

Zeitschrift: Schweizer Schule
Herausgeber: Christlicher Lehrer- und Erzieherverein der Schweiz
Band: 49 (1962)
Heft: 4: Vom Segen des Wassers

Artikel: Was geht in unseren Seen vor?
Autor: Eschmann, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-528480>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 13.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

blem, soll nicht die Wasserversorgung im bisherigen Ausmaße unmöglich werden.

Ein Blick auf den Wasserhaushalt der Erde als Ganzes zeigt gewaltige Zahlen, die nicht als exakte, sondern als geschätzte Werte genommen werden dürfen. Aus den Meeren verdunsten $334\,000\text{ km}^3$ Wasser, von den Kontinenten weitere $62\,000\text{ km}^3$. Davon fallen auf die Ozeane zurück $297\,000\text{ km}^3$, während die Kontinente $99\,000\text{ km}^3$ empfangen. Da jeder Kubikkilometer eine Milliarde Kubikmeter enthält, wirken diese Zahlen geradezu erschlagend. Sie sind jedoch unserer Vorstellung nicht mehr zugänglich und daher eher blutleer. Etwas vorteilhafter ist die andere Berechnung (nach *G. Wuest*). Jährlich verdunsten 93 cm Wasser aus unsern Ozeanen, und nur 82 cm fallen wieder als Niederschläge zurück. Auf den Kontinenten verdunsten dagegen nur 42 cm, während sie 67 cm empfangen. Die Differenz von 25 cm fließt dem Meere zu. Im Durchschnitt verdunsten daher auf den Kontinenten 63%, während der Gesamtabfluß 37% beträgt.

Das Eis bietet ein weiteres wichtiges Problem des Wasserhaushaltes der Erde. Während der Eiszeiten wurde viel Wasser als Gletschereis auf den Kontinenten festgehalten. Das skandinavische Eis war über 4000 m mächtig, und über der Hudsonbay türmte es sich sogar 5500 m hoch auf. Es reichte weit südwärts über die Großen Seen hinaus und bis gegen New York. Dazu kamen auch damals schon Grönland und die Antarktis. Das entzog dem Meere so viel Wasser, daß der Spiegel in der letzten Eiszeit um 80 bis 100 m tiefer stand als heute. Die Nordsee lag trocken, die großen Sundainseln waren miteinander verbunden, und das Gelbe Meer existierte noch nicht.

Im nacheiszeitlichen Klimaoptimum war es wärmer als heute, und das Meer stand um einige Meter höher. Immer wieder hört man sagen, es wäre doch so schön, wenn das Klima allgemein wärmer würde. Das ist nach diesem kalten Maien verständlich. Aber das ist nun wohl der gefährlichste Wunsch, den die Menschheit mit scheinbar gutem Gewissen haben könnte. Die Folge wäre ein Abschmelzen des Eises in Grönland und in der Antarktis. Der Meeresspiegel höbe sich nach *Bauer* um 54 m. Es können aber auch 20 m mehr sein, denn man entdeckte während des Geophysikalischen Jahres, daß die Eisschicht der Antarktis viel mächtiger ist, als man früher vermutete. Die Hebung des Meeresspiegels wäre die größte Katastrophe, die die Menschheit bisher erlebte, und furchtbares Elend käme über sie. Die großen Küsten-

städte, fruchtbare Tiefländer, Wohnstätten von Hunderten von Millionen Menschen versanken im Meer. Heute ist in der Atomenergie den Menschen ein Mittel in die Hand gegeben, diese Eiskeller der Erde zu schmelzen. Seien wir froh, daß noch niemand im Ernst an eine solche wahnwitzige Tat heranging. Jede Störung im Wasserhaushalt der Erde gefährdet den Menschen, sei es durch Verschmutzung des Wassers, sei es durch eine zahlenmäßige Änderung in der Menge oder in der Verteilung.

Was geht in unseren Seen vor?

