Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 82 (1990)
Heft: 7-8

Artikel: Der Bodensee : seine Zuflüsse, seine Schwankungen, sein Abfluss
Autor: Vischer, Daniel
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939812

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: 11.07.2025

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

Der Bodensee
seine Zuflüsse, seine Schwankungen, sein Abfluss

Eine hydrologische Übersicht

Daniel Vischer

1. Einleitung

Der Bodensee ist wie alle Alpenrandseen ein Relikt der Eiszeiten. Sein Becken wurde durch den Rheingletscher ausgehoben, der mehrfach ins Bodenseegebiet und weit darüber hinaus vorstiess, sich dazwischen zurückzog und schliesslich ganz verschwand. Entscheidend war unter anderem die letzte Vergletscherung mit ihrer letzten Vorstossphase vor vielleicht 16000 bis 15000 Jahren. Damals stirnte der Rheingletscher eine Zeitlang in Stein am Rhein, schmolz dann bis Konstanz zurück, wo er sich erneut stabilisierte, bevor er sich vollständig zurückzog *(Krayss* und *Keller,* 1989). Diesen zwei letzten Stirnständen des Rheingletschers verdanken wir die Zweiteilung des Bodensees in einen Unter- und Obersee (Bild 1).

Nun waren beide Seen anfänglich sehr viel voluminöser als heute. Doch wurden sie schon beim Rückzug des Rheingletschers von diesem zum Teil mit Erosionsgut verfüllt und dann von den einmündenden Flüssen und Bächen. So reichte einst der Obersee bis weit ins Rheintal hinauf und wurde in den letzten 10000 Jahren vom wachsenden Delta des Alpenrheins daraus verdrängt. Wenn dieser Verlandungsprozess im heutigen Ausmass fortschreitet (was u. a. voraussetzt, dass der Alpenrhein durch Dammerhöhungen am Ausufern gehindert wird), dürfte es noch 15000 bis 20000 Jahre dauern, bis der Bodensee gänzlich verschwindet. Damit ist auch gesagt, dass der Bodensee eine Lebenserwartung von 30000 bis 40000 Jahren aufweist und heute etwa in seiner Lebensmitte steht. Doch soll im folgenden nicht vom Bodensee als vorübergehende Erscheinung innerhalb von geologischen Zeiträumen gesprochen werden, sondern vom Bodensee als heutiges hydrologisches Phänomen.

2. Die sichtbaren Abmessungen

Was sich uns beim Betrachten des Bodensees darbietet, sind weite, blaue Wasserflächen und lange, vielgestaltige Ufer. Der Obersee weist von Bregenz bis Konstanz beziehungsweise bis Ludwigshafen eine Länge von rund 46 und 63 km auf. Seine grösste Breite erreicht er mit rund 12 km im Geviert Romanshorn–Friedrichshafen–Langenargen–Arbon. Die Uferlänge misst 167 km *(Kiefer,* 1972) und die Oberfläche bei mittlerem Wasserstand 477 km².

Der Untersee ist wesentlich kleiner und wird zudem von der Reichenau markant unterteilt. Seine Uferlänge dürfte fast 80 km erreichen, seine Oberfläche beträgt 63 km².

Damit weist der Bodensee also eine Gesamtfläche von 540 km² auf, ein Wert, in dem die Inseln Lindau, Mainau und Reichenau enthalten sind. Zum Vergleich diene, dass der Genfersee eine Oberfläche von rund 580 km² hat und der grösste Schweizer See, der Neuenburgersee, eine solche von rund 220 km².

3. Die Tiefe und die Form des Seegrundes

Verschiedene Projekte für touristische Unterseeboote lassen den Schluss zu, dass einige Zeitgenossen den See nicht nur oberflächlich bewundern wollen; sie möchten gerne «tiefer» sehen.

