen ausmacht. Aufgrund der Ergebnisse von Niederschlagsuntersuchungen scheint vor allem in Hinsicht auf Stickstoffverbindungen, die stark steigende Tendenz aufweisen, eine Gefährdung für die Zukunft gegeben zu sein.

Summary: On the Problem of Acidification of High-Altitude Alpine Lakes in Carinthia

All together 31 high-altitude alpine lakes in Carinthia embedded in predominantly crystalline rock formations were investigated with respect to their acidification. On 13 lakes, more detailed investigations were carried out whereby acidification models were applied.

The majority of the lakes studied did not appear to have been acidified, nor to have been exposed to an acute risk of acidification. A certain risk has been determined for the lakes situated around the valley of the Möll river were – on the basis of data from previous studies – acidification has been ascertained in particular in the lakes around Lake Wangenitzsee. A clear tendency to acidification was found above all in high-altitude ponds. The application of acidification models from Scandinavia has in part proved doubtful. This, because sulphates are not the only essential acidification agents. On the average of the lakes studied, nitrates contribute some 12% of the anion rate. The results of precipitation analyses suggest that there is a risk of acidification for the future originating particularly from nitrogen compounds that are showing a strong rising tendency.

EINLEITUNG

Die vorliegende Untersuchung von Hochgebirgsseen wurde teilweise im Rahmen eines Versauerungsprojektes* vom Bundesministerium für Land-

* Versauerung von Hochgebirgsseen im Kristallin; Behandlung von Ausmaß, Ursache und Entwicklung; Untersuchungen über Auswirkungen auf Quellwässer.

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

und Forstwirtschaft durchgeführt. Allerdings wurden in die vorliegende Arbeit auch ältere Daten miteinbezogen.

In den skandinavischen Ländern wurden seit Anfang der sechziger Jahre Versauerungsprozesse in Seen durch Immissionsbelastungen deutlich erkennbar, wobei in erster Linie Seen betroffen sind, in denen das Basenpotential und das Pufferungsvermögen infolge des kalkarmen Untergrundes äußerst niedrig sind. So sind etwa in Schweden bereits ca. 20.000 Seen versauert (DICKSON 1985).

Die Versauerung von Oberflächengewässern ist allerdings nicht nur auf Skandinavien oder auch Teile Nordamerikas beschränkt (WRIGHT 1983 a), sondern sie wird seit einiger Zeit auch in der BRD (SCHOEN et al. 1984, LENHART und STEINBERG 1984, ARZET et al. (im Druck)), in der Schweiz (SCHNOOR et al. 1983, STUMM et al. 1983, STUMM und RIGHETTI 1982) und in Oberitalien (MOSELLO and TARTARI 1985) beobachtet.

Auch gibt es bereits Meldungen über Versauerungsprozesse in Tiroler Hochgebirgsseen (PSENNER et al. 1985). Untersuchungen zur Versauerung österreichischer Fließgewässer wurden von JANAUER (1986) sowie von HONSIG-ERLENBURG und SAMPL (1986) durchgeführt.

Die Ergebnisse von Niederschlagsuntersuchungen in Kärnten (GRUBER 1985; HONSIG-ERLENBURG et al. 1986), bei denen teilweise niedrige pH-Werte (mittlerer gewichteter pH für Kärnten: 4,6) sowie mancherorts erhöhte Versauerungsparameter gemessen wurden, weisen auf die Gefahr der Versauerung von Oberflächengewässern hin.

Prinzipiell muß man zwischen natürlich sauren Gewässern und versauerten Gewässern (Zunahme von H^+-Ionen, Abnahme der Pufferkapazität) unterscheiden (HAMM 1984).

Zu Schädigungen in Gewässern, wie Fischsterben, kommt es vor allem durch den Mangel an basischen Kationen und den bei niedrigem pH freigesetzten Aluminiumionen (HENRIKSEN 1985).

Hochgebirgsseen, deren Einzugsgebiete einen kristallinen Untergrund aufweisen, zählen im Alpengebiet wegen ihrer geringen Pufferkapazität zu den am stärksten gefährdeten aquatischen Systemen. Außerdem stellen sie, wenn man von der Luftverunreinigung absieht, die letzten natürlichen bzw. unbeeinflußten Gewässer dar.

MATERIAL UND METHODIK

Insgesamt wurden 31 Hochgebirgsseen in einer Höhenlage zwischen 1250 und 2800 m ü. d. A., von denen der Großteil in Gebieten mit kristallinem geologischem Untergrund liegt, untersucht (Abb. 1). Die Untersuchungsergebnisse gehen z. T. bis in das Jahr 1933 zurück, genauere Untersuchun-

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

gen, vor allem im Hinblick auf Versauerungsparameter, wurden seit 1982 durchgeführt.

Die Messung des pH-Wertes erfolgte potentiometrisch (Radiometer Kopenhagen PH M 62 mit der Elektroden-Nr. GK 2401 C), die elektrolytische Leitfähigkeit wurde mit einem Gerät der Marke WTW Digi 610 bei 20°C ermittelt. Hierbei sei jedoch auf die Problematik der pH-Messung in schwach gepufferten wäßrigen Systemen verwiesen (GRUBER 1985).

Die Messung der Alkalinität erfolgte z. T. mittels Endpunkttitration mit 0,1 n HCl bis pH 4,3 und z. T. konduktometrisch durch Titration mit 0,001 n HCl. Bei Seen mit sehr niedriger Alkalinität (unter 300 $\mu eq/l^{-1}$) führt die Endpunkttitration zu einer Überschätzung der Alkalinität; hier erweist sich die GRAN-Methode als die geeignetste (PSENNER et al. 1985). In diesen Fällen wurden die Alkalinitätswerte nach einer Berechnungsmethode von HENRIKSEN (1982) korrigiert, dabei wurde die Äquivalentalkalinität nach folgender Formel berechnet:

$$ALK_E = ALK_L + 0{,}646\sqrt{ALK_L} \qquad (1)$$

ALK_L ergibt sich aus der gemessenen Alkalinität bei pH 4,3 (Endpunkttitration) – 50.

Ein Vergleich beider Methoden beim selben Gewässer bestätigte die Berechnungen von HENRIKSEN (1982): Bei konduktometrischer Messung erhält man identische Werte wie mit der Titration bzw. der BERGER-Methode.

Aluminium konnte leider nicht gemessen werden, jedoch dürfte es für die Ionenzusammensetzung der meisten untersuchten Seen ($pH \geq 5{,}5$) keine Rolle spielen.

Um den Versauerungsvorgang rekonstruieren zu können, wurden Versauerungsmodelle angewandt. Zunächst wurde das Modell von HENRIKSEN (1980) verwendet, der ein Nomogramm zur Charakterisierung von Bicarbonat-, Übergangs- und sauren Seen entwickelt hatte. In weiterer Folge wurde das von WRIGHT (1983b) weiterentwickelte Versauerungsmodell angewandt, wobei bei diesen Modellen Einschränkungen gegeben sind, wie z. B. die Annahme, Schwefelsäure sei die einzige starke Säure, die zu pH-Abnahme der Seen führt.

In diese Versauerungsmodelle konnten nur 13 Hochgebirgsseen einbezogen werden, da von den anderen keine vollständigen Analysen (Ionenbilanz) vorlagen.

Für die Berechnungen wurden die einzelnen Werte von Hochgebirgsseen, bei denen Proben aus mehreren Tiefenstufen entnommen wurden, gemittelt. Wenn Werte über einen längeren Zeitraum vorlagen, wurden diese ebenfalls gemittelt. Lediglich beim Falkertsee wurde für die Anwendung des WRIGHT-Modells das Probenentnahmedatum mit den geringsten pH-Werten ausgewählt.