H. Eschmann, Kantonschemiker, Zug

Wasser gehört mit zu den ersten Voraussetzungen, daß überhaupt ein Stück Land von Menschen besiedelt werden kann. Dieses Wasser muß jedoch gleichzeitig gewisse Reinheitsanforderungen erfüllen, um als Trink- oder Gebrauchswasser verwendet werden zu können, und zwar gleichgültig, ob es an Hängen als Quelle zutage tritt, aus der Tiefe eines Tales als Grundwasser emporgepumpt wird, ob es in Bächen oder Flüssen zu Tal fließt oder sich irgendwo als See staut. Diese Forderung an Reinheit bezieht sich dabei sowohl auf chemische wie physikalische Komponenten wie auch auf die bakteriologisch-hygienische Richtung. Überall dort, wo diese Anforderungen erfüllt waren, haben sich Städte und Dörfer entwickelt, Gewerbe und Industrie haben sich ausgedehnt, und Wohlstand und Kultur sind aufgeblüht.

Parallel zu dieser Entwicklung lief aber gleichzeitig auch diejenige der Verschmutzung des Wassers, gibt doch der Mensch gleich viel Wasser, das er in irgendeiner Art verwendet, wiederum der Natur als Abwasser zurück. Dies geschieht dabei meist in der Weise, daß das Schmutzwasser mittelst einer Kanalisation oder auch durch einen offenen Graben dem nächsten Gewässer, sei es See oder Fluß, zugeleitet wird. Vor hundertfünfzig Jahren noch, als die

Schmutzmenge wegen kleinerer Bevölkerungsdichte und vor allem wegen des Fehlens der heutigen Vollindustrialisierung bedeutend kleiner war, stellten diese Abwasserzuflüsse für unsere Gewässer noch keine eigentliche Gefahr dar. Jedes Gewässer konnte sich durch die ihm innewohnende Selbstreinigungskraft nämlich nach kürzerer oder längerer Zeit wiederum von den Schmutzstoffen befreien. Dies rührt daher, daß in jedem mit organischen Stoffen belasteten Wasser Kleinorganismen, wie Bakterien, Algen, Pilze und Kleintiere, leben, die in komplizierten biologischen Prozessen die Schmutzstoffe angreifen, spalten und auflösen und die dabei entstehenden Elementarteilchen dem natürlichen Kreislauf des Lebens zurückgeben. Dieser selbe Prozeß wird heute technisch in den biologischen Kläranlagen zur Reinigung des Abwassers ausgenutzt. Somit wird jedoch auch bereits klargelegt, daß die heutigen Gewässerschutzfragen ein Gebiet umfassen, das sowohl technische wie chemische und hygienische Kenntnisse voraussetzt und die nicht durch eine Allheilmittelregel gelöst werden können. Die Wasserprobleme in See und Fluß sind voneinander verschieden, da sich das Wasser im See staut und stagniert, während es im Fluß in steter Bewegung ist. In mancher Beziehung verhält sich zudem das Wasser komplizierter als andere Flüssigkeiten. Während zum Beispiel bei diesen das spezifische Gewicht meist mit steigender Temperatur abnimmt, nimmt die Dichte des Wassers von 0 bis 4 Grad Celsius zu und erst dann wieder ab. So ist Wasser von 4 Grad Celsius Wärme pro Volumeneinheit am schwersten. Das Volumengewicht des Wassers in unseren Gewässern ändert sich mit der Temperatur und mit der Aufnahme gelöster Salze. Bei reinem Wasser beträgt das spezifische Gewicht

bei	0° C	0,9998
	4° C	1,0000
	12° C	0,9995
	24° C	0,9973

Die Auswirkung dieser Eigenschaft ist in Abb. 1 niedergelegt.

Die Tatsache, daß das Wasser bei 4° C sein Dichtemaximum hat, ist für die Verbreitung des Lebens in den Binnengewässern von allergrößter Bedeutung, friert doch im Winter der See nicht von oben bis unten zu, sondern bildet eine spezifisch leichtere Eisdecke, unter der sich die Wasserlebewesen viel kleineren Temperaturschwankungen ausgesetzt sehen als die Organismen auf dem Festland.