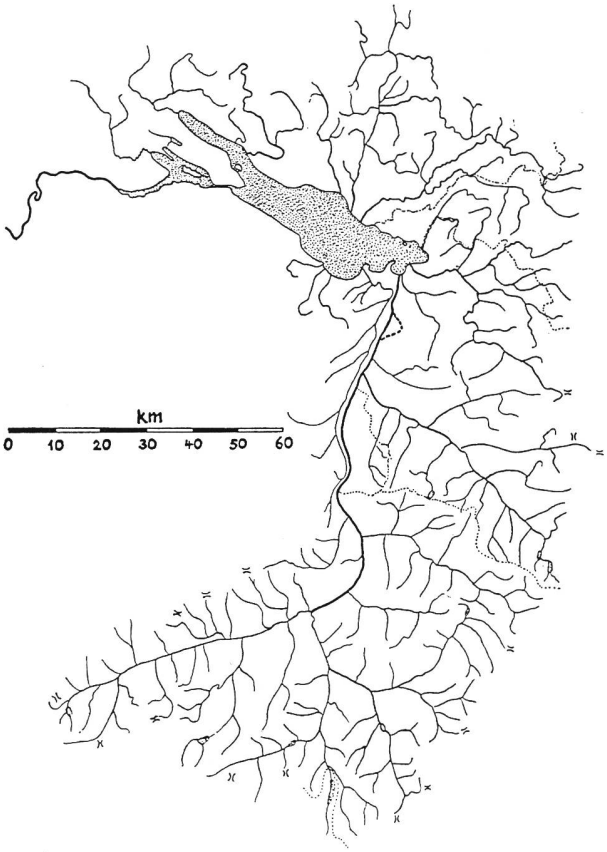

Bild 1. Der Bodensee und seine Zuflüsse *(Kiefer,* 1972). Das Gesamteinzugsgebiet misst 11475 km².

Die grösste Tiefe des Bodensees misst 252 m und befindet sich etwa zwischen Uttwil und Fischbach (Bild 2). Die mittlere Tiefe beträgt 100 m. Die entsprechenden Werte für den Untersee sind 46 und 13 m. Es ist denkbar, dass die sich in Auswertung befindliche neue Seevermessung da noch zu einigen Präzisierungen führen wird; bestimmt wird sie eine eigentliche Karte des Bodenseegrundes (bathymetrische Karte) liefern. Wie sieht es «dort unten» wohl aus?

Nun ist an sich eine Wassertiefe von 252 m sehr beträchtlich. Denken wir daran, dass es verschiedene Meere gibt, wie die Nordsee, die Ostsee oder die Adria, die – abgesehen von einigen örtlichen Senken – seichter sind. Auch die mittlere Tiefe des Bodensees von 100 m beeindruckt noch. Vergleicht man sie aber mit seiner Seebreite von beispielsweise 10 km, macht sie nur 1 % davon aus. So gesehen handelt es sich beim Bodenseebecken also bloss um eine schwache Mulde.

Um sich davon eine Modellvorstellung zu machen, könnte man ein Kuchenblech von 40 cm Breite nehmen und mit 4 mm Wasser füllen. Dementsprechend muss man sich auch den Seegrund in den mittleren Seepartien nicht als bewegte Topographie, sondern als Ebene – flach wie ein

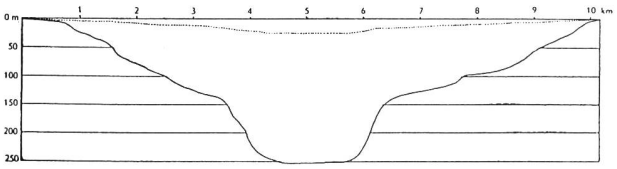

Bild 2. Querschnitt durch den Obersee zwischen Uttwil und Fischbach, nicht überhöht dargestellt (punktiert) und zehnfach überhöht (ausgezogen) *(Kiefer,* 1972). Die maximale Tiefe beträgt 252 m.

Kuchenblech – vorstellen. Interessante Bodenkonfigurationen dürften nur an felsigen Ufern oder am Rheindelta zu erwarten sein, wo sie von Sporttauchern wohl schon längst ausgemacht worden sind.

4. Das Volumen

Das Volumen des Obersees wurde zu 47,7 km³ bestimmt, jenes vom Untersee zu 0,84 km³. Diese Zahlen widerspiegeln den Unterschied zwischen den beiden Becken wohl am deutlichsten. Insgesamt weist der Bodensee also im Mittel einen Wasserinhalt von 48,5 km³ oder rund 50 km³ (50 Milliarden m³) auf. Ist das viel oder wenig? – Es kommt auf den Vergleich an:
Die Schweiz hat eine Oberfläche von etwa 41 000 km². Würde man das Bodenseewasser gleichmässig auf sie verteilen, ergäbe das eine Wasserschicht von 1,20 m. Das entspricht fast dem mittleren jährlichen Niederschlag von 1,40 m. Der Bodenseeinhalt ist also von der gleichen Grössenordnung wie die mittlere, auf die Schweiz fallende jährliche Niederschlagsmenge.
Vielleicht ist es nützlich, auch noch einen Vergleich mit der Gesamtheit der Süsswasserseen der Erde zu ziehen, deren Inhalt auf 125 000 km³ geschätzt wird. Der entsprechende Anteil des Bodensees nimmt sich dementsprechend minim aus; er erreicht nur 0,04 %!