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

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Zustand der Hochgebirgsseen

In der Tabelle 1 sind pH-, Leitfähigkeits- und Alkalinitätswerte von Kärntner Hochgebirgsseen angegeben. Dabei zeigt sich, daß von den 31 untersuchten Hochgebirgsseen 14 Seen einen höheren pH-Wert als 7,0 aufweisen, fünf Seen einen pH-Wert zwischen 6,5 und 7,0, acht Seen einen pH-Wert zwischen 6,0 und 6,5 und vier Seen einen pH-Wert unter 6,0 (siehe Abb. 1). Sehr niedrige pH-Werte mit 5,4 wurden im Eissee auf 2800 m ü. d. A. nahe dem Wurtenkees in den Hohen Tauern und in der Großen Saulacke auf 2510 m in der Schobergruppe (TURNOWSKY 1946) gemessen, ebenso fand sich ein sehr niedriger pH-Wert mit 5,5 im Goaßeletümpel in der Reißeckgruppe. Beim Eissee handelt es sich, wie der Name schon sagt, um einen Gletschersee, der fast ganzjährig unter Eis liegt.

Nach WRIGHT (1983b) würden alle Seen unter pH 5,3 als sauer oder versauert eingeschätzt. Ein unter diesem Wert gelegener pH (pH = 4,8) fand sich in einem Tümpel ostwärts des Kreuzsees in der Schobergruppe auf 2490 m. Dort zeigten sich auch die niedrigsten gemessenen Alkalinitätswerte mit 4 μeq/l.

Da sich der pH-Wert nur bedingt als Maß für die Versauerung eignet (vor allem in eisbedeckten Seen; PSENNER et al. 1985), erweist sich die Alkalinität als besseres Maß für eine Versauerungsgefährdung. Nach BRADT et al. (1984) sind nach nordamerikanischen Standards Seen mit Alkalinitäten unter 200 μeq/l als gefährdet anzusehen. Dies würde für die Seen rund um den Wangenitzsee, die Seen im Gradental in der Schobergruppe, die Seen im Wurtenkees (Eissee, Stübelesee, Weißsee), den Dösener See und den

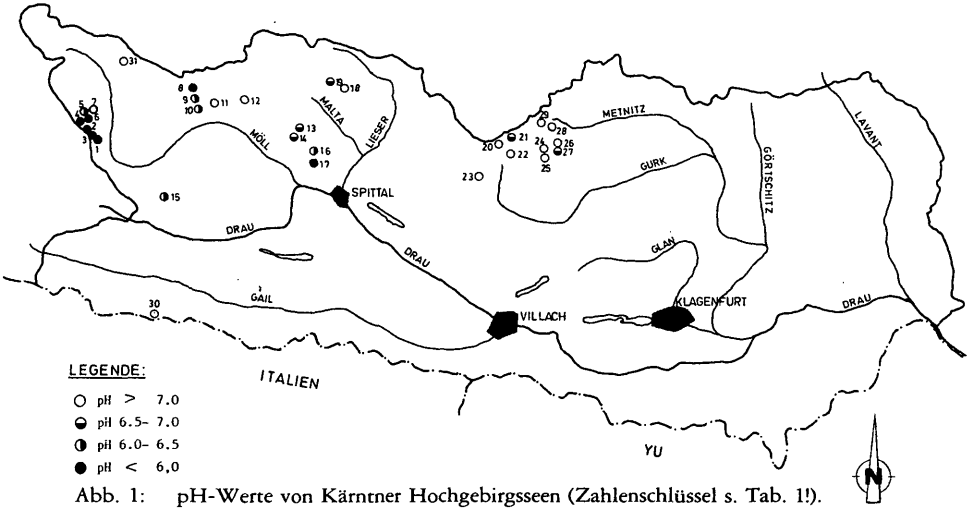


Abb. 1: pH-Werte von Kärntner Hochgebirgsseen (Zahlenschlüssel s. Tab. 1!).

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

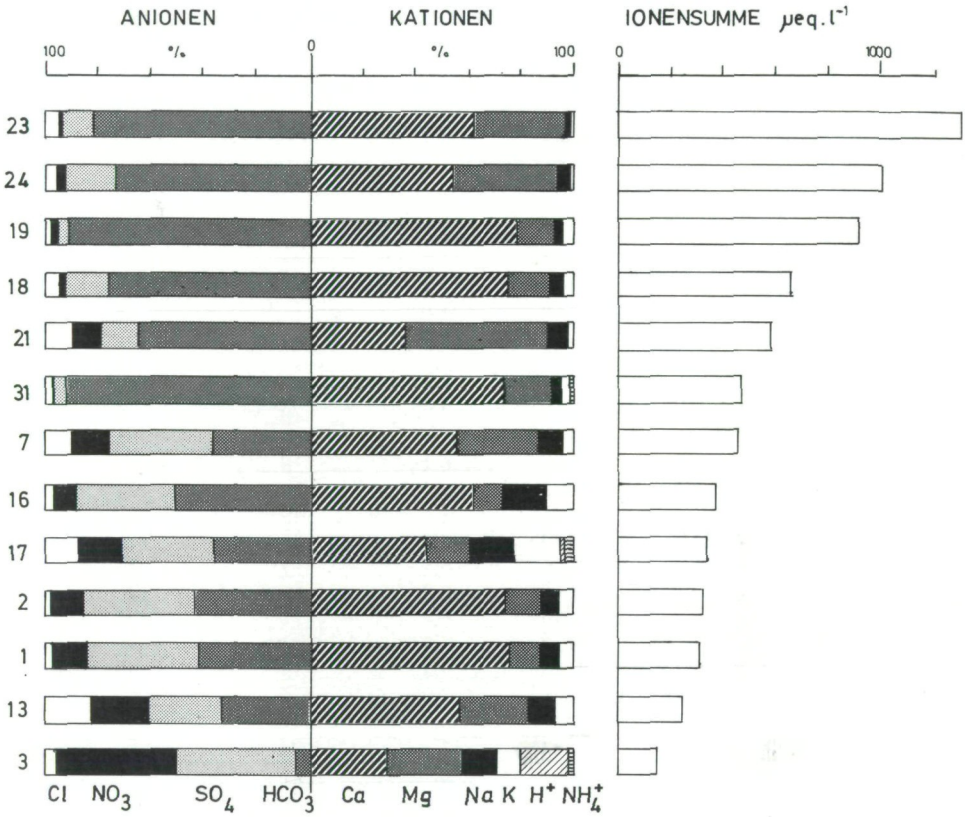
Tab. 1: pH-, Leitfähigkeits- und Alkalinitätswerte von Kärntner Hochgebirgsseen (Die pH-Werte in Klammern zeigen die jeweils niedrigsten gemessenen Werte bei mehreren Probenentnahmen)
(Die Nummern verweisen auf die Lage der Seen in Abb. 1)

Nr.	See	Höhe m ü. d. A.	pH		Leitfähigkeit ($\mu S_{20} cm^{-1}$)	Alkalinität ($\mu eq/l^{-1}$)
1	Wangenitzsee	2465	6,2	(6,12)	19	59
2	Kreuzsee (Schobergruppe)	2483	6,45		23	59
3	Tümpel ostw. des Kreuzsees	2490	4,8		13	4
4	Großer Gradensee	2474	6,43		21	86
5	Mittlerer Gradensee	2421	6,3		25	137
6	Große Saulacke	2510	5,4*		–	55
7	Kleine Saulacke	2415	7,09		20	86
8	Eissee	2800	5,41		13	86
9	Stübelesee	2400	6,18		18	55
10	Weißsee	2400	6,19		21	75
11	Oschenikssee	2350	7,4		42	408
12	Stappitzer See	1250	7,1		83	710
13	Dösener See	2260	6,52	(5,9)	13	44
14	Konradsee	1616	6,84		25	120
15	Gippersee	2050	6,1		21	73
16	Goaßelesee	2150	6,27		22	93
17	Goaßeletümpel	2130	5,5		19	50
18	Eben-Lanisch-See	2368	7,05	(6,9)	24	243
19	Melniksee	2440	6,7		47	430
20	Turracher See	1763	7,6	(6,32)	92	800
21	Schwarzsee (Turrach)	1841	6,68	(6,1)	23	200
22	Grünsee (Turrach)	1750	8,2		146	800
23	Falkertsee	1880	7,2	(6,51)	51	500
24	Oberer Zgartensee	2090	7,75		40	360
25	Unterer Zgartensee	1929	8,22		93	970
26	Gurksee	1970	7,24		70	690
27	Torersee	2010	6,88		10	360
28	Schwarzsee (Flattnitz)	1370	7,03		40	390
29	Flattnitzer See	1940	8,4		174	1860
30	Wolayersee	2450	7,75		100	1123
31	Zirmsee	2495	7,2			180

