Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 58 (1966)
Heft: 1-2

Artikel: Gesamtwirtschaft des Bodensees und seine Funktion als Trinkwasserspeicher
Autor: Christaller, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-921159

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

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

WASSERWIRTSCHAFT AM BODENSEE

Von der internationalen Vortragstagung vom 1./2. September 1965 in Konstanz, die dem Thema «Wasserwirtschaft am Bodensee» gewidmet war, haben wir im Novemberheft 1965 dieser Zeitschrift einen zusammenfassenden Gesamtüberblick gegeben. Es freut uns, nun drei der acht Vorträge nachfolgend im Wortlaut veröffentlichen zu dürfen; der Vortrag über Probleme der Bodenseeregulierung wird im Juniheft WEW 1966 erscheinen, während die übrigen vier Vorträge in der Zeitschrift «Oesterreichische Wasserwirtschaft» sowie in der deutschen Zeitschrift «Wasser und Boden» zum Abdruck gelangen.

REDAKTION

GESAMTWASSERWIRTSCHAFT DES BODENSEES UND SEINE FUNKTION ALS TRINKWASSERSPEICHER

DK 628.1 (282.243.13)

Vortrag von Regierungsbaumeister H. Christaller, Biberach an der Riss (Präsident des Württembergischen Wasserwirtschaftsverbandes), anlässlich der internationalen Vortragstagung «Wasserwirtschaft am Bodensee» vom 1./2. September 1965 in Konstanz.

In den vorausgegangenen Vorträgen wurde eine Fülle von Problemen behandelt, die uns gezeigt haben, wie vielseitig das Thema Bodensee ist und wie viele Fragen noch ungelöst sind. Es ist durchaus sinnvoll, solche heranreifenden Aufgaben nicht nur am grünen Tisch einer Regierungsstelle oder in der Stube eines wissenschaftlichen Forschungsinstituts zu studieren, sondern auch zwischen Interessenverbänden und in der Oeffentlichkeit zu diskutieren. Zahlreiche Verbände und Institutionen, kommunale und andere Gremien aus allen drei Anliegerstaaten vertreten die reichlich verschiedenen Interessen, die sich am Bodensee die Hand reichen. Je stärker sie ihre Stimme erheben, desto mehr glauben sie die öffentliche Meinung für sich zu gewinnen. Seit einiger Zeit vergeht kaum ein Tag, an dem nicht in der süddeutschen, der österreichischen oder der schweizerischen Presse irgend eine Frage behandelt wird, die sich mit dem Bodensee und seiner Wasserwirtschaft beschäftigt. Alle Probleme sind noch im Fluss. Aber einig ist man darüber, dass das erste und wichtigste Problem des Bodensees seine Reinhaltung ist. Ihr müssen sich die anderen Wünsche und Bestrebungen unterordnen. Sie muss deshalb mit allen Mitteln vorangetrieben werden. Sie ist die Voraussetzung bei den Zielen der Schiffahrtsgegner wie der Schiffahrtsfreunde, bei den Interessenten der Trinkwasserversorgung wie des Fremdenverkehrs, bei den Förderern der im Bodenseegebiet zurückgebliebenen Wirtschaft, wie bei den Vertretern des Landschaftsschutzes. Sie wird, wir wollen froh darüber sein, von den Schweizern, den Oesterreichern wie den Deutschen gross geschrieben.

Was aber neben der Reinhaltung am vordringlichsten ist und die meiste Förderung erfahren sollte, welche Ziele auf wasserwirtschaftlichem Gebiet sich ohne Schaden nebeneinander anstreben lassen, darüber gehen die Meinungen heute noch weit auseinander. Oft gehen die Wellen des Streits so hoch, dass man geneigt wäre, Oel auf die Wogen zu giessen. Das ist aber bei Trinkwasser eine schlechte Sache. Erfreulich ist das eine: die Regierungen der drei Anliegerstaaten haben sich seit sechs Jahren zusammengefunden in der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee. Diese hat in wissenschaftlicher, rechtlicher und wasserwirtschaftlicher Arbeit schon vieles geleistet. Die beiden Forschungsinstitute in Langenargen und Konstanz und die Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz in Zürich verfolgen seit Jahren gleichgerichtete Interessen. Die Schiffahrtsverbände in Deutschland, Oesterreich und der Schweiz stimmen ihre Untersuchungen aufeinander ab. Die Landesplanungsgemeinschaften im Bodenseeraum haben in letzter Zeit Fühlung miteinander genommen. Schliesslich und nicht zuletzt seien die fünf Wasserwirtschaftsverbände der Uferstaaten und -länder erwähnt, die sich seit über zehn Jahren bemühen, die Wasserwirtschaft des Bodensees in ihrer Gesamtheit zu betrachten und die einzelnen Interessen gegeneinander abzuwägen. Diese internationale Zusammenarbeit, der auch die heutige Tagung dient, ist eines der wichtigsten Mittel zu einer sinnvollen Lösung der zahlreichen Aufgaben. Sie kann allerdings — das müssen wir offen aussprechen — nur in gewissen Kompromissen bestehen, denn die verschiedenen wasserwirtschaftlichen Interessen sind, auch in den einzelnen Ländern, nun einmal nicht gleichgerichtet. Wenn man mit den Problemen am Bodensee fertig werden will, muss man sich deshalb stets bewusst sein, dass verschiedene Staaten und Länder mit unterschiedlichen gesetzlichen Grundlagen und deshalb verschiedener rechtlicher Auffassung beteiligt sind, die nach demokratischem Grundsatz gleiches Mitspracherecht besitzen, wenn es sich um die Durchsetzung der Interessen einer bestimmten Gruppe handelt.

Die am Bodensee anstehenden Fragen sollten deshalb in erster Linie aus internationaler Schau betrachtet, wissenschaftlich untermauert und sachlich begründet, keinesfalls aber — wie in letzter Zeit leider oft geschehen — mit rein politischen Akzenten in die öffentliche Diskussion getragen werden. Nur dann kann man erwarten, dass eine Symbiose gefunden wird, die den widerstreitenden Interessen einigermassen gerecht wird. Das gilt nach meiner Ueberzeugung vor allem für die umstrittene Frage der Hochrheinschiffahrt bis zum Bodensee. Sie gehört zwar nicht unmittelbar zu meinem Thema. Sie wurde von anderen Rednern beleuchtet. Ich möchte deshalb nicht auf die vielen Für und Wider eingehen, die auf deutscher Seite zur Frage der Hochrheinschiffahrt vorgebracht werden. Es sei mir aber gestattet, einige Gedanken aus einer Rede von Bundesminister Dr. Seebohm wiederzugeben, die er am 21. Juni 1965 zur Einweihung des Kulturwehres Breisach gehalten hat:

«Die Schiffbarmachung des Hochrheins wird seit vielen Jahren von Interessenten in Deutschland und in der Schweiz gewünscht. Das Vorhaben ist aus diesem Grunde im Jahre 1953 von der Europäischen Konferenz der Verkehrsminister als Wasserstrassenprojekt von europäischem Interesse anerkannt worden. Die Schiffbarmachung des Hochrheins – sei es auch nur auf einer Teilstrecke – könnte als Verlängerung des bedeutendsten europäischen Schiffahrtsweges die Standortbedingungen des revierfern gelegenen baden-württembergischen Randgebiets erheblich verbessern. Die bisherigen Untersuchungen lassen jedoch nur einen Teilausbau des Hochrheins bis Waldshut, oder, falls die Schweiz das wünschen sollte, bis Eglisau als förderungswürdig erscheinen. Der Gesamtausbau bis zum Bodensee kann ange-

sichts der am oberen Teil des Hochrheins und am Bodensee besonders bedeutungsvollen Fragen des Landschaftsschutzes und der Gewässerreinhaltung zur Zeit noch nicht als spruchreif bezeichnet werden. Ausserdem liegt dieser Teil des Hochrheins fast völlig in der Schweiz, und zwar im Bereich des Kantons Schaffhausen, der dort über den Ausbau zu befinden hätte. Der Landtag von Baden-Württemberg hat im Oktober 1963 die Landesregierung ersucht, sich nachdrücklich dafür einzusetzen, dass der Abschnitt des Hochrheins zwischen Basel und dem Raum von Waldshut gemeinsam mit der Schweiz für die Grosschiffahrt ausgebaut wird. Bezüglich des Ausbaus des oberhalb anschliessenden Abschnittes bis zum Bodensee soll nach dem bekundeten Willen des Landtags zunächst in zwischenstaatlichen Verhandlungen geprüft werden, ob als Grundvoraussetzung einer Schiffbarmachung ausreichende Garantien für die Reinhaltung des Bodensees, den Schutz der Bodensee- und der Hochrheinlandschaft, sowie eine angemessene Begrenzung der Industrialisierung der Uferzone des Bodensees geschaffen werden können. Auf Grund dieses Landtagsbeschlusses steht die Landesregierung zur Zeit in ersten Verhandlungen mit dem Bund, in denen der Uebergang des als Grossschiffahrtsstrasse in Betracht kommenden Hochrheinabschnittes auf den Bund, die Finanzierung des auf Deutschland entfallenden Kostenanteils und die Einleitung zwischenstaatlicher Verhandlungen erörtert werden wird.»

Des weiteren möchte ich aus einem Schreiben des baden-württembergischen Innenministers Dr. Filbinger anführen, dass in der kommenden Legislaturperiode eines der Hauptanliegen sein werde, in Zusammenarbeit mit den Anliegerstaaten die grösstmöglichen Anstrengungen zu unternehmen, um den Bodensee als Trinkwasserspeicher zu erhalten.

Diesen Ansichten können die deutschen Wasserwirtschaftsverbände weitgehend beistimmen. Sie haben sich für die Reinhaltung seit vielen Jahren eingesetzt und auf die Notwendigkeit eines beschleunigten Ausbaus der Wasserreinigungsanlagen im Bodenseegebiet hingewiesen, denn erst wenn diese Anlagen fertiggestellt und voll wirksam geworden sind, kann geprüft werden, ob und unter welchen Bedingungen eine Hochrheinschiffahrt bis zum Bodensee möglich erscheint.

Es ist m. E. eine schlechte Hilfe für die Reinhaltung, wenn man immer nur die Schiffahrt bekämpft und als das Uebel bezeichnet. Sie liegt doch noch in weiter Ferne. Wir sollten uns vielmehr der nahe liegenden Aufgabe zuwenden, die im Interesse der Erhaltung des Bodensees als Trinkwasserspeicher auf ihre Lösung wartet.

Damit komme ich zu meinem eigentlichen Thema:

Gesamtwasserwirtschaft des Bodensees

In der Wasserwirtschaft des Bodensees haben sich in den letzten Jahrzehnten grosse Veränderungen vollzogen, nicht nur bezüglich der Wassergüte, über die in den anderen Vorträgen schon eingehend berichtet wurde, sondern auch bezüglich des Wasserregimes. Ueber diese Veränderungen der Zufluss- und Abflussverhältnisse sei einiges gesagt. Sie sind so erheblich, dass die Interessen der Triebwerksbesitzer am Hoch- und Oberrhein, des Landschaftsschutzes, der Ufergemeinden und der Entnehmer von Trinkwasser dadurch zum Teil lebhaft berührt sind. Um diese Veränderungen anschaulich zu machen, seien zunächst einige allgemeine Angaben über die Wasserwirtschaft und das Wasserregime des Bodensees gemacht.

Der Bodensee hat eine Wasseroberfläche von 545 km², eine Uferlänge von 263 km, eine mittlere Tiefe von 92 m, eine grösste Tiefe von 252 m und einen Wasserinhalt von 48 Milliarden m³. Er ist damit der grösste See am Nordrand der Alpen. Die Zuflüsse zum Obersee haben eine mittlere Wasserführung von zusammen 364 m³/s; dabei entfällt der grössere Teil auf den Alpenrhein mit einer mittleren Wasserführung von 244 m³/s. Das Einzugsgebiet des Obersees bei Konstanz beträgt 10 998 km², des gesamten Sees bei Stein am Rhein 11 434 km². Die Abflusshöhe der Zuflüsse schwankt zwischen 50 und 4700 m³/s. Der mittlere Abfluss bei Stein am Rhein entspricht ungefähr der o.a. Summe der Zuflüsse, weil sich der Niederschlag auf die Seefläche und die Verdunstung im Verlauf des Jahres ungefähr die Waage halten. Die Abflussmengen bewegen sich zwischen 90 und 1062 m³/s. Der See bricht also sehr stark die durch Schneeschmelze und sommerliche Starkregen verursachten Hochwasserwellen der Zuflüsse. Der Niedrigst-Wasserabfluss wird andererseits auf beinahe die doppelte NNW-Zuflussmenge erhöht. Diese stark ausgleichende Wirkung des Bodensees ist mit erheblichen Schwankungen des Seewasserspiegels verbunden. Der höchste Seewasserstand wurde im Jahre 1817 mit 623 cm am Pegel in Konstanz, der tiefste im Februar 1858 mit 225 cm beobachtet. Die äusserste Schwankung war also annähernd 4 m. In Normaljahren schwankt jedoch der Seewasserstand nur zwischen etwa 450 cm im Sommer und 270 cm im Winter, also um weniger als 2 m. Die unangenehmen Nebenerscheinungen des Wechsels der Seewasserstände sind bekannt. Bei niederen Ständen, im allgemeinen zwischen Dezember und März, liegen die flachen Uferstrecken frei und bieten einen wenig schönen Anblick. An den Ufern in der Nähe von Abwassereinleitungen und mit Wasserpflanzenwuchs, wie auch an den Mündungen stark verschmutzter Flüsse, entstehen in diesen Zeiten starke Geruchsbelästigungen. Glücklicherweise fallen die niederen Seestände nicht in die Zeiten des Fremdenverkehrs. Die hohen Seestände sind regelmässig im Sommer. Sie entstehen, wenn der Alpenrhein in den Monaten Juni und Juli die grossen Schmelzwässer aus Graubünden und Vorarlberg bringt und gleichzeitig kräftige Sommerregen über das ganze Einzugsgebiet niedergehen.

Der Abfluss aus dem Bodensee hat zwei Engpässe. Einmal bei Konstanz zwischen Obersee und Untersee und dann vor allem oberhalb von Stein am Rhein, wo der Untersee in den Hochrhein übergeht, der nur eine gewisse, vom Wasserstand des Untersees abhängige Wassermenge abführen kann. In den Zeiten der hohen Zuflüsse steigt deshalb der Seewasserspiegel so lange, bis sich Zuflüsse und Abfluss die Waage halten. Im Spätherbst und Früh-

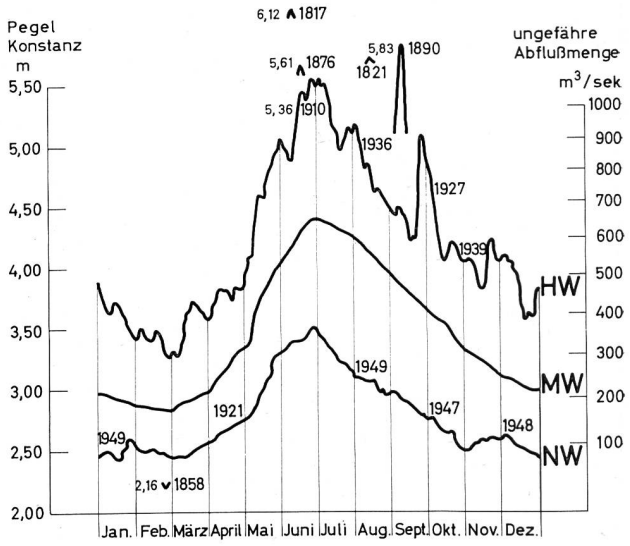

Bild 1 Höchste (HW), mittlere (MW) und niedrigste (NW) Wasserstände und Abflussmengen des Bodensees
(aus: Kiefer, Naturkunde des Bodensees)

winter, wenn der Zufluss aus dem alpinen Einzugsgebiet stark zurückgeht, liefert der See eine willkommene Niederwasseraufbesserung für den Hochrhein.

Die Sommerwasserstände haben sehr unterschiedliche Höhen. In Jahren mit geringen Schneevorräten und kleinen Sommerniederschlägen steigt der Wasserspiegel am Konstanzer Pegel nur auf etwa 380 cm, in Normaljahren auf etwa 450 cm. Bei Ueberschreitung eines Pegelstandes von 500 cm treten an vielen Stellen Ueberflutungen ein, Strassen werden überschwemmt, vor allem am Untersee, Kulturland kommt unter Wasser, und Hunderte von Gebäuden werden in Mitleidenschaft gezogen. Um die schädigenden Wirkungen hoher Seestände einzudämmen, wurden am Eschenzer Horn oberhalb von Stein am Rhein schon nach dem Hochwasser des Jahres 1876 und später wiederholt Baggerungen durchgeführt, wodurch der Abflussquerschnitt vergrössert wurde. Gewisse Kreise hofften, dass dadurch sich die vielumstrittene Bodenseeregulierung erübrige. Die 5-Metergrenze am Konstanzer Pegel wurde in den letzten Jahrzehnten tatsächlich auch nicht mehr so oft überschritten, als im vorigen Jahrhundert. Das Jahr 1965 mit seinen ungewöhnlich grossen Schneemassen und den vielen Sommergewittern brachte aber überraschend einen Anstieg auf 538 cm. Wie hoch der See gestiegen wäre, wenn bei Eschenz nicht gebaggert worden wäre, lässt sich nicht sagen, denn neben dieser Verbesserung des Abfluss-Engpasses sind es drei andere Momente, die im Laufe der beiden letzten Jahrzehnte wesentliche Aenderungen der Zuflüsse zum Bodensee und seines Abflusses gebracht haben. Es sind dies

1. die Erstellung zahlreicher Alpenspeicher im Einzugsgebiet des Rheins und seiner Nebenflüsse,
2. die Ueberleitungen aus dem Trisanna- und Rosannagebiet (sog. Tiroler Bäche) zu den Kraftwerken im Illgebiet,
3. die Trinkwasserentnahme durch die Bodenseewasserversorgung.