5. Das Einzugsgebiet

Sucht man nach zuverlässigen Angaben für Einzugsgebietsgrössen, findet man sie gewöhnlich bei der Beschreibung der hydrologischen Stationen. So wird das Einzugsgebiet des Konstanzer Rheinpegels mit 10 919 km² angegeben. Dabei handelt es sich praktisch um das Einzugsgebiet des Obersees. Davon entfallen 6122 km² oder 56 % auf den Alpenrhein; der Rest verteilt sich auf die übrigen Zuflüsse und den Obersee selbst.
Interessiert man sich für das Einzugsgebiet des ganzen Bodensees, kann man sich an den Rheinpegel in Stein am Rhein halten. Das Einzugsgebiet des Hochrheins wird dort mit 11 487 km² angegeben. Berücksichtigt man das kleine, nicht mehr zum Untersee gehörende Einzugsgebiet zwischen Öhningen und Stein am Rhein, bleiben als Fläche rund 11 475 km².
Als Vergleich diene die Oberfläche der Schweiz, die wie bereits erwähnt 41 000 km² misst und damit etwa viermal so gross ist.

6. Die Wasserbilanz

Wieviel Wasser fliesst dem Bodensee zu? Angesichts der Vielfalt der Zuflüsse ist es einfacher, zunächst vom Abfluss zu sprechen. Als Grundlage dafür können die Aufzeichnungen der Eidgenössischen Hydrometrischen Station Neuhausen am Hochrhein dienen. Zwar hat der Hochrhein dort bereits ein Einzugsgebiet von 11 887 km², was um 4 % über dem Einzugsgebiet des Bodenseeausflusses von 11 475 km² (einschliesslich Seeflächen) liegt; dementsprechend werden in Neuhausen Abflüsse erhoben, die im allgemeinen um wenige Prozente höher sind als der Bodenseeausfluss. Doch gibt es heute keine noch in Betrieb stehende Station am Hochrhein, die dem Bodensee näher liegt. Zudem war es dem Landesamt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1990) möglich, für die Station Neuhausen aufgrund von Vergleichen mit den Aufzeichnungen der älteren, aber aufgegebenen Stationen Flurlingen, Nohl und Rheinklingen eine lückenlose Messreihe zusammenzustellen, die von 1904 bis 1987 reicht. Aussagen, die sich auf lange Messreihen stützen, sind besonders aussagekräftig.
Der mittlere Abfluss errechnet sich für Neuhausen zu 372 m³/s. Dieser stammt, sieht man von den oben erwähnten Prozenten ab, aus den Zuflüssen zum Bodensee und aus dem Nettoniederschlag auf die Seeoberfläche. Letzterer ergibt sich als Differenz zwischen den mittleren Jahresniederschlägen von rund 950 mm und der mittleren Verdunstung von 720 mm *(Baumgartner* et al., 1983), beträgt also 230 mm. Das trägt zum Seeausfluss im Mittel 3,9 m³/s oder 1 % bei, ein Wert, der bei der Wasserbilanz also nicht ins Gewicht fällt und innerhalb der Mess- und Rechengenauigkeit liegt. Man könnte diesen Nettoniederschlag aber auch mit den rund 4 m³/s verrechnen, die die Wasserversorgungen dem Bodensee entnehmen und aus dessen Einzugsgebiet abführen *(Wieland,* 1989).
Folglich stammt der mittlere Abfluss von 372 m³/s in Neuhausen im wesentlichen aus den Bodensee-Zuflüssen. Da die Gewinne aus den längs den Ufern ein- und austretenden Grundwasserströmen wohl vernachlässigbar klein sind, handelt es sich also um oberflächliche Zuflüsse, das heisst um die Wasserführungen von Flüssen und Bächen.
Nun wüsste man im Hinblick auf verschiedene Fragestellungen gerne, welcher Anteil der 372 m³/s auf die einzelnen Zuflüsse entfällt. Die Antwort lässt sich aufgrund der Messstationen geben, die an den grösseren dieser Zuflüsse stehen, aber gewöhnlich keine vergleichbar langen Messreihen besitzen. So werden im bereits erwähnten Bericht der Landesanstalt für Umweltschutz (1990) Zahlen angegeben, die sich zur Tabelle 1 zusammenstellen lassen.

Tabelle 1. Anteil der Bodenseezuflüsse am Einzugsgebiet und am mittleren Abfluss der Station Neuhausen-Hochrhein in %.

	Flächenanteil	Abflussanteil
Alpenrhein	51	62
Bregenzer- und Dornbirnerach	8	14
Argen, Schussen, Rotach, Seefelder Aach	15	9
übrige	26	15