* Aus: TURNOWSKY 1946

Konradsee, den Gippersee, den Zirmsee sowie den Goaßelesee und den Goaßeletümpel zutreffen. Diese Seen liegen ausschließlich rund um das Mölltal, entsprechend dem geologischen Untergrund sind dort die Konzentrationen der Härtebildner, die die Pufferkapazität eines Gewässers darstellen, sehr niedrig. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch für Fließgewässer in dieser Region, wodurch vor allem zur Zeit der Schneeschmelze

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



LEGENDE:

1 Wangenitzsee
2 Kreuzsee
3 Tümpel ostwärts Kreuzsee
7 Kleine Saulacke
13 Dösener See
16 Goaßele See
17 Goaßele Tümpel
18 Eben Lanischsee
19 Melniksee
21 Turracher Schwarzsee
23 Falkertsee
24 Oberer Zgarten See
31 Zirmsee

Abb. 2: Ionenbilanz (% Anionen, % Kationen) und Ionensumme (µeq/l) von 13 Hochgebirgsseen.

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

niedrige pH-Werte auftreten (HONSIG-ERLENBURG und SAMPL 1985, JANAUER 1986).

Neben der Alkalinität sind auch die Leitfähigkeitswerte in dieser Region sehr niedrig (13 bis 25 $\mu S \cdot cm^{-1}$). Die niedrigste Leitfähigkeit (10 $\mu S \cdot cm^{-1}$) wurde allerdings im Torersee auf 2010 m in den Gurktaler Alpen gemessen.

In Tümpeln mit kristallinem Untergrund sind die pH-, die Alkalinitäts- und Leitfähigkeitswerte generell niedriger als in größeren Seen der Umgebung (Tab. 1).

Abbildung 2 zeigt die Ionenbilanz von 13 Hochgebirgsseen. Die Ionensummen liegen zwischen 150 und 1300 $\mu eq \cdot l^{-1}$. Bei sieben Seen ist die Hydrogencarbonat-Konzentration niedrig, nämlich unter 100 $\mu eq \cdot l^{-1}$ bzw. unter 50 Prozent der Anionen. Hier ist der Anteil an Sulfat bei den Anionen etwa gleich groß wie der des Hydrogencarbonates, bzw. es überwiegt sogar. Das Nitrat macht im Mittel etwa zwölf Prozent der Anionen aus. Beim Tümpel ostwärts des Kreuzsees (Nr. 3 in Abb. 2) beträgt dieser Anteil sogar 45 Prozent und ist dem des Sulfats identisch. In beiden untersuchten Tümpeln spielt auch das Proton eine gewisse Rolle in der Ionenbilanz. Die mittlere Konzentration für das Ammonium liegt bei 1,3 $\mu eq \cdot l^{-1}$, es spielt, mit Ausnahme des Goaßeletümpels (5,1 $\mu eq \cdot l^{-1}$), in der Zusammensetzung der Kationen kaum eine Rolle.

Silizium findet man in Kärntner Hochgebirgsseen in Konzentrationen zwischen 0,4 und 5,1 $mg \cdot l^{-1}$ SiO_2.

Im Anhang (Tab. 5 bis 7) werden die chemisch-physikalischen Parameter von den untersuchten Hochgebirgsseen dargestellt. Die Werte stammen teilweise von SCHULZ et al. (1984), SCHULZ et al. (1983), HONSIG-ERLENBURG (1983) und HONSIG-ERLENBURG et al. (1983).

In Abbildung 3 werden die Zusammenhänge zwischen Alkalinität bzw. Hydrogencarbonat und pH-Wert von 23 Hochgebirgsseen dargestellt. Die meisten gemessenen pH-Werte liegen zwischen der Linie für den pH im Gleichgewicht mit der Atmosphäre (obere Kurve, $pH = 11,3 + \log HOC_3^-$) und jenen empirischen Linien, die NORTON und HENRIKSEN (1983) für Seen (mittlere Linie) bzw. für Grundwässer (untere Linie) in Südnorwegen gefunden haben. Für drei Seen (Eissee, Große Saulacke, Goaßeletümpel) liegen die Punkte unter dieser Linie. Beim Eissee, der fast ganzjährig unter Eis liegt, dürfte die Atmungsaktivität in dem von der Atmosphäre abgeschlossenen See zu einer starken CO_2-Übersättigung des Wassers führen. Die Seen in unmittelbarer Umgebung, die länger eisfrei sind (Stübelesee und Weißsee), wiesen nämlich zum gleichen Untersuchungszeitpunkt einen höheren pH-Wert (6,2) auf.

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

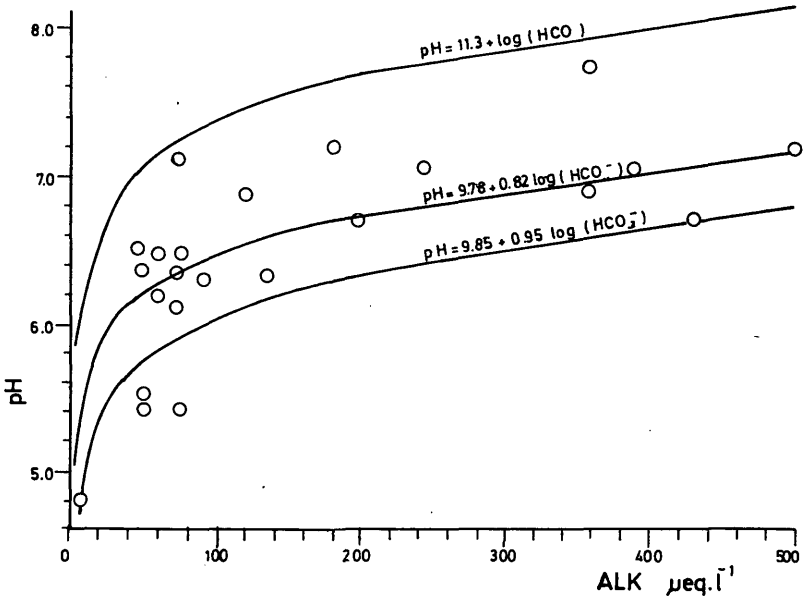


Abb. 3: pH- und Alkalinitätswerte von 23 Hochgebirgsseen. Obere Kurve (pH = 11,3 + log HCO_3^-): CO_2 im Gleichgewicht mit der Luft. Untere Kurven: pH-Alkalinitätsbeziehung in norwegischen Seen bzw. Grundwässern (NORTON and HENRIKSEN 1983).

Die Versauerungsentwicklung

Vergleich mit älteren Daten

Aufgrund der Untersuchungen von FINDENEGG (1953) und FINDENEGG und TURNOWSKY (1935) stehen uns ältere Daten von Kärntner Hochgebirgsseen zur Verfügung, die bis in das Jahr 1933 zurückreichen.