1. Alpenspeicher

Im Einzugsgebiet des Rheins und seiner Nebenflüsse wurden nach dem Zweiten Weltkrieg zehn grössere Speicherbecken im Zusammenhang mit dem Ausbau von Wasserkraftspeicherwerken geschaffen. Diese werden im Laufe des Sommers, hauptsächlich im Juni und Juli, teilweise auch noch im August und September mit den Schmelzwässern ihres Einzugsgebietes, oder durch Hochpumpen von Sommerwasser (Lünersee) gefüllt. Während der Wintermonate, beginnend im Oktober oder November, findet zur Erzeugung von Spitzenstrom allmählich die Entleerung statt. Der Abfluss aus diesen hochalpinen Gebieten verschiebt sich auf diese Weise zu einem Teil vom Sommer auf den Winter. Die zehn Alpenspeicher, von denen ein Teil sich noch im Bau befindet und erst ab etwa 1967 zur Verfügung steht, haben einen Nutzstauraum von rund 690 Mio m³. Geplant sind im Einzugsgebiet des Bodensees noch weitere Alpenspeicher mit zusammen 600 Mio m³, hauptsächlich am Vorderrhein und Hinterrhein und bei den Vorarlberger Illwerken.

Tabelle 1

SPEICHERBECKEN im Einzugsgebiet des Bodensees		Nutzinhalt Mio m³	Jahr der Inbetriebnahme
1. Vor dem Zweiten Weltkrieg erstellt			
Davoser See, Bündner KW		11	1925
Spullersee, ÖBB		16	1925
Vermuntstausee, Vorarlberg. Illwerke		5	1930
		32	
2. Nach dem Zweiten Weltkrieg in Betrieb gekommen oder noch im Bau befindlich			
Silvrettastausee	Vorarlberger Illwerke AG	40	1950
Lünersee	Vorarlberger Illwerke AG	73	1958
Kops	Vorarlberger Illwerke AG	44	1966
Marmorera, Albulawerk		60	1955
Zervreila		100	1957
Sufers	Hinterrhein-Kraftwerke	18	1963
Valle di Lei	Hinterrhein-Kraftwerke	197	1964
Nalps	Vorderrhein-Kraftwerke	45	1963
Curnera	Vorderrhein-Kraftwerke	40	1966
Sta. Maria	Vorderrhein-Kraftwerke	70	1967
		687	
3. Geplant: Klein Vermunt, Subersach, Vereina, Rhäzüns, weitere Speicher am Hinterrhein, Greina, Frisal, Silgin, zusammen ca.		600	

2. Tiroler Bäche

Die Vorarlberger Illwerke haben nach dem Zweiten Weltkrieg die obersten Zuflüsse zur Trisanna, nämlich den Jam-, Fimber- und Lareinbach durch Ueberleitungsstollen ins Illgebiet überführt und dadurch eine Vermehrung des Zuflusses zu ihren Kraftwerken Vermunt und Rodund erreicht. Vor kurzem wurde nun auch noch die Ableitung der obersten Rosanna mit dem Fasulbach, sowie des Kleinvermunt- und des Idbaches in Angriff genommen. Nach Fertigstellung dieser Ueberleitungen fliessen der Ill und damit dem Rhein und dem Bodensee jährlich im Mittel 212 Mio m³ zusätzliches Wasser zu. Durch den im Bau befindlichen Kopsspeicher und den Lünersee wird ein wesentlicher Teil dieses Wassers vom Sommer auf den Winter verlagert.

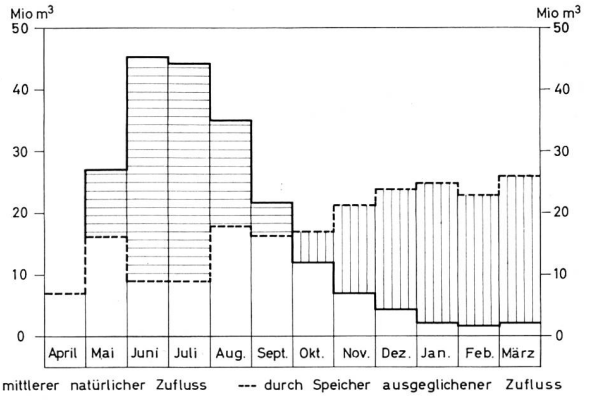

Bild 2 Zuflüsse aus den Einzugsgebieten der Trisanna und Rosanna (Tiroler Bäche)

3. Trinkwasserentnahme durch die Bodenseewasserversorgung

Seit Oktober 1958 ist die Bodenseewasserversorgung in Betrieb, die zur Zeit bei Sipplingen etwa 60 Mio m³/Jahr dem See entnimmt. Das entspricht einer mittleren Entnahme von 1900 l/s. Die genehmigte Spitzenentnahme beträgt 3000 l/s.

Diese drei Faktoren haben die Zu- und Abflüsse des Bodensees nicht unbeträchtlich verändert. Gleichzeitig haben sich die jährlichen Schwankungen der Wasserstände etwas verringert. Es wurde versucht, diese Aenderungen rechnerisch zu ermitteln und durch einige Graphika zu be-

leuchten. Hierzu muss folgendes vorausgeschickt werden. Einwandfreie Feststellungen der Abflussmengen aus dem Bodensee standen erst seit Anfang 1945 zur Verfügung und zwar auf Grund eines Schreibpegels bei Rheinklingen oberhalb Stein am Rhein. Die meisten Alpenspeicher, wie auch die Bachüberleitungen aus Tirol, wurden erst nach 1948 fertiggestellt. Man kann deshalb die Jahre 1945—1948 als einen Zeitraum betrachten, in welchem das Wasserregime des Bodensees noch unbeeinflusst war. Es lässt sich dann rechnerisch ermitteln, wie das Regime gewesen wäre, wenn in diesen Jahren die Alpenspeicher, die Bachüberleitungen und die Entnahme durch die Bodenseewasserversorgung schon vorhanden gewesen wären. Bei dieser, jeweils für Monatsmittel durchgeführten Rechnung wurde, ausgehend von den Abflussmengen bei Rheinklingen, zunächst der Gesamtzufluss zum Bodensee ermittelt. Zu diesem Zweck wurde für Verdunstung auf der Seeoberfläche ein jährlicher Zuschlag von 400 Mio m³ gemacht, was einer Verdunstung von etwa 750 mm entspricht[1]. Ferner wurde die dem Wasserausgleich im See entsprechende Wassermenge hinzugezählt bzw. abgezogen, je nachdem der Seewasserstand gegenüber dem Vormonat zugenommen oder abgenommen hat. Auf diese Weise liess sich die Summe sämtlicher Zuflüsse zum See mit ziemlicher Genauigkeit feststellen, was durch Einzelmessungen völlig unmöglich gewesen wäre. Die so ermittelte, unbeeinflusste Zuflussmenge zum See wurde als Ausgangspunkt für die Errechnung des veränderten Regimes verwendet. Es wurde angenommen, dass die seit 1948 neu hinzugekommenen Alpenspeicher mit 690 Mio m³ Nutzinhalt jährlich während der Sommermonate aufgefüllt und während des Winters, beginnend mit Oktober, bis auf einen Rest von durchschnittlich zehn Prozent entleert werden. Dies entspricht dem Rhythmus der energiewirtschaftlichen Bedürfnisse. Zusammen mit den Zuflüssen aus Tirol lässt sich damit der geänderte Zufluss zum Bodensee errechnen. Der geänderte Abfluss bei Rheinklingen ergibt sich sodann durch Abzug der Verdunstung auf der Seeoberfläche, sowie der Trinkwasserentnahme; ferner unter Berücksichtigung der Zugabe aus dem See bzw. des Rückhalts im See infolge der Wasserstandsänderungen.

Die Ergebnisse dieser Rechnung sind in den Bildern 3 bis 5 dargestellt und gestatten folgende interessante Feststellungen:

1. Während der Sommermonate mit ihren oft unerwünscht hohen Seewasserständen verringert sich der Zufluss zum See trotz des zusätzlichen Zuflusses der Tiroler Bäche. Dadurch steigt der See nicht mehr so hoch wie ehedem. Dies wird auch in extrem nassen Sommern wie 1965 der Fall sein, weil die höchsten Seestände im allgemeinen zwischen Ende Juni und Mitte Juli auftreten, also zu einer Zeit, in der die meisten Alpenspeicher noch nicht gefüllt sind.

2. Die allmähliche Entleerung der Alpenspeicher im Winter vergrössert den Winterwasserzufluss zum See und sorgt dafür, dass der Seewasserstand nicht mehr so extrem tief sinkt.

3. Der Abfluss aus dem Bodensee ist eine Funktion des jeweiligen Seewasserstandes. Dies konnte an Hand einer empirisch ermittelten Kurve festgestellt werden. Eine Ermässigung der Sommerwasserstände bringt also eine Verringerung der Abflussmengen im Sommer, die Erhöhung der Seewasserstände im Winter eine Vergrösserung der Abflussmengen im Winter.

[1] Nach Kleinschmidt verdunsten auf der Seeoberfläche jährlich 550 mm, nach Wittmann 1000 mm.

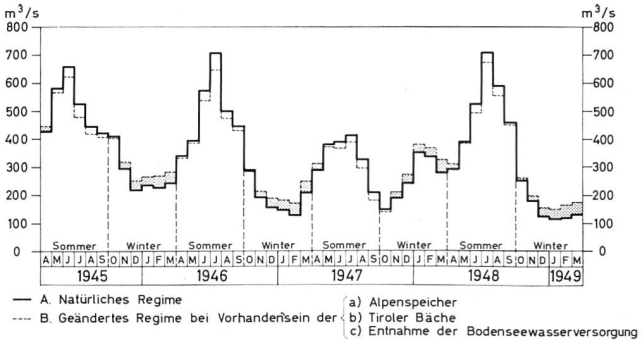

Bild 3 Abflussmengen in Rheinklingen bei Stein am Rhein

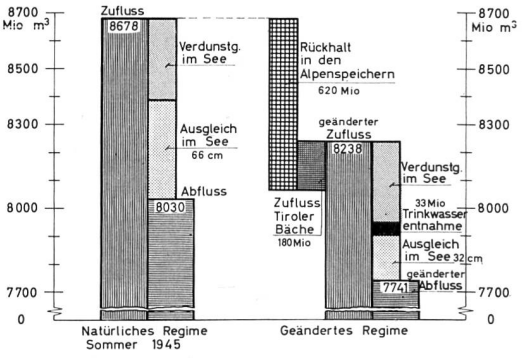

Bild 4 Wasserwirtschaft des Bodensees vor und nach Erstellung der Alpenspeicher, der Ueberleitung der Tiroler Bäche und der Trinkwasserentnahme: Sommer 1945

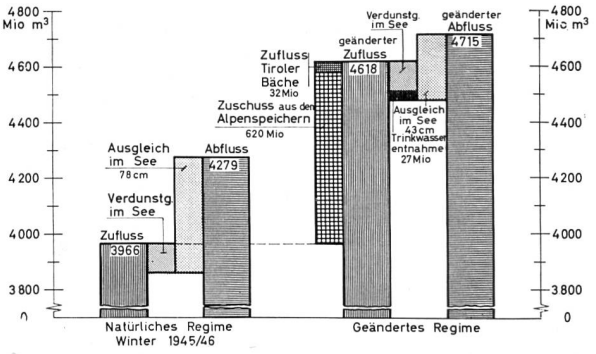

Bild 5 Wasserwirtschaft des Bodensees vor und nach Erstellung der Alpenspeicher, der Überleitung der Tiroler Bäche und der Trankwasserentnahme: Winter 1945/46

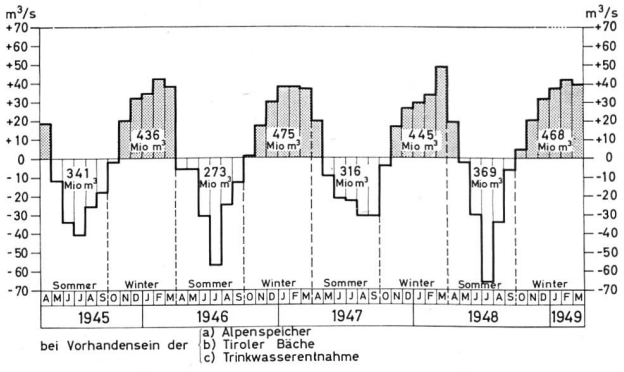

Bild 6 Veränderte Abflussmengen in Rheinklingen bei Vorhandensein der Alpenspeicher, der Zuflüsse aus Tirol und der Trinkwasserentnahme

4. Der Mehrabfluss während der Wintermonate hätte in den untersuchten vier Jahren 1945/49 jährlich zwischen 436 und 475 Mio m³ betragen, was den Kraftwerken am Hochrhein und am Oberrhein eine willkommene, erhebliche Vergrös-

serung ihrer Winterstromerzeugung gebracht hätte. Der Verlust an Sommerenergie wäre gering gewesen, weil ein Teil des im Sommer zurückgehaltenen Wassers ohnedies über die Wehre gegangen wäre.

5. Ein wesentlicher Teil des verbesserten Wasserregimes ist dem zusätzlichen Zufluss aus Tirol zuzuschreiben. Diese Bachüberleitungen aus dem Trisanna- und dem Rosannagebiet wurden hauptsächlich mit Stromgeldern der beiden deutschen Stromabnehmer der Vorarlberger Illwerke, der Energieversorgung Schwaben AG und der Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG finanziert.

6. Die derzeitige Entnahme der Bodenseewasserversorgung mit jährlich rund 60 Mio m³ ist unbedeutend im Vergleich zu den 212 Mio m³ Mehrzufluss aus Tirol und zu der Erhöhung des Winterabflusses von im Mittel 450 Mio m³.

TRINKWASSERENTNAHME AUS DEM BODENSEE

Der Bodensee bietet bekanntlich besonders günstige Voraussetzungen für die Entnahme von Trink- und Brauchwasser. Dies haben sich schon seit langem viele schweizerische und deutsche Gemeinden mit über 250 000 Einwohnern zunutze gemacht. Zur Zeit entnehmen 24 zentrale Wasserversorgungen Trinkwasser aus dem See für Gemeinden am Seeufer und in dessen Nähe. Die ersten dieser Versorgungen entstanden schon vor dem Ersten Weltkrieg, so zum Beispiel die von St. Gallen und Romanshorn 1894/95. und von Konstanz 1905. Damals war das Bodenseewasser das ganze Jahr hindurch sauerstoffreich, so gut wie organismenfrei und von kristallener Klarheit, weil das nährstoffarme Wasser des riesigen Sees mit der damals geringen organischen Produktion im Vorgang der biologischen Selbstreinigung spielend fertig wurde. Bei der üblichen Entnahme in Tiefen zwischen 30 und 60 m war eine Aufbereitung des Wassers nicht erforderlich. Heute ist das leider anders geworden. Wegen der aus Fäkalien stammenden Bakterien, wegen der mit dem Fremdenverkehr zunehmenden Gefahr der Verunreinigung — ich erwähne die zahlreichen Campingplätze, die vielen Motorboote — fer-

Tabelle 2

TRINKWASSERVERSORGUNGEN AUS DEM BODENSEE
(ohne Wasserentnahme der Industrie)

Werk	versorgte Einwohner	maximale Entnahme l/s	derzeitige Aufbereitung
A) Schweiz			
St. Gallen 1894/95	77 409	—[1]	Langsam- und Schnellfilter, Ozonisierung
Romanshorn 1894/95	9 840	200 ca.	Schnellfiller, Ozon.
Arbon 1906	13 060	450	desgleichen
Rorschach 1909	13 500	325	desgleichen
Kreuzlingen	14 620	200	desgleichen
Amriswil	8 540	200	desgleichen
B) Baden-Württemberg			
Konstanz 1905	55 400	195[2]	Chlorung
Friedrichshafen 1916	42 000	310	Schnellfilter, Chlordioxyd
Meersburg 1925	4 300	16[3]	Schnellfilter
Kressbronn (v. Lindau)		40	
Ueberlingen	11 600	16[4]	Chlorung
Ludwigshafen	1 900	5	—
Hagnau	1 100	3	Chlorung
Bodmann	1 200	3	Schnellfilter, Ozon.
Immenstaad	2 100	3	Chlorung
Bodenseewasser-versorgung 1958			Schnellfilter, Chlorung
C) Bayern			
Lindau 1949	30 402	230	Schnellfilter, Chlorung

[1] Entnahme 1964: 7,69 Mio m³
[2] Erhöhung auf 580 l/s vorgesehen
[3] Erhöhung auf 60 l/s vorgesehen
[4] Erhöhung auf 40 l/s vorgesehen.