7. Die Aufenthaltsdauer des Bodenseewassers und die Laufen

Der mittlere jährliche Bodenseeausfluss von 372 m³/s, der wie besprochen mit dem Bodenseezufluss übereinstimmt, entspricht einer jährlichen Wasserfracht von rund 11,7 km³. Soviel Wasser fliesst folglich im Mittel jährlich durch den Bodensee, was im Vergleich zu seinem Gesamtvolumen von 48,5 km³ eine mittlere Aufenthaltsdauer dieses Wassers von rund vier Jahren ergibt. Selbstverständlich bedeutet das nicht, dass jeder dem Bodensee zufliessende Wassertropfen vier Jahre braucht, bis er den Bodensee wieder verlässt. Es ist möglich, dass einige davon schon in wenigen Wochen durch sind, andere erst nach Dutzenden von Jahren. Das hängt zum einen davon ab, aus welchem Zufluss sie stammen – zum Beispiel aus der Bregenzerach oder aus der Radolfzeller Aach – und in welche Seeströmung sie geraten.
Noch weniger bedeutet es, dass die Reaktionszeit des Sees vier Jahre beträgt – etwa in dem Sinne, dass sich eine Zuflussänderung aus dem Alpenrhein erst nach vier Jahren als Ausflussänderung im Hochrhein bemerkbar machen würde. Denn für die Reaktionszeit ist nicht die mittlere Durchflusszeit des Bodenseewassers massgebend, sondern die Translationszeit der Laufen (Seiches). Bei diesen handelt es sich um wenig hohe, aber lange und darum kaum sichtbare Wellen mit einer mittleren Ausbreitungsgeschwindigkeit in der Grössenordnung von 110 km/h im Obersee und 40 km/h im Untersee. Dementsprechend kann

ein plötzliches Anschwellen des Alpenrheins beispielsweise in Konstanz schon nach etwa 20 Minuten festgestellt werden, zwar nicht in seinem Ausmass, aber als Ereignis, das heisst eben als Laufen.
Solche Laufen entstehen aber auch durch Windeinflüsse und Luftdruckunterschiede und bewirken deshalb eine ständige Schaukelbewegung des Bodenseewasserspiegels. Die grössten Amplituden treten an den extremen Enden, das heisst in Bregenz und bei Ludwigshafen im Überlinger See, auf. Sie erreichen meist nur 2 bis 3 cm, seltener 11 bis 12 cm, mit einer Periode von rund 55 Minuten. Manchmal machen sich auch noch kleinere Oberschwingungen bemerkbar *(Kiefer,* 1972, *Stewart* und *Hollan,* 1984).

8. Das Regime der Zuflüsse

Weit spektakulärer als die praktisch unsichtbaren Laufen nehmen sich die längerperiodigen Wasserstandsschwankungen aus. Sie ergeben sich einerseits aus den Schwankungen der Zuflüsse und andererseits aus dem Speichervermögen des Sees.
Die Schwankungen der Zuflüsse widerspiegeln das Regime – das heisst die Verteilung der Abflüsse im Verlauf des Jahres – der entsprechenden Fliessgewässer. Das Regime des Alpenrheins setzt sich dabei im wesentlichen aus drei Formen zusammen: der glazialen, der nivalen und der pluvialen *(Naef,* 1989). In den höchsten Regionen seines Einzugsgebietes dominiert die glaziale Form. Sie zeichnet sich durch ein ausgeprägtes Abflussmaximum in den Sommermonaten Juli/August aus; in der übrigen Zeit treten nur sehr geringe Abflüsse auf. In den hohen und mittleren Regionen herrscht dagegen die nivale Form vor, bei der das Abflussmaximum je nach Höhenstufe früher, das heisst im April, Mai und Juni, auftritt. Und in den tieferen Regionen überwiegt die pluviale Form, bei der die Abflüsse gleichmässiger über das Jahr verteilt sind (Bild 3).
Die Überlagerung dieser Regimeformen bewirkt beim mündenden Alpenrhein ein ausgeprägtes Zuflussmaximum im Juni. Dieser Umstand lässt sich mit einer Verzögerung von ein paar Wochen (siehe nächsten Abschnitt) auch am Ausfluss aus dem Bodensee, also am Hochrhein, ablesen, wenn auch nicht so stark. Denn dieser Ausfluss wird natürlich noch durch die andern Bodenseezuflüsse beeinflusst, bei denen ein pluviales Regime dominiert und die darum eine gleichmässigere Wasserführung aufweisen. In andern Worten: Diese andern Zuflüsse vergleichmässigen den Bodenseeausfluss und halten damit auch die Bodenseeschwankungen in Grenzen.
Entsprechend den verschiedenen Regimeformen fallen auch die Hochwasserzuflüsse an. Die grösste Bedeutung für die Bodenseeschwankungen haben die Alpenrheinhochwasser. Ihre grössten Spitzen treten in der Sommerperiode von Mai bis September auf. Aufgrund von Aufzeichnungen, die 1904 begonnen wurden, lässt sich das hundertjährliche Maximum zu 2580 m^3/s berechnen *(Schädler,* 1988). Dieser Wert wurde im Juli 1987 mit 2660 m^3/s überschritten. In der Winterperiode Dezember bis März sind die Spitzen kleiner; das hundertjährliche Maximum liegt bei bloss 800 m^3/s.