Die Tabellen 2 und 3 zeigen den mittleren pH sowie die niedrigsten gemessenen pH-Werte des jeweiligen Untersuchungsjahres vom Turracher See und Turracher Schwarzsee (ab 1933) sowie vom Falkertsee (ab 1982). Daraus ergibt sich keinerlei Tendenz zu einer pH-Verschiebung in den sauren Bereich, was bei der Alkalinität der betreffenden Seen (200–800 $\mu eq \cdot l^{-1}$) nicht verwundert. Allerdings sind ältere Untersuchungsergebnisse wegen der früher oft unzureichenden Methoden meist nicht gut mit neueren vergleichbar (BLAKAR und DIGERNES 1984).

Bei Untersuchungen des Wangenitzsees aus den Jahren 1938 bis 1941 von TURNOWSKY (1946) zeigten sich zum jahreszeitlich ähnlichen Untersuchungsdatum gegenüber 1985 höhere pH-Werte. Der mittlere pH-Wert aus allen Tiefenstufen aus dem Jahre 1985 (pH = 6,2) lag unter den

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

Tab. 2: Mittlere pH-Werte vom Turracher See, Turracher Schwarzsee und Falkertsee (UE: unter Eis; SS: Sommerstagnation)

Jahr	Turracher See		Turracher Schwarzsee	Falkertsee
	UE	SS		
1933	7,1	7,4	6,2	
1934			6,4	
1935	6,9			
1970	7,1	7,3	6,65	
1971	6,82	7,06	6,77	
1972	6,83	6,86		
1973		7,23		
1974	6,77	7,83		
1975		7,47		
1976		7,16		
1977		7,48		
1978		7,23		
1979		7,33		
1980		7,39		
1981		7,08		
1982		7,92	6,58	7,7
1983		7,47		
1984		6,91		6,82
1985		7,68	7,23	7,55
1986				7,25
Ø	6,92	7,24	6,64	7,33

Tab. 3: Niedrigster gemessener pH-Wert im Laufe der letzten 50 Jahre

Jahr	Falkertsee	Turracher See	Turracher Schwarzsee
1933		7,0	6,2
1934		6,6	6,4
1970		6,84	6,1
1972		6,54	
1973		6,48	
1974		6,62	
1975		6,74	
1976		6,67	
1977		6,78	
1978		6,72	
1979		6,83	
1980		6,83	
1981		6,59	
1982	6,89	6,99	6,58
1983		6,94	
1984	6,33	6,32	
1985	6,53		
Ø	6,58	6,71	6,32

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

Werten sämtlicher Einzelmessungen zwischen 1938 und 1941. Auch die Alkalinitätswerte lagen 1985 mit 59 $\mu eq \cdot l^{-1}$ deutlich unter den Messungen von 1938 bis 1941 (180 $\mu eq \cdot l^{-1}$).

Die Konzentration des Nitratstickstoffs lag 1938 bis 1941 zwischen 3 und 4 $\mu eq \cdot l^{-1}$ gegenüber 18 $\mu eq \cdot l^{-1}$ im Jahre 1985. Der Kreuzsee und auch die Gradenseen wurden ebenso bereits in den Jahren 1938 bis 1941 von TURNOWSKY (1946) untersucht. Dabei zeigten sich, zwar nicht so deutlich, ähnliche Verhältnisse wie beim Wangenitzsee. Obwohl die Methoden sicherlich nicht vollständig vergleichbar sind – TURNOWSKY verwendete relativ einfache Feldmethoden –, zeigt sich dennoch eine gewisse Versauerungstendenz.

Bei der Anwendung der Versauerungsgleichung nach WRIGHT (1983) ((2) und Abb. 5) trat beim Wangenitz- und Kreuzsee auch tatsächlich der höchste Alkalinitätsverlust der untersuchten Seen (zwischen 85 und 90 $\mu eq \cdot l^{-1}$) sowie eine Nettosulfat-Konzentration zwischen 19 und 23 $\mu eq \cdot l^{-1}$ auf.

Für die Seen der Tallagen, die größtenteils in Gebieten mit kalkreichem geologischem Untergrund liegen, konnte aufgrund eines Vergleiches mit älteren Daten keinerlei Versauerungstendenz festgestellt werden (HONSIG-ERLENBURG und SAMPL 1986).

pH-Wert-Rekonstruktion (Kieselalgengesellschaft)

Da bestimmte Diatomeenarten nur in sehr engen pH-Bereichen vorkommen, kann der pH-Wert aus der Zusammensetzung der Kieselalgengesellschaft in den Sedimenten rekonstruiert werden (STEINBERG et al. 1984). Die Zuordnung bestimmter Diatomeenspezies zu genau umgrenzten pH-Bereichen ist jedoch in letzter Zeit wieder in Fluß geraten und wird zurzeit von einer umfangreichen Forschungsgruppe untersucht (CHARLES und WHITEHEAD 1984).

Die Sedimente von zwei Kärntner Hochgebirgsseen, nämlich dem Gippersee und dem Goaßelesee im Mölltalgebiet, wurden auf ihr Alter, ihren Chemismus und auf die Zusammensetzung der Kieselalgengesellschaft untersucht. Aufgrund der Untersuchungen und der Rückdatierung auf etwa 300 Jahre konnte jedoch keine eindeutige Versauerungstendenz festgestellt werden (ARZET et al. 1986).

Versauerungsmodelle

In Versauerungsmodellen werden die nichtmarinen Anteile der Ionen (mit * bezeichnet) einander gegenübergestellt. In Abbildung 4 sind 13 Kärntner Hochgebirgsseen in ein HENRIKSEN-Nomogramm eingetragen. Wie daraus ersichtlich, können alle Seen als Bicarbonatseen bezeichnet werden, lediglich der Tümpel ostwärts des Kreuzsees mit einem pH-Wert von 4,8, geringer ursprünglicher Alkalinität und einer Konzentration von 31 $\mu eq \cdot l^{-1}$ nichtmarinen Sulfats fällt in die Kategorie der Übergangsseen.