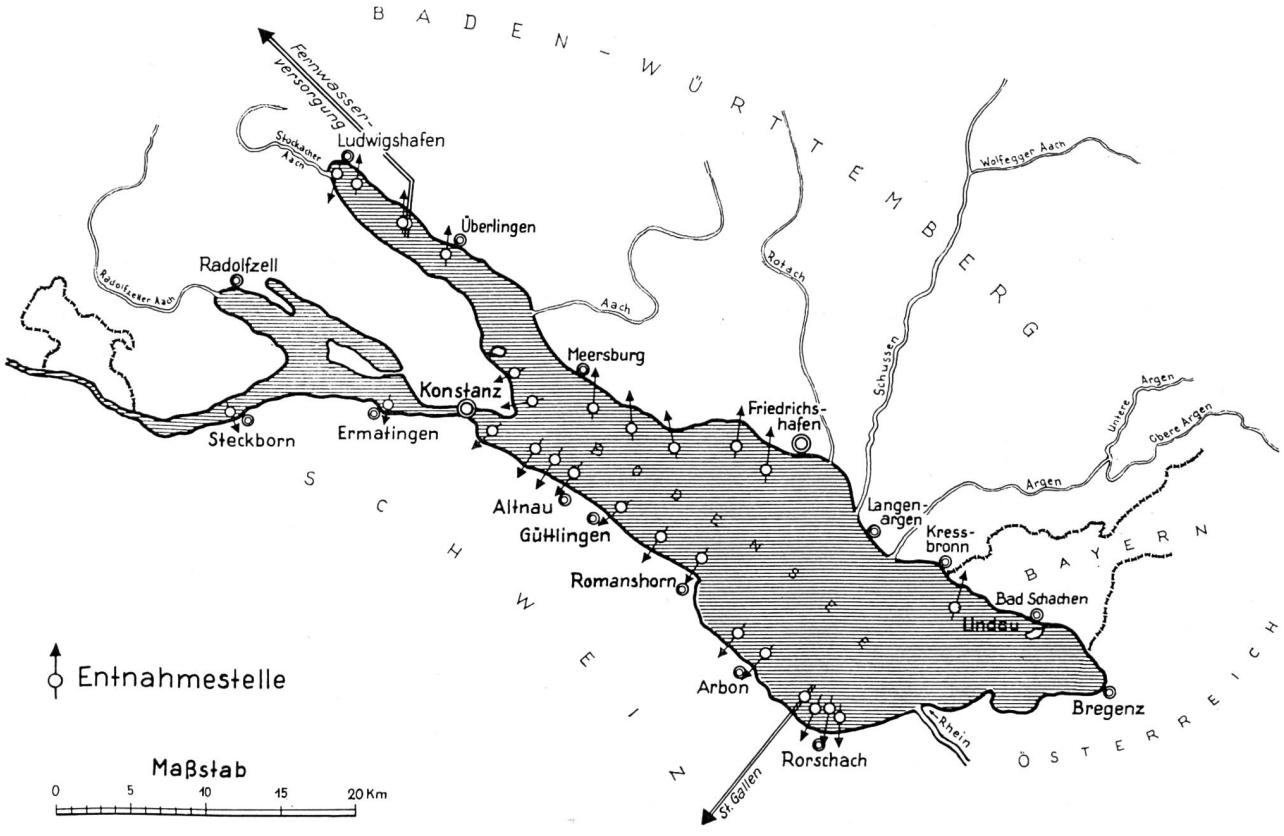

Bild 7 Wasserentnahme aus dem Bodensee für die öffentliche Wasserversorgung

ner wegen der infolge Ueberdüngung mit Phosphor entstandenen Verkrautung mancher Uferzonen und wegen der durch Stürme und Temperaturunterschiede im Wasser ausgelösten Umschichtungen muss man heute damit rechnen, dass verunreinigtes Wasser auch an sorgfältig ausgewählte Entnahmestellen kommt. Man hält deshalb allgemein mindestens eine Chlorung für notwendig. So hat zum Beispiel die Stadt Friedrichshafen, die seit 1916 ihr Trinkwasser aus dem See entnimmt, im Jahre 1942 eine Chlorung eingeführt und ausserdem einen Schnellfilter eingebaut.

Eine besondere Gefahr für die Trinkwasserversorgungen, die auch bei der angestrebten Verbesserung der Reinhaltung der Seezuflüsse nicht ausgeschaltet werden kann, ist die Oelverseuchung. Nicht umsonst wurde gegen die am Alpenrhein und östlichen Bodensee entlang führende Oelleitung Genua—Ingolstadt Sturm gelaufen, so dass bis heute noch keine endgültigen Entscheidungen getroffen sind. Trotz der grossen Sicherheit der Leitung können Katastrophen zu Oelunfällen führen. Wohl haben die Behörden aller Anliegerstaaten eingehende Vorschriften für eine schlagkräftige, modern ausgerüstete und ausgebildete Oelwehr erlassen, die in der Lage ist, Leckagen einzudämmen, um auf das Erdreich oder in Gewässer gelangtes Oel weitgehend unschädlich zu machen. Wenn aber trotz aller Vorsicht ölverseuchtes Wasser, auch in geringen Mengen, in den Entnahmebereich von Wasserversorgungen gelangt, die mit Chlorung ausgerüstet sind, so entsteht Chlorphenol, das infolge seines Geschmacks das Wasser praktisch ungeniessbar macht. Friedrichshafen behandelt deshalb seit fünf Jahren sein Wasser mit Chlordioxyd. Dadurch wird die Bildung von Chlorphenol verhindert. Bis jetzt hat die Stadt hiemit gute Erfahrungen gemacht. Eine andere wahrscheinlich sicherere Möglichkeit ist der Einbau von ölabscheidenden Mikrofiltern und von Ozonisierungsanlagen, welche die Entkeimung des Wassers ohne Verwendung von Chlor gestatten. Diese nicht gerade billigen Massnahmen kommen in den nächsten Jahren auf alle Wasserversorgungen aus dem See zu. Dabei muss gesagt werden, dass die Oelgefahr nicht etwa nur von der vielgenannten Pipeline ausgeht, sondern mit dem raschen Anstieg des Oelverbrauchs im Haushalt, bei der Industrie und im Verkehr ständig wächst. Wenn irgendwo im grossen Einzugsgebiet des Bodensees Unfälle von Tanklastwagen und Leckagen von Oelbehältern vorkommen, besteht die Möglichkeit, dass Oel über das Grundwasser und die Zuflüsse in den See gelangt. Mehrmals schon kam auf diese Weise emulgiertes Oel in den See, wo es trotz sofortiger Massnahmen durch benachbarte Feuerwehren zu hässlichen und sehr unangenehmen Zuständen in Ufernähe führte.

DIE BODENSEEWASSERVERSORGUNG

Zum besseren Verständnis der Bodenseewasserversorgung (BWV) und ihrer Notwendigkeit seien einige allgemeine Angaben über die Trinkwasserversorgung in Baden-Württemberg gemacht. Grosse Gebiete des Landes sind seit vielen Jahrzehnten auf zentrale Wasserversorgungen, zum Teil aus grosser Entfernung, angewiesen. So entstand, als im Raume Stuttgart die letzten örtlichen Gewinnungsstellen ausgenützt waren, im Jahre 1912 die Staatliche Landeswasserversorgung. Sie war die erste grosse Fernwasserversorgung in Deutschland und nutzt ein sehr ergiebiges Grundwasservorkommen im Donautal, 15 bis 30 km nordöstlich von Ulm aus, das aus dem Karstgebiet der Schwäbischen Alb nördlich von Ulm gespeist wird. Die Kapazität der Landeswasserversorgung (in Bälde wird sie 60 Mio m³ im Jahr erreichen) ist von ihren Beziehern längst voll in Anspruch genommen. Eine Vergrösserung ihrer Leistungsfähigkeit durch eine Grundwasseranreicherung aus der Donau und eine zweite Leitung nach Stuttgart ist im Gang. Nach Durchführung dieser Baumassnahmen, die einen Aufwand von 200 Mio DM erfordern, stehen aus der Landeswasserversorgung jährlich rund 150 Mio m³ zur Verfügung, die in Zukunft nicht noch vermehrt werden können. Diese Fernwasserversorgung beliefert zahlreiche Städte im Raum Stuttgart, sowie im Nordosten von Württemberg.

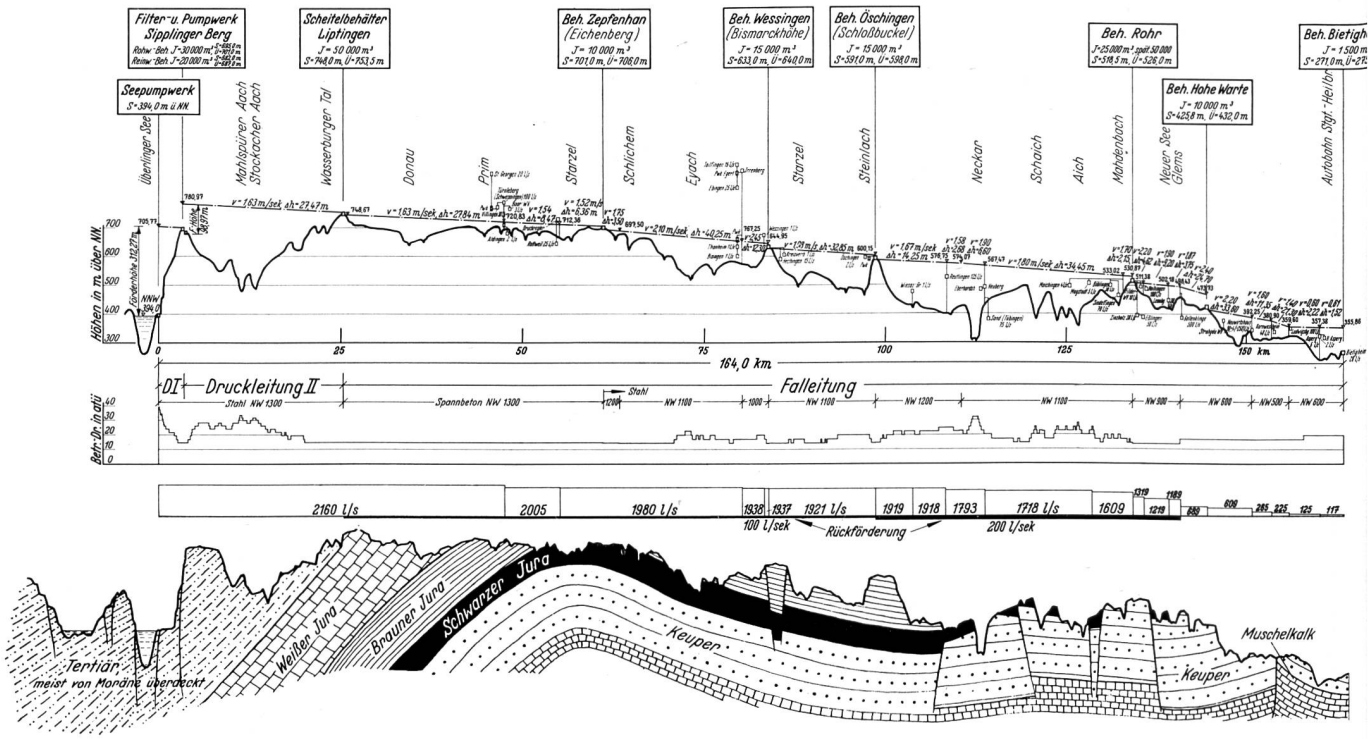

Bild 8 Längenprofil der Bodensee-Wasserversorgung (ohne Berücksichtigung der Drucksteigerung) und geologischer Schnitt

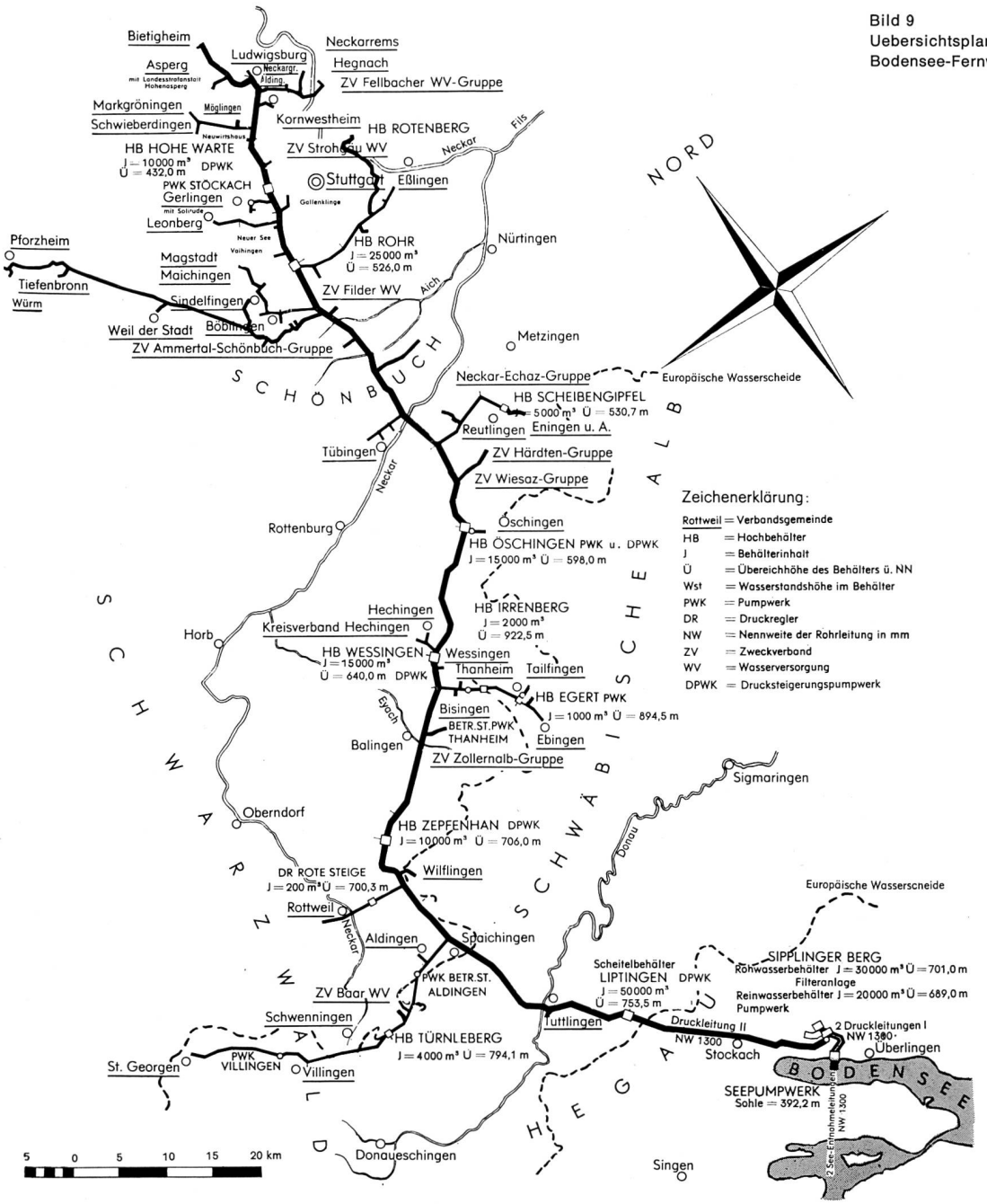

Bild 9
Uebersichtsplan der
Bodensee-Fernwasserversorgung

Das Land Baden-Württemberg verfügt noch über verschiedene reiche Grundwasservorkommen, vor allem in den mächtigen Sand- und Schottervorkommen der Oberrheinebene zwischen Basel und Mannheim. Dort entnehmen die grossen Städte Freiburg, Karlsruhe, Heidelberg und Mannheim, sowie viele kleinere Gemeinden ihr Trinkwasser. Für die Speisung einer Fernwasserversorgung bleibt aber eigentlich nur das Gebiet nordwestlich Bruchsal zur Verfügung, wo etwa 1000 bis 1200 l/s echtes Grundwasser gewonnen werden können. Diese Menge lässt sich auf etwa 2300 l/s durch uferfiltriertes Rheinwasser vermehren. Auch für die Anlage von Trinkwasserspeichern sind die Voraussetzungen nicht günstig. Die orographisch in Betracht kommenden Stauräume sind teils geologisch ungünstig (Karstgebiete), teils wegen dichter Besiedlung unmöglich.

Dies mögen die Gründe gewesen sein, dass nach den Trockensommern 1947 und 1949, in denen in zahlreichen Städten und zentralen Versorgungsgruppen der Wasserbedarf nicht mehr voll gedeckt werden konnte, der Württemberg-Badische Städteverband eine Studienkommission zur Prüfung des Baus einer Fernwasserversorgung bildete. Unter fünf untersuchten Lösungen stand nach mehrjähriger Arbeit nur noch die Bodenseewasserversorgung zur Diskussion. Am 25. 10. 1954 wurde der Zweckverband Bodenseewasserversorgung gegründet. Im Oktober 1958, nach nur zweijähriger eigentlicher Bauzeit, kam die Anlage in Betrieb. Schon bei der Gründung des Zweckverbandes waren 1523 l/s vergeben, wobei die Kapazität zunächst auf 2160 l/s vorgesehen war. Am 1. 1. 1965 wurde die Genehmigung zu einer Erhöhung der Entnahme bis zu 3000 l/s erteilt, die nach Fertigstellung der Drucksteigerungspumpwerke auch abtransportiert werden können und für die sich die Abnehmer schon seit geraumer Zeit haben vormerken lassen. Der Anspruch auf diese 3000 l/s verteilt sich etwa zur Hälfte auf die Stadt Stuttgart, zu einem Viertel auf Gemeinden im Raum Stuttgart und zu einem Viertel auf eine Reihe von Städten entlang der Leitung.