9. Der See als Speicher

Da der Bodensee nicht reguliert ist, hängt sein Ausfluss nur vom Seestand ab. Die Ausflussrelation ist derart, dass eine Erhöhung des Seestandes um 1 cm zu einer Zunahme des Ausflusses von 2 bis 3 m^3/s führt. Eine solche Erhöhung setzt aber eine Zunahme des Seevolumens um 5,4 Millionen

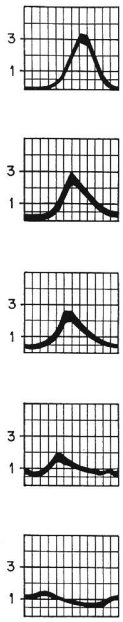

Bild 3. Abflussregimetypen im Einzugsgebiet des Alpenrheins (g = glazial, ng = nivo-glazial, n = nival, np = nivo-pluvial, p = pluvial) (nach *Aschwanden* und *Weingartner,* 1985, vereinfacht).

m^3 und damit eine entsprechende Differenz zwischen den zu- und ausfliessenden Wasserfrachten voraus. Wie schnell kann sich eine solche Differenz bilden?
Betrachtet man die grössten Hochwasser des Alpenrheins, so dauert es mindestens eine halbe Stunde. Das bedeutet, dass die Zunahme des Ausflusses aus dem Bodensee selten stärker ist als 3 m^3/s pro halbe Stunde oder 6 m^3/s pro Stunde *(Naef,* 1989).
Diese Zusammenhänge zeigen, weshalb der Bodensee ein ausgezeichneter Hochwasserspeicher ist. Er ist in der Lage, die schnell ansteigenden Hochwasserwellen seiner Zuflüsse so aufzunehmen, dass sie im Ausfluss nur stark gedämpft in Erscheinung treten. Als Beispiel sei das bereits erwähnte Alpenrhein-Hochwasser vom Juli 1987 angeführt: Es bewirkte einen kurzfristigen Anstieg des Zuflusses zum Bodensee von mehr als 2000 m^3/s, was sich im Abfluss des Hochrheins bei Neuhausen mit einem längerfristigen Anstieg von knapp 200 m^3/s bemerkbar machte. Die retendierende Wirkung des Bodensees verringerte die Hochwasserspitze des Rheins also auf weniger als einen Zehntel.
Weniger beeindruckend ist die ausgleichende Wirkung des Sees bei langsameren Veränderungen der Zuflüsse und insbesondere bei jahreszeitlichen Schwankungen. Um dies zu verdeutlichen, hat *Naef* (1989) die Monatsmittel der Hochrhein-Abflüsse in Neuhausen für den Fall berechnet, dass der Bodensee als Retentionsbecken ausfällt. Er stellte sich für den See also einen Zustand vor, bei dem dieser entweder vollständig verlandet ist oder mittels einer Regulierung peinlich genau auf konstantem Stand gehalten wird. Diese Monatsmittel verglich er mit den tatsächlich gemessenen und erhielt für den Durchschnitt der Jahre 1959 bis 1982 folgendes Ergebnis: Die retendierende Wirkung des Bodensees dämpft die Ganglinie der Monatsmittel des Hochrheinabflusses praktisch nicht. Sie verschiebt diese Ganglinie nur um rund drei Wochen. Dadurch wird der Hochrhein-Abfluss vom Frühjahr bis in den Hochsommer vermindert, im Herbst und Winter dafür erhöht. Die entsprechenden Abflussänderungen liegen in der Grössenordnung von −17 bis +22% (Bild 4).
Man könnte es auch anders sagen: Der Bodensee vermag kurzfristige Zuflussschwankungen auszudämpfen, langfristige aber nicht. Er ist für hochfrequente «Wellen» ein wirksamer Filter, niederfrequente «Wellen» lässt er aber unver-

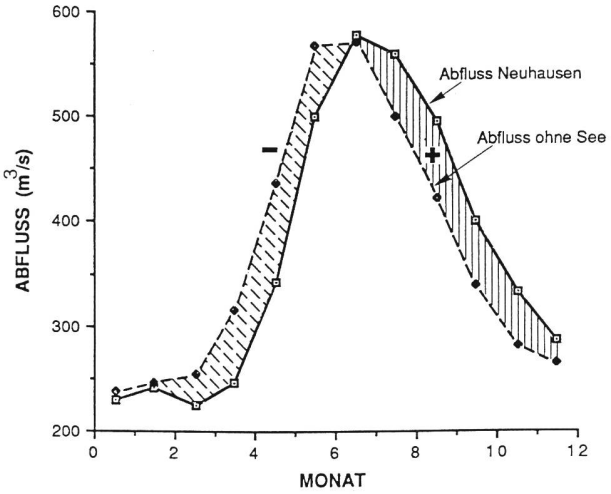

Bild 4. Ganglinie der Monatsmittel des Rheinabflusses in Neuhausen. Durchschnitt der 1959 bis 1982 gemessenen Werte (ausgezogen); rekonstruierte Werte für den hypothetischen Fall, dass die retendierende Wirkung des Bodensees ausfällt (strichliert) *(Naef,* 1989); diese Werte entsprechen praktisch der Ganglinie der Summe aller Zuflüsse zum Bodensee.