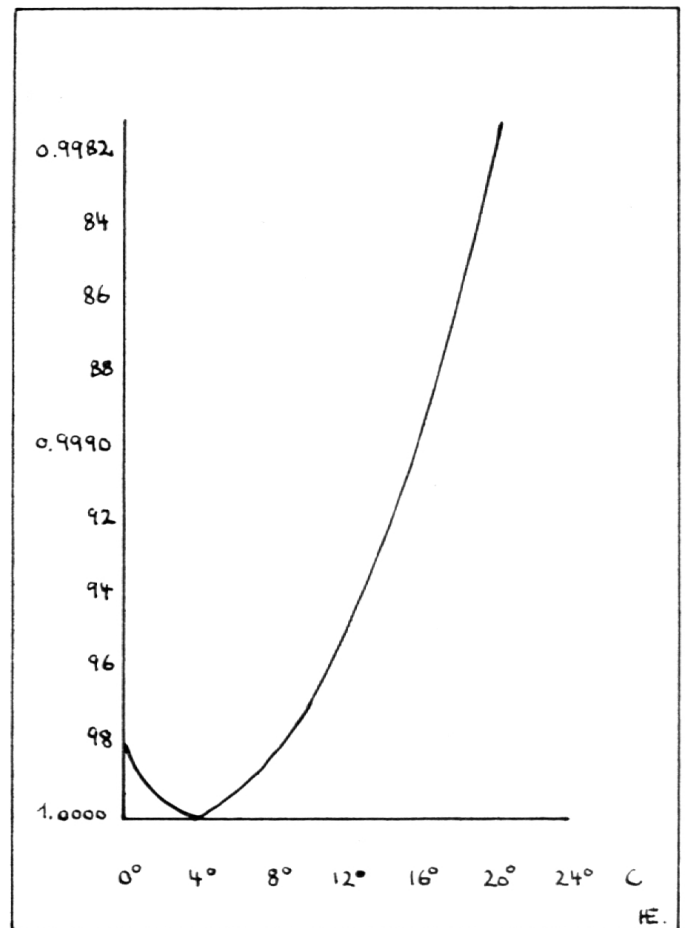


Abb. 1

Da die Temperatur in den Gewässern für seine Bewohner von allergrößter Bedeutung ist, wird der Limnologe bei allen seinen Untersuchungen vor allem der Wassertemperatur seine besondere Aufmerksamkeit widmen. Stehende Gewässer machen im Laufe eines Jahres einen ganz bestimmten Temperaturgang durch. Ausgangs des Winters ist das Wasser eines Sees im Zustand der Ruhe, der sogenannten *Winterstagnation*. Dies rührt daher, daß die oberste Schicht eine Temperatur von unter 4° C aufweist, während die tieferen Wasserschichten eine solche von rund 4° C aufweisen. Dadurch entsteht, wiederum infolge des spezifischen Gewichtes des Wassers, eine *inverse Temperaturschichtung*. Zu Beginn des Frühlings erwärmt sich nun das kalte Oberflächenwasser auf 4° C, wird also schwerer und sinkt in die Tiefe. Die dadurch entstehende Zirkulation wird als *Frühlingsteilzirkulation* benannt und kann sich je nach See und Temperatur zu einer Vollzirkulation – falls die Umwälzung bis auf den Boden reicht – ausweiten. Mit fortschreitender Erwärmung wird aber das Oberflächenwasser immer leichter und bleibt folglich in den obersten Schichten liegen. Der See macht jetzt die Periode der *Sommerstagnation*.