Das Wasser wird bei Sipplingen aus 60 m Tiefe mit zwei Leitungen entnommen und in einem unter Gelände liegenden Pumpwerk über zwei unterirdische Pumpdruckleitun-

gen auf den 300 m über dem See liegenden Sipplinger Berg gefördert. Dort befindet sich eine Schnellfilteranlage, die mehr aus Sicherheitsgründen wegen der vor allem im Herbst zu erwartenden Umschichtungen des Wassers eingeschaltet wurde, denn das Seewasser an der Fassung ist von durchaus guter Beschaffenheit, mittelhart, im allgemeinen keimfrei; die gefürchteten Ammonium-, Nitrit- und Phosphatverbindungen sind, soweit überhaupt feststellbar, an der unteren Nachweisbarkeitsgrenze. Die Wassertemperatur ist das ganze Jahr über ziemlich konstant 4,5 Grad C. Mit Rücksicht auf die Möglichkeit von Oelunfällen ist aber auch bei der BWV an die Erstellung einer Mikrosiebanlage und einer Ozonisierung gedacht.

Vom Sipplinger Berg wird das Wasser über eine 22 km lange Druckleitung nochmals höher gefördert bis zum Scheitelbehälter Liptingen mit Wasserspiegel 753,5 m ü.M. In Liptingen beginnt die 139 km lange Falldruckleitung bis zu einem im Südwesten der Stadt Stuttgart liegenden Hochbehälter in Rohr (Höhe 526 m ü.M.). Von dort wird das Wasser in den Raum Stuttgart verteilt. Ausserdem beginnt dort eine Abzweigleitung nach Pforzheim. Zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Falleitung sind fünf Zwischenpumpwerke eingebaut, die bei dem vollen Durchsatz von 3000 l/s in Betrieb genommen werden müssen.

Der jetzige Ausbau der Bodenseewasserversorgung auf eine maximale Fördermenge von 3000 l/s reicht nicht aus, um die Wünsche ihrer Abnehmer zu befriedigen. In den letzten zwei Jahren mussten Anträge auf Erhöhung der Beteiligungsquoten abgelehnt werden. Schon lange ist deshalb eine Erweiterung durch den Bau einer zweiten unabhängigen Leitung vom Bodensee nach Stuttgart geplant. Im Herbst 1965 hat der Zweckverband Bodenseewasserversorgung den Bau dieser zweiten Leitung mit einem Gesamtaufwand von 220 Mio DM beschlossen. Diese Leitung soll vom Reinwasserbehälter auf dem Sipplinger Berg ausgehen und ziemlich geradlinig zum Hochbehälter in Stuttgart-Rohr führen. Die Schwäbische Alb, deren höchste Erhebung bei der ersten Leitung durch ein weites Ausbiegen nach Westen umgangen wurde, wird zwischen Veringendorf und Burladingen durch einen 24 km langen Stollen durchfahren. Dadurch wird nicht nur die Trasse um rund 24 km kürzer, sondern es wird auch das zweite Hochpumpen vom Sipplinger Berg zum Scheitelbehälter bei Liptingen entbehrlich. Die Entnahme in Sipplingen soll beibehalten und auf zusätzliche 4500 l/s, zusammen also 7500 l/s ausgelegt werden. Das Gesuch um Genehmigung der erhöhten Entnahme, das auch den andern Anliegerstaaten zugeleitet wird, läuft zur Zeit. Man rechnet damit, dass bis zum Sommer 1969 die Leistungsfähigkeit der BWV auf 6000 l/s und bis 1971 auf die vollen 7500 l/s gebracht ist.

VERBUND ZWISCHEN DEN DREI SYSTEMEN

Die eingehenden Studien der letzten Jahre haben gezeigt, dass sich die künftige Trinkwasserversorgung des Landesteils Württemberg und des Nordostens von Nordbaden wohl oder übel auf drei grosse Versorgungssysteme abstützen muss, nämlich auf das Grundwasservorkommen im Donaugebiet der Landeswasserversorgung, auf die Bodenseewasserversorgung und auf die Rheinwasserfernleitung aus der Gegend Bruchsal. Auf keine dieser Gewinnungsstellen kann verzichtet werden. Vielmehr muss jede bis auf das technisch mögliche und vernünftige Mass ausgenützt werden. Es ist aber noch ein Schritt weiter geplant. Die drei Systeme sollen zu gegenseitiger Aushilfe miteinander verbunden werden. Zwischen den Endbehältern der Landeswasserversorgung auf dem Rotenberg und der BWV in Stuttgart-Rohr wurde schon vor einiger Zeit eine Verbindungsleitung gebaut, über welche nach beiden Richtungen Wasser ausgetauscht werden kann. In Ludwigsburg berühren sich die beiden Versorgungssysteme ebenfalls und künftig sollen weitere Verbindungsstellen geschaffen werden. Unwillkürlich drängt sich der Vergleich mit der elektrischen Verbundwirtschaft auf, die damit anfing, dass die Versorgungsnetze benachbarter Elektrizitätsversorgungsunternehmen durch eine dünne Strippe zu gegenseitiger Aushilfe in Notfällen miteinander verbunden wurden. Erst viel später, als man die geballte Spitzenenergie der grossen Alpenspeicherkraftwerke auf weite Entfernungen abtransportieren oder sich die wirtschaftlichen Vorteile einer Dampfkrafterzeugung in grossen Maschineneinheiten zunutze machen wollte, hat man leistungsfähige Höchstspannungsleitungen selbst über Ländergrenzen hinweg gezogen. Dadurch konnte im Verbund ein optimaler Einsatz der verschieden gearteten hydraulischen und thermischen Kraftwerke erzielt werden. Der Vergleich mit der elektrischen Verbundwirtschaft ist aber nicht in jeder Richtung möglich. Beim Wasserverbund genügt es nicht, einfach die Leitungen der verschiedenen Systeme miteinander zu verbinden. Man muss vielmehr auch die Druckverhältnisse in den Leitungen aufeinander abstimmen. Will man zum Beispiel Pforzheim von der BWV her versorgen, so genügt eine verhältnismässig dünnwandige Rohrleitung, weil Pforzheim etwa 250 m tiefer liegt, als der Endbehälter Rohr. Wollte man aber diese Leitung zu gewissen Zeiten auch zum Transport von Wasser aus dem Rhein von Bruchsal her verwenden, so müsste sie eine viel grössere Wandstärke bekommen, um den hohen manometrischen Druck des vom Zwischenpumpwerk Pforzheim nach Rohr geförderten Wassers auszuhalten. Trotzdem wird der Verbund der drei Systeme an einigen geeigneten Punkten wesentliche Vorteile bringen, welche die dabei entstehenden Mehrkosten rechtferti-

FÖRDERMENGEN UND WASSERABGABE DER FERNWASSERVERSORGUNGEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Tabelle 3

	Zweckverband Landeswasserversorgung	Zweckverband Bodenseewasserversorgung	Zweckverband Fernwasserversorgung Rheintal	
Jährliche Wasserabgabe	ab 1957: 57 Mio m³ [1] ab 1965: 65 Mio m³ [1] ab 1970: 120 Mio m³ [1] ab 1980: 151 Mio m³ [1]	1960: 28,7 Mio m³ 1964: 50 Mio m³ ab 1969: 126 Mio m³ [2] ab 1971: 157 Mio m³ [2]	ca. 25 Mio m³ ohne ca. 50 Mio m³ mit	} ufer-filtriertem Rheinwasser
Spitzen-Fördermenge	ab 1965: 2 570 l/s ab 1970: 4 500 l/s ab 1980: 6 500 l/s	ab 1965: 3 000 l/s ab 1969: 6 000 l/s ab 1971: 7 500 l/s	1 000 bis 1 200 l/s ohne 2 300 l/s mit	} ufer-filtriertem Rheinwasser

[1] einschliesslich 5,5 Mio m³ Bodensee-Austauschwasser

[2] mittlere Abgabe = 2/3 der Spitzenfördermenge

gen, sei es die Sicherheit in Katastrophenfällen, sei es aber auch die Ersparnis an Pumpstromkosten dadurch, dass man gewisse Abgabepunkte jeweils von der Seite her speist, von der das Wasser mit den geringsten Förderkosten geliefert werden kann. Diese Möglichkeiten technisch zu schaffen und durch vertragliche Abmachungen zu untermauern, muss m. E. das Ziel der drei grossen Trinkwasserzweckverbände sein.

Wenn die genannten Pläne verwirklicht sind, stehen alljährlich rund 350 Mio m³ aus den drei Fernwasserversorgungen zur Verfügung. Das ist etwa das dreifache von dem, was heute die Landeswasserversorgung und die BWV zusammen jährlich fördern. Nun muss man berücksichtigen, dass nicht nur mit einer Erhöhung des mittleren Kopfverbrauchs von zur Zeit etwa 200 l/Tag auf 250 bis 300 l/Tag in nicht zu ferner Zukunft gerechnet werden muss, dass ferner die Bevölkerung des jetzt schon durch die Fernwasserversorgungen bedienten Gebietes weiter anwächst, sondern dass auch noch weitere Gebiete, vor allem im Nordosten des Landes auf Anschluss an das Fernwasser-Verbundsystem warten. Die erwähnten 350 Mio m³ werden deshalb in 20 bis 25 Jahren voll benötigt werden.

Zusammenfassung

Der Bodensee und seine Wasserwirtschaft sind heute in vieler Hinsicht in den Blickpunkt des öffentlichen Interesses gerückt. Noch vor wenigen Jahrzehnten galt er als der Typus eines natürlich-nährstoffarmen, biologisch gesunden Sees, dessen Wasser sich in vorzüglicher Weise als Trinkwasser eignet. Heute ist das anders geworden, und es wird grösster Anstrengungen bedürfen, um der sich anbahnenden Eutrophierung vorzubeugen, obwohl das Interesse an der Reinhaltung des Sees und seiner Zuflüsse heute Allgemeingut geworden ist. Kulturelle und wirtschaftliche Planung, Landschaftsschutz, Fremdenverkehr, Schiffahrtsfreunde und Fischerei, sie alle sind Verbündete geworden in dem Bestreben, den See gesund zu erhalten, mögen auch die Interessen sonst erheblich auseinander streben. Diese gemeinsame Blickrichtung ist ein grosses Glück, denn die Interessen der Trinkwasserversorgung, die sicher mit an vorderster Stelle stehen, würden allein vielleicht nicht ausreichen, um die grossen finanziellen Mittel zu mobilisieren, die zur Reinhaltung erforderlich sind.

Eine stärkere Inanspruchnahme des Sees zu Trinkwasserzwecken drängt sich für die Zukunft gebieterisch auf, nicht nur für die Ufergemeinden, sondern in steigendem Masse auch für die Fernwasserversorgung in Deutschland und in der Schweiz. Dies zeigt sich deutlich angesichts der Möglichkeiten der Trinkwasserversorgung des Stuttgarter Raums und der Gebiete von Nordwürttemberg und Nordostbaden, wo auf die Erhöhung der Entnahme aus dem Bodensee auf weitere Sicht einfach nicht verzichtet werden kann. Gegen eine solche Erhöhung wurden schon verschiedentlich Bedenken geäussert wegen der Minderung der Abflussmenge im Hochrhein. Es soll und kann nicht meine Aufgabe sein, hierzu Stellung zu nehmen. Ich habe aber versucht, rein sachlich die Veränderungen der Wasserwirtschaft des Bodensees zu analysieren, die sich im Laufe der letzten zwei Jahrzehnte ergeben haben. Es sind hauptsächlich drei Einflüsse, die das Wasserregime des Sees geändert haben, nämlich der Bau zahlreicher Alpenspeicher im Einzugsgebiet des Sees, die Ueberleitung von Wasser aus dem Einzugsgebiet des Inn zur Ill und damit zum Bodensee und die Trinkwasserentnahme der BWV. Die beiden erstgenannten Tatsachen sind in jeder Richtung günstig für die Wasserwirtschaft. Die unerwünscht hohen Seewasserstände im Sommer ermässigen sich etwas, die extrem niedrigen erhöhen sich. Im Winter erhöht sich die Wasserführung des Rheins unterhalb Konstanz beträchtlich, in vielen Monaten um durchschnittlich 30 bis 40 m³/s. Durch die Entnahme der Bodenseewasserversorgung, derzeit etwa 60 Mio m³ im Jahr, verringert sich der Abfluss bei Konstanz um durchschnittlich etwa 2 m³/s. Dies ist wenig im Vergleich zur Erhöhung des Zuflusses durch die Ueberleitungen aus dem Inngebiet, die durchschnittlich 6,5 m³/s bringen. Hierzu muss bemerkt werden, dass dieser Mehrzufluss sich durch Speicherung im Illgebiet ziemlich gleichmässig über das ganze Jahr verteilt und dass die Ueberleitungen auf österreichische Initiative, jedoch im wesentlichen mit finanziellen Mitteln der deutschen Stromabnehmer zustande kamen.

Die unaufhörlich strömenden Abwasserflüsse, die mit Fremdenverkehr und Industrialisierung sich steigernde Gefahr von Verölungen und sonstigen Vergiftungen und Verunreinigungen können den See in seiner Funktion als hervorragenden Trinkwasserspeicher und als Lebensspender für viele Millionen von Menschen ernstlich gefährden. Helfen Sie deshalb alle mit, den richtigen Weg zu finden, der zu einem sauberen Bodensee führt und damit viele Menschen in allen drei Anliegerstaaten erquickt und beglückt.

Anschrift des Verfassers:
Direktor i.R. Regierungsbaumeister Hans Christaller
795 Biberach/Riss, Schwarzwaldstr. 2

LITERATURANGABEN:

1 Forel, F. A.: Die Schwankungen des Bodensees. Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung, 1893, Heft 22, Seiten 49/77.
2 Gross, Oskar: Die Staatliche Landeswasserversorgung in Württemberg. Zentralblatt der Bauverwaltung 1918, Hefte 101, 103 und 104.
3 Kleinschmidt, E.: Beiträge zur Limnologie des Bodensees. Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung, 1921, Heft 49, S. 34/69.
4 Auerbach, Max: Das Schrifttum der naturwissenschaftlichen Bodenseeforschung. Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung, 1952, Heft 71, S. 161/218.
Dieses Verzeichnis enthält die Titel von rund 1650 Veröffentlichungen, die naturwissenschaftliche Fragen des Bodensees, einschl. Fischerei, behandeln oder berühren.
5 Auerbach, Max: Der Bodensee als Trinkwasserspender, GWF 94, (1953), Heft 20, S. 296/300.
6 Landel, E.: Die Bauvorhaben der Staatlichen Landeswasserversorgung. GWF 94 (1953), Heft 20, S. 594/604.
7 Kiefer, Friedrich: Naturkunde des Bodensees. Jan Thorbecke Verlag Lindau und Konstanz, 1955, 169 Seiten.
8 Schmidt, Fritz: Die Bodenseewasserversorgung, ihre Einzelanlagen und deren Bau, ihre bisherigen Betriebsergebnisse und wasserwirtschaftlichen Grundlagen. Die Wasserwirtschaft 1960, Nr. 12 und 1961, Nr. 1.
9 Kiefer, Friedrich: Der limnologische Zustand des Trinkwasserspeichers Bodensee. GWF 102 (1961), Heft 30, S. 814/820.
10 Maisch, Wolfgang: Was tut das Land Baden-Württemberg für die Reinhaltung des Bodensees? GWF 102 (1961), Heft 30, S. 821/822.
11 Schmidt, Fritz: Die Bodenseewasserversorgung. Siedlungswasserwirtschaft, 1961, Heft 7 und 8.
12 Schickhardt, K. E.: Fern- und Verbundwasserversorgung in Deutschland. Wasser und Boden 1963, Heft 8, S. 270/75.
13 Ebner, Walther: Wasserversorgung aus dem Bodensee. Gas/Wasser/Wärme (Oesterr. Vereinigung für das Gas- und Wasserfach), Bd. XVII/1, 1963.
14 Landel, Eugen: Der Beitrag der Staatlichen Landeswasserversorgung Stuttgart zu den Aufgaben der überörtlichen Wasserversorgung des Landes Baden-Württemberg. GWF 105 (1964), Heft 42, S. 1158/1168.
15 Schmitt, Walter: Wasserschutz und Wasserversorgung in Baden-Württemberg. Die Wasserwirtschaft in Baden-Württemberg, Verwaltungsverlag GmbH., München, S. 61/69.

BIOLOGISCH-CHEMISCHE MÖGLICHKEITEN ZUR SANIERUNG DES BODENSEES

DK 551.48.481 : 628.29 (282.243.13)

Vortrag von Professor Dr. Hans Liebmann, Bayerische Biologische Versuchsanstalt, München,
anlässlich der internationalen Vortragstagung «Wasserwirtschaft am Bodensee» vom 1./2. September 1965 in Konstanz.

Die Reinerhaltung unserer Flüsse und Seen ist im Interesse der Volksgesundheit erforderlich. Seen spielen als Erholungszentren für die Bevölkerung in der modernen Industrielandschaft eine grosse Rolle. Letzten Endes kommt auch der Erholungswert eines Sees der Volksgesundheit zugute.