ändert durch (Bild 5). Ein Elektrotechniker würde ihn als Tiefpassfilter bezeichnen. Das hängt damit zusammen, dass sein Inhalt zwar rund 50 km³ beträgt, sein Retentionsvolumen aber nur einen Bruchteil davon ausmacht. In einem mittleren Jahr ist die Volumendifferenz zwischen dem Hochstand im Juni oder Juli und dem Tiefstand im Februar nämlich nur rund 0,78 km³. Das sind bezogen auf die jährlich durch den See fliessende Wassermenge bloss 7%.

Es liegt in der Natur der Sache, dass die erwähnte, von *Naef* berechnete Ganglinie praktisch mit der Ganglinie der Monatsmittel der Summe aller Bodenseezuflüsse identisch ist (Bild 4).

10. Die Seestandsschwankungen

Entsprechend dem unmittelbaren Zusammenhang zwischen dem Seestand und dem Seeausfluss gleicht die Ganglinie des Seestandes jener des Ausflusses. In einem mittleren Jahr tritt der Höchststand wie erwähnt im Juni/Juli, der Tiefststand im Februar auf. Damit ist auch gesagt, dass das Auf und Ab des Bodensees keiner Sinusschwingung entspricht. Denn das Fallen des Wasserspiegels dauert im Mittel acht Monate, das Steigen hingegen bloss vier.

Die entsprechende Spiegeldifferenz beträgt im Obersee rund 1,6 m. Dieser mittlere Wert kann aber von Jahr zu Jahr wesentlich übertroffen oder unterschritten werden. Die grösste seit 100 Jahren registrierte Spiegeldifferenz trat 1890 auf und erreichte 3,2 m.

Für die Bewohner des Bodensees sind die Extremstände wichtig. Der mittlere Höchststand steigt im Obersee um rund 0,95 m über den langjährigen mittleren Seestand an. Der grösste seit 100 Jahren beobachtete Höchststand wurde 1890 beobachtet und übertraf den langjährigen Mittelwert um 2,29 m (Bild 6). Dabei uferte der See stark aus und verursachte Überschwemmungen. Aber auch bei geringeren Höchstständen gab es Schäden. Wie die Statistik zeigt, wurde die Schadensmarke am Obersee bis jetzt alle vier Jahre überschritten. Zum letztenmal geschah das im Sommer 1987 während 42 Tagen *(Vischer,* 1989). Am Untersee ist die Hochwassergefahr sogar noch grösser.

Die Tiefststände sind an sich nicht bedrohlich, aber unangenehm. Sie legen zum Teil übelriechende Uferpartien bloss und machen Anlegestellen und Häfen unbrauchbar. Der mittlere Tiefststand des Obersees liegt um 0,65 m unter dem langjährigen Mittelwert. Der seit 100 Jahren extremste Tiefststand wurde im März 1972 während 10 Tagen mit 1,09 m registriert.

Von Interesse sind schliesslich auch die Schwankungen des jährlichen Mittelwasserstandes um den langjährigen Mittelwert. Der höchste jährliche Mittelwasserstand wurde im Obersee 1910 verzeichnet und übertraf den langjährigen Mittelwert um 0,37 m. Der niedrigste jährliche Mittelwasserstand trat 1949 auf und sank um 0,57 m unter den langjährigen Mittelwert. Dementsprechend kann angenommen werden, dass der Bodensee 1910 den grössten Durchfluss aufwies und 1949 den kleinsten. 1910 war im Bodensee-Einzugsgebiet also das wasserreichste Jahr und 1949 das wasserärmste.

Aus Konsistenzgründen basieren alle in diesem Abschnitt erwähnten Pegelstände auf *Kiefer* (1972). Die Aufzeichnungen der Schweizerischen Landeshydrologie beziehen sich auf andere Pegel und Messperioden und geben zum Teil ein um Zentimeter abweichendes Bild.