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

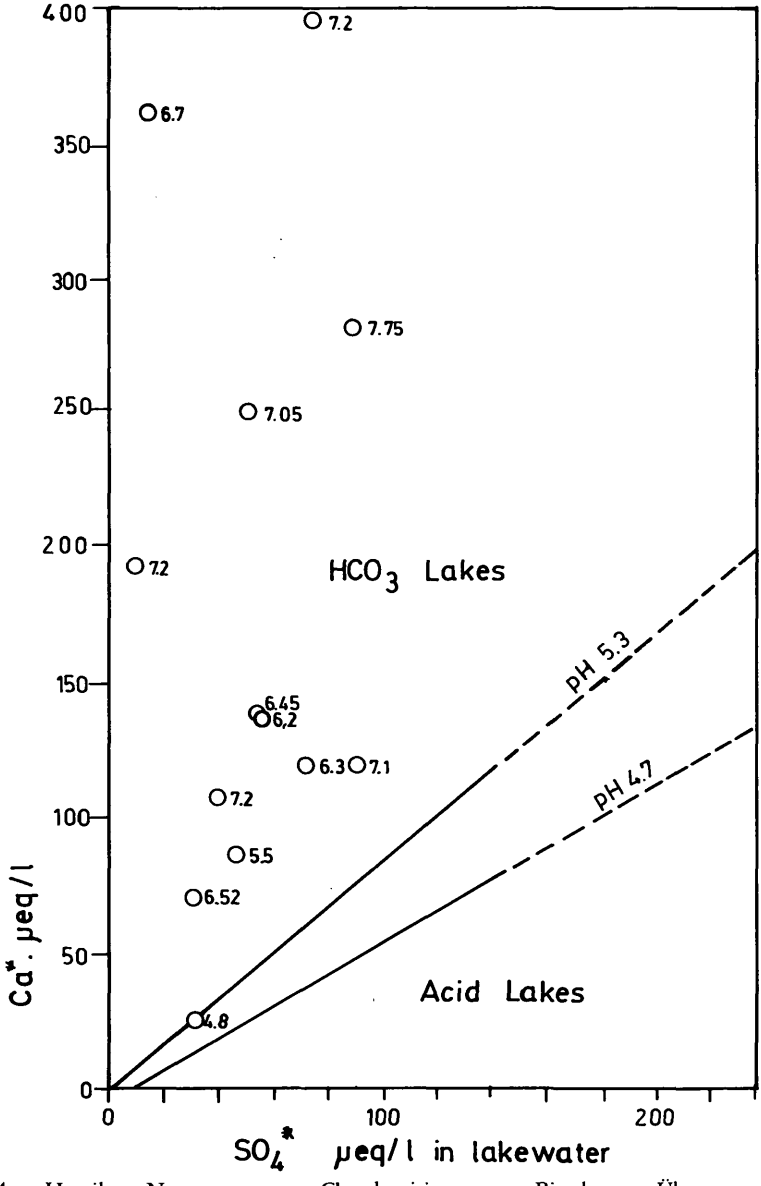


Abb. 4: Henriksen-Nomogramm zur Charakterisierung von Bicarbonat-, Übergangs- (pH 5,3–4,7) und sauren Seen aufgrund nichtmariner Ca- und SO_4-Konzentrationen.
Ca* = Maß für ursprüngliche Alkalinität
SO_4* = Maß für den Eintrag starker Säuren

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

Calcium und Magnesium sind in erster Linie als kationisches Maß für die Pufferung eines Gewässers anzusehen. In der Tabelle 4 wird versucht, die Summe von Ca* und Mg* (in $\mu eq \cdot l^{-1}$) den Versauerungsparametern SO_4* und NO_3 gegenüberzustellen.

Nähert sich der errechnete Faktor dem Wert 1, so ist die Versauerungsgefährdung größer. Ergibt sich ein Wert über 1, kann ein See bereits als versauert angesehen werden.

Wie aus der Tabelle 4 ersichtlich wird, liegt das Verhältnis Ca* + MG* : SO_4* + NO_3 nur beim Tümpel ostwärts des Kreuzsees über 1. Der Dösener See, die Kleine Saulacke, der Goaßeletümpel und der Goaßelesee mit Faktoren um 0,6 können als versauerungsgefährdet angesehen werden.

Tab. 4: Verhältnis $\frac{SO_4^* + NO_3}{Ca^* + Mg^*}$ von 13 Kärntner Hochgebirgsseen

Tümpel ostw. des Kreuzsees	1,26	Turracher Schwarzsee	0,26
Kleine Saulacke	0,66	Oberer Zgartensee	0,21
Dösener See	0,62	Eben-Lanisch-See	0,19
Goaßeletümpel	0,62	Falkertsee	0,14
Goaßelesee	0,58	Melniksee	0,07
Wangenitzsee	0,47	Zirmsee	0,04
Kreuzsee	0,44		

In Abbildung 5 sind die Ergebnisse der Untersuchungen im Hinblick auf das Modell von WRIGHT (1983b) dargestellt. Durch die von ihm entwickelte Versauerungsgleichung

$$0{,}91\ (Ca^* + Mg^*) - HCO_3 + H^+ + Al = \text{net } SO_4^* \qquad (2)$$

erhält man dabei als quantifizierbares Maß für die Versauerung den Alkalinitätsverlust, das ist also das ursprünglich vorhandene Bicarbonat (0,91 (Ca* + Mg*)) minus dem jetzigen Bicarbonat plus H^+ und Al. Die beiden letzteren Parameter spielen allerdings erst bei Seen mit pH-Werten unter 5,5 eine Rolle. Weiters kann der Wert für das Nettosulfat (net SO_4*), das das eigentliche Immissionssulfat als Maß für die Säurebelastung darstellt, erhalten werden. Trägt man beide Parameter gegeneinander auf (Abb. 5), sollte sich eine Gerade mit dem Schnittpunkt Null und 45° Steigung ergeben. Für Tiroler Hochgebirgsseen wurde dies auch von PSENNER et al. (1985) gefunden.

Für Kärntner Hochgebirgsseen zeigt sich in fast allen Fällen eine Abweichung der Punkte von der 1:1-Linie. Offenbar sind die Verhältnisse in bezug auf die einfache Zuordnung von K* und Na* zum SO_4* anders als in Skandinavien. Lediglich bei der Kleinen Saulacke in der Schobergruppe nähern sich die Werte – wobei hier auch der höchste Wert für das Nettosulfat (61 $\mu eq \cdot l^{-1}$) errechnet wurden – der 1:1-Linie. Der pH-Wert in diesem Gewässer liegt über 7,0, so daß man entweder eine ausreichend große ursprüngliche Alkalinität oder einen zusätzlichen Eintrag von (neutralen) Sulfaten annehmen muß.

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

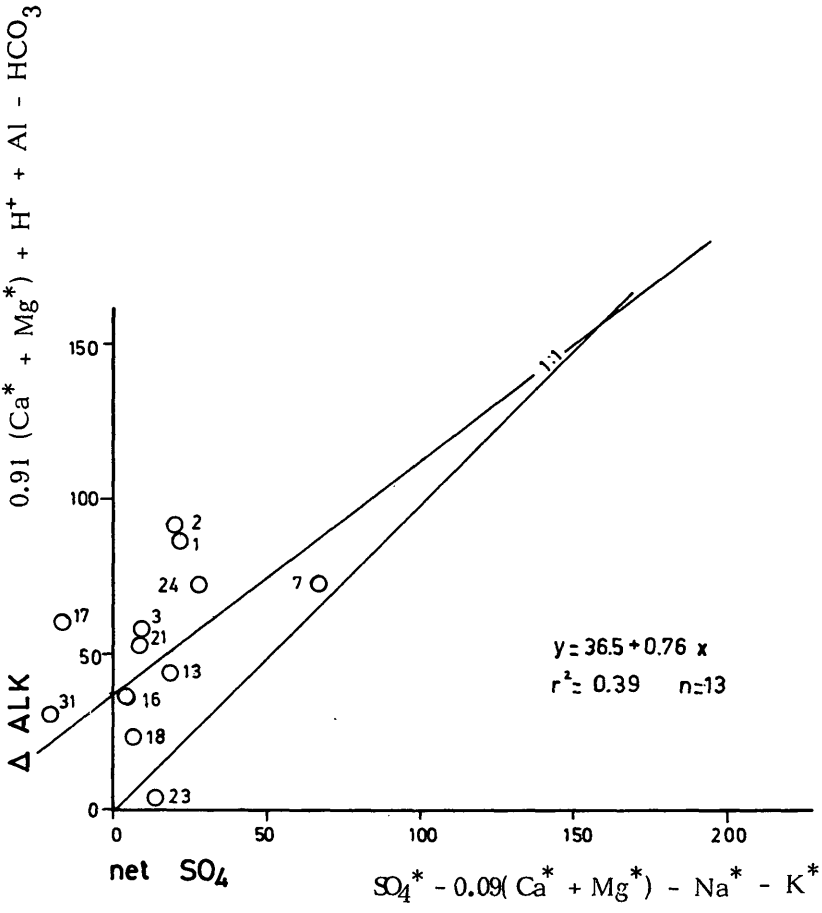


Abb. 5: Alkalinitätsverlust (μeq/l) und Nettosulfat (μeq/l) in 13 Hochgebirgsseen Kärntens.

Insgesamt scheint in den untersuchten Hochgebirgsseen das Nettosulfat noch gering zu sein.

Für den Melniksee zeigen sich sowohl beim Alkalinitätsverlust als auch beim Nettosulfat Negativwerte. Möglicherweise ist der für skandinavische Seen als Mittelwert verwendete Faktor von 0,91 für die Berechnung der ursprünglichen Alkalinität des Melniksees zu niedrig.

Da die meisten Punkte oberhalb der 1:1-Linie liegen, sollte auch NO_3^- als Versauerungsparameter in die Gleichung miteinbezogen werden.