Bevor an irgendwelche Nutzung eines Sees für technische Zwecke gedacht wird, muss dessen Sauberhaltung garantiert sein; denn die Erhaltung der Volksgesundheit steht vor allen wirtschaftlichen Fragen der Wassernutzung.

Eine Diskussion über Nutzungen des Bodenseewassers für irgendwelche technische Zwecke setzt voraus, dass vor Beginn derartiger Pläne eine solche Wasserqualität des Sees garantiert ist, dass gesundheitliche Schädigungen für die Bevölkerung und für die Haustiere von vornherein nicht zu erwarten sind. In diesem Zusammenhang sei an meine Ausführungen über die Einwirkung von Stauhaltungen auf die natürliche Selbstreinigung erinnert (LIEBMANN, 1960 und 1961). Bei einem Vergleich über den Verlauf der Selbstreinigung im fliessenden und im gestauten Wasser kamen wir zu der Schlussfolgerung, dass nur dann keine schwerwiegende Beeinträchtigung bei Errichtung eines Flusstaues zu erwarten ist, wenn die Wasserqualität vor Errichtung des Staues nicht schlechter als Güteklasse II, höchstens II bis III ist[1]. Auf Grund der bisher gesammelten Erfahrungen kann man bei irgendwelchen Planungen über die Wassernutzung eines Sees ebenfalls sagen, dass solche Nutzungen dann nicht möglich sind, wenn die Wasserqualität des Sees und zwar sowohl des freien Wassers als des Bodens schlechter als Güteklasse II ist.

Die Kartierung des Bodensees und seiner Flüsse von WACHEK (1958) zeigt, bis zu welchem Grad der Bodensee durch eingeleitete Abwässer bereits verunreinigt ist. Aus den Gütekarten des freien Wassers und des Bodens, wie sie neuerdings von LIEBMANN (1962) veröffentlicht worden sind, geht hervor, dass mit Ausnahme des Ueberlingersees die übrigen Teile des Bodensees und zwar sowohl das freie Wasser als auch der Boden bereits jetzt so stark verunreinigt sind, dass, besonders die Uferregionen und die grossen Seebuchten, zum Beispiel die Lindauer- und die Bregenzerbucht, der gesamte Untersee und fast alle Uferrandpartien bis weit in den See hinein solchen Wassergüteklassen zugeordnet werden müssen, die schlechter als II, bzw. II bis III sind.

Schon in seinem jetzigen Zustand bedarf der Bodensee einer dringenden grundlegenden Sanierung, damit nicht ernste gesundheitliche Schäden für die Bevölkerung auftreten und der Erholungswert des Sees sowie der gesamte Fremdenverkehr stark beeinträchtigt werden. Diskussionen darüber, ob man dem See noch weitere Belastungen zumuten darf, wie sie durch verschiedene Wassernutzungen unvermeidbar sind, sind erst dann möglich, wenn die Gesamtmasse des Bodensees die Durchschnittsqualität der Wassergüteklasse II wieder erlangt hat.

Da der Verlauf der Selbstreinigung im See langsamer als in einem schnellfliessenden Fluss vor sich geht, müssen für die Reinerhaltung von Seen kritischere Masstäbe angewandt werden, als diese bei der Einleitung von Abwässern in Flüsse zu beachten sind. Es muss der ersten (mechanische Reinigung) und der zweiten Stufe (biologische Reinigung) eine dritte Reinigungsstufe zur Eliminierung der Phosphate und Nitrate nachgeschaltet werden. Die Forderungen, die in dieser Beziehung zu erfüllen sind, hat LIEBMANN (1963) zusammengestellt. Die Eliminierung von Phosphaten und Nitraten durch die dritte Reinigungsstufe ist deshalb erforderlich, weil speziell Phosphate durch die mechanische Stufe nur etwa zu 2 % und durch die biologische Stufe nur zu etwa 23 % eliminiert werden.

Nach den bis heute vorliegenden Untersuchungen ist damit zu rechnen, dass etwa 2 g Phosphor mit den Abwässern je Tag und Kopf in den Bodensee gehen. Das sind bei einem täglichen Anfall von 100 l/E/Tag Abwasser 20 g Phosphor/m³, aus dem sich die Orthophosphatmengen errechnen lassen. Nach KRAUS (1960) ist die Aufnahme von 1 mg Phosphor/l durch Algen an die Umwandlung von 10—12 mg Stickstoff/l und von 33—78 mg Kohlenstoff/l gebunden. Für die Bakterien gelten ähnliche Verhältnisse. Die Algenzelle enthält zwischen 11 und 12 % Stickstoff und zwischen 0,9 bis 1,5 % Phosphor, bezogen auf die Trockensubstanz. Bakterien haben einen Phosphorgehalt von etwa 1,2 % und einen Stickstoffgehalt von etwa 12 %. Der an Nährstoffen arme See der Wassergüteklasse I bis II enthält an Phosphaten und Nitraten nur eine geringe Menge, so dass sich nur wenig Organismen je ccm Wasser in ihm halten können. In der Regel fehlt mindestens einer der für das Pflanzenleben notwendigen Nährstoffe, oder er ist nur in ganz geringen Mengen für kurze Zeit vorhanden. Die als «Wasserblüte» bekannte Erscheinung kann aber nur dann auftreten, wenn sämtliche Nährstoffe wie Kalium, Stickstoff, Schwefel und Phosphor vorhanden sind. Vergleichende limnologische Untersuchungen an Seen haben ergeben, dass von diesen notwendigen Nährstoffen am häufigsten Stickstoff und Phosphor fehlen können.

In der obersten Wasserschicht eines Sees, der sogenannten trophogenen Schicht, entwickelt sich das Plankton besonders stark. Nach einer Lebensdauer von nur wenigen Tagen bis Wochen sterben die Planktonorganismen ab und sinken zu Boden. Im Laufe der sommerlichen Stagnation kommt es zu einer Anhäufung von Abbauprodukten dieser Organismen in der Tiefe, wobei besonders Stickstoff und Phosphor angereichert werden. Um diese organischen Substanzen abzubauen, ist Sauerstoff erforderlich, so dass da-

[1] Nach LIEBMANN, H. (1962) werden die vier Wassergüteklassen wie folgt charakterisiert:

Wasser-güteklasse:	chem. Kennzeichen:	biol. Kennzeichen:
IV	freier O_2 nur in Spuren Zehrung nahe 100 % häufig freier H_2S	Keimzahl $>$ 1 000 000/cm³ Colititer sehr hoch extrem vorherrschend Mikroorganismen (Bakterien, Ciliaten)
III	freier $O_2 <$ 50 % oder extr. Uebersättigung kein freier H_2S	Keimzahl $>$ 100 000/cm³ Colititer rel. hoch überwiegend Mikroorganismen
II	freier $O_2 \approx$ 50 % Zehrung $\approx$ 50 %	Keimzahl $<$ 100 000/cm³ neb. Mikroorganismen auch Makroorganismen (Würmer, Mollusken)
I	freier O_2 nahe Sättigung Zehrung $<$ 10 %	Keimzahl $<$ 100/cm³ Colititer $\approx$ 0, grosser Artenreichtum an Makroorganismen (Insekten)

durch eine stärkere Sauerstoffzehrung in der Tiefe auftritt. Nach Untersuchungen von EINSELE (1938, 1944), OHLE (1953), THOMAS (1955) und anderen Autoren soll Phosphat in der Seetiefe angereichert, bei Anwesenheit von Sauerstoff in schwer löslicher Form zum Beispiel als Eisen- oder Manganphosphat teilweise im Sediment festgelegt und damit dem weiteren Stickstoffkreislauf entzogen werden. Wenn es jedoch zur Ausbildung anaerober Verhältnisse kommt, kann ein Teil davon infolge Reduktion wieder löslich werden und ins Wasser zurücktreten.

Die bisherigen Untersuchungen haben ergeben, dass Phosphor derjenige wichtige Nährstoff im See ist, der während der Stagnationsperiode zuerst aufgebraucht wird. Stickstoff kann deshalb von den Algenarten ersetzt werden, weil gewisse Algen, besonders Vertreter der Gattung Anabaena, in der Lage sind, Luftstickstoff zu binden (HUTCHINSON, 1957), und weil auch durch das Regenwasser Stickstoffverbindungen laufend dem See zugeführt werden.

Es besteht eine direkte Abhängigkeit im See zwischen der Höhe des Nährstoffgehaltes und der Höhe der Produktion in den obersten Wasserschichten. Dabei werden die vorhandenen Phosphate in mehr oder weniger kurzer Zeit aufgezehrt. Das Algenwachstum nimmt aber trotzdem nicht ab. Es wird diese Erscheinung darauf zurückgeführt, dass der sogenannte kurzgeschlossene bzw. kleine oder intrabiozoenotische Kreislauf vorhanden ist. Wie AMBÜHL (1964) zusammenfassend über diesen kurzgeschlossenen Kreislauf geschrieben hat, haben die in ihm wirksamen Phosphate verschiedene Herkunft. Einzelne Algen, besonders Vertreter der Gattung Oscillatoria, besitzen die Fähigkeit, Phosphat in solchen Mengen zu speichern, dass sie sich monatelang auch ohne jegliche weitere Zufuhr vermehren können. Die abgestorbenen Organismen sinken nicht erst in die Tiefe ab, sondern beginnen sich sofort zu zersetzen. Besonders im Sommer geht diese Zersetzung, wie BACHOFEN (1960) an Oscillatoria rubescens nachgewiesen hat, sehr rasch vor sich, so dass ein Teil des Phosphors in gelöster organischer Form schon innerhalb der oberen Nährstoffschicht wieder frei wird. Nach Untersuchungen von GOLTERMANN (1960) an Scenedesmus quadricauda werden innerhalb weniger Tage 70—80 % des Phosphors durch Autolyse frei. Durch die Tätigkeit von Bakterien wird aus den gelösten organischen Verbindungen anorganisches Phosphat frei, wie dies Untersuchungen an radioaktiv markiertem Phosphat von WATT und HAYES (1963) ergeben haben.

Die entweder nackten oder dünnhäutigen Nannoplanktonformen, die sich im See im Frühjahr sehr stark entwikkeln können, spielen, wie PAVONI (1964) beschrieben hat, bei dem Vorgang der laufenden Zersetzung eine sehr grosse Rolle. Auch die Bakterien zersetzen sich unmittelbar nach dem Tod und führen der trophogenen Schicht sofort wieder Nährstoffe zu. Nach den Untersuchungen von RIGLER (1959) kann durch die Tätigkeit der Nannoplanktonformen und der Bakterien Phosphat innerhalb einer Stunde mehrmals an Organismen gebunden und durch deren Zersetzung wieder frei werden.

Neben den besonders wichtigen Formen des Nannoplanktons und der Bakterien spielen auch die Zooplanktonformen als Phosphorquelle eine Rolle. Diese Organismen steigen im See nachts in die oberen Wasserschichten auf und geben nach Untersuchungen von POMEROY, MATHEWES und MIN (1963) täglich ungefähr soviel Phosphor ab, wie ihr Körper enthält. Nach den Erfahrungen von AMBÜHL (1964) liefert dieser kurzgeschlossene Kreislauf genügend Phosphate, so dass sogar Massenentwicklung von Algen dadurch möglich wird.

Der sogenannte kurzgeschlossene Kreislauf ist so lange von untergeordneter Bedeutung, als noch genügend Nährstoffe im Ueberschuss vorhanden sind. Wenn der von der Vollzirkulation her bestehende Vorrat aufgebraucht ist, beginnt der kleine Kreislauf zu funktionieren.

Die durch die steigenden Abwasserzuführungen im Bodensee beobachteten Veränderungen sind innerhalb von 20—25 Jahren aufgetreten. Nach NÜMANN (1960) war der Bodensee noch vor dem Zweiten Weltkrieg ein natürlicher oligotropher See. Aus den Arbeiten von AUERBACH, MAERKER, SCHMALZ (1926), ELSTER und EINSELE (1937) geht hervor, dass der Bodensee früher während des Sommers ein nicht stark ausgeprägtes Epilimnion ohne scharfes Metalimnion besass. Die Sprungschicht lag in 20—30 m Tiefe. In den Wintermonaten erfolgte bei plus 4 °C die Homothermie.

Walzen mit horizontaler Achse führten zeitweise zur Einschiebung warmen Oberflächenwassers an einem Ufer und zum Ansteigen kälteren Tiefenwassers am gegenüberliegenden Ufer. Wirbel mit senkrechter Achse bildeten mehr oder weniger konstante Kreisströmungen mit warmem Wasser an der Peripherie der Kreise.

Eine stärkere Beeinflussung erfährt der Haushalt des Bodensees durch den Rhein. Dieser fliesst zeitweilig wie in einem Flussbett im See, entweder an der Oberfläche oder in der Tiefe, im allgemeinen nicht tiefer als 20—25 m (AUERBACH und SCHMALZ 1927), NÜMANN (1938). Wie der Rhein, so schichten sich auch die übrigen Zuflüsse des Bodensees in das Epilimnion ein. Das abfliessende Wasser bei Konstanz stammt aus der 5- bis 10 m-Schicht. Nach SCHMALZ (1934) verlassen bis zum Spätsommer 40 % des Rheinwassers bei Konstanz den See. Von Mai bis Oktober fliesst soviel Wasser aus dem See, wie das 20 m dicke Epilimnion ausmacht.

Im Sauerstoffhaushalt des Bodensees sind nach SCHMALZ (1924), ELSTER und EINSELE (1934) seit den ersten Untersuchungen von HOPPE-SEYLER (1895) bis zu diesem Zeitpunkt keine wesentlichen Veränderungen aufgetreten. Nach NÜMANN (1964) darf deshalb geschlossen werden, dass der vor dem Zweiten Weltkrieg gefundene Zustand schon über längere Zeiträume angedauert hat. Bis dahin war das Wasser nach der Vollzirkulation im Frühjahr sauerstoffgesättigt. Während der sommerlichen Stagnation ergaben sich früher maximal im Metalimnion und über dem Grund ein Sauerstoffdefizit von 22 %, das auf die Mineralisation der vom See selbst produzierten organischen Substanzen zurückzuführen ist. Im Untersee kam es schon früher an gewissen Stellen zu einem hundertprozentigen Sauerstoffdefizit und zu Schwefelwasserstoffbildung.

Gelöste anorganische Phosphate wurden früher im freien Wasser nie und über dem Grund nur viermal in Spuren nachgewiesen. Der im Plankton gefundene Phosphor machte 1,5 mg/m³ P aus. Im Untersee wurden stets 1—2 mg, bei Sauerstoffschwund bis zu 170 mg P/m³ gefunden.

Stickstoffverbindungen waren stets reichlich vorhanden. Ammonium war mit 20—40 mg/m³ an der Nachweisgrenze, Nitrate traten in Konzentrationen bis zu rund 600 mg/l auf. Es wurde ein Absinken der Nitrate im Epilimnion während des Sommers um 75 % beobachtet, das weniger auf die Assimilation als auf die Verdünnung mit nitratarmem Rheinwasser zurückzuführen ist.

Untersuchungen über das pflanzliche Plankton und seine räumliche und jahreszeitliche Verteilung wurde früher von HOFER (1898), SCHRÖTER (1899) und KIRCHER (1899) durchgeführt. Zwischen 1920 und 1930 führten AUERBACH

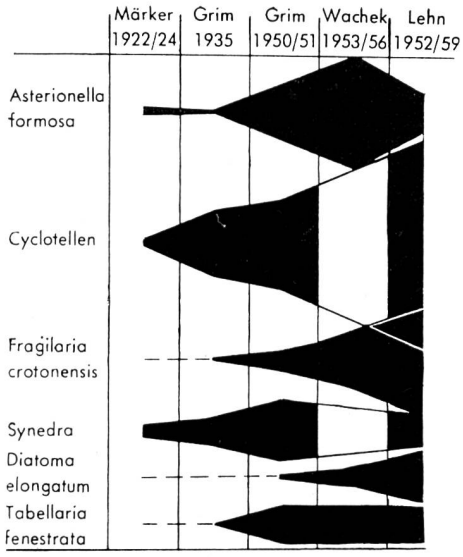

Bild 1 Die Zunahme des Phytoplanktons, als Folge der Phosphatdüngung. Aus NÜMANN 1964

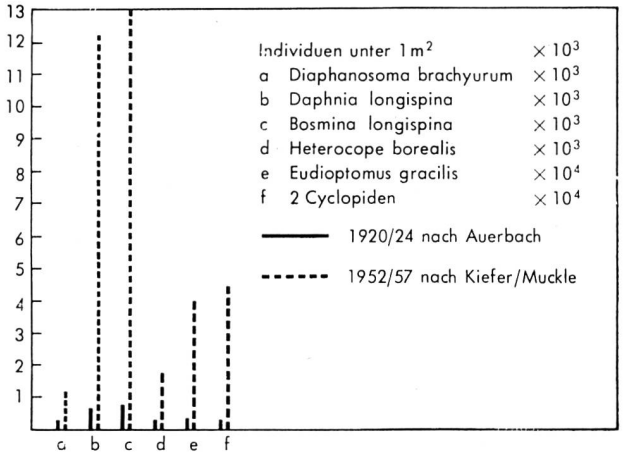

Bild 2 Die Zunahme des Zooplanktons als Folge der starken Phytoplanktonproduktion Aus NÜMANN 1964

und Mitarbeiter, ELSTER (1939), GESSNER (1936) und GRIM (1955) ihre quantitativen Arbeiten durch. Dabei bezeichnete Grim (1939) den Bodensee noch auf Grund des zahlreichen Vorkommens der Kieselalge Cyclotella als oligotrophen Cyclotellasee.

