



Internationale  
Gewässerschutzkommission  
für den Bodensee

# Der Bodensee

Zustand – Fakten – Perspektiven





# Der Bodensee

Zustand – Fakten – Perspektiven





Schweizerische  
Eidgenossenschaft

Gefördert aus dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung



**Interreg IIIA**

Alpenrhein-Bodensee-Hochrhein

#### Impressum

##### Herausgeber:

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB)

e-mail: [info@igkb.com](mailto:info@igkb.com)

[www.igkb.org](http://www.igkb.org)

Grafik und Layout: Peter Rey

Druck: Druckerei Uhl, Radolfzell

Titelbild und Rückseite: Blick von Konstanz über den Bodensee-Obersee

Foto: Stanko Petek; [www.luftbild.com](http://www.luftbild.com)

Bregenz, Januar 2004

ISBN 3-902290-04-8

1. Auflage: 3000

# Der Bodensee

## Zustand – Fakten – Perspektiven

### **Bearbeitung und Autoren**

HYDRA - Büro Rey, Konstanz  
Uta Mürle  
Johannes Ortlepp  
Peter Rey

### **Begleitende Projektgruppe der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee**

Beat Baumgartner, Frauenfeld  
Thomas Blank, Bregenz  
Dietmar Buhmann, Bregenz (Vorsitz)  
Bernd Engstle, Kempten  
Edmund Kräutler, Bregenz  
Helmut Müller, Langenargen  
Henno Roßknecht, Langenargen  
Peter Schleppen, München  
Walter Sieger, Ravensburg  
Benjamin Sollberger, Bern  
Urs Widmer, St. Gallen  
Dieter Wörner, Ravensburg  
Otto Wohlwend, St. Gallen

<b>Vorwort</b> .....	1
<b>Einleitung</b> .....	3
<b>1 Entwicklungsgeschichte des Bodensees</b>	
1.1 Entstehungsgeschichte .....	6
1.2 Gestalt und Funktionen des Bodensees und seines Einzugsgebietes .....	8
1.2.1 Morphologie und Hydrologie .....	8
1.2.2 Seekompartimente .....	11
1.3 Bodensee und Mensch .....	12
1.3.1 Nutzungsgeschichte des Bodensees und seines Umlandes .....	12
1.3.2 Belastungsgeschichte des Bodensees .....	13
Literatur zu Kapitel 1 .....	15
<b>2 Der Lebensraum Bodensee - bisherige Entwicklung, gegenwärtiger und angestrebter Zustand</b>	
2.1 Ufer- und Flachwasserzone .....	16
2.1.1 Charakteristik und gegenwärtiger Zustand .....	16
2.1.2 Belastungen und Defizite .....	21
2.1.3 Angestrebter Zustand .....	24
Literatur zu Kapitel 2.1 .....	27
2.2 Freiwasser .....	29
2.2.1 Charakteristik und gegenwärtiger Zustand .....	29
2.2.2 Belastungen und Defizite .....	40
2.2.3 Angestrebter Zustand .....	42
Literatur zu Kapitel 2.2 .....	44
2.3 Seeboden und Sedimente .....	46
2.3.1 Charakteristik und gegenwärtiger Zustand .....	46
2.3.2 Belastungen und Defizite .....	50
2.3.3 Angestrebter Zustand .....	55
Literatur zu Kapitel 2.3 .....	55
2.4 Grundwasser, Bäche und Flüsse im Einzugsgebiet .....	57
2.4.1 Charakteristik und gegenwärtiger Zustand .....	57
2.4.2 Belastungen und Defizite .....	65
2.4.3 Auswirkungen der Nutzungen im Einzugsgebiet auf den See .....	70
2.4.4 Angestrebter Zustand .....	72
Literatur zu Kapitel 2.4 .....	74
<b>3 Nutzungen und ihre Einflüsse auf den Bodensee</b>	
3.1. Entwicklung der Raumnutzung .....	76
Literatur zu Kapitel 3.1 .....	81
3.2 Siedlungswasserwirtschaft .....	82
3.2.1 Bisherige Entwicklung .....	82
3.2.2 Auswirkungen auf den See .....	89
3.2.3 Handlungserfordernisse .....	92
Literatur zu Kapitel 3.2 .....	93

<b>3.3 Industrie und Gewerbe - wassergefährdende Stoffe</b> .....	95
3.3.1 Bisherige Entwicklung .....	95
3.3.2 Auswirkungen auf den See .....	97
3.3.3 Handlungserfordernisse .....	100
Literatur zu Kapitel 3.3 .....	100
<b>3.4 Schifffahrt</b> .....	102
3.4.1 Bisherige Entwicklung .....	102
3.4.2 Auswirkungen auf den See .....	105
3.4.3 Handlungserfordernisse .....	110
Literatur zu Kapitel 3.4 .....	112
<b>3.5 Verkehr</b> .....	113
3.5.1 Bisherige Entwicklung .....	113
3.5.2 Auswirkungen auf den See .....	119
3.5.3 Handlungserfordernisse .....	121
Literatur zu Kapitel 3.5 .....	123
<b>3.6 Land- und Forstwirtschaft</b> .....	125
3.6.1 Bisherige Entwicklung .....	125
3.6.2 Auswirkungen auf den See .....	130
3.6.3 Handlungserfordernisse .....	133
3.6.4 Forstwirtschaft .....	135
Literatur zu Kapitel 3.6 .....	137
<b>3.7 Tourismus und Naherholung</b> .....	138
3.7.1 Bisherige Entwicklung .....	138
3.7.2 Auswirkungen auf den See .....	140
3.7.3 Handlungserfordernisse .....	141
Literatur zu Kapitel 3.7 .....	142
<b>3.8 Seewassernutzung</b> .....	143
3.8.1 Bisherige Entwicklung .....	143
3.8.2 Auswirkungen auf den See .....	144
3.8.3 Handlungserfordernisse .....	145
Literatur zu Kapitel 3.8 .....	146
<b>3.9 Fischereiliche Nutzung</b> .....	147
3.9.1 Bisherige Entwicklung .....	147
3.9.2 Auswirkungen auf den See .....	149
3.9.3 Handlungserfordernisse .....	151
Literatur zu Kapitel 3.9 .....	153
<b>3.10 Atmosphärische Einträge</b> .....	155
3.10.1 Bisherige Entwicklung .....	155
3.10.2 Auswirkungen auf den See .....	156
3.10.3 Handlungserfordernisse .....	158
Literatur zu Kapitel 3.10 .....	159
<b>3.11 Klima und Witterung</b> .....	161
3.11.1 Entwicklung und heutiger Zustand / Prognose .....	161
3.11.2 Auswirkungen auf den See .....	164
3.11.3 Handlungserfordernisse .....	165
Literatur zu Kapitel 3.11 .....	167

### **4 Die Zukunft des Bodensees**

- 4.1 Defizite und bisherige Verbesserungen des Seezustandes .....168
- 4.2 Nutzungen und ihre Folgen für den Zustand des Bodensees .....169
- 4.3 Angestrebter ökologischer Zustand des Bodensees .....170
- 4.4 Handlungserfordernisse .....171

### **5 Schlussbemerkung** .....175

### **Fotonachweis, Informationen** .....176



## Vorwort

Mitte des letzten Jahrhunderts wurde eine bedenklich zunehmende Eutrophierung\* des Bodensees festgestellt, die durch eine übermäßige Belastung mit ungereinigtem Abwasser und dem damit verbundenen Anstieg des Phosphorgehalts im Seewasser verursacht wurde. Rasch war klar, dass der drohende Kollaps des Bodensees nur mit rigorosen, im gesamten Einzugsgebiet koordinierten Gewässerschutzmaßnahmen abzuwenden war. So gründeten zu diesem Zweck im Jahre 1959 Baden-Württemberg, Bayern, Österreich und die Schweiz (Kantone St. Gallen und Thurgau) die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB). Das Übereinkommen über den Schutz des Bodensees gegen Verunreinigung vom 27. Oktober 1960 trat am 10. November 1961 in Kraft. Dieses bildet bis heute die völkerrechtlich bindende Rechtsgrundlage für die gemeinsam und paritätisch beschlossenen Maßnahmen zum Schutz des Bodensees und zur stetigen Verbesserung seines Zustandes. Das Fürstentum Liechtenstein und der Kanton Graubünden verfügen zwar nicht über einen Uferanteil des Bodensees, als wichtige Partner arbeiten sie jedoch mit bei der Umsetzung der im Rahmen des Übereinkommens gemeinsam beschlossenen Maßnahmen im Einzugsgebiet des Sees.

Erste Meilensteine in der gemeinsamen Gewässerschutzarbeit waren 1967 die Richtlinien zur Reinhaltung des Bodensees und ein gemeinsames Bau- und Investitionsprogramm zur Erstellung der Kanalisations- und Abwasserreinigungsanlagen. 1973, 1981 und 1985 folgten Fortschreibungen des Bau- und Investitionsprogramms. Die IGKB hat sich im Verlauf ihrer Tätigkeit mit einer Vielzahl weiterer Themen befasst, wie Zufluss- und Schadstoffuntersuchungen, Schadensabwehr, Wassernutzung, Rheinvorstreckung, Schutz der Flachwasserzone sowie Auswirkungen von Schifffahrt, Verkehr und Landwirtschaft, um nur die Wichtigsten zu nennen.

Nach nahezu vier Jahrzehnten konsequenter und erfolgreicher Sanierung der Abwassereinleitungen mit Gesamtinvestitionen von rund 6 Mrd. CHF bzw. rund 4 Mrd. EUR zeigten sich ab Mitte der 80er Jahre erste Erfolge. Vor allem der Phosphorgehalt, der Hauptverursacher der Eutrophierung im See, wurde maßgeblich verringert. Bis heute konnten die Belastungen aus der Abwassereinleitung und der diffusen Abschwemmung weiter reduziert werden. Die dem See zugeführte Gesamtphosphormenge liegt nunmehr im Bereich des für die ökologische Stabilität des Sees berechneten, tolerierbaren Eintrags.

Das ursprüngliche Ziel im Kampf gegen die Eutrophierung ist damit weitgehend erreicht. Erfreulicherweise äußert sich dies auch in der erheblichen Verschiebung im Artenspektrum beispielsweise des Planktons, das sich langsam wieder an diese nährstoffärmeren Verhältnisse anpasst. An den getroffenen Maßnahmen zur Reduktion der Nährstoffbelastungen muss in Anbetracht der anhaltenden Nutzungsintensivierung im Bodenseeraum aber weiterhin festgehalten werden, um das Erreichte auch in Zukunft zu sichern. Der See ist auch weiterhin nicht allein bezüglich seiner Wasserqualität zu beurteilen, sondern auch gesamtschaulich im Hinblick auf die Stabilität seiner ökologischen Funktionen, die sich in der Artenvielfalt von Fauna und Flora, im Fischreichtum sowie im Zustand der Uferzone widerspiegeln. Damit verbunden ist das Bestreben für eine stetige Verbesserung der Qualität des Bodensees in seiner Bedeutung als Kultur- und Lebensraum für die Bevölkerung, die auch im Hinblick auf seine Nutzung für Ferien, Freizeit und Erholung die Wirkung der gemeinsamen Anstrengungen zur Gewässersanierung miterleben kann.

---

\* Prozess zunehmender Nährstoffanreicherung mit unerwünschtem bis schädlichem Algenwachstum (Algenblüte)

Vor dem Hintergrund der bisherigen Erfolge war vor einigen Jahren der Zeitpunkt gekommen, einen Halt einzulegen, um Bilanz über das Erreichte zu ziehen und die zukünftigen Handlungsfelder der IGKB grundsätzlich zu überdenken. Zur Beschaffung der notwendigen Entscheidungsgrundlagen hat die Kommission an der 46. Tagung im Mai 2000 beschlossen, unter dem Arbeitstitel „Bilanz 2000“ eine Gesamtschau unter Einbezug aller Schutz- und Nutzungsbereiche im Einzugsgebiet des Bodensees in Auftrag zu geben.

Diese Arbeit liegt nun vor und stellt das Ergebnis einer umfassenden Daten- und Literaturrecherche dar. Sie gibt Auskunft über den gegenwärtigen Zustand des Bodensees, zeigt den anzustrebenden Zustand auf und stellt auf Grund der Defizitanalyse Vorschläge für Handlungserfordernisse und Maßnahmen zusammen. Dies erfolgt einerseits lebensraumbezogen, aufgeschlüsselt nach Seekompartimenten und Gewässern im Einzugsgebiet, und andererseits wirkungsorientiert, unterteilt nach den verschiedenen Nutzungen und ihren Einflüssen, aber auch nach den Auswirkungen von Klima und Witterung.

Die Bilanz ist eine Auflistung von Fakten und Vorschlägen für zukünftige Maßnahmen. Bei allen derzeitigen Abwägungen muss man sich aber stets vor Augen halten, dass eine gemeinsame Bewertung der vorgeschlagenen Maßnahmen noch stattfinden wird und die angeführten Handlungserfordernisse noch weiter zu entwickeln und zu vervollständigen sind.

Die Bilanz gibt den politischen Entscheidungsträgern in den Ländern und Kantonen die maßgebende Grundlage zur Beurteilung von künftigen Maßnahmen im ganzen Bodenseeraum. Insbesondere soll die abschließende Bewertung und Priorisierung der vorgeschlagenen Maßnahmen die Grundlage für die Festlegung der künftigen Aufgaben- und Arbeitsbereiche der IGKB sein. Dabei werden bei der Abstimmung der daraus resultierenden Maßnahmen in den betroffenen Ländern und Kantonen im Einzugsgebiet des Bodensees neben den ökologischen auch wirtschaftliche und gesellschaftspolitische Aspekte miteinzubeziehen sein, damit Fragen wie Verhältnismäßigkeit, Realisierbarkeit, Finanzierbarkeit und Zuständigkeit beantwortet werden können.

Auf das bisher Erreichte kann die IGKB mit Stolz zurückblicken. Sie darf auch mit Mut und Zuversicht vorwärtsschauen. Mit der vorliegenden Bilanz ist der Grundstein für die Entwicklung der künftigen Perspektiven der Arbeit zum Schutz des Bodensees und seines Einzugsgebietes gelegt.

Peter Michel

Vorsitzender der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee

## Einleitung

Der Bodensee ist nach dem Genfer See und dem Plattensee der drittgrößte Binnensee Mitteleuropas. Die drei Anliegerländer Deutschland, Schweiz und Österreich teilen sich die Hoheitsrechte ohne feste Grenzen auf dem See. Schon früh mussten sie sich daher gemeinsam über die Nutzung des Sees einigen und sich der gemeinsamen Verantwortung stellen. So fanden etwa ursprüngliche Pläne, wie die Regulierung des Seespiegels oder die Anbindung an das europäische Wasserstraßennetz, die zu einer tiefgreifenden ökologischen Beeinträchtigung des Sees geführt hätten, keine gemeinsame Basis und wurden daher nicht realisiert.

Trotz internationaler Sorge um seine ökologische Stabilität blieb der Bodensee nicht verschont von den negativen Einflüssen des dynamischen Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Ende der 1970er Jahre erreichte der See, für alle sichtbar, seine Belastungsgrenzen. Zu viele Nährstoffe hatten ihn in den vorhergegangenen Jahrzehnten über Abwassereinträge und diffuse Abschwemmungen aus Agrarflächen erreicht. Massive Algenblüten verringerten die Wassertransparenz, Algenwatten bedeckten große Wasserflächen und hinterließen am Bodenseeufer einen fischigen Gestank. Der Abbau dieser immensen Biomasse raubte dem Tiefenwasser den Sauerstoff, und die ökologische Funktionsfähigkeit des Systems stand auf dem Spiel.

Schon 20 Jahre vor dieser „Beinahe-Katastrophe“ wurde im November 1959 die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) ins Leben gerufen. Ihre Gründung hatte zum Ziel, gemeinsame Anstrengungen in der Schweiz, in Deutschland, Österreich und Liechtenstein für die Reinhaltung des Bodensees zu initiieren und zu koordinieren. Das „Übereinkommen über den Schutz des Bodensees gegen Verunreinigungen“ trat 1961 in Kraft und bildete die Basis für alle zukünftigen Arbeiten der Kommission.

In ihrer mittlerweile 45-jährigen Geschichte leitete die IGKB erfolgreich eine Reihe wegweisender Gewässerschutzmaßnahmen ein und führte koordinierte Forschungs-, Mess- und Kontrollprogramme durch. Schon in den frühen 1960er Jahren wurde die übermäßige Zufuhr von Phosphor als die wesentliche Ursache für die zunehmende Eutrophierung (Zustand der Überdüngung) des Sees erkannt und es war das vorrangige Bestreben der IGKB, dieser für den See bedrohlichen Entwicklung entgegenzuwirken. Seit Bestehen der IGKB haben die Länder und Kantone im gesamten Einzugsgebiet des Bodensees rund 4 Milliarden Euro in die Abwassersammlung und Abwasserreinigung investiert. Heute wird das Problem der Nährstoffeinträge dank flächendeckender Abwasserreinigung weitestgehend beherrscht und der Bodensee kann wieder „atmen“.

Die Uferbereiche des Bodensees sind wegen ihrer hohen Attraktivität ein nicht nur dicht besiedeltes, sondern auch touristisch intensiv genutztes Gebiet. Der Erhalt intakter Uferzonen mit Schilfgürteln und Strandrasen, die Vernetzung von Naturräumen sowie die Revitalisierung verbauter Uferabschnitte zählen seit Jahren zu den wichtigsten Zielen der IGKB. Die Länder und Kantone in der IGKB befinden sich damit auf dem richtigen Weg. Um ähnliche Erfolge zu erzielen wie bei der Nährstoffreduktion, sind in den nächsten Jahren jedoch noch weitere Anstrengungen nötig.

Die zwischenstaatlichen Abklärungen über den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen am Bodensee sind ebenfalls Aufgabe der IGKB. Sie sorgt dafür, dass besonders in diesem Problemfeld das Vorsorgeprinzip berücksichtigt wird und wirkt darauf hin, dass mit Gefahrenstoffen so sicher wie möglich umgegangen wird, sowie

### Die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB)

#### Wichtige Aufgaben und Ziele:

- Überwachung des Bodenseezustands
- Feststellung von Belastungsursachen
- Empfehlung koordinierter Abhilfemaßnahmen
- Schadensabwehr
- Beratung der Anliegerstaaten
- Erörterung geplanter Nutzungen des Sees
- Öffentlichkeitsarbeit

#### Handlungsbasis:

- Übereinkommen über den Schutz des Bodensees gegen Verunreinigungen (1961)
- Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees (1967, 1987, Stand 2001)

#### Arbeitsweise:

Tagung der Kommission einmal im Jahr. Beschlussfassung stets einstimmig (Art. 5 des Übereinkommens). Fachliche Zuarbeit durch Sachverständigenkreis und Fachbereiche aus Mitgliedern aller Anliegerländer/-kantone. Sachverständigengremien tagen jährlich fünf- bis sechsmal

#### Öffentlichkeitsarbeit:

*Grüne Berichte:* Berichte über die routinemäßigen Langzeituntersuchungen über den limnologischen Zustand des Sees

*Blaue Berichte:* Berichte über Forschungsprojekte und Sonder-Messkampagnen

*Seespiegel:* allgemeine Informationen (zweimal jährlich und über [www.seespiegel.de](http://www.seespiegel.de))

*Internet:* [www.igkb.org](http://www.igkb.org)

### **Kommissionen zum Schutz, zur Nutzung und Entwicklung des Bodensees und seines Einzugsgebietes**

**IRR:** *Internationale Rheinregulierung*; gegründet 1892 - Hochwasserschutz ab Illmündung; Auswirkungen der Verlegung der Alpenrheinmündung, Entwicklungskonzepte; *Mitglieder:* Österreich, Schweiz

**IBKF:** *Internationale Bevollmächtigtenkonferenz für die Bodenseefischerei*; gegründet 1893 - Regelung der fischereilichen Bewirtschaftung am Bodensee; *Mitglieder:* Schweiz, Bad.-Württ., Bayern, Vorarlberg, Liechtenstein

**IGKB:** *Internationale Gewässerschutz-Kommission für den Bodensee*; gegründet 1959 - Koordination und Durchführung von Gewässer- und Uferschutzprogrammen, Überwachung des Seezustands - *Mitglieder:* Bad.-Württ., Bayern, Österreich, Schweiz (SG, TG, GR); Beobachterstatus: Liechtenstein

**IBK:** *Internationale Bodenseekonferenz*; gegründet 1972 - Regierungschefkonferenz der Bodenseeanlieger. Bildung, Wissenschaft, Kultur, Umwelt, Verkehr, Wirtschaft, Gesundheit, Öffentlichkeitsarbeit; *Mitglieder:* Bad.-Württ., Bayern, Vorarlberg, Liechtenstein, Thurgau, St. Gallen, Schaffhausen, Zürich, Appenzell AR + IR

**ISKB:** *Internationale Schifffahrtskommission für den Bodensee*; gegründet 1973 - Ausarbeitung und Durchführung einheitlicher Schifffahrtsvorschriften auf dem Bodensee; *Mitglieder:* Deutschland, Österreich, Schweiz

**IRKA:** *Internationale Regierungskommission Alpenrhein*; gegründet 1995 - Regierungschefkonferenz der Alpenrhein-anlieger. Projektgruppen aus Gewässerschutz, Energie, Schutzwasserbau, Raumplanung, *Mitglieder:* Graubünden, St. Gallen, Vorarlberg, Liechtenstein

bei Störfällen sofortige Schutzmaßnahmen ergriffen werden können. Dieser Aufgabe kommt im Hinblick auf die Funktion des Bodensees als Trinkwasserspeicher für über 4 Mio. Menschen eine besondere Bedeutung zu.

Mit den „IGKB-Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees“ wurde 1967 erstmals ein internationales Regelwerk für den Bodensee formuliert, das verschiedenen Interessensgruppen klare Nutzungsbeschränkungen auferlegte und sie zu einem sorgsamem Umgang mit den natürlichen Ressourcen am Bodensee anhielt. Sie waren ein entscheidender Schritt dafür, dass der nachhaltige Schutz dieser Ressourcen im länderübergreifenden Vollzug verankert wurde. 1987 und 2001 wurden die Reinhaltungsrichtlinien im Sinne des ganzheitlichen Gewässerschutzes und entsprechend den Grundsätzen der Vorsorge und Nachhaltigkeit ergänzt und zum Teil neu gefasst.

### **Der Bodensee**

#### **Zustand - Fakten - Perspektiven**

An ihrer Kommissionstagung am 30./31. Mai 2000 hat die IGKB als Grundlage für ihre zukünftige Arbeit die Erstellung einer „Bodensee-Bilanz“ beschlossen. Die Bilanz sollte unter Bezugnahme auf die zahlreichen Studien am und über den Bodensee sowie unter Berücksichtigung der komplexen Zusammenhänge im Ökosystem die bisherige Entwicklung und den gegenwärtigen Zustand des Sees wie auch den anzustrebenden Zustand aufzeigen. Darüber hinaus sollten die verschiedenen Einflussfaktoren unter Hinweis auf künftige Handlungserfordernisse - vor allem auch vor dem Hintergrund der zu erwartenden weiteren Nutzungsintensivierung im Bodenseeraum - beleuchtet werden.

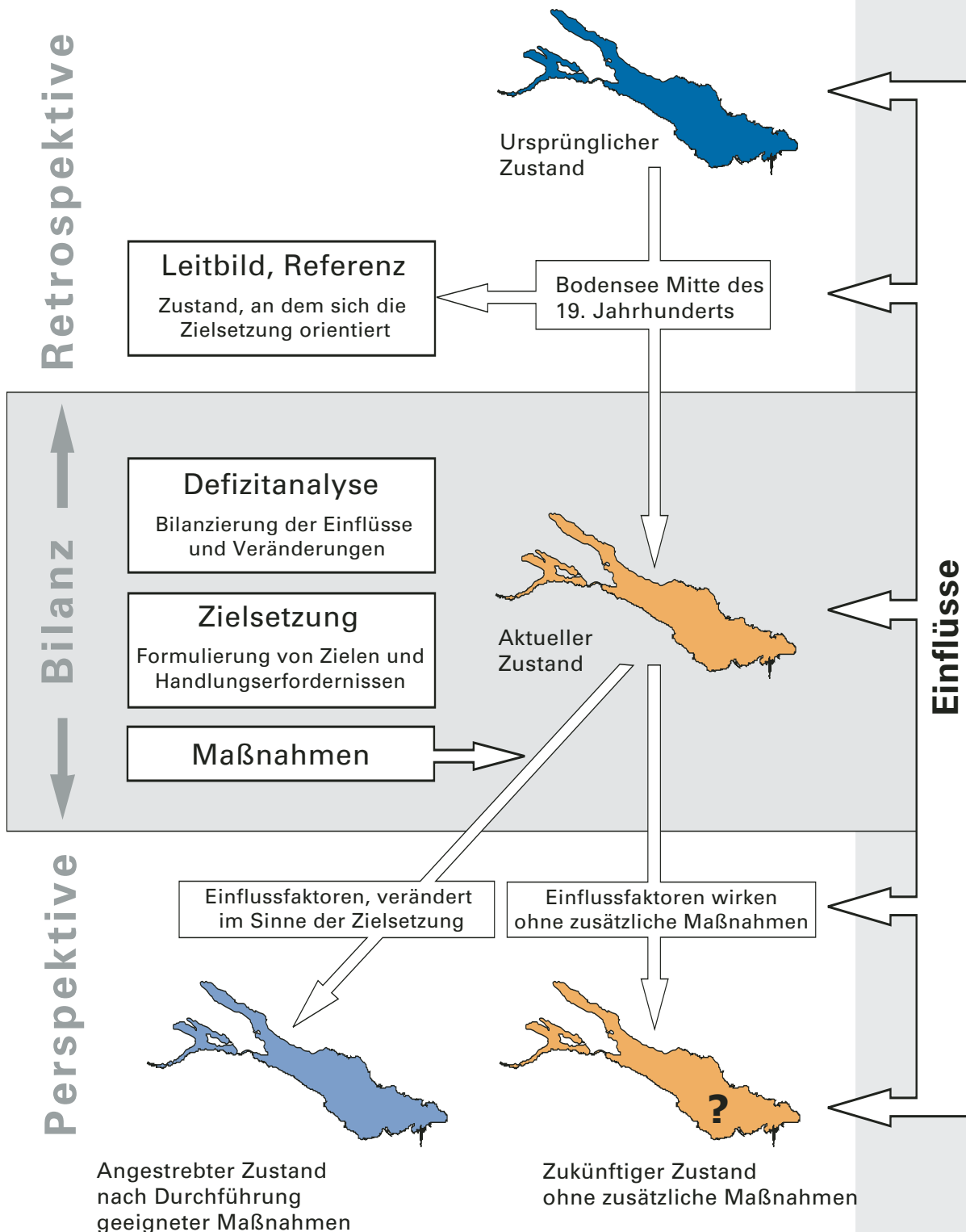
Diesen Vorgaben entsprechend werden in der vorliegenden Studie die Zusammenhänge zwischen menschlichen Einflüssen, ökologischen Defiziten und den bisherigen Gewässerschutzmaßnahmen am Bodensee, seinem Uferbereich und Einzugsgebiet vorgestellt. Nutzungen als Siedlungs-, Kultur-, Freizeit- und Wirtschaftsraum werden als berechnete Bedürfnisse der heutigen und zukünftigen Generationen anerkannt. Sie werden hier allerdings einer Bewertung hinsichtlich ihrer Umweltverträglichkeit unterzogen.

Die Arbeit ist eine in dieser Form erstmalige umfassende Informationssammlung und stellt eine wesentliche Grundlage und Standortbestimmung für die künftige Gewässerschutzarbeit der IGKB dar. Sie ergänzt bestehende Richtlinien und Leitbilder durch weitere Gesichtspunkte und Basis-Informationen.

Nach einem Abriss über die Entstehungs- und Nutzungsgeschichte sowie einem Überblick über die wichtigsten Kenndaten des Bodensees werden die so genannten **Seekompartimente**, die räumlichen und funktionellen Einheiten des Ökosystems Bodensee und seines Einzugsgebiets, vorgestellt. Neben den **Nutzungsformen** geben sie den Gliederungsrahmen des Berichts vor. In der Analyse des aktuellen Zustands und seiner Defizite werden vergangene und gegenwärtige Einflüsse auf den See und Veränderungen der Ökosysteme erläutert. Zentrale Bedeutung besitzen dabei die vom Menschen steuerbaren **Einflussfaktoren**. An ihnen wird aufgezeigt, welche Kausalzusammenhänge zwischen Nutzungen und ökologischen Defiziten am Bodensee bestehen und welche Maßnahmen zur nachhaltigen Sicherung eines ökologisch stabilen Sees beitragen können. Die Definition der **anzustrebenden Zustände** (Entwicklungsziele) und die zu ihrer Erreichung nötigen **Handlungserfordernisse** bauen auf dieser Analyse auf.

Bei der Entstehung der vorliegenden Arbeit wurde eine Fülle von Daten recherchiert und ausgewertet. Ihre Zusammenschau kann nun als Basis für eine umfassende

Planung künftiger Maßnahmen dienen. Zusammen mit den „IGKB-Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees“, dem „Bodenseeleitbild der IBK“ und der im Jahr 2000 in Kraft getretenen EU-Wasser-Rahmenrichtlinie ist nun die Grundlage für ein Aktionsprogramm der IGKB geschaffen. Ziel aller aktuellen und zukünftigen Anstrengungen muss es sein, den Schutz wie auch die Nutzung der natürlichen Ressourcen der Bodensee-Region im Sinne der Vorsorge und Nachhaltigkeit zu gestalten und einen ökologisch stabilen Bodensee für künftige Generationen zu sichern.



Schema der Bilanzierung bisheriger Einflüsse und Veränderungen am Bodensee

## Entwicklungsgeschichte des Bodensees

### 1.1 Entstehungsgeschichte

Der erdgeschichtliche Werdegang des Bodenseeraums wird in einer Reihe neuerer Veröffentlichungen sehr anschaulich und detailliert beschrieben [1-9], daher wird hier nur eine kurze Übersicht über die Entstehung der Bodenseelandschaft gegeben.

Das Bodenseegebiet hat in früheren Erdzeitaltern eine höchst wechselhafte und dynamische Geschichte durchlebt. Mehrmals war es als nördlicher Flachmeersaum des Urmeeres Tethys völlig vom Meer bedeckt. Die Zeit vor ca. 33 Mio. bis 10 Mio. Jahren wurde durch den Wechsel von Meeres-, Brackwasser- und Süßwasserverhältnissen geprägt, unter denen die mächtigen Sedimente der Meeres- und Süßwassermolasse abgelagert wurden. Während der Oberen Meeresmolasse vor ca. 24-18 Mio. Jahren war das Bodenseegebiet zum letzten Mal vom Meer bedeckt. In die Zeit der Oberen Süßwassermolasse fällt der Hegauvulkanismus (vor ca. 16,5 Mio. bis 7 Mio. Jahren), dessen stark erodierte Vulkane noch heute die Silhouette des westlichen Bodenseeraums prägen.

Die Entstehung des Bodensees selbst wurde mit der Alpenfaltung im Tertiär vorbereitet. Durch die immensen Spannungen in der Erdkruste, die bei der Entstehung der Alpen herrschten, entstand ein Vorlandbecken, das sich zunächst mit dem Abtragungsschutt des neu entstandenen Gebirges auffüllte. Im Pleistozän (Tab. 1.1-1) wurden diese Sedimente durch die z.T. über 1000 m mächtigen Gletscher der Riss- und Würmkaltzeit (Rheingletscher) zum Teil wieder abgetragen. Das dabei entstandene - durch tektonische Vorgänge bereits vorgezeichnete - Bodenseebecken erhielt durch die glaziale und fluviatile Erosion nach und nach seine heutige Form (Abb. 1.1-1).

Der Bodensee erlangte seine heutige Gestalt vor rund 10 000 Jahren

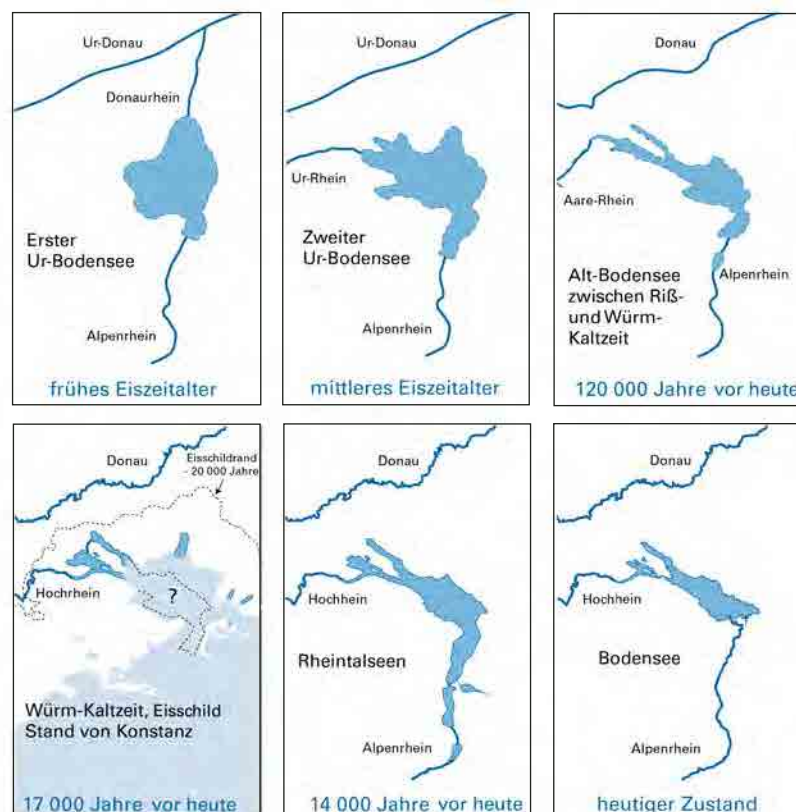


Abb. 1.1-1: Die Entstehung des Bodensees als Folge der Vergletscherung im Pleistozän [nach 4, 9, 10, verändert]

Bis in erdgeschichtlich jüngste Zeit veränderten sich auch der Zu- und Abfluss des Sees und seine Grösse erheblich. War der Alpenrhein im späten Tertiär noch ein direkter Zufluss zur Donau, durchfloss er danach den neu entstandenen Bodensee und verlagerte nach der Mindel-Kaltzeit seinen Ausfluss nach Westen. Vor rund 14 000 Jahren besaß der Bodensee als so genannter „Rheintalsee“ eine etwa doppelt so grosse Wasserfläche wie heute und erstreckte sich weit hinauf ins Alpenrheintal. Bereits 4000 Jahre später war dieser Teil des Sees jedoch wieder verfüllt [11, 12]. Das mit den Flüssen herantransportierte Sedimentmaterial führt auch heute noch zur allmählichen Verlandung des Bodensees (Abb. 2.4-7). So trug allein der Alpenrhein zwischen 1911 und 1979 jährlich 3 Mio. Kubikmeter Feststoffe in den See [13].

Beginn (vor heute)	Zeitalter, Perioden, Epochen		Entwicklung des Bodenseeraums, wichtige Vorgänge
3 Mio. Jahre	Tertiär	Pliozän (Jungtertiär)	<p>Ende der Hauptphase der alpinen Gebirgsbildung (Beginn vor ca. 10 Mio Jahren)</p> <p>Rhein ist Nebenfluss der Urdonau. Bodenseehochland ca. 800 m ü.M. Erste starke Klimaschwankungen.</p>
2,5 Mio. Jahre	K a n o z o i k u m Q u a r t ä r	P l e i s t o z ä n	<p>Während der <i>Kaltzeiten</i> ist der Bodenseeraum zum grössten Teil eisbedeckt. Das Schmelzwasser fliesst nach Westen ab. Der ausgedehnteste Gletschervorstoss (Riss-Kaltzeit) reicht bis über die Donau hinaus.</p> <p>In den <i>Warmzeiten</i> füllt sich das durch die Gletschervorstöße ausgeschürfte – tektonisch vorgezeichnete – Becken mit Wasser:</p> <p>Erstes flaches <b>Ur-Bodenseebecken?</b> (vor 1,3-0,9 Mio. Jahren)</p> <p><b>Erster Ur-Bodensee</b>, Seespiegel ca. 650 m ü.M. Der See verlandete innerhalb weniger Jahrtausende. Alpenrhein noch immer Nebenfluss der Donau. Heidelberger Mensch, Steppenmammut.</p> <p><b>Zweiter Ur-Bodensee</b>, Seespiegel ca. 600 m ü.M. Auch dieser See verlandete rasch. Der Rhein floss über den Hegau westwärts ab und wurde ein europäischer Strom. Steinheimer Mensch, Waldelefant.</p> <p>Ausgedehntester Gletschervorstoss (Riss) über die Donau hinaus. Endgültige Ausformung des Bodenseebeckens. Steppenelefant.</p> <p><b>Alt-Bodensee</b>, Seespiegel nur noch ca. 350 m ü.M. Dieser See verlandete nicht mehr. Der Rhein floss weiterhin über den Hegau westwärts. Neandertaler Mensch, Waldelefant.</p>
110'000 Jahre			W ä r m - K a l t z e i t
10'000 Jahre		H o l o z ä n	N a c h e i s z e i t b i s G e g e n w a r t

### Erdgeschichtliche Entwicklung des Bodenseeraums

Tab. 1.1-1: Zeittafel der jüngeren Erdgeschichte im Bodenseeraum [verändert nach 5, 9, 11]

## 1.2 Gestalt und Funktionen des Bodensees und seines Einzugsgebiets

### 1.2.1 Morphologie und Hydrologie

Das Einzugsgebiet des Bodensees einschließlich Seefläche umfasst rund 11 500 km<sup>2</sup> [14] (Abb. 1.2-1). Der Bodensee selbst besteht aus zwei Seeteilen, die sich in vielen Merkmalen voneinander unterscheiden: dem sehr viel größeren und tieferen Obersee (mit Überlinger See) und dem flachen Untersee (Abb. 1.2-2). Mit einem Gesamtvolumen von rund 50 km<sup>3</sup> trägt der Bodensee mit einem Anteil von immerhin 0,04 % zur Gesamtheit der Süßwasserseen der Erde bei [15].

**Bodensee als bedeutendes Süßwasserreservoir**

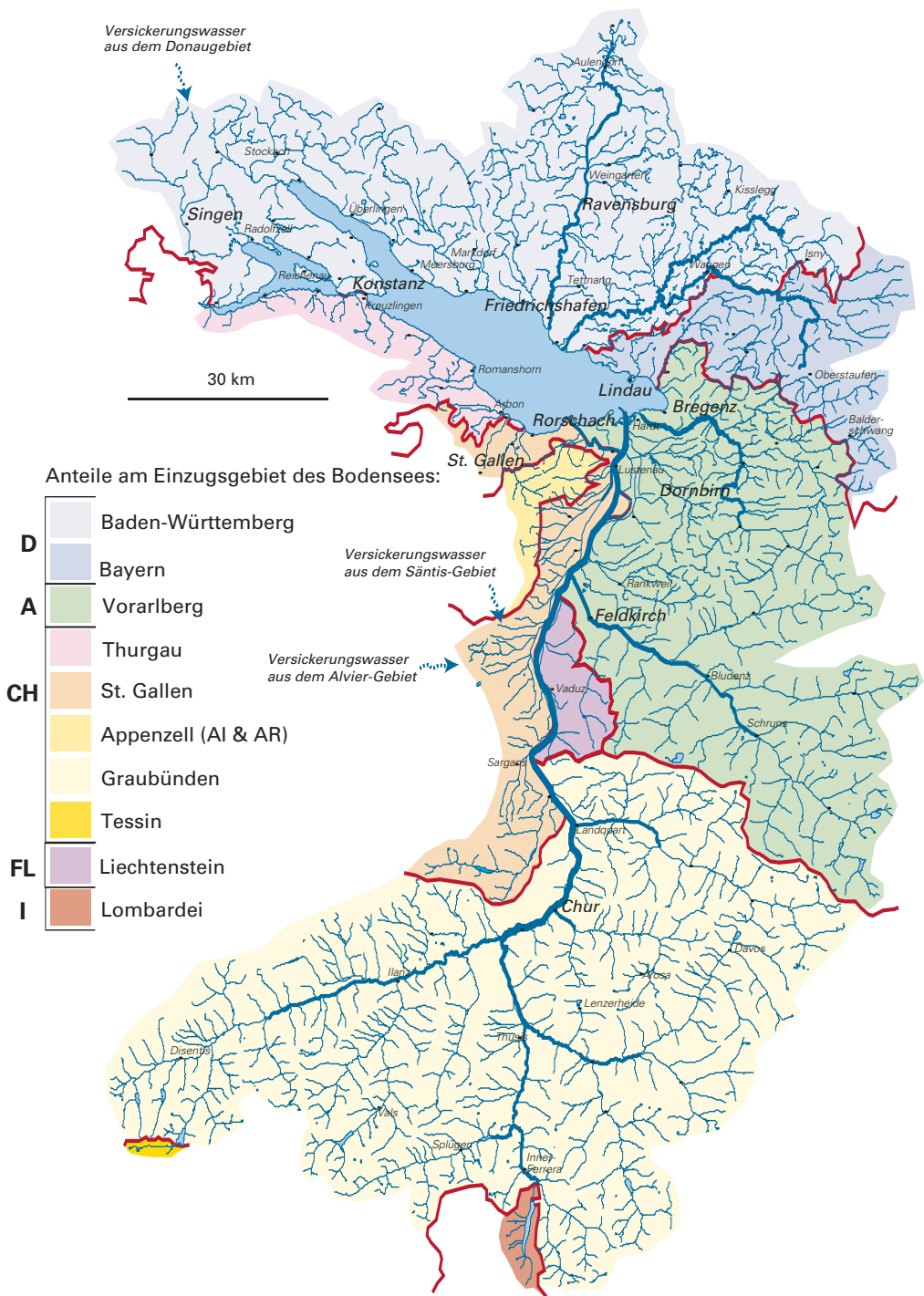


Abb. 1.2-1: Das Einzugsgebiet des Bodensees



Seedaten	Gesamter Bodensee		Obersee	Untersee
Mittelwasserstand			395,33 m ü. NN	395,11 m ü. NN
Oberfläche des Wassers	535 km <sup>2</sup>		472 km <sup>2</sup>	62 km <sup>2</sup>
Rauminhalt (Wasservolumen)	48,4 km <sup>3</sup>		47,6 km <sup>3</sup>	0,8 km <sup>3</sup>
maximale Tiefe			253 m	40 m
durchschnittliche Tiefe			101 m	13 m
Länge der Ufer	273 km		186 km	87 km
Uferanteile der Anlieger	Schweiz	Vorarlberg	Baden-Württ.	Bayern
Uferlänge (prozentualer Anteil)	72 km (26%)	28 km (10%)	155 km (57%)	18 km (7%)
Inseln	Reichenau	Mainau	Lindau	Konstanzer Insel
Umfang	11,0 km	3,0 km	3,0 km	0,6 km
Fläche	4,28 km <sup>2</sup>	0,44 km <sup>2</sup>	0,53 km <sup>2</sup>	0,02 km <sup>2</sup>

Tab. 1.2-1: Kenndaten zum Bodensee [7, 14, 16]

Die Wasserbilanz des Bodensees (Tab. 1.2-2) wird überwiegend von seinen Zuflüssen und dem Seeausfluss in den Hochrhein bestimmt. Rund 62 % des Wassers, das mit den Zuflüssen in den Bodensee gelangt, liefert der Alpenrhein.

**Der Alpenrhein ist der wichtigste Bodensee-Zufluss**

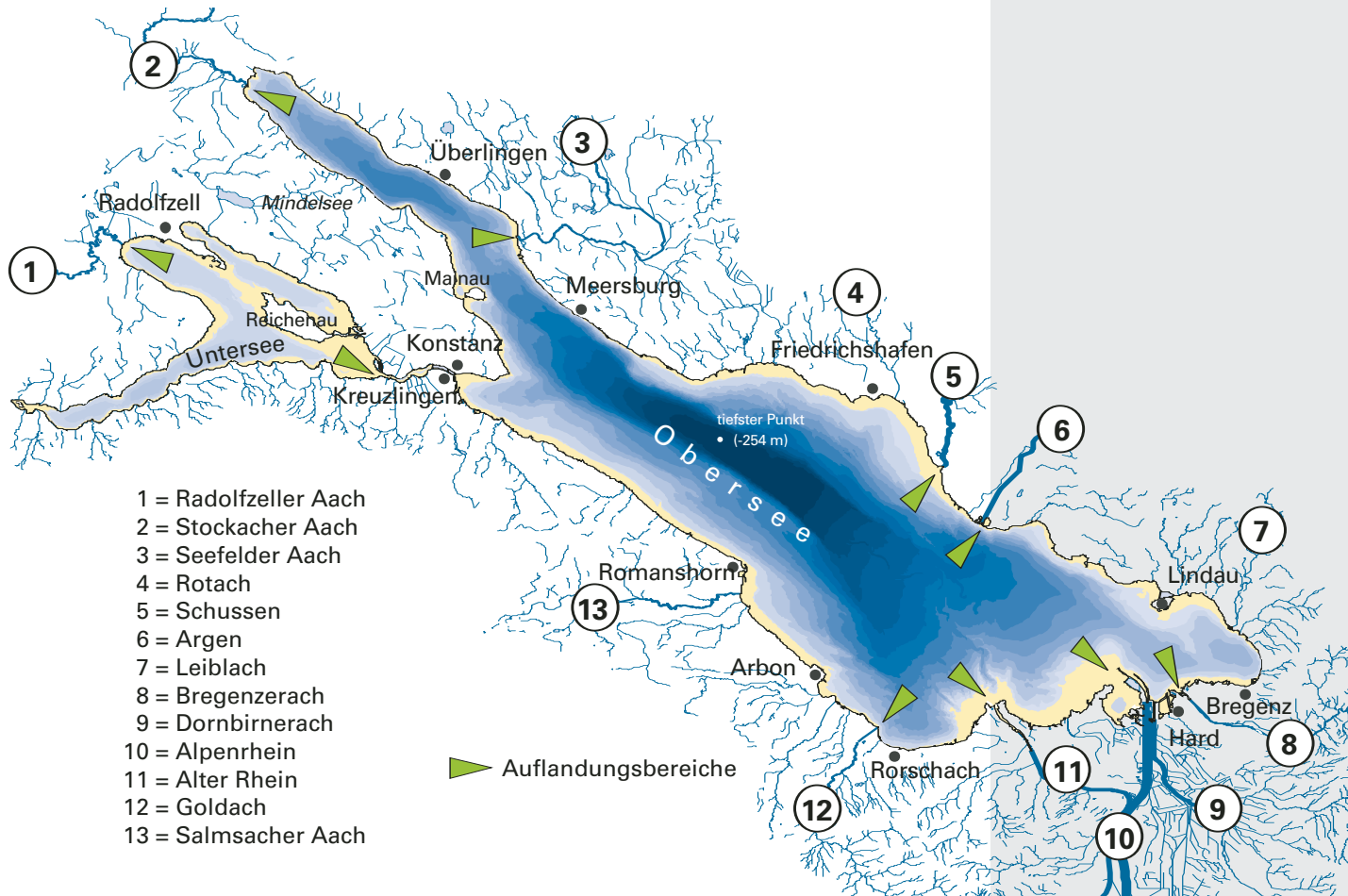


Abb. 1.2-2: Morphologie des Bodensees und seine größten Zuflüsse; die gelbe Fläche umgrenzt den Flachwasserbereich bis ca. 10 m Wassertiefe.

Bodensee-Zuflüsse	EZG - Flächenanteil (gerundet)		Abflussanteil mittlerer Jahresabfluss	
	km <sup>2</sup>	%	m <sup>7</sup> /s	%
Alpenrhein	6 119	56,1	230	61,8
Bregenzerach	832	7,6	46,8	12,6
Argen	656	6	19,2	5,2
Rheintal-Binnenkanal (alter Rhein)	360	3,3	14,9	4,0
Schussen	822	7,5	10,7	2,9
Dornbirnerach	196	1,8	4,9	1,3
Seefelder Aach	280	2,6	3,1	0,8
Rotach	130	1,2	1,8	0,5
Übrige	1508	13,9	37,6	10,2
Seefläche	535			
Wasseraustrag Bodensee (inkl. Seefläche)	11 438	100	372	100
<b>Wassereintrag Obersee (Gesamtbilanz)</b>				
Zuflüsse gesamt	10,95 km <sup>3</sup> /a			
Niederschlag auf die Seefläche	0,45 km <sup>3</sup> /a			
<b>Wasseraustrag Obersee (Gesamtbilanz)</b>				
Wasserentnahmen (Ausleitungen bis außerhalb Einzugsgebiet; Mittel der Jahre 1988-97)	0,17 km <sup>3</sup> /a			
Verdunstung von der Seefläche	0,29 km <sup>3</sup> /a			
Abfluss Seerhein (zwischen Ober- und Untersee)	10,98 km <sup>3</sup> /a			

Tab. 1.2-2: Wichtigste Zuflüsse des Bodensees; Flächenanteile am Einzugsgebiet, Abflussanteile und Wasserbilanz (Periode 1887 - 1987) [17, 18]

Der unmittelbare Niederschlag auf die Seefläche (durchschnittlich 0,45 km<sup>3</sup>/a) und die Verdunstung (durchschnittlich 0,29 km<sup>3</sup>/a) beeinflussen den Obersee-Abfluss von durchschnittlich 11 km<sup>3</sup>/a nur wenig. Dem Bodensee-Einzugsgebiet werden im Mittel 0,17 km<sup>3</sup>/a als Trinkwasser entzogen (Bodensee-Wasserversorgung in die Räume Stuttgart und Mannheim). Zusammen mit der Verdunstung entspricht dies etwa der mittleren Niederschlagsmenge auf die Seefläche.

Der Zufluss zum Bodensee erreicht im Juni sein Abflussmaximum (nivales bis glaziales Regime). Im See tritt der mittlere Höchststand im Juni/Juli und der Tiefstand im Februar auf. In der Regel verändert sich der Wasserspiegel im nicht regulierten Bodensee nur langsam. Während des Hochwassers im Mai 1999 jedoch stieg er binnen 24 Stunden um 47 cm an. Bei großen Hochwasserereignissen fließt dem See rund dreimal mehr Wasser zu (3500 m<sup>3</sup>/s) als abfließen kann, da die maximale Abflusskapazität durch die natürlichen Gegebenheiten auf rund 1 300 m<sup>3</sup>/s begrenzt ist. Die Differenz puffert der See mit seinen Überflutungsflächen ab. Bei Erreichen der Hochwassergrenze (ca. 397 m ü. NN.) vergrößert sich die Fläche um ca. 7,5 km<sup>2</sup> (Obersee) bzw. 5,6 km<sup>2</sup> (Untersee) [19].