durch. In dieser Jahreszeit beobachten wir drei Schichtungen, nämlich das *Epilimnion* – die oberste warme Schicht –, das über dem *Metalimnion* liegt – der sogenannten *Sprungschicht*, in der die Temperatur und mit fortschreitendem Sommer auch der Sauerstoff stark abnimmt –, und darunter das *Hypolimnion* der kühlen Tiefenschicht. Je länger die warme Sommerzeit andauert, um so tiefer rückt auch die Sprungschicht und kann sich je nach See im Herbst bis auf eine Tiefe von 20 Meter ausdehnen. Gute Belichtung, Wärme und Sauerstoff finden wir aber nur im Epilimnion, dessen Dicke meist 10 Meter, bei eutrophen, also nährstoffreichen Seen aber nur 3 bis 6 Meter beträgt. Stürme können wohl diese Schichtung stören, wobei jedoch keine Auflösung, sondern nur eine Neigung der Sprungschicht – also Schräglage – entsteht. Erst im Herbst entsteht mit der Abkühlung wiederum eine Teilzirkulation und darauf im Winter wieder eine Winterstagnation. Diese beiden Zirkulationsperioden werden auch die Atemzüge des Sees genannt, sind es doch die einzigen Momente, in denen mit Luftsauerstoff angereichertes Wasser in die Tiefe dringt. Die mindestens halbjährige Periode, in der im See eine Sprungschicht existiert, läßt jedoch unter Umständen das Hypolimnion zu einem Totenreich werden, bewirkt doch das Epilimnion einen vollständigen Abschluß der sauerstoffreichen Oberfläche von der Tiefenschicht. Auf das Fischleben kann die Sprungschicht ebenfalls einen bedeutenden Einfluß haben, wie bei der Besprechung der Sauerstoffverhältnisse noch dargelegt wird.

Pflanzen brauchen, um ihre Lebensfunktionen ausüben zu können, Licht. Dies gilt auch für die Kleinlebewesen im Wasser, die Algen. Im See wird die Durchsicht oder Sichttiefe mit der Secchi-Scheibe, einer weißen, 30 Zentimeter Durchmesser aufweisenden kreisrunden Metallscheibe gemessen. Die damit gemessene Sichttiefe gibt einen ungefähren Maßstab, wie das Licht in Wasser eindringt, sofern es sich nicht um milchig getrübt Wasser handelt. So betrug zum Beispiel die Sichttiefe im Zugersee vor zehn Jahren im Frühjahr, bei noch winterlich geringer Planktonentwicklung, etwa 6 bis 8 Meter, zur Zeit der sommerlichen starken Planktonentwicklung etwa 4 Meter. Diese Sichttiefen haben sich nun in den letzten Jahren stark verändert, das heißt, sie sind durch die Zunahme der Eutrophierung kleiner geworden. In Abb. 2 sind die vergleichenden Sichttiefen von 1951/52 und 1960/61 eingetragen. Der Durchschnitt der Sichttiefen vor zehn Jahren

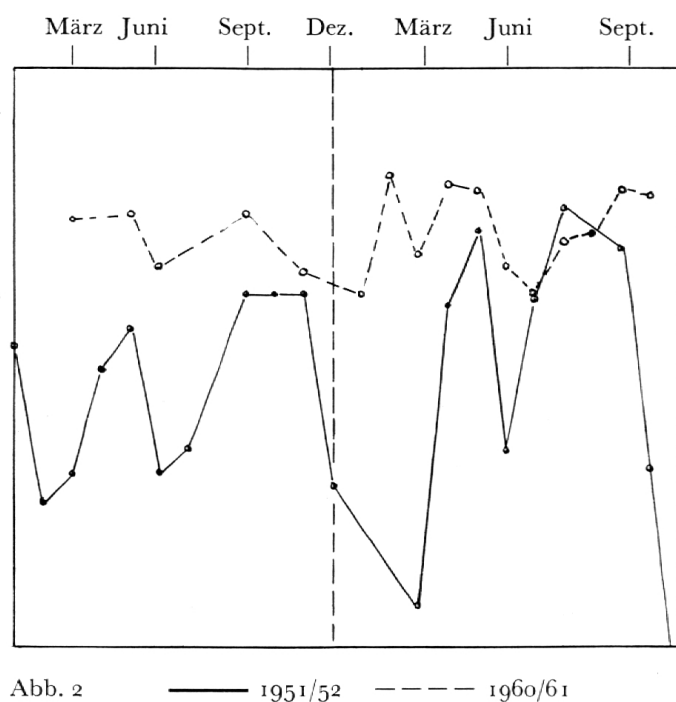


Abb. 2 ——— 1951/52 — — — — 1960/61

betrug 5,6 Meter und ist in den Jahren 1960/61 auf 2,8 Meter zurückgegangen. Trotzdem es sich hier nur um rohe Vergleichszahlen handelt, wird dem Beschauer sofort bewußt, daß durch die zunehmende Verschmutzung eines Sees, im Zusammenhang mit der Planktonbildung, eine Verkleinerung der Sichttiefe eintritt.