Die Untersuchungen über den Boden und seine Besiedlung wurden besonders von LUNDBECK (1936) durchgeführt. Er kam zu diesem Zeitpunkt noch zu dem Schluss, dass der Bodensee-Obersee als einziger von allen Alpenseen zum reinsten oligotrophen Typ gehört. Lediglich der Untersee gehörte schon damals zum mässig eutrophen Seetyp.

Noch ehe man chemische Veränderungen durch eingeleitete Abwässer in einem See feststellen kann, zeigen sich solche Beeinflussungen durch biologische Veränderungen. Selbst die besten chemischen und physikalischen Methoden können durch das feine Reagieren der biologischen Indikatoren nicht ersetzt werden. Nach GRIM (1955) muss das Auftreten neuer Formen im pflanzlichen Plankton oder das Vordringen von Formen aus dem eutrophen Ufergebiet oder aus dem Untersee in Richtung zur Seemitte des Obersees als biologisches Zeichen einer beginnenden Verschlechterung angesehen werden. Es lassen deshalb die qualitativen Veränderungen des pflanzlichen Planktons die durch die Abwässer bedingte Eutrophierung des Bodensees am besten erkennen.

Anzeichen von qualitativen Veränderungen wurden von GRIM schon 1935 festgestellt. AUERBACH, MAERKER und SCHMALZ (1926) fanden als grösste Dichte von Algen 440 000/l. Bereits 1950 wurden diese Algen in ihrem Massenauftreten um das sechsfache übertroffen. Eine früher seltenere Cyclotellaart trat nach LEHN (1956) um diese Zeit sogar in Zahlen von 9 Mio/l auf. Die Organismen-Produktion hat im Bodensee nach dem Zweiten Weltkrieg rund um das zwanzigfache zugenommen, wobei Wasser- und Stagnationsblüten monatelang beobachtet wurden (GRIM 1955 und MUCKLE 1956) (Bild 1).

Seit den Untersuchungen von HOFER (1896) hatten die laufenden Untersuchungen bis 1925 keine artenmässigen Verschiebungen im Plankton ergeben. Heute sind nach KIEFER und MUCKLE (1959) zu den vor 100 Jahren bekannten neun Arten fünf weitere hinzugekommen (Bild 2). ZÜLLIG (1956) hat am Bodenprofil nachgewiesen, dass die Pigmentstoffe der Organismen in den letzten zehn Jahren um das 20fache angestiegen sind. Im gleichen Sinne erfolgte die Vermehrung an Schalen von Kieselalgen, Silikat und Phosphor im Sediment. Die biogene Entkalkung als Masstab der Organismenproduktion lässt eine Zunahme von Ca-Ablagerungen von 10 mg/Jahr erkennen.

Nach den Untersuchungen von WACHEK (1958) hat die Bodenfauna des Sees seit den Untersuchungen von LUNDBECK (1936) um das zehnfache zugenommen. Der westliche Obersee und der Ueberlingersee zeigen heute noch günstigere Verhältnisse als der eigentliche Obersee. Die Verhältnisse lagen zur Zeit LUNDBECKS gerade umgekehrt.

Während sich die Veränderungen im Bodensee biologisch zum erstenmal in den Jahren 1935—1939 bemerkbar machten, sind sie chemisch erst nach 1950 nachweisbar. Der bisher gleichsam als Motor an der Produktion organischer Substanzen und als Minimumstoff wirkende Phosphor wurde zunächst mit 2—3 mg/m³ an anorganischen gelösten Verbindungen adsorbiert und sedimentiert. FAST (1955) fand später 3—4 mg und KLIFFMÜLLER (1962) 7 mg, zur Zeit der Vollzirkulation im Jahre 1958 8 mg und im Jahre 1959 9 mg. Jetzt werden auch im Sommer in der Produktionszone fast stets Phosphormengen nachgewiesen. Phosphor tritt also nicht mehr als produktionsbeschränkender Faktor auf (siehe Bild 3).

Die vermehrte Produktion an organischer Substanz hat sich sekundär wieder auf den Chemismus ausgewirkt. Wäh-

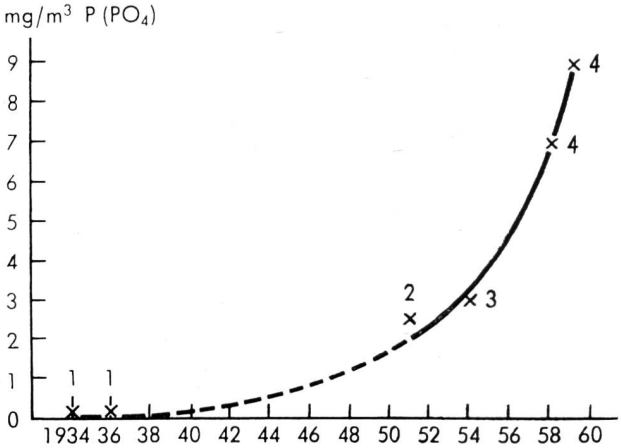

Bild 3 Die Zunahme der gelösten anorganischen Phosphatverbindungen im Bodensee
Aus NÜMANN 1964. (1 nach ELSTER und EINSELE, 2 nach GRIM, 3 nach FAST, 4 nach KLIFFMÜLLER)

rend die häufigere Uebersättigung des Epilimnions mit Sauerstoff für die Wasserqualität weniger bedeutungsvoll ist, macht sich das ständig zunehmende Sauerstoffdefizit in der Sprungschicht und am Grund sehr nachteilig bemerkbar. Während 1924 von AUERBACH und MAERKER als maximales Sauerstoffdefizit über dem Grund 22 % gefunden wurden, werden von GRIM (1955) in der Sprungschicht schon 50 % Sauerstoffdefizit festgestellt. Früher erfolgte die Beseitigung des natürlichen Defizites während der Vollzirkulation 100prozentig, heute wird das Sommerhalbjahr mit bereits 10prozentigem Sauerstoffdefizit von der Oberfläche bis zum Grund begonnen.

Der geschilderten Entwicklung des Obersees ist der Untersee schon einen Schritt vorangeeilt. Hier sind völliges Sauerstoffdefizit, Schwefelwasserstoffbildung und Fischsterben geradezu die Regel.

Die biologisch und chemisch festgestellte Verschlechterung der Wassergüte des Bodensees ist bedingt durch die Abwasserbeeinflussung, durch die Uferregion und durch die Zuflüsse. Nach WACHEK (1958), RITZI und VOGEL werden die Zonen mit stärksten Veränderungen vor den Flussmündungen, vor Städten und an flachen Buchten beobachtet. WETZEL (1951) konnte auf Grund eigener Untersuchungen aus den Jahren 1926 und 1950 an der Schussen vergleichend nachweisen, dass dieser Fluss von der Güteklasse III auf die Güteklasse IV während dieser Zeit abgesunken ist. Der Sauerstoffgehalt sank von 9 mg auf 0,2 mg/l ab.

KLIFFMÜLLER (1960) untersuchte in 22 Serien unter Berücksichtigung der Wasserführung die Gesamtbelastung an Schmutz, Dung und Giftstoffen des Bodensees, die ihm durch 16 Zuflüsse zugeführt wird. An organischer Substanz wird dem See eine Belastung zugeführt, die, als BSB_2 ausgedrückt, 450 g/s O_2 entspricht. Da der See aber schon eine grosse Eigenbelastung hat, beträgt der Zusatz-BSB-Wert praktisch 95 g/s. Der Rhein mit seiner absolut höchsten Fracht an organischer Substanz wirkt wegen seiner starken Wasserführung trotzdem für den See als Verdünnungsfaktor. Alle Zuflüsse zusammen belasten den Bodensee jährlich mit einem BSB_2-Wert von 4800 t.

Die Gesamtstickstoffbilanz weist eine Jahreszufuhr von 9500 t und einen Abfluss von 4800 t auf.

Die Zuflüsse bringen dem Bodensee jährlich 1800 t Gesamtphosphor. Es fliessen aber nur 700 t bei Konstanz ab. Die Anreicherung wird nach NÜMANN (1964) damit erklärt, dass im Sommer der meiste zugeführte Phosphor in den Organismen fixiert an der warmen Oberfläche bleibt und dann meistens bei Konstanz abfliesst, im Winter dagegen bei der Durchmischung eine Anreicherung in der Tiefe stattfindet. Tatsächlich sind deswegen auch die Konzentrationen trotz starker Wasserführung im Sommer höher als im Winter bei schwacher Wasserführung. Dasselbe gilt auch für andere Stoffe, zum Beispiel beträgt die Zufuhr von Salzen 41 000 t Chlorid und der Abfluss nur 36 400 t.

Neben den Abwässern spielen auch die in den Bodensee eingeleiteten Regenwasserabflüsse für dessen Verschmutzung eine Rolle. Nach HÖRLER (1963) beträgt der Anteil der Regenwasserabflüsse an der jährlichen Schmutzwassermenge 10—20 %. Bei Ueberlegungen zur Sanierung des Bodensees dürfen deshalb die Regenwasserabflüsse nicht ausser acht gelassen werden.

So, wie man in den Jahren 1935 bis 1939 auf Grund des Verhaltens der Organismen im Bodensee die kommenden chemischen Veränderungen voraussagen konnte, so ist der Biologe heute in der Lage, auf Grund des Verhaltens der Fische im Bodensee die in den kommenden Jahren auftretenden Geschehnisse übersehen zu können; denn gleichsam als Kettenreaktion wirkt sich die starke Eutrophierung auch für die Bodenseefische aus. Nach KRIEGSMANN (1958) und NÜMANN (1958) sind die jährlichen Felchenfänge 1910—1915 von durchschnittlich 100 000 kg auf 700 000 kg mit Spitzenleistungen auf über 800 000 kg im Jahr angestiegen. Die Felchen erreichen in weniger als zwei Jahren die Grösse, die sie früher in drei Jahren erlangten. Damit ist eine Frühreife der Felchen verbunden. Gleichzeitig dringen weniger wertvolle Weissfische, Friedfische und Barsche aus der Uferregion in das freie Wasser vor. Während nach NÜMANN (1964) die Anlandungen an Blaufelchen im Jahre 1956 mit 840 000 kg ihren Höhepunkt hatten, fallen seit dieser Zeit die Erträge ab. Sie betragen im Jahre 1963 nur noch 100 000 kg im Jahr, das ist das absolute Minimum seit Bestehen der Statistik im Jahre 1919 (Bild 4).

Im Bodensee-Obersee nehmen nach NÜMANN (1964) die Barsche in dem Masse zu, wie die Blaufelchen zurück-

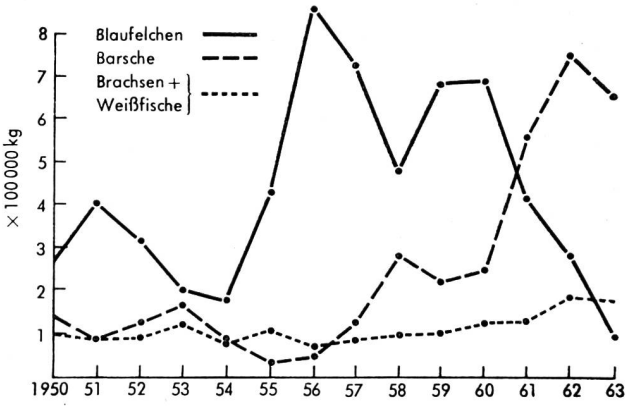

Bild 5 Jahresfangerträge aller Uferstaaten an Blaufelchen, Barschen und Weissfischen im Bodensee-Obersee
Aus NÜMANN 1964

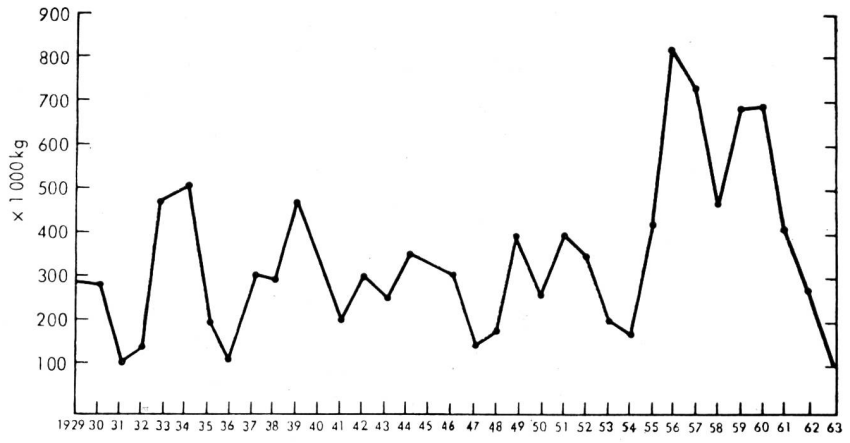

Bild 4
Jahresfangerträge aller Uferstaaten an Blaufelchen im Bodensee-Obersee
Aus NÜMANN 1964

gehen. Der Bodensee ist von einem Corregonen- zu einem Barschgewässer geworden. Der Barsch lebt jetzt in grossen Mengen im freien See, ernährt sich hier von Plankton, während er früher als Raubfisch nur die flachen Randgebiete des Bodensees bewohnte. Der Barsch dezimiert im freien See auch die junge Blaufelchenbrut. Aus diesem Grunde können heute Barschjahre als schlechte Blaufelchenjahre und umgekehrt bezeichnet werden. Diese Wechselbeziehungen zeigen sich nach NÜMANN (1964) erst nach mehreren Jahren. Falls der Blaufelchenbestand durch die Barsche reduziert wird, kann sich die Auswirkung in diesem Falle jedoch im selben Jahr äussern, weil die Blaufelchen bereits in zwei Jahren die Fanggrösse erreichen, die Barsche aber erst einige Jahre später zum Fang kommen. Es kann deshalb ein starkes Barschjahr in den ersten Lebensjahren schon die Felchenbrut dezimieren und erst zwei Jahre später mit den restlichen Felchen zum Fang kommen. Der durchschnittliche Gesamtfang an Barschen im Bodensee betrug zwischen 1914 und 1923 jährlich 23 700 kg, zwischen 1934 und 1943 51 500 kg und zwischen 1954 und 1963 295 100 kg, wobei das Maximum von rund 800 000 kg im Jahr 1962 beobachtet wurde (NÜMANN 1964) (Bild 5).

Weitere Veränderungen in der Zusammensetzung der Altersklassen der Blaufelchen traten einmal auf durch die intensive Befischung und zum anderen durch die kontinuierliche Wachstumszunahme dieser Fische (Bild 6). Während 1930—1933 noch im 6. Lebensjahr stehende Blaufelchen gefangen wurden und vorwüchsige im 3. Lebensjahr vereinzelt erst Ende des Sommers auftraten, sind heute die älteren Klassen völlig verschwunden (NÜMANN 1964). Vom Jahre 1954 bis 1959 wurden die meisten Tiere im 3. Lebensjahr gefangen. Diese Klassen zählten bei den letzten Jahrgängen aber auch nur noch weniger als 25 % des Fanges, nachdem vorwiegend Individuen, die im 2. Lebensjahr stehen, gefangen wurden. Der Prozentsatz an reifen Rognern hat in der Laichzeit von 1960 bis 1963 gegenüber von 1932 bis 1939 erheblich abgenommen. Der überwiegende Bestand an Blaufelchen ist grösstenteils zu jung und noch nicht geschlechtsreif. Sie werden aber bereits gefangen, weil sie das Schonmass überschritten haben.

Wie in manchen oberbayerischen Seen, die durch Abwässer stärker belastet werden, weisen auch die Blaufelchen des Bodensees eine starke Verfettung auf, durch welche die Geschlechtsreife in Mitleidenschaft gezogen wird. Der Fettgehalt stieg von früher 5—6 % auf 10—11 %. Nach unseren an oberbayerischen Seen gesammelten Erfahrungen ist mit diesem steigenden Fettgehalt nicht nur eine Beeinträchtigung der Geschlechtsreife, sondern auch eine Herabsetzung der Widerstandskraft der Fische gegenüber Parasiten verbunden. Im Bodensee sind die Felcheneier im Durchschnitt heute nur noch halb so gross wie früher. Störungen der besamten Eier traten früher zu 10—20 % jetzt zu 50 % auf (Bilder 7, 8).

Die fischereibiologischen Untersuchungen weisen eindeutig darauf hin, dass sich das gestörte biologische Gleichgewicht im Bodensee, das durch Ueberdüngung mit Abwässern bedingt ist, weiter dahingehend nachteilig bemerkbar macht, dass sich nicht nur die Zusammensetzung an Fischarten, sondern auch das Fischfleisch ändert.

Die bakteriologischen Untersuchungen des Bodenseewassers weisen eindringlich darauf hin, dass die zunehmende Eutrophierung des Sees auch für die Gesundheit des Menschen und der Haustiere eine Gefahr darstellen kann. Die bakteriologischen Zahlen betragen nach FAST (1955) und nach unveröffentlichten Untersuchungen von DEUFEL (zitiert bei NÜMANN 1964) in der Seemitte selten 100/ccm, vor den Flussmündungen aber 10 000/ccm. Coliforme Bakterien werden in der Seemitte selten mehr als 2 bis 3/100 ccm gefunden, vor den Flussmündungen aber bis zu 10 000/100 ccm.