Zeitreihen (1887-1987) verschiedener Pegel zeigen, dass die durchschnittlichen Wasserstände des Bodensees in neuerer Zeit tendenziell gefallen sind. Dafür verantwortlich sind möglicherweise Abgrabungen am Eschenzer Horn (in mehreren Phasen von 1876-1944), der Neubau der Rheinbrücke in Stein (nach 1972) und Erosionsvorgänge im Bereich der Konstanzer Schwelle und des Seerheins. Der Betrieb von

Die Trinkwasserentnahme beeinflusst den Wasserhaushalt des Sees kaum

Hochwasser kann die Seefläche um rund 13 km<sup>2</sup> vergrößern

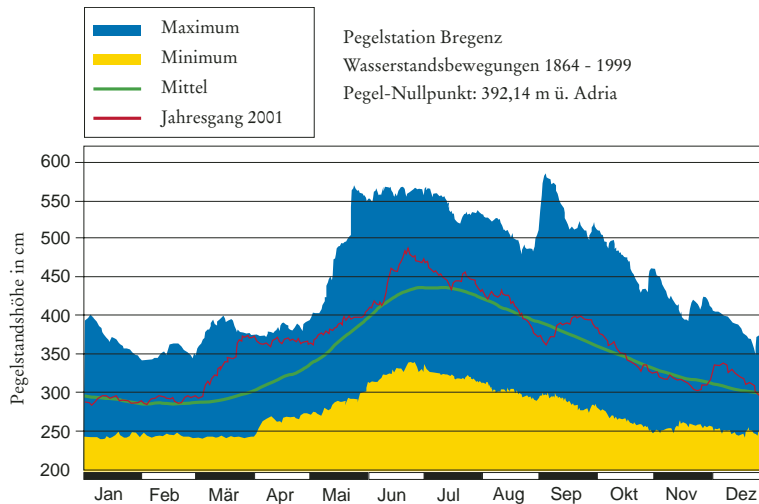


Abb. 1.2-3 Durchschnittlicher jährlicher Verlauf des Wasserstandes am Pegel Bregenz [20]

Kraftwerksspeichern im Einzugsgebiet, deren Ausbau vor allem in den 1940-1960er Jahren erfolgte, bewirkte eine leichte Verschiebung im jahreszeitlichen Verlauf des Zuflusses und der Seestände: Aufhöhung der Niedrigwasserstände und -abflüsse im Winterhalbjahr, Verminderung der Höchstwasserstände und -abflüsse im Sommerhalbjahr [18].

**1.2.2 Seekompartimente**

Der Begriff „Seekompartiment“ bezeichnet eine räumliche oder funktionelle Unter-einheit des Sees (Abb. 1.2-4) und dient dazu, die vielfältigen im See ablaufenden Prozesse zusammenzufassen und gliedern zu können. Räumliche Kompartimente des Bodensees werden auf der Basis ihrer Lebensraumfunktionen voneinander abgegrenzt. Sie stehen aber stets in mehr oder weniger intensiver Verbindung zueinander. Bestehen beispielsweise nur wenige räumliche und funktionelle Beziehungen zwischen dem Ufer und dem tiefen Seeboden, so sind der Flachwasserbereich (Litoral) und das Freiwasser (Pelagial) mit ihren jeweiligen Biozönosen eng miteinander verzahnt. Sich frei bewegende Bewohner, wie z.B. die Fische, durchwandern in ihrem Lebenszyklus verschiedene räumliche Kompartimente, während z.B. die festsitzenden höheren Wasserpflanzen oder viele wirbellose Bodenbewohner vorwiegend an einen Lebensraum gebunden bleiben.

**Seekompartimente sind räumliche und funktionelle Einheiten des Ökosystems Bodensee**



Abb. 1.2-4: Seekompartimente: abiotisch und biotisch veränderbare Komponenten und Funktionen des Bodensees

### 1.3 Bodensee und Mensch

#### 1.3.1 Nutzungsgeschichte des Bodensees und seines Umlandes

Seit der Bodensee seine heutige Form erlangt hat, verläuft seine Entwicklung parallel zur Nutzungsgeschichte durch den Menschen. Vor 20 000 - 17 000 Jahren, als der Rheingletscher in die Alpen zurückschmolz (Abb. 1.1-1), lebten die ersten „Bodensee-Menschen“ in der späteiszeitlichen Tundra als Jäger und Sammler. In der Jungsteinzeit (ab 5 000 v. Chr.) ermöglichten Ackerbau und Viehzucht eine sesshafte Ansiedlung. Bevorzugt wurden von Natur aus offene Stellen an See- und Moorrändern. Die Rodunginseln im Umkreis der Siedlungen waren von geringer Ausdehnung. Ab 4 000 v. Chr. wurde besonders die Uferzone des Bodensees als Siedlungslage genutzt. Die erhaltenen Reste neolithischer und bronzezeitlicher Ufersiedlungen – besser bekannt als Pfahlbauten – stellen heute einzigartige prähistorische Quellen dar und gehören zu den wichtigsten Kulturgütern der Region [22].

Ab ca. 600 v. Chr. war die Landschaft zunehmend stärkeren menschlichen Eingriffen ausgesetzt. Die über weite Teile Mitteleuropas herrschenden Kelten setzten ihr Wissen über die Eisengewinnung auch zur Herstellung landwirtschaftlicher Geräte (Sensen, Pflugscharen) ein. In der Folge wurden die Rodunginseln mit Mähwiesen und Äckern stark ausgeweitet [21].

Der See wurde sehr bald auch als Verkehrsweg genutzt. Nach der Eroberung des Gebietes um Christi Geburt durch die Römer und nach einem starken Ausbau der Handelsstrassen gewann der Fährverkehr erstmals größere Bedeutung. Die Region entwickelte sich in den nächsten Jahrhunderten kontinuierlich weiter, und mit dem

Seit rund 7 000 Jahren gibt es Siedlungen am Bodensee

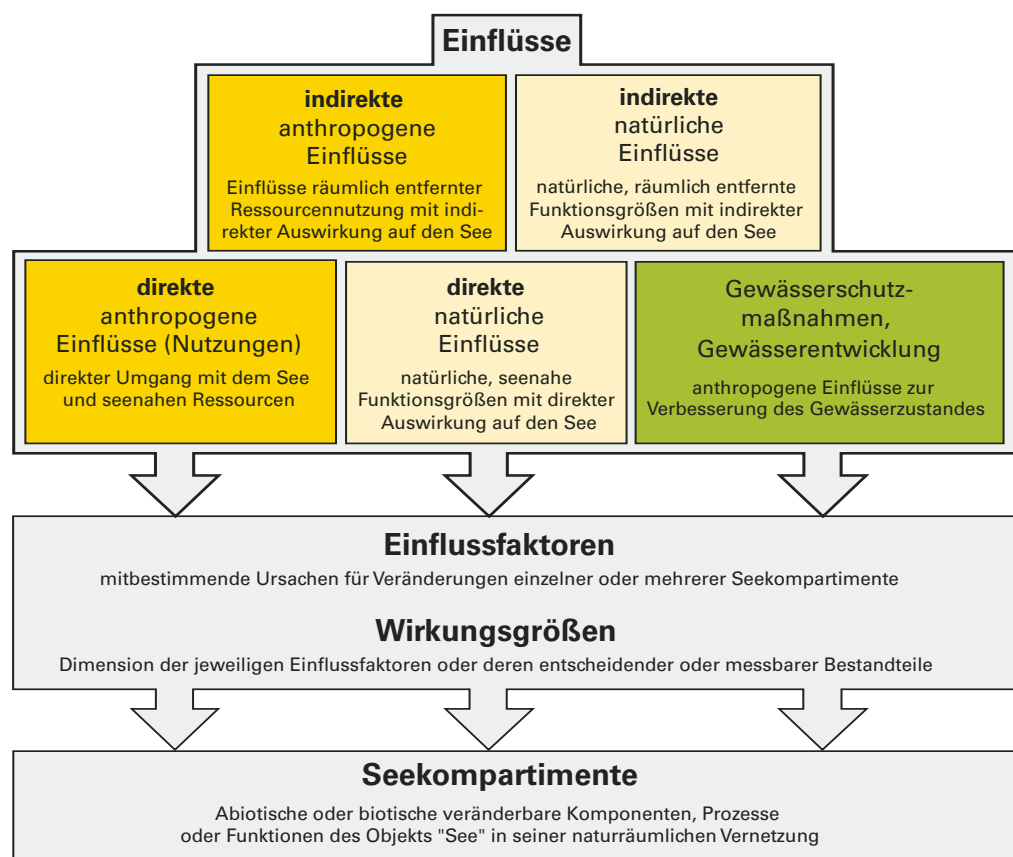


Abb. 1.3-1: Begriffliche Abgrenzungen der auf den Bodensee wirkenden Einflüsse

Aufblühen der Märkte und Städte nahm die Bodenseeschifffahrt als Personen- und Lastschifffahrt im Mittelalter ihren größten Aufschwung [23].

Im 19. Jh. nahm die Handelsschifffahrt auf dem Bodensee durch die Einführung von Dampfschiffen noch einmal deutlich zu, konnte sich jedoch angesichts des Ausbaus der Verkehrswege auf dem Land nicht durchsetzen. Heute ist die Bodenseeschifffahrt vorwiegend durch Tourismus (Fahrgastschiffe) und Naherholung (Sportboote) geprägt.

**1.3.2 Belastungsgeschichte des Bodensees**

Auf den Bodensee wirkt eine Vielzahl natürlicher und anthropogener Einflüsse unterschiedlichster Art ein (Abb. 1.3-1). Sie verändern die Wirkungsgrößen von Einflussfaktoren und können dadurch negative oder positive Auswirkungen auf das System See haben.

Bereits seit 7 000 Jahren wirken menschliche Eingriffe auf den Naturraum Bodensee. Seit dieser Zeit wurde das Umland des Sees durch Rodungen, Siedlungen, Feldwirtschaft und Viehzucht kontinuierlich verändert. Schon für die Zeit um 1600 v. Chr. werden als Folge der Rodungen Spuren einer verstärkten Erosion festgestellt.

**Kulturelle Blütezeit im Mittelalter**

**Rodungen veränderten seit ca. 1600 v. Chr. das Bild der Bodensee-Landschaft**

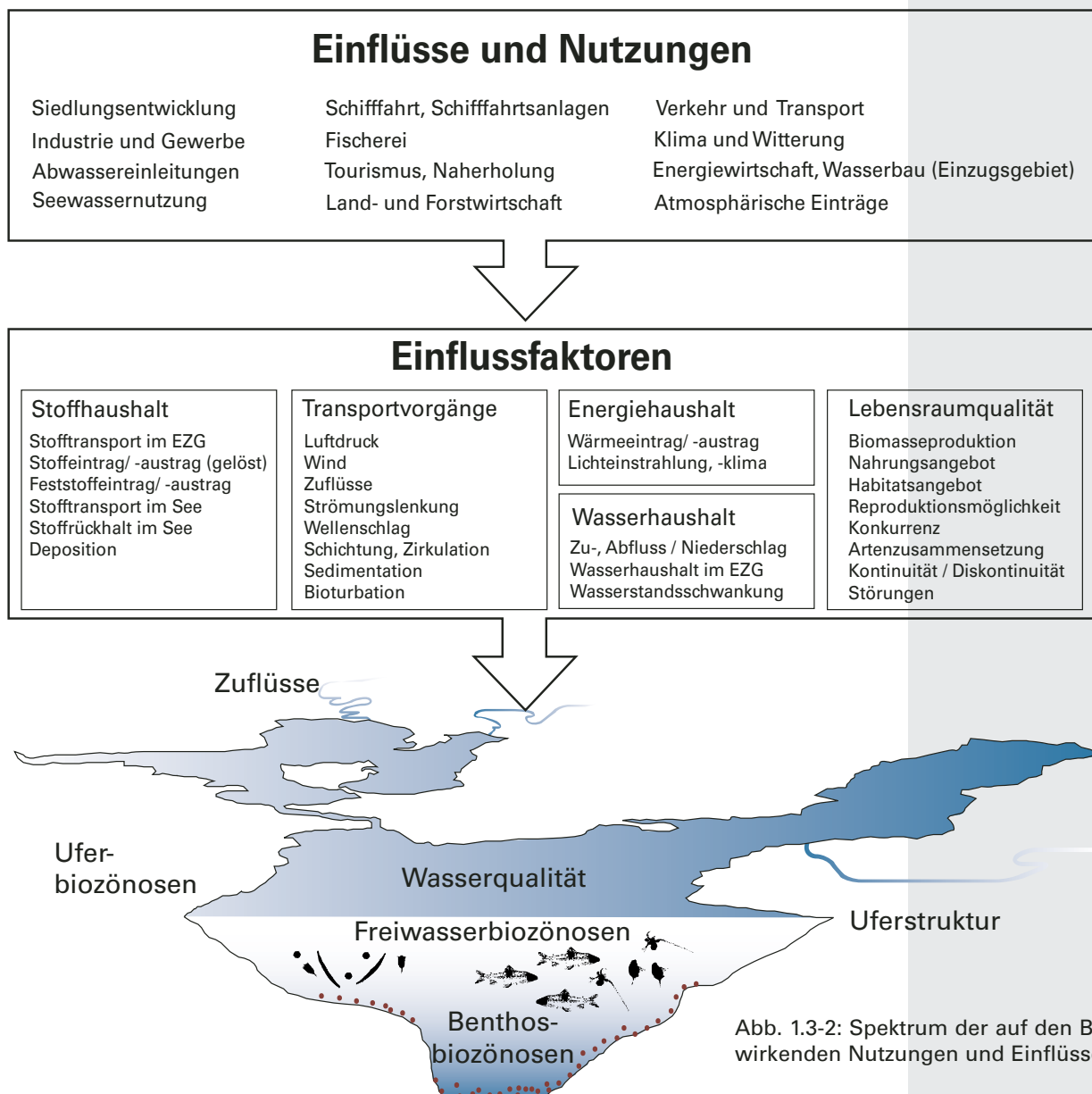


Abb. 1.3-2: Spektrum der auf den Bodensee wirkenden Nutzungen und Einflüsse

Als Leitbild für den angestrebten Seezustand werden die noch naturnahen Verhältnisse Mitte des 19. Jahrhunderts herangezogen

Der See selbst wurde durch die frühen Nutzungen – Fischerei, Schifffahrt, Ufersiedlungen – allenfalls lokal belastet. Bis ins 19. Jahrhundert kann der Bodensee – trotz bereits zunehmenden Uferverbaus und Abwassereinleitung – als weitgehend naturnah bezeichnet werden. Dieser Zustand kann – soweit er rekonstruierbar ist – als historische Referenz bei der Beurteilung der Naturnähe des aktuellen Seezustandes dienen. Darüber hinaus kann er als Leitbild bei der Durchführung verschiedener Maßnahmen am See herangezogen werden (Abb. 1.3-3).



Abb. 1.3-3: Der Bodensee und seine Ufer um 1850. a: Naturufer am Untersee; b: Erste Hafenanlagen für Dampfschiffe (Ludwighafen); c: Insel Mainau; d: Bregenzer Bucht [24, 25]

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts intensivierten sich mit dem starken Bevölkerungswachstum die Nutzungen und zugleich auch die Belastungen des Bodensees und seines Einzugsgebiets. Befestigungen der Ufer, die Zersiedlung der ufernahen Bereiche (Kap. 2.1, 3.1), die Regulierungen der Zuflüsse (Kap. 2.4) sowie Schadstoffeinträge aus Kommunen (Kap. 3.2), Industrie (Kap. 3.3) und Landwirtschaft (Kap. 3.6) nahmen stetig zu. Die zunehmende Intensivierung der Motorschifffahrt (Kap. 3.4) führte zu weiteren stofflichen Belastungen des Sees, Störungen der Biozönosen und massiven Uferveränderungen durch den Bau zahlreicher Hafenanlagen. Ähnliches gilt auch für die verkehrsbedingten Belastungen und Veränderungen (Kap. 3.5). Der Aufschwung von Tourismus und Naherholung in den 1920er und vor allem 1950er Jahren führte zum Ausbau der Uferzone für Freizeiteinrichtungen und Verkehrsverbindungen (Kap. 3.7). Die Bodenseefischerei wurde im 20. Jahrhundert durch effektivere Fangmethoden stark intensiviert. Die Fischbestände wurden aber schon sehr früh durch Fangvorschriften geschützt und durch Besatz gestützt [26] (Kap. 3.9).

## Literatur

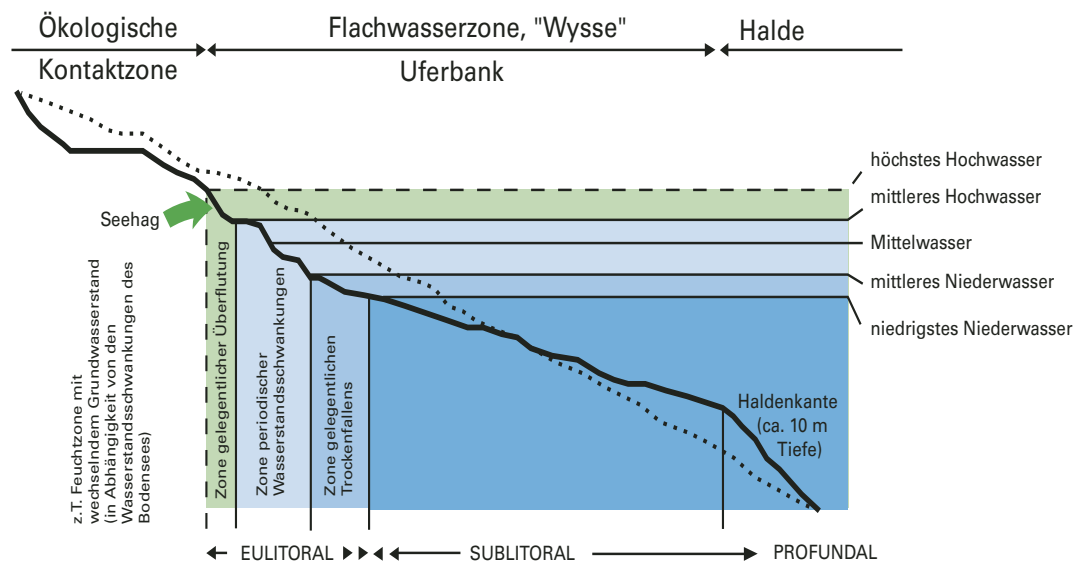
- [1] HOFMANN, F. (1982): Die geologische Vorgeschichte der Bodenseelandschaft. - in: Maurer, H. (Hrsg), Der Bodensee: Landschaft - Geschichte - Kultur; Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung 99/100: 35-67
- [2] HOFMANN, F. (1989): Geologie des Bodenseeraums. - Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 87/1: 4-8, Baden-Dättwil
- [3] KRAYSS, E. & KELLER, O. (1989): Die eiszeitliche Reliefentwicklung im Bodenseeraum. - Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 87/1: 8-12, Baden-Dättwil
- [4] FURRER, G. (1991): 25000 Jahre Gletschergeschichte. - Neujahrsblatt Naturforschende Gesellschaft Zürich, Zürich 1991
- [5] KELLER, O. (1994): Entstehung und Entwicklung des Bodensees - ein geologischer Lebenslauf. - in: Maurer, H. (ed.), Umweltwandel am Bodensee, S. 33-92, UVK, St.Gallen
- [6] MÜLLER, E. R. (1995): Neues zur Geologie zwischen Thur und Rhein. - Mitt. thurg. naturf. Ges. 53: 9-42
- [7] WESSELS, M. (1998): Geological history of the Lake Constance area. - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnology 53: 1-12
- [8] KELLER, O. & KRAYSS, E. (2000): Die Hydrographie des Bodenseeraums in Vergangenheit und Gegenwart. - Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft 89: 39-56, St. Gallen
- [9] BODENSEE NATURMUSEUM KONSTANZ (Hrsg., 2000): Vom See, seiner Entstehung und seiner Umwelt. - Führer durch das Bodensee-Naturmuseum Konstanz. 82 S.
- [10] BÜHRER, H. (o. J.): - <http://www.ngzh.ch/Neuj1991.html>
- [11] HANTKE, R. (1992): Die Entstehung des Alpenrheintales. - in: Internationale Rheinregulierung Rorschach (ed.): Der Alpenrhein und seine Regulierung, S. 20-30, Buchs Druck Verlag, Buchs
- [12] KELLER, O. (1990): Die geologische Entwicklung des Alpenrheintals. - Werdenberger Jahrbuch, Buchs SG 1990
- [13] LAMBERT, A. (1989): Das Rheindelta im See. - Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 87/1: 29-32, Baden-Dättwil
- [14] IGKB (1993): Limnologischer Zustand des Bodensees. Grundlagen. (Stand 1993). - Jahresbericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee Nr. 9, 2. überarbeitete Auflage, 60 S., Eigenverlag
- [15] VISCHER, D. (1990): Der Bodensee, seine Zuflüsse, seine Schwankungen, sein Abfluss. Eine hydrologische Übersicht. - Wasser, Energie, Luft - eau, énergie, air 82 (7/8): 137-141
- [16] BRAUN, E. & SCHÄRPE, K. (1994): Internationale Bodensee-Tiefenvermessung 1990. - Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, 98 S., Anlagen u. Karten
- [17] GURTZ, J., LANG, H., LUFT, G., STROBEL, F. & WAGNER, G. (1997): Untersuchung der Wasserbilanz des Bodensees. - Geographisches Institut ETH Zürich, Berichte und Skripten 61, 82 S
- [18] LUFT, G. (1993): Langfristige Veränderung der Bodensee-Wasserstände und mögliche Auswirkungen auf Erosion und Ufervegetation. - in: Seeuferzerstörung und Seeuferrenaturierung in Mitteleuropa (Hrsg.: Ostendorp, W. & Krumscheid-Plankert, P.), Limnologie aktuell Band 5: 61-75
- [19] IGKB (1997): Seelexikon. Seearithmetik. - Seespiegel Nr. 5
- [20] LANDESWASSERBAUAMT BREGENZ (2002): Jahrgangslinie 2001 Pegel Bregenz - [www.vorarlberg.at/pdf/2001seejahresganglinie.pdf](http://www.vorarlberg.at/pdf/2001seejahresganglinie.pdf)
- [21] LANG, G. (2000): Landschaftsgeschichte des Bodenseeraums – von der Naturlandschaft zur Kulturlandschaft. - in: Was haben wir aus dem See gemacht? Kulturlandschaft Bodensee. Landesdenkmalamt Baden-Württemberg Arbeitsheft 10: 9-17
- [22] BREM, H. & SCHLICHOTHERLE, H. (2000): „Nasse Denkmäler“ – Chancen und Probleme des Kulturgutes unter Wasser. - in: Was haben wir aus dem See gemacht? Kulturlandschaft Bodensee. Landesdenkmalamt Baden-Württemberg Arbeitsheft 10: 19-30
- [23] BURMEISTER, K. H. (1982): Geschichte der Bodenseeschifffahrt bis zum Beginn des 19. Jhdt. - Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung, 99/100: 165-188
- [24] EUGEN HUHNS (1842-1850): Das Großherzogtum Baden in malerischen Originalansichten. - Darmstadt bei G.G. Lange, 1842-50.
- [25] TOMBLESON, W. (1832): Tombleson's Upper rhine. - Edited by W. G. Fearnside. London, Tombleson & Comp., 1832.
- [26] INTERNATIONALE BEVOLLMÄCHTIGTENKONFERENZ FÜR DIE FISCHEREI IM BODENSEE-OBERSEE (IBKF, 1893): Übereinkunft betreffend die Anwendung gleichartiger Bestimmungen für die Fischerei im Bodensee (Bregenzer Übereinkunft).

# Der Lebensraum Bodensee - bisherige Entwicklung, gegenwärtiger und angestrebter Zustand

## 2.1 Ufer- und Flachwasserzone

### 2.1.1 Charakteristik und gegenwärtiger Zustand

Rund 15 % der Seeoberfläche liegen über dem Flachwasserbereich. Landseitig beginnt der Uferbereich mit dem *Seehag* (Uferkante), seeseitig schließen sich das zeitweilig überflutete *Eulitoral* und das ständig überflutete *Sublitoral* an (Brecher- und Brandungszone), welches sich bis zur *Halde* (Refraktionszone) erstreckt (Abb. 2.1-1).



**Anteile der Bodenseeanrainer an der Flachwasserzone:**

<b>Vorarlberg:</b>	15 km <sup>2</sup>
<b>Schweiz:</b>	16 km <sup>2</sup>
<b>Bayern:</b>	5 km <sup>2</sup>
<b>Baden-Württ.:</b>	39 km <sup>2</sup>

Abb. 2.1-1: Schematische Gliederung der Flachwasserzone (Litoral) des Bodensees. Charakteristisches Uferprofil des ursprünglichen (gestrichelte Linie) und des durch Erosion und Ablagerung entstandenen heutigen Seebeckens (durchgezogene Linie) [nach 1, 2]

Die Breite der Uferbank liegt im Überlingersee zwischen 20 und 30 m und im Bereich des Rheindeltas bei 2000 m. Charakteristisch für den Bodensee sind die Erosionsufer. Auch die heutige Uferbank oder *Wyse* entstand durch den Abtrag von Material im landseitigen Teil und seiner Ablagerung auf der Halde. Der Typ des Ablagerungs- bzw. Akkumulationsufers findet sich an Flussmündungen, wo das herangeführte Material abgelagert wird und sich als Delta in den See vorschiebt.

Im Ufer- und Flachwasserbereich sind Land und Wasser komplex miteinander verzahnt; hier finden ausgeprägte Austauschprozesse zwischen Land, Luft, Wasser und Seeboden statt. Der gesamte Bereich ist lichtdurchflutet und beherbergt die mit Abstand größte Vielfalt an Lebensräumen und Biozönosen im Bodensee.

### Wichtige Einflussfaktoren

Der Flachwasserbereich (Litoral) des Bodensees, die darin ablaufenden Prozesse und seine Biozönosen werden durch eine Vielzahl von Einflussfaktoren gestaltet (Abb. 2.1-2). Das Ausmaß der Einwirkungen der einzelnen Faktoren hat sich durch anthropogene Einflüsse zum Teil so verändert, dass erhebliche Defizite der Struktur und der Funktion dieses Lebensraumes auftreten.

**Land, Luft, Wasser und Seeboden sind in der Flachwasserzone eng miteinander vernetzt**





Bei Sturm ist der Bereich der "Wysse" erkennbar - als Trübungszone durch aufgewirbelte Sedimente der Uferbank. Foto [a]

Vor Eriskirch hat die Schussen ein ausgeprägtes Mündungsdelta aufgeschüttet. Foto [k]

Ein natürlicher Jahresverlauf der Zu- und Abflüsse mit entsprechenden *Wasserstandsschwankungen* prägt wesentlich die Biozönosen (v.a. in Reproduktionszeiten) und den Stoffhaushalt des Litorals. Als Folge anthropogener Eingriffe in den Wasserhaushalt, wie Abflussbeschleunigung in kanalisierten Zuflüssen und Wasserrückhalt im Einzugsgebiet, haben sich die natürliche Wasserstandsperiodik und die Hochwasseramplituden im See verändert (siehe Kap 1.2.1).

Wasserstandsschwankungen prägen über den Angriffsbereich und die Stärke des *Wellenschlags* und unterschiedliche *Strömungen* das Erosionsgeschehen und damit die Morphologie des Bodenseelitorals. Während bei natürlichen Ufern, v.a. Flachufern, die Energie der auflaufenden Wellen weitgehend schadlos abgepuffert

**Wasserhaushalt**

**Transportvorgänge**

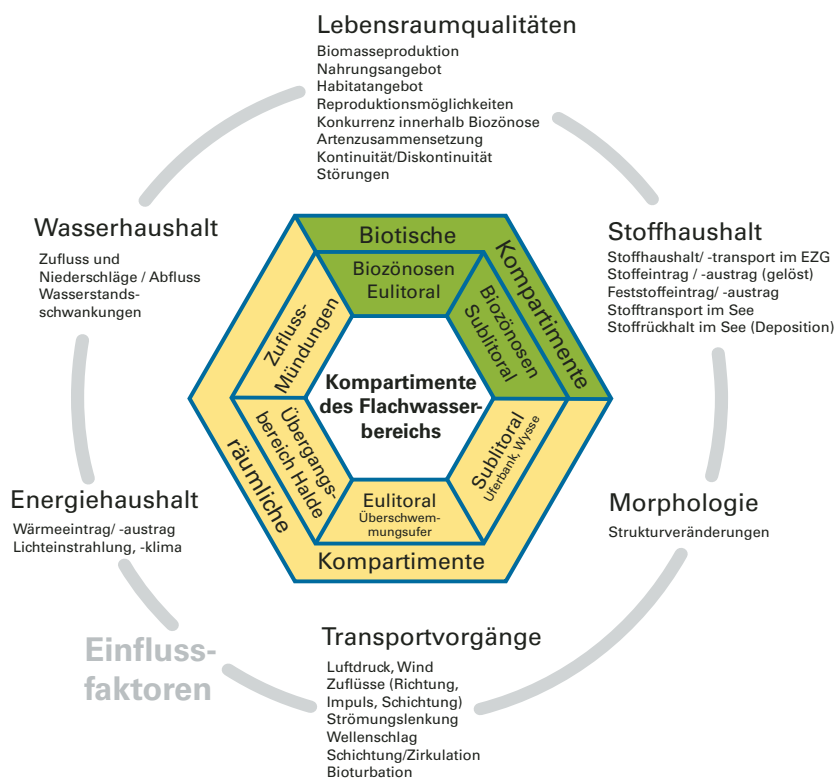


Abb. 2.1-2: Einflüsse auf die Kompartimente des Flachwassers und des Uferbereichs

**Licht- und Energiehaushalt**

wird, wird sie bei hart verbauten Ufern (Mauern etc.) reflektiert oder uferparallel umgelenkt. So kommt es besonders in benachbarten unverbauten Uferabschnitten zu starken Erosionserscheinungen und zur Kliffkantenbildung [3, 4].

Die Lichtdurchflutung bis zum Seeboden und die Möglichkeit zur benthischen (an den Seeboden gebundenen) Primärproduktion unterscheidet den Flachwasserbereich besonders vom Freiwasser. Das *Lichtklima* des Litorals wird durch Trübung infolge unterschiedlicher Phytoplanktondichten, durch aufgewirbeltes Sediment oder durch Schwebstoffe aus den Zuflüssen beeinflusst. Auch der *Energieein- und -austrag* läuft im Litoral intensiver und schneller ab als im Freiwasser.

**Stoffhaushalt**

Durch die Zuflüsse erfolgen neben Feststoffeinträgen (Sedimentationsmaterial) auch beträchtliche Einträge von Nähr- und Schadstoffen in den See, die sich im Litoral besonders deutlich auswirken. Trophiegrad (Abb. 2.1-3) und Sedimentbelastung sind in den Bereichen um die Flussmündungen am höchsten.

Weit stärker als der Freiwasserbereich wird das Bodensee-Litoral durch *diffuse Einträge* aus dem Uferbereich beeinflusst. Ein großer Teil der eingetragenen Stoffe wird dort zunächst festgelegt, infolge der hohen Umsatzraten abgebaut oder wieder freigesetzt und verfrachtet. Diese erhöhten Stoffeinträge können die sensible Flachwasserzone beeinträchtigen.

Die Bedeutung der Flachwasserzone mit ihren Biozönosen ist für den *Stoffhaushalt* des Sees erheblich. Die biologische Aktivität in den Flachwassersedimenten übertrifft die der Tiefensedimente um ein Vielfaches [5, 6].

*Biozönosen*

Das Flachufer des Bodensees bietet an vielen Abschnitten gute Standortbedingungen für dichte *Schilfbestände* (*Phragmites australis*), die von zahlreichen Tierarten genutzt werden. Einige Vogelarten kommen am See ausschließlich in diesem Lebensraum vor. Durch seine tiefe Durchwurzelung ist Schilf ein wesentlicher Faktor des Uferschutzes. Die Schilfbestände, die sich mit dem Anstieg des Nährstoffgehaltes des Sees bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts zunächst ausdehnten, erlitten zwischen den frühen 1960er Jahren und der Mitte der 1980er Jahren Verluste um bis zu 50%. Als Gründe hierfür werden hydrologische Faktoren, wie ungewöhnliche Wasserstände, aber auch Auswirkungen der Eutrophierung, wie z. B. eine Schwächung der Halmstabilität oder mechanische und chemische Belastungen durch Algenwatten diskutiert [7-11].

Auf kiesigen, nährstoffarmen Flächen siedelt die heute seltene Pflanzengesellschaft des *Strandrasens* mit den Charakterarten Bodensee-Vergissmeinnicht (*Myosotis rehsteineri*) und Strandschmiele (*Deschampsia rhenana*). Inzwischen ausgestorben sind der Bodensee-Steinbrech (*Saxifraga oppositifolia ssp. amphibia*) und die Riednelke (*Armeria purpurea*). Ebenso wie die Schilfbestände erlitten die Strandrasen, deren wesentlicher Standortfaktor die natürlichen Wasserspiegelschwankungen sind, in der

**Schilfbestände sind ein vielfältiger Lebensraum und wesentlicher Faktor des Uferschutzes**

**Der Strandrasen ist überall am Bodensee gefährdet**

Strandrasen am Bodenseeufer bei Niedrig- und bei Mittelwasser: Die Pflanzen werden im Zeitraum Ende April bis Mitte Oktober durchschnittlich 2-6 Monate lang überschwemmt. Fotos [a]



Zeit der starken Eutrophierung des Bodensees deutliche Bestandseinbußen [12]. So wurden sie unter Anschwemmungen von Algen erstickt oder Opfer einer intensiven Strandnutzung (z.B. Badebetrieb).

Auch die *Makrophytenbestände* litten unter dem hohen Trophiegrad des Sees bis zu Beginn der 1980er Jahre. Während Makrophyten unter günstigen Lichtbedingungen bis in über 15 m Tiefe wachsen können (Characeen), reduzierte sich dieser Bereich bei zunehmenden Phytoplanktondichten und damit geringerem Lichteinfall während der See-Eutrophierung auf eine Tiefe von weniger als 8 m [15]. Einige Arten verschwanden hierdurch fast vollständig. Mit abnehmender Nährstoffbelastung war die Tiefengrenze im Gnadensee 1993 wieder auf 12 m angestiegen und verschollene Arten kehrten in teilweise ausgedehnten Beständen wieder zurück [14]. Der durch den Makrophytenindex angezeigte *Trophiegrad* (Ernährungszustand) der Flachwasserzone nahm in dieser Zeit vor allem in den westlichen Seeteilen deutlich ab (Abb. 2.1-3).

**Makrophyten sind Anzeiger für den Trophiegrad der Flachwasserzone**

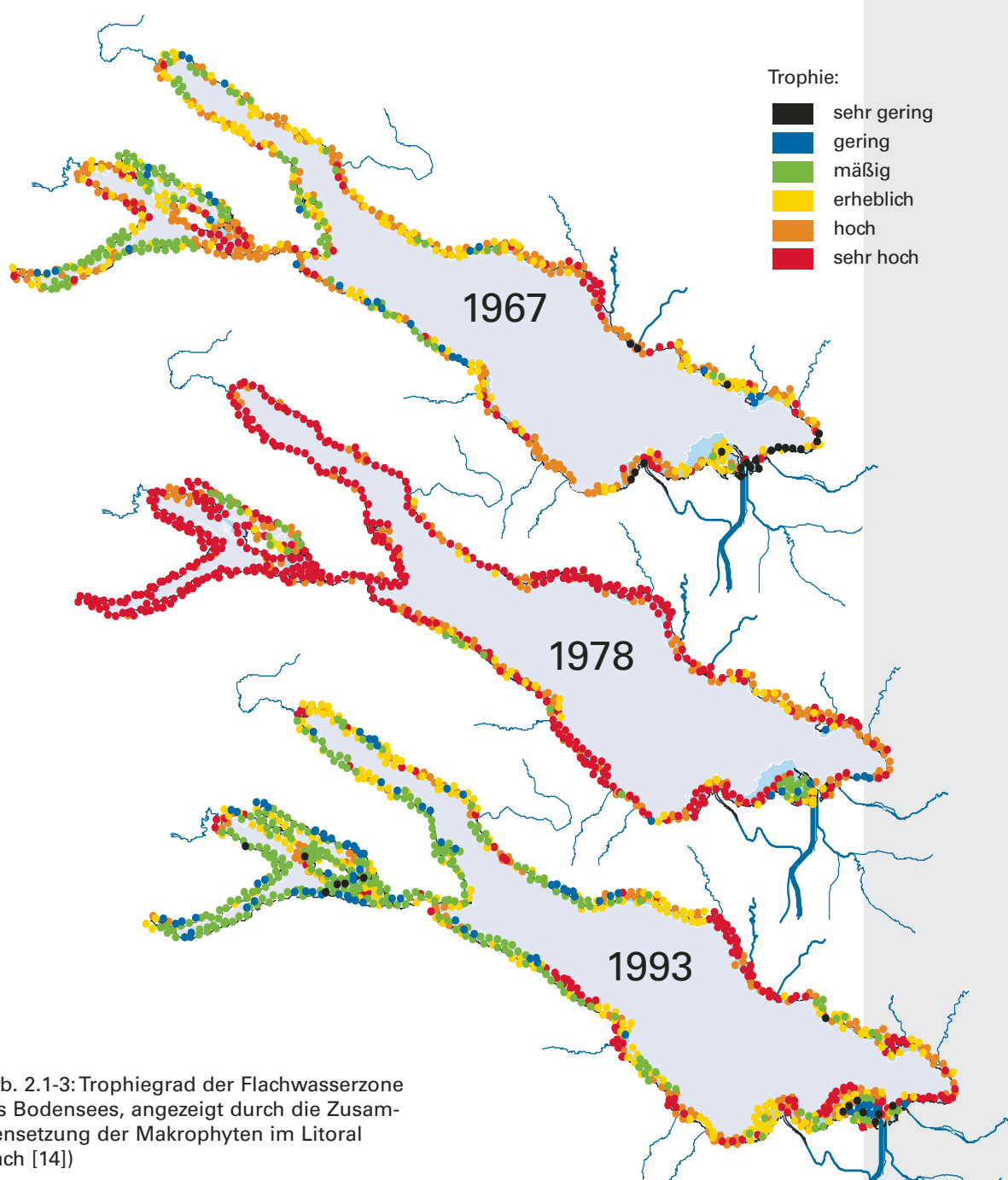


Abb. 2.1-3: Trophiegrad der Flachwasserzone des Bodensees, angezeigt durch die Zusammensetzung der Makrophyten im Litoral (nach [14])

### Massenvermehrung der Zebramuscheln

### Auffällige Bewohner des Flachwasserbereichs

**a)** Armleuchteralgen überwachsen das Bodenseelitoral bis zur Lichtgrenze in ca. 15 m Tiefe.

**b)** Grünalgenaufwuchs im Flachwasser.

**c)** Zebramuscheln wurden Mitte der 1960er-Jahre eingeschleppt und siedeln im Bodensee in z.T. flächen-deckenden Beständen.

**d)** Das Bodenseelitoral ist heute wieder dicht besiedelt mit Großkrebsen. Die die meisten Arten sind jedoch Neueinwanderer (Neozoen).

**e)** Tafel- und Reiherenten sind häufige Wintergäste am Bodenseeufer. Sie ernähren sich hauptsächlich von Zebramuscheln, die sie bis in eine Tiefe von 8-9 Metern abweiden.

**f)** In den Schilfgürteln liegen die Brutplätze der meisten Wasservögel.

**g)** Die Flachwasserzone ist die Kinderstube der meisten Bodenseefische. Brütlinge und Jungfische halten sich hier den ganzen Sommer über auf. Das flache Wasser bietet Nahrung und Schutz vor Fressfeinden.

**h)** Neben dem Felchen ist der Flussbarsch (Kretzer, Egli) der bekannteste Bodenseefisch. Er klebt seine Laichballen an Pflanzstängel im Flachwasser.

Fotos [i]

Veränderungen im Zusammenhang mit der Bodensee-Eutrophierung traten auch bei der *Benthosbesiedlung* des Bodenseelitorals auf [15]. Während fädige Grün- und Kieselalgen, Blaualgen und autochthone Bakterien durch Massenentwicklungen auffielen, veränderte zur gleichen Zeit die Zebramuschel *Dreissena polymorpha* das Substrat der Flachwasserzone. Die ursprünglich aus dem Schwarzmeerraum stammende Art siedelt heute in bis zu fünffachen Schichten auf diversen Hartsubstraten. Zebramuscheln dienen seither zahlreichen Wasservögeln als Nahrung [16]. Im Winter werden sie bis zur maximalen Tauchtiefe der Tauchenten (ca. 8-9 m) abgeweidet.

Zahlreiche *Vogelarten* nutzen den Uferbereich als Brut- und die Flachwasserzone als Nahrungsraum. Der Flachwasserbereich des Bodensees ist ein bedeutendes europäisches Überwinterungsgebiet für Wasservögel. Auffällige Bestandsveränderungen zeigten vor allem die Tauchenten (z.B. Reiherenten) - Wintergäste, die mit dem erhöhten Nahrungsangebot an Zebramuscheln stark zugenommen haben. Die Bestände der Kolbenente, welche die Characeenrasen beweidet, wurden mit der Zunahme der Armleuchteralgen im reoligotrophierten Bodensee zusehends häufiger.



Für zahlreiche *Fischarten* ist das Bodensee-Litoral ein wichtiges Laichgebiet [17] und Jungfischhabitat. Fischlarven und Jungfische finden hier stets gute Deckung (z.B. Makrophyten) und Nahrung in geeigneter Beutegröße. Zahlreiche Fischarten nutzen während des Sommerhalbjahres das Litoral. Mengenmäßig überwiegen dabei die Barsche – der Flussbarsch (Egli, Kretzer) und der Mitte der 1980er Jahre eingeschleppte Kaulbarsch [18]. Die Bestände dieser beiden Arten haben allerdings in letzter Zeit wieder abgenommen (R. Berg, mündl. Mitt.). Nur zwei Arten, Schmerlen und (junge) Trütschen, nutzen diesen Lebensraum ganzjährig [19]. Die früher im Litoral des Untersees häufige Groppe ist heute im gesamten Bodensee selten [20]. In den letzten Jahren wurden jedoch vereinzelte Vorkommen im Litoralbereich des nördlichen Obersees bekannt (R. Berg, mündl. Mitt.). Für kieslaichende Arten haben sich die Reproduktionsverhältnisse in den letzten Jahrzehnten offenbar verschlechtert. Am Untersee zeigte sich beispielsweise ein deutlicher Rückgang der Äschen-Laichplätze, der vor allem auf Verlust kiesiger Laichsubstrate durch Kiesabtrag zurückzuführen ist [21]. Fischereilich genutzt werden im Litoral vor allem die Bestände des Aals, des Sandfelchens, des Hechts und des Barsches.

**Flachwasserzonen sind die Kinderstube der meisten Bodenseefische**

**2.1.2 Belastungen und Defizite**

*Morphologische Defizite des Bodenseelitorals*

Das Bodenseelitoral unterliegt als exponierter Übergangsbereich zwischen Wasser und Land besonders stark der Wirkung klimatischer und hydrologischer Einflüsse, aber auch einer Vielzahl verschiedener Nutzungen.

Die Nutzung des direkten Uferbereichs als Siedlungsraum brachte die Notwendigkeit baulicher Einrichtungen zum Schutz vor Erosion und Hochwasser mit sich. Aufschüttungen und Ufermauern finden sich heute vor allen größeren Orten, wie

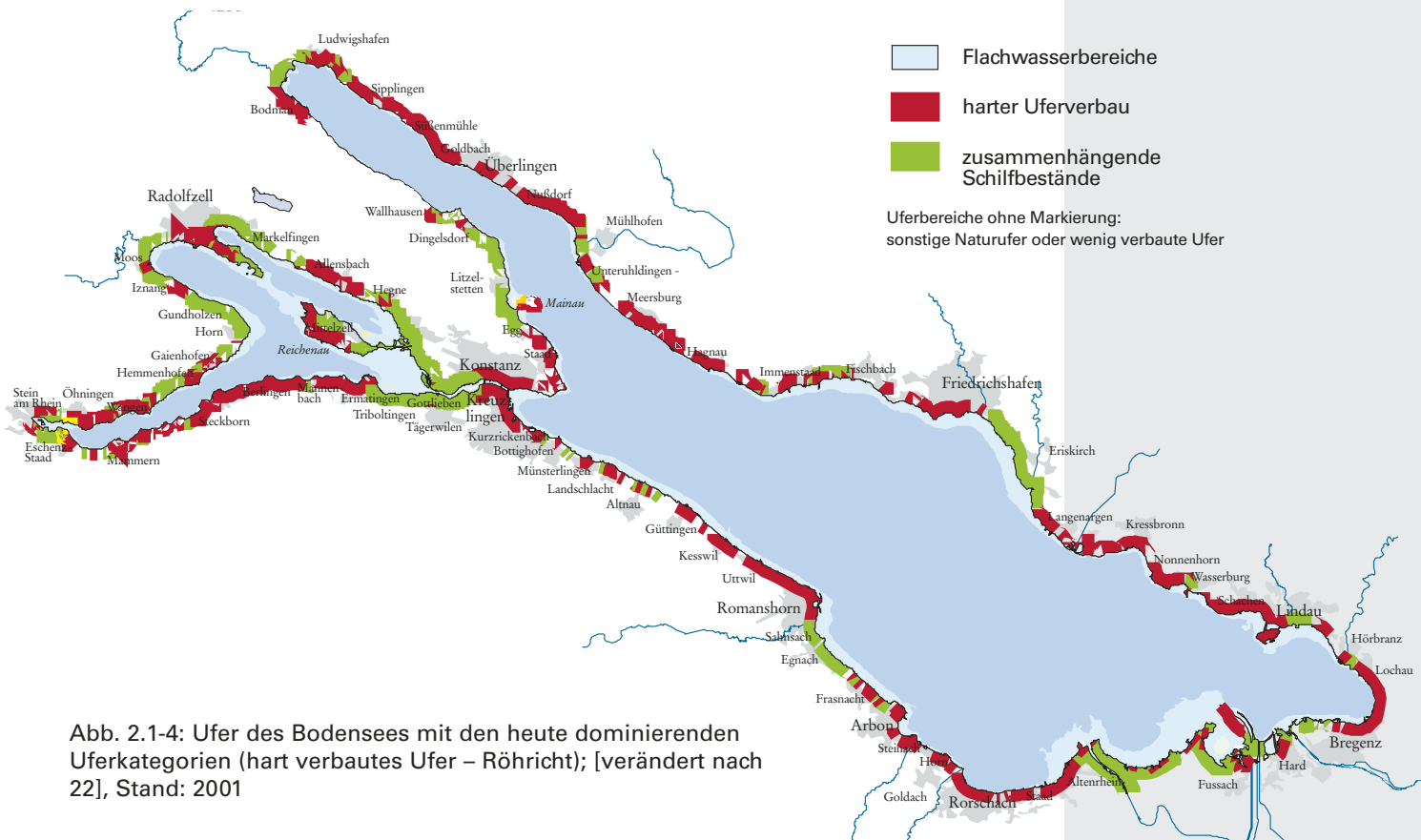


Abb. 2.1-4: Ufer des Bodensees mit den heute dominierenden Uferkategorien (hart verbautes Ufer – Röhricht); [verändert nach 22], Stand: 2001

**Rund 50 % des Bodenseeufers sind verbaut**

auch an Stellen, an denen die Verkehrs-Infrastruktur das Bodenseeufer berührt. Noch im 19. Jahrhundert besaß der Bodensee weitgehend natürliche Ufer [23, 24]. Heute dagegen sind rund 50% der Seeufers hart verbaut oder erheblich verändert [27] (Abb. 2.1-4). Hierzu tragen neben Ufersicherungsmaßnahmen vor allem die rund 180 Hafenanlagen (Abb.2.1-5) und die Nutzung der Ufer durch Freizeiteinrichtungen (Abb. 2.1-6) bei.

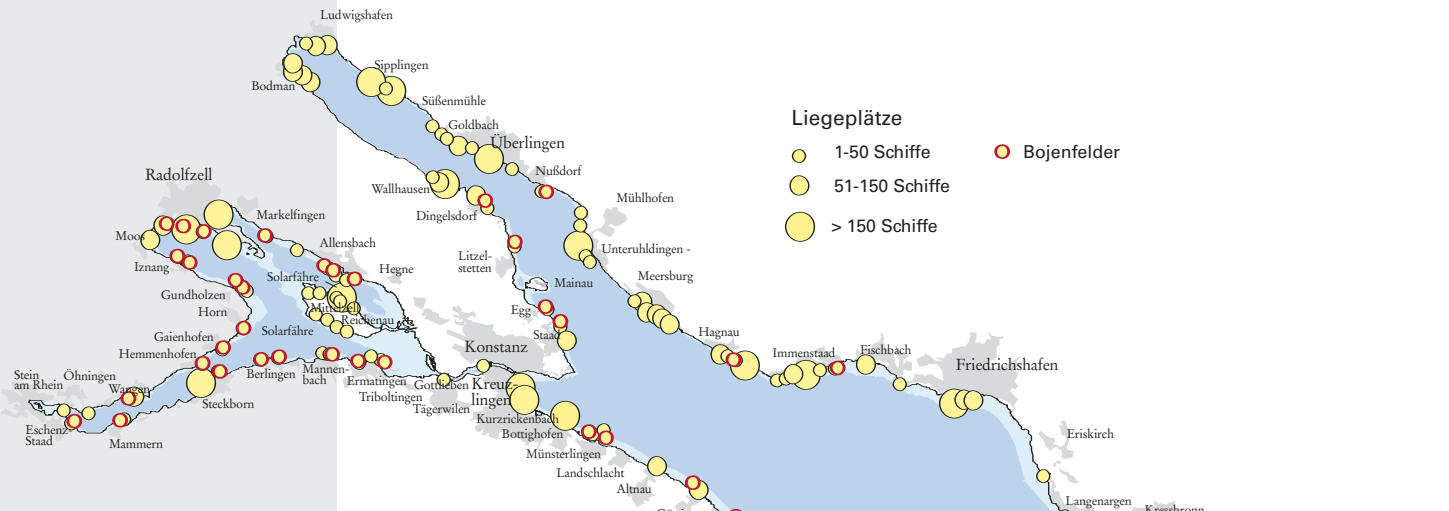


Abb. 2.1-5: Schifffahrtseinrichtungen am Bodenseeufer und im Flachwasserbereich [nach 25]

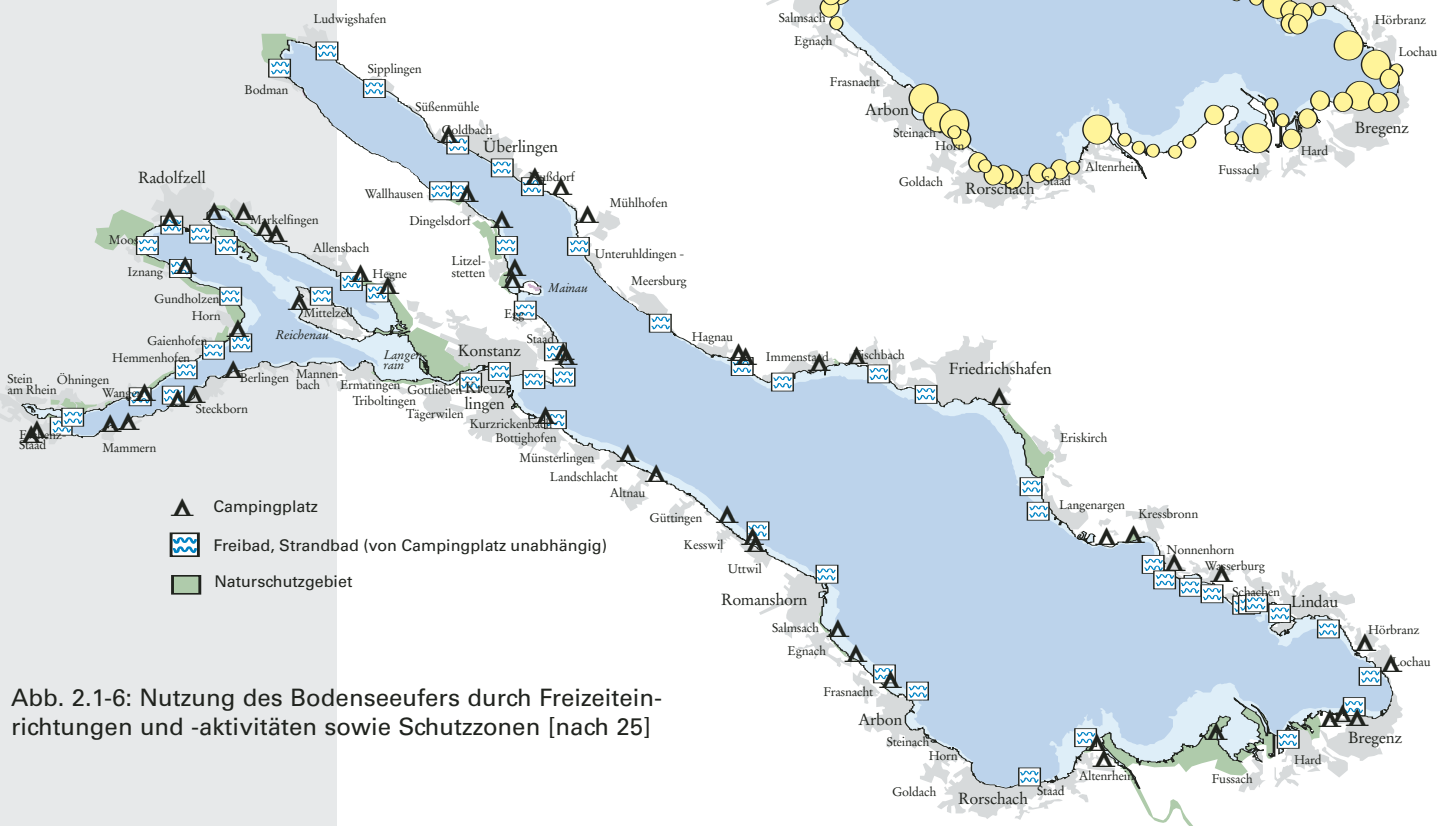


Abb. 2.1-6: Nutzung des Bodenseeufers durch Freizeiteinrichtungen und -aktivitäten sowie Schutzzonen [nach 25]

Harte Uferverbauungen beeinträchtigen oder zerstören die funktionelle Verzahnung zwischen Wasser und Land. Sie verstärken die Erosionskraft des Wellenschlages an benachbarten Uferbereichen. Seit vermehrt Uferabschnitte wieder rückgebaut werden, zeigt sich, dass revitalisierte Flachufer den Belastungen extremer Hochwässer und starken Wellenschlags oft wesentlich besser widerstehen als Ufermauern [3, 4].