11. Sind Veränderungen im Gange?

Hat sich an all den erwähnten hydrologischen Parametern in den letzten 100 Jahren etwas geändert? Man möchte es meinen! Die Veränderungen am See und seinem Einzugs-

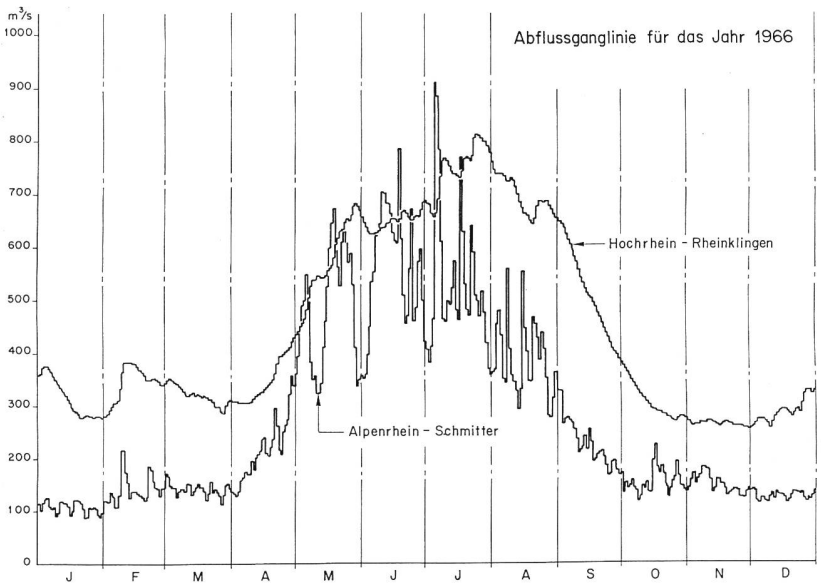

Bild 5. Ganglinien der Abflüsse des Alpenrheins bei Schmitter und des Hochrheins bei Rheinklingen; gemessene Tagesmittel des Jahres 1966 (nach KHR 1980).

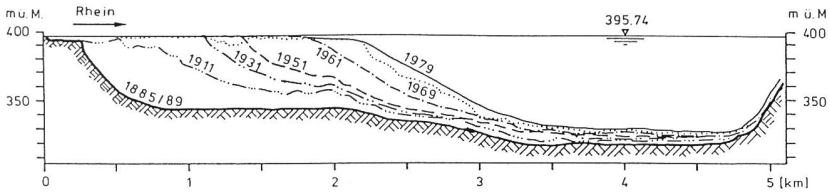

Bild 7. Entwicklung des Rheindeltas nach der Korrektion von 1900 (Fussacher Durchstich). Süd-Nord-Längsprofil in der geradlinigen Fortsetzung des Einmündungskanals. Der relativ geringe Zuwachs von 1969 bis 1979 ist auf die bogenförmige Vorstreckung des Mündungsgerinnes nach Nordwesten zurückzuführen *(Lambert,* 1989).

gebiet waren ja beträchtlich. Der Bodensee selber wurde durch natürliche Einflüsse, wie Deltabildung, Schwebstoffabsetzung und Verlandung seichter Bereiche, stellenweise verkleinert. Andere Einflüsse führten dagegen zu einer Erosion gewisser Ufer und damit zu örtlich begrenzten Vergrösserungen. Mit ähnlichen Konsequenzen wirkte auch der Mensch durch mannigfache Aufschüttungen und einige gezielte Baggerungen. Gesamthaft gesehen machte dies aber nur wenig aus. Man denke nur an das relativ schnell wachsende Delta des Alpenrheins (Bild 7): Es stiess im Schnitt um 3,3 ha pro Jahr vor *(Bertschinger,* 1973). Das ergibt in 100 Jahren 3,3 km², was eine Verminderung der Seeoberfläche von bloss 0,6% bedeutet. Damit soll nicht gesagt werden, dass die Ausbreitung des Rheindeltas keine Probleme aufwirft. Für die hier beschriebene Hydrologie des Bodensees ist sie aber – ebenso wie die andern Uferveränderungen – belanglos.