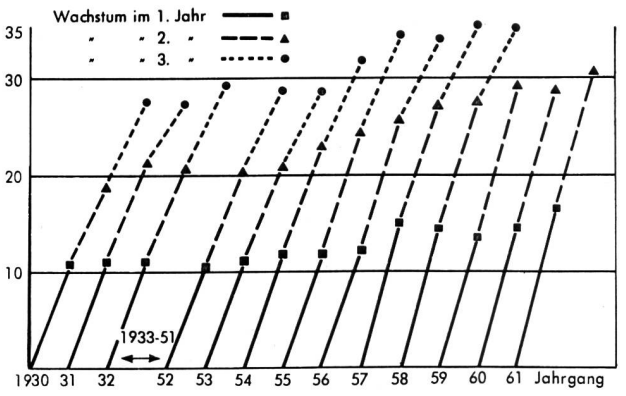

Bild 6 Das Wachstum der Blaufelchenjahrgänge 1930—1961
Aus NÜMANN 1964

Auf Grund der biologischen Veränderungen, die der Bodensee in den 30er Jahren dieses Jahrhunderts zeigte, konnte man bereits damals die jetzt eingetretene Veränderung oder Verschlechterung der Wasserqualität fast voraussagen. Auf Grund der fischereibiologischen Untersuchungen der letzten Jahre kann man so, wie etwa vor 30 Jahren, jetzt voraussagen, dass die Eutrophierung des Bodensees ein solches Ausmass erreicht hat, dass der See in eine sehr labile Phase eingetreten ist. Eine nur geringe weitere zusätzliche Belastung kann schon jetzt genügen, einen zu starken Sauerstoffschwund in weiten Teilen des Sees eintreten zu lassen.

Die Sanierung ist beim Bodensee mit seinen 16 grösseren Zuflüssen deshalb so schwierig, weil es nicht allein genügt, die Abwässer der am Bodensee liegenden Orte vom See fernzuhalten, sondern auch dafür zu sorgen ist, dass keine ungeklärten Abwässer in die oberen Abschnitte der Zuflüsse des Sees gelangen. Es ist erforderlich, bei den 16 Zuflüssen international abgestimmte Reinhalteverordnungen aufzustellen und auf Grund dieser Verordnungen die entsprechenden Massnahmen nach gegenseitiger Absprache durchzuführen. Dem Bodensee ist wesentlich geholfen, wenn alle organisch fäulnisfähigen Abwässer der Bodenseezuflüsse nur in diese nach der mechanischen und biologischen Reinigung eingeleitet werden. Die Durchführung von Reinhalteverordnungen für die Bodenseezuflüsse ist mit entscheidend für die am Bodensee notwendigen Sanierungsmassnahmen. Es sind fast 4/5 der Schmutzstoffe, die über die Zuflüsse in den Bodensee gelangen.

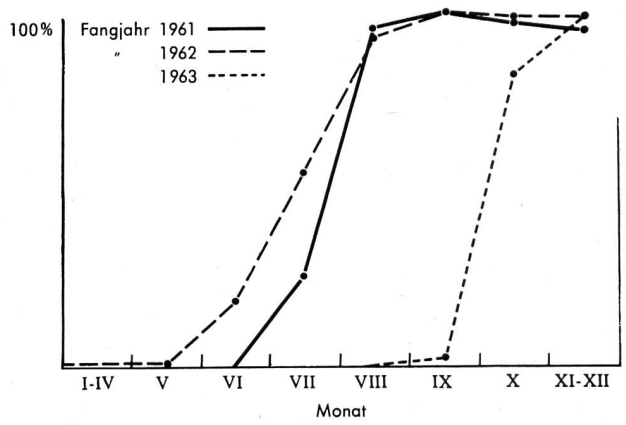

Bild 7 Altersklassenzusammensetzung der Blaufelchenfänge in den einzelnen Monaten und in verschiedenen Jahren
Aus NÜMANN 1964

Der Alpenrhein, der etwa siebenmal soviel Wasser in den Bodensee bringt, wie der nächst grössere Fluss, die Bregenzer Aache, führt dem Bodensee beinahe die Hälfte des gesamten Phosphors und Stickstoffes zu.

Neben den besonders schwierigen Sanierungsmassnahmen an den Zuflüssen des Bodensees muss die Einleitung aller direkt in den See fliessenden Abwässer unterbunden werden. Die zur Sanierung von eutrophen Gewässern von ZIGERLI und THOMAS (1962) vorgeschlagene Lösung, mit einer Rohrleitung das nährstoffreiche und sauerstoffarme Tiefenwasser abzuführen, kommt vielleicht für kleine Seen mit geringer Oberfläche, nicht aber für den Bodensee in Frage. Die gesamte Zufuhr an Phosphaten zum Bodensee wird, wie die Berechnungen von KLIFFMÜLLER (1962/2) ergeben haben, wesentlich grösser als der oberflächliche Wegtransport.

Zwei Möglichkeiten ergeben sich, um den Bodensee vor der direkten Einleitung von Abwässern zu schützen: man kann einmal durch örtliche Kläranlagen mit erster, zweiter und dritter Reinigungsstufe die Abwässer nicht nur weitgehend von organisch fäulnisfähigen Stoffen, sondern auch von Phosphaten und Stickstoffverbindungen befreien, oder man wählt zum anderen den Weg, auch die Einleitung von Abwässern nach Passieren der dritten Reinigungsstufe in den See ganz zu unterbinden. Auf jeden Fall ist Voraussetzung für die dritte Reinigungsstufe der vorher erfolgte Ausbau der ersten und zweiten Stufe, das heisst der mechanischen und biologischen Reinigung. In dieser Beziehung sind erhebliche Fortschritte in nächster Zeit zu erwarten. Im bayerischen Bodenseegebiet ist nach der mechanischen die biologische Stufe der Abwasserreinigung der Kläranlage Lindau und Umgebung abgeschlossen. Eine mechanische und biologische Kläranlage für die Abwässer von Bregenz ist geplant. Im badisch-württembergischen Abschnitt des Bodensees ist eine Zentralkläranlage für die erste, zweite und dritte Reinigungsstufe von Konstanz im Bau. An diese Kläranlage soll später die benachbarte schweizerische Stadt Kreuzlingen mit angeschlossen werden. Eine, wenn man so sagen darf, weitere internationale Kläranlage ist für das schweizerische Ramsen und die deutsche Stadt Singen geplant. Eine Reihe von Kläranlagen im schweizerischen Bodenseegebiet sind in den Kantonen Thurgau und St. Gallen in Bau, bzw. projektiert.

Erfahrungen über Massnahmen zur Sanierung von Seen sind in den letzten 20 Jahren an den oberbayerischen Seen gesammelt worden. Wie die Beispiele des Schliersees und des Tegernsees (LIEBMANN, 1965) sowie des Zellersees (LIEPOLT, 1965) gezeigt haben, ist es möglich, durch entsprechende Erfassung der Uferrandgemeinden entweder durch Gabelleitungen oder durch Ringleitungen die Abwässer vom See völlig fernzuhalten und damit den Eutrophierungsprozess abzubremsen. Solche Ringleitungen kommen jedoch nur dann in Frage, wenn einmal die geologischen und hydrologischen Verhältnisse der Uferformationen einen Bau erlauben, und wenn die Ringleitungen nicht über zu grosse Strecken geführt werden müssen. Ringleitungen können aus technischen und chemischen Gründen, bedingt durch die leichte Anfaulbarkeit des Abwassers, nur für relativ kurze Strecken angelegt werden. Sie sind deshalb bei grossen Seen, zum Beispiel dem Bodensee, nicht möglich. Beim Bodensee muss es als richtig angesehen werden, die örtlich grösseren Gemeinden und Industrien von Fall zu Fall zusammenzufassen zu grösseren mechanischen und biologischen Sammelkläranlagen. Das biologisch gereinigte Abwasser muss einer dritten Reinigungsstufe zur Eliminierung der Phosphate und Nitrate zugeführt werden.

Es erhebt sich die Frage, ob es zweckmässig ist, die dritte Reinigungsstufe jeweilig an die erste und zweite Reinigungsstufe anzuschliessen, oder ob es zweckmässiger ist, das Abwasser nach Passieren der ersten und zweiten Reinigungsstufe über entsprechende Ringleitungen einer grossen dritten Reinigungsstufe für viele oder alle Bodenseegemeinden abzuführen. Auf jeden Fall müssen neben den Kläranlagen für die erste und zweite bzw. für die erste, zweite und dritte Reinigungsstufe, auch Regenwasserrückhaltebecken angelegt werden.

Ich glaube, dass auf Grund des jetzigen biologisch-chemischen Zustandes des Bodensees und auf Grund der Umstellungen des Fischbestandes der See einen solchen labilen Zustand erreicht hat, dass die an vielen Stellen errichteten dritten Reinigungsstufen keine grundlegende Besserung der biochemischen Verhältnisse des Bodensees mit sich bringen. Die für den Bodensee besonders nachteilige Verunreinigung der Uferrandgebiete lässt sich nur dann generell beheben, wenn die Abwässer auch nach Passieren der dritten Reinigungsstufe vom Bodensee ganz ferngehalten werden. Da am Bodensee eine an den Ufern entlang geführte Ringleitung zur Ableitung der biologisch geklärten Abwässer sowohl technisch als auch finanziell schwer realisiert werden kann, ist von mir anlässlich des Münchner Abwasserbiologischen Herbstkurses 1964, veröffentlicht 1965, vorgeschlagen worden, zu prüfen, ob nicht Rohrleitungen aus Kunststoff im See versenkt werden können. Diese Kunststoffrohrleitungen sollen zur Abführung des bio-

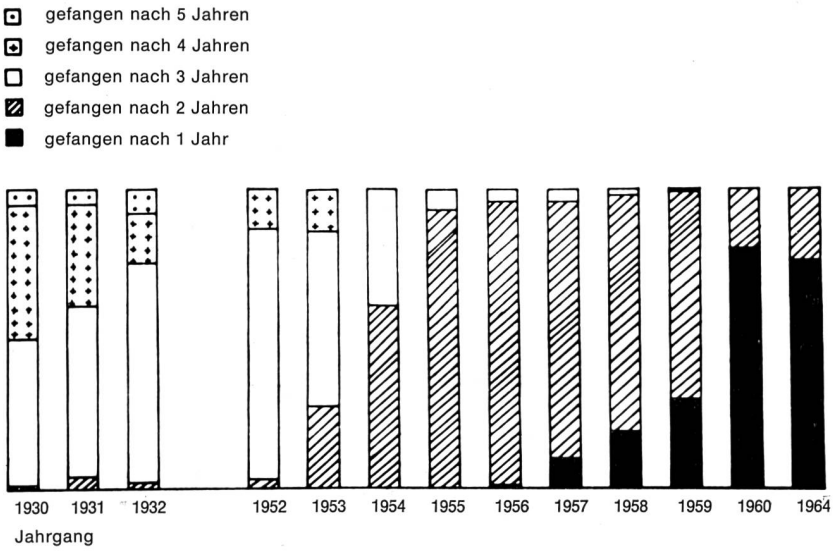

Bild 8
Verschiebung in der Altersklassen-Zusammensetzung der Fänge.
Prozentuale Aufteilung der Individuen eines Jahrganges, entsprechend dem Alter beim Fang
Aus NÜMANN 1964

logisch geklärten Abwassers benutzt werden. In den See versenkte Kunststoffrohrleitungen hätten den Vorteil, dass nicht die gesamten Seebuchten ausgefahren zu werden brauchen, sondern der kürzeste Weg zum Seeabfluss gewählt werden kann. Auch auf die Gefahr hin, dass ein biologisch gereinigtes und in Rohren abgeführtes Abwasser gelegentlich an der oder jener Stelle durch Undichtigkeiten in den See gelangen könnte, sollte man lieber in Kauf nehmen, als bis in eine unabsehbare Zukunft hinein sich der trügerischen Hoffnung hinzugeben, dass örtlich angelegte Kläranlagen der ersten, zweiten und dritten Reinigungsstufe doch genügen.

Da der Rhein unterhalb von Schaffhausen aus einer Kette von Staustufen besteht, kann aus den oben angeführten Gründen eine Einleitung der durch erste und zweite Reinigungsstufe geklärten Abwässer der Bodenseerandgemeinden in die Rheinstaustufen auf die Dauer nicht in Erwägung gezogen werden. Ich habe deshalb vorgeschlagen (s. LIEBMANN 1965), unterhalb von Stein am Rhein, für eine später zu errichtende dritte Reinigungsstufe für alle Abwässer der Bodenseerandgemeinden schon jetzt den notwendigen Platz vorzusehen. Diese internationale Kläranlage zur Eliminierung der Phosphate und Nitrate kann dann so wirtschaftlich wie möglich betrieben werden, wenn in einigen Jahren Klarheit darüber herrscht, welches Verfahren der dritten Reinigungsstufe am zweckmässigsten angewendet wird. Denn die Diskussionen darüber sind noch nicht abgeschlossen, welche der verschiedenen Methoden der dritten Reinigungsstufe die zweckmässigste ist. In dem soeben veröffentlichten Buch über die «Dritte Reinigungsstufe und die Wasser- und Abwasserbelüftung» ist der heutige Stand des Wissens über die dritte Reinigungsstufe zusammengestellt (LIEBMANN, 1965).

Auch unter den Voraussetzungen, dass die oben geschilderten Sanierungsmassnahmen in absehbarer Zeit realisiert werden, wird der Bodensee seinen früheren oligotrophen Charakter nicht mehr wieder erhalten. Selbst unter der Voraussetzung, dass eine weitgehende Reinigung derjenigen Abwässer erfolgt, die in die Bodenseezuflüsse eingeleitet werden, muss durch diese Zuflüsse mit einer im Vergleich zu früher starken Verunreinigung und Nährstoffzufuhr in den Bodensee gerechnet werden.

Nach Fertigstellung der Gabelleitungen zur Fernhaltung der Abwässer aus dem Tegernsee und der Uferrandleitung zur Fernhaltung der Abwässer aus dem Schliersee sind Untersuchungen der Bayerischen Biologischen Versuchsanstalt im Gange, die das Ziel haben, festzustellen, nach welcher Zeit und mit welchen biochemischen Merkmalen eine Wiedergenesung dieser Seen erfolgt. Ein Vergleich dieser Untersuchungen, die rund 20 Jahre vor Errichtung der Ringleitungen und bis jetzt rund 3 Jahre nach deren Fertigstellung erfolgt sind, zeigt, dass zwar die weiter um sich greifende Eutrophierung durch solche Ringleitungen schon innerhalb von ein bis zwei Jahren abgebremst werden kann, dass aber eine Besserung der Verhältnisse durch Aenderungen in der Biologie und im Chemismus dieser Seen auch drei Jahre nach völliger Fernhaltung der Abwässer noch nicht festgestellt werden kann. Zieht man aus diesen Untersuchungen des Tegernsees und des Schliersees entsprechende Schlussfolgerungen für den Bodensee, so wird es durch die oben vorgeschlagenen Massnahmen lediglich möglich sein, den jetzigen eutrophen Zustand des Bodensees zu erhalten. Es sind dann wenigstens keine weiteren Verschlechterungen der Wasserqualität zu erwarten.

ZUSAMMENFASSUNG:

1. Die Gefährdung der Volksgesundheit durch die Wasserqualität eines Sees ist dann nicht zu erwarten, wenn dessen Wassergüte einschliesslich des Seebodens nicht schlechter als Güteklasse II, höchstens II bis III ist.
2. Falls ein See die Wassergüteklasse II bzw. II bis III bereits erreicht hat, müssen, bevor weitere wirtschaftliche Planungen im Seegebiet vorgenommen werden, zunächst solche Massnahmen durchgeführt sein, dass die Wasserqualität wieder die Stufe II erreicht hat.
3. Ehe an die Planung einer dritten Reinigungsstufe gegangen wird, ist es erforderlich, dass die verschiedenen Randgemeinden des Bodensees örtliche Kläranlagen für die erste und zweite Reinigungsstufe, das heisst für die mechanische und biologische Reinigung errichten.
4. Phosphor- und stickstoffhaltige Nährsalze werden in häuslichen Abwässern durch die mechanische und biologische Reinigung nur zu einem geringen Teil zurückgehalten.
5. Phosphor wird durch die mechanische Stufe nur etwa zu 2 %, durch die biologische Stufe zu etwa 23 % eliminiert.
6. In den Bodensee gelangen mit den Abwässern etwa 2 g Phosphor je Tag und Kopf, das sind bei einem täglichen Abwasseranfall von 100 l/Kopf 20 g Phosphor je m^3.
7. Es besteht eine direkte Abhängigkeit im See von der Höhe des Nährstoffgehaltes und der Höhe der Produktion in den obersten Wasserschichten.
8. Einzelne Algen können Phosphat in solchen Mengen speichern, dass sie sich monatelang auch ohne jegliche weitere Zufuhr vermehren können.
9. Durch die Tätigkeit des Zwergplanktons und der Bakterien kann Phosphat innerhalb einer Stunde mehrmals an Organismen gebunden und durch deren Zersetzung wieder frei werden.
10. Die Verschlechterung der Wasserqualität des Bodensees ist innerhalb von 20 bis 25 Jahren aufgetreten. Sie ist verursacht durch die steigenden Zuführungen von Abwässern in den See.
11. Ehe man chemische Veränderungen durch eingeleitete Abwässer in einen See feststellen kann, zeigen sich solche Beeinflussungen durch biologische Veränderungen. Solche biologischen Veränderungen begannen am Bodensee etwa von 1935 an.
12. Während sich die biologischen Veränderungen im Bodensee zum erstenmal in den Jahren 1935—1939 bemerkbar machten, sind sie chemisch erst nach 1950 nachweisbar.
13. Die Zonen mit stärkeren biochemischen Veränderungen des Seewassers werden vor den Flussmündungen, vor Städten und an flachen Buchten beobachtet. An der Verschlechterung der Wassergüte des Bodensees ist die Abwasserbeeinflussung durch die Uferregion und durch die Zuflüsse schuld.
14. Alle Zuflüsse zusammen belasten den Bodensee jährlich mit einem BSB_2-Wert von 4800 t.
15. Die Zuflüsse bringen dem Bodensee jährlich 1800 t Gesamtphosphor. Es fliessen aber nur 700 t bei Konstanz ab.
16. Die Störung im biologischen Gleichgewicht des Sees ist am Verhalten der Bodenseefische deutlich zu erkennen. Die für den früher oligotrophen See charakteristischen Blaufelchen werden zunehmend durch Weissfische und Barsche verdrängt, die in eutrophen Gewässern leben können.