**Belastungsfaktoren im Bodenseelitoral**

Die Schifffahrt beeinflusst das Bodensee-Litoral nicht nur durch Hafenanlagen und Bojenfelder, sondern auch durch den Wellenschlag. An Bojenfeldern entstehen so genannte Bojenkreise (Schwojs) durch mechanischen Abrieb des Seebodens und seiner Besiedlung durch die schleifenden Ankerketten. Der *Wellenschlag* ufernah fahrender Freizeitboote und Verkehrsschiffe kann die empfindlichen Schilfzonen schädigen, vor allem aber zu *Störungen* der Biozönosen führen. Motorschiffe belasten den Flachwasserbereich darüber hinaus durch Schadstoffeinträge (z.B. Kohlenwasserstoffe, Antifouling-Anstriche) konzentrierter als das Freiwasser. Die biozide Wirkung (Giftwirkung) dieser Substanzen belastet vorwiegend den Bereich um die jeweiligen Liegeplätze.

Ein erheblicher Teil des noch unverbauten Bodenseeufers wird heute für Freizeiteinrichtungen (Freibäder, Campingplätze, Abb. 2.1-6) genutzt oder ist durch Uferwege für den Publikumsverkehr erschlossen. Campingplätze und Strandbäder nehmen rund 10 % [36] der Uferlänge des baden-württembergischen Ufers ein, vergleichbare Verhältnisse herrschen auch an den anderen Uferabschnitten des Bodensees. Beim Betrieb der Anlagen ist durch Badegäste und Strandspaziergänger mit erheblichen Störungen von Flora und Fauna (Trittbelastung, Feuerstellen, Müll) zu rechnen. Besonders gravierend sind Störungen von Vogelbrutgebieten durch nicht angeleinte Hunde von der Landseite oder durch kleinere Wasserfahrzeuge von der Seeseite. Als Störungen ("environmental noise") wirken bereits die Präsenz von Mensch, Haustier und Maschine auf ufernahen Wegen sowie alle von ihnen ausgehenden Geräusche, Vibrationen und Gerüche.

Einträge von *Nähr- und Schadstoffen* und *hygienischer Belastungen* erfolgen vorwiegend über die Zuflüsse. Besonders nach starken Niederschlägen sind im Uferbereich Belastungen nachzuweisen. Ein guter Indikator für diese Einträge sind fäkalcoliforme Keime, auf die das Bodenseewasser im Rahmen der Badegewässerüberwachung in den Sommermonaten regelmäßig untersucht wird (Abb. 2.1-7).

**Uferbiozönosen werden permanent gestört**

**Hygienische Belastungen**

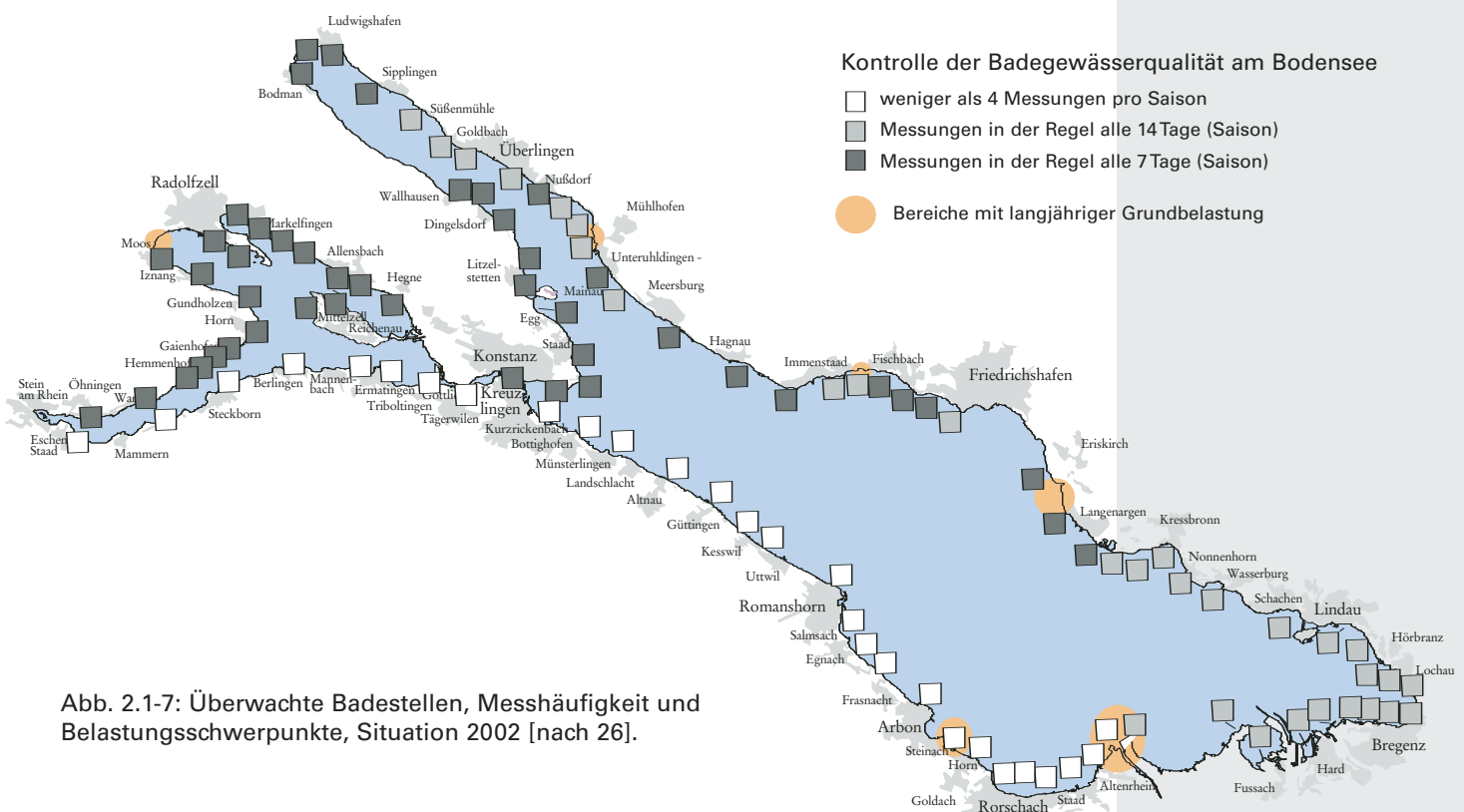


Abb. 2.1-7: Überwachte Badestellen, Messhäufigkeit und Belastungsschwerpunkte, Situation 2002 [nach 26].

**Auf Flachwasserbereich und Ufer wirkende Belastungen**

a) Keine Verzahnung zwischen Ufer und Flachwasser - kein Lebensraum: hart verbautes Ufer bei Bregenz. Foto [i]

b) Hafenanlagen, wie hier bei Moos, beeinflussen den gesamten Flachwasserbereich. Foto [a]

c) Selbst bei langsam fahrenden Schiffen im Seerhein erreicht der Wellenschlag das Flachufer. Foto [i]

d) Zerstörung der Ufermauern in Langenargen durch Wellenschlag (Hochwasser 1999). Foto [a]

e) Durch Hang-Erosionen im Einzugsgebiet erreichen immer öfter große Mengen Schwemmholz den Bodensee. Sie können Schilf und Strandrasen schädigen. Foto [d]

f) "Festliche" Hinterlassenschaften am frei zugänglichen Bodenseeufer. Foto [i]

g) Bojenkreise, so genannte "Schwojs", werden durch kreisende Ankerketten verursacht. Foto [a]

h) Viele Tausend Badegäste bewegen sich an sonnigen Tagen zwischen Ufer und Flachwasser. Störungen der Biozöosen und Trittschäden bleiben nicht aus. Foto [i]



Treibgut ist in windexponierter Lage (z.B. am östlichen Bodensee) mitverantwortlich für die mechanischen Beanspruchung sensibler Uferbereiche. Durch die kompakten Walzen aus Schwemmholz, Müll, abgerissenen Makrophyten und Algen werden Schilfhalme abgeknickt und Strandrasen überdeckt. In den Hochwasserjahren 1987 und 1999 sammelten sich besonders große Mengen Schwemmholz im östlichen Bodensee [28, 29].

Bis in die 1980er Jahre fand in der Flachwasserzone stellenweise ein massiver Kiesabbau statt (z. B. Bregenzer Seeufer). Heute sind Baggerungen auf Hafeneinfahrtbereiche begrenzt.

**2.1.3 Angestrebter Zustand**

Mehr als bei den anderen räumlichen Kompartimenten des Bodensees wird die Möglichkeit für eine Verbesserung des derzeitigen defizitären Zustands des Bodenseelitorals durch die bestehende Infrastruktur (Siedlung, Verkehr etc.) und verschiedenste Nutzungsinteressen (Schifffahrt, Naherholung, Landwirtschaft etc.) einge-



schränkt. Aber gerade hier liegen die ökologischen Defizite deutlich vor Augen, ungeachtet der bereits erreichten Verbesserungen.

In Anlehnung an verschiedene Seeuferpläne [30-33] und Richtlinien [34] wurden zum Teil für den Ufer- und Flachwasserbereich unterschiedliche Schutzkategorien ausgewiesen sowie allgemeine und spezifische Entwicklungsziele formuliert. Grundsätzlich wird dabei ein morphologisch und funktionell naturnaher Zustand angestrebt.

- Der physikalisch-chemische und biologische Charakter des Bodensee-Litorals und seiner Biozönosen soll dem eines unbelasteten oligotrophen (nährstoffarmen) Voralpensees nahekommen.
- Das Wasser und die Sedimente des Bodensee-Litorals sollen weitestgehend frei sein von wassergefährdenden und naturfremden Stoffen.
- Die komplexen Lebensräume des Bodensee-Litorals sollen ausreichend groß, durchgängig und miteinander vernetzt sein und damit die Gewähr bieten, dass natürliche Prozesse ablaufen und selbsterhaltende Populationen aller typischen Tier- und Pflanzenarten existieren können. Eine gute Anbindung dieser Lebensräume an das Hinterland soll gewährleistet sein.
- Wasserhaushalt, Abflussregime und damit auch der Wechsel der Wasserstände im Jahreslauf sollen weitgehend den natürlichen Verhältnissen entsprechen.

Obwohl regional unterschiedliche Lösungsansätze durchaus zum Erreichen der Schutzziele geeignet sind, ist ein koordiniertes Vorgehen zum Schutz der Flachwasserzone insgesamt wünschenswert. Hierzu muss eine bodenseeweite Abstimmung der detaillierten Schutzziele erfolgen. Belastungsquellen dürfen nicht auf Grund unterschiedlich strenger Vorschriften verlagert werden.

**Qualitätsziele**

**Maßnahmen**



Abb. 2.1-8: Spektrum der auf die Kompartimente des Bodensee-Litorals wirkenden Nutzungen und sonstigen Einflüsse.



Natürliche Flachwasserzonen und eine enge Verzahnung mit dem Ufer gehören zu den wichtigsten ökologischen Entwicklungszielen für den Bodensee Foto [1]

Eine sichtbare Erholung der empfindlichen Biozönosen des Flachwasserbereichs stellte sich seit Beginn der 1980er Jahre mit dem Rückgang der Eutrophierungsphänomene ein. Das Bodensee-Litoral profitierte damit von den umfassenden Maßnahmen zur Reduzierung des Nährstoffeintrags.

Die Ufer- und Flachwasserzone ist in allen *internationalen Vereinbarungen* und Absichtserklärungen zum Schutz des Bodensees an herausragender Stelle berücksichtigt. Am baden-württembergischen Ufer wurden schon vor rund 20 Jahren *Schutzzonen* unterschiedlicher Priorität (Schutzzone I und II) ausgewiesen. Um den gesamten Bodensee sind ausgewiesene Bereiche von der direkten Nutzung ausgeschlossen oder dürfen nur extensiv genutzt werden. Hierzu zählen verschiedene Natur-, Landschafts-, Biotop- oder Vogelschutzgebiete, stellenweise stehen auch Flachwasserbereiche unter Schutz. In den Bodenseeuferplänen (Baden-Württemberg und Bayern) wird eine Entlastung des durch Freizeitanlagen genutzten Bodenseeufer durch die Anlage oder Erweiterung von Plätzen im Hinterland angestrebt. Erweiterungen oder Neuanlagen direkt am See sind nur in besonderen Ausnahmefällen zulässig. In Vorarlberg ist ein entsprechender *Uferschutzplan* in Arbeit. Der Flachwasserschutz wird hier durch die Naturschutzverordnungen geregelt. Im Kanton St. Gallen liegt ein spezieller Plan zum Schutz des Bodenseeufer vor. Im Kanton Thurgau werden entsprechende Maßnahmen weitgehend über Bundesgesetze geregelt, die Ufer selbst sind im *Kantonalen Richtplan* berücksichtigt.

Auf Grund der Bestandsaufnahmen und der erklärten Ziele der Bodenseeuferpläne sind allein am baden-württembergischen Bodenseeufer bislang etwa 25 km verbauter Ufer erfolgreich revitalisiert bzw. saniert worden. Auch in Bayern, der Schweiz und Österreich wurden erste Maßnahmen zur Uferrevitalisierung durchgeführt oder sind geplant. Intensive Anstrengungen wurden zur Regeneration geschädigter und zur Anlage neuer Schilfbestände unternommen.

Verschiedentlich wurden bereits gute Erfahrungen mit *umweltverträglicher* Gestaltung und Betrieb von *Bade- und Campingplätzen* gemacht. Wichtig war dabei neben dem Schutz des genutzten Ufers selbst auch der Schutz der angrenzenden Flachwasserbereiche.

Als Maßnahmen oder Vorgehensweisen, die dem Erreichen des angestrebten ökologischen Zustands des Bodensee-Litorals dienen, sind insbesondere zu nennen:

#### Schutzzonen und Uferpläne

- Die heutige Ausdehnung der Flachwasserbereiche ist zu erhalten.
- Bereiche mit deutlichen strukturellen und funktionellen Defiziten sollen, wo immer möglich, revitalisiert, mit naturnahen Bereichen vernetzt und an das Umland angebunden werden.
- Potenzielle Überschwemmungsflächen sollen erhalten oder wiederhergestellt werden. Bei allen wasserbaulichen Maßnahmen ist auf eine am Naturzustand orientierte Durchgängigkeit der Systeme zu achten.
- Schützenswerte Pflanzenbestände, insbesondere Schilf und Strandrasen, sind zu sichern.
- Anthropogene Gefahren- und Belastungsquellen sollen beseitigt oder so gesichert und kontrolliert werden, dass sie die Biozöosen und die Wasser- und Sedimentqualität des Bodensee-Litorals nicht beeinträchtigen.
- Nähr- und Schadstoffeinträge in die Flachwasserzone müssen so gering wie möglich gehalten werden.
- Bauliche und sonstige Maßnahmen müssen mit den limnologischen Erfordernissen in der Flachwasserzone vereinbar sein.
- Freizeitaktivitäten müssen mit den Anforderungen sensibler Lebensräume gegenüber Störungen und Belastungen jeglicher Art in Einklang gebracht werden. Art, Intensität oder Ort solcher Aktivitäten müssen gesteuert und gegebenenfalls verändert werden.
- Alle Nutzungen und Veränderungen des Bodensee-Litorals müssen so ausgelegt sein, dass keine langfristige oder anhaltende Gefährdung für den See und seine Biozöosen entsteht.

Grundsätzlich besteht noch ein umfangreicher Forschungsbedarf hinsichtlich der Systemzusammenhänge (z.B. Bedeutung von Litoralstrukturen für die Biozöosen und den Stoffhaushalt, Wechselwirkung Litoral - Freiwasser - Tiefenwasser) und der Prozesse im Ufer- und Flachwasserbereich des Bodensees. An einer umfassenden limnologischen Bewertung der Ufer- und Flachwasserzone wird derzeit gearbeitet [35].

## Literatur

- [1] IGKB (1987): Zur Bedeutung der Flachwasserzone des Bodensees. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 35, Eigenverlag
- [2] BADEN-WÜRTTEMBERG, MINISTERIUM F. ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT U. FORSTEN (1981): Flachwasserschutz am Bodensee. - Baden-Württemberg, Wasserwirtschaftsverwaltung H. 11
- [3] SIEBEGGER, B. (1970): Limnologische Untersuchungen über das Litoral am Bodensee (am Beispiel der Friedrichshafener Bucht). - gwf-wasser/-abwasser 111, S. 488-493
- [4] SIEBEGGER, B. (2000): Lake Constance - the restoration and conservation of a disturbed, degraded and polluted littoral zone. - Vortragsmanuskript
- [5] SALA, M. & GÜDE, H. (1992): Mikrobielle Aktivitäten in Litoralsedimenten des Bodensees. - Deutsche Ges. Limnol., Tagungsbericht Konstanz 1992: 79 -83
- [6] SCHWEIZER, A. (1996): Lebensgemeinschaften und Stoffumsätze im Bodensee-Litoral. - in: Institut für Seenforschung 1920-1975, LfU Karlsruhe
- [7] OSTENDORF, W. (1990): Die Ursachen des Röhrichtrückgangs am Bodensee-Untersee. - carolina 48: 85-102, Karlsruhe
- [8] OSTENDORF, W. (1991): Zur Geschichte der Uferröhrichte des Bodensee-Untersees. - Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung 109: 215-233, Friedrichshafen
- [9] SCHRÖDER, R. (1987): Das Schilfsterben am Bodensee-Untersee. Beobachtungen, Untersuchungen, Gegenmassnahmen. - Arch. Hydrobiol. Suppl. 76 (1/2) : 53-99

**Schutz- und Handlungsbedarf**

**Forschungsbedarf**

- [10] KLÖTZLI, F. (1973): Über Belastbarkeit und Produktion in Schilfröhrichten. - Ges. f. Ökologie Saarbrücken: 237-247
- [11] KLÖTZLI, F. (2000): Rückgang und Gesundung - eine kurze Retrospektive der Schilfentwicklung im perialpinen Raum. - IGKB Intern. Statusseminar: Vergleichende Bewertung der Ufer- und Flachwasserzonen und von Eingriffen am Bodensee. März 2000, Langenargen. Tagungsbericht: S. 5-12
- [12] DIENST, M. & WEBER, P. (1993): Die Strandschmielen-Gesellschaft (*Deschampsietum rhenanae* Oberd. 57) im westlichen Bodenseegebiet (Baden-Württemberg, Thurgau). - Ostendorp, W. & Krumscheid-Plankert, P. (Hrsg.): Seeuferzerstörung und Seeuferrenaturierung in Mitteleuropa. Limnologie aktuell Band 5: 229-240, Gustav Fischer, Stuttgart, Jena, New York
- [13] FRENZEL, P. (1983): Die litoralen Tubificidae des Bodensees - mit besonderer Berücksichtigung von *Potamothenix moldaviensis*. - Arch. Hydrobiol. 97: 262-280
- [14] SCHMIEDER, K. (1998): Submerse Makrophyten der Litoralzone des Bodensees 1993 im Vergleich mit 1978 und 1967. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 46, 171 S.
- [15] FRENZEL, P. (1983): Eutrophierung und Zoobenthos im Bodensee - mit besonderer Berücksichtigung der litoralen Lebensgemeinschaften. - Verh. Ges. Ökol. 10: 375-391
- [16] JACOBY, H. & LEUZINGER, H. (1972): Die Wandermuschel (*Dreissena polymorpha*) als Nahrung der Wasservögel am Bodensee. - Anz. Orn. Ges. Bayern 11: 26-35
- [17] DEUFEL, J., LÖFFLER, H. & WAGNER, B. (1986): Auswirkungen der Eutrophierung und anderer anthropogener Einflüsse auf die Laichplätze einiger Bodensee-Fischarten. - Österreichs Fischerei 39 (12): 325-336
- [18] IMBROCK, F. (1994): Untersuchungen zur saisonalen Verteilung der Flussbarsche (*Perca fluviatilis* L.) im Bodensee mittels Echolotaufzeichnungen und in situ-Beobachtungen. - Dipl. Arbeit, Univ. Konstanz, 94 S.
- [19] HOFMANN, N. & FISCHER, P. (1999): Altersstruktur und Verteilung von Trüsche (*Lota lota* L.) und Bachschmerle (*Barbatula barbatulus* L.) im Litoral des Bodensees. - Deutsche Ges. Limnol., Tagungsbericht 1998 (Klagenfurt): 392-396, Tutzing
- [20] BERG, R. (1993): Über die Fische des Bodensees. - in: IBKF / Wagner, B., Löffler, H., Kindle, T., Klein, M. & Staub, E. (Hrsg.), Bodenseefischerei Geschichte - Biologie und Ökologie - Bewirtschaftung, S. 58-72. Thorbecke Verlag, Sigmaringen
- [21] WITTKUGEL, C. & FISCHER, P. (1999): Kartographische Erfassung von Fischlaichgebieten im Bodensee - Methoden und erste Ergebnisse. - Deutsche Ges. Limnol., Tagungsbericht 1998 (Klagenfurt): 410-414, Tutzing
- [22] TEIBER, P. (2002): Zustandsbeschreibung des Bodenseeuferes 2000/2001. - CD ; Herausgeber: Internationale Bodenseekonferenz (IBK) & Landesanstalt f. Umweltschutz Bad.-Württemberg
- [23] BAUMANN, E. (1911): Die Vegetation des Untersees (Bodensee). - Arch. Hydrobiol. Suppl. 1: 1-554, Stuttgart
- [24] SIEBEGGER, B. (2000): Uferproblematiken am Bodensee. - IGKB Internationales Statusseminar: Vergleichende Bewertung der Ufer- und Flachwasserzonen und von Eingriffen am Bodensee. März 2000, Langenargen. Tagungsbericht: S. 23-29
- [25] IBN (2002): Bodensee Navigationskarten 1 : 50 000. - Internationale Bodensee & Boot Nachrichten
- [26] HYDRA (2003): ADAC-Sommerservice - Bericht über das Informationsprogramm zur Badegewässerqualität in Europa 2002. - HYDRA Konstanz, 151 S. + Anhang
- [27] BADEN-WÜRTTEMBERG, UMWELTMINISTERIUM (Hrsg., 1995): Umweltprogramm Bodensee Raum. I. Zusammenfassung und Wertung. - Umweltministerium Baden-Württemberg, 110 S., Stuttgart
- [28] IGKB (1999): Das Bodenseehochwasser im Frühsommer 1999. Erfahrungsbericht. - [http://www.seespiegel.de/pdf/bericht\\_hochwasser.pdf](http://www.seespiegel.de/pdf/bericht_hochwasser.pdf)
- [29] SCHMIEDER, K., DIENST, M. & OSTENDORP, W. (2003): Schilffrontdynamik nach dem Extremhochwasser 1999 am Bodensee - Ergebnisse nach 2 Jahren Monitoring. - Deutsche Gesellschaft für Limnologie, Tagungsbericht (Braunschweig) 2002: 246-251
- [30] REGIERUNG VON SCHWABEN (1984): Bayerischer Bodenseeuferplan. - Augsburg, 1984.
- [31] REGIONALVERBAND BODENSEE-OBERSCHWABEN (1984): Bodenseeuferplan. - Ravensburg, 1984
- [32] REGIONALVERBAND HOCHRHEIN-BODENSEE (1984): Bodenseeuferplan. - Waldshut-Tiengen, 1984
- [33] KANTON ST. GALLEN, PLANUNGSAMT (1999): Seeuferplanung Bodensee, 1999. - St Gallen, 1999
- [34] IGKB (1987): Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees. Fassung vom 27. Mai 1987. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, 47 S., Eigenverlag
- [35] IGKB (2003): Limnologische Bewertung der Ufer- und Flachwasserzone. - laufendes INTERREG III-Projekt der IGKB
- [36] TEIBER, P. (2003): Zustandsbeschreibung des Bodenseeuferes - Statistische Auswertung; Bericht im Auftrag der Internationale Bodenseekonferenz (IBK)

## 2.2 Freiwasser

### 2.2.1 Charakteristik und gegenwärtiger Zustand

Der Freiwasserbereich (Pelagial) umfasst den Seebereich mit einer Wassertiefe über 10 m. Dieser Bereich wird von ca. 85% der Gesamtfläche des Bodensees überspannt. 90% dieser Fläche entfallen auf den Obersee. Während das Litoral stark durch seine morphologische Vielfalt geprägt ist, erhält das Freiwasser seine Strukturierung insbesondere durch seine vertikal unterschiedlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften.

**Auf den Freiwasserbereich entfallen rund 85 % der Bodenseeoberfläche**

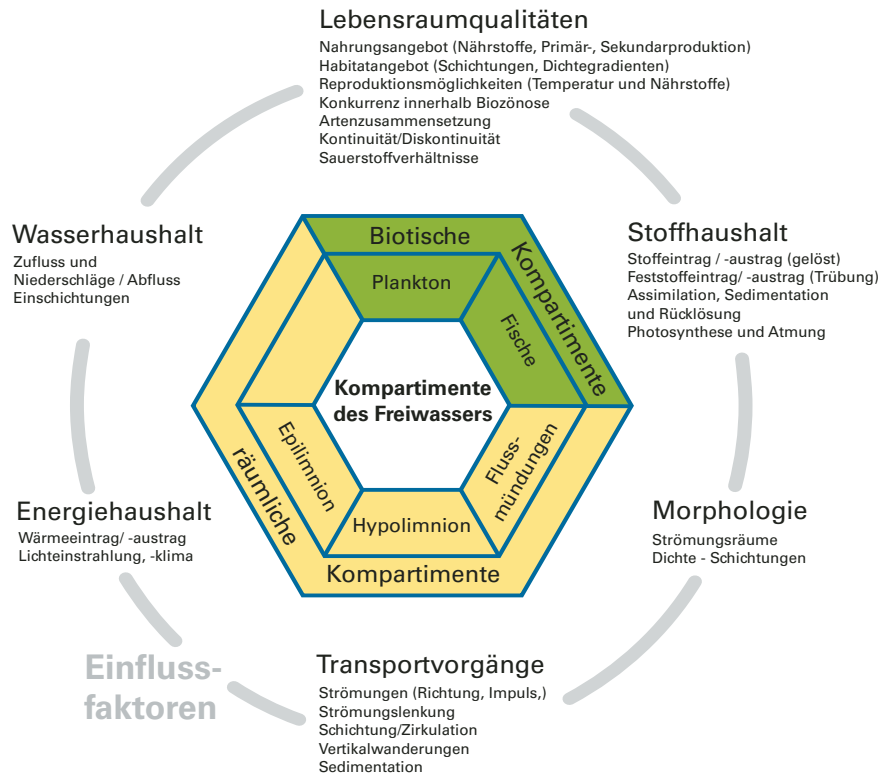


Abb. 2.2-1 Natürliche Einflüsse auf das Kompartiment Freiwasser

### Physikalische Beschaffenheit

Im Freiwasser lässt sich ein vom *Licht* durchdrungener Wasserkörper (euphotische Zone) vom dunklen Tiefenwasserbereich (aphotische Zone) abgrenzen. Die Lichtstärke nimmt von der Oberfläche zur Tiefe schnell ab, und die spektrale Zusammensetzung des Lichtes ändert sich dabei. Die Quantität des eindringenden Lichtes wird stark von der Dichte suspendierter Partikel (Trübstoffe), insbesondere der Phytoplanktonorganismen, bestimmt. Die Transparenz des Wassers, als Sichttiefe gemessen, schwankt im Jahresverlauf spiegelbildlich zu den Chlorophyll (a)-Gehalten, einem Maß für die Phytoplanktondichte (Abb. 2.2-2).

Einer der wichtigsten Faktoren, die das Freiwasser strukturieren, ist die *Wassertemperatur*. Im Winter hat das Seewasser in allen Tiefen weitgehend die gleiche Temperatur. Die oberen Wasserschichten erwärmen sich mit zunehmender Einstrahlung ab März schneller als das Tiefenwasser. Der dadurch bedingte Dichteunterschied verhindert eine *Durchmischung* des warmen Oberflächenwassers mit dem dichteren, kühlen Tiefenwasser. Es entsteht eine zunehmend stabilere Schichtung mit einer bis über 20 m mächtigen, warmen oberen Schicht, dem *Epilimnion* und einer kalten, bis

**Unterschiedliche Wassertemperaturen führen zur Schichtung des Wasserkörpers**

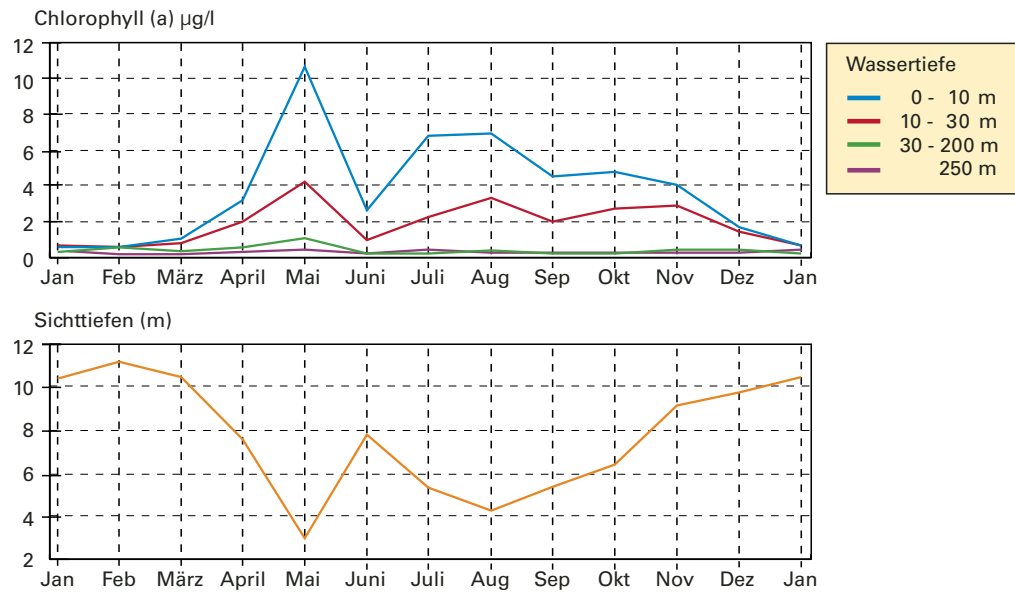


Abb. 2.2-2: Monatsmittelwerte der Chlorophyll (a) -Gehalte und der Sichttiefe an der Station Fischbach-Uttwil, 1983-1994 [1]

**Im Winter wird der Wasserkörper durchmischt**

zum Grund reichenden unteren Schicht, dem *Hypolimnion*. Beide sind durch einen Bereich mit steilem Dichteanstieg, der Sprungschicht (*Metalimnion*), getrennt. Der Temperaturunterschied zwischen Epi- und Hypolimnion beträgt im Juli rund 16°C. Mit nachlassender Einstrahlung kühlt das Epilimnion im Herbst ab, während seine Untergrenze durch zunehmenden Wärmeaustausch bis in den Winter absinkt. Im Spätherbst und Winter gleichen sich die Temperaturunterschiede zwischen Epi- und Hypolimnion immer weiter an, bis eine weitgehende Durchmischung des Wasserkörpers möglich wird. Im Winter kann sich bei ruhigem Wetter eine inverse, stabile Schichtung ausbilden mit einem Epilimnion, das unter 4°C abkühlt und einem dichteren wärmeren Hypolimnion von 4°C (maximale Wasserdichte).

Die Durchmischung und die Verlagerung von Wasserkörpern des Freiwassers erfolgt durch:

- Vertikalzirkulation/Konvektion
- windinduzierte Strömungen
- Seitliche Einströmungen von dichtem kaltem Oberflächenwasser aus flacheren Randbereichen des Sees [2]
- Einschichtung von Flusswasser

Die Einschichtung des Flusswassers wurde am Beispiel des Einstromes des Alpenrheins in den See erforscht [3-6]. Die Einschichtung wird sehr stark durch die lokalen Temperaturverhältnisse bestimmt und oft ist der Flusswasserkörper im See über weite Strecken zu verfolgen [3, 5]. Generell sind jedoch temperatur- und windinduzierte Strömungen die wichtigsten Motoren der Verlagerung und Durchmischung des Wasserkörpers [7-9].

Ergänzend zu diesen Wasseraustauschprozessen erfolgen vertikale Stofftransporte auch durch das Absinken von Partikeln, z. B. von Organismen oder Calcit. Durch Sedimentation gelangen auf diese Weise große Stoffmengen aus dem Freiwasser auf den Seeboden, wo sie dauerhaft abgelagert, z.T. abgebaut, oder - bei Sauerstoffmangel - auch wieder teilweise rückgelöst werden können.

### *Chemische Beschaffenheit*

Die Untersuchung der chemischen Beschaffenheit des Bodensees hat bereits in der zweiten Hälfte des 19. Jh. eingesetzt. Seit 1961 führt die IGKB an mehreren Stellen im Ober- und Untersee - meist monatlich - umfangreiche Untersuchungen zur Wasserchemie des Sees durch (Abb. 2.2-3) [1]. Das für die Trinkwassergewinnung aus dem See entnommene Rohwasser wird darüber hinaus laufend durch die Wasserwerke untersucht [10].

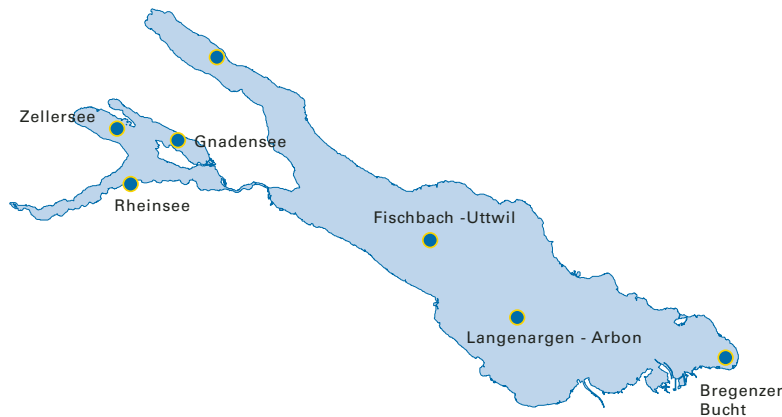


Abb. 2.2-3: Untersuchungsstellen der IGKB im Bodensee, Stand 2000 [nach 11]

### *Sauerstoff*

Der Gehalt des Wassers an Sauerstoff ( $O_2$ ) ist wohl der wichtigste Faktor für das Leben im See. Er wird durch unterschiedliche Prozesse beeinflusst: Austausch zwischen Seeoberfläche und Atmosphäre, Eintrag durch Zuflüsse und durch  $O_2$ -Produktion der Pflanzen, Verfrachtung von der Oberfläche oder aus dem Flachwasserbereich in den Tiefenbereich und Verbrauch durch Stoffwechsel von Organismen. Der  $O_2$ -Gehalt des Bodenseewassers zeigt im Jahresgang ausgeprägte Unterschiede. Im Sommer sinkt der  $O_2$ -Gehalt mangels Durchmischung und infolge verstärkten Abbaus organischer Substanz bis in den Herbst hinein ab.

### *Ionen*

Die Konzentration fast aller Ionen, wie die von Ca, Mg, Na, K, Carbonat, Sulfat, ist primär durch natürliche geochemische Verhältnisse im Einzugsgebiet geprägt. Schwankungen der Konzentrationen sind biogen bedingt (z. B. infolge Carbonatfällung) oder ergeben sich aus dem unterschiedlichen Eintrag durch die Zuflüsse. Zunehmende anthropogene Emissionen (Düngung, Streusalzanwendung, häusliche Abwässer) zeigen sich etwa im Anstieg der Chlorid-Konzentration von 2,5 mg/l im Jahr 1961 auf 6 mg/l im Jahr 1998. Seit 1996 liegt die durchschnittliche Chloridkonzentration sehr konstant bei 5 mg/l.

### *Pflanzennährstoffe*

Der Gehalt des Wassers an pflanzenverfügbaren Nährstoffen ist der wichtigste vom Menschen direkt beeinflusste Faktor, der das Leben im gesamten Freiwasser prägt. Entscheidend für Zusammensetzung und Produktion der Algenpopulationen ist jeweils der im Minimum befindliche Nährstoff. Dies ist im Bodensee - wie in vielen anderen Seen auch - der Phosphor. Untersuchungen von Algenresten im Sediment [12, 13] deuten darauf hin, dass bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts ein schleichender Eutrophierungsprozess des Sees begann (s. Kap. 2.3).

**Der Sauerstoffgehalt ist ein wesentlicher Faktor für das Leben im See**

**Phosphor bestimmt das Algenwachstum**

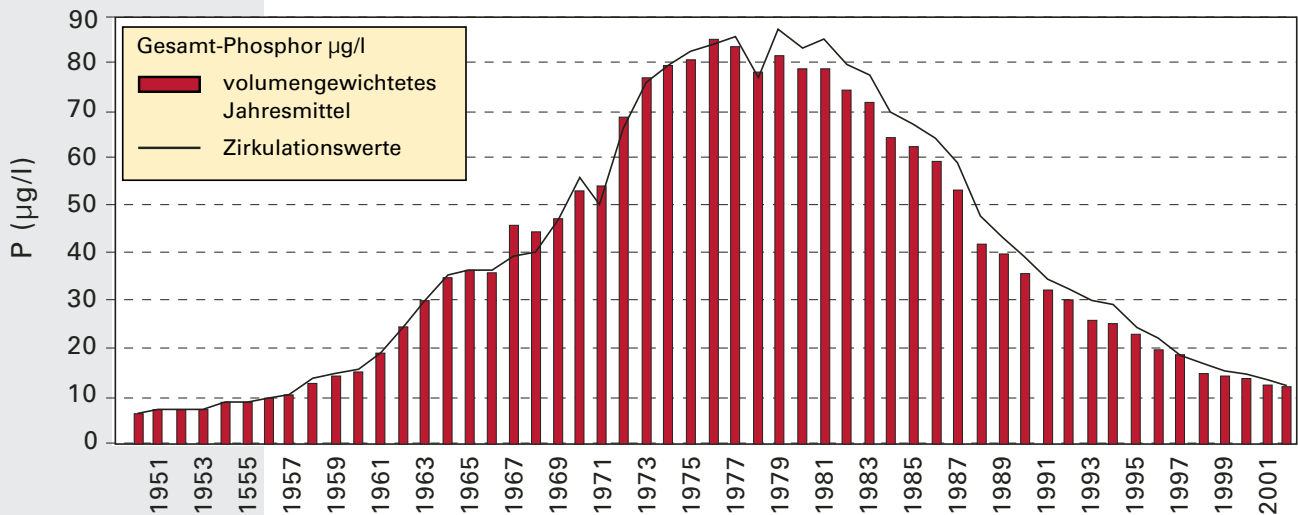


Abb. 2.2-4: Gesamt-Phosphor im Bodensee-Obersee während der Durchmischungsphase bzw. als volumengewichtetes Jahresmittel 1951-2002 [nach 1, ergänzt]

Die Phosphorkonzentration stieg in 40 Jahren um den ca. 14-fachen Wert

In oligotrophen Voralpenseen ist der *Phosphor* (*P*) ursprünglich ein limitierender Nährstoff für das Pflanzenwachstum. In den 1930er Jahren wurden im Bodensee noch Gesamt-P-Konzentrationen von 4-6 µg/l gemessen [14]. Nach einer moderaten Zunahme in den 50er Jahren kam es zu einem rapiden Anstieg bis 1979, als mit 87 µg/l der höchste Wert (bei Vollzirkulation) gemessen wurde. Dann griffen die Maßnahmen zur Reduktion des anthropogenen P-Eintrags (Abwasserreinigung, Düngungsbeschränkung, ab 1980 Reduktion/Verbot der Phosphate in Waschmitteln), so dass der Gesamt-P-Gehalt bis zum Jahr 2002 auf 12 µg/l zurückging (Abb. 2.2-4).

Wegen der überwiegend oberflächennahen Einschichtung der Zuflüsse wirken sich Änderungen ihrer P-Frachten zunächst auf die oberen Wasserschichten und erst mit Verzögerung im Tiefenwasser aus. Bis zum Höhepunkt der Eutrophierung verkürzte sich die jährliche Periode der vollständigen Aufzehrung von P durch Planktonorganismen ( $P_{gel.}$ -Konzentration unter 3 µg/l) in der euphotischen Zone auf zwei Monate im Sommer. Mit der Reoligotrophierung wurde die P-arme Periode wieder auf 8-9 Monate verlängert (März/April bis November). Durch die seither zunehmende und in die Tiefe fortschreitende P-Verarmung der Wasserschichten unterhalb der euphotischen Zone (20-50 m) bleibt auch die ausgeprägte „Düngewirkung“ von sturmbedingten Einmischungen aus tieferen Wasserschichten heute aus.

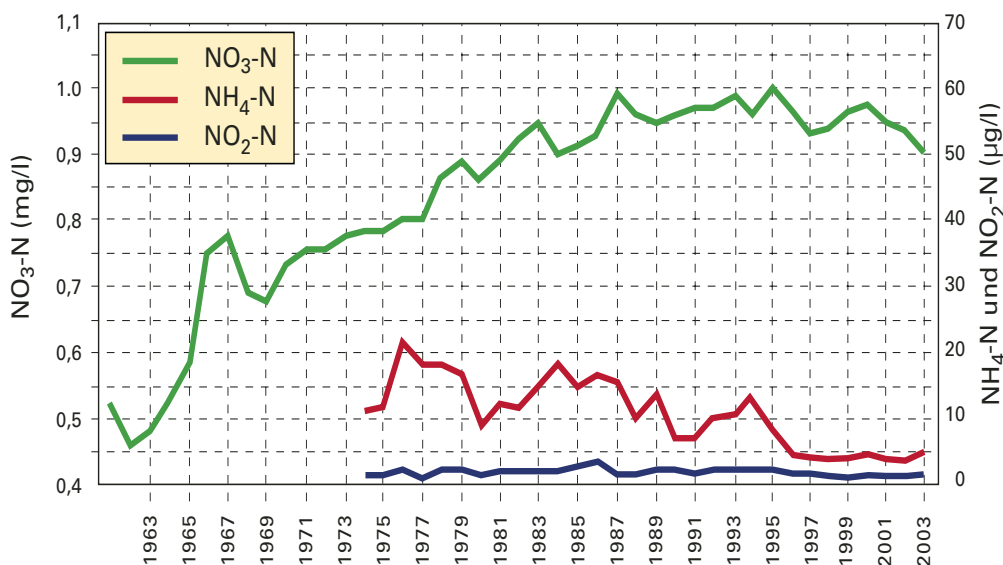


Im Maximum seiner Nährstoffbelastung Ende der 1970er-Jahre zeigte der Bodensee unterschiedliche Eutrophierungsphänomene. (a) Phytoplankton-Blüten färbten im Frühsommer den gesamten oberen Wasserkörper grün; (b) Blaualgenwatten (*Aphanizomenon*, hier zusammen mit Fadenalgen) traten bei hohem Phosphorangebot und gleichzeitigem Stickstoffmangel auf. Fotos [a]



Stickstoff (N) kommt im Bodensee als gelöstes Gas im Gleichgewicht mit dem Luftstickstoff, organisch gebunden, z.B. in Aminosäuren, und in pflanzenverfügbarer Form als Nitrat ( $\text{NO}_3$ ), Nitrit ( $\text{NO}_2$ ) oder Ammonium ( $\text{NH}_4$ ) vor. Dabei dominiert Nitrat deutlich. Der Gehalt an Nitrat-N blieb nach einem Anstieg in den Jahren 1961 bis 1987 um 0,5 mg/l auf ca 1 mg/l auf einem – im Vergleich zu anderen Seen – mittleren Niveau.

Stickstoff hat im Bodensee heute keine produktionsbegrenzende Wirkung. Während des Höhepunkts der Eutrophierung wurde aber ein starkes Vorkommen stickstofffixierender Blaualgen beobachtet. Diese Förderung des Blaualgenwachstums durch ein sehr geringes N:P-Verhältnisses [15] ist heute nicht mehr festzustellen.



**Der Stickstoffgehalt des Bodensees bleibt seit Jahren konstant**

Abb. 2.2-5: Jahresmittelwerte von Nitrat- ( $\text{NO}_3^-$ ), Ammonium- ( $\text{NH}_4^-$ ) und Nitrit- ( $\text{NO}_2^-$ ) stickstoff, berechnet aus volumengewichteten Monatsmittelwerten von Profilen der Station Fischbach-Uttwil [1]

Der Silizium (Si)-Haushalt des Bodenseewassers wird beeinflusst durch die Produktion der Kieselalgen und die Verdünnung durch Si-arme Hochwasserzuflüsse. Beide machen sich besonders im Frühjahr (April/Mai) bemerkbar, wenn in den oberen Wasserschichten bei starker Produktion der Kieselalgen Silizium in ihren Schalen festgelegt wird und zusätzlich ein verdünnender Einfluss der Schmelzwasserzuflüsse einsetzt. Die höchsten Si-Gehalte finden sich während der Stagnationsphase (Juni-September) in den grundnahen Schichten, wo Silizium aus sedimentierten Kieselalgeschalen rückgelöst wird.

### Schadstoffe

Bislang wurden im Bodensee, mit Ausnahme einzelner Hafenanlagen, keine bedenklichen Konzentrationen oder Mengen von Schadstoffen nachgewiesen [16]. Unbekannt sind allerdings die langfristigen Auswirkungen zahlreicher Stoffe, über deren Abbaubarkeit, Abbauprodukte und Verbleib noch wenig bekannt ist. Selbst bei geringen Konzentrationen sind negative Auswirkungen solcher Substanzen auf die Wasserorganismen und damit Schädigungen des Ökosystems nicht auszuschließen. Die Anreicherungen von PCBs in Bodenseefischen auf bis zu 1 mg/kg Frischgewicht [17] und die noch immer auffindbaren Verunreinigungen mit Atrazin, lange nach dessen Anwendungsverbot, zeigen die Gefahren unbedachter Stoffeinträge in den See.

**Über die Wirkung verschiedener Schadstoffe im See ist noch wenig bekannt**

Plankton dominiert die Lebewelt des Freiwassers

*Lebensraum Freiwasser (Pelagial)*

Das Freiwasser ist der Lebensraum aktiv schwimmender (Nekton) und schwebender (Plankton) Organismen. Zum Nekton werden vor allem die Fische gerechnet. Zum Plankton zählen das Phytoplankton (meist einzellige Algen oder Zellverbände), das Zooplankton (vor allem Crustaceen und Rotatorien), die heterotrophen Einzeller (Ciliaten und Flagellaten) und die Bakterien. Viele Planktonorganismen können beträchtliche tägliche Vertikalwanderungen ausführen. Sofern sie nicht aktiv beweglich sind (Geiseln, Wimpern, Ruderbeine), bewirken oftmals Füllung oder Resorption von Gasvakuolen eine Änderung ihrer Auftriebskräfte. Die typischen Organismen des Freiwassers verbringen den grössten Teil ihres Lebenszyklus in diesem Bereich. Andere besitzen zumindest ein Stadium, das sich auf dem Seegrund aufhält oder entwickelt (Felcheneier, Dauerstadien der Copepoden). Neben den typischen Freiwasserbewohnern trifft man im Pelagial auch zahlreiche Litoralbewohner, die durch Strömung verdriftet wurden (Algen, Zooplankton) oder diesen Lebensraum aktiv - meist zur Nahrungsaufnahme - aufsuchen (Fische).

Die Primärproduktion spielt sich im Obersee weitgehend in den obersten 20 m der durchlichteten (euphotischen) Zone ab. Die tierischen Konsumenten halten sich - zumindest zeitweilig - ebenfalls in dieser Zone auf, verlassen diese aber oft tagsüber und ziehen sich in das dunkle Tiefenwasser (aphotische Zone) zurück.