Auch im Einzugsgebiet des Bodensees bewirkten zahlreiche natürliche und menschliche Einflüsse eine starke Umgestaltung: Die Gletscher schmolzen zurück, die Fliessgewässer wurden korrigiert, mehrere Speicherkraftwerke gebaut, die Grundwasservorkommen intensiv genutzt, die Fluren entwässert, die Talebenen besiedelt, der Waldbestand vermehrt usw. Doch machte sich auch dies in den mittleren Zuflüssen zum Bodensee und damit beim mittleren Seestand kaum bemerkbar. Trendanalysen der Landesanstalt für Umweltschutz (1990) belegen nämlich eine erstaunliche Konstanz der mittleren Zu- und Abflüsse. Die mittleren Niederschläge sind in den letzten 100 Jahren praktisch gleich geblieben, und die Ableitungen aus dem See für Wasserversorgungszwecke wurden durch einige Kraftwerksüberleitungen aus andern Einzugsgebieten praktisch kompensiert. Offensichtlich haben sich auch andere Einflüsse im Einzugsgebiet gegenseitig aufgehoben. Einzig die Kraftwerksspeicher, die insgesamt 0,6 km³ Sommerwasser zuhanden einer Winternutzung zurückhalten, bewirkten im See eine merkliche Absenkung der mittleren Höchststände und eine Erhöhung der mittleren Tiefststände. Die Mittelwasserstände blieben aber, wie bereits gesagt, unverändert – das heisst zumindest im Untersee, was belegt, dass dort die durchschnittlichen hydrologischen Verhältnisse während eines Jahrhunderts nicht variierten. Im Obersee haben sich die Mittelwasserstände aber seit 1887 um 16 cm gesenkt. Dieser Wert entspricht zwar nicht einmal zwei Handbreiten und mag unbedeutend erscheinen, dennoch gibt er ein Rätsel auf! Wenn nämlich die mittleren Zu- und Abflüsse zum Bodensee, wie dies ja festgestellt worden ist, gleich geblieben sind, muss sich am Obersee *selbst* etwas geändert haben. An seiner Fläche kann es aber, wie oben angedeutet, nicht liegen. Deshalb muss vermutet werden, dass sich der vom Ober- zum Untersee fliessende *Seerhein* in den letzten 100 Jahren eingetieft und/oder verbreitert hat. Darüber soll hier aber nicht weiter spekuliert werden. Es ist Sache der Landesanstalt für Umweltschutz in Karlsruhe, die diesem Phänomen auf die Spur gekommen ist, ihre Trendanalysen und entsprechenden Schlüsse noch detaillierter vorzustellen. Man kann darauf gespannt sein!

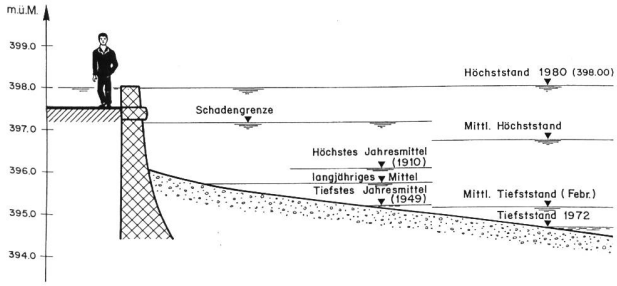

Bild 6. Wasserstandsschwankungen am Bodensee. Der Höchststand wurde am 3. September 1890 mit 398 m ü. M. erreicht, die Schadengrenze liegt auf 397,14 m ü. M. (Schweizer Horizont).

Literatur

Aschwanden, H., Weingarter, R., 1985: Abschätzungen im Mittelwasserbereich. In Abschätzung der Abflüsse in Fliessgewässern an Stellen ohne Direktmessung, Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie Nr. 33, Kümmerly + Frey, Bern.

Baumgartner, A., Reichel, E., Weber, G., 1983: Der Wasserhaushalt der Alpen (im Jahresdurchschnitt 1931 bis 1960), Oldenbourg, München, Wien.

Bertschinger, H., 1973: Probleme am Rhein und am Bodensee. «Schweizerische Bauzeitung», *91. Jg.,* H. 21, 24. Mai, Zürich.

KHR, Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebiets, 1980: Das Rheingebiet. Hydrologische Monographie.

Kiefer, F., 1972: Naturkunde des Bodensees. Jan Torbecke, Sigmaringen.

Krayss, E., Keller, O., 1989: Die eiszeitliche Reliefentwicklung im Bodenseeraum. «Zeitschrift Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik», Nr. 1, Baden/Schweiz.

Lambert, A., 1989: Das Rheindelta im See. «Zeitschrift Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik», Nr. 1, Baden/Schweiz.

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1990: Veränderung der Bodensee-Wasserstände von 1887–1987 (interner Bericht).

Naef, F., 1989: Hydrologie des Bodensees und seiner Zuflüsse. «Zeitschrift Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik», Nr. 1, Baden/Schweiz.

Schädler, B., 1988: Hochwasser im Juli 1987 in der Südostschweiz. «wasser, energie, luft», H. 3/4, Baden/Schweiz.

Stewart, K. M., Hollan, E., 1984: Physical model study of Lake Constance. Schweiz. «Zeitschrift für Hydrologie», 46/1.

Vischer, D., 1989: Ideen zur Bodenseeregulierung; Ziele, Altes und Neues. «Zeitschrift Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik», Nr. 1, Baden/Schweiz.

Wieland, Ch., 1989: Der Bodensee als Trinkwasserspeicher. «Zeitschrift Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik», Nr. 1, Baden/Schweiz.

Schriftliche Fassung eines Vortrags, den der Verfasser an der gemeinsamen Bodenseetagung vom 10. und 11. Mai 1990 in Meersburg gehalten hat. Das Tagungsthema lautete: Wasserwirtschaft und Erholung am Bodensee – ein Nutzungskonflikt? Die Tagung wurde vom Wasserwirtschaftsverband Baden-Württemberg e.V. in Zusammenarbeit mit dem Österreichischen und dem Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband durchgeführt.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *Daniel Vischer,* Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.