Das Wasser eines Sees ist niemals in vollständiger Ruhe, ja selbst wenn der Seespiegel glatt daliegt, sind in der Wassermasse kleine Bewegungen wirksam. Der Wind ruft auf der Oberfläche fortschreitende Wellen hervor, und an den Ufern bilden sich stehende Wellen. Letztere rufen an den gegenüberliegenden Ufern ein periodisches Steigen und Sinken des Wasserspiegels hervor, die man als *Seiches* bezeichnet und die in Wirklichkeit wind-, nieder-schlag- und luftdruckbedingte Strömungen sind. Durch die Temperatur entstehen daneben senkrechte Konvektionsströme, während die zuerst erwähnten windbedingten Oberflächenströme in der Tiefe zu Rückströmungen führen. Weht nämlich der Wind während längerer Zeit aus der gleichen Richtung, so fließt das Seewasser mit dem Wind an die Luvküste, wird dort angestaut und sinkt in die Tiefe. An der entgegengesetzten Leeküste steigt das kältere Tiefenwasser empor und bewirkt somit eine Zirkulation.

Diese Zirkulation muß überall dort näher untersucht werden, wo vorgesehen ist, ein Seewasserpumpwerk zu bauen, damit nicht durch die Seeströmungen verschmutztes Wasser auf kürzestem Weg gleichsam im

Die Stärke einer solchen Unterwasserströmung darf man sich natürlich nicht mit der Geschwindigkeit eines Automobils vorstellen. Sie variiert von Ort zu Ort und beträgt im Mittel 10 bis 30 Meter pro Stunde.

die Assimilationstätigkeit der Pflanzen und des Planktons. Wie jedem Biologen bekannt ist, geben die Pflanzen weit mehr Sauerstoff ab, als sie zu ihrer Atmung benötigen. Jeder nährstoffreiche See enthält nun ganzjährig, meist in einer Tiefe von 10 bis 20 Meter, Plankton, das je nach Ort und Nährstoff-

zufuhr aus grünen, blauen, roten ein- oder mehrzelligen Pflanzen besteht. Unter starker Lichteinwirkung vermehren diese sich im Frühjahr stark, geben bei der Assimilation Sauerstoff an die sie umgebende Wasserschicht ab, wobei unter Umständen sogar eine Sauerstoffübersättigung eintreten kann. Während der Sommerstagnation geschieht nun aber gerade das Gegenteil. Ein Teil des Planktons stirbt ab und bewirkt, da es oxydiert, eine Sauerstoffzehrung. Mitbeteiligt ist dabei auch die Temperatur, da alle Oxydationsvorgänge temperaturabhängig sind. Wenn wir nun das Sauerstoffprofil eines Sees im Frühjahr und im Herbst aufnehmen, werden wir in der Gegend der Sprungschicht zwei extreme Werte feststellen (Abb. 4).

Die Sauerstoffprofile eines Sees zeigen uns aber auch, ob es sich um einen *eutrophen*, also nährstoffreichen, oder *oligotrophen* (nährstoffarmen) See handelt. Im eutrophen See wird die Sauerstoffkurve im Metalimnion erstmals stark absinken und gegen den Grund, unter Umständen bis auf <Null> gehen. Im oligotrophen See hingegen wird die Sauerstoffkurve vertikal gegen den Grund verlaufen, das heißt, es wird nur ein schwacher Sauerstoffschwund feststellbar sein. (Abb. 5.)

Die lange Wärmeperiode im Herbst vergangenen Jahres hatte zur Folge, daß die vorgenannte Sauerstoffzehrung äußerst stark war. Die Sprungschicht, die bis zu einer Tiefe von 7 Meter aufstieg, wies nur noch eine Sauerstoffsättigung von 20 bis 30 Prozent auf. Im Epilimnion betrug die Temperatur jedoch noch rund 20 Grad Celsius, eine Temperatur, die die Fische auf die Dauer nicht vertragen. Somit suchten sie tiefere Schichten auf, in denen jedoch nur ungenügende Sauerstoffverhältnisse herrschten. Bei diesem vertikalen Hin- und Herpendeln gerieten sie in die Fischernetze in der Sprungschicht, wo sie infolge Sauerstoffmangels verendeten.