*Phytoplankton*

Die Entwicklung des Phytoplanktons ist abhängig von Nährstoffversorgung, Temperatur, Lichtangebot und Wechselwirkungen der Planktongesellschaften (Fressverluste durch Zooplankton, Konkurrenz, Toxine). Als Primärproduzent spielt das Phytoplankton eine Schlüsselrolle im Stoffhaushalt des Sees. Planktonalgen nehmen gelöste Stoffe aus dem Freiwasser auf, so dass diese Stoffe (z. B. Si, PO<sub>4</sub>) nahezu völlig aus dem Wasser verschwinden können. Durch Ausscheidungen und vor allem nach dem Absterben der Algen können diese Stoffe erneut in den

Das Phytoplankton besetzt die Schlüsselrolle im Stoffhaushalt des Sees

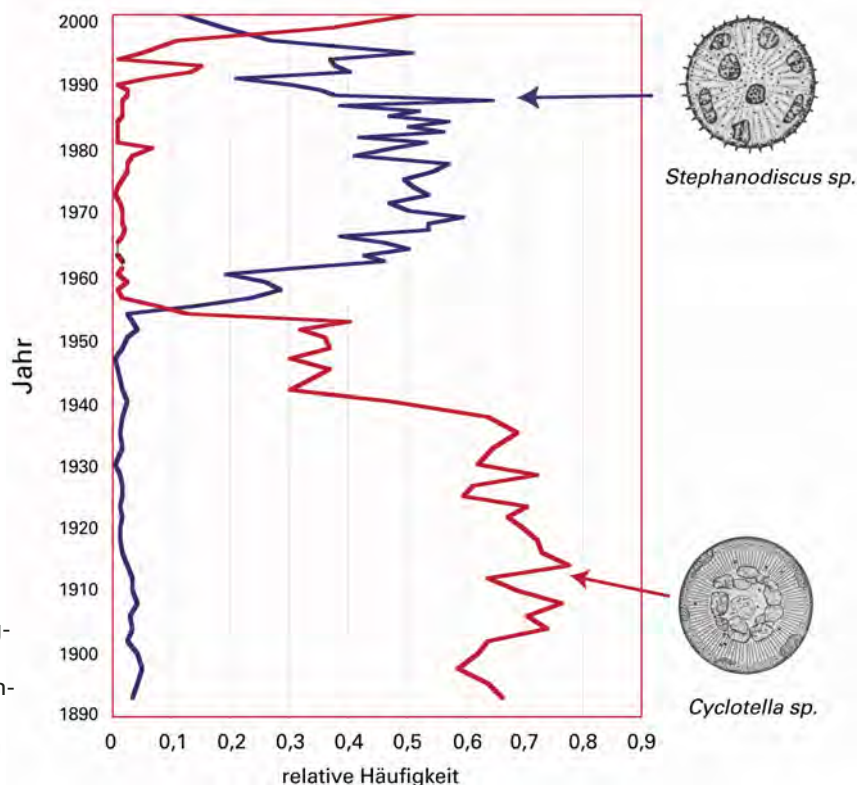


Abb. 2.2-6: Relative Häufigkeiten zweier Diatomeengattungen in den Sedimenten der Friedrichshafener Bucht [nach 13; siehe auch Kasten S. 35]

Stoffkreislauf gelangen. Nach übermäßiger Algenproduktion kann der Sauerstoffgehalt des Wassers durch den bakteriellen Abbau der abgestorbenen sedimentierten Algen völlig aufgebraucht werden, was besonders bei geringem Wasseraustausch zu langfristiger Verödung des Seebodens führt. Während der Zeit der stärksten Eutrophierung wurden solche sauerstofffreien Zonen häufig im Untersee, stellenweise aber auch in der Tiefe des Obersees angetroffen.

Die Artenzusammensetzung des Phytoplanktons hat sich seit den ersten Untersuchungen des oligotrophen Sees stark gewandelt. Allerdings besitzt jeder Seeteil eine unterschiedlich ausgeprägte Algenflora und je nach Witterungsbedingungen treten kurzfristig stark unterschiedliche Dominanzen einzelner Arten auf. Trotzdem lassen sich bei Betrachtung längerer Zeitabschnitte deutliche Tendenzen erkennen, die den Seezustand widerspiegeln [18].

Diatomeenschalen aus Sedimentkernen und Wasseruntersuchungen dokumentieren die Entwicklung der Artenzusammensetzung der Planktondiatomeen des Bodensees (Abb. 2.2-6). In Sedimentkernen aus der Friedrichshafener Bucht ist bis 1939 die Gattung *Cyclotella* vorherrschend. 1939 ist dann eine Zunahme der Zellkonzentrationen mit der Art *Tabellaria fenestrata* als Indikator für mesotrophe Bedingungen festzustellen [19]. In den 1950er Jahren geht *Cyclotella* langsam weiter zurück und verschwindet um 1964 fast völlig. Auch die mesotrophe *Tabellaria fenestrata* ist seit 1964 kaum noch belegt. Dagegen werden Indikatoren für eutrophe Verhältnisse zusehends häufiger (*Anabaena planctonica*, 1975-83; *Stephanodiscus binderanus*, 1980-83; *Aphanizomenon flos-aquae*, 1980). Besonders *Stephanodiscus*-Arten sind in den Jahren 1963-93 weiterhin dominant. Seit 1990 tritt dann aber *Cyclotella*, in Übereinstimmung mit den Beobachtungen im Freiwasser, erneut auf, erreichte 1993 bereits einen Anteil von 15 % am Gesamtvorkommen der drei Indikatorergattungen [13] und ist heute bereits wieder die vorherrschende Art [18].

Mit der Eutrophierung des Sees nahmen Produktion und Biomasse des Phytoplanktons zu [18, 20]. Auffällig wurde diese Zunahme seit den 1950er Jahren. Dabei war zunächst der Anstieg der Biomasse noch relativ eng mit dem Anstieg der P-Konzentration verknüpft, mit zunehmender Eutrophierung wurden jedoch andere

**Die Artenzusammensetzung des Phytoplanktons verändert sich mit der Nährstoffsituation**

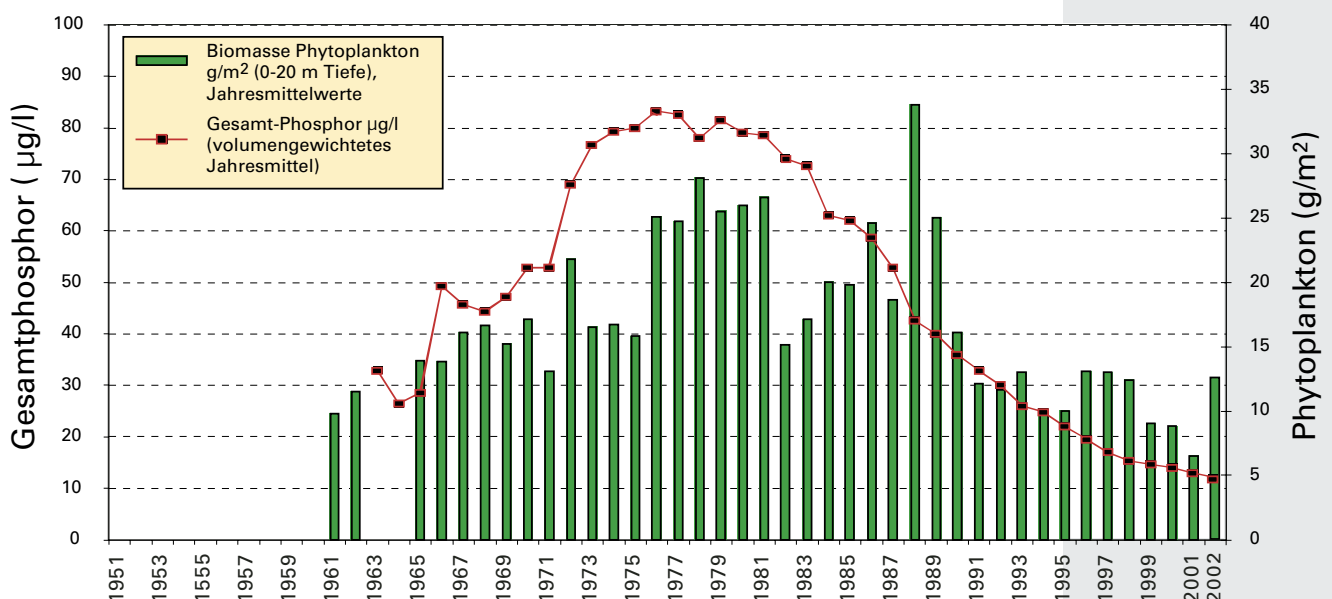


Abb. 2.2-7: Entwicklung des Phytoplanktons im Bodensee-Obersee, Jahresmittel 0-20 m, 1961-2001 [nach 21]

**Mit der Eutrophierung kam es zu einem massiven Anstieg der Algenbiomasse**

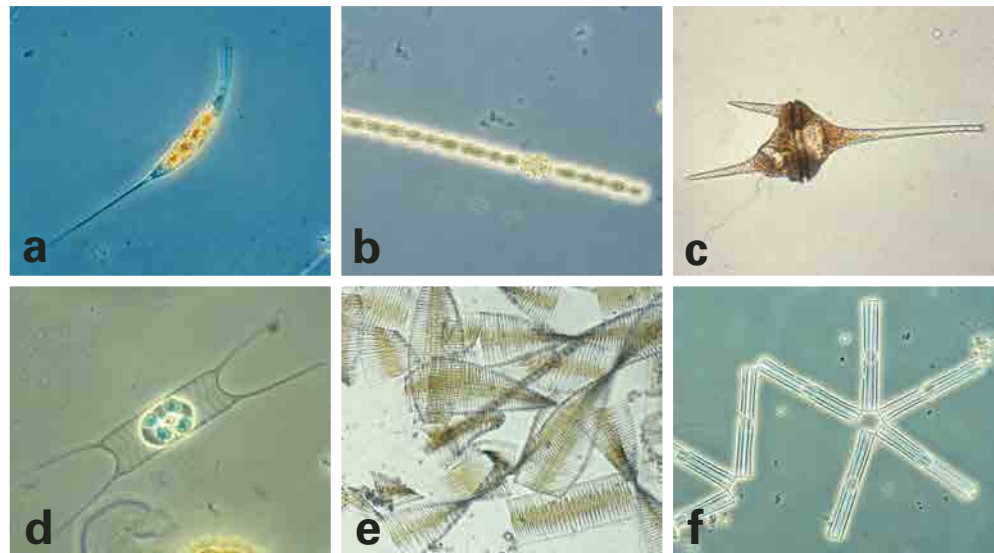
Faktoren zur Limitierung des Algenwachstums bedeutender (Zooplankton, Witterung; [22]). Vor allem die Frühjahrsblüte zeigte bei zunehmender Eutrophierung immer grössere witterungsbedingte Schwankungen. 1966 wurde erstmals ein Zusammenbrechen der Frühjahrsplanktonblüte innerhalb weniger Tage beobachtet, was mit einer sehr hohen Dichte an algenfressenden Zooplanktern einherging [23]. Seither kommt es alljährlich – in den letzten Jahren allerdings auffällig abgeschwächt - Anfang des Sommers zu einem solchen *Klarwasserstadium* mit Sichttiefen wie in den Wintermonaten.

Nach einem zeitweiligen Rückgang der Algenbiomasse ab etwa 1980 - parallel zum Rückgang der Nährstoffbelastung - wurden 1985 bis 1990 wieder hohe Jahresbiomassen des Phytoplanktons beobachtet. Dabei traten vermehrt Arten auf, die auch Bakterien als Nahrung aufnehmen (*Dinobryon sp.*), die aktiv zwischen euphotischer Zone und tieferen P-reicheren Schichten wandern können (*Ceratium hirundinella*) oder die kaum als Nahrung für das Zooplankton in Frage kommen [20]. Seit 1991 liegt die mittlere Algenbiomasse unter 15 g/m<sup>3</sup> und hat somit wieder das Niveau der frühen 1960er Jahre erreicht.

**Ausgewählte Vertreter des Phytoplanktons im Bodensee**

- a) Ankyra
- b) Anabaena
- c) Ceratium
- d) Attheya
- e) Fragillaria
- f) Tabellaria

Fotos [a]



**Zooplankton**

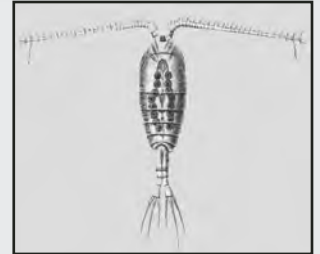
Im Bodensee machen Kleinkrebse - Hüpferlinge (Copepoda) und Wasserflöhe (Cladocera) - etwa 75% der Zooplanktonbiomasse aus [24]. Daneben treten Rädertiere (Rotatoria) und Muschellarven zeitweilig in grosser Dichte auf. Von den Insekten kommt im Pelagial nur die planktisch lebende Larve der Büschelmücke (Chaoborus) vor. Zahlreiche Zooplankter ernähren sich von Algen, Einzellern und Bakterien, es gibt aber auch einige wichtige räuberische Formen (z. B. Cyclops, Bythotrephes, Leptodora).

Im Jahreslauf schwankt die Biomasse des Zooplanktons um eine Zehnerpotenz in Abhängigkeit von Faktoren wie Temperatur, Wind, Artenzusammensetzung des Zoo- und Phytoplanktons sowie Nahrungsangebot und Fraßdruck durch Fische. Im Winter/ Frühjahr weist die Biomasse ein Minimum auf und erreicht im Frühsommer ihr Maximum. Infolge des höheren Nahrungsangebots im eutrophierten See hatte die mittlere Zooplanktonbiomasse von 1920 bis Mitte der 1950er Jahre auf das 13-fache, bis Mitte der 1980er Jahre auf das 50fache (ca. 4 g/m<sup>3</sup>) zugenommen. Mit dem Rückgang der Nährstoffbelastung ging zwar seit etwa 1990 auch die Algenbiomasse zurück (Abb. 2.2-7), die Zooplanktonbiomasse aber erst verzögert seit etwa 1995.

**Der Hauptanteil des Zooplanktons ernährt sich vom Phytoplankton**

Diese Ungleichzeitigkeit ist möglicherweise auf einen Rückgang der für die Crustaceen nicht nutzbaren großen Algenarten bei konstantem Angebot kleiner Arten zurückzuführen, zum Teil wohl auch auf klimatische Faktoren [25].

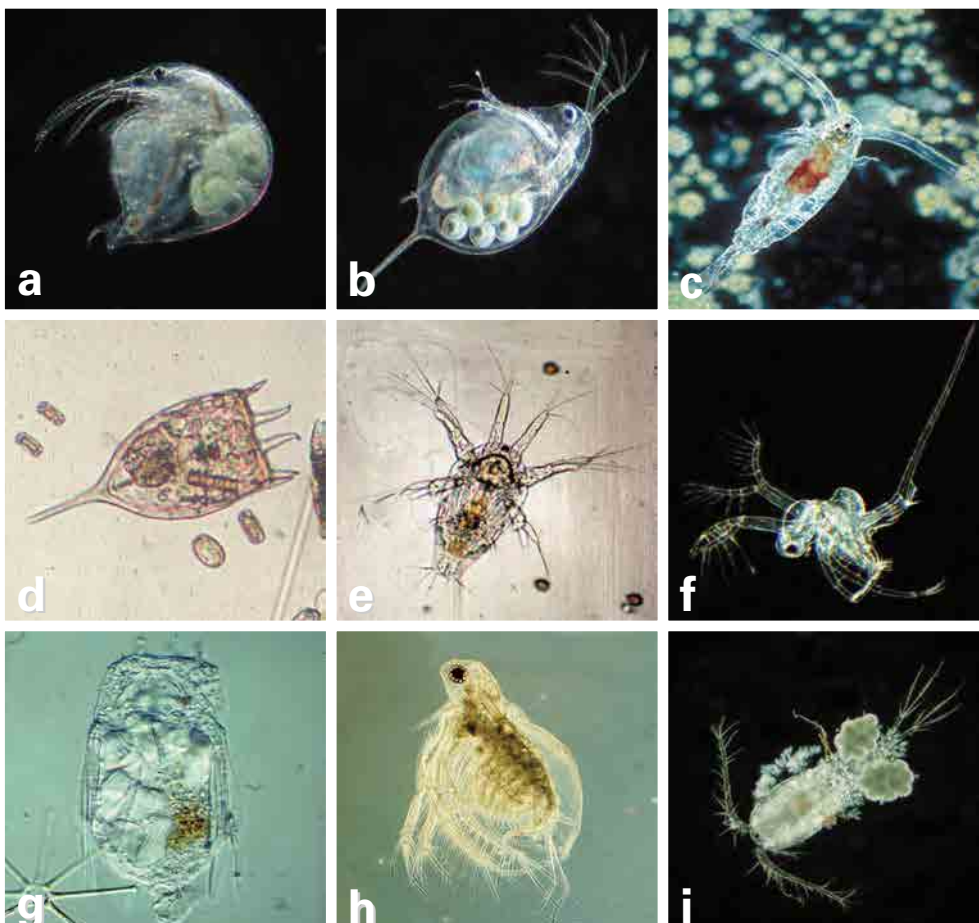
Viele Zooplanktonarten zeigen artspezifische tageszeitliche Vertikalwanderungen. Für diese Wanderungen werden unterschiedliche Gründe (Dichteregulierung, Feindvermeidung, energetische Optimierung, Nahrung) und Auslöser (Temperatur, Licht) diskutiert. Die Wanderungen des Zooplanktons treten erst bei Einsetzen einer Temperaturschichtung im See auf. In der Regel findet sich mit Einbruch der Dunkelheit die höchste Plankterkonzentration in Oberflächennähe. Die einzelnen Arten verhalten sich sehr unterschiedlich [26]. Die Daphnien sind in der Regel im Hypolimnion konzentriert (meist in den obersten 20 m unterhalb der Sprungschicht), während die Cyclopiden weiter gestreut vorkommen. Auch horizontal ist das Zooplankton nicht gleichmäßig verteilt. Besonders hohe Dichten wurden bis in die 1970er Jahre im Ostteil des Sees in der Bregenzer Bucht erreicht [27]. Diese Verteilung wird auf windbedingte Wasserströmungen im Epilimnion und temperaturbedingte Unterschiede der Entwicklung in verschiedenen Teilen des Sees zurückgeführt [28]. Seither ist jedoch bei einem allgemeinen Rückgang der Zooplanktonbiomasse auch eine gleichmäßigere Biomasseverteilung festzustellen [29].



*Heterocope borealis*

Bis 1950 eine der häufigsten Zooplankton-Arten, heute im Bodensee ausgestorben

Der Artenbestand des Zooplanktons hat sich in den Jahren des stärksten Anstiegs der Eutrophierung stark verändert. Neu zugewanderte Arten, besonders *Cyclops vicinus* und *Daphnia galeata* machten seit den 70er Jahren einen bedeutenden Teil des Zooplanktons aus. Früher im Bodensee häufige Arten wie *Heterocope borealis*



#### Ausgewählte Vertreter des Zooplanktons im Bodensee

- a) *Bosmina*
- b) *Daphnia*
- c) *Eudiaptomus*
- d) *Keratella*
- e) Copepoden-Nauplius
- f) *Bythotrephes*
- g) *Polyarthra*
- h) *Diaphanosoma*
- i) *Cyclops*

Fotos a, b, f, i [i]; Fotos c, d, e, g, h [a]

und *Diaphanosoma brachyurum* verschwanden hingegen. Andere Arten hielten ihren Bestand, verloren dabei aber gegenüber den durch die Eutrophierung geförderten Arten an Bedeutung. Heute stellt *Cyclops vicinus* im Frühjahr den Hauptteil der Biomasse, im Sommer *Daphnia galeata*, im Herbst *Daphnia hyalina* und im Winter *Eudiaptomus gracilis*. Seit dem Jahr 2000 wird auch die im See lang "verschwundene" *Diaphanosoma brachyurum* wieder beobachtet [30].

Für die Langzeitentwicklung der übrigen Zooplanktongruppen liegen keine vergleichbar langen Zeitreihen vor. Die Häufigkeit der Rotatorien hat im Zuge der Eutrophierung stark zugenommen, eine Reaktion auf die Oligotrophierung ist noch nicht deutlich erkennbar. Seit Mitte der 1960er Jahre kamen die freischwimmenden Larven der eingewanderten Zebramuscheln (*Dreissena polymorpha*) als zusätzliches Element des Zooplanktons hinzu. Ihre Bestände haben sich heute nach einer anfänglichen Massenentwicklung stabilisiert. Hierzu hat vor allem der verstärkte Fraßdruck durch Tauchenten, die im Winter in großen Massen den See bevölkern, beigetragen.

### Fische

Als tiefer Voralpensee ist der Bodensee ein typisches Felchengewässer. Von den rund 30 im See vorkommenden Fischarten leben nur wenige im Freiwasser, z.B. Blaufelchen, Gangfisch, Seeforelle, zeitweilig der Barsch und in größeren Tiefen der Tiefseesaibling, während der Kilch - eine weitere Felchenform - seit Anfang der 1960er Jahre nicht mehr gefunden worden ist. Der Blaufelchen ist während seiner gesamten Lebenszeit ein Pelagialbewohner, während die anderen Arten sich meist nur saisonal im Freiwasser aufhalten. Die Veränderungen im Nahrungsangebot infolge der Eutrophierung wie auch der Reoligotrophierung bewirkten deutliche Veränderungen in der Zusammensetzung und Menge der Fischbesiedlung des Pelagials.

Der Fischbestand des Pelagials wird heute auf 10 bis 25 kg/ha geschätzt [31], mit jahreszeitlichen Unterschieden und aktuell abnehmender Tendenz. Der Fischertrag liegt im Obersee seit Mitte der 1950er Jahre in der Größenordnung von 1000 t/Jahr, davor lag er meist unter 500 t/Jahr. Mit beginnender Eutrophierung wie auch mit dem Einsetzen der Oligotrophierung verschoben sich Menge und Anteile der gefangenen Barsche und Felchen deutlich (s. Kap. 3.9).

Die Felchen des Bodensees wuchsen seit den 1950/60er Jahren durch das eutrophierungsbedingt verbesserte Nahrungsangebot deutlich schneller als im oligotrophen See. Dadurch wurden zunehmend Fische gefangen, bevor sie zur Vermehrung kamen. Durch eine Erhöhung der Maschenweiten der Fangnetze wurde gewährleistet, dass die meisten Fische zumindest einmal ablaichen konnten. Während die Blaufelchen 1968-1985 noch überwiegend als 2+ Fische (im dritten Lebensjahr) ins Netz gingen, stieg seit 1986 das mittlere Befischungsalter kontinuierlich wieder an, was auf ein langsames Wachstum schließen lässt. Im Jahr 2001 stellten 3+ und 4+ Felchen den Hauptfang; es wurden aber auch größere Mengen 5+ und 6+ Fische gefangen (s. Kap. 3.9).

Mit steigendem Zooplanktonangebot wanderten vermehrt litorale Arten ins Pelagial. Zunächst besiedelten Barsche und später auch "Weißfische" die Freiwasserzone. Vor allem der Barsch verbrachte zur Zeit des eutrophierten Sees einen großen Teil des Jahres im Pelagial, wo er seine Nahrung weitgehend von Fischen und Zoobenthos auf Zooplankton umstellte [32, 33]. Heute, bei verringerten Zooplanktondichten,

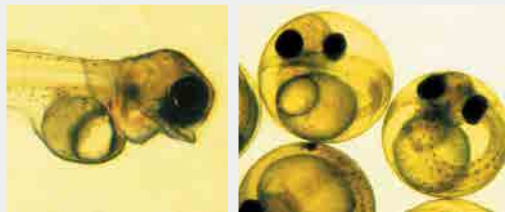
**Der Bodensee ist ein Felchengewässer**

**Während der Eutrophierung stellten Barsche ihre Nahrung auf Zooplankton um**

halten sich die Barsche wieder vorwiegend im Litoral auf und bereits 1+ Barsche ernähren sich zunehmend von kleinen Fischen. Die Barschfänge sind, wohl infolge des veränderten Nahrungsangebotes, seit wenigen Jahren rückläufig, wo hingegen die Cyprinidenbestände bereits im ersten Jahrzehnt der Reoligotrophierung zurückgingen (s. Kap. 3.9).

Ende November/Anfang Dezember laichen die Blaufelchen innerhalb weniger Tage im zentralen Seebereich ab. Ihre Eier sinken auf den Seeboden, wo sie sich in 70 bis 80 Tagen bei konstanten 4°C entwickeln und Mitte Februar schlüpfen. Ebenfalls im Spätherbst sucht der Gangfisch zum Laichen die Halde auf. Bereits im Mai laicht der Barsch in den Pflanzenbeständen des Litorals. Die Larven des Barsches werden bald nach dem Schlüpfen ins Pelagial verdriftet und kehren einige Wochen später als Jungfische ins Litoral zurück.

Die Verteilung der Fische im See ist recht uneinheitlich. Blaufelchen sind tagsüber in dichten Schwärmen zu finden, während sie nachts weit verstreut sind. Vom Blaufelchen ist schon lange eine jahreszeitlich unterschiedliche Verteilung im See bekannt [34], wobei besonders im Winter und Frühjahr eine deutliche Konzentration im östlichen Seeteil zu beobachten ist [31, 35, 36]. Die Tiefenverteilung der Felchen lässt ebenfalls eine Jahresperiodik erkennen. Im Winter bevorzugen die Felchenschwärme Tiefen von 40-50 m, zum Sommerbeginn sind sie bevorzugt an der Oberfläche (0-20 m Tiefe) zu finden [37]. Die Nahrung der Felchen besteht fast ausschließlich aus Zooplankton, während Barsch und vor allem Seeforelle in unterschiedlichem Ausmaß auch Fische fressen.



Das Blaufelchen ist die Leitfischart des Bodensees Foto [b]. *Mitte*: Felchenlarve; *rechts*: Eier Fotos [i, n].

### *Heterotrophe mikrobielle Lebensgemeinschaften*

Neben der klassischen Nahrungskette von Algen über Zooplankton zu Fischen wird zunehmend auch die Bedeutung heterotropher mikrobieller Lebensgemeinschaften sowohl im Hinblick auf Biomassen als auch auf Stoffumsätze im See deutlich. Außer den heterotrophen Bakterien zählen hierzu vor allem Protozoen aus den Gruppen der Flagellaten und Ciliaten zu den Organismen, die anfallende Biomasse wieder abbauen können. Da die methodischen Voraussetzungen zur quantitativen Erfassung dieser Organismen erst ab den 1980er Jahren zur Verfügung standen, ist nur die Entwicklung seit dieser Zeit dokumentiert. Danach lässt sich für Konzentration und Produktion der Bakterien bislang allenfalls für die Sommermonate ein rückläufiger Trend ablesen [38]. Auch aus den wenigen jahrweiten Erfassungen der Protozoen sind bislang keine klaren Hinweise auf Effekte der Reoligotrophierung abzuleiten [39]. Die relative Bedeutung der heterotrophen Mikroorganismen im See hat mit der Reoligotrophierung eher zu- als abgenommen. Ihre hauptsächliche Rolle kommt dabei der Produktionssteuerung durch Bindung (v.a. Bakterien) bzw. Freisetzung (v.a. Protozoen) von Phosphor innerhalb der Produktionszone zu [40].

**Unterschiedliche Nährstoffsituationen verändern die Lebensgemeinschaften des Bodensees**

### *Auswirkungen von Eutrophierung und Oligotrophierung auf die Lebensgemeinschaften des Pelagials*

Das „Experiment“ Eu- und Reoligotrophierung ist in den vergangenen Jahrzehnten ohne Zweifel das bestimmende Element für die Entwicklung der Lebensgemeinschaften des Sees gewesen. Deren Reaktionen erfolgen in zeitlicher Abfolge auf mehreren Ebenen [41]:

- Auf der unteren Ebene (Individuen) reagieren die Organismen zunächst durch physiologische Anpassungen an die veränderten Umweltbedingungen.
- Auf der nächst höheren Ebene (Population) kommt es zu Verschiebungen zwischen Populationen, die an die jeweiligen Umweltbedingungen unterschiedlich angepasst sind.
- Erst auf der höchsten Ebene (Ökosystem) treten fundamentale Änderungen des Gesamt-Systems ein, also z.B. Änderungen der Produktivität.

Nach diesem Modell erfolgen die Reaktionen auf Umwelt-Änderungen auch entlang den trophischen Ebenen von den Primärproduzenten hin zu den Endkonsumenten zeitlich verzögert und in der Wirkung gedämpft. Demnach hat sich am Bodensee bislang die Auswirkung der Reoligotrophierung nur für die Stufe der Primärproduzenten (Algen, Wasserpflanzen) auf allen drei Ebenen ausgewirkt, während sie bei Zooplankton und Fischen bislang noch auf die beiden unteren Ebenen beschränkt blieben [42].

### **2.2.2 Belastungen und Defizite**

Eine direkte Nutzung des Freiwasserbereiches erfolgt durch *Fischerei* und *Schifffahrt* (Kap. 3.9, 3.4). Die Fischerei konzentriert sich zwar auf wenige Fischarten, kann sich aber auf zahlreiche weitere Glieder des trophischen Gefüges auswirken. Wegen der komplexen Nahrungsbeziehungen im Freiwasser [43] ist diese Wirkung nur schwer abzuschätzen. Der Einfluss der Schifffahrt ist meist räumlich und zeitlich wenig konzentriert, so dass direkte Störungen des Freiwassers nur selten zu beobachten sind. Eine deutlich erkennbare Auswirkung sind die Änderungen der Oberflächentemperatur durch Verwirbelungen entlang der Fährlinien [44].

**Belastungen aus den Zuflüssen sind entscheidend für die Qualität des Freiwassers**

In beträchtlichen Dimensionen sind indirekte Beeinflussungen des Freiwassers wirksam. Eingriffe in den *Wasserhaushalt* der Zuflüsse verändern oder beeinträchtigen Transport- und Strukturierungsvorgänge im Freiwasser räumlich und zeitlich [3, 4]. Der deutlichste Einfluss auf den Haushalt des Freiwassers erfolgt durch *Stoffeinträge* über die Zuflüsse (s. Kap. 3.2) und in geringerem Maß über Niederschläge. Die Eutrophierung des Sees, vor allem in der Zeit von 1950 bis in die 1980er Jahre, erfolgte über *Einleitungen von Nährstoffen* - direkt oder über die Zuflüsse. Hierdurch wurden der Stoffhaushalt des Sees wie auch das Phyto- und Zooplankton sowie die Fischbestände in beträchtlichem Ausmaß verändert. Diese Einflüsse sind etwa seit Mitte der 1970er Jahre zunehmend reduziert worden, so dass sie heute für den Seehaushalt ein geringeres Problem darstellen. Nach neueren Berechnungen [45] sollte der See einen stabilen Phosphorgehalt von etwa 10 µg/l bereits erreichen, wenn die zugeführte Fracht an gelöstem Phosphor den Stand von 1997 mit 200 t/a (s. Kap. 3.2) nicht mehr überschreitet.

1985 wurden im See und seinen Zuflüssen (s. Kap. 3.2) erstmals *organische Komplexbildner* (EDTA, DTPA), die in Waschmitteln und in der Industrie häufig eingesetzt werden, nachgewiesen [46]. Im Rohwasser wurden 1999 rund um den See EDTA-Konzentrationen von 1,3 – 1,5 µg/l gemessen, mehr als in vielen anderen Voral-



pensen (Tab.2.2-1). 1998 wurden erstmals DTPA-Werte über 1 µg/l festgestellt. Die Gesamtmenge an diesen Komplexbildnern wird heute im Bodensee auf annähernd 90 t geschätzt [16].

Gewässer	Probenahmestelle	NTA µg/l	EDTA µg/l	DTPA µg/l	ADA µg/l	PDTA µg/l
Bodensee	12 Probestellen	< 0,5	1,4	1,0	< 1	< 1
Zürichsee	7 Probestellen	< 0,5	0,6	< 0,5	< 1	< 1
Vierwaldstättersee	Luzern-Salzfass	2,1	< 0,5	< 0,5	< 1	< 1
Bielensee	Biel-Ipsach	0,8	0,7	< 0,5	< 1	< 1
Walensee	Murg	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 1	< 1
Genfersee	Genf-Prieure	3,7	0,9	< 0,5	< 1	< 1

Tab. 2.2-1: Organische Komplexbildner im Rohwasser der Seewasserwerke, Vergleich des Bodensees mit anderen (Vor)alpenseen, Stichproben März 1999 [47]

Der Gehalt des Bodenseewassers an *Pflanzenschutzmitteln (PSM)* ging im Lauf der 1990er Jahre an allen Messstationen deutlich zurück. Er liegt heute durchweg mindestens eine 10er-Potenz unter den entsprechenden Trinkwassergrenzwerten (in Deutschland: Einzelstoffe 0,1 µg/l; Summe 0,5 µg/l), auch wenn in Zuflüssen vereinzelt deutlich höhere Konzentrationen gemessen werden [16, 48].

Im Freiwasser des Bodensees wurden bislang vier *Arzneimittelsubstanzen* z. T. bis in 250 m Tiefe in geringen Konzentrationen nachgewiesen: *Carbamazepin*, *Clofibrinsäure* und die Röntgenkontrastmittel *Diatrizoat* und *Iopamidol*. Östrogene waren dagegen bisher im Freiwasser nicht nachzuweisen [49].

Dass nicht nur im engeren Seeinzugsgebiet Gefahren für den See entstehen, zeigen die Folgen des Reaktorunfalls von *Tschernobyl*. Hier wurde der See durch *atmosphärische Depositionen (Fallout)* von weit entfernt emittierten radioaktiven Verunreinigungen kontaminiert (vgl. Kap. 3.10.2, S. 158).

Die radioaktive Verunreinigungen wirken sich auf alle trophischen Stufen aus. Als Endglieder der Nahrungskette zeigten die Fische im Bodensee bald nach dem

**Nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl war der Bodensee stark radioaktiv belastet**

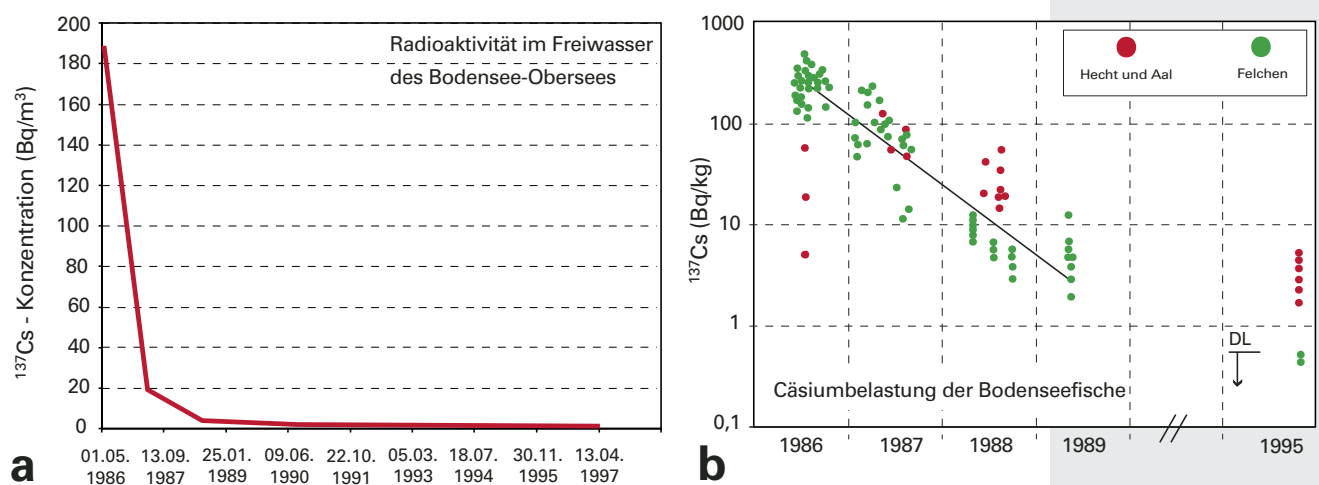


Abb. 2.2-8 a: Konzentration an gelöstem <sup>137</sup>Cs im Freiwasser des Obersees [50]. b: Entwicklung der <sup>137</sup>Cs-Konzentration in plankton- und fischfressenden Fischarten des Bodensees nach dem Reaktorunglück von Tschernobyl. Trendlinie an planktivore Fische angepasst [50]. DL = Detection limit (Nachweisgrenze)

Tschernobyl-Unfall deutlich erhöhte <sup>137</sup>Cs-Belastung. Bereits im Juni 1986 hatte die <sup>137</sup>Cs-Aktivität in planktonfressenden Felchen und Flussbarschen maximale Werte erreicht (200-600 Bq/kg Frischgewicht). Bei den räuberischen Arten Hecht und Aal wurde das Maximum erst 1987 erreicht. In den Folgejahren gingen die <sup>137</sup>Cs-Konzentrationen in Fischen allmählich – bei Hecht und Aal deutlich langsamer – zurück (Abb. 2.2-8b). In der Wassersäule ging die Konzentration an gelöstem <sup>137</sup>Cs durch den Austrag über den Seeabfluss (50%) und durch die Adsorption von <sup>137</sup>Cs an Tonminerale kontinuierlich zurück (Abb. 2.2-8a).

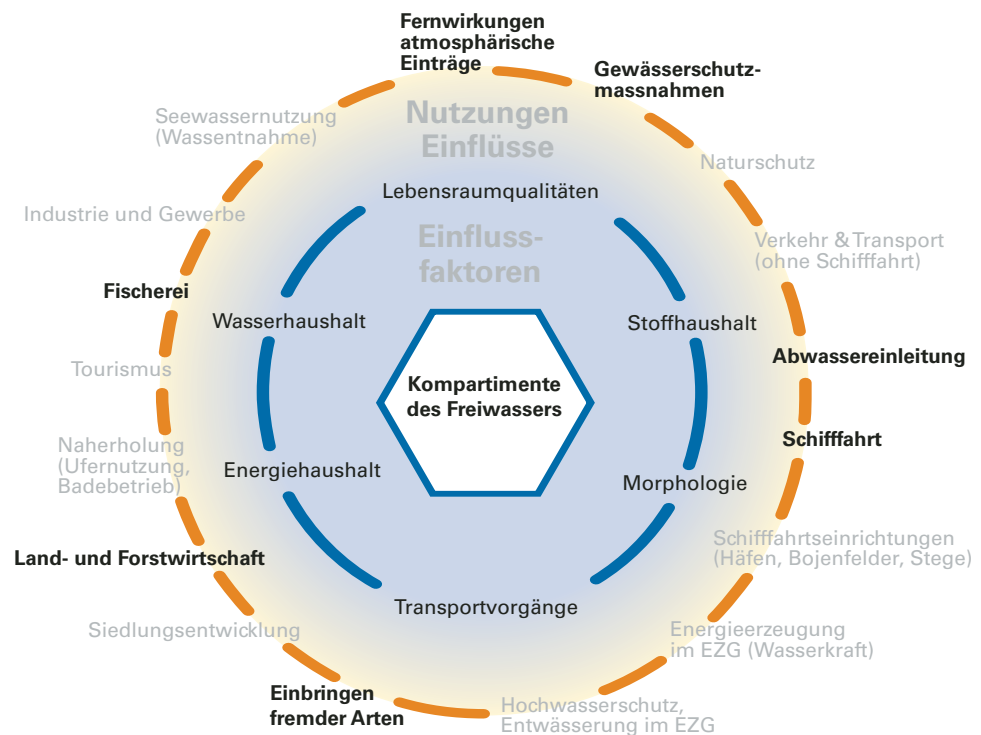


Abb. 2.2-9: Einflüsse anthropogener Nutzungen auf das Freiwasser

**2.2.3 Angestrebter Zustand**

Im Gegensatz zum Litoral, welches in erster Linie durch lokale Einflüsse beeinträchtigt ist, zeigen sich im Freiwasser wesentlich deutlicher die Einflüsse des gesamten Einzugsgebietes und darüber hinaus auch globale Einflüsse.

Die Beeinträchtigung des Seehaushaltes durch Einträge aus dem Einzugsgebiet war besonders deutlich an der Eutrophierung des Sees in den 1950er bis 1980er Jahren zu erkennen. In der Folge entwickelte sich frühzeitig eine internationale Zusammenarbeit zur Erkennung und Behebung der Gefahren, die dem Ökosystem Bodensee aber auch dem See als Trinkwasserspeicher drohten. Mit ihren Messprogrammen und Vorschlägen zur Sanierung des Sees gelang es der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee, die beteiligten Länder und Kantone zu Maßnahmen zur Sanierung des Sees zu bewegen. Diese führten seit den 1980er Jahre zusehends zu einer Verbesserung der Wasserqualität, die heute als weitgehend zufriedenstellend bezeichnet werden kann und erhalten bleiben muss.

Eine Gefährdung des Sees durch den Eintrag unerwünschter Stoffe besteht weiterhin. Die Vielfalt und oft geringe Konzentration solcher Stoffe erschweren jedoch eine auch nur annähernd lückenlose Erfassung. Noch schwieriger ist die Beurteilung

Maßnahmen

ihrer Auswirkungen auf die Lebensgemeinschaften des Sees. Solange Herstellungs- und Anwendungsmengen wie auch die Anwendungsgebiete neu entwickelter oder auch bereits eingeführter Chemikalien nicht genauer bekannt und dokumentiert sind, kann auf Gewässerschutzseite der Eintrag wassergefährdender Substanzen nur unzureichend kontrolliert und hinsichtlich ihrer Wirkung beurteilt werden. Daher müssen Stoffe, deren Auswirkungen auf das Ökosystem ungenügend bekannt sind, aus Gründen der Vorsorge weitestgehend vom See ferngehalten werden.

*„Der Bodensee soll in einen Gütezustand zurückgeführt werden, der sowohl gegenüber anthropogenen Einflüssen als auch gegenüber ungünstigen Witterungsbedingungen stabil ist“ [51].*

- Um eine ausreichende Sauerstoffversorgung des Tiefenwassers zu gewährleisten, dürfen keine anthropogenen Eingriffe erfolgen, welche dazu führen können, die Mischungs- und Schichtungsverhältnisse im See limnologisch nachteilig zu verändern.
- Die Phosphorkonzentration im Freiwasser des Sees soll nach heutigem Kenntnisstand nicht über 10 µg/l liegen. Infolge erhöhter Düngung und Produktion ist andernfalls eine ausreichende Sauerstoffversorgung des grundnahen Wasserkörpers bei schlechter Durchmischung nicht gesichert. Die jährliche Zuflussfracht an gelöstem Phosphor ist daher unter dem Wert von 200 Tonnen zu halten [45].
- Der Stickstoffgehalt des Freiwasserkörpers soll nicht wesentlich über 1 mg/l steigen.
- Synthetische Stoffe und Schadstoffe sollen im Bodenseewasser nicht nachweisbar sein.
- Die Organismengemeinschaft des Freiwassers soll der eines oligotrophen Voralpensees entsprechen und sich natürlich entwickeln können. Eine nachhaltige Fischerei soll im Rahmen des sich erholenden Zustandes des Sees weiterhin möglich bleiben.
- Der Organismenbestand soll in seiner qualitativen und quantitativen Zusammensetzung nicht durch eingeführte oder eingeschleppte Arten verändert werden.
- Eine ungestörte Vernetzung mit anderen Lebensräumen (Litoral, Seeboden, Zuflüsse) soll dauerhaft bestehen.
- Die Entwicklung der Belastung des Sees und seiner Zuflüsse mit bisher weniger beachteten Fremdstoffen (z.B. Industriechemikalien, Pflanzenschutzmittel, hormonaktive Substanzen, Arzneimittel etc.) muss im Rahmen von Monitoringprogrammen verfolgt werden.
- Das Verhalten von Stoffen mit unbekannter Wirkung auf den See und seine Lebensgemeinschaften muss abgeklärt werden.
- Zuflussströmungen, windinduzierte Strömungen, vertikaler Austausch und Austausch mit dem Litoral sind in ihren Auswirkungen auf die Biozönosen noch wenig bekannt. Insbesondere das Ausmaß menschlicher Eingriffe in diese Vorgänge im See kann noch nicht endgültig bewertet werden und ist weiter zu erforschen.

### Qualitätsziele und Handlungserfordernisse

### Forschungsbedarf

## Literatur

- [1] ROßKNECHT, H. (1998): Langjährige Entwicklung chemischer Parameter im Bodensee-Obersee. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 48, 143 S., Eigenverlag
- [2] HOLLAN, E. (1999): Erneuerung des Tiefenwassers im Bodensee durch weitreichende see-eigene Dichteströmungen. - DGL Tagungsbericht 1998 (Klagenfurt: 229-233)
- [3] DUWE, K., FEY, A. & HOLLAN, E. (1999): Mathematisches Modell des Alpenrhein-Einstroms in den Bodensee. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 50, 145 S., Eigenverlag
- [4] HOLLAN, E. & DUWE, K. (2003): Fernausbreitung des Alpenrhein-Einstroms in den Bodensee-Obersee bei tiefer winterlicher Einschichtung. - Jahresbericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee: Limnologischer Zustand des Bodensees 30
- [5] HYDROMOD (2001): Bericht über vertiefte Auswertung und ergänzende Berechnungsfälle über die Fernausbreitung tieferreichender winterlicher Einschichtung des Alpenrheins in den Bodensee-Obersee im Rahmen des IGKB-Projektes Mathematisches Modell -Vorstreckung Alpenrhein. - unveröffentlichter Bericht 38 S. + 66 Abb. im Anhang, Hydromod Wedel/ Holstein
- [6] ROßKNECHT, H. (2003): Der Alpenrhein im Bodensee - Chemische Indikatoren zur Aufklärung physikalischer Prozesse. - Landesanstalt für Umweltschutz. Institut für Seenforschung, Berichte 41 S.
- [7] BOEHRER, B., ILMBERGER, J. & MÜNNICH, K. O. (2000): Vertical structure of currents in Western Lake Constance. - JGR-Oceans, 105 (12), 28837-28845
- [8] GÜTING, P. & HUTTER, K. (1998): Modeling wind-induced circulation in the homogeneous Lake Constance using k-epsilon closure. - Aquatic Sciences 60 (3): 266-277
- [9] WANG, Y., HUTTER, K. & BÄUERLE, E. (2000): Wind-induced baroclinic response of Lake Constance. - Annales Geophysicae 18: 1488-1501
- [10] ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSERWERKE BODENSEE-RHEIN (1991ff): Jahresberichte der AWBR
- [11] BADEN-WÜRTTEMBERG, LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (2000): Umweltdaten 2000. - Ministerium für Umwelt und Verkehr und Landesanstalt für Umweltschutz Bad.-Württ., Karlsruhe, 256 S.
- [12] LENHARD, A. (1994): HPLC-Pigmentanalytik zur Rekonstruktion von Phytoplanktonentwicklung im Bodensee. - Hartung Gorre Verlag, Konstanzer Dissertationen 467, 191 S.
- [13] MOHAUPT, K. (1994): Rezente und subrezente Diatomeen im Sediment des Bodensee-Obersees als Abbild der Nährstoffbelastung. - Unveröff. Diplomarbeit Univ. Konstanz, Fak. Biol., 94 S.
- [14] ELSTER, H.-J. & EINSELE, W. (1937): Beiträge zur Hydrographie des Bodensees (Obersee). - Int. Rev. Hydrobiol. 35: 520-585
- [15] IGKB (1990): Abschätzung möglicher Auswirkungen der zunehmenden Stickstoffbelastung auf den Bodensee. - in: IGKB, Jahresbericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee: Limnologischer Zustand des Bodensees Nr. 16
- [16] KRIEGER, H., LAMPERTSDÖRFER, T. & DIETRICH, D. R. (2001): Status- und Strategiebericht Schadstoffe und ihre ökotoxikologische Relevanz für den Bodensee. - int. Bericht i. A. der IGKB, Konstanz
- [17] HETZENAUER, H., MÜLLER, W. & ROßKNECHT, H. (2002): Polychlorierte Biphenyle und Chlorpestizide in Fischen aus baden-württembergischen Seen und dem Bodensee. - Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg, Institut f. Seenforschung Bd. 2
- [18] KÜMMERLIN, R. E. (1998): Taxonomical response of the phytoplankton community of Upper Lake Constance (Bodensee-Obersee) to eutrophication and re-oligotrophication. - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 53: 109-117
- [19] GRIM, J. (1955): Die chemischen und planktologischen Veränderungen des Bodensee-Obersees in den letzten 30 Jahren. - Arch. Hydrobiol. Suppl. 22: 310-322
- [20] GAEDKE, U. (1998): Functional and taxonomical properties of the phytoplankton community of large and deep Lake Constance: Interannual variability and response to re-oligotrophication (1979-1993). - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 53: 119-141
- [21] IGKB (2000): 40 Jahre Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee. Eine Bilanz 1999. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, 15 S., Eigenverlag
- [22] BÜRGI, H. R. (1976): Die Phytoplanktonentwicklung im Bodensee in den Jahren 1961 bis 1963. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 18, Eigenverlag
- [23] LAMPERT, W. & SCHÖBER, U. (1978): Das regelmäßige Auftreten von Frühjahrs-Algenmaximum und "Klarwasserstadium" im Bodensee als Folge von klimatischen Bedingungen und Wechselwirkungen zwischen Phyto- und Zooplankton. - Arch. Hydrobiol. 82 (1/4): 364-386
- [24] STRAILE, D. (1998): Biomass allocation and carbon flow in the pelagic food web of Lake Constance. - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 53: 545-563

- [25] STRAILE, D. & GELLER, W. (1998): Crustacean zooplankton in Lake Constance from 1920 to 1995: Response to eutrophication and reoligotrophication. - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 53: 255-274
- [26] STICH, H. B. (1989): Seasonal changes of diel vertical migrations of crustacean plankton in Lake Constance. - Arch. Hydrobiol. Suppl. 83 (3): 355-405
- [27] EINSLE, U. (1977): Die Entwicklung des Crustaceen-Planktons im Bodensee. Obersee (1962-1974) und Rheinsee (1963-1973). - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 20, 63 S., Eigenverlag
- [28] SCHWOERBEL, J. (1993): Einführung in die Limnologie. - UTB, Stuttgart, 7. Auflage. 385 S.
- [29] EINSLE, U. (1987): Die Entwicklung des Crustaceen-Planktons im Bodensee-Obersee (1972-1985) und Untersee - Gnadensee und Rheinsee (1974-1985). - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 37, 103 S., Eigenverlag
- [30] STICH, B. (2003): Diaphanosoma im Bodensee: Ist das neuerliche Vorkommen ein Effekt der Oligotrophierung des Sees? - Deutsche Gesellschaft für Limnologie, Tagungsbericht (Braunschweig) 2002: 306-308. Werder
- [31] APPENZELLER, A. R. (1998): Persistent large-scale heterogeneity of pelagic fish in Upper Lake Constance and its possible causes. - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 53: 303-316
- [32] AMANN, E. (1975): Nahrungsumstellung und Zunahme der Barsche (*Perca fluviatilis*) im Bodensee-Obersee infolge der Eutrophierung. - Österreichs Fischerei 28: 72-76
- [33] HARTMANN, J. (1984): Zur gebietsweisen Verteilung der Fische im Bodensee. - Österreichs Fischerei 37: 231-233
- [34] HARTMANN, J. (1991): Saisonale Ost-West-Verschiebung der grössten Fangdichte bei Felchen (*Coregonus lavaretus*) und planktischen Cladoceren vor und nach der Eutrophierung im Bodensee. - Fischökologie 5: 69-76
- [35] APPENZELLER, A. R. (1995): Hydroacoustic measurement of spatial heterogeneity of European whitefish (*Coregonus lavaretus*) and perch (*Perca fluviatilis*) in Lake Constance. - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 46: 261-266
- [36] ECKMANN R. (1995): Abundance and horizontal distribution of Lake Constance pelagic white-fish (*Coregonus lavaretus*). - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 46: 249-259
- [37] PTAK, J. K. & APPENZELLER, A. R. (1998): Size, depth and frequency of pelagic Lake Constance whitefish (*Coregonus lavaretus*) shoals during the seasons: a hydroacoustic study. - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 50: 237-248
- [38] GAEDKE, U. & WEISSE, T. (1998): Seasonal and interannual variability of picocyanobacteria in Lake Constance (1987-1997). - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 53: 143-158
- [39] WEISSE, T. & MÜLLER, H. (1998): Planktonic protozoa and the microbial food web in Lake Constance. - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 53: 223-254
- [40] GÜDE, H. & GRIES, H. (1998): Phosphorus fluxes in Lake Constance. - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 53: 505-544
- [41] GAEDKE, U. (1998): Evidence for scale-dependent hierarchical patterns? - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 53: 317-333
- [42] GÜDE, H., EINSLE, U., HARTMANN, J., KÜMMERLIN, R. & STICH, H.B. (1999): Langzeitentwicklung des Bodensees. Biologische Parameter. - Schweiz. Verein. Gas Wasser. 1999 :12 -20
- [43] LANG, M. M. (1997): Das Nahrungsnetz im Pelagial des Bodensees. Eine Analyse auf Basis der Theorie der Nahrungsnetze. - Konstanzer Dissertationen 546, Hartung-Gorre Verlag, Konstanz
- [44] SCHNEIDER, K. (1992): Energiefluss- und Temperaturbestimmung von Seen mit Satellitenbildern am Beispiel des Bodensees. - Dissertation, Seekreis Verlag, Konstanz
- [45] BÜHRER, H. (2002): Tolerierbare Phosphor-Fracht des Bodensee-Obersees. 2. Aufl. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 54, 81 S., Eigenverlag
- [46] ROßKNECHT, H. (1991): Die Entwicklung der NTA- und EDTA-Konzentrationen im Bodensee und in einigen Bodensee-Zuflüssen von 1985 bis 1990. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 41, 19 S., Eigenverlag
- [47] AWBR (1999): Jahresberichte 1999 - Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein
- [48] SCHLICHTIG, B., SCHÜLE, E. & ROTT, U. (2001): Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in die Seefelder Aach. - Wasser und Abfall, 3/2001: 20-28
- [49] ROßKNECHT, H., HETZENAUER, H. & TERNES, T. (2001): Arzneimittel im Bodensee? - Nachr. Chem. 49: 145-149
- [50] KAMINSKI, S., KONOPLEV, A., LINDNER, G. & SCHRÖDER, H.G. (1998): The fate of artificial caesium radionuclides in Lake Constance. - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 53: 369-409
- [51] IGKB (2001): Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees. Stand vom 23. Mai 2001. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee

### 2.3 Seeboden und Sedimente

#### 2.3.1 Charakteristik und gegenwärtiger Zustand

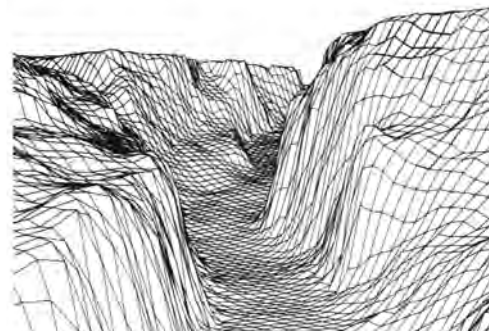
Der Seeboden ist als Oberfläche des Sediments an den Stoffkreisläufen des Bodensees beteiligt. Die Sedimente – das „Gedächtnis“ des Sees – geben durch ihre Beschaffenheit und Schichtung Auskunft über frühere Umweltbedingungen wie auch über den gegenwärtigen Zustand des Sees. Der Seeboden ist Lebensraum einer an die speziellen Verhältnisse angepassten Organismengemeinschaft.