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

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Ergebnisse der derzeitigen Zustandsuntersuchungen von Kärntner Hochgebirgsseen sowie der teilweise Vergleich mit älteren Daten und die Anwendung von Versauerungsmodellen zeigen, daß für den Großteil der untersuchten Hochgebirgsseen keine Gefahr der Versauerung besteht. Da der Anteil des Nitrats in einigen Seen jedoch sehr hoch ist (im Durchschnitt zwölf Prozent der Anionen; Abb. 2), ist die Übertragung skandinavischer Versauerungsmodelle bereits problematisch.

Tab. 5: Chemisch-physikalische Parameter von 31 Kärntner Hochgebirgsseen

See	pH			Leitfähigkeit uS_{20}/cm			Alk_E ueq/l			SO_4 mg/l			Cl mg/l			NO_3-N ug/l		
	min	x	max	min	x	max	min	x	max	min	x	max	min	x	max	min	x	max
Wangenitzsee	6.12	6.2	6.35	14	19	22	49	59	77	2.3	2.75	2.8	0	0.12	0.3	135	249	590
Kreuzsee		6.45			23			59			2.7			0.1			237	
Tümpel ostw. Kreuzsee		4.8			13			4			1.5			0.1			436	
Großer Gradensee		6.43			21			86			-			-			288	
Mittl. Gradensee		6.3			25			137			-			-			245	
Kleine Saulacke		7.09			20			86			4.3			0.8			451	
Eissee		5.41			13			86			-			-			270	
Stübelesee		6.18			18			55			-			-			190	
Weißsee		6.19			21			75			-			-			224	
Oschenigsee	6.8	7.4	8.5	30	42	71	280	408	640		-			-		140	259	450
Stappitzersee		7.14			83			710			12.3			1.4			561	
Dösener See	5.9	6.52			13			44			1.7			0.8			376	
Konrad See		6.84			25			120			5.0			0.8			376	
Gippersee	6.01	6.1	6.2	21	21	21	63	73	92		-			-		102	197	323
Goaßele See	6.22	6.27	6.3	20	22	23	80	93	110	2.67	3.19	3.56	0.15	0.24	0.4	207	217	230
Goaßele Tümpel		5.5			19			50			2.22			0.55			168	
Eben Lanischsee	6.86	7.05	7.22	24	25	26	240	243	250	0.4	2.5	3.8	0.6	0.7	0.8	90	101	111
Melniksee	6.68	6.7	6.72	45	47	50	420	430	440	0	0.86	2.7	0	0.34	0.9	145	161	176
Turracher See (1985)	6.8	7.44	8.26	33	97	122	870	1010	1280	2.4	4.36	5.7	0.1	1.31	2.1	113	228	506
Turracher Schwarzsee (1985)	6.1	6.68	7.23	22	23	25		200			2.0			1.0		182	302	422
Turracher Grünsee (1985)		8.34			168			1750			7.7			0.7			506	
Falkertsee	6.33	7.43	8.49	50	60	76	480	648	990	2.3	3.29	4.52	0	0.5	1.87	4	135	633
Ob. Zgartensee		7.75			40			360			4.2			0.8			205	
Unt. Zgartensee		8.22			93			970			5.2			0.6			564	
Gurksee		7.24			70			690			-			1.0			237	
Torersee	6.84	6.88	6.92		10		350	360	370	-	-	-	0.6	0.65	0.7	159	171	182
Schwarzsee (Flattnitz)	7.02	7.03	7.03	40	40	40	350	390	430		-			-		63	89	115
Flattnitzer See	8.37	8.4	8.4	174	174	174	1760	1860	1960		-		6.2	6.25	6.3	98	103	107
Wolayer See	7.37	7.75	8.07	97	100	103	1090	1123	1210	1.5	5.6	10.9	0.2	0.35	0.6	179	194	205
Zirmsee	6.88	7.2	7.35		-		140	180	220		0.5			0.2			10	

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

Für alpine Verhältnisse sollte der Stickstoff (NH_4 + NO_3) in die Modellberechnungen aufgenommen werden.

Niederschlagsuntersuchungen in Höhenlagen, in denen die untersuchten Seen liegen (HONSIG-ERLENBURG et al. 1986, GRUBER 1985), erbrachten mittlere gewichtete pH-Werte zwischen 4,3 und 4,9. Die Werte liegen zum Teil unter dem von WRIGHT und HENRIKSEN (1979), HENRIKSEN (1980) und WRIGHT and JOHANNESSEN (1980) genannten Schwellenwert

Tab. 6: Chemische Parameter von 31 Kärntner Hochgebirgsseen

See	Ca mg/l			Mg mg/l			Na mg/l			K mg/l			NH_4-N ug/l			SiO_2 mg/l		
	min	x	max	min	x	max	min	x	max	min	x	max	min	x	max	min	x	max
Wangenitzsee	2.2	2.77	4.5	0.2	0.25	0.3	0.27	0.31	0.38	0.3	0.34	0.35	9	21	47	0.6	0.7	0.9
Kreuzsee		2.8			0.3			0.32			0.42			18			1.1	
Tümpel ostw. Kreuzsee		0.5			0.3			0.25			0.29			38			0.4	
Großer Gradensee		3.4			0.8			0.37			0.68			35			1.2	
Mittl. Gradensee		3.8			0.7			0.88			0.93			52			1.4	
Kleine Saulacke		2.4			0.8			0.41			0.42			40			2.1	
Eissee		1.4			0.1			0.1			0.2			128			-	
Stübelesee		2.6			0.2			0.2			0.2			26			-	
Weißsee		3.3			0.3			0.2			0.2			37			-	
Oschenigsee		-			-			-			-			-			-	
Stappitzersee		10.9			1.2			1.13			2.6			33			5.1	
Dösener See		1.4			0.4			0.28			0.24			35			1.1	
Konrad See		3.0			0.7			0.34			0.48			59			1.4	
Gippersee	3.1	3.27	3.4	0.35	0.4	0.45	0.43	0.45	0.47	0.18	0.19	0.19	26	32	35	1.5	1.5	1.5
Goaßele See	2.4	2.43	2.5	0.2	0.27	0.3	0.55	0.72	0.84	0.74	0.85	1.0	9	16	26	1.8	2.1	2.6
Goaßele Tümpel		1.8			0.4			0.78			1.4			147			3.2	
Eben Lanischsee	5.0	5.0	5.0	0.5	0.63	0.8	0.26	0.33	0.5	0.58	0.62	0.7	42	39	52	0.1	0.4	0.8
Melniksee	7.2	7.3	7.5	<1.0	<1.0	<1.0	<0.5	<0.5	<0.5	0.97	1.0	1.01	7	16	33	0.9	1.7	4.4
Turracher See (1985)	10.4	13.0	18.4	5.5	6.3	7.4	0.95	1.16	1.39	0.4	0.54	0.7	6	65	430	0.4	1.3	3.0
Turracher Schwarzsee(1985)	1.1	1.7	2.2	1.5	1.75	2.0	0.48	0.53	0.58	0.27	0.3	0.32	16	32	48	1.7	1.7	1.7
Turracher Grünsee (1985)		18.5			12.6			0.93			0.47			13			2.1	
Falkertsee	7.3	8.7	11.3	2.1	2.9	3.5	0.51	0.7	1.03	0.12	0.3	0.49	10	48	249	0.3	1.65	3.0
Ob. Zgartensee		5.6			2.5			0.62			0.2			14			2.1	
Unt. Zgartensee		18.4			2.7			0.74			0.32			16			2.7	
Gurksee		8.8			4.3			1.17			8.9			25			3.4	
Torersee	3.7	3.75	3.8	1.6	1.65	1.7	0.74	0.78	0.82	<0.5	<0.5	<0.5	8	12	16	3.2	3.25	3.3
Schwarzsee (Flattnitz)		-			-			-			-		35	36	36		-	
Flattnitzer See	23	23.8	24.5	10	10.4	10.7		2.96		0.54	0.87	1.2	91	97	102	0.6	0.65	0.7
Wolayer See	18.4	18.9	19.4	1.7	1.85	2.1	0.29	0.38	0.48	0.18	0.22	0.29	33	84	162	1.2	1.4	1.8
Zirmsee		3.9			0.6			0.2			0.4			60		0.7	1.0	1.2

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

von pH 4,7. Die Sulfatdeposition in den betreffenden Höhenlagen beträgt zwischen 0,4 und 0,8 g SO_4–S $m^{-2} \cdot a^{-1}$. Die Nitrateinträge durch den Niederschlag in diesem Gebiet liegen zwischen 0,2 und 0,4 g $m^{-2} \cdot a^{-1}$. Schneeprobenuntersuchungen aus verschiedenen Höhenlagen zeigten eine generelle Tendenz zu höheren Nitratimmissionen in größeren Höhenlagen. Somit scheint eine Gefährdung durch den Eintrag von Stickoxiden und eine damit verbundene Versauerung der Hochgebirgsseen für die Zukunft gegeben zu sein.