Parallel, jedoch im gegenteiligen Sinn, verlaufen im See die *Kohlensäuregehalte*. Die im Wasser enthaltene Kohlensäure stammt einerseits vom Kalk, andererseits wiederum aus dem Plankton. Bei der Dissimilation wird der im Wasser gelöste Sauerstoff an den Kohlenstoff, respektive an das Kohlendioxyd gebunden, wobei wiederum Kohlensäure entsteht. Diese dissoziiert in Wasserstoff- und Hydrocarbonationen und verrät dadurch ihren Säurecharakter. Es kann deshalb die Faustregel aufgestellt werden: «Je mehr Sauerstoff, desto weniger Kohlensäure im Seewasser, und umgekehrt.» Überschüssige Kohlensäure, auch

aggressive Kohlensäure genannt, vermag weiteren Kalk aufzulösen, bis ein Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht eintritt. Unter diesen Umständen ist es ohne weiteres klar, daß das Fehlen oder Vorhandensein von Bikarbonaten darüber entscheidet, ob ein Gewässer sauer oder alkalisch reagiert. Da der Neutralpunkt innerhalb der Lebewelt eine scharfe Trennung bewirkt, in dem Sinne, daß viele Arten entweder nur im alkalischen oder nur im sauren Bereiche gedeihen, wird der Gehalt an kohlensaurem Kalk zu einem maßgebenden Faktor für die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften.

Der Gehalt des Wassers an Karbonaten wird als *Härte* bezeichnet, wobei ein französischer Härtegrad 10 mg CaCO_3 im Liter Wasser entspricht. Der Kalkgehalt wechselt mit der Tiefe und der Jahreszeit, so daß die Werte beim einzelnen See ziemlich schwanken. Wir haben zum Beispiel im Wylersee Unterschiede von 6 französischen Härtegraden an der Oberfläche bis zu 16 französischen Härtegraden in 20 Meter Tiefe gemessen.

Das Maß einer Eutrophierung wird aber noch durch eine ganze Reihe anderer Faktoren bestimmt. Durch die Verschmutzung eines Gewässers nimmt unter anderem auch dessen *Chloridgehalt* zu. Dabei handelt es sich vorwiegend um das Natriumchlorid, also das Kochsalz. Der heute noch oligotrophe Ägerisee hat zum Beispiel einen Chloridgehalt von 0,6 mg/Liter, der eutrophe Zugersee 2,5 mg/Liter und der stark verschmutzte Murtensee 4,5 mg/Liter.

Die in jeden See einfließenden Abwassermengen bringen des weiteren *Stickstoffsubstanzen* und *Phosphate* mit. Der Stickstoff stammt aus allen organischen Körpern und somit auch aus den Fäkalien, die Phosphate stammen sowohl aus organischen Stoffen wie auch aus den modernen Waschmitteln. Ammoniak und Nitrite werden, wenn immer möglich, zu Nitraten oxydieren, bewirken also wiederum einen Sauerstoffschwund im Gewässer. Überall dort, wo keine Oxydation mehr möglich ist, bildet sich schwarzer Abwasserschlamm und mit ihm Fäulnisgas. Dieses entsteht mit Hilfe von anaeroben Fäulnisbakterien. An den Steinen der Abwassereinleitungen finden sich Überzüge fellartiger Beschaffenheit. Es handelt sich dabei um die Abwasserbakterie *Sphärotilus*. Führt solches Abwasser größere Mengen von gelöstem oder ungelöstem Eisen, so finden wir das Bakterium *Gallionella ferruginea*, das man unter dem Mikroskop an seiner seilförmigen Verdrehung erkennt.

Alle diese Abwasser reichern jedoch den See mit Nährstoffen an. Dadurch wird aber auch die Planktonentwicklung im Gewässer gefördert, im Sommer entsprechend mehr Sauerstoff verbraucht und mehr Kohlensäure gebildet, die Durchsicht verkleinert, die Lebensfähigkeit der Edelfische verringert. Der See verliert die ihm innewohnende Kraft der Selbstreinigung und eutrophiert. Mit dieser Eutrophierung entstehen jedoch auch hygienische Probleme, kann doch das Wasser nicht mehr oder nur noch durch außerordentlichen Kostenaufwand zu Trinkwasser aufgearbeitet werden; verliert er seinen Wert als Badegewässer, weil sein Bakteriengehalt überdimensional ansteigt, so sind auch soziale Tangenten berührt. Die einzige Lösung, diese Entwicklung zu steuern, liegt im Gewässerschutz, im Fernhalten jeglichen Abwassers von den Gewässern. Es darf deshalb der Regierung des Standes Zug ein spezielles Kränzlein gewunden werden, läßt sie doch ein Gesamtprojekt ausarbeiten, das vorsieht, daß sämtliche Gemeinden des Kantons an eine gemeinsame Kläranlage angeschlossen werden, so daß in einigen Jahren überhaupt kein Schmutzwasser mehr in den Ägerisee oder in den Zugersee gelangt.

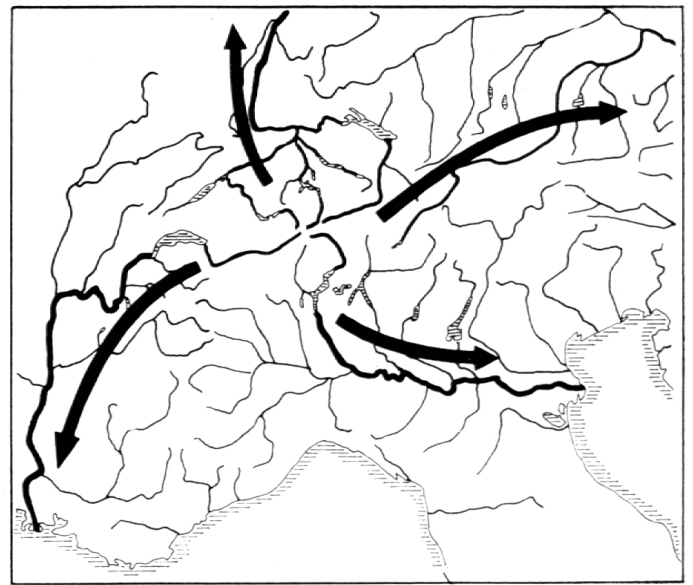


Abb. 1 Die vier Wassersysteme der Schweiz

durch das Inntal der Weg in den Donauroaum und damit an das Schwarze Meer, während von Süden her der Tessin tief in das Innere der Alpen hineindringt. Es ergeben sich für die Schweiz dadurch nach allen Seiten und nach allen angrenzenden Meeren bereits von der Natur vorgebildete Wege. (Abb. 1.)

Als weiteren Vorzug besitzt unser Land eine relativ große Meernähe. Der Südrand der Schweiz liegt beispielsweise ebenso nahe am Mittelmeer, wie Köln, Hannover und Berlin von der Nordsee entfernt sind. Wenn wir Linien gleichen Küstenabstandes ziehen, so befindet sich bei einem Abstand von 100 km ein Teil der Schweiz bereits zwischen der ersten und

Die Wasserstraßen der Schweiz

Carl-P. Nußbaumer, Zug

Die orographische Gliederung unseres Landes hat einen bestimmenden Einfluß ausgeübt auf unsere Geschichte. Die Lage der Berge, Täler, Flüsse und Seen bedingt vornehmlich zwei Verkehrsrichtungen, die von alters her vorherrschend waren und es sicher auch bleiben werden: es sind dies die Nord-Süd- und die Ost-West-Achse. An drei Stellen greifen Flußtäler tief in die Barriere der Alpen hinein: im Westen das Rhonetal mit dem Genfersee, im Zentrum das Reußental mit dem Vierwaldstättersee und im Osten das Rheintal mit den Fortsetzungen nach dem Bodensee und dem Zürichsee. Nach Osten öffnet sich

Abb. 2 Zonen gleichen Küstenabstandes