#### *Morphologie*

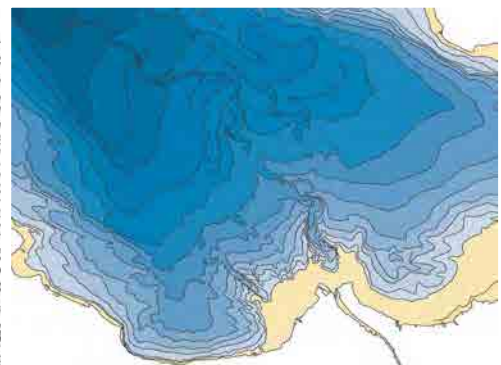
Die Seebodenareale mit Wassertiefen über 10 m nehmen im Obersee eine Fläche von rund 440 km<sup>2</sup> und im Untersee von rund 53 km<sup>2</sup> ein [1]. Glaziale Prozesse wie Gletscherbewegungen und Schmelzwasserflüsse prägten großräumig die Morphologie des Bodenseebeckens [2]. Diese wurde durch lokale Ablagerungen von Feststoffeinträgen der Zuflüsse weiter differenziert. Lokal zeigt der Seegrund eine Vielzahl kleinräumiger junger Strukturen. Im zentralen Obersee-Becken beispielsweise zeigt sich eine „hügelige“ Oberfläche mit kleinräumigen Strukturen im cm- bis dm-Bereich [3]. In der Umgebung der alten Rheinmündung zwischen Rorschacher Bucht und Rohrschpitz finden sich bis zu 70 m tief eingeschnittene Schluchten. Diese Canyons wurden durch lawinenartige Trübestrome (Turbidite) geschaffen, welche vor der Rheinmündungsverlegung (1900) Material aus dem Deltabereich des Rheins bis zum Beckenzentrum verfrachteten. Seit der Mündungsverlagerung des Rheins unterbleibt diese Turbiditsedimentation. Das flussbürtige Sedimentmaterial akkumuliert seither in einem durch die Maßnahmen der Rheinverbauung gelenkten, rasch fortschreitenden Delta, das die derzeit größten morphologischen Veränderungen des Seebodens bewirkt [4].

Sedimente sind das „Gedächtnis“ des Bodensees

Canyons unter Wasser



Ein Ausschnitt aus dem stark überhöhten Tiefenprofil des Bodensees verdeutlicht die Bedeutung des Tiefenbodens als Sedimentfalle [1]



Die Ausbildung von Canyons durch lawinenartige Trübestrome zeigt sich im Verlauf der Tiefenlinien vor der alten Rheinmündung

#### *Sedimente*

In den Sedimenten des Bodensees sind allochthone, aus dem Einzugsgebiet stammende und autochthone, durch biologisch-chemische Prozesse im See selbst gebildete Anteile zu unterscheiden. Der größte Teil der Sedimente des Bodensee-Obersees besteht aus Einschwemmungen der Zuflüsse, ca. 75% davon stammen aus dem Alpenrhein (Abb. 2.3-1).

In den Tiefenbereichen des westlichen und zentralen Obersees finden sich vorwiegend feinkörnige Sedimente, welche hier ungestört dem Untergrund aufliegen. In

Der Hauptteil der Oberseesedimente stammt aus dem Alpenrhein

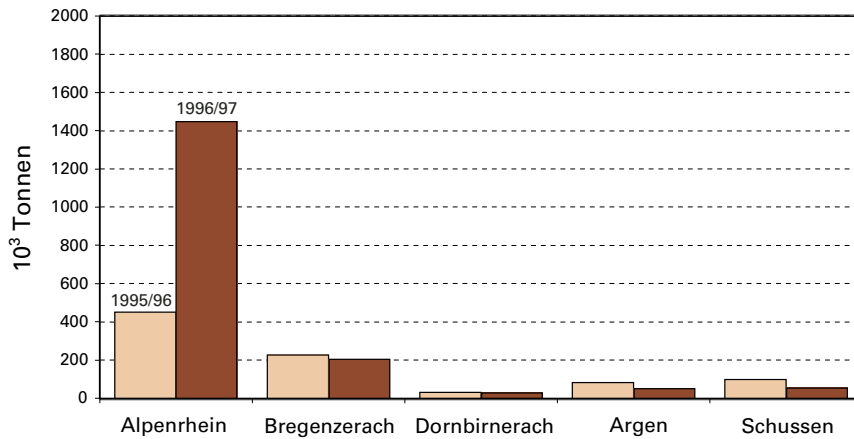


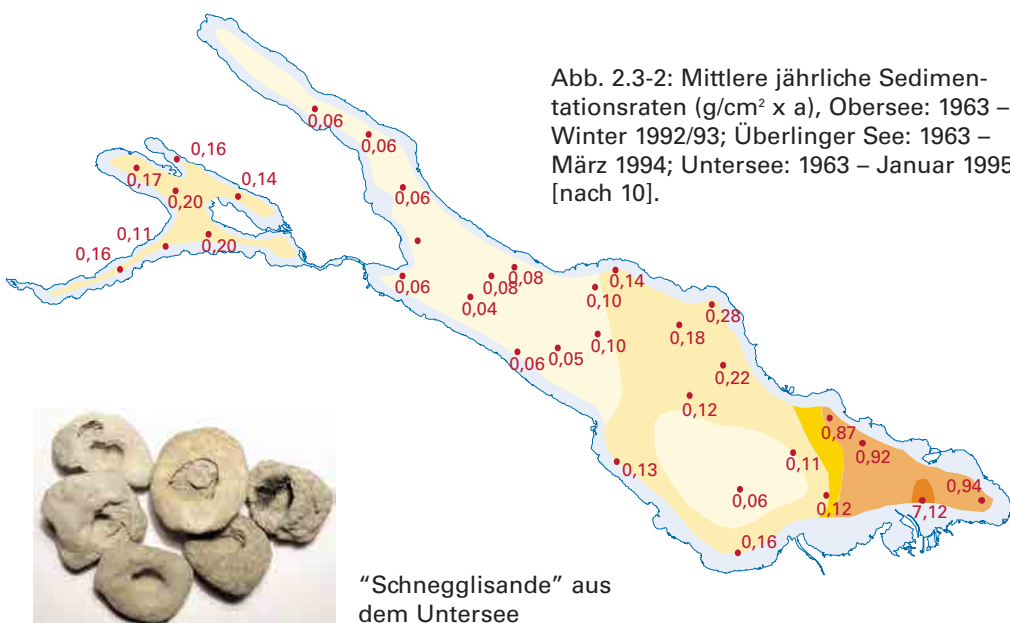
Abb. 2.3-1: Schwebstoffeintrag durch die wichtigsten Bodenseezuflüsse in einem Niedrigwasserjahr (1995/96) und einem Mittelwasserjahr(1996/97) [nach 5, 6]

den Flachwasserbereichen hingegen ergibt sich durch Erosion bzw. Resuspension und Verfrachtung eine tiefenabhängige Abfolge von gröberem zu feineren Fraktionen [7, 8].

Im *Obersee* ist der Sedimentzuwachs im alpenrheinbeeinflussten östlichen Bereich am stärksten, während die Sedimentationsraten im westlichen Teil wegen des Fehlens größerer, feststoffführender Zuflüsse sehr viel geringer sind (Abb. 2.3-2). Das jahreszeitliche Sedimentationsgeschehen in Seemitte unterliegt einer regelmäßigen Abfolge: im Juni werden durch die hohe Wasserführung des Alpenrheins große Mengen silikatischer Partikel eingetragen, im Juli mit Beginn der maximalen Algenentwicklung kommt es zu verstärkter biogener Calcitfällung während im Winter nur eine sehr geringe Sedimentation stattfindet [9].

In den Flachwasserzonen vor allem des *Untersee* trägt die große biologische Aktivität mit autochthoner Karbonatbildung erheblich zur Bildung der Sedimente bei. Im Gnadensee stellt diese Fraktion den Hauptanteil der Sedimente [11]. Eine besondere Sedimentform des Untersees sind die durch Karbonatausfällung unter Mitwirkung von Blaualgen gebildeten erbsen- bis nussgroßen „Schnegglisande“.

**Die Sedimentation zeigt eine jahreszeitliche Dynamik**



*Organische Substanzen* als Bestandteile der Bodensee-Sedimente entstammen der Primärproduktion oder den Einträgen durch Zuflüsse. Ausgehend vom Alpenrhein bis weit in den zentralen See hinein herrschen Sedimente mit einem organischen Kohlenstoffgehalt um 1 % vor. Höhere Gehalte werden flächenhaft im Untersee (Gnadensee, Mündung Radolfzeller Aach) erreicht, lokal auch im Obersee (z.B. vor Langenargen) und Überlinger See (z.B. vor Mündung Stockacher Aach).

**Einflussfaktoren**

Das Seebodenmaterial besteht einerseits aus den durch die Zuflüsse eingetragenen Feststoffen, andererseits aus Ausfällungen der Flach- und Freiwasserzone und abgesunkenem organischem Material. Mit den Feststoffen werden auch Nähr- und Schadstoffe am Seegrund abgelagert. Der Zustand des Seebodens ist somit weitgehend vom Nährstoff- und Energietransport aus den Zuflüssen, dem Litoral und dem Freiwasser abhängig. Auch die Sauerstoffversorgung erfolgt durch seeinterne Strömungen, vor allem aber durch die winterliche Durchmischung des Sees [12].

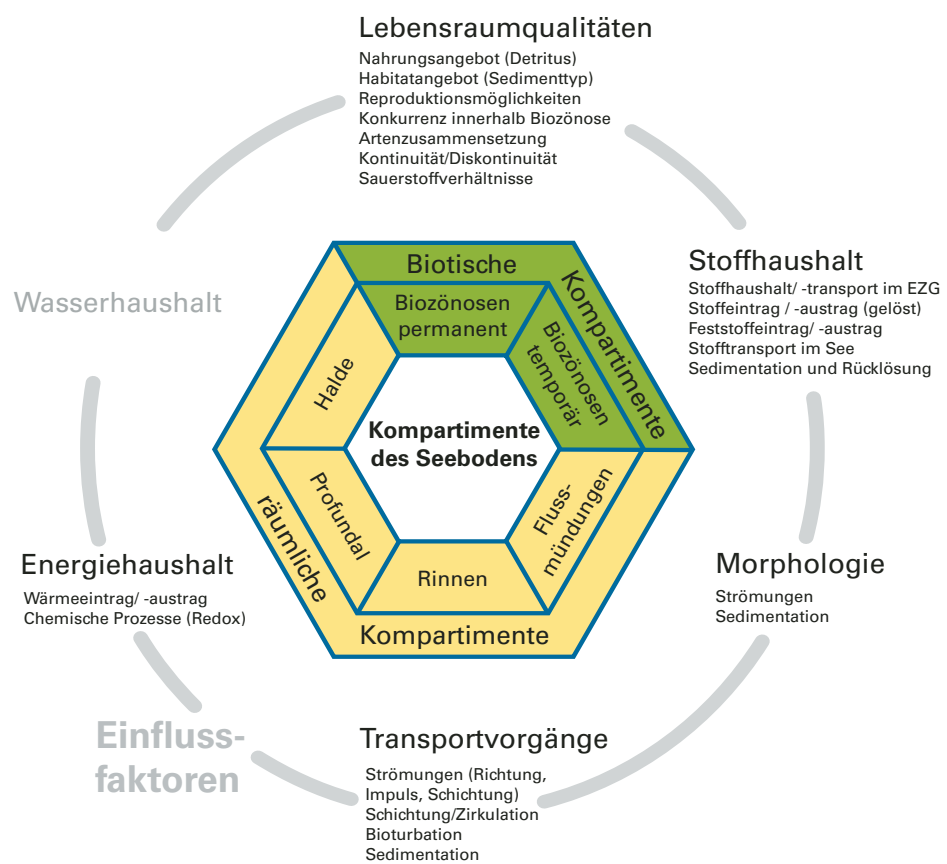


Abb. 2.3-3: Einflussfaktoren auf das Kompartiment „Seeboden“

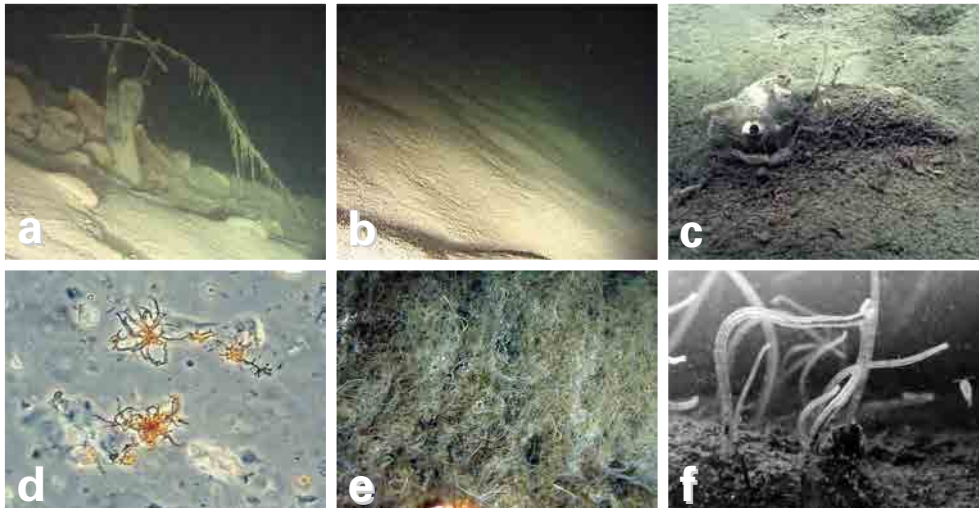
**Biozönosen**

Die am tiefen Seeboden, dem Profundal, lebende Konsumenten- und Destruenten-gemeinschaft - Pflanzen können hier mangels Lichtangebot nicht existieren - ist abhängig von der Energie- und Stoffzufuhr aus dem Pelagial und Litoral. Im Profundal wird absinkende Biomasse zersetzt und mineralisiert. Der Seeboden dient als temporärer Entwicklungsraum von Dauer- und Jugendstadien (Planktonkrebse, Felcheneier) und als dauernder Lebensraum einer charakteristischen Fauna: Larven von Zuckmücken, Büschelmücken und Schlammfliegen, Erbsenmuscheln, Strudel-

**Auf dem Seeboden wird die Biomasse abgebaut**



würmer, Wenigborster (Oligochaeten), Fadenwürmer (Nematoden). Die Besiedlungsdichte im Profundal ist sehr ungleichmäßig, im Obersee ursprünglich eher gering [13], im produktiveren Untersee und an den Flussmündungen aufgrund des besseren Nahrungsangebotes deutlich höher.



#### Sediment und Lebewelt des Bodensee-Profundals

- a) Seeboden in 100 m Tiefe
- b) Seeboden in 200 m Tiefe
- c) Fischkadaver
- d), e) Bakterien
- f) Schlammröhrenwürmer

Fotos a, b, c [i]; Fotos d, e, f, [a]

Die Zusammensetzung der Profundal-Lebensgemeinschaft erlaubt Rückschlüsse auf den Belastungszustand bzw. den Trophiezustand des Sees. Insbesondere die Oligochaetenfauna (Würmer) dient als biologischer Indikator der Belastung mit abbaubaren organischen Stoffen. Hohe Individuendichten finden sich im Sedimentationsbereich von Zuflüssen. Anhand der Oligochaetenfauna des Seebodens wurde 1972–78 überwiegend eine mittlere, in Tiefen über 100 m allerdings eine geringere organische Belastung der Sedimente festgestellt. Deutliche Belastungen fanden sich vor allem im Einflussbereich der größeren Zuflüsse Alpenrhein, Alter Rhein und Argen [14, 15]. Bei neueren Untersuchungen wurde 1992/94 und 1999 eine zunehmende Verschiebung des Artenspektrums zugunsten anspruchsvollerer Arten und ein Rückgang der Individuendichten beobachtet [16]. Dies kann als Erfolg der verbesserten Abwasserreinigung im Einzugsgebiet gewertet werden.

Neben den wirbellosen Tieren kommen am Seegrund auch Fische bis in beträchtliche Tiefen vor. Nicht nur die bodenorientierte Trüsche ist hier zu finden, sondern auch Fische des Litorals suchen die bodennahe Tiefenzone als Ruheraum auf. Beeinträchtigt, wenn nicht gefährdet, wurden die Bestände dieser Fische durch die Sauerstoffarmut der bodennahen Tiefenzone während der Eutrophierungsphase. Die in tiefen Regionen laichenden Seesaiblinge und Trüschchen gingen im Bestand zurück oder verlegten ihre Laichplätze in flachere Bereiche [17], und auch die natürliche Entwicklung der auf den Seegrund absinkenden Blaufelcheneier war gefährdet. Heute herrschen am Seeboden für alle diese Fischarten wieder deutlich bessere Entwicklungsbedingungen [18].



#### Fische auf dem Grund des Bodensees

- a) Trüsche
- b) Aal
- c) Seesaibling

Fotos a, b [b]; c [i]



Abb. 2.3-4: Anthropogene Einflüsse und Nutzungen im Kompartiment Seeboden (das räumliche Kompartiment Litoral ist in Kap. 2.1 dargestellt)

### 2.3.2 Belastungen und Defizite

Der Seeboden wird vor allem durch nutzungsbedingte Stoffeinträge aus dem Einzugsgebiet belastet. Die Sedimente des Sees wirken als Senke für die eingetragenen Nähr- und Schadstoffe. Die im Sediment angereicherten Stoffe können jedoch unter bestimmten chemisch-physikalischen Verhältnissen wieder freigesetzt werden und zu einer Belastung angrenzender Lebensräume führen.

Direkt auf das Seesediment ausgerichtete Nutzungen wie Baggerungen oder Depositionen sind heute weitgehend eingestellt. Einzig das Wiedereinbringen von unbelasteten Seesedimenten findet an wenigen Stellen (z. B. Mündungsbereich des Alpenrheins) noch in begrenztem Ausmaß statt. Der Seeboden wird allerdings beeinflusst durch den Eintrag von Schadstoffen über Zuflüsse oder die Atmosphäre, durch Eingriffe in den Stoffhaushalt (z.B. Geschieberückhalt, Eutrophierung) und durch Änderungen der Zuflussmengen und -wege (z. B. Rheinvorstreckung). Diese Einflüsse sind vielfach durch Ablagerungen im Sediment dokumentiert (vgl. Kap. 2.4).

#### *Eutrophierung, Reoligotrophierung*

Der trophische Zustand des Bodensees spiegelt sich auch in seinen Sedimenten wider. Durch die Untersuchung von Sedimentkernen aus dem Bodensee und die zeitliche Einordnung unterschiedlicher Schichten lassen sich sowohl klimatische Veränderungen wie auch Belastungen des Sees rekonstruieren.

Der Sauerstoffgehalt über Grund schwankt saisonal, mit minimalen Gehalten im Herbst und einem deutlichen Anstieg im Winter, wenn abgekühltes sauerstoffreiches Oberflächenwasser in die Tiefe verfrachtet wird. Im Frühsommer wird der O<sub>2</sub>-

Der Seeboden wird indirekt durch Nutzungen im Einzugsgebiet belastet

Sedimente sind Kalendarien der Belastungsgeschichte

Gehalt des Tiefenwassers möglicherweise auch durch den Zufluss des O<sub>2</sub>-reichen Alpenrheinhochwassers beeinflusst.

Niedrige O<sub>2</sub>-Konzentrationen am Seegrund gefährden die Organismen, die dort einen Teil ihres Lebenszyklus durchlaufen, wie z. B. die Blaufelcheneier, die sich im Winter in den Tiefen des Obersees entwickeln. Außerdem beschleunigen Sauerstoffmangelsituationen die Bildung unerwünschter Abbauprodukte und die Rücklösung von Nähr- und Schadstoffen aus dem Sediment.

Kritische Sauerstoffgehalte über Grund treten vor allem gegen Ende einer Stagnation auf. Zu ausgeprägtem O<sub>2</sub>-Mangel kam es zur Zeit der stärksten Eutrophierung im Tiefenwasser des Bodensees. Die geringsten Sauerstoffgehalte in Grundnähe wurden nach der Seegründe des Jahres 1963 (< 4 mg/l), in der ersten Hälfte der 1970er-Jahre (< 3 mg/l) und Ende der 1980er-Jahre (< 5 mg/l) gemessen (Abb. 2.3-5). Im isolierten Becken des Untersee-Gnadensees treten auch heute natürlicherweise noch regelmäßig Sauerstoffmangelsituationen auf.

Die niedrigsten im See einen Meter über Grund gemessenen Sauerstoffgehalte liegen seit 1995 permanent über den für die Entwicklung der Felcheneier erforderlichen 6 mg/l. Auch im Zeller See (Teil des Untersees) tritt seit 1993 kein vollständiger Sauerstoffschwund mehr auf [22]. Diese ausreichende Sauerstoffversorgung ist allerdings nur gewährleistet, solange nicht die vollständige Durchmischung des Sees mehrere Jahre nacheinander ausfällt [19].

Wenn Ablagerungen organischen Materials so mächtig sind, dass sie von neuen Sedimenten überlagert werden, bevor sie abgebaut werden können, oder wenn zu wenig Sauerstoff zu ihrem Abbau zur Verfügung steht, bilden sich im Sediment durch Eisensulfid schwarz gefärbte Reduktionshorizonte. Während diese 1985 an der tiefsten Stelle des Obersees noch knapp unterhalb der Sedimentoberfläche auftraten, sind die obersten Sedimentlagen seit 1995 wieder zunehmend oxidiert [21].



Sedimentkern aus dem tiefsten Bereich des Sees  
Foto [a]

**Schwankender Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser**

**Die Sauerstoffsituation über Grund hat sich in einem ökologisch günstigen Bereich stabilisiert**

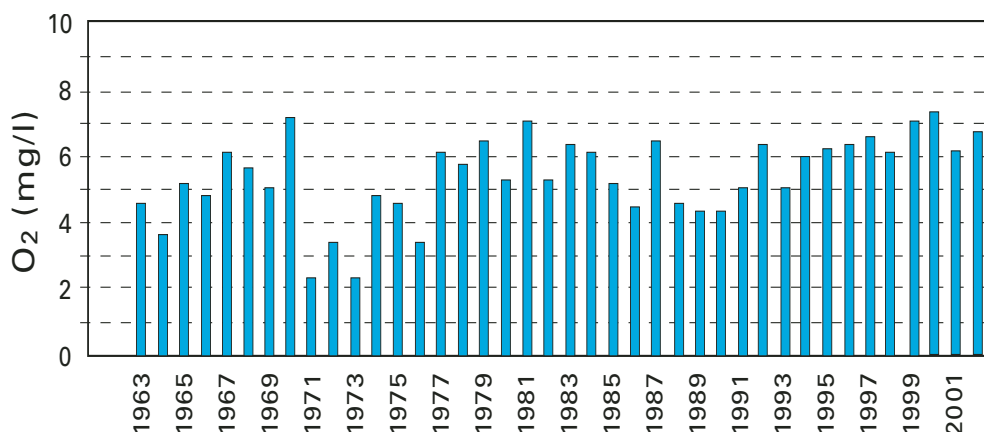


Abb. 2.3-5: Minimale Sauerstoffkonzentrationen 1 m über Grund, 1963-2001 [20, ergänzt]

**Der Mangangehalt ist ein Zeiger für die Sauerstoffversorgung am Seeboden**

Als Indikator für die Redoxverhältnisse und die Sauerstoffversorgung am Seeboden dient der Gehalt an Mangan in der untersten Wasserschicht, dem tiefen Hypolimnion. Manganablagerungen werden bei niedrigem Redoxpotential, d. h. bei Sauerstoffmangel gelöst, der Mangangehalt des Wassers steigt somit an. Seit 1990 zeigt der Mangangehalt des Tiefenwassers einen deutlichen Rückgang (Abb. 2.3-6). Diese Abnahme, die auf eine grundlegende Verbesserung der Redoxverhältnisse am Seeboden hinweist, korreliert mit dem Rückgang der Biomassen seit 1990 [23].

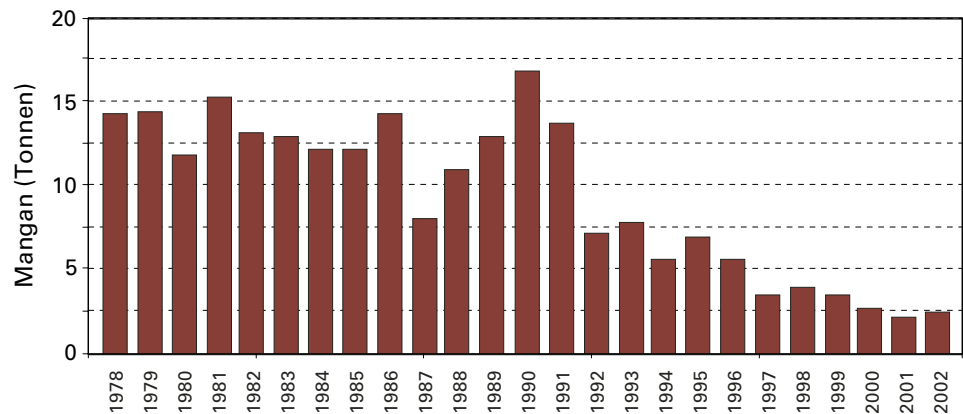


Abb. 2.3-6: Jahresmittelwerte der errechneten Manganinhalte der Wasserschicht von 200 – 254 m Tiefe des Bodensee-Obersees [nach 23, ergänzt]

**Phosphor**

Phosphor gelangt durch das Absinken organischen Materials, durch Mitfällung im Calcit oder an Schwebstoffe der Zuflüsse adsorbiert ins Sediment. In der Seemitte des Obersees und im Überlinger See findet der Großteil der autochthonen P-Sedimentation durch das Absinken von organischer Substanz oder von Kotpellets des Zooplanktons statt.

Die Sedimente des Bodensees zeigen seit 1900 eine Zunahme der P- Gehalte. Auch heute werden an der Sedimentoberfläche trotz des Rückgangs der sedimentierten Phosphatmengen noch relativ hohe P-Gehalte gemessen (Abb. 2.3-7), wobei jedoch die Gehalte in tieferen Sedimentschichten deutlich zurückgehen. Die Ursache hier-

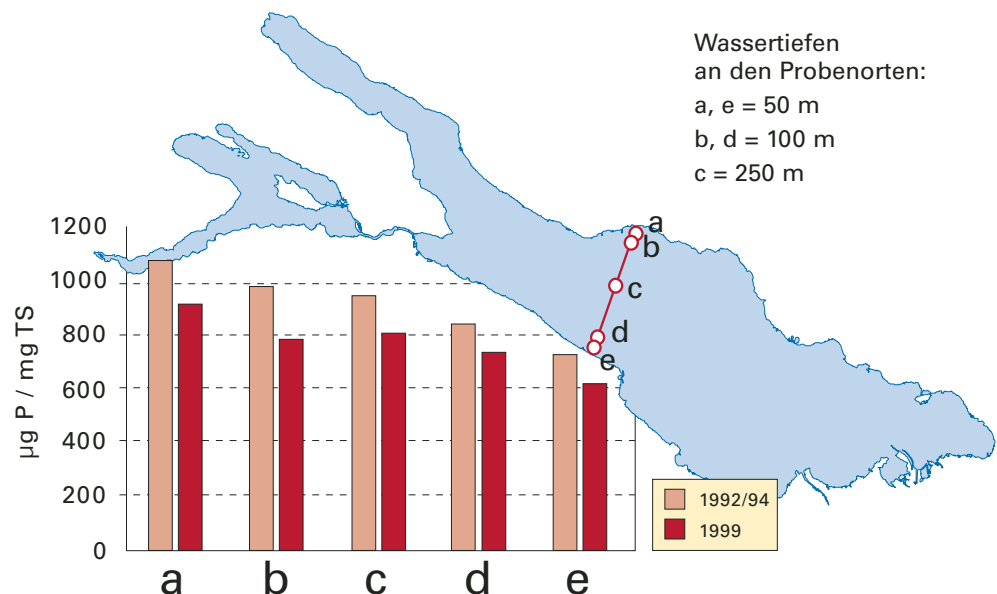


Abb. 2.3-7: Vergleich der Gesamt-P-Gehalte in den oberen 4 cm Sedimentschichten des Querprofils Fischbach-Uttwil [16]. TS = Trockensubstanz

für ist ein Aufstieg gelösten Phosphats aus tieferen (sauerstofffreien) Sedimentschichten und eine Anreicherung an der Oberfläche unter sauerstoffreichen Verhältnissen durch Ausfällung mit Eisenionen [21].

In den Sedimenten des Obersees nahm der Gehalt an *organischem Kohlenstoff* zwischen 1962/63 und 1985 um ca. 60% zu, während er im Untersee mehr oder weniger unverändert blieb [21]. Die maximale Belastung mit organischen Kohlenstoffverbindungen war 1978/80 erreicht. Seither hat die Kohlenstoffsedimentation um mehr als die Hälfte abgenommen [9].

Verstärktes Pflanzenwachstum während der Eutrophierung führte zu einer Zunahme der *biogenen Kalksedimentation* im See. Die Sedimente des Obersees erfuhren eine Zunahme des Karbonatgehaltes von 1962/63 bis 1985 um fast 40 %. Das hohe Calcit/Dolomit-Verhältnis (> 10) belegt die see-eigene Herkunft dieser Karbonatzunahme [21].

Anhand von Diatomeenschalen (Kieselalgenschalen), die im Sediment abgelagert wurden, kann die Entwicklung der Trophie des Sees verfolgt werden [24]. Beispielhaft ist dies an Sedimentkernen aus der Friedrichshafener Bucht in Kapitel 2.2 besprochen.

### Schadstoffe im Sediment

Durch Ablagerung, Ausfällung oder Adsorption werden viele Stoffe - darunter auch Schadstoffe - im Sediment angereichert. Die Untersuchung von Sedimenten ermöglicht somit Aussagen zu Ursachen, Ausmaß und Entwicklung einer Belastung. Dies gilt für feststoffgebundene Substanzen, die keiner wesentlichen chemisch-physikalischen Veränderung unterliegen, wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Schwermetalle und Radioisotope [10, 25, 26].

Bereits in den 1970er Jahren wurde im Bodensee vielerorts eine erhebliche Belastung der obersten Sedimentschichten mit Kohlenwasserstoffen festgestellt. Deutliche Anreicherungen fanden sich vor Zuflussmündungen [30]. Maximale Gehalte an Kohlenwasserstoffen (300 mg/kg Alkane und Alkene) wie auch an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (ca. 5,5 mg/kg TG) wurden in den um 1956–1963 sedimentierten Schichten festgestellt. Die Hauptmenge des PAK-Eintrags stammte aus der Kohlefeuerung und Industrie und wurde direkt durch die Luft oder über Zu-

Schadstoffe	im Wasser [ng/l]	im Sediment [mg/kg]	Verhältnis der Konzentrationen Sediment : Wasser
Kohlenwasserstoffe	1 000	100	100 000
polycyclische aromat. Kohlenwasserstoffe	60	1,2	20 000
organische Halogenverbindungen:			
Chloroform	10	0,002	200
Tetrachlorethen (Per)	10	0,002	200
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	n.n.	0,006	
Schwermetalle:			
Cadmium	20	0,4	20 000
Blei	300	30	100 000

Tab. 2.3-1: Größenordnungen von Stoffkonzentrationen im Wasser und in Sedimenten des Bodensees (ROSSKNECHT, unpubl. Daten); n.n. = nicht nachweisbar

### Organischer Kohlenstoff und Karbonatgehalt

### Diatomeen

### Schadstoffe reichern sich im Sediment an

flüsse in den See eingetragen [25]. Auch durch Emissionen des seenahen Straßenverkehrs und der Motorschifffahrt findet ein Eintrag von Kohlenwasserstoffen statt (s. Kap. 3.4).

Höchstwerte für Pflanzenschutzmittel - mit Ausnahme von Heptachlor und DDT - wurden in Sedimentlagen der Jahre 1963-81 erreicht, während zahlreiche Verbindungen in älteren Schichten unter der Nachweisgrenze lagen. In der obersten Sedimentschicht wurden noch 1976-1981 Lindan, DDT, DDE und DDD in relativ hohen Konzentrationen gemessen [26]. Sedimentuntersuchungen aus dem Jahr 1991 deuten auf einen leichten Rückgang dieser Belastungen [27].

Die meisten Schwermetalle (besonders As, Pb, Zn) erreichen in den auf 1956-63 zu datierenden Schichten des Bodenseesediments Höchstwerte. Von allen Schwermetallen wurde Blei am stärksten (Maximum um 1961) gegenüber dem Hintergrundgehalt von 1890 angereichert (Faktor > 5). Die maximale Konzentration an Zink wurde gegenüber dem Pb-Maximum um 2-3 Jahre verschoben in den Schichten von 1963 gemessen. Die Verschiebung ist vermutlich durch das Löslichkeitsverhalten von Zn im Sediment, nicht durch den Zeitpunkt der Sedimentation zu erklären [28]. Der Cadmium-Gehalt der Sedimente erreichte Anfang bis Mitte der 70er Jahren ein Maximum. Hohe Belastungen der Sedimente wurden in den Mündungsbereichen von Schussen und Argen gemessen. Seit 1995 liegen die Schwermetallgehalte der obersten Sedimentschichten wieder weitgehend im Bereich des geogenen Hintergrunds [29].

Aus den Beobachtungen, dass die Belastungs-Maxima von Blei und Zink im gesamten See im selben Zeitraum liegen und die Zu- und Abnahme der Maximal-Gehalte Ende der 1950er bis Anfang der 1960er Jahre erfolgte, kann auf einen überwiegend atmosphärischen Eintrag dieser Stoffe geschlossen werden [28].

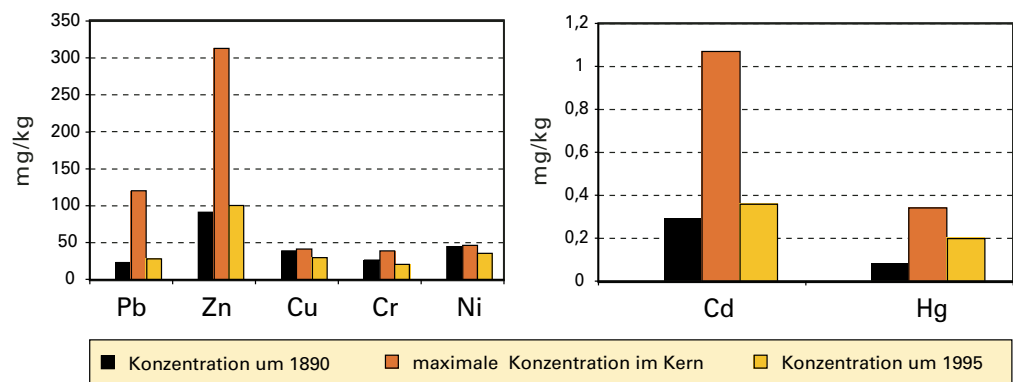


Abb. 2.3-8: Konzentrationen von Schwermetallen in jüngeren (1995) und älteren (1890) Schichten und Maximal-Konzentrationen in einem Sedimentkern aus dem zentralen Bodensee, Wassertiefe 252 m [nach 29]. Pb=Blei; Zn=Zink; Cu=Kupfer; Cr=Chrom; Ni=Nickel; Cd=Cadmium; Hg=Quecksilber.

**Radioaktive Stoffe**

Einträge radioaktiver Stoffe in den Bodensee erfolgten durch die Kernwaffentests in den 1950/60er Jahren und den Unfall im Reaktor Tschernobyl am 26.4.1986. Im zentralen Becken des Obersees spiegelt die <sup>137</sup>Cäsium (Cs)-Aktivität im Sedimentprofil die Entwicklung des <sup>137</sup>Cs-Eintrags über die Atmosphäre wider. Das Maximum des Kernwaffentest-Cäsiums lag in den untersuchten Sedimentkernen im Jahr 1998 in ca. 10 cm Sedimenttiefe, das sehr scharfe und hohe Maximum des Tschernobyl-Cäsiums in ca. 3 cm Tiefe [10]. Die hohe Bindungskapazität des partikulären Materials im Bodensee, insbesondere der Tonminerale, für Cs-Radionuklide bewirkte eine fast voll-

Der Schwermetallgehalt im Sediment liegt wieder im Bereich des geogenen Hintergrunds

Radioaktive Stoffe bleiben im Sediment gebunden

ständige Festlegung im Sediment, wodurch eine Schädigung der Biosphäre verhindert wurde. Hierdurch wurde die Gefährdung der Organismen durch radioaktive Stoffe deutlich verringert (s. auch Kap. 2.2 und 3.10).

### 2.3.3 Angestrebter Zustand

Die vor allem seit den 1970er Jahren ergriffenen Maßnahmen zur Bekämpfung der Eutrophierung trugen erfolgreich zur Reduktion der organischen Belastung der Sedimente und der Gefahr von Sauerstoffdefiziten in den obersten Sedimentschichten bei. Die Belastung mit Kohlenwasserstoffen und Schwermetallen konnte nicht zuletzt durch gezielte Luftreinhaltemaßnahmen verringert werden. Es verbleiben jedoch noch zahlreiche Stoffgruppen, deren Verhalten und Auswirkungen auf den Seegrund noch weitgehend unbekannt sind.

- Es dürfen keine Anreicherungen schwer bzw. nicht abbaubarer hormonaktiver oder toxischer Stoffe im Sediment stattfinden.
- Biologische Aktivität und Abbauleistung im Seeboden dürfen nicht durch sauerstoffzehrende oder toxische Einflüsse beeinträchtigt werden.
- Die Sauerstoff- und Redoxverhältnisse im Seeboden sollen dauerhaft auf ein Niveau gebracht werden, das die Freisetzung von Schadstoffen und größeren Mengen an Nährstoffen verhindert.
- Die Sauerstoffverhältnisse am Seegrund sollen eine ungestörte, natürliche Entwicklung der Bodenorganismen und des Fischlaichs ermöglichen.
- Zur Aufrechterhaltung aerober Lebensbedingungen muss die Sauerstoffkonzentration in den grundnahen Wasserschichten ganzjährig über 6 mg/l liegen. Dieser Wert soll auch in einer Folge von Jahren mit ungünstiger Zirkulation nicht unterschritten werden.
- Prozesse am Seeboden, die zur Festlegung oder Freisetzung von Stoffen führen, sollen intensiver untersucht werden.
- Anreicherungen persistenter organischer Schadstoffe im Sediment sollen verfolgt und deren Auswirkungen abgeklärt werden.
- Der Einflusses der Rheinvorstreckung ist in Bezug auf die Lebensgemeinschaften, den Stoffhaushalt und die Morphologie des Seebodens zu untersuchen.

#### Qualitätsziele

#### Forschungsbedarf

### Literatur

- [1] BRAUN, E. & SCHÄRPF, K. (1994): Internationale Bodensee-Tiefenvermessung 1990. - Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, 98 S., Anlagen u. Karten
- [2] SCHRÖDER, H. G., WESSELS, M. & NIESSEN, F. (1998): Acoustic facies and depositional structures of Lake Constance. - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 53: 351-368
- [3] WAGNER, B., SCHRÖDER, H.G., GÜDE, H., SANZIN, W. & ENGLER, U. (1998): Zustand des Seebodens 1992-1994, Sedimentinventare - Phosphor – Oligochaeten. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 47, 46 S., Eigenverlag
- [4] BiCON AG, Kreuzlingen (2000): Das Rheindelta im Bodensee. Seegrundaufnahme von 1999. - Internationale Rheinregulierung, Bauleitung Lustenau
- [5] WAGNER, G. & BÜHRER, H. (1989): Die Belastung des Bodensees mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen, organisch gebundenem Kohlenstoff und Borat im Abflussjahr 1985/86. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 40, 52 S. + Sonderband (Messdaten), Eigenverlag
- [6] BÜHRER, H., KIRNER, P. & WAGNER, G. (2000): Dem Bodensee in den Abflussjahren 1996 und 1997 zugeführte Stofffrachten. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 53, 42 S., Eigenverlag

- [7] MÜLLER, G. (1966): Die Sedimentbildung im Bodensee. - Die Naturwissenschaften 53: 237-247
- [8] SCHMIEDER, K. (1998): Submerse Makrophyten der Litoralzone des Bodensees 1993 im Vergleich mit 1978 und 1967. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 46, 171 S., Eigenverlag
- [9] GÜDE, H. & SCHRÖDER, G. (1998/99): Leise rieselt im Bodensee - Sedimentfallenkampagne 1995/96. - 25 Jahre LfU - Jahresbericht 1998/99: 147-150
- [10] KAMINSKI, S., KONOPLEV, A., LINDNER, G. & SCHRÖDER, H.G. (1998): The fate of artificial caesium radionuclides in Lake Constance. - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 53: 369-409
- [11] SCHÖTTLE, M. (1969): Die Sedimente des Gnadensees. - Arch. Hydrobiol. Suppl. 35: 255-308
- [12] ROßKNECHT, H. (2003): Der Alpenrhein im Bodensee - Chemische Indikatoren zur Aufklärung physikalischer Verhältnisse. - Landesanstalt für Umweltschutz. Institut für Seenforschung, Berichte 41 S.
- [13] LUNDBECK, J. (1936): Untersuchungen über die Bodenbesiedlung der Alpenrandseen.- Arch. Hydrobiol., Suppl. 10: 207-358
- [14] ZAHNER, R. (1981): Zum biologischen Zustand des Seebodens des Bodensees in den Jahren 1972 bis 1978. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 25, 289 S., Eigenverlag
- [15] PROBST, L., WAGNER, B. & MEIER, A. (1988): Die Oligochaeten im Bodensee als Indikatoren für die Belastung des Seebodens (1972 bis 1978). - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 38, 69 S., Eigenverlag
- [16] IGKB (2000): Bericht über die Untersuchungen zum Seebodenzustand im Jahr 1999. - Jahresbericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee: Limnologischer Zustand des Bodensees Nr. 27, Eigenverlag
- [17] DEUFEL, J., LÖFFLER, H. & WAGNER, B. (1986): Auswirkungen der Eutrophierung und anderer anthropogener Einflüsse auf die Laichplätze einiger Bodensee-Fischarten. - Österreichs Fischerei 39 (12): 325-336
- [18] BADEN-WÜRTTEMBERG, LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (2002): Qualitative und quantitative Untersuchungen zur Entwicklung des Felchenlaichs im Bodensee. - LfU-Jahresbericht 2000/2001, S. 87-89. Karlsruhe
- [19] BÜHRER, H. (2001): Tolerierbare Phosphor-Fracht des Bodensee-Obersees. 2. Aufl. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 54, 78 S., Eigenverlag
- [20] IGKB (2000): 40 Jahre Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee. Eine Bilanz 1999. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, 15 S., Eigenverlag
- [21] MÜLLER, G. (1997): Chronologie des anthropogenen Phosphor-Eintrags in den Bodensee und seine Auswirkung auf das Sedimentationsgeschehen. - S. 317-342 in: Geochemie und Umwelt, Springer, Berlin
- [22] IGKB (1998): Jahresbericht Januar 1997 bis März 1998 - Jahresbericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee: Limnologischer Zustand des Bodensees Nr. 25, Eigenverlag
- [23] ROßKNECHT, H. (1998): Langjährige Entwicklung chemischer Parameter im Bodensee-Obersee. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 48, 143 S., Eigenverlag
- [24] MOHAUPT, K. (1994): Rezente und subrezente Diatomeen im Sediment des Bodensee-Obersees als Abbild der Nährstoffbelastung. - Unveröff. Diplomarbeit Univ. Konstanz, Fak. Biol., 94 S.
- [25] MÜLLER, G., GRIMMER, G. & BÖHNKE, H. (1977): Sedimentary Record of Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Lake Constance. - Naturwissenschaften 64: 427-431
- [26] ROßKNECHT, H. (1984): Schadstoffe in Bodensee-Sedimenten. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 31, 45 S., Eigenverlag
- [27] MÜLLER, H. (1994): Untersuchung von Schadstoffen in Bodensee-Sedimenten. - Jahresbericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee: Limnologischer Zustand des Bodensees Nr. 20, Eigenverlag
- [28] WESSELS, M. & SCHRÖDER, H.G. (1998): Lead and zinc in the sediments of Lake Constance, SW Germany. - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 53: 335-349
- [29] MÜLLER, G. (1997): Nur noch geringer Eintrag anthropogener Schwermetalle in den Bodensee - neue Daten zur Entwicklung der Belastung der Sedimente. - Naturwissenschaften 84: 37-38
- [30] IGKB (1975): Zustand und neuere Entwicklung des Bodensees (Stand 1974). - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee - Bericht Nr. 16, 33 S., Eigenverlag



## 2.4 Grundwasser, Bäche und Flüsse im Einzugsgebiet

### 2.4.1 Charakteristik und gegenwärtiger Zustand

Das Einzugsgebiet des Bodensees einschließlich der Seefläche umfasst bis zum Seeabfluss bei Stein am Rhein eine Gesamtfläche von 11 438 km<sup>2</sup>. Der tiefste Punkt liegt auf 395 m ü. NN (Seeabfluss), der höchste auf 3 614 m ü. NN (Tödi). Etwa 40% der Fläche des Einzugsgebietes liegen in einer Höhe über 1 800 m [1]. In den Bodensee münden mehr als 200 Flüsse, Bäche und Gräben. Der größte Zufluss ist der Alpenrhein, dessen Einzugsgebiet bei einem Flächenanteil von 56,1 % (= 6119 km<sup>2</sup>) knapp zwei Drittel des dem Bodensee zufließenden Wassers liefert.

Weitere Zuflüsse sind in Abb. 2.4-1 aufgeführt.

**40 % der Fläche des Bodenseeeinzugsgebietes liegen über 1800 m ü.M.**

*Versickerungswasser aus dem Donauegebiet*



- 1 = Radolfzeller Aach
- 2 = Stockacher Aach
- 3 = Seefelder Aach
- 4 = Rotach
- 5 = Schussen
- 6 = Argen
- 7 = Leiblach
- 8 = Ruggbach
- 9 = Bregenzerach
- 10 = Dornbirnerach
- 11 = Alpenrhein
- 12 = Rheintal-Binnenkanal (und Alter Rhein)
- 13 = Goldach
- 14 = Steinach
- 15 = Aach (Salmsach)
- 16 = Ill
- 17 = Werdenberger BK
- 18 = Alfenz
- 19 = Saarkanal
- 20 = Landquart
- 21 = Tamina
- 22 = Plessur
- 23 = Vorderrhein
- 24 = Hinterrhein
- 25 = Albula
- 26 = Landwasser

Abb. 2.4-1: Das Einzugsgebiet des Bodensees

Gewässer	(geographisches) Einzugsgebiet		Höhe Quellgebiet m ü. NN	mittlerer Abfluss m <sup>3</sup> /s
	bis...	km <sup>2</sup>		
Radolfzeller Aach	Pegel Rielasingen	198,0 *	475	8,22
Stockacher Aach	Mündung	239,9	620	1,71
Seefelder Aach	Mündung	280,3	660	3,23
Rotach	Mündung	129,5	610	1,97
Schussen	Mündung	821,8	590	11,25
Argen	Mündung	656,4	700	20,10
Leiblach	Pegel Unterhochsteg	102,4	900	3,31
Ruggbach	Pegel Lochau	7,2	800	0,28
Bregenzerach	Mündung	832,0	2 000	48,14
Dornbirnerach	Pegel Lauterbach	195,6	1 500	6,96
Alpenrhein	Pegel Diepoldsau	6 119,0	3 418	233,24
Schweiz. Rheintal-Binnenkanal	Pegel St. Margrethen	360,0		11,86
Goldach	Pegel Goldach	49,8	800	1,35
Steinach	Pegel Steinach	24,2	800	0,78
Aach	Pegel Salmsach	48,5	450	0,75

\* ohne Versickerungsgebiet der Donau

Tab. 2.4-1: Einzugsgebiete und mittlere Abflüsse (1978-1990) der wichtigsten Bodenseezuflüsse, nach [1]

Entsprechend dem großen Höhenbereich, über den sich das Einzugsgebiet erstreckt, sind die Zuflüsse unterschiedlichen Abflussregimetypen zuzuordnen. Der Alpenrhein mit ausgeprägtem Abflussmaximum im Juni und einem Minimum im Winter kann dem „nivalen Regime“ zugeordnet werden [2]. Die Abflussbildung in Bregenzerach und Dornbirnerach erfolgt durch eine Überlagerung von Schneeschmelze und Frühjahrsregen mit Maxima im Mai/Juni und Minima im Winterhalbjahr. Die Abflüsse von Steinach, Goldach, Leiblach und Argen zeigen hingegen eine sehr geringe Schwankungsbreite. Die baden-württembergischen Zuflüsse Schussen, Rotach, Seefelder und Stockacher Aach und die bei Romanshorn mündende Aach weisen ein pluviales Abflussregime mit Maxima im Februar (Niederschlag, Schneeschmelze) und späten Herbst (zyklonale Niederschläge) auf (Abb. 2.4-2).