Tab. 7: Chemische Parameter von 31 Kärntner Hochgebirgsseen

See	P-tot ug/l			P-gel ug/l			PO_4-P ug/l			NO_2-N ug/l			Fe mg/l			Mn ug/l			Pb ug/l			TOC mg/l
	min	x	max	min	x	max	min	x	max	min	x	max	min	x	max	min	x	max	min	x	max	
Wangenitzsee	3.0	3.9	5.5	1.0	2.4	5.0	0.1	0.3	1.4	1.1	1.8	2.5	0.05		4.5	4.5	19.8	69.0	0.9	1.1	2.0	0.95
Kreuzsee		5.5			3.0			1.4			2.2			0.05			4.5			2.0		0.68
Tümpel ostw. Kreuzsee		7.5			3.0			1.2			0.9			0.05			34.0			1.2		1.22
Großer Gradensee		12.5			-			1.5			1.4			0.24			9.6			-		1.5
Mittl. Gradensee		12.5			-			0.7			1.2			0.05			11.7			-		4.1
Kleine Saulacke		4.0			2.0			1.2			1.9			0.11			27.0			-		1.4
Eissee		20.0			-			0.8			-			-			-			-		-
Stübelesee		5.5			-			0.9			-			-			-			-		-
Weißsee		4.5			-			0.6			-			-			-			-		-
Oschenigsee		-			-		2.0	4.7	10.0		-			-			-			-		-
Stappitzersee		12.0			9.5			5.1			1.1			-			-			-		-
Dösener See	7.0	10.2	19.0	5.5	7.7	13.0	0.8	3.1	4.6	0.7	1.9	3.0	0	0.6	0.12		4.6			-		-
Konradsee		12.0			4.5			0.5			2.1			0.3			12.2			-		-
Gippersee	2.5	10.7	26.0	1.5	1.7	2.0	0.2	0.7	1.4	0.1	0.27	0.4		0.05		11.5	12.0	12.5		-		-
Goaßele See	8.0	21.8	48.5	3.5	4.0	4.5	0.1	0.3	0.5	1.6	2.1	2.4	0.05	0.06	0.07	7.2	14.7	24.6		-		-
Goaßele Tümpel		197.0			27.5			9.6			1.5			0.05			21.0			-		-
Eben Lanischsee	14.5	41.1	101		-		1.8	3.6	7.4	0.9	1.9	2.7	0.05	0.07	0.18		-		1.6	3.0	5.1	-
Melniksee	3.5	14.7	54.0	1.5	2.7	5.0	0.4	0.9	1.2	1.0	2.1	4.9		-			-			-		-
Turracher See (1985)	4.5	16.3	97.0	1.5	3.3	7.5	0.1	1.2	2.8	0.1	0.9	1.8	0.05	1.9	16.6	5.5	358	2000		-		3.2
Turracher Schwarzsee (1985)	7.5	9.3	11.0	4.5	5.5	6.5	1.4	2.3	3.2	0.6	1.3	2.0		0.19			28.7			-		3.03
Turracher Grünsee (1985)		6.5			3.5			1.9			0.9			0.1			30.0			-		3.58
Falkertsee	4.5	19.9	125.5	1.5	5.2	18.0	0.1	1.3	8.6	0.1	1.0	2.5	0.05	0.16	0.48	11.5	37.0	102.0		-		2.32
Ob. Zgartensee		6.5			-			0.2			0.8			0.15			17.6			-		3.57
Unt. Zgartensee		4.0			-			0.8			1.0			0.05			22.5			-		2.61
Gurksee		10.5			4.0			0.9			0.7			-			-			-		-
Torersee	10.0	11.0	12.0	3.5	4.3	5.0		0.7			1.4			-			-			-		-
Schwarzsee (Flattnitz)	7.0	20.0	33.0	3.5	7.0	10.0		-			-			-			-			-		-
Flattnitzer See	16.0	19.5	23.0	3.5	3.8	4.0	0.1	0.2	0.3	1.1	1.5	1.9		-			-			-		-
Wolayer See	5.5	25.4	79.0	2.5	3.6	5.5	1.1	1.8	2.8	0.3	3.7	11.7		-			-			-		3.8
Zirmsee	1.9	4.8	9.3	0.8	2.5	5.7		-			-			-			-			-		-

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

PSENNER et al. (1985) geben Seen mit pH-Werten unter 6,0 und Alkalinitäten unter 20 μeq/l als extrem gefährdet an. In diese Kategorie würde nach vorliegenden Untersuchungen lediglich der Tümpel ostwärts des Kreuzsees fallen.

Aufgrund des Vergleiches mit älteren Daten zeigen sich für den Wangenitzsee und den Kreuzsee Versauerungstendenzen, was auch durch einen relativ hohen Alkalinitätsverlust (Abb. 5) dokumentiert wird.

Wenn auch viele Hochgebirgsseen in Kärnten nicht als potentiell versauerungsgefährdet gelten können, vor allem wegen der noch relativ guten Pufferkapazität, ist jedoch bei manchen eine Gefährdung aufgrund der Zusammensetzung der gemessenen Niederschläge zu erwarten. Geht man von den von BRADT et al. (1984) aufgestellten Grenzwerten (200 $\mu eq \cdot l^{-1}$) aus, trifft das auf 16 Kärntner Hochgebirgsseen zu, d. h. auf die Hälfte der in Tabelle 1 angeführten Gewässer. Durch die Anwendung von Versauerungsmodellen kommt dies jedoch nicht klar zum Ausdruck.

In diesem Zusammenhang muß jedoch berücksichtigt werden, daß nur ein Teil der Seen in die Versauerungsmodelle miteinbezogen werden konnte und daß die Übertragung skandinavischer Versauerungsmodelle für die Verhältnisse in Kärnten problematisch ist.

Seen, die nach ersten Untersuchungen einer starken Versauerungsgefährdung ausgesetzt sind, von denen jedoch noch keine vollständigen Analysen vorliegen, sollen im Jahre 1986 im Rahmen des Versauerungsprojektes genauer untersucht werden.

Eine vollständige, endgültige Bewertung kann nur durch eine genaue Untersuchung der Niederschläge, der geologisch-mineralogischen Beschaffenheit und der Böden des Einzugsgebietes, der Sedimente sowie der jahreszeitlichen Schwankungen (Schneeschmelze) ausgewählter Seen erfolgen.

DANK

Für Probenentnahmen danken wir auch den Herren Univ.-Doz. HR. Dr. Hans SAMPL, Dr. Norbert SCHULZ, Dr. Erich POLZER, Dr. Wolfgang HAFNER, Univ.-Prof. Dr. Helmut HARTL sowie Herrn Hubert SAUPER.