17. Zur Sanierung des Bodensees ist eine vollständige Fernhaltung sämtlicher Abwässer der Uferrandgemeinden erforderlich.
18. Ringleitungen zur Fernhaltung der Abwässer vom See kommen bei grossen Seen, zum Beispiel auch dem Bodensee, aus technischen und chemischen Gründen, bedingt durch die leichte Anfaulbarkeit des Abwassers, nicht in Frage.
19. Als Lösung für den Bodensee wird vorgeschlagen, die Abwässer der grösseren Gemeinden und Industrien örtlich in grösseren mechanischen und biologischen Sammelkläranlagen zu reinigen.
20. In den Ablauf dieser Anlagen müssten die Abläufe aus den Regenwasserrückhaltebecken eingeleitet werden.
21. Das biologisch geklärte Abwasser kann in Kunststoffrohrleitungen, die in den See versenkt werden und nicht die gesamten Seebuchten auszufahren brauchen, auf dem kürzesten Weg zum Seeabfluss geführt werden.
22. Da der Rhein unterhalb von Schaffhausen aus einer Kette von Staustufen besteht, kann eine Einleitung der biologisch geklärten Abwässer der Bodenseerandgemeinden in die Rheinstaustufen auf die Dauer nicht zugelassen werden.
23. Es wird vorgeschlagen, unterhalb von Stein am Rhein für eine später zu errichtende dritte Reinigungsstufe, die alle Abwässer der Bodenseerandgemeinden erfasst, schon jetzt den notwendigen Platz vorzusehen. Diese dritte Reinigungsstufe zur Eliminierung der Phosphor- und Stickstoffverbindungen kann dann so wirtschaftlich wie möglich betrieben werden, wenn in einigen Jahren eine Klärung darüber erzielt worden ist, welches Verfahren der dritten Reinigungsstufe am wirtschaftlichsten arbeitet.
24. Auch durch diese Sanierungsmassnahmen wird der Bodensee seinen früheren rein oligotrophen Charakter nicht mehr wiedererhalten. Selbst unter der Voraussetzung, dass eine weitgehende Reinigung derjenigen Abwässer erfolgt, die in die Bodenseezuflüsse geleitet werden, muss durch diese Zuflüsse mit einer im Vergleich zu früher stärkeren Verunreinigung und Nährstoffzufuhr in den Bodensee gerechnet werden.

LITERATURVERZEICHNIS

AMBÜHL, H.: Die Nährstoffelimination aus der Sicht des Limnologen. Eidgen. Techn. Hochschule Zürich. Fortbildungskurs der EAWAG, 1964

AUERBACH, M., MAERKER, W. und SCHMALZ, J.: Hydrographisch-biologische Bodenseeuntersuchungen, II. Ergebnisse der Jahre 1923 und 1924 und Zusammenfassung 1920–1924.
Verhandlungen des naturwissenschaftlichen Vereins Karlsruhe, 1926

AUERBACH, M. und SCHMALZ, J.: Die Oberflächen- und Tiefenströme des Bodensees.
Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung 55, 1927

BACHOFEN, R.: Diss. Universität Zürich, 1960

DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT: Bodenseeprojekt, erster Bericht, 1963

EINSELE, W.: Ueber chemische und kolloidchemische Vorgänge mit Eisenphosphatsystemen unter limnochemischen und limnogeologischen Gesichtspunkten.
Archiv für Hydrobiologie 33, 1938

ELSTER, H.-J.: Beobachtungen über das Verhalten der Schichtgrenzen nebst einigen Bemerkungen über die Austauschverhältnisse im Bodensee (Obersee).
Archiv für Hydrobiologie 35, 1939

ELSTER, H.-J. und EINSELE, W.: Beiträge zur Hydrographie des Bodensees (Obersee).
Intern. Rev. Hydrobiologie 35, 1937

ELSTER, H.-J. und GESSNER, F.: Die chemische und biologische Sommerschichtung im Bodensee.
Greifswald, 1936

FAST, H.: Systematische Untersuchungen über den chemischen und bakteriologischen Zustand des Bodensees.
Jahrbuch vom Wasser XXII, 1955

GOLTERMANN, H.-L.: Acta Bot. Neml. 9, 1960

GOLTERMANN, H.-L.: Diss. Universität Zürich, 1960

GRIM, J.: Beobachtungen am Phytoplankton des Bodensees (Obersee) sowie deren rechnerische Auswertung.
Intern. Rev. Hydrobiologie 39, 1939

GRIM, J.: Die chemischen und planktologischen Veränderungen des Bodensee-Obersees in den letzten 30 Jahren.
Archiv für Hydrobiologie, Suppl. 22, 1955

HOFER, B.: Die Verbreitung der Tierwelt im Bodensee nebst vergleichenden Studien in einigen anderen Süsswasserbecken.
Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung 28, 1898

HOPPE-SEYLER, F.: Ueber die Verteilung der absorbierten Gase im Wasser des Bodensees und ihre Beziehungen zu den in ihnen lebenden Tieren und Pflanzen.
Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung 24, 1895

HÖRLER, A.: Die Behandlung der städtischen Abwässer.
Aqua industriale 23, 1963

HUTCHINSON, G. E.: A Treatise on Limnology I, New York, 1957

JAAG, O.: Grenzen der Selbstreinigungskraft der Gewässer.
Schriftenreihe des österr. Wasserwirtschaftsverbandes 44, 1962

KIEFER, F. und MUCKLE, R.: Beobachtungen am Crustaceenplankton des Ueberlinger Sees (Bodensee) 1922–1957. I. Das Auftreten der Arten im Jahresverlauf.
Beitrag naturkundliche Forschung Südwestdeutschlands 18, 1959

KIRCHNER: Ueber die Bodenseeflora.
Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung 25, 1899

KLIFFMÜLLER, R.: Beiträge zum Stoffhaushalt des Bodensees (Obersee). I. Die in den Bodensee (Obersee) eingebrachten Schmutz- und Nährstoffe und ihr Verbleib. (Versuch einer bilanzmässigen Erfassung für 1958/1959.)
Intern. Rev. Hydrobiologie 45, 1960

KLIFFMÜLLER, R.: Der Anstieg des Phosphats und Phosphors als Ausdruck fortschreitender Eutrophierung des Bodensees (Obersee).
Intern. Rev. Hydrobiologie 47, 1962/1

KLIFFMÜLLER, R.: Bilanz der dem Bodensee (Obersee) 1958/1959 zugeführten Schmutz- und Düngestoffe.
Gas- und Wasserfach 103, 1962/2

KLOTTER, H.-E. und NEUSSEL, R.: Orthophosphate und Polyphosphate im Abwasser und Oberflächenwasser.
Vom Wasser XXVI, 1959

KRAUSS, R.-W.: Agral Culture from Laboratory to Pilot Plant.
Carnegies Inst. of Washington, Publ. 600, 1960

KRIEGSMANN, F.: Der Fischbestand des Bodensees als Indikator für Veränderungen des allgemeinen See-Reagierens.
Münchner Beiträge z. Abwasser-, Fischerei- u. Flussbiologie 4, 1958.

LEHN. N.: Kurzfristige Temperatur- und Planktonschwankungen im ufernahen Hypolimnion des Ueberlinger Sees (Bodensee).
Gas- und Wasserfach 97, 1956

LIEBMANN, H.: Bodensee und Main als Vorfluter und Trinkwasserspeicher.
Sonderdruck Südwestdeutscher Wasserwirtschaftsverband, 1956

LIEBMANN, H.: Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie II, Oldenbourg-Verlag München, 1960

LIEBMANN, H.: Untersuchungen über die Einwirkung von Stauhaltungen auf die natürliche Selbstreinigung.
Sonderdruck Südwestdeutscher Wasserwirtschaftsverband, 1960/1.
Wasser- und Energiewirtschaft 4, 1961, und Wasser und Abwasser, Schriftenreihe z. Limnologie d. Speicherseen u. Flusstaue, Wien 1961.

LIEBMANN, H.: Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie I, 2. Auflage, Oldenbourg-Verlag München, 1962

LIEBMANN, H.: Die Fernhaltung von Abwässern aus Seen.
Wasser und Abwasser 5, 1963

LIEBMANN, H.: Nährstoffanreicherung der Gewässer durch häusliche und industrielle Abwässer, beschrieben am Beispiel des Bodensees.
Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, Band 12, Oldenbourg-Verlag München, 1965

LIEBMANN, H.: Massnahmen zur Sanierung des Schliersees und des Spitzingsees.
Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, Band 12, Oldenbourg-Verlag München, 1965

LIEBMANN, H. (Herausgeber): Die dritte Reinigungsstufe und die Wasser- und Abwasserbelüftung.
Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, Band 12, Oldenbourg-Verlag München, 1965

LIEPOLT, R.: Erfahrungen über die Auswirkungen von Phosphatanreicherungen in österreichischen Seen und über die Bekämpfung der Wasserblüte.
Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, Band 12, Oldenbourg-Verlag München, 1965

LUNDBECK, J.: Untersuchungen über die Bodenbesiedlung der Alpenrandseen.
Archiv für Hydrobiologie, Suppl. X, 1936

MUCKLE, R.: Die limnologischen Voraussetzungen für eine Gross-Trinkwasserentnahme aus dem Ueberlingersee (Bodensee).
Gas- und Wasserfach 97, 1956

NÜMANN, W.: Die Verbreitung des Rheinwassers im Bodensee.
Intern. Rev. Hydrobiologie 36, 1938

NÜMANN, W.: Vorläufiger Bericht über das stark veränderte Wachstum der Blaufelchen im Bodensee.
Versuche einer Fangprognose für das Jahr 1958.
Allg. Fischereizeitung, 1958

NÜMANN, W.: Was wissen wir schon über den Zustand und die neuere Entwicklung des Bodensees und was muss noch untersucht werden?
Föderation Europäischer Gewässerschutz, Informationsblatt 4, 1960

OHLE, W.: Der Vorgang rasanter Seenalterung in Holstein.
Naturwissenschaften 40, 1953

OWEN, R.: Removal of Phosphors from Sewage Plant Effluent with Lime. – Sew. Ind. Wastes 25, 1953

PAVONI, M.: Blaualgenliteratur aus den Jahren 1960–1963.
Schweiz. Zeitschrift für Hydrologie XXVI, 1964

POMEROY, L.-R.: MATHEWES, H.-M. und MIN, H.-S.: Limnol. und Oceanogr. 8, 1963

RIGLER, F.-H.: A trancer study of the phosphorus cycle in lake water.
Ecology 37, 1959

SCHMALZ, J.: Ueber die Nahrung des Blaufelchens.
Archiv für Hydrobiologie III, 1924

SCHMALZ, J.: Die Oberflächen- und Tiefenströme des Bodensees III.
Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung 60, 1934

SCHRÖTER, C.: Die Schwebeflora unserer Seen.
Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Zürich, 1899

THOMAS, E.-A.: Thermisch bedingte Horizontalzirkulation, Wasserchemismus und Algenwachstum an Zürichseeufern.
Hydrobiologya XX, 1962

THOMAS, E.-A.: New Inst. Ital. Idrobiol. Suppl. 8, 1955

VIEHL, K.: Die Veränderungen der Zusammensetzung des Leipziger Abwassers durch die Fäkalienabschwemmung.
Ges.-Ing. 65, 1941

DIE BEDEUTUNG DER HOCHRHEINSCHIFFAHRT FÜR ÖSTERREICH

DK 656.62 (436)

Vortrag von Kommerzialrat Walter Rhomberg, Bregenz,
(Vizepräsident der Kammer der gewerblichen Wirtschaft für Vorarlberg in Feldkirch),
anlässlich der internationalen Vortragstagung «Wasserwirtschaft am Bodensee» vom 1./2. September 1965 in Konstanz.

Bevor ich mich dem eigentlichen Thema meines Referates zuwende, nehme ich gerne die Gelegenheit wahr, den Wasserwirtschaftsverbänden Deutschlands, der Schweiz und Oesterreichs herzlich dafür zu danken, dass sie mir im Rahmen dieser internationalen Vortragstagung die Möglichkeit geben, den österreichischen Standpunkt zur Hochrheinschiffahrt darzulegen. Wie Sie wissen, gehört Oesterreich nicht zu den Anliegern des Hochrheines, sondern ist mit diesem Abschnitt des Rheines nur über den Bodensee verbunden. Diese Tatsache dürfte mitbestimmend dafür sein, dass man bei der zum Teil sehr regen Hochrhein-Debatte in Deutschland und in der Schweiz da und dort zu wenig darauf Bedacht nimmt, dass auch Oesterreich als «Oberlieger» an dem neuen Schiffahrtsweg interessiert ist. Der Hochrheinausbau bildet im wahrsten Sinne des Wortes ein internationales Binnenschiffahrtsprojekt, weshalb ich dafür dankbar bin, dass ich Sie im Rahmen Ihrer Tagung über «die Bedeutung der Hochrheinschiffahrt für Oesterreich» informieren kann. Da die für die Beurteilung der Hochrheinschiffahrtsfrage massgeblichen Komponenten relativ konstante Grössen darstellen, — ich erinnere hier nur an die verkehrsgeographische Situation unseres Landes — lässt es sich nicht vermeiden, dass ich in meinem Referat Argumentationen wiederholen muss, die ich schon in früheren Vorträgen und Publikationen verwendet habe.

Der Wert und die Bedeutung grosser Verkehrsprojekte hängt aus einleuchtenden Gründen massgeblich von der verkehrsgeographischen Lage der betroffenen Region ab. Wenn man die verkehrsgeographischen Gegebenheiten Oesterreichs untersucht, wird man schon beim ersten Blick auf die Landkarte erkennen, dass Oesterreich heute ein reines Binnenland ist, nachdem es als Folge des Ersten Weltkrieges mit dem Kronland Istrien auch den aufstrebenden Seehafen Triest verloren hat. Des weiteren ist festzuhalten, dass unser Land seit dem Zweiten Weltkriege und dem Niedergehen des Eisernen Vorhanges völlig in den Randbezirk des westeuropäischen Wirtschaftsraumes geraten ist. Es wird viel zu wenig bedacht, dass Oesterreich heute rund 46 Prozent seiner Grenzen mit den Ostblockstaaten Tschechoslowakei, Ungarn und Jugoslawien gemeinsam hat. Die Nachteile der geschilderten Randlage fallen um so mehr ins Gewicht, als Oesterreich von den Hauptzentren der Produktion und des Verbrauches im Rhein-Ruhr-Gebiet, in Belgien und Nordost-Frankreich sowie von den für den Ueberseehandel so bedeutsamen Atlantikhäfen weit entfernt liegt. Wenn man vom wirtschaftlichen Kerngebiet Oesterreichs im Raume um Wien ausgeht, betragen die Luftlinienentfernungen zum Beispiel nach Düsseldorf rund 750 km und nach Rotterdam rund 950 km. Die Folge der aufgezeigten Randlage sind weite Transportwege und hohe Transportkosten.

Die Verkehrslage Oesterreichs ist des weiteren dadurch gekennzeichnet, dass es als einziges westeuropäisches Land über keine direkte Wasserstrassenverbindung zu den freien Seehäfen und über keinen Anschluss an das Wasserstrassennetz Westeuropas verfügt. Die Donau, die im West-Ost-Verkehr heute zweifelsohne wieder Bedeutung hat, klammere ich hier aus, weil sie hinter den Eisernen Vorhang führt und nicht mit einem Weltseehafen in Verbindung steht. Während also etwa die Schweiz, die genau so wie Oesterreich ein typisches Binnenland ist, mehr als 30 Prozent des gesamten Aussenhandelsvolumens über den Rheinhafen in Basel umschlägt, ist Oesterreich vom Norden und Westen her bislang auf dem Wasserwege nicht erreichbar. Für die Einbindung unseres Landes in das westeuropäische Wasserstrassennetz stehen zwei Möglichkeiten offen und zwar:

1. Bau des Rhein — Main — Donau — Schiffahrtsweges, der insbesondere der Wirtschaft der östlichen Bundesländer zugute käme.