**Die Hauptzuflüsse zum Bodensee führen ihren höchsten Abfluss bei der Schneeschmelze**

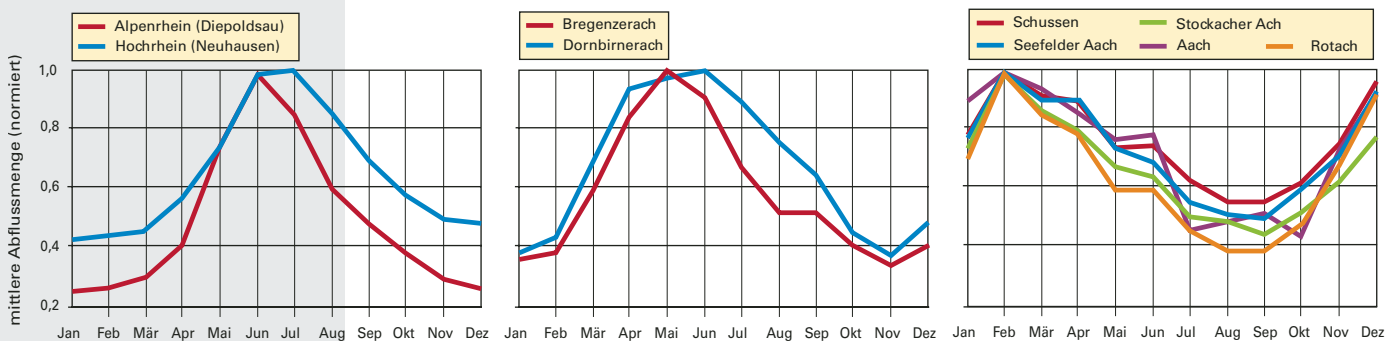


Abb. 2.4-2: Abflussregime ausgewählter Bodenseezuflüsse [1]



Der Alpenrhein entwässert über die Hälfte des Bodenseeeinzugsgebiets. Seit 1911 ist er vollständig reguliert. Seit dem "Fußacher Durchstich" wird seine Sedimentfracht weiter östlich in den Bodensee eingeleitet und verfüllt langsam die Bregenzer Bucht. Der ehemalige Rheinlauf, heute Alter Rhein genannt, verläuft in Bildmitte nach rechts (vgl. auch Bild in Kasten S. 66) [3].

Foto [k]

**Der Alpenrhein ist der bedeutendste Bodenseezufluss**

### *Grundwasser*

In den Tälern, in denen die Flüsse mächtige Geschiebemengen abgelagert haben, befinden sich bedeutende Grundwasservorkommen. Die wichtigsten liegen im Alpenrheintal, in den Tälern der Argen und der Radolfzeller Aach. Die Grundwasserkörper stehen zum Teil im Austausch mit den Oberflächengewässern. Dieser Austausch wird durch Gewässerverbau und Sohlenverdichtung (Kolmation) behindert. Durch Wasserentnahmen, aber auch durch Erosion bzw. Abtiefung der Flusssohle kann auch der Grundwasserspiegel absinken. Dies führte im Alpenrheintal zum Teil zu einem Trockenfallen der grundwassergespeisten Gießen [4].

Das Grundwasser stellt im Bodensee-Einzugsgebiet die wichtigste Quelle für die Trink- und Brauchwasserversorgung dar. Darüber hinaus wird Grundwasser zur Wärmegewinnung und zu Kühlzwecken genutzt.

Die Qualität der Grundwasservorkommen in den wichtigsten Grundwasserleitern des Einzugsgebietes ist in den meisten Fällen sehr gut [5, 6, 7]. In landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten ist bisweilen der Nitratgehalt erhöht (siehe Kap. 3.2). In Einzelfällen ist das Grundwasser lokal durch Pflanzenschutzmittel verunreinigt, vor allem durch Atrazin und dessen Abbauprodukt Desethylatrazin. Die Anwendung von Atrazin ist in den Anliegerländern des Bodensees seit mehr als 10 Jahren verboten oder im Einsatz eingeschränkt. Dies verdeutlicht die Empfindlichkeit der Grundwasserreserven, die nur langsam erneuert werden, und in denen Schadstoffe nur lang-

**Wichtige Grundwasservorkommen**

**Gute Grundwasserqualität**

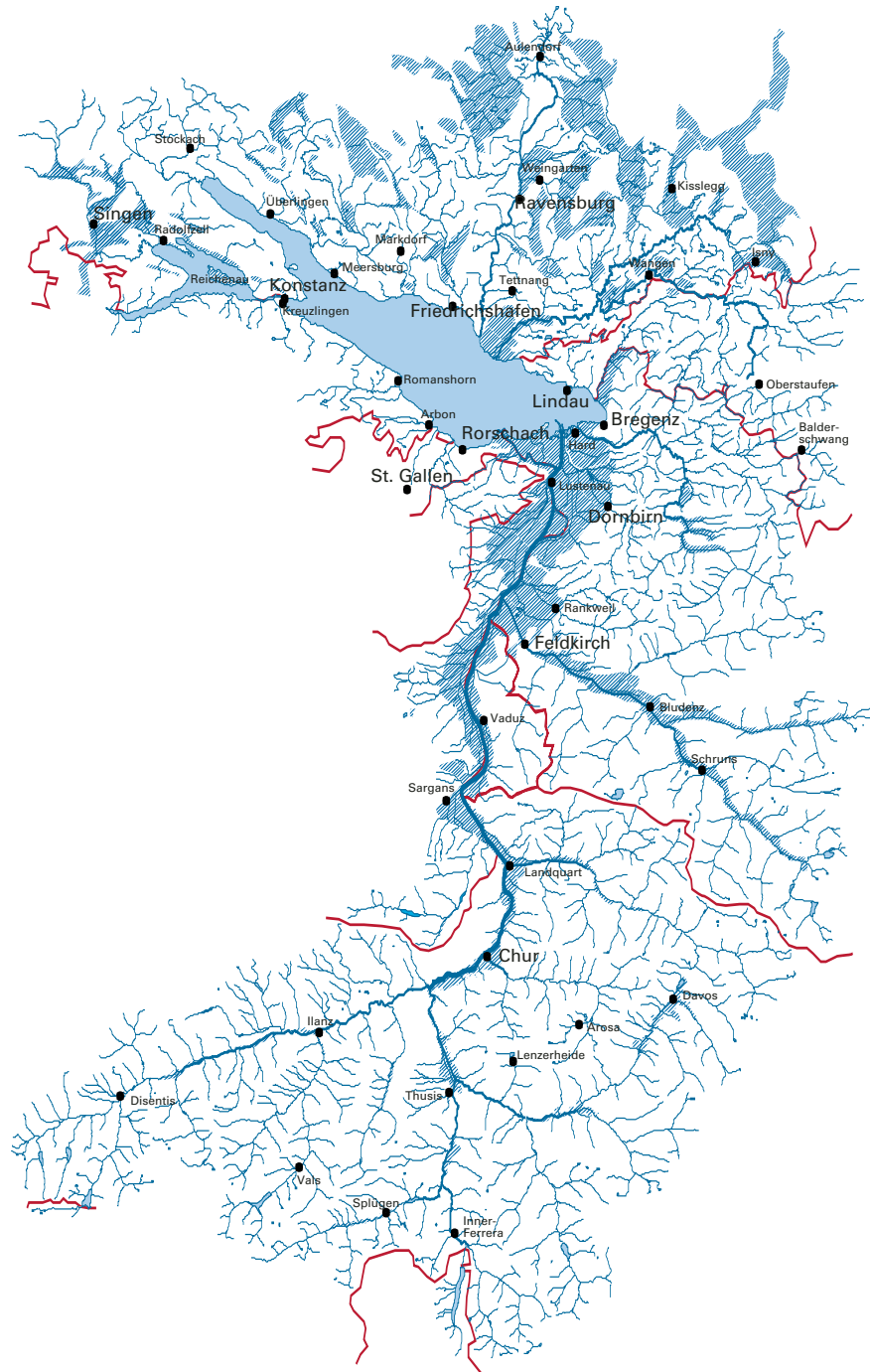


Abb. 2.4-3: Bedeutende Grundwasservorkommen (schraffierte Bereiche) im Einzugsgebiet des Bodensees [nach 6-12]

sam abgebaut werden. Als punktuelle Belastungsquellen sind vor allem Altablagerungen zu nennen, in deren Umgebung nicht selten polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe im Grundwasser gefunden werden [6]. Während Grundwasser unter intakter Bodendecke durch die Filterwirkung und langsame Stoffpassage gut geschützt ist, sind Grundwasservorkommen unter sandiger oder dünner Bodenaufgabe, wie auch solche mit offenem Kontakt zu Oberflächengewässern oder gar mit freiem Wasserspiegel (z. B. Baggerseen), sehr anfällig gegen Verschmutzungen.

*Bodenseezuflüsse und andere Oberflächengewässer*

Die biologische Gewässergüte und Wasserbeschaffenheit der Bodenseezuflüsse konnte in den letzten Jahrzehnten durch den Ausbau der Abwasserreinigung deut-

**Gefährdung des Grundwassers**

lich verbessert werden. Bäche und Flüsse im Einzugsgebiet des Bodensees weisen heute überwiegend zumindest die biologische Güteklasse II auf, sie sind also nur noch mäßig oder gering belastet (bei 7-stufiger Klassifizierung). Es sind jedoch immer noch vereinzelt stark belastete Gewässer bzw. Gewässerabschnitte vorzufinden (Abb.2.4-4).

**Die biologische Gewässergüte der Zuflüsse hat sich wieder stark verbessert**

Neben der Wasserqualität bestimmen Strukturen und Strömungscharakter eines Fließgewässers seine Eignung als Lebensraum für zahlreiche Organismen.

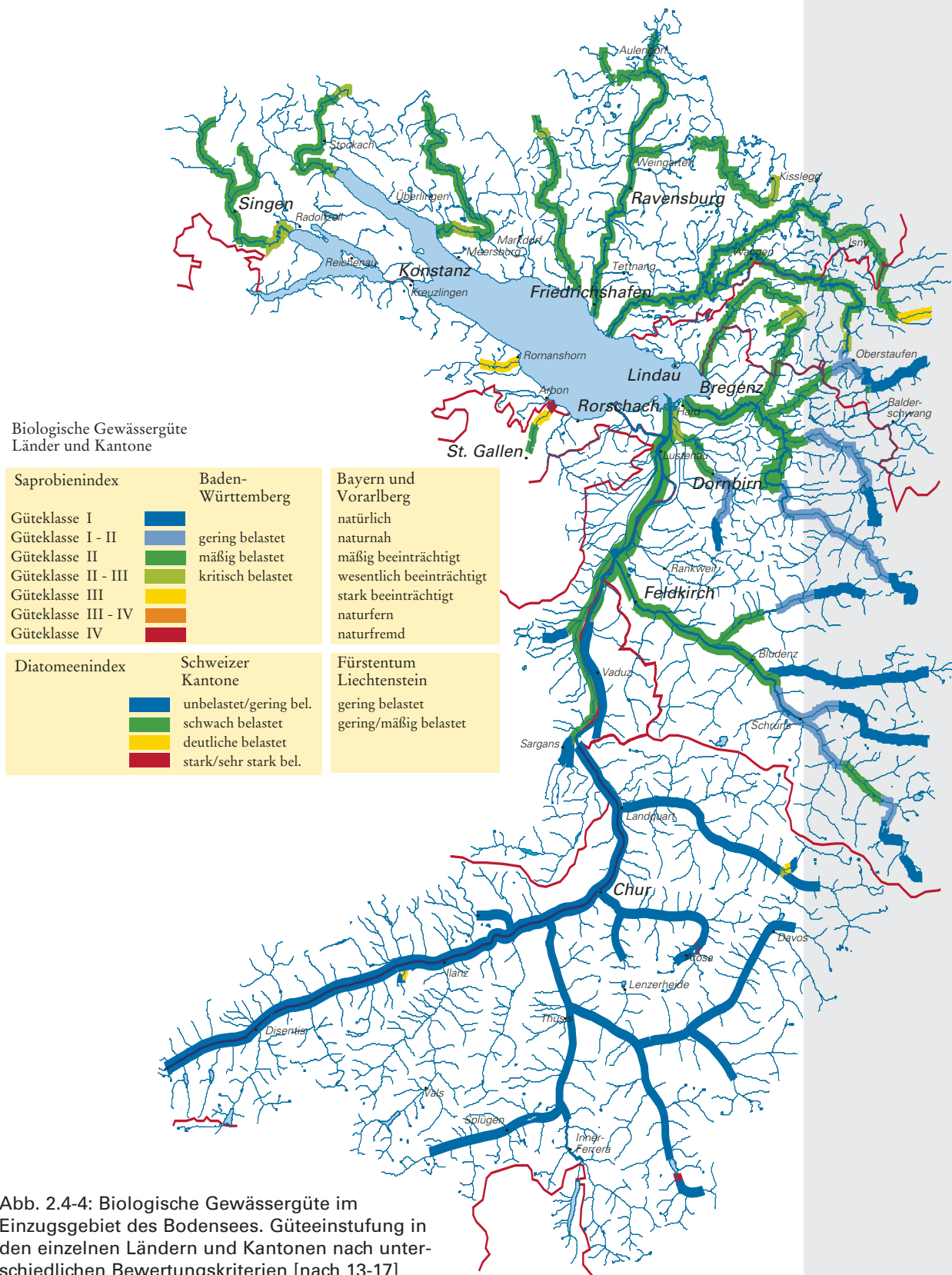


Abb. 2.4-4: Biologische Gewässergüte im Einzugsgebiet des Bodensees. Güteinstufung in den einzelnen Ländern und Kantonen nach unterschiedlichen Bewertungskriterien [nach 13-17]

Die Bodenseezuflüsse weisen erhebliche morphologische Defizite auf

Geeignete Strukturen ermöglichen nicht nur einen Austausch zwischen den verschiedenen Lebensräumen des Gewässers, sondern auch einen Kontakt von Land- und Wasserlebensräumen. Eine gegenseitige Beeinflussung von Oberflächenwasser und Grundwasserkörper wird wesentlich von Strukturen der Flusssohle bestimmt. Nicht zuletzt erhöht eine reiche Gewässerstruktur die Selbstreinigungskraft und wirkt ausgleichend auf das Abflussgeschehen. Die meisten Bodenseezuflüsse aus dem Alpengebiet weisen an ihren Oberläufen über weite Strecken einen guten mor-

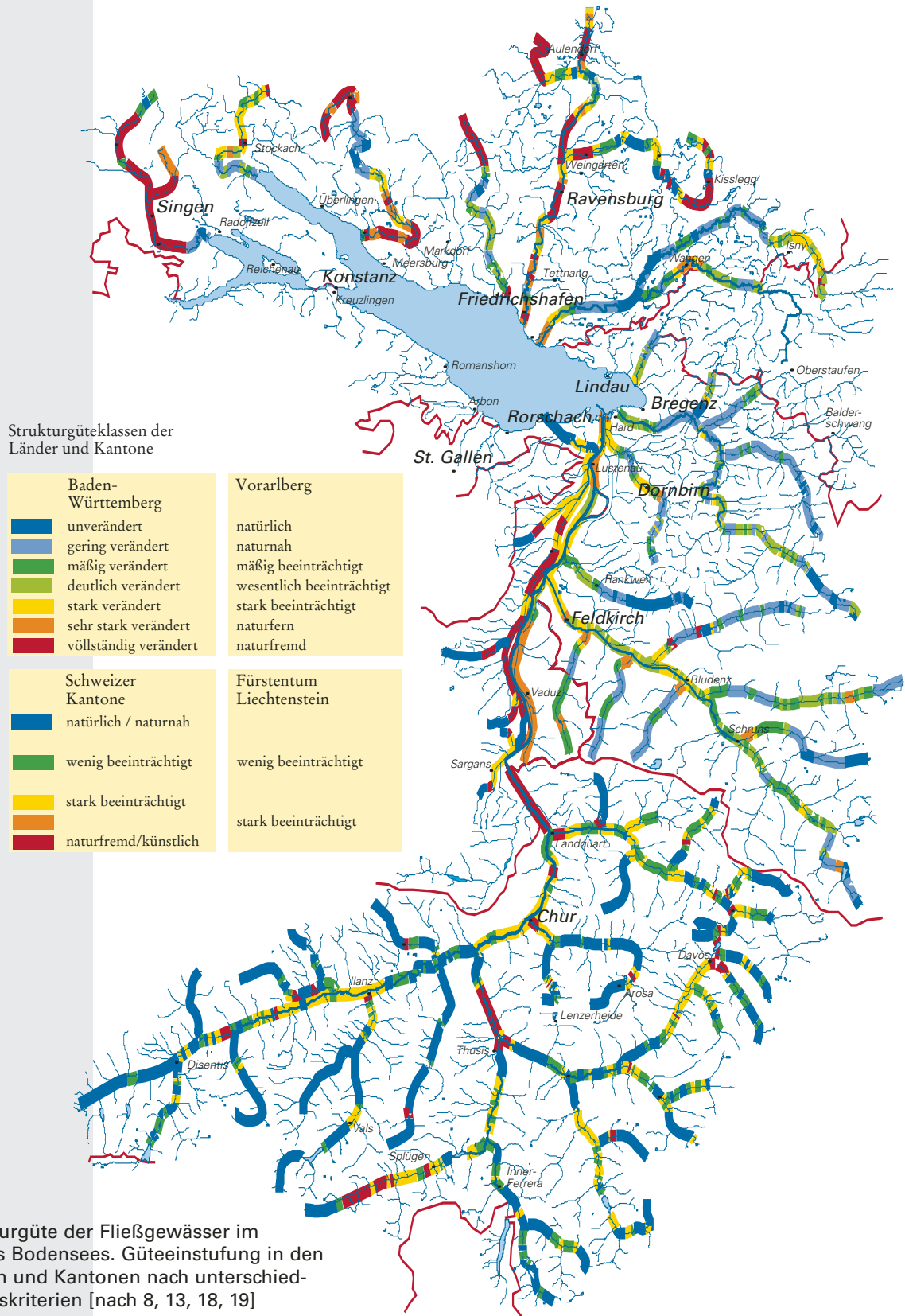


Abb. 2.4-5: Struktur Güte der Fließgewässer im Einzugsgebiet des Bodensees. Güteinstufung in den einzelnen Ländern und Kantonen nach unterschiedlichen Bewertungskriterien [nach 8, 13, 18, 19]

phologischen Zustand auf, wohingegen viele Unterläufe und insbesondere Mündungsbereiche deutliche strukturelle Defizite zeigen. Die nördlichen Zuflüsse des Bodensees sind oft bereits in ihren Oberläufen verbaut, während die Unterläufe teilweise in einem besseren Zustand sind [20] (Abb. 2.4-5). Im deutschen Einzugsgebiet des Bodensees sind 50-60% des Laufes der grösseren Gewässer als naturfern einzustufen [21; (Stand 1993)], 50% der vorarlberger Fließgewässer im Talgrund werden als stark beeinträchtigt oder schlechter bewertet [18].

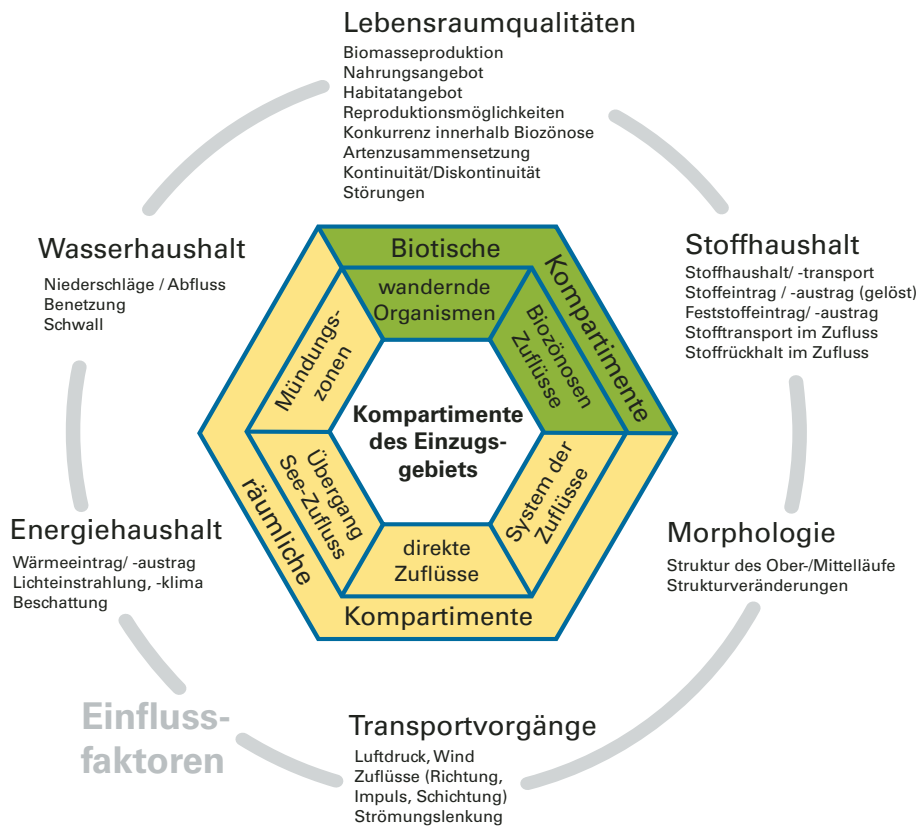


Abb. 2.4-6: Auf das Einzugsgebiet wirkende Einflussfaktoren

### Bedeutung der Zuflüsse für den Bodensee

#### Stoffhaushalt

Die in die Zuflüsse eingebrachten Stoffe werden im Zuge der natürlichen Selbstreinigungsprozesse zum Teil abgebaut, umgeformt oder über physikalische und biochemische Reaktionen gebunden. Das Selbstreinigungspotential von Fließgewässern ist wegen der günstigen Sauerstoffbilanz deutlich höher als das von Seen [22]. Somit besitzen ökologisch intakte Zuflüsse eine wesentliche Bedeutung für die Reinhaltung des Bodensees. Die Frachten an gelösten bioverfügbaren Nährstoffen, die in die Bodenseezuflüsse eingetragen werden, werden bis zu den Mündungen in den See durch verschiedene Bindungsprozesse deutlich reduziert. So wurde 1997 die abwasserbürtige Fracht an bioverfügbarem Phosphor bis zum Eintrag in den Obersee unter anderem durch Bindung an Schwebstoffe von 170 t auf 81 t vermindert [23] (siehe Abb. 3.2-6).

#### Sauerstoffhaushalt und Strömungseinschichtung

Auch die Sauerstoffverhältnisse im See werden durch die Zuflüsse beeinflusst. Vor allem im Winter tragen tiefe Einschichtungen der Zuflüsse, insbesondere des Alpen-

**Ökologisch intakte Zuflüsse sind für die Reinhaltung des Sees wichtig**

**Kalte Zuflüsse führen Sauerstoff in das Tiefenwasser des Bodensees**

**Die Rheinvorstreckung beeinflusst die Flusswassereinschichtung in den Bodensee**

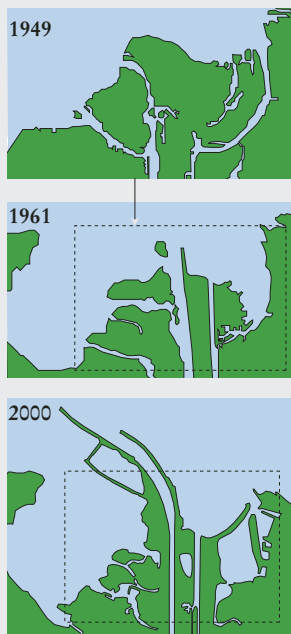


Abb. 2.4-7: Entwicklung des Rhein-Deltas seit 1949 [nach 28, 29], [f]

rheins, zur Sauerstoffversorgung der Tiefenbereiche des Bodensees bei. Im Sommer sichten sich die Zuflüsse dagegen meist nahe der Temperatursprungschicht – unterhalb der erwärmten Oberfläche und über dem kalten Tiefenwasser – in den See ein. Das Einschichtungsverhalten der Zuflüsse und in weiterer Folge das überaus komplexe Strömungsgeschehen im See ist nicht nur von thermischen, witterungsbedingten und chemisch-physikalischen Faktoren, sondern auch wesentlich von der morphologischen Ausprägung der Mündungsbereiche bestimmt [24]. Nach Ergebnissen einer Modellierung der limnologischen Auswirkungen der Rheinvorstreckung [24, 25] kann die winterliche Einschichtung des Rheinwassers im See von Lage und Richtung der Mündung beeinflusst werden. Eine erwünschte kräftige Durchströmung der tiefen Seebereiche im Frühwinter (Sauerstoffversorgung des Tiefenwassers) kann durch entsprechende Gestaltung der Mündung begünstigt werden. Dabei wird allerdings eine geringere Einströmung in die Bregenzer Bucht in Kauf genommen. Durch den stärkeren Anstrom des deutschen Ufers werden die dortigen Sedimentationsverhältnisse beeinflusst und erhöhte Trübstoffkonzentrationen beeinträchtigen die Wasserentnahmen an diesem Ufer [41]. Während der Einfluss der Rheinvorstreckung auf die seenphysikalischen Verhältnisse ansatzweise dokumentiert ist [24, 26, 27, 42], fehlen bisher gezielte Untersuchungen der Auswirkungen auf den biologischen Zustand des Sees.

*Sedimentation im See*

Die Sedimente des Bodensee-Obersees stammen überwiegend aus Einschwemmungen der Zuflüsse, wie dies einige Deltabildungen dokumentieren (Abb. 2.4-7). Beim Eintritt in den See gelangen die Feststoffe entsprechend ihrer Dichte und Körnung zur Ablagerung. Die enormen Materialeinträge durch die Zuflüsse führen zur allmählichen Verfüllung und Verlandung des Sees – ein „Schicksal“, das den als Rheintalsee bezeichneten, ehemals bis Chur reichenden Seeteil bereits im Spätglazial ereilte.

Im Falle der künstlichen Vorstreckung der Alpenrheinmündung wird versucht, die durch den Rhein mitgeschleppten Feststofffrachten in das tiefe Seebecken abzuleiten, so dass Fussacher und Bregenzer Bucht nicht beschleunigt verlanden. Wie Vermessungen im Bereich der Bregenzer Bucht zeigten, sind die Hauptvorschüttungen bereits heute deutlich nach Nordwesten verlagert [25, 27, 29].

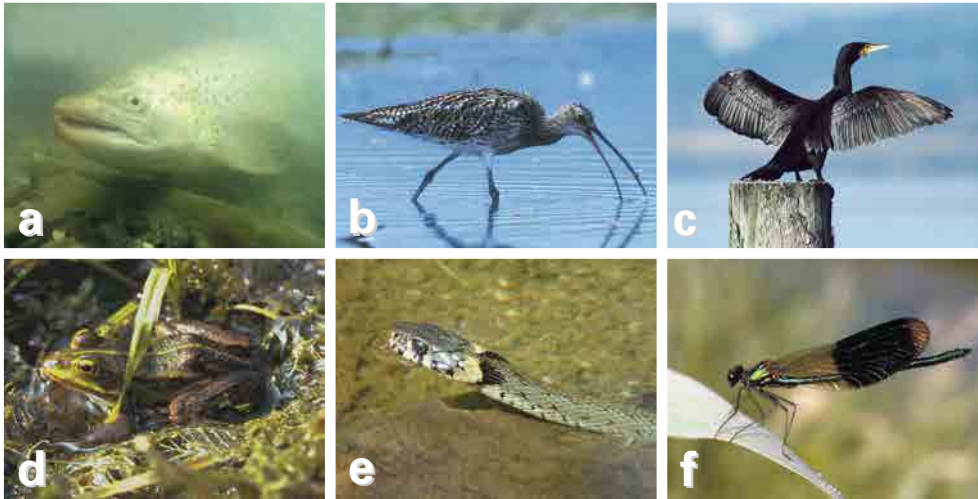
*Zuflüsse als Teillebensraum des Bodensees*

Die Zuflüsse werden von Bodenseefischen, insbesondere von der Seeforelle aber auch von Cypriniden wie Hasel (Argen) und Nase (Rotach), als Laich- und Jungfischhabitat genutzt. Für die Seeforelle ist die Vernetzung des Bodensees und seiner Zuflüsse von existentieller Bedeutung. Eine Form der Seeforelle zieht ab Juni in die größeren Zuflüsse und steigt bis über 150 km weit im Alpenrhein auf, um im Oberlauf abzulaichen. Eine andere Form steigt erst ab Oktober in größere und kleinere Zuflüsse auf. Die im Frühjahr schlüpfenden Jungfische verbleiben 1-2 Jahre in den Zuflüssen, bis sie wieder in den Bodensee abwandern [30].

Entlang der Flüsse ziehen auch Wasser- und Watvögel bis weit ins Hinterland. Besonders den Gewässern des Alpenrheintals, einer wichtigen Route für den Vogelzug, kommt eine besondere Bedeutung als Rast- und Aufenthaltsgebiete zu.

Einen eigenen Lebensraum bilden die Flussmündungen mit ihrem Nebeneinander von Fließ- und Stillwasser, Flachwasser, Kies-/Sandbänken, Makrophytenbeständen, Röhricht, Ried und Auenvvegetation. Hier ist ein Schwerpunkt des Vorkommens unterschiedlichster Tierarten, insbesondere von Amphibien, Vögeln und Fischen.





**Unterwegs zwischen See, Mündungsbereich und Fluss**

- a) Seeforelle
- b) Großer Brachvogel
- c) Kormoran
- d) Wasserfrosch
- e) Ringelnatter
- f) Prachtlibelle

Fotos b, c [I]; Fotos a, d, e, f [i]

**2.4.2 Belastungen und Defizite**

*Nutzungen und strukturelle Veränderungen der Zuflüsse*

Die Belastungen, die sich für die Bodenseezuflüsse aus den Nutzungen des Einzugsgebiets durch Land- und Forstwirtschaft, Siedlungswasserwirtschaft, Verkehr, Wirtschaft und Tourismus ergeben, werden in den entsprechenden Kapiteln in Abschnitt 3 behandelt. An dieser Stelle werden nur die Belastungen besprochen, die aus einer Nutzung der Gewässer selbst entstehen.

*Hochwasserschutz und Entwässerung*

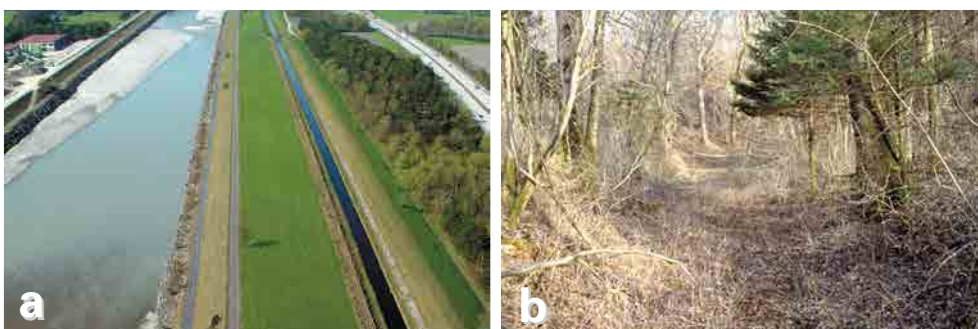
Während in den Gewässern mit alpinem Einzugsgebiet wie auch in zahlreichen Unterläufen ein verbesserter Hochwasserschutz das vorrangige Ziel bisheriger Ausbaumaßnahmen war, wurden zahlreiche kleine Gewässer des Voralpengebietes und der breiten Flusstäler im Rahmen landwirtschaftlicher Meliorationen ausgebaut. Hier gingen nicht nur wertvolle Gewässerlebensräume verloren, sondern auch Feuchtgebiete, Moore und Auen wurden zerstört. Die auffälligsten Defizite finden sich heute hinsichtlich der biologischen Durchgängigkeit der Zuflüsse sowie des Zustands der Gewässersohle, der Uferstrukturen und der flussbegleitenden Vegetation.

Durch die zahlreichen Eingriffe zur Konzentrierung und Lenkung des Abflusses und zur Entwässerung der Talauen und Riedgebiete ergaben sich schwerwiegende Störungen des Wasser- und Geschiebehaltungs. Durch Begradigung und den Bau von Dämmen gingen wichtige Retentionsräume verloren. Infolge der verstärkten Tiefenerosion der regulierten Gewässer sank vielerorts der Grundwasserstand (z. B.

**Durch Flächenentwässerung und Flussregulierung gingen viele Gewässerlebensräume verloren**

**Gravierende Gewässerdefizite im Alpenrheintal**

- a) Durch den Bau des Rheindamms mussten ursprüngliche Zuflüsse in parallel verlaufenden Binnenkanälen gesammelt werden. Foto [i]
- b) Durch die Absenkung der Rheinsohle sank auch der Grundwasserspiegel. Viele Auengewässer fielen trocken. Foto [c]



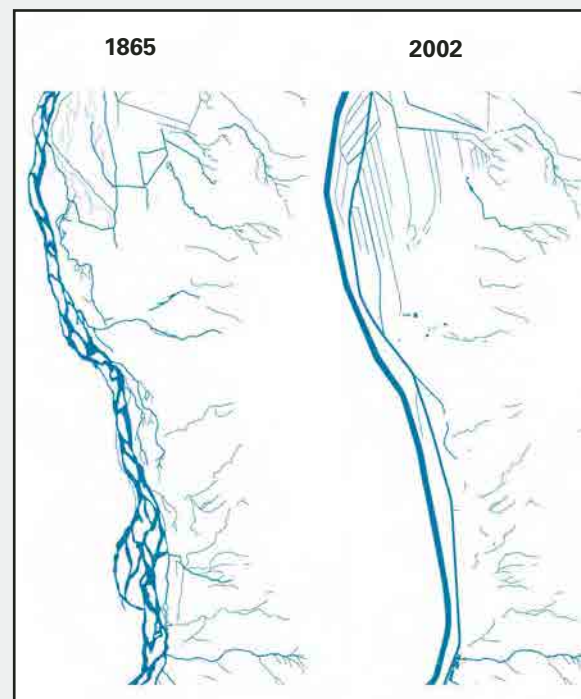
Besonders ausgeprägt sind die Eingriffe, die in den letzten 100 Jahren zum Schutz vor Hochwässern in die Gewässermorphologie des Alpenrheins vorgenommen wurden. Der unregulierte Alpenrhein zeichnete sich durch eine starke Morphodynamik aus. Hochwässer führten immer wieder zu Verlagerungen des Flussbettes, Uferanbrüchen und Umlagerungen von Kiesbänken und -inseln, streckenweise zu einem gewunden-verzweigten Lauf. Im Abschnitt zwischen Balzers und Lustenau wies der Alpenrhein eine Breite zwischen 120 m und 680 m auf, die mittlere Breite betrug rund 230 m [31]. Außerhalb des Hauptgerinnes des Alpenrheins wurde der Talboden durch eine Vielzahl von stehenden, nur periodisch angebundenen Auegewässern und Auewäldern eingenommen.



Alte Rheinmündung um 1840 [32]

Heute trennen von der Landquart bis zur Ill hohe Dämme den Alpenrhein von seinem Umland ab. Die internationale Strecke bis zum Bodensee ist als Doppeltrapezprofil ausgebaut, rund 100 m breite Vorländer dienen der Aufnahme der Hochwässer. Der größte Teil der Uferlinie des regulierten Rheins zeigt einen monotonen, geraden Verlauf. Der Böschungsfuß ist durchgehend mit Blockwurf gesichert. Der Unterlauf wurde durch die Durchstiche bei Diepoldsau und Fussach stark verkürzt und 8 km nach Osten verlegt. Die früher zahlreichen Seitengewässer des Alpenrheins, welche mit diesem durch niveaugleiche Mündungen vernetzt waren, sind heute durch Hochwasserdämme vom Rhein abgetrennt. Künstlich angelegte, parallel zum Rhein verlaufende Binnenkanäle übernehmen die Entwässerungsfunktion. Die umfangreichen Regulierungen im System des Alpenrheins führten zum Verlust nahezu aller Auenwälder und -gewässer.

Der Alpenrhein im Raum Liechtenstein vor seiner Regulierung und heute (nur rechtsrheinische Gewässer).



im Rheintal) und zahlreiche Gießenbäche und Altarmschlingen fielen trocken. Die natürliche Geschiebeführung wurde durch Geschiebefänge, Sohlenbefestigungen und zahlreiche Wehre behindert.

### Wasserkraftnutzung

Die Wasserkraftnutzung zur Stromerzeugung im Einzugsgebiet des Bodensees nimmt ihren Anfang bereits im 19. Jahrhundert. Heute sind im gesamten Einzugsgebiet über 30 Speicherbecken mit insgesamt ca. 790 Mio. m<sup>3</sup> Speichervolumen in Betrieb (Abb. 2.4.8). Durch den Bau und Betrieb der Speicherkraftwerke haben die mittleren Abflüsse wie auch die mittleren Spitzenabflüsse im Sommer ab- und im Winter zugenommen [33]. Daneben führt der Schwall-Sunk-Betrieb im Alpenrhein

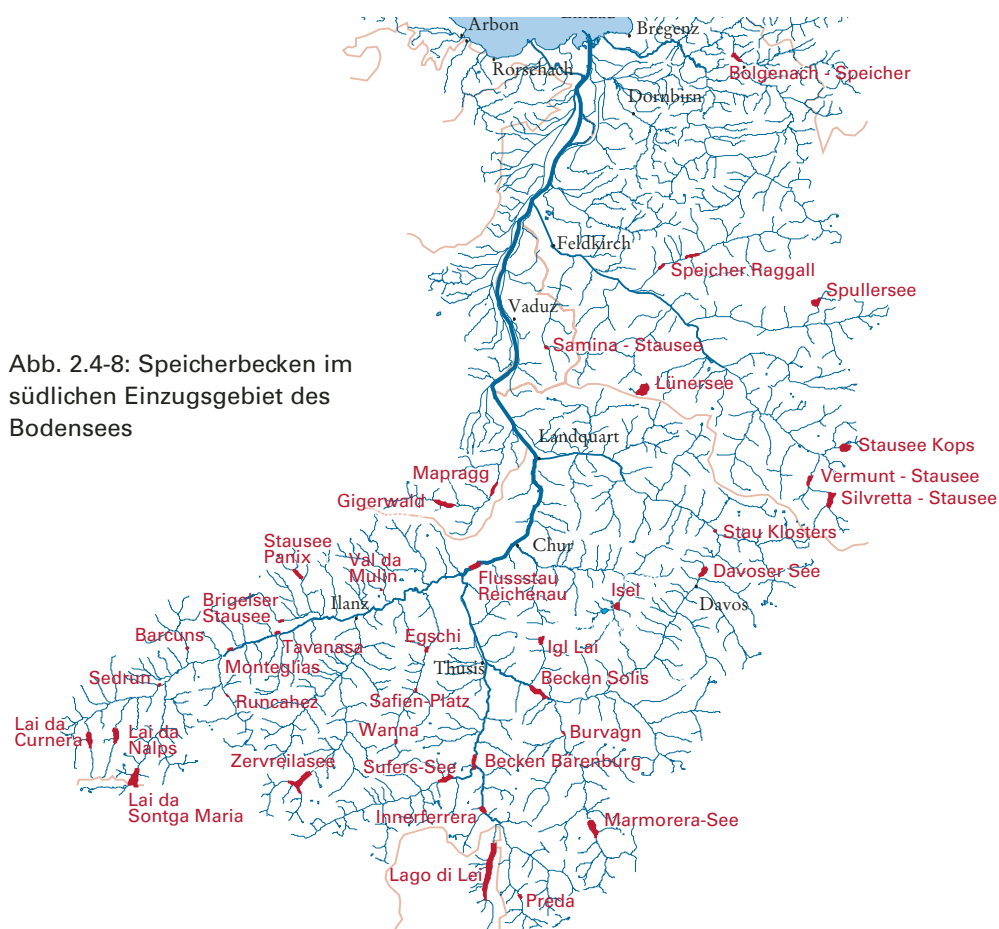


Abb. 2.4-8: Speicherbecken im südlichen Einzugsgebiet des Bodensees

und anderen Zuflüssen wie Ill oder Bregenzerach zu täglichen Abflussschwankungen. Der Schwallabfluss kann dabei in winterlichen Niederwasserzeiten ein Vielfaches des natürlichen Niederwasserabflusses betragen (Abb. 2.4-9). Hierdurch werden abgelagerte Trübstoffe aktiviert, so dass das im Winter normalerweise klare Flusswasser fast ständig eingetrübt ist. Die Auswirkungen des Sunk- und Schwallbetriebes der Kraftwerke wie auch die Trübungsproblematik wurden für den Alpenrhein ausführlich untersucht [34]. Die Ergebnisse belegen ausgesprochen negative Effekte dieses Betriebs auf Benthos und Fischbestände und zeigen einen dringenden Handlungsbedarf auf.

Ein besonderes Problem stellen die in den Speicherbecken abgelagerten Sedimente dar, die dem natürlichen Transport über Jahre entzogen werden. Bei Staumentleerungen können extrem hohe Trübstofffrachten in die Flüsse und bis in den Bodensee gelangen. Vor allem in den betroffenen Flussläufen kann es hierdurch zu extremen Schädigungen der Biozöten kommen. So wurde die Bregenzerach 1995

**Der Schwallbetrieb ist ein wesentlicher Faktor für die ökologische Verarmung des Alpenrheins**

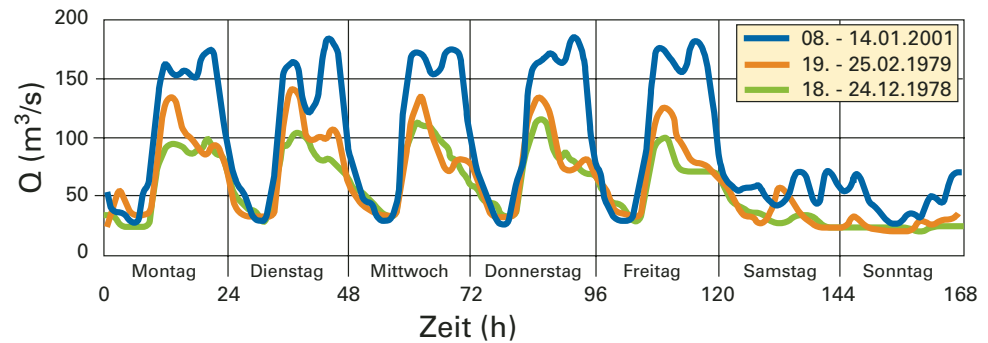


Abb. 2.4-9: Tägliche Abflussschwankungen durch Schwallbetrieb im Alpenrhein [nach 34]

durch die Ausschwemmung von über 500 000 m<sup>3</sup> Speichersedimente aus dem Speicher Bolgenach stark geschädigt. Andererseits förderten die im Mündungsgebiet des Flusses abgelagerten Sedimentmassen die Deltaentwicklung, die zuvor aufgrund Geschieberückhalts und durch jahrzentelange Geschiebeentnahmen im Mündungsbereich zum Erliegen gekommen war.

*Wasserentnahmen und Ausleitungen*

Zur Energiegewinnung werden mitunter beträchtliche Teile des Abflusses der Fließgewässer aufgestaut und ausgeleitet, so dass längere Strecken nur noch einen Restabfluss führen oder ganz trocken fallen. Im energiewirtschaftlich intensiv genutzten Einzugsgebiet des Bodensees sind dadurch zahlreiche Fließgewässerstrecken in ihrer ökologischen Funktionsfähigkeit erheblich beeinträchtigt.

Auch zu Bewässerungszwecken wird den Gewässern häufig Wasser entnommen, besonders in den landwirtschaftlich genutzten Gebieten Oberschwabens. Vor allem kleinere Gewässer oder generell Gewässer zur Zeit von Niedrigabflüssen werden dadurch erheblich beeinträchtigt und das Restwasser kann vor allem im Sommer sehr stark erwärmt werden. Die so betroffenen Gewässer werden als Lebensraum deutlich entwertet.

*Kiesentnahme*

Als Folge des gesteigerten Kiesbedarfs wurden im Alpenrhein die Kiesentnahmen Ende der 1950er Jahre intensiviert. In den vergangenen 60 Jahren wurden insgesamt 30 Mio. m<sup>3</sup> Kies aus dem Alpenrhein gewonnen, davon allein 22 Mio. m<sup>3</sup> in den

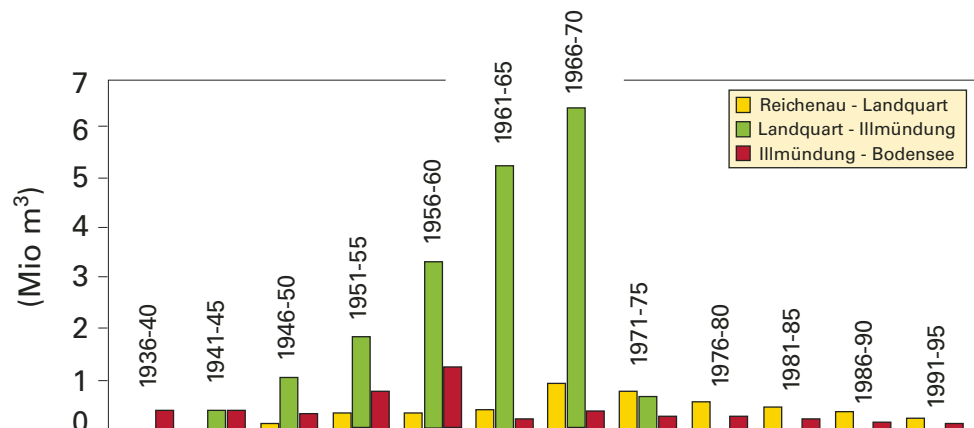


Abb. 2.4-10: Kiesentnahmen aus dem Alpenrhein seit 1936; [nach 36]

Schlammwellen aus Stauraumpülungen können die Gewässerlebensräume schädigen

Restwasser und seine ökologischen Folgen

Kiesentnahme führte zur Eintiefung des Rheinbetts

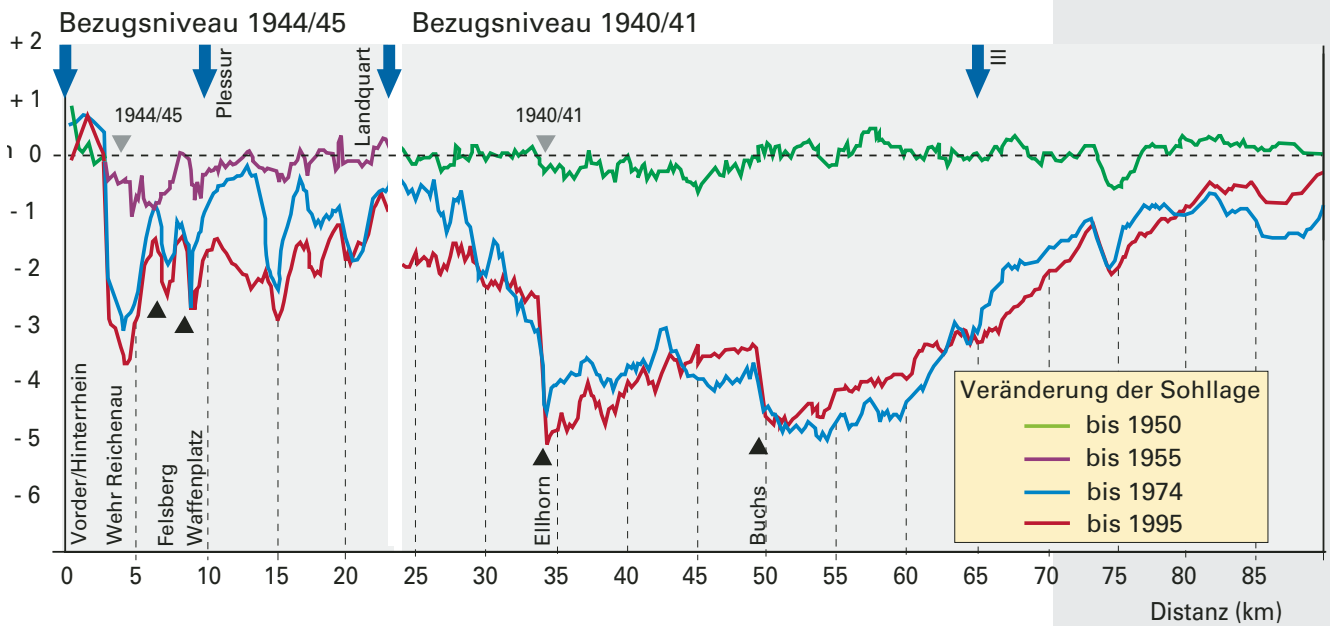


Abb. 2.4-11: Sohlenveränderungen im Alpenrhein seit 1940; [nach 36]

1950/60er Jahren. Die Bewilligung derart umfangreicher Kiesentnahmen dürfte aufgrund der Überschätzung der Geschiebefracht des Alpenrheins erfolgt sein [36].

Vor allem durch diese Kiesentnahmen tiefte sich die Sohle des Rheins seit 1950 durchschnittlich um 2,4 m, maximal bis zu 5 m ein [36] (Abb. 2.4-11). Dies führte zu erheblichen Grundwasserabsenkungen, so dass zahlreiche kleinere Seitengewässer austrockneten. Nach einem Brückeneinsturz zwischen Buchs und Schaan im Jahr 1970 infolge der Tiefenerosion wurden im Alpenrhein die Kiesentnahmen reduziert bzw. ganz eingestellt.

Heute wird im Alpenrhein selbst nur noch am Zusammenfluss von Vorder- und Hinterrhein und an den Mündungen von Landquart und Plessur Kies gewonnen. Auch bei der Rhein-Mündung in den Bodensee werden weiterhin aus Hochwasser-schutzgründen die abgelagerten Geschiebemengen entnommen – im Durchschnitt jährlich 38 000 m<sup>3</sup> Material. Feinsedimente sollen durch die Mündungsvorstreckung in tiefere Bereiche des Bodensees transportiert werden [37].

Mehrere Alpenrhineinzufüsse - vor allem die Landquart - verursachen aus unterschiedlichen Gründen eine periodisch starke Eintrübung des Alpenrheins, die sich negativ auf die Benthosbesiedlung und auf die Fischbestände auswirkt [34].

**Die Landquart bringt hohe Trübstofffrachten**



Trübung des Alpenrheins durch die Landquart. Foto [i]

2.4.3 Auswirkungen der Nutzungen im Einzugsgebiet auf den See

Wasserkraftnutzung - Wasserhaushalt

Die hydrologischen Verhältnisse des Bodensees werden merklich durch die Wasserkraftnutzung im Alpenrheingebiet beeinflusst. Die Kraftwerksspeicher (Abb. 2.4-8) halten rund 0,6 km<sup>3</sup> Sommerwasser für die Winternutzung zurück. Dieser Einfluss bewirkt seit ca. 1960 eine Veränderung im jahreszeitlichen Gang der Wasserstände im See mit einer Absenkung der mittleren Höchststände und einer Erhöhung der mittleren Tiefststände vor allem im Obersee [38, 39]. Die Auswirkungen des umfangreichen Wasserrückhaltes in den Speicherseen des Alpengebietes wurden bislang vor allem im Hinblick auf die Ufervegetation (Schilf und Strandrasen) diskutiert [40]. Eine zusammenfassende Beurteilung der Vor- und Nachteile der reduzierten Wasserstandsdynamik ist bislang nicht durchgeführt [39].

Speicherbecken beeinflussen die Hydrologie des Bodensees

Mittlere Abflüsse Alpenrhein	Winterhalbjahr [m <sup>3</sup> /s]	Sommerhalbjahr [m <sup>3</sup> /s]
1931 -1950 (nur wenige Speicher)	105	335
1971 -1990 (nach Errichtung zahlreicher Speicher)	137	327

Tab. 2.4-2: Mittlere Abflüsse des Alpenrheins vor und nach Errichtung der großen Speicherhaltungen [nach 39]

Vernetzung der Lebensräume

Zahlreiche Bodenseezuflüsse sind bereits in ihrem Unterlauf so verbaut, dass ein Fischeaufstieg nicht mehr möglich ist. Von der *Unterbrechung des Fließkontinuums* durch Querbauwerke (Stauwehre, Geschiebesperren) sind neben den Lebensgemeinschaften der Zuflüsse auch die aus dem Bodensee einwandernden Fische betroffen. Die Hauptlaichgebiete der Seeforelle lagen ursprünglich im Bereich des Hinter- und Vorderrheins. Weitere große Laichgebiete lagen in der Ill, der Landquart [31] und in der Bregenzerach. Mit dem Bau des Kraftwerks Reichenau (1962) wurde die Seeforelle von ihren Hauptlaichgebieten abgeschnitten, was wesentlich zum starken Rückgang der Art im Bodensee beitrug.

Seit Ende der 1970er Jahre wurden schrittweise Maßnahmen zur Rettung und Förderung des Seeforellenbestands umgesetzt (siehe Kap. 3.9.), welche die betroffenen Gewässer insgesamt ökologisch aufwerten. So sind mittlerweile zahlreiche Aufstiegshindernisse in den Zuflüssen des Bodensees überbrückt [30]. Das Haupt-

Die Fischwanderung vom und zum Bodensee ist eingeschränkt

Wiederherstellung der Fischdurchgängigkeit

a) neue Fischtreppe beim Kraftwerk Domat-Ems.

Foto [g]

b) Revitalisierte Mündung des Liechtensteiner Binnenkanals. Foto [i]



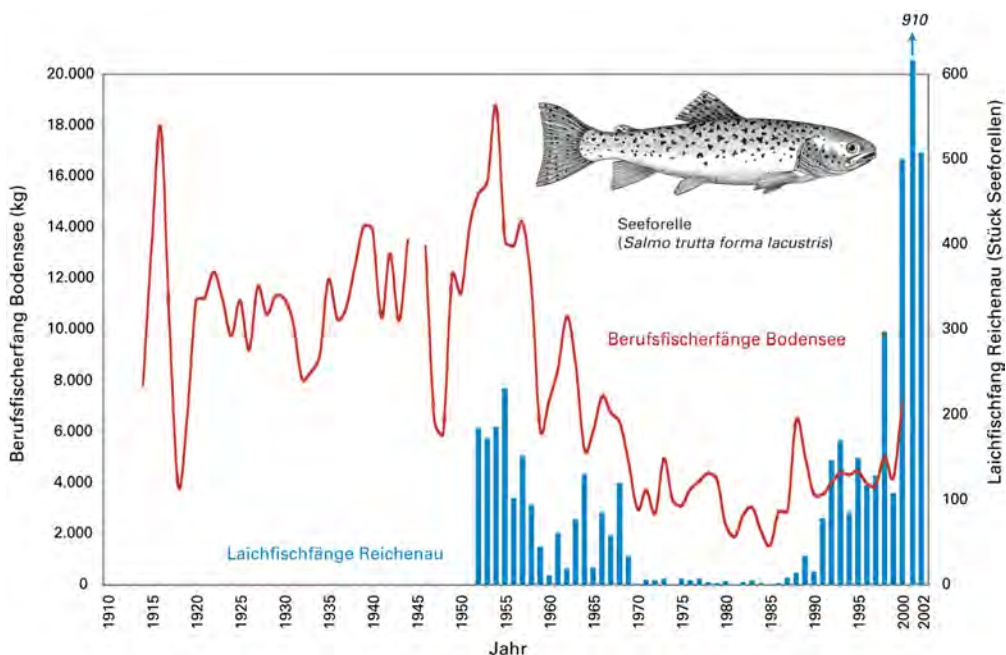


Abb. 2.4-12: Seeforellen-Laichfischfang im Alpenrhein bei Reichenau, 1952-2002 [nach 30]

hindernis für Seeforellen, das Wehr des Kraftwerks Reichenau, erhielt 1999 eine Fischaufstiegshilfe. Nicht zuletzt aufgrund dieser Maßnahmen hat sich der Seeforellenbestand in den letzten Jahren stabilisiert bzw. leicht erhöht (Abb. 2.4-12). Die Laichfischfänge sowohl in Rhein, Landquart und Goldach als auch in den nördlichen Bodenseezuflüssen bestätigten diesen positiven Trend [30].

Die Revitalisierung und Anbindung von Seitengewässern wird zurzeit im Rheintal gefördert. Nach der weitgehenden Einstellung der Kiesgewinnung im Rhein ist zunächst die Grundwasserabsenkung im Alpenrheintal weitgehend gestoppt. Inzwischen werden vermehrt Maßnahmen zur Wiederbewässerung der trockengefallenen Altwässer ergriffen. Ohne direkte Anbindung an den Rhein und ohne natürliches Abflussregime kann jedoch keine natürliche Auendynamik wiederhergestellt werden.

**Schrittweise Beseitigung der Hindernisse für wandernde Fischarten**



Abb. 2.4-13: Spektrum der auf die Kompartimente des Einzugsgebiets wirkenden Nutzungen und sonstigen Einflüsse

#### 2.4.4 Angestrebter Zustand

##### *Schutz und Entwicklung der Zuflusssysteme*

In Anbetracht der vorhandenen Defizite und unter Berücksichtigung der gegebenen Rahmenbedingungen ist für die Bodenseezuflüsse ein Zustand anzustreben, der folgende Grundzüge aufweist:

- Die Struktur und Dynamik der Fließgewässer sollte zumindest außerhalb der Siedlungsgebiete weitgehend dem natürlichen Gewässertyp entsprechen.
- Die Abflussverhältnisse sollten in ihrem Jahresverlauf und ihren Amplituden von einem weitgehend natürlichen Regime geprägt sein. Es sollen keine biologisch schädlichen Schwall- und Sunkamplituden auftreten.
- Die Abflussmenge und das dynamische Abflussgeschehen in Ausleitungsstrecken sollte den Anforderungen fließgewässertypischer Lebensgemeinschaften entsprechen.
- Das Abfluss- und Feststoffregime sollte durch naturnahe Retentionsräume und Auegebiete ausgeglichen werden.
- Der Kontakt der Fließgewässer mit dem zugehörigen Grundwasserkörper sollte gewährleistet sein.
- Die Mündungen der Zuflüsse in den Bodensee sollten einer möglichst natürlichen dynamischen Veränderung unterliegen; in Deltaentwicklungen sollte - soweit erforderlich - nur sehr schonend eingegriffen werden.
- Die Lebensräume des Bodensees, der Zuflüsse und ihrer Seitengewässer sollen weitgehend vernetzt sein. Die Zuflüsse des Bodensees, die potentielle Fischgewässer darstellen, sollten für alle Fischarten frei durchwanderbar sein, natürliche Barrieren sollen jedoch belassen werden.
- Die Zuflüsse sollten zur Minimierung diffuser Stoffeinträge und zur Biotopvernetzung Uferbegleitstreifen mit einer naturnahen Vegetation aufweisen.
- Die Zuflüsse sollen von einer gewässertypischen Fauna und Flora besiedelt sein. Ein Fischbesatz in natürlicherweise fischlose Gewässer ist zu unterlassen.
- Das Selbstreinigungspotential der Bodenseezuflüsse sollte nicht durch Verbauungen negativ beeinflusst werden.
- Die Bodenseezuflüsse sollen keine biologisch wirksamen Schadstoffkonzentrationen aufweisen.

Aus den hier aufgeführten Punkten ergeben sich folgende Handlungserfordernisse:

- Erhebung und Bewertung von Struktur- und Güteverhältnissen im gesamten Einzugsgebiet sollen so erfolgen, dass sie als Grundlage für zukünftige Bewirtschaftungspläne im Sinne der EU-Wasserrahmenrichtlinie vergleichbar sind.
- Die Auswirkungen der veränderten Abflüsse und Seewasserstände durch den Betrieb der Kraftwerks-Speicherbecken auf die Biologie des Bodensees, insbesondere der Litoralbiozöosen, sind zu untersuchen und zu bewerten.
- Die Auswirkung der Rheinvorstreckung auf Strömungs- und Sedimentationsgeschehen in anderen Seebereichen soll intensiv untersucht werden, insbesondere bezüglich der Ökologie des Seebodens und der Trinkwassernutzung.

**Qualitätsziele für die Zuflüsse**

**Forschungsbedarf**



**Maßnahmen**

- Die Mündungen der Bodenseezuflüsse sollten revitalisiert werden, ihre Eigendynamik und Deltabildung soll hierdurch gefördert werden.
- Verbliebene künstliche Kontinuumsunterbrechungen im Einzugsgebiet sollen beseitigt oder durchgängig gemacht werden.
- Zur Vergleichmäßigung des Abfluss- und Feststoffregimes sind naturnahe Retentionsräume zu schaffen oder wieder herzustellen.
- Die ökologischen Funktionsfähigkeit, Selbstreinigungskraft und Lebensraumqualität soll durch großflächige Revitalisierungen in den Zuflüssen wiederhergestellt werden (Ausnutzung des gesamten Entwicklungspotentials).
- Wasserbauliche Eingriffe im Einzugsgebiet des Bodensees und insbesondere im Mündungsbereich der Zuflüsse sind stets in ihren Auswirkungen auf den See zu prüfen und grundsätzlich so naturnah wie möglich auszuführen.
- Wasserbauliche Eingriffe im Mündungsbereich von Seezuflüssen dürfen keine negativen Auswirkungen auf das Sedimentationsgeschehen im See haben.
- Beeinträchtigungen der Zuflüsse durch ökologisch bedenkliche Nutzungen (Bewirtschaftungen) wie Schwallbetrieb, geringes Dotierwasser, hohe Wasserentnahmen, Kiesentnahmen, Stauraumpülungen u. a. sollen minimiert und langfristig durch unbedenklichere Konzepte ersetzt werden.
- Zum Schutz der Gewässer vor schädlichen Einträgen, wie auch zur Ermöglichung der Entwicklung einer gewässereigenen Dynamik und als ökologische Korridore sollen ausreichende Pufferzonen bzw. Randstreifen entlang der Gewässer ausgewiesen werden. Dies ist vor allem in einer stark zersiedelten und/oder landwirtschaftlich intensiv genutzten Landschaft erforderlich.
- Zur Gewährleistung einer naturnahen Gewässerentwicklung bei gleichzeitiger Optimierung des Hochwasserschutzes sind ausreichend Überschwemmungszonen auszuweisen, deren Nutzung diesem Zweck entsprechend anzupassen ist.
- Bestehende Defizite der biologischen und chemischen Gewässergüte sollen zügig beseitigt werden.

**Grundwasserschutz**

- Grundwasser darf nur in dem Umfang genutzt werden, wie es sich im Wasserkreislauf neu bildet. Die Entnahme darf die Neubildungsrate höchstens kurzfristig überschreiten und sollte im Mittel deutlich geringer als die Neubildungsrate sein (Prinzip der nachhaltigen Nutzung). Langfristig darf durch die Entnahme der Grundwasserspiegel nicht abgesenkt werden.
- Die Entnahme von Grundwasser ist nach Möglichkeit auf die oberen Grundwasserstockwerke zu beschränken. Tiefere Grundwasserkörper sind besonders zu schonen.
- Der Bedarf an Brauch- und Produktionswasser soll möglichst aus oberirdischen Gewässern und durch Mehrfachnutzung des Wassers gedeckt werden.
- Grundwasserverluste durch Flächendrainagen sind zu vermeiden.
- Das natürliche Wasserrückhaltevermögen der Böden soll erhalten und nach Möglichkeit wiederhergestellt werden.
- Die Grundwasserneubildung ist durch eine Beschränkung der Flächenversiegelung zu fördern.

**Qualitätsziele und Handlungserfordernisse für das Grundwasser**

- Der Schutz des Grundwassers vor diffusen Einträgen ist vorrangig durch Vermeidung des Eintrags dieser Stoffe und Sanierung der Eintragsquellen zu gewährleisten.
- Diffuse Schad- und Nährstoffeinträge aus landwirtschaftlicher Nutzung, Flächenkanalisation und Straßenabwasser sind im Sinne eines flächendeckenden, vorsorgenden Grundwasserschutzes zu minimieren.
- Der Schutz des Grundwassers vor diffusen Schadstoffeinträgen ist durch eine Stabilisierung der Filterwirkung des Bodens, insbesondere durch konsequenten Bodenschutz zu gewährleisten.
- Bestehende natürliche Trennschichten zwischen Grundwasserkörpern sollen nicht beseitigt oder in ihrer Wirksamkeit beeinträchtigt werden.
- Bestehende punktförmige Eintragsquellen von Schadstoffen sind je nach Relevanz zu überwachen oder zu sanieren.
- Die Auswirkungen thermischer Nutzungen des Grundwassers (zu Kühlzwecken, wie auch zur Wärmegewinnung) sind sorgfältig abzuklären und zu begrenzen. Bestehende Gestattungen sind daraufhin gegebenenfalls anzupassen.

## Literatur

- [1] GURTZ, J., LANG, H., LUFT, G., STROBEL, F. & WAGNER, G. (1997): Untersuchung der Wasserbilanz des Bodensees. - Geographisches Institut ETH Zürich, Berichte und Skripten 61, 82 S
- [2] ASCHWANDEN, R. & WEINGARTNER, R. (1985): Die Abflussregimes der Schweiz. - Geographisches Institut der Universität Bern, Publikation Gewässerkunde Nr. 65
- [3] PETEK, S.: Luftbild der Alpenrheinmündung. [www.luftbild.com](http://www.luftbild.com)
- [4] IRKA, PROJEKTGRUPPE GRUNDWASSER (Hrsg., 2000): Grundwasserhaushalt Alpenrhein. Grundwassermodellierung für den Abschnitt Landquart bis Bodensee. - Bregenz
- [5] BADEN-WÜRTTEMBERG, LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (2002): Grundwasserüberwachungsprogramm. Ergebnisse der Beprobung 2001. - Grundwasserschutz Bd. 21, Karlsruhe
- [6] MATHIS, C. & RAUCH, E. (2002): Grundwassergüte in Vorarlberg. Bericht 2002. Bestandsaufnahme 1990-2001. - Landeswasserbauamt Bregenz, Schriftenreihe Lebensraum Vorarlberg, Band 54, Bregenz
- [7] FIEGEL, J. (2002): Grundwasserüberwachungsprogramm. Regionalbericht Bereich Ravensburg. Ergebnisse der Beprobung 2001. - Gewässerdirektion Donau/Bodensee Bereich Ravensburg
- [8] BOB PARTNERS, AMBIO & AMT FÜR UMWELTSCHUTZ, ST. GALLEN (1998): Zustand und Nutzung der Gewässer im Kanton St. Gallen. Atlas. - Bob Partners, Zürich & Ambio, Zürich & Amt für Umweltschutz, St. Gallen
- [9] AMT FÜR UMWELT GRAUBÜNDEN (2003): Grundwasservorkommen in Graubünden. Karte 1 : 1 Mio. - AfU, Chur, unveröffentlicht
- [10] WASSERWIRTSCHAFTSAMT KEMPTEN: Bedeutende Grundwasservorkommen im bayerischen Bodensee-Einzugsgebiet (Karte). - unveröffentlicht
- [11] SCHREINER, A. (1968): Grundwasser, Quellen, Abflussverhältnisse. - in: Staatl. Archivverwaltung Baden-Württemberg (Hrsg.): Der Landkreis Konstanz. Amtliche Kreisbeschreibung Bd. 1, S. 39-54. Thorbecke, Konstanz
- [12] EIDGENÖSSISCHE LANDESTOPOGRAPHIE (1967): Hydrogeologische Karte der Schweiz 1:500 000 (Atlas der Schweiz).
- [13] INSTITUT FÜR SEENFORSCHUNG (2002): Flussgebietseinheit Rhein. Bearbeitungsgebiet Alpenrhein - Bodensee. Ist-Situation stoffliche Belastung, Ist-Situation morphologische Belastungen. Stand 11/2002. Karten 1 : 500 000 - Bearbeiter: Obad. R., Langenargen, unveröffentlicht
- [14] BUHMANN, D. & HUTTER, G. (1998): Fliessgewässer in Vorarlberg, Gewässergüte und Wasserbeschaffenheit 1998. - Schriftenreihe Lebensraum Vorarlberg, Band 44, Bregenz. 67 S.
- [15] AMT FÜR UMWELT KANTON GRAUBÜNDEN (2003): Gewässerbelastung in Graubünden. Diatomeenindex, Makroindex Karte 1 : 1 Mio. - AfU, Chur, unveröffentlicht
- [16] AMT FÜR UMWELT KANTON ST. GALLEN (2003): Biologische Gewässerqualität an St.Galler Fliessgewässern im Einzugsgebiet des Bodensees. - Bearb. M. Eugster, St. Gallen, unveröffentlicht

- [17] AMT FÜR UMWELT KANTON THURGAU (2003): Gewässerzustand: Auswertung Chemie, Auswertung Kieselalgen - Bearb. H. Ehmman, Frauenfeld, unveröffentlicht
- [18] BUHMANN, D., HUTTER, G. & LUTZ, S. (2001): Fliessgewässer in Vorarlberg. Gewässerinventar, Teil 1: Strukturgüte der Fließgewässer der Vorarlberger Rheintals Stand 1999. - Schriftenreihe Lebensraum Vorarlberg, Band 47, Bregenz. 36 S.
- [19] AMT FÜR UMWELT KANTON GRAUBÜNDEN (2003): Gewässermorphologie Karte 1 : 1 Mio. - Chur
- [20] BADEN-WÜRTTEMBERG, LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (2000): Umweltdaten 2000. - Ministerium für Umwelt und Verkehr und Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 256 S.
- [21] BADEN-WÜRTTEMBERG, LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (1995): Morphologischer Zustand der Fliessgewässer in Baden-Württemberg. Auswertung und Interpretation der Ergebnisse der Übersichtskartierung 1992/93. - Handbuch Wasser 2, Band 17
- [22] SCHWOERBEL, J. (1993): Einführung in die Limnologie. - UTB, Stuttgart, 7. Auflage. 385 S.
- [23] BÜHRER, H., KIRNER, P. & WAGNER, G. (2000): Dem Bodensee in den Abflussjahren 1996 und 1997 zugeführte Stofffrachten. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 53, 42 S., Eigenverlag
- [24] DUWE, K., FEY, A. & HOLLAN, E. (1999): Mathematisches Modell des Alpenrhein-Einstroms in den Bodensee. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 50, 145 S., Eigenverlag
- [25] HOLLAN, E. & DUWE, K. (2002): Fernausbreitung des Alpenrhein-Einstroms in den Bodensee-Obersee bei tiefer winterlicher Einschichtung. - Interner Bericht, IGKB 48. Kommissionstagung, Arbon, Mai 2002
- [26] SCHRÖDER, H. G. (1992): Sedimentoberflächen im östlichen Bodensee-Obersee. Sidescan - Untersuchungen im Zusammenhang mit den Auswirkungen der Vorstreckung des Alpenrheins. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 43, 35 S., Eigenverlag
- [27] BÄUERLE, E. & HOLLAN, E. (1993): Seenphysikalische und limnologische Dokumentation zur Vorstreckung des Alpenrheins in den Bodensee - eine Literaturstudie. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 42, 122 S., Eigenverlag
- [28] FÄH, R. (2000): Numerische Simulation der Deltaentwicklung am Alpenrhein. - [http://hera.ethz.ch/frontpage/vaw\\_hy\\_web/pub/RheinVorstreckung.pdf](http://hera.ethz.ch/frontpage/vaw_hy_web/pub/RheinVorstreckung.pdf)
- [29] BiCON AG, Kreuzlingen (2000): Das Rheindelta im Bodensee. Seegrundaufnahme von 1999. - Internationale Rheinregulierung, Bauleitung Lustenau
- [30] INTERNATIONALE BEVOLLMÄCHTIGTENKONFERENZ FÜR DIE BODENSEEFISCHEREI (IBKF) (Hrsg., 1999): Die Rettung der Bodensee-Seeforelle: Eine Erfolgsstory. - Informationsbroschüre
- [31] EBERSTALLER, J., HAIDVOGEL, G. & JUNGWIRTH, M. (1997): Gewässer- und Fischökologisches Konzept Alpenrhein. - Internationale Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie (Hrsg.), 90 S.
- [32] TOMBLESON, W. (1832): Tombleson's Upper rhine. - Edited by W. G. Fearnside. London, Tombleson & Comp., 1832.
- [33] NAEF, F. (1989): Hydrologie des Bodensees und seiner Zuflüsse. - Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 1/89: 15-17
- [34] ARGE TRÜBUNG ALPENRHEIN (2001): Trübung und Schwall im Alpenrhein. Synthesebericht. - Bericht z. Hd. IRKA Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie.
- [36] ZARN, B. (1999): Der Alpenrhein - ein Kieslieferant? - Geschiebetransport und Hochwasser. Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband Verbandsschrift 59: 85-98
- [37] LAMBERT, A. (1989): Das Rheindelta im See. - Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 87/1: 29-32
- [38] VISCHER, D. (1990): Der Bodensee, seine Zuflüsse, seine Schwankungen, sein Abfluss. Eine hydrologische Übersicht. - Wasser, Energie, Luft - eau, énergie, air 82 (7/8): 137-141
- [39] SCHALLER, K. (1993): Der Einfluss der Stauseen auf Rhein und Bodensee. - in: Internationale Rheinregulierung 1892-1992, S. 328-330, Rorschach
- [40] LUFT, G. (1993): Langfristige Veränderung der Bodensee-Wasserstände und mögliche Auswirkungen auf Erosion und Ufervegetation. - Seeuferzerstörung und Seeuferrenaturierung in Mitteleuropa (Hrsg.: Ostendorp, W. & Krumscheid-Plankert, P.), Limnologie aktuell Band 5: 61-75
- [41] BiCON AG (2001): Sedimentuntersuchungen zwischen dem Wasserwerk Lindau in Nonnenhorn und der neuen Rheinmündung zur Erfassung der Ablagerungsgeschichte seit 1945. - Bericht i.A. der Stadtwerke Lindau. 31 S
- [42] ROßKNECHT, H. (2003): Der Alpenrhein im Bodensee. - Institut für Seenforschung 3: 42 S.; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe

## Nutzungen und ihre Einflüsse auf den Bodensee

### 3.1. Entwicklung der Raumnutzung

Das Bodenseegebiet zählt zu den intensiv genutzten Regionen Europas. Besonders stark ist der Nutzungsdruck in den weiten Talschaften, z.B. des Alpenrheins und im Bereich des Seeufers, wo ein Großteil der Flächen durch Siedlung, Verkehrswege und Industrie/ Gewerbe beansprucht wird und die landwirtschaftliche Nutzung das Landschaftsbild weitgehend bestimmt (Abb. 3.1-1, 3.1-2).

Über die Hälfte des Bodenseegebietes ist heute intensiv durch den Menschen genutzt und umgestaltet. Die als unproduktiv bezeichneten, nicht genutzten Flächen beschränken sich weitgehend auf die Gebirgsregionen.

Der größte Nutzungsdruck herrscht am Bodenseeufer und im Alpenrheintal

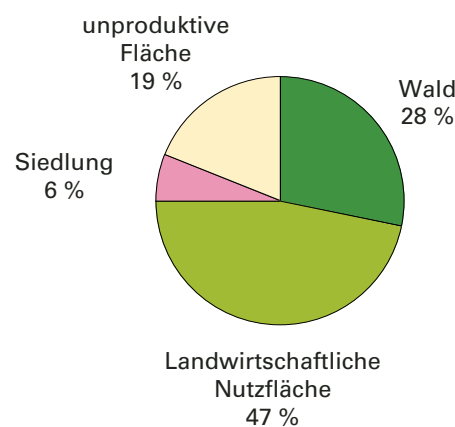


Abb. 3.1-1: Flächennutzung im Bodenseeeinzugsgebiet, 1996 [1].

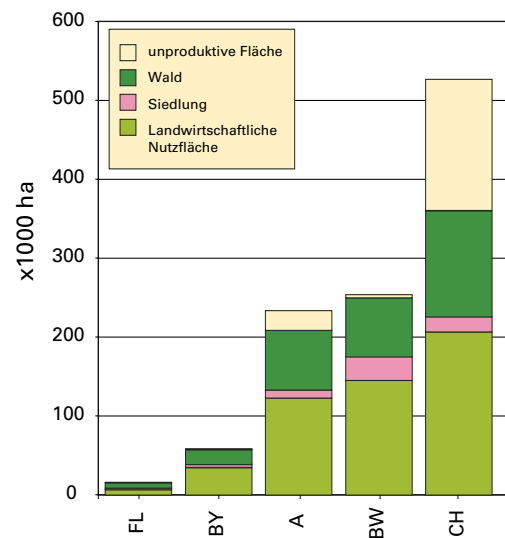


Abb. 3.1-2: Flächennutzung in den Teileinzugsgebieten, 1996 [1]

Die Raumnutzung im Bodenseegebiet mit seiner Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung wird in erster Linie durch folgende Faktoren geprägt:

- Siedlungswasserwirtschaft (Kap. 3.2)
- Landwirtschaftliche Nutzung (bisher Intensivierung, heute zunehmende Extensivierung; Kap. 3.6)
- Wirtschaftliche Entwicklung (Kap. 3.3)
- Entwicklung des gebietsbezogenen Verkehrs und Durchgangsverkehrs (Kap. 3.4, 3.5)
- Entwicklung von Tourismus und Naherholung (Kap. 3.7, 3.4)

#### Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung

Im Einzugsgebiet des Bodensees leben heute rund 1,6 Millionen Menschen. Von 1950 bis 1990 hat die Bevölkerung im gesamten Bodenseegebiet um rund 50% zugenommen. Dabei bestehen jedoch beträchtliche Unterschiede zwischen den einzelnen Ländern, Kantonen und Landkreisen (Abb. 3.1-3). Am stärksten ist in diesem Zeitraum die Bevölkerung im Landkreis Bodenseekreis gewachsen. Mit einer Zunahme von 94% hat sich hier die Wohnbevölkerung nahezu verdoppelt (von 1990 bis 1999 nochmals um 16%) [2].

Die Bevölkerung nahm in 40 Jahren um 50% zu

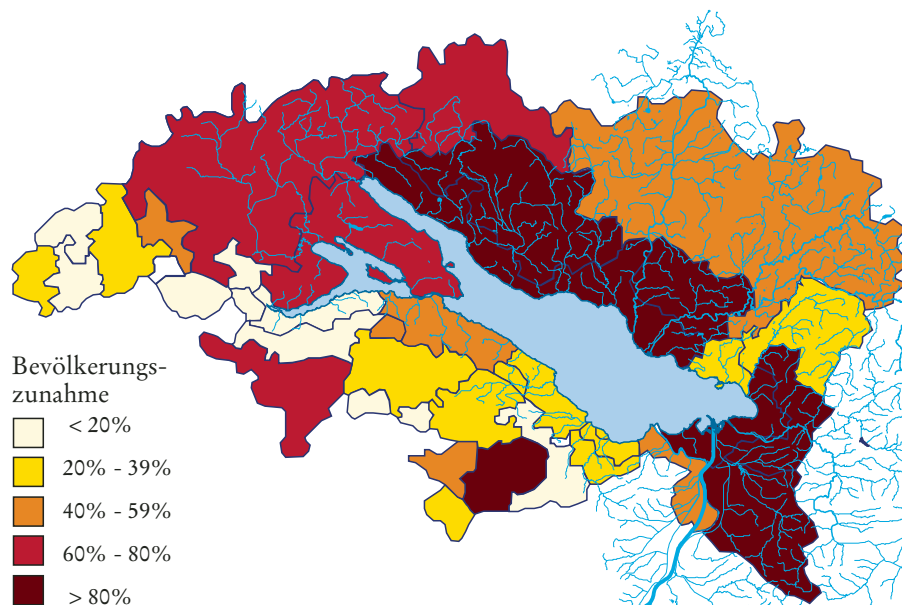


Abb. 3.1-3: Bevölkerungsentwicklung im Bodenseeraum(Verwaltungsebenen) von 1950-1990 [nach 2]

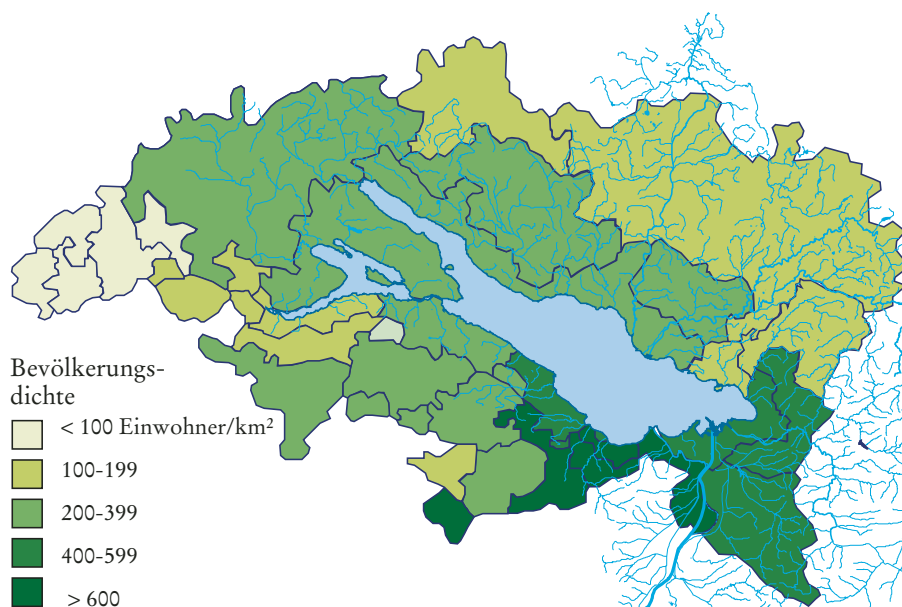


Abb. 3.1-4: Bevölkerungsdichte im Bodenseeraum 2000 [nach 2, aktualisiert]

Die Attraktivität des seenahen Bereichs als Wohngebiet schlägt sich in einer im Vergleich zum Hinterland größeren Bevölkerungsdichte nieder (Abb. 3.1-4). Mit 650 bis 730 E/km<sup>2</sup> war 1990 die Bevölkerungsdichte im St. Gallischen Bodenseegebiet (2000: 800 E/km<sup>2</sup>) am höchsten [nach 2, 19].

Mit der Zunahme der Bevölkerung wuchs die durch Siedlungen beanspruchte Fläche - aufgrund steigender Wohnraumansprüche - vielerorts überproportional. So nahm in Vorarlberg die durchschnittliche Wohnfläche pro Person zwischen 1970 und 2000 von 23 m<sup>2</sup> auf 40 m<sup>2</sup> zu [3].

Der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsflächen stieg im Gesamteinzugsgebiet zwischen 1985/86 und 1996/97 um durchschnittlich 10 % (Beispiel: Abb. 3.1-5). Die zunehmende Zersiedlung der Landschaft führte zu einer deutlichen Veränderung des

**Die Wohnfläche pro Person nimmt deutlich zu**

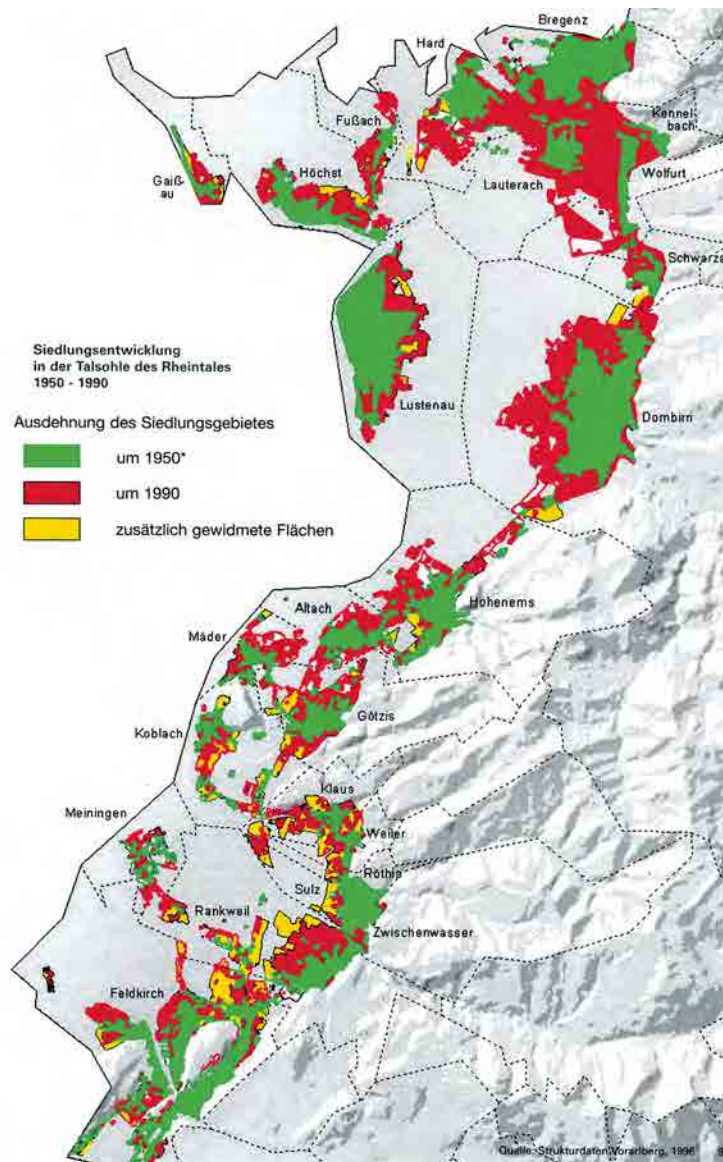


Abb. 3.1-5: Siedlungsentwicklung in der Talsohle des Vorarlberger Rheintals [3]

für die Bodenseeregion typischen Landschaftsbildes (Abb. 3.1-6). Der Bevölkerungszuwachs erforderte auch einen entsprechenden Ausbau kommunaler Infrastruktureinrichtungen. Besondere Anstrengungen mussten dabei aufgrund des Gewässer- und Trinkwasserschutzes im Bereich der Abwasserentsorgung unternommen werden (Kap. 3.2).

*Wirtschaftliche Entwicklung*

Untrennbar mit der Bevölkerungsentwicklung verbunden ist die wirtschaftliche Entwicklung der Region. Traditionell wird die Bodenseeregion stark durch die Landwirtschaft geprägt, in den Hügel- und Bergregionen vorwiegend als Grünlandnutzung, in den seenahen Bereichen als Ackerbau und Sonderkulturanbau. Die Intensivierung der Landwirtschaft stellte lange Zeit ein bedeutendes Problem im Hinblick auf den Gewässerschutz dar (Kap. 3.6). Heute wird die zunehmende Extensivierung und naturverträglichere Bewirtschaftung gefördert.

Im Vergleich zu benachbarten Regionen – z.B. Raum Basel oder Zürich – besitzt der industrielle Sektor im Bodenseeeinzugsgebiet eine geringere Bedeutung. Der weitaus größte Teil der industriellen bzw. gewerblichen Betriebe zählt zur Gruppe der klein-

**Die Zersiedlung verändert das Landschaftsbild entscheidend**

**Die Bodenseeregion wird weniger von der Industrie als von der Landwirtschaft geprägt**



Abb. 3.1-6: In Bereichen mit geringerer Siedlungsdichte beanspruchen Landwirtschaftsflächen fast das gesamte Hinterland des Bodensees. Das Bild zeigt das nördliche Bodenseeufer bei Immenstaad Foto [k]

und mittelständischen Unternehmen. Dagegen gibt es nur wenige Großbetriebe der Branchen Luft- und Raumfahrt, Maschinenbau und Elektronik sowie Textilverarbeitung. Folge der industriellen Entwicklung ist neben dem direkten Flächenverbrauch für industrielle und gewerbliche Anlagen auch eine Zunahme der Siedlungsflächen. Belastungen von Boden, Luft und Wasser mit zum Teil toxischen oder schwer abbaubaren Stoffen waren nicht selten die Folge sowohl des Normalbetriebs der Anlagen als auch von Havarien bei Produktion, Anwendung und Transport. Heute sind diese Belastungen stark reduziert, frühere Belastungen aber zum Teil noch in Form von Altlasten präsent (Kap. 3.3).

Wichtigster und in seiner Bedeutung weiter zunehmender Wirtschaftsbereich im Bodenseeraum ist der Dienstleistungssektor, welcher deutlich durch Tourismus und Naherholung geprägt wird.

#### *Entwicklung von Tourismus und Naherholung*

Tourismus und Naherholung tragen wesentlich zur wirtschaftlichen Entwicklung aber auch zur Belastung der Region bei (Kap. 3.7, 3.4). Mit der starken Zunahme der

**Die Industrie im Bodenseeeinzugsgebiet ist durch kleine und mittelständische Unternehmen geprägt**

**Tourismus ist ein wesentlicher Wirtschaftsfaktor**

Gästezahlen gingen die Ausweitung der Siedlungs- und Verkehrsflächen einher und – vor allem im ufernahen Bereich – die Anlage bzw. der Ausbau von Freizeiteinrichtungen wie Yachthäfen, Strandbäder und Campingplätze. Durch Uferverbauungen und direkte Nutzung wurden Ufer- und Flachwasserzonen des Bodensees in ihrer ökologischen Funktion zum Teil erheblich beeinträchtigt bzw. zerstört (s. Kap. 2.1).

#### *Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur*

Neben der Zunahme der Siedlungsflächen ist das enorm gestiegene Verkehrsaufkommen zu Land (Kap. 3.5) und zu Wasser (Kap. 3.4) die augenfälligste Folge der Raumnutzung. Maßnahmen zur Emissionsminderung, wie die Einführung der Katalysatortechnik oder schadstoffärmerer Treibstoffe, werden großteils durch die starke Zunahme des Verkehrs kompensiert (Kap. 3.5, 3.10).

#### *Interessenskonflikte - Maßnahmen der räumlichen Planung*

Die dichte Besiedlung der Bodenseeufer, ihre vielfältigen Nutzungen und die Empfindlichkeit des Ökosystems führen zwangsläufig zu Interessenskonflikten [4, 5, 6]. So steht die Belastung des Bodenseegebiets durch den Verkehr - Zerschneidung der Landschaft, Stoff- und Lärmbelastung – zunehmend im Widerspruch zu seiner Funktion als Tourismus- und Erholungsraum. Dabei führt der Tourismus selbst zu einer starken Verkehrsbelastung. Schutzgebiete wiederum schränken touristische und andere Nutzungen ein, erhalten aber auch die Attraktivität der Landschaft. Für einen geordneten Interessensausgleich ist daher in den Ländern und Kantonen des Bodenseeraumes bei wesentlichen Eingriffen in die Landschaft eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen.

Auf Grund der Attraktivität des Bodenseeraums als Wohn- und Erholungsgebiet kann in den kommenden Jahren eine weitere Zunahme der Wohnbevölkerung sowie der Ferien- und Erholungsgäste erwartet werden. Die Folge dieser Entwicklung ist eine weitere Beanspruchung der Fläche durch Verkehrswege, Anlagen für Erholung/Tourismus und Siedlung. Vor allem in den sensiblen Ufer- und Flachwasserbereichen ist mit weiteren Beeinträchtigungen durch die zu erwartende Nutzungsintensivierung zu rechnen (Sportschiffahrt, Badebetrieb, Uferverbau, etc.).

Um den Flächenverbrauch im Bodenseegebiet zu beschränken, müssen insbesondere Anstrengungen auf den Gebieten Siedlungs- und Verkehrsplanung unternommen werden, zumal auch ein wirtschaftlich erwünschter Anstieg des Tourismus vor allem über diese beiden Faktoren das Seegebiet beeinträchtigt.

Die genannten Ziele werden bereits in unterschiedlichem Ausmaß in regionalen und kantonalen Entwicklungs- und Richtplänen [7-12] und im IBK-Leitbild [13] für den Bodensee angestrebt. Dagegen wird im Landesentwicklungsplan für Baden-Württemberg [14], der seit August 2002 in Kraft ist, ein wesentlicher Teil der bodenseenahen Landschaft als Verdichtungsraum eingestuft, was einerseits die bisherige Entwicklung widerspiegelt, aber sie zukünftig - zum Nachteil von Gewässer- und Landschaftsschutz - weiter fördert.

**Verkehrsbelastungen beeinträchtigen den Erholungswert der Region**

**Richtpläne und Leitbilder**



## Literatur

- [1] PRASUHN, V. (1999): Phosphor und Stickstoff aus diffusen Quellen im Einzugsgebiet des Bodensees 1996/97. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 51, 84 S. + Anhang, Eigenverlag
- [2] MAURER, H. (Hrsg., 1994): Umweltwandel am Bodensee. - 301 S.
- [3] VORARLBERG, UMWELTINFORMATIONSDIENST (1999): Umweltdaten Vorarlberg 1999. - 46 S., Bregenz
- [4] DREXLER, A. M. (1980): Umweltpolitik am Bodensee. - 301 S., Dr. Neinhaus Verlag, Konstanz
- [5] RAUSCHELBACH, B. & KLECKER, M. (Hrsg., 1997): Regionale Leitbilder - Vermarktung oder Ressourcensicherung? - Material zur angewandten Geographie, Bd. 27, Verlag Irene Kuron, Bonn
- [6] SCHWADERER, G. (1996): Nachhaltige Regionalentwicklung im Bodenseeraum. - Manuskripte des Geographischen Institutes der FU Berlin, Selbstverlag, Berlin
- [7] REGIONALVERBAND BODENSEE-OBERSCHWABEN (1996): Regionalplan Bodensee-Oberschwaben. - Regionalverband Bodensee-Oberschwaben, Ravensburg
- [8] REGIONALVERBAND HOCHRHEIN-BODENSEE (1998): Regionalplan 2000. - Waldshut-Tiengen
- [9] KANTON ST. GALLEN (1987): Kantonaler Richtplan St. Gallen, mit Nachtrag 1997. - St. Gallen
- [10] KANTON ST. GALLEN (2001): Richtplanentwurf vom April 2001. - <http://www.sg.ch/raumumwelt/richtplan/inhalt.asp>
- [11] KANTON THURGAU (1996): Kantonaler Richtplan Thurgau, mit Nachtrag 1999. - Frauenfeld
- [12] KANTON GRAUBÜNDEN (2002): Kantonaler Richtplan . - Amt für Raumplanung, Graubünden, Chur
- [13] INTERNATIONALE BODENSEEKONFERENZ (1995): Bodenseeleitbild. - IBK, Kommission Öffentlichkeitsarbeit, Meersburg
- [14] BADEN-WÜRTTEMBERG, WIRTSCHAFTSMINISTERIUM (2002): Landesentwicklungsplan 2002 Baden-Württemberg. - 52 + 38 + 69 S., Stuttgart
- [15] VORARLBERG /AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG (1996): Strukturdaten Vorarlberg. - Bregenz, 116 S.
- [16] SCHWEIZ / BUNDESAMT FÜR STATISTIK (Schweiz): - <http://www.statistik.admin.ch>
- [17] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG : - <http://www.bayern.de/lfstad/>
- [18] BADEN-WÜRTTEMBERG, STATISTISCHES LANDESAMT : Regionalstatistiken - <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de>
- [19] KANTON ST. GALLEN (2000): Statistische Informationen zum Kanton Sankt Gallen.- <http://www.statistik.sg.ch>

### 3.2 Siedlungswasserwirtschaft

#### 3.2.1 Bisherige Entwicklung

Die Siedlungswasserwirtschaft umfasst die Aufgabenbereiche Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung.

##### *Trinkwasserversorgung*

Die Trinkwasserversorgung im Einzugsgebiet des Bodensees stützt sich auf zwei Quellen:

- Gewinnung des Trinkwassers aus dem Bodensee
- Gewinnung des Trinkwassers aus Quelfassungen und Grundwasser

Der größte Teil (ca. 75%) der aus dem Bodensee gewonnenen 175 Mio m<sup>3</sup> Wasser wird durch den Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung (ZBWV) vorwiegend an Abnehmer außerhalb des Bodensee-Einzugsgebietes geliefert. Die übrigen 19 Seewasserwerke versorgen dagegen vorwiegend direkt am Bodensee liegende Kommunen. Zur Wasserversorgung des weiteren Einzugsgebietes wird auf Grund- und Quellwasser zurückgegriffen wird (Tab. 3.2-1). Die Verteilung erfolgt oft über ein Verbundsystem, das bei lokalen Engpässen ein Ausweichen auf andere Quellen erlaubt.

Die Versorgung mit Grund- und Quellwasser ist in den meisten Regionen des Bodensee-Einzugsgebietes unproblematisch. Allerdings weist das Grundwasser in einigen landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten einen erhöhten Nitratgehalt auf, z. B. auf der Reichenau im Untersee und in einigen Gegenden Oberschwabens.

Zur Trinkwassergewinnung aus dem Bodensee finden sich weitere Angaben in Kap. 3.8 (Seewassernutzung).

Trinkwasser aus Quell- und Grundwasser

Wasserverbrauch Zeitraum: 1998-2001	gesamt	Bodensee-Wasser	Grund- und Quellwasser
	in Mio m <sup>3</sup> / Jahr	Anteil in %	Anteil in %
Landkreis Lindau	3,3	ca. 50	ca. 50
Landkreis Konstanz	17,6	ca. 40	ca. 60
Kanton Thurgau	35	ca. 40	ca. 60
Kanton St. Gallen	54,1	ca. 30	ca. 70
Land Vorarlberg	36	0	100
Liechtenstein	8,7	0	100
Kanton Graubünden	67	0	100

Tab. 3.2-1: Trinkwasserverbrauch und Trinkwasserbezug [nach 1-4 und AfU Liechtenstein]

##### *Abwasserentsorgung*

Das in den Siedlungsgebieten des Bodensee-Einzugsgebietes anfallende Abwasser wird über Kanalisationen zu öffentlichen, zentralen Abwasserreinigungsanlagen geführt. Überwiegend sind Mischkanalisationen im Einsatz, über die Schmutzwasser (Abwasser aus Haushalt, Gewerbe) und gesammeltes Niederschlagswasser gemeinsam abgeführt werden. Auch die industriellen Abwässer werden oft nach betrieblicher Vorreinigung in kommunale Abwasseranlagen eingeleitet (Indirekteinleiter).

Mischkanalisation dominiert

Einzelne Industriebetriebe behandeln ihr Abwasser in eigenen Reinigungsanlagen und leiten es dann selbst direkt in die Gewässer ein (Direkteinleiter).

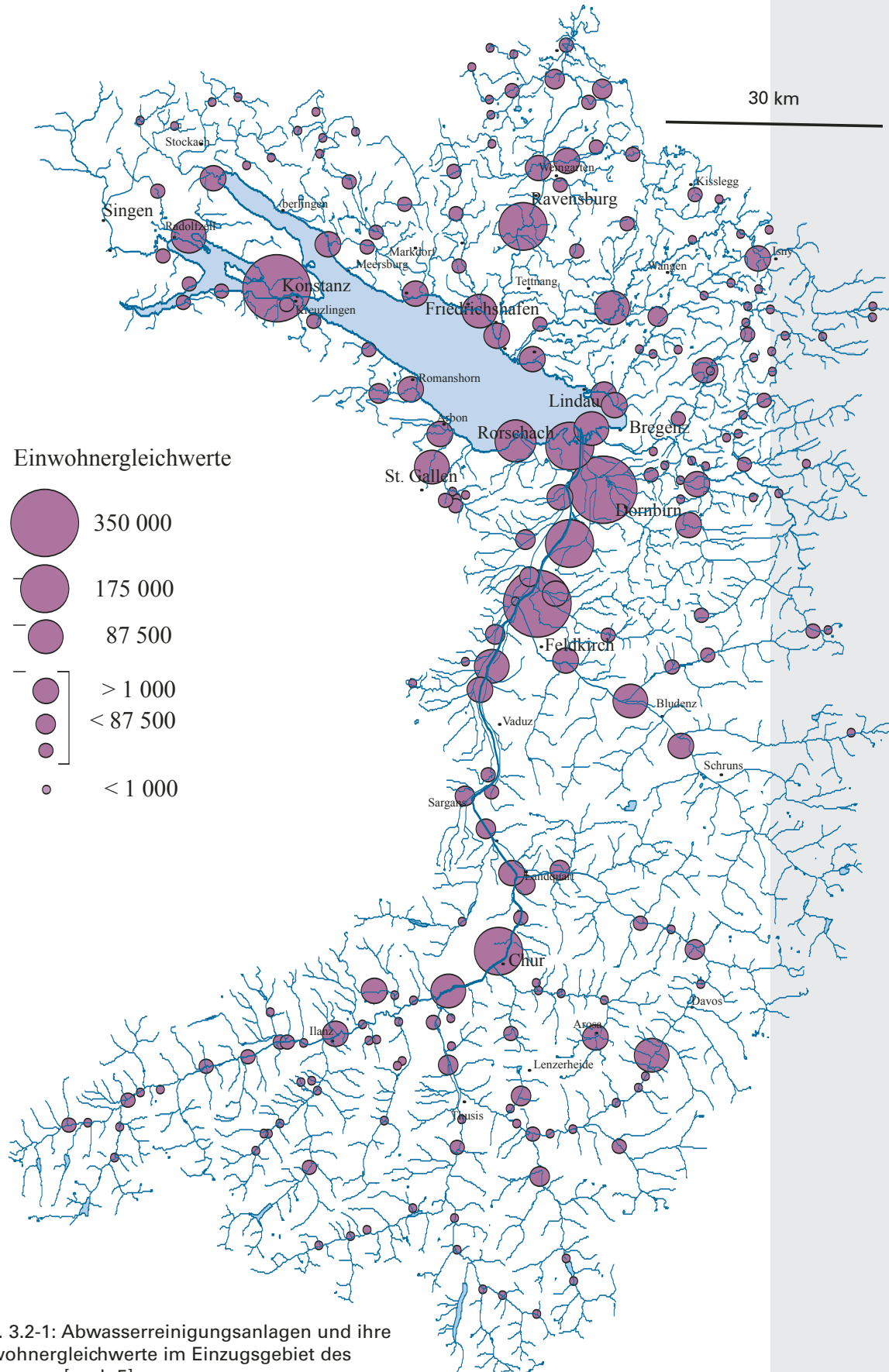


Abb. 3.2-1: Abwasserreinigungsanlagen und ihre Einwohnergleichwerte im Einzugsgebiet des Bodensees [nach 5]

*Entwicklung der Abwasseranlagen bis zum heutigen Stand*

Die beschleunigte Eutrophierung des Bodensees in den 1960er Jahren war vor allem auf den Eintrag von stark belasteten Siedlungsabwässern zurückzuführen [6, 7]. Die IGKB erstellte nach der Herausgabe der ersten Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees [8] im Jahre 1973 das erste Bau- und Investitionsprogramm [9], in dem die Planungen der Länder und Kantone für Reinhaltmaßnahmen im Einzugsgebiet des Bodensees zu einem gemeinsamen Projekt zusammengefasst wurden.

Schwerpunkte waren:

- Abwassertechnische Zusammenschlüsse zum Bau großer Abwasserreinigungsanlagen, vollbiologische Reinigung und zusätzlich chemische Phosphorelimination;
- möglichst vollständige Erfassung aller Abwässer, in der Regel durch Kanalisationsnetze im Mischsystem;
- möglichst umfassende Mitbehandlung aller gewerblichen und industriellen Abwässer in öffentlichen, zentralen Abwasser-Reinigungsanlagen.

Von 1960 bis zum Abschluss des ersten Bau- und Investitionsprogramms 1985 haben die Länder und Kantone über 4 Mrd. Schweizerfranken für Reinhaltmaßnahmen aufgewendet. Während im Jahr 1972 nur 25 % der anschließbaren Einwohner und Einwohnergleichwerte an Sammelkläranlagen mit biologischer Reinigungsstufe angeschlossen waren, betrug der Anschlussgrad Ende 1985 rund 90 %, im Jahr 2001 bereits 95,4 %. Gleichzeitig erhöhte sich der Anteil der mit Phosphorelimination behandelten Abwässer von 24 % im Jahr 1972 auf rund 88 % im Jahr 1985 [10] und 97 % im Jahr 2001 [11].

In einem zweiten Bau- und Investitionsprogramm für den Planungszeitraum 1986-1995 [10] wurden nochmals Maßnahmen mit einem Investitionsvolumen von insgesamt 1,5 Mrd. Schweizerfranken vorgesehen. Als zusätzliche Maßnahmen zur Phosphorreduktion empfahl die IGKB den Ländern und Kantonen des Einzugsgebietes:

- Die Verminderung des Phosphoranteiles in Waschmitteln und Ersatz durch unbedenkliche Stoffe;



**Maßnahmen und Erfolge bei der Abwasserentsorgung**

**Anschlussgrad lag 2001 bei 95,4 %**

Abwasserreinigungsanlage (ARA) Bendern/FL mit mehreren Klärstufen.

Foto [i]

- die Produktionsumstellungen oder Änderungen von Produktionsverfahren und Wasserkreislaufführungen in Industrie- und Gewerbebetrieben;
- den Ausbau von Regenwasserbehandlungsanlagen;
- die Verringerung der durch die Landwirtschaft verursachten Nährstoffeinträge (s. Kap. 3.6).

Diese Ziele konnten bis zum Jahr 1995 weitgehend erreicht werden, die angestrebte Reduktion des P-Eintrags wurde sogar noch übertroffen.

### Abwassermenge

Im Jahr 1997 entsprach der gesamte Wasserzuström in den Obersee mit 11 021 Mio. m<sup>3</sup> knapp dem langjährigen Mittel der letzten 50 Jahre. Ungefähr 2,1% (231 Mio. m<sup>3</sup>) des zugeflossenen Wassers war gereinigtes Abwasser [12]. Der Abwasserzufluss aus Kleinkläranlagen und sonstiger dezentraler Abwasserentsorgung nahm durch den Anschluss weiterer Bevölkerungsanteile an zentrale Abwasseranlagen seit 1985 deutlich ab.

### Ausbaugrad der Misch- und Regenwasserbehandlung

Nach Beginn des zweiten Bau- und Investitionsprogramms, in dem der Ausbau von Regenüberlaufbecken und Kanalstauräumen bei Mischkanalisationen sowie Regenklärbecken bei Trennsystemen gefordert wurde, bestanden noch im Jahr 1990 im Einzugsgebiet des Bodensees bei der Misch- und Regenwasserbehandlung große Defizite [13]. Bis heute wurde der Ausbaugrad in weiten Teilen des Bodensee-Einzugsgebiets deutlich verbessert.

Kategorie	Anzahl ARA	Ausbaugröße in 1 000 EW	jährliche Abwassermenge	
			x 1 000 m <sup>3</sup>	%
III (> 40000 EW)	34	3 225	221 400	71,4
II (1000 - 40000 EW)	125	1 002	87 500	28,2
I (< 1000 EW)	64	21	1400	0,4

Verfahren	Anzahl ARA	Ausbaugröße in 1 000 EW	jährliche Abwassermenge	
			x 1 000 m <sup>3</sup>	%
P-Eliminierung und Flockungsfiltration	12	3 448	70 700	22,8
P-Fällung	145	709	231 600	74,6
ohne P-Eliminierung	66	90	8 000	2,6

Tab. 3.2-2: Anlagenstatistik 2001; Verteilung der jährlichen Abwassermengen auf Anlagengröße und Behandlungsverfahren [14]

### Aus Abwasseranlagen abgeleitete Nährstofffrachten

Die Anstrengungen zur Reduktion der Phosphor- und Stickstoffeinträge über Abwässer in den See waren erfolgreich. Dies gilt besonders für den Anteil des im gereinigten Abwasser enthaltenen gelösten Phosphors. Dieser ging im gesamten Einzugsgebiet des Bodensees seit 1986 von 577 t P auf 141 t P im Jahr 1997 zurück (Abb. 3.2-2). Der Rückgang der Phosphorgehalte in den häuslichen Abwässern ist einerseits

**In den Obersee fließen bis zu 300 Mio. m<sup>3</sup> gereinigtes Abwasser pro Jahr**

**Der Phosphoraustrag aus ARAs ging in den letzten 15 Jahren um ca. 75 % zurück**

auf das Phosphatverbot in Wasch- und Reinigungsmitteln (Verminderung der einwohnerspezifischen Frachten zwischen 1975 und 2000 von 4,9 auf 1,8 g/[E pro Tag]) zurückzuführen, andererseits auf die stetige Erhöhung des Anschlussgrades an Abwasserreinigungsanlagen mit Phosphorelimination entsprechend den IGKB-Vorgaben.

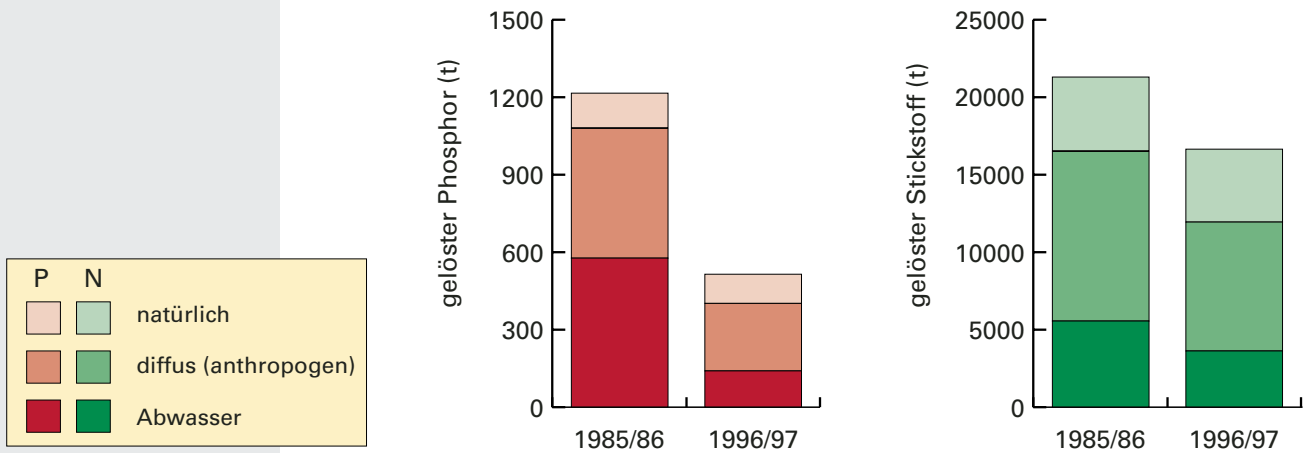


Abb. 3.2-2: Phosphor- und Stickstoffeinträge in Gewässer des Bodensee-Einzugsgebietes [nach 15]

Die Stickstofffrachten aus den Siedlungsbereichen lagen 1997 mit 3 630 t noch bei 68 % des Wertes von 1986. Dabei stammten fast 90% aus dem gereinigten Abwasser der zentralen Abwasserreinigungsanlagen (Abb. 3.2-3). Inzwischen werden alle größeren Anlagen mit gezielter N-Elimination betrieben bzw. dafür ausgebaut [12].

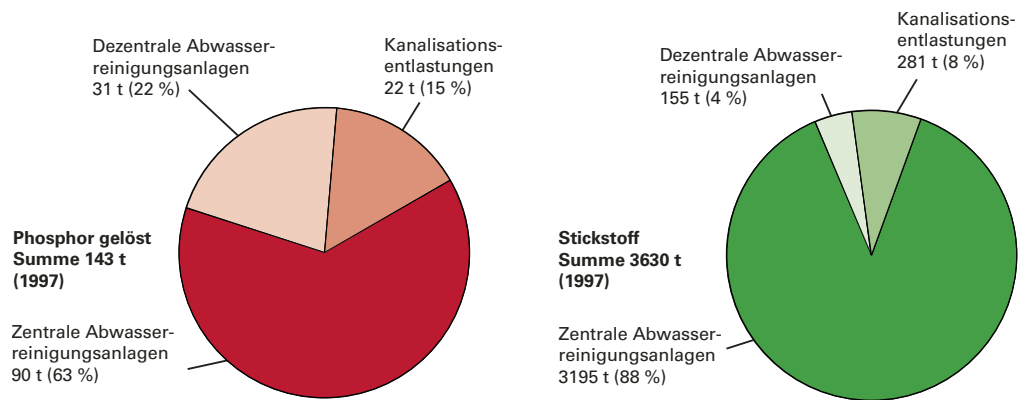


Abb. 3.2-3: Phosphor- und Stickstofffracht aus den Siedlungsbereichen im gesamten Bodensee-Einzugsgebiet (1997) [nach 15, 16]

### Restverunreinigungen aus Abwasseranlagen

Auch nach einer Abwasserbehandlung entsprechend dem Stand der Technik gelangen neben den Nährstoffen noch eine Vielzahl anderer Restverunreinigungen in die Zuflüsse zum Bodensee. Als aktuelle Beispiele werden im Folgenden Bakterien, Komplexbildner, Pharmaka und hormonähnliche Stoffe sowie Pflanzenschutzmittel näher betrachtet.

**Bakteriologisch-hygienische Verunreinigungen**

Trotz effizienter Keimreduktion in zentralen Abwasserreinigungsanlagen ist eine bakteriologisch-hygienische Restverunreinigung ihrer Abläufe unvermeidlich. Der bakteriologisch-hygienische Eintrag aus den Abwasserreinigungsanlagen wird mit zunehmender biologischer Reinigung bzw. Phosphorelimination (z.B. Flockung-filtration) jedoch weiter reduziert (Abb. 3.2-4). Indikatororganismen für fäkale Verunreinigungen durch Warmblüter sind *Escherichia coli* und *Enterococcus faecium*.

**Verbleibende hygienische Belastung**

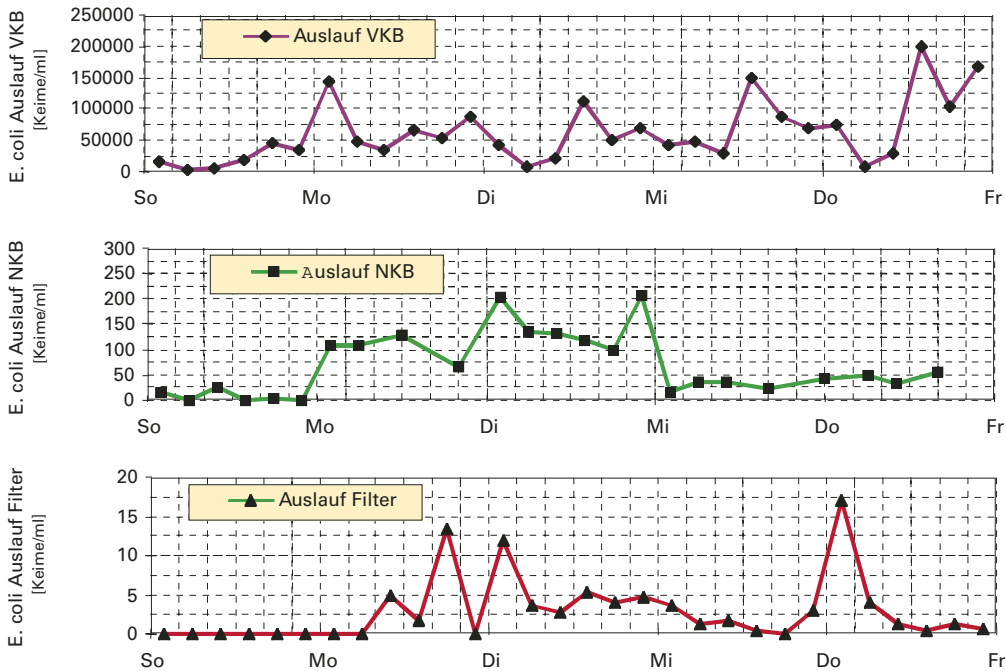


Abb. 3.2-4: Konzentrationen von *Escherichia coli* im Ablauf des Vorklärbeckens (VKB), des Nachklärbeckens (NKB) und nach dem Sandfilter der Flockungfiltration der Kläranlage des AZV Unteres Schussental in Eriskirch [nach 18]

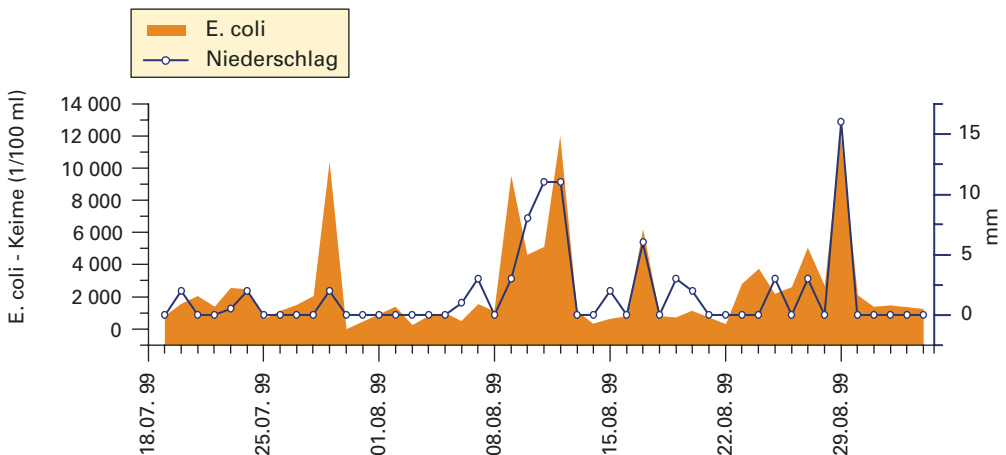


Abb. 3.2-5: Niederschlag und *Escherichia coli* - Konzentration am Zusammenfluss von Deggenhauser Aach und Salemer Aach [nach 19]

Spitzenbelastungen durch Keime treten im Gewässer häufig während oder nach Regenereignissen auf (Abb. 3.2-5). Als Quellen der Belastung kommen dabei grundsätzlich in Frage:

- Entlastungen der Mischkanalisationssysteme;
- diffuse Abschwemmungen aus beweideten oder gegüllten landwirtschaftlichen Flächen;
- Schlammufwirbelungen und -verfrachtungen bei ansteigenden Abflüssen im Gewässer.

Bei Untersuchungen an Schussen [17] und Seefelder Aach [19] aber auch an Vorarlberger Gewässern [20] erwiesen sich Einträge aus Regentlastungen als Hauptursache für Belastungsspitzen von coliformen Keimen.

### *Komplexbildner*

Komplexbildner werden häufig in Wasch- und Reinigungsmitteln eingesetzt und finden weitere Anwendungen in Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft. EDTA ist in Reinigungsmitteln, Pharmazeutika/Kosmetika und in Düngemitteln enthalten. NTA wurde seit den 1980er Jahren vor allem als Phosphat-Ersatzstoff in Waschmitteln eingesetzt. Haupteinsatzgebiet von DTPA ist die Papier- und Zellstoffindustrie.

Während EDTA bei der biologischen Abwasserreinigung kaum abgebaut wird, kann die Abbaurate für NTA bei über 90% liegen. Für die EDTA-Fracht in den Seezuflüssen sind im wesentlichen die großen Abwasserreinigungsanlagen mit hohem Anteil an Industrie- und Gewerbeabwässern verantwortlich [21]. In den Jahren 1985-1990 wurden erste Untersuchungen zur NTA- und EDTA-Belastung des Obersees und einiger Zuflüsse und Abläufe von Abwasserreinigungsanlagen durchgeführt [22]. Die in den Zuflüssen gemessenen EDTA-Konzentrationen schwankten stark (0,4-145 µg/l). Im Jahr 1995/96 führten die 10 größten Zuflüsse dem Bodensee insgesamt 24,5 t/a EDTA zu, wovon rund 32% auf den Alpenrhein, 22% auf die Dornbirnerach und 26,5% auf die Schussen entfielen [23, 24].

Für den ebenfalls schwer abbaubaren Komplexbildner DTPA stellte die Schussen 1995/96 die einzige Eintragsquelle dar. Anders als beim EDTA haben die DTPA-Frachten in der Schussen in den letzten Jahren von 4,5 t/a (1995) auf 12-15 t/a (1999/2000) erheblich zugenommen. Mit einer mittleren Konzentration von 34 µg/l nahe der Schussen-Mündung werden die Zielvorgaben von IAWR (Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet) und LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) für schwer abbaubare Stoffe deutlich überschritten [23] (siehe auch Kap. 3.3).

### *Pharmazeutika und hormonähnliche Stoffe*

Arzneimittelwirkstoffe gelangen unverändert oder durch den Stoffwechsel metabolisiert über die Kanalisation in kommunale Abwasserreinigungsanlagen, wo sie häufig nur ungenügend eliminiert und somit in die Gewässer eingetragen werden. Auch aus Tierhaltung und Aquakultur können Medikamente und ihre Metabolite in die Umwelt gelangen [25, 26].

In den Zuflüssen des Bodensees ist zwar bislang keine akute Gefährdung durch Pharmaka oder hormonähnliche Stoffe festgestellt worden, aber in einigen Zuflüssen aus Gebieten mit hoher Siedlungsdichte und damit einem hohen Abwasseranfall, wie z.B. in der Schussen (Tab. 3.2-3), sind subtoxische oder chronische Wirkungen auf aquatische Organismen nicht mit Sicherheit auszuschließen.

Bei den in den Zuflüssen am häufigsten nachgewiesenen endokrin wirksamen Stoffen handelt es sich um Industriechemikalien bzw. deren Metabolite: Nonyl- und Oktylphenole sind Abbauprodukte von in Industriereinigern verwendeten Stoffen,

**Regentlastungen als Quellen hygienischer Belastung**

**Komplexbildner aus Industrie- und Gewerbeabwässern**

**Arzneimittelrückstände werden nur ungenügend eliminiert**



Arzneimittelwirkstoffe		Endokrin wirksame Stoffe	
<i>Diclofenac</i>	46 g/d	<i>Bisphenol A</i>	13 g/d
<i>Bezafibrat</i>	22 g/d	<i>Bisphenol F</i>	38 g/d
<i>Clofibrinsäure</i>	12 g/d	<i>iso-Nonylphenol</i>	6 g/d
<i>Carbamazepin</i>	52 g/d	<i>4-n-Oktylphenol</i>	2 g/d
Restliche	13 g/d		

Tab.3.2-3: Stoffeintrag aus der Schussen in den Bodensee (1999/2000): Arzneimittel und hormonähnliche Stoffe [23]

Bisphenol wird als Antioxidans für Weichmacher in erheblichen Mengen eingesetzt [25]. Auch Östrogene wurden in den Zuflüssen - nicht jedoch im See - in physiologisch relevanten Mengen nachgewiesen. Über mögliche Auswirkungen auf die aquatische Fauna wie auch über die natürliche Hintergrundbelastung ist allerdings bisher nur wenig bekannt [26, 27].

**Pflanzenschutzmittel (PSM)**

Pflanzenschutzmittel gelangen über diffuse Einträge, zu einem wesentlichen Teil aber auch über Abwasserreinigungsanlagen, in die Gewässer. So stammt in der Seefelder Aach, mit ihrem vom Obstbau geprägten Einzugsgebiet, mehr als die Hälfte der Gesamtfracht der Pflanzenschutzmittel aus drei Abwasserreinigungsanlagen. Für einzelne Wirkstoffe wurden in diesem Gebiet sowohl in den Abläufen von Abwasserreinigungsanlagen als auch im Fluss selbst die Zielvorgaben der LAWA für Pflanzenschutzmittel deutlich überschritten [28, 29] (siehe auch Kap. 3.6).

**3.2.2 Auswirkungen auf den See**

**Nährstoffbelastung des Bodensees**

Die bisher erzielte Reduktion der Phosphatkonzentration im Freiwasser des Bodensee-Obersee bis fast auf 10 µg/l kann nur gehalten werden, sofern die Belastung des Sees mit biologisch verfügbarem Phosphor längerfristig 200 t je Jahr (Belastungsniveau 1997) nicht übersteigt [30]. Der Anteil von biologisch verfügbarem

Über die Wirkung von Östrogenen ist wenig bekannt

PSM erreichen über Zuflüsse und Kläranlagen den See

Qualitätsziel für Phosphoreintrag: nicht mehr als 200 t/Jahr

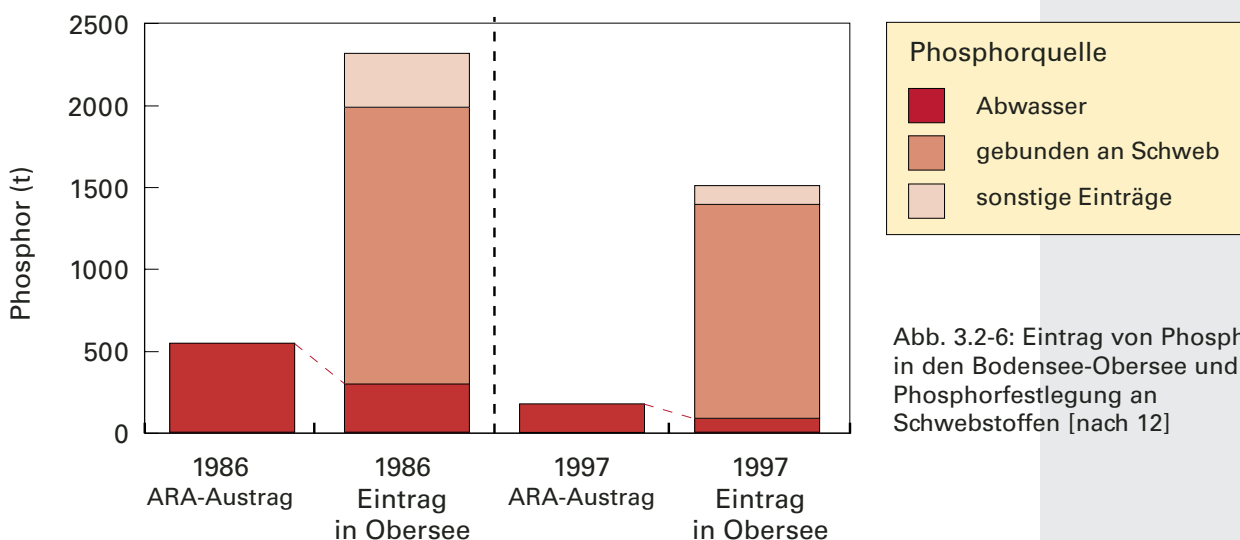


Abb. 3.2-6: Eintrag von Phosphor in den Bodensee-Obersee und Phosphorfestlegung an Schwebstoffen [nach 12]

**Bakteriologische Belastung bei Regenfällen nach Trockenperioden**

Phosphor an diesem Eintrag ging in den letzten Jahren beständig zurück und betrug 1997 nur noch ca. 100 t [16] (Abb. 3.2-6).

Stickstoff wirkt für die Algen im Bodensee nicht wachstumsbegrenzend. Im direkten Einleitungsbereich kann der Stickstoff bei unzureichend gereinigtem Abwasser als fischgiftiges Nitrit oder Ammoniak auftreten. Die Stickstoffeinträge aus den Abwassereinleitungen in die Gewässer des Bodensee-Einzugsgebietes betrugen 1997 insgesamt 3 355 t [12].

**Bakteriologisch-hygienische Belastung**

Relevant für die Nutzung des Seewassers durch den Menschen, sei es als Trink- oder als Badewasser, sind bakteriologisch-hygienische Belastungen, nachgewiesen insbesondere mittels *Escherichia coli* und *Enterococcus faecium* als Indikatoren für fäkale Verunreinigungen durch Warmblütler. Unter natürlichen Bedingungen nimmt ihre Zahl im freien Wasser durch Sedimentation, Absterben und Fraßverluste rasch ab.

Die bakteriologisch-hygienische Belastung aus Abwasserreinigungsanlagen sowie lokal auch durch Tiere am und im Gewässer (z. B. Wasservogelansammlungen) stellen die permanente Grundlast dar, die bei Niederschlägen nach langen Trockenwetterperioden offenkundig wird. In der Regel werden bei normalen Trockenperioden die Grenzwerte der EU-Badegewässerrichtlinie (2000 fäkalcoliforme Keime/100ml) an den ausgewiesenen Badeplätzen eingehalten, während die Leitwerte (100 fäkalcoliforme Keime/100ml) an einigen Standorten überschritten werden.

Am Bodensee liegen hygienische Belastungsschwerpunkte vor allem im Bereich von direkt in den See eingeleiteten Regenentlastungen sowie in der Nähe von Flussmündungen, wo nach stärkeren Niederschlägen die Belastung besonders hoch sein kann (vgl. Abb. 2.1-7, S. 23). Diese nimmt dann im Verlauf weniger Tage wieder deutlich ab. Je nach Schichtungsbedingungen im See wird ein Teil der Fäkalkeime aber auch ins Tiefenwasser eingetragen, wo während der intensiven Durchmischung im Herbst und Frühjahr die höchsten Fäkalkeimzahlen gemessen werden. Im Tiefenwasser wurden bislang jedoch noch keine bedenklichen Verunreinigungen festgestellt. Die Belastung nahm hier in den letzten Jahren tendenziell eher ab (Abb. 3.2-7).

Insgesamt zeigt der Bodensee ein niedriges bakteriologisches Belastungsniveau. Die Nutzung des Sees zur Trinkwassergewinnung ist deshalb nicht gefährdet. Die Nutzung als Badegewässer wird allenfalls lokal und dann nur kurzzeitig beeinträchtigt.

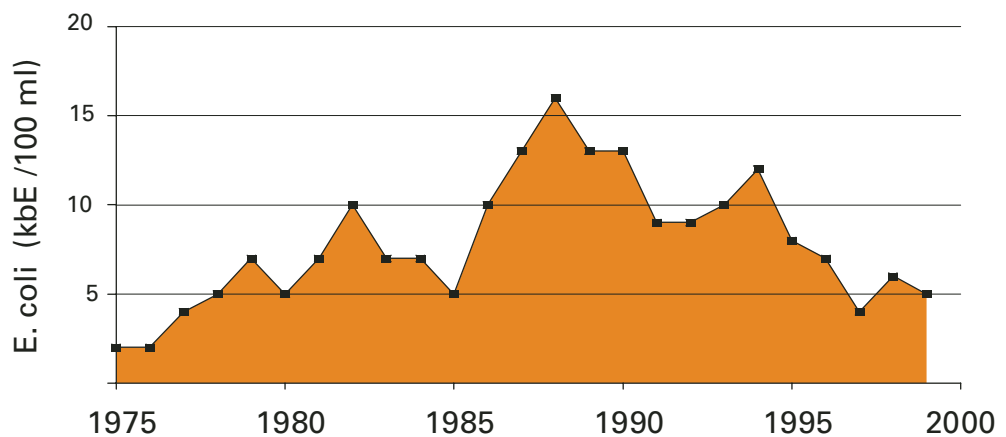


Abb. 3.2-7: Jahresmittelwerte der E. coli / koliformen Keime im Rohwasser (60 m Tiefe) aus dem Überlinger See, 1975-1999 [31]. kbE = koloniebildende Einheiten

**Belastung durch Komplexbildner**

Gewässerbelastungen durch Komplexbildner ergeben sich aus ihrer Wasserlöslichkeit, ihrem Metall-Lösungsvermögen und ihrer z. T. geringen biologischen Abbaubarkeit. Bislang ist die Gewässerverträglichkeit ihrer Abbauprodukte (Metabolite) noch nicht geklärt. Auch wenn die Konzentration an Komplexbildnern im Bodenseewasser bislang unbedenklich ist und die Gesamteinträge zur Zeit rückläufig sind, so ist doch mit einer weiteren Anreicherung der schwer abbaubaren Stoffe zu rechnen, von denen sich im See bis heute etwa 90 t angesammelt haben [27] (s. Kap. 2.2).

**Belastung durch Arzneimittelrückstände und Kosmetika**

Im Freiwasser des Bodensees wurden bislang vier Pharmaka nachgewiesen: Carbamazepin, Clofibrinsäure und zwei Kontrastmittel, Diatrizoat und Iopamidol. Alle vier Arzneiwirkstoffe werden bis in 250 m Tiefe gefunden. Die Konzentration von Carbamazepin erreicht 20 ng/l, allerdings nur in einzelnen Wasserschichten [26, 27], die Gesamtkonzentration an Pharmaka bleibt unter 100 ng/l und stellt zur Zeit keine Gefährdung der Wasserqualität dar. An Flussmündungen treten im See zeitweilig erhöhte Belastungen durch Pharmaka auf, die im Freiwasser aber sehr schnell verdünnt werden. Speziell im Flachwasserbereich des Sees fehlen Untersuchungen über die Auswirkungen von UV-Blockern, die vor allem dort als Bestandteile von Sonnenschutzmitteln saisonal eingetragen werden. Auch wenn der Gehalt eher unbedenklich sein dürfte, so ist doch mit einer weiteren Anreicherung der schwer abbaubaren Stoffe zu rechnen.

**Arzneimittelrückstände werden im See stark verdünnt**

**Belastung durch Pflanzenschutzmittel**

Pestizide, insbesondere die schwer abbaubaren Organochlorverbindungen, wie Lindan, DDT und Endosulfan, waren bis in die frühen 1990er Jahre, und somit lang nach Anwendungsverbot, vor allem im Sediment noch deutlich nachweisbar. Auch

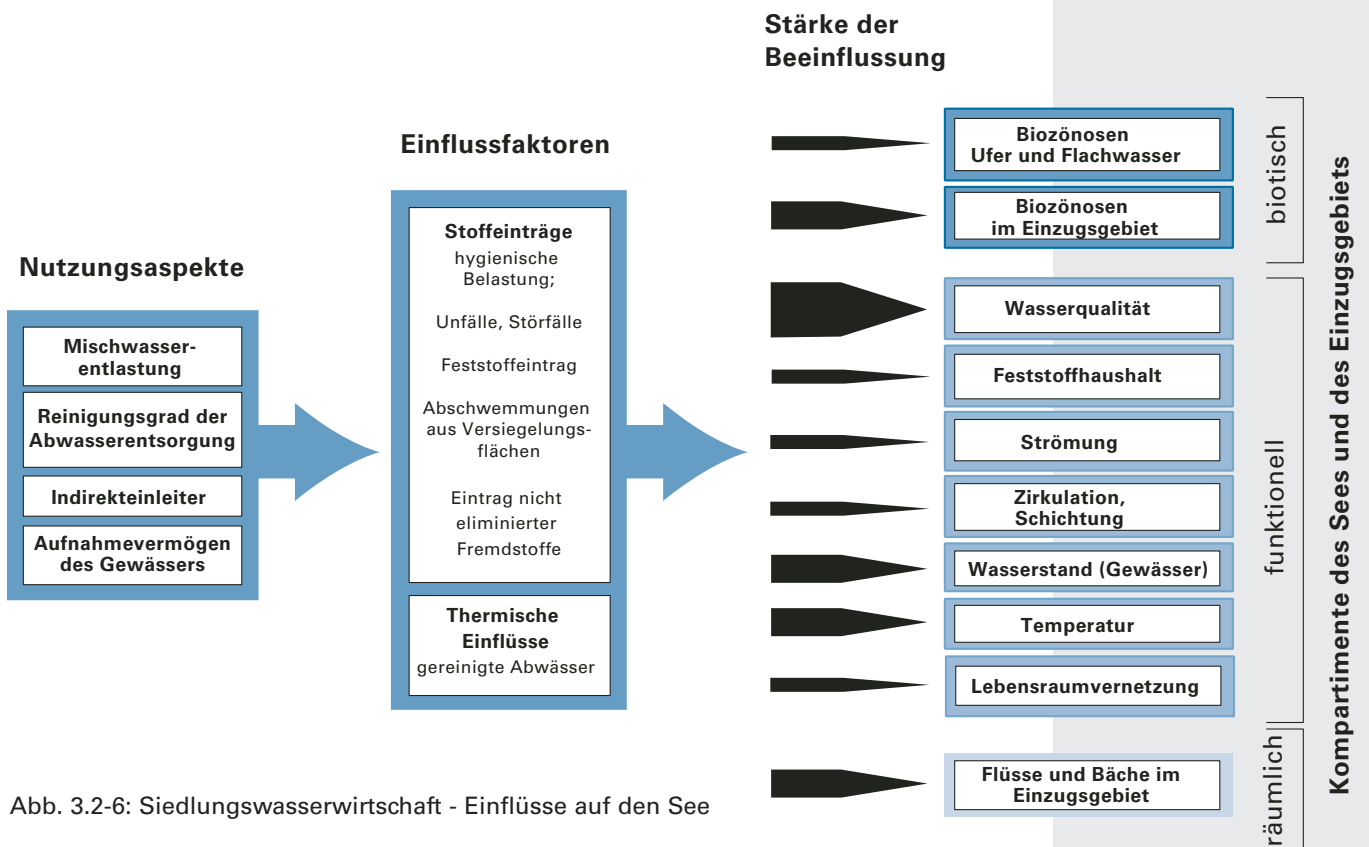


Abb. 3.2-6: Siedlungswasserwirtschaft - Einflüsse auf den See

heute noch gelangen Wirkstoffe aus Pflanzenschutzmitteln in den See. Der jährliche Eintrag über Zuflüsse bleibt jedoch im Kilogramm-Bereich (z. B. Seefelder Aach etwa 9,3 kg PSM) [28]. Die im Bodenseewasser nachweisbaren PSM-Mengen bleiben deutlich unter den Grenzwerten der deutschen Trinkwasserverordnung.

### 3.2.3 Handlungserfordernisse

#### *Trinkwasserversorgung*

Der Nutzung ortsnaher Wasservorkommen kommt besondere Bedeutung zu. Hierdurch wird in der Bevölkerung das Bewusstsein für die Notwendigkeit des vorsorgenden Gewässer- und Grundwasserschutzes im jeweils eigenen Planungs- und Verantwortungsbereich gestärkt.

- Der insgesamt gute Stand der Trinkwasserversorgung soll gehalten, bei einzelnen Anlagen weiter optimiert und bei unzureichenden Anlagen erreicht werden.
- Genutzte oder zur Nutzung vorgesehene Trinkwasservorkommen sollen durch Wasserschutzgebiete gesichert werden. Außerhalb der Schutzgebiete sollen empfindliche Bereiche der Grundwassereinzugsgebiete als Vorrang- oder Vorbehaltsgebiete für die öffentliche Wasserversorgung gesichert werden.
- Belastungen von Trinkwasservorkommen sollen verhindert bzw. abgebaut werden. Hierzu sind insbesondere Maßnahmen zur Strukturverbesserung und zur Flächenbewirtschaftung der Landwirtschaft notwendig.
- Regionale Zusammenarbeit oder Zusammenschlüsse von Wasserversorgungsunternehmen können Qualität, Effizienz und Sicherheit der Versorgung erhöhen.
- Verluste in den Verteilernetzen sind zu minimieren.

#### *Abwasserentsorgung*

Im Jahr 1996/97 wurden dem Obersee insgesamt noch 195 t bioverfügbarer Phosphor zugeführt, rund 40 % davon über Abwasser, während der Rest aus diffusen Einträgen stammte [12]. Dies bedeutet, dass zur weiteren Reduzierung der Nährstoffbelastung vor allem Maßnahmen bezüglich der diffusen Quellen ergriffen werden müssen.

Um den gegenwärtig guten chemischen Zustand des Bodensees zu erhalten und diesen durch Maßnahmen im Aufgabenbereich Abwasserentsorgung langfristig nach dem Stand der jeweiligen Technik weiter zu verbessern, müssen die Anstrengungen zur Reduktion der Nährstoffe und der (potenziell) schädlichen Stoffe beibehalten werden. Insbesondere in den folgenden Punkten besteht hier Handlungsbedarf:

- Der insgesamt gute Stand der Abwasserreinigung soll gehalten, bei einzelnen Anlagen weiter optimiert und bei noch unzureichenden Anlagen erreicht werden.
- Zur weiteren Verminderung der Nährstoffeinträge in den See sind die optimale Bewirtschaftung bzw. der Ausbau der Misch- und Regenwasserbehandlung voran zu treiben.
- Der Anschluss verbleibender dezentraler Anlagen soll erfolgen, soweit dies mit einem vernünftigen Aufwand realisierbar ist (Abwasseranfall, Entfernung zur zentralen ARA).
- Die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit aller Abwasseranlagen sollen auch unter dem Druck von Kostenoptimierungen aufrecht erhalten und weiterentwickelt werden. Hierzu kann insbesondere beitragen:

- o eine Optimierung der Betriebsführung sowie der Ausbildung des Personals
- o eine Sicherung der Werterhaltung aller Anlagen
- o eine Optimierung der Strukturen und der Zusammenarbeit von Kommunen, Abwasserverbänden und Gewerbe.
- Unverschmutztes Regenwasser soll vorrangig durch Versickerung oder durch ortsnahe Einleitung in ein oberirdisches Gewässer abgeleitet werden. Befestigte Flächen, von denen unverschmutztes Regenwasser abgeleitet wird, sollten möglichst entsiegelt werden.
- Fremdwasser und unverschmutztes Niederschlagswasser ist von der Abwasserbehandlung weitgehend fernzuhalten.
- Abwassereinleitungen in hygienisch sensiblen Bereichen sind zu vermeiden oder durch besondere technische Maßnahmen in ihren negativen Auswirkungen zu reduzieren.

### *Schadstoffeintrag über Abwasserreinigungsanlagen*

- Im Sinne des Vorsorgeprinzips für den Bodensee ist die Belastung mit Stoffen unbekannter Umweltwirkung bzw. Stoffen, die sich in der Umwelt anreichern, weitestgehend zu vermeiden. Alle Stoffe sollten bereits vor ihrer Zulassung auf Abbaubarkeit und gewässerschädigende Wirkungen untersucht werden.
- In Industrie- und Gewerbebetrieben sollen die Möglichkeiten des integrierten Gewässer- und Umweltschutzes wenn möglich auch über den für die Branchen festgeschriebenen Stand der Technik hinaus genutzt werden, um die Schadstoffemissionen wirksam zu minimieren.
- Im Gesundheits- und Veterinärwesen sollten alle Möglichkeiten des Rückhalts von Pharmaka ausgeschöpft werden
- Klärschlamm darf nicht als Senke für Schadstoffe missbraucht werden.
- Für eine Vielzahl im Wasser nachgewiesener Stoffe und ihrer Metabolite besteht noch Unklarheit hinsichtlich ihres Abbauverhaltens, ihrer Wirkungen in Abwasserreinigungsanlagen und möglicher Schädwirkungen im Gewässer; hier besteht noch ein beträchtlicher Forschungsbedarf.
- Um mögliche Beeinträchtigungen der Gewässer durch Abwässer erkennen zu können, muss sowohl der Betrieb der Abwasserreinigungsanlagen, des Kanalsystems als auch der Zustand der Gewässer regelmäßig kontrolliert und dokumentiert werden.

### **Forschungsbedarf**

### **Literatur**

- [1] BADEN-WÜRTTEMBERG, STATISTISCHES LANDESAMT (2001): Daten zur Umwelt 2000. - Statistik von Baden-Württemberg, Band 562, 248 S., Stuttgart
- [2] KANTON THURGAU, AMT FÜR UMWELTSCHUTZ: Wasserversorgung / Daten und Fakten. - <http://www.tg.ch/afu/Wasser/WVversorg.htm>
- [3] VORARLBERG, UMWELTINFORMATIONSDIENST (1999): Umweltdaten Vorarlberg 1999. - 46 S., Bregenz
- [4] KANTON GRAUBÜNDEN, AMT FÜR UMWELT (2003): Daten zum Wasserverbrauch. - Abt. Ökologie, schriftl. Mitt.
- [5] IGKB (2003): Stand der Reinhaltungsmassnahmen im Einzugsgebiet des Bodensees. Arbeitskarte der Abwasserreinigungsanlagen im Einzugsgebiet des Bodensees. Stand 02/2003. - Bodensee-Wasserinformationssystem (BOWIS), Bearbeiter: R. Obad, Institut für Seenforschung, Langenargen
- [6] IGKB (1967): Untersuchungen zur Feststellung der Ursachen für die Verschmutzung des Bodensees. Ergebnisse der Reihenuntersuchungen und Erhebungen im Jahre 1961. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 6, 8 S. + Tabellen, Eigenverlag

- [7] WAGNER, G. (1972): Die Berechnung von Frachten gelöster Phosphor- und Stickstoffverbindungen aus Konzentrationsmessungen in Bodenseezuflüssen. - IGKB - Bericht Nr. 11, 46 S., Eigenverlag
- [8] IGKB (1967): Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees. - IGKB, Eigenverlag
- [9] IGKB (1973): Bau- und Investitionsprogramm. Stand der Abwasserbeseitigung. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 13, Eigenverlag
- [10] IGKB (1985): Bau- und Investitionsprogramm. Stand der Abwasserbeseitigung im Einzugsgebiet des Bodensee-Obersees und des Untersees. Planungszeitraum 1986-1995. - IGKB- Bericht Nr. 33, 24 S., Eigenverlag
- [11] IGKB (2003): Bericht der Sachverständigen. Fachbereich Einzugsgebiet. - IGKB, interner Bericht
- [12] BÜHRER, H., KIRNER, P. & WAGNER, G. (2000): Dem Bodensee in den Abflussjahren 1996 und 1997 zugeführte Stofffrachten. - IGKB-Bericht Nr. 53, 42 S., Eigenverlag
- [13] BADEN-WÜRTTEMBERG, UMWELTMINISTERIUM (Hrsg., 1995): Umweltprogramm Bodensee Raum. I. Zusammenfassung und Wertung. - Umweltministerium Baden-Württemberg, 110 S., Stuttgart
- [14] IGKB (2003): Anlagenstatistik 2001. - IGKB, interner Bericht
- [15] PRASUHN, V. (1999): Phosphor und Stickstoff aus diffusen Quellen im Einzugsgebiet des Bodensees 1996/97.- IGKB Bericht 51, 84 S. + Anh.
- [16] IGKB (2000): Anhang: Ergebnisse der Zuflussuntersuchungen 1996/97 und des Stofffluß-Modells 1996/97. Zusammenfassung und Wertung. - Jahresbericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee: Limnologischer Zustand des Bodensees Nr. 26: 70-77, Eigenverlag
- [17] WUHRER, C. (1995) : Die fäkale Belastung der Schussen und ihr Einfluß auf den mündungsnahen Flachwasserbereich im Bodensee. - Dissertation an der Ludwigs-Maximilian Universität München
- [18] GÜDE, H., ECKENFELS, S., FOCKE, D., McTAGGART, K., PALMER, A. & WUHRER, C. (1999): Herkunft und Verbleib von Fäkalkeimen in Oberflächengewässern. - S. 19-35 in: Kraut, K. (Hrsg.), Nachhaltige Wasserwirtschaft und der Stand der Technik. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, 154
- [19] GÜDE, H., PALMER, A., ECKENFELS, S., FITZ, S. & BORCHARDT, D. (2001): Eintragswege und Verbleib von Fäkalkeimen im Einzugsgebiet der Seefelder Aach - Bewertung von Indikationspotentialen und Maßnahmen. - Programm Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung (BWPLUS), Zwischenbericht, Karlsruhe.
- [20] BUHMANN, D. & HUTTER, G. (1998): Fliessgewässer in Vorarlberg, Gewässergüte und Wasserbeschaffenheit 1998. - Schriftenreihe Lebensraum Vorarlberg, Band 44, Bregenz. 67 S.
- [21] EUGSTER, M. (1997): EDTA in den st. gallischen Bodensee-Zuflüssen. - Baudepartement des Kantons St. Gallen, Amt für Umweltschutz, 19 S.
- [22] ROSSKNECHT, H. (1991): Die Entwicklung der NTA- und EDTA-Konzentrationen im Bodensee und in einigen Bodensee-Zuflüssen von 1985 bis 1990. - IGKB-Bericht Nr. 41, 19 S., Eigenverlag
- [23] BADEN-WÜRTTEMBERG, MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR, Regierungspräsidium Tübingen, Landratsamt Ravensburg, Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein, Technologiezentrum Wasser (2000): Komplexbildner in der Schussen. - Abschlussbericht UBR-Projekt II U 14 "Schussenprogramm", 87 S.
- [24] RINDERER, M. (1995): EDTA - ein schwer abbaubarer/eliminierbarer Stoff in den Gewässern Vorarlbergs. - Schriftenreihe Lebensraum Vorarlberg 24
- [25] BADEN-WÜRTTEMBERG, LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (1999): Arzneimittel und hormonell wirksame Stoffe in Fließgewässern Baden-Württembergs. - LfU-Jahresbericht 1998/99, S. 163-166, Karlsruhe
- [26] RORKNECHT, H., HETZENAUER, H. & TERNES, T. (2001): Arzneimittel im Bodensee? - Nachr. Chem. 49: 145-149
- [27] KRIEGER, H., LAMPERTSDÖRFER, T. & DIETRICH, D. R. (2001): Status- und Strategiebericht Schadstoffe und ihre ökotoxikologische Relevanz für den Bodensee. - interner Bericht i. A. der IGKB, Konstanz
- [28] INSTITUT FÜR SIEDLUNGSWASSERBAU, WASSERGÜTE- UND ABFALLWIRTSCHAFT DER UNIVERSITÄT STUTTGART (2000): Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer am Beispiel des Bodensee-Zuflusses Seefelder Aach. - Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben, 105 S.
- [29] SCHLICHTIG, B., SCHÜLE, E. & ROTT, U. (2001): Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in die Seefelder Aach. - Wasser und Abfall 3/2001: 20-28
- [30] BÜHRER, H. (2002): Tolerierbare Phosphor-Fracht des Bodensee-Obersees. 2. Aufl. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 54, 81 S., Eigenverlag
- [31] STABEL, H.-H. (1999): Mikrobiologische Belastungen im Bodensee. - AWBR Jahresbericht 31 (1999): 159-170

### 3.3 Industrie und Gewerbe - wassergefährdende Stoffe

#### 3.3.1 Bisherige Entwicklung

##### Wirtschaftsstruktur des Bodenseeraums

Wichtigster Wirtschaftsbereich hinsichtlich der Beschäftigtenzahlen ist in nahezu allen Teilregionen des Bodenseegebiets der *Dienstleistungssektor* (Abb. 3.3-1). Dazu tragen in hohem Maße Tourismus und - in den Räumen Konstanz, Ravensburg und St. Gallen – auch universitäre Ausbildungseinrichtungen bei. Der *Landwirtschaftssektor* weist in sämtlichen politischen Teilregionen überdurchschnittliche Beschäftigungswerte auf.

**Der Dienstleistungssektor ist der wichtigste Wirtschaftsbereich im Bodenseeraum**

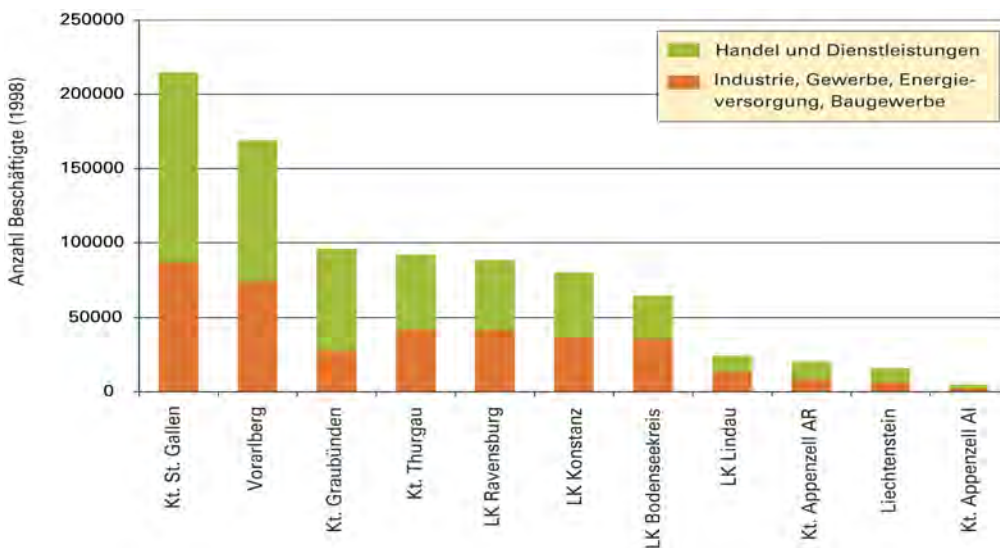


Abb. 3.3-1: Anzahl der Beschäftigten (Voll- und Teilzeitbeschäftigte; ohne Landwirtschaft) 1998 [nach 1-5]

Die Zahl der Beschäftigten im Dienstleistungssektor hat im gesamten Bodenseegebiet in den letzten 10 Jahren zugenommen, während sie im produzierenden Sektor stagnierte oder abnahm (Abb. 3.3-2). Die Zahl der Betriebe nahm dagegen in beiden Sektoren zumindest regional zu.