Für die chemisch-physikalischen Untersuchungen und die gewinnbringenden Diskussionsbeiträge danken wir Herrn Dr. Josef GRUBER und Frau Krista KANZ, für die graphische Gestaltung Herrn Dieter SUCHY.

LITERATUR

ARZET, K., Ch. STEINBERG, R. PSENNER and N. SCHULZ (1986): Diatom distribution and diatom inferred pH in the sediment of four alpine lakes. – Proc. IV. Int. Symp. on Paleolimnology, Ossiach, Carinthia, 2–7 Sept. 1985.

ARZET, K., D. KRAUSE-DELLIN and Ch. STEINBERG (in press): Acidification of selected lakes in the FRG as reflected by subfossil diatoms, cladoceran remains and sediment chemistry. – Developments in Hydrobiology: 30 pp.

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

BLAKAR, I. A., and I. DIGERNES (1984): Evaluation of acidification based on former colorimetric determination of pH: The effect of indicators on pH in poorly buffered water. – Verh. Internat. Verein. Limnol. 22:679–685.

BRADT, P. T., M. B. BERG, D. S. BARRASSO and J. L. DUDLEY (1984): The biological and chemical impact of acid precipitation on Pocono Mountain lakes. – Dept. of Biology, Lehigh Univ., Bethlehem, PA, USA: 1–215.

CHARLES, D. F., and D. R. WHITEHEAD (1984): Paleological Reconstruction of recent lake acidification. – Dept. of Biology, Indiana University, USA: 1–16.

DICKSON, W. (1985): Acid rain in Sweden: effects on lake systems. – Internat. Congress: Lakes pollution and recovery, ANDIS, Rome, 1985: 341–346.

DRABLOS, D., and A. TOLLAN (eds.) (1980): Ecological impact of acid precipitation. – SNSF-project: Acid precipitation-effects on forest and fish: 383 pp.

FINDENEGG, I. (1953): Kärntner Seen naturkundlich betrachtet. – Carinthia II, Klagenfurt, Sonderheft 15, 101 pp.

FINDENEGG, I., und F. TURNOWSKY (1935): Limnologische Untersuchungen im Gebiete der Turracher Höhe. – Carinthia II, Klagenfurt, 125./45.:33–57.

GRUBER, J. (1985): Nähr- und Schadstoffeintrag in die Seen Kärntens durch Niederschläge. – Diss. Uni. Graz, 89 pp.

HAMM, A. (1984): Aspekte der Versauerung von Gewässern durch Immissionsbelastung. – Abwasserbiologischer Fortbildungskurs, Teil II, 11.–12. Oktober 1984, Bayer. LA f. Wasserforschung, München 1984.

HENRIKSEN, A. (1980): Acidification of freshwaters – a large scale titration. – In: Drablos and Tollan (eds.): 68–74.

– (1982): Alkalinity and acid precipitation research. – Vatten 38:83–85.

– (1985): Acid rain in Norway: effects on lake and river systems. – Internat. Congress: Lakes pollution and recovery, ANDIS, Rome 1985: 325–340.

HONSIG-ERLENBURG, W. (1983): Vier Bergseen in den Gurktaler Alpen (Kärnten, Österreich). – Carinthia II, Klagenfurt, 173./93.:275–292.

HONSIG-ERLENBURG, W., W. HAFNER, J. GRUBER und G. DEISINGER (1986): Gewässerbelastung durch Niederschlag und diffusem Eintrag – Ergebnisse des Österreichischen Eutrophieprogrammes 1982–1986 – in prep.

HONSIG-ERLENBURG, W., und H. SAMPL (1986): Zur Frage der Versauerung von Oberflächengewässern in Kärnten. – ÖWW 38, 5/6:113–120.

HONSIG-ERLENBURG, W., N. SCHULZ, G. DEISINGER und K. KANZ (1983): Erste limnologische Untersuchungen im Melniksee (Kärnten, Österreich). – Carinthia II, Klagenfurt, 173./93.:185–204.

JANAUER, G. (1986): Untersuchungen zur Versauerung österreichischer Fließgewässer. – BMLFW; Wasserwirtschaft – Wasservorsorge, Forschungsarbeiten.

LENHART, B., und Ch. STEINBERG (1984): Limnochemische und limnobiologische Auswirkungen der Versauerung von kalkarmen Oberflächengewässern. – Informationsberichte Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft 4/84:1–203.

MOSELLO, R., and G. TARTARI (1985): Acidification of atmospheric depositions and internal waters: the italian situation. – Internat. Congress: Lakes pollution and recovery, ANDIS, Rome 1985: 315–324.

NORTON, St. A., and A. HENRIKSEN (1983): The importance of CO_2 in evaluation of effects of acidic deposition. – Vatten 39:346–354.

PSENNER, R., F. ZAPF, U. NICKUS und K. ARZET (1985): Versauern Hochgebirgsseen in kristallinen Einzugsgebieten Tirols? – Workshop: Immissionsmessung „Saure Depositionen", Salzburg, 16.–17. Sept. 1985.

SCHNOOR, J. L., L. SIGG, W. STUMM und J. ZOBRIST (1983): Saure Niederschläge und ihr Einfluß auf die Schweizer Seen. – Mitteilungen d. EWAG 15:6–14.

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

SCHOEN, R., R. WRIGHT and M. KRIETER (1984): Gewässerversauerung in der BRD. Erster regionaler Überblick. – Naturwissenschaften 71.

SCHULZ, N., W. HONSIG-ERLENBURG, G. KANZ und G. DEISINGER (1984): Limnologische Untersuchungen am Eben-Lanisch-See (Kärnten, Österreich). – Carinthia II, Klagenfurt, 174./94.:387–395.

SCHULZ, N., K. KANZ und G. DEISINGER (1983): Limnologische Untersuchungen am Falkertsee (Kärnten, Österreich). – Carinthia II, Klagenfurt, 173./93.:205–219.

STEINBERG, Ch., R. MEIER, H. EMEIS-SCHWARZ, D. KRAUSE-DELLIN und K. ARZET (1984): Versauerung des Großen Arbersees, dokumentiert durch paläolimnologische Untersuchungen. – Vom Wasser 63:36–56.

STUMM, W., J. J. MORGAN und J. L. SCHNOOR (1983): Saurer Regen, eine Folge der Störung hydrochemischer Kreisläufe. – Naturwissenschaften 71:216–223.

STUMM, W., und G. RIGHETTI (1982): Tessiner Bergseen: Saurer Regen, saure Traufe. – Neue Züricher Zeitung, 6. 10. 1985, Fernausgabe Nr. 231:31.

TURNOWSKY, F. (1946): Die Seen der Schobergruppe in den Hohen Tauern. – Carinthia II, Klagenfurt, Sonderheft 8, 78 pp.

WRIGHT, R. F. (1983a): Acidification of freshwater in Europe. – Water Quality Boulletin 8:137–142.

– (1983b): Predicting acidification of North American lakes. – NIVA-Report 4, Oslo: 1–165.

WRIGHT, R. F., and A. HENRIKSEN (1979): Sulfur: Acidification of freshwaters: 277–301. – In: Proc. Intern. Symposium on Sulphur Emmissions and the Environment, London, May 8–10, 1979, Society of Chemical Industry.

WRIGHT, R. F., and M. JOHANNESSEN (1980): Input-output budgets at gauged catchments in Norway. – In: Drablos and Tollan (eds.).

Anschriften der Verfasser: Dr. Wolfgang HONSIG-ERLENBURG, Kärntner Institut für Seenforschung, Flatschacher Straße 70, 9020 Klagenfurt; Dr. Roland PSENNER, Abteilung für Limnologie der Universität Innsbruck, Technikerstraße 25, 6020 Innsbruck.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Carinthia II

Jahr/Year: 1986

Band/Volume: 176_96

Autor(en)/Author(s): Honsig-Erlenburg Wolfgang

Artikel/Article: Zur Frage der Versauerung von Hochgebirgsseen in Kärnten 443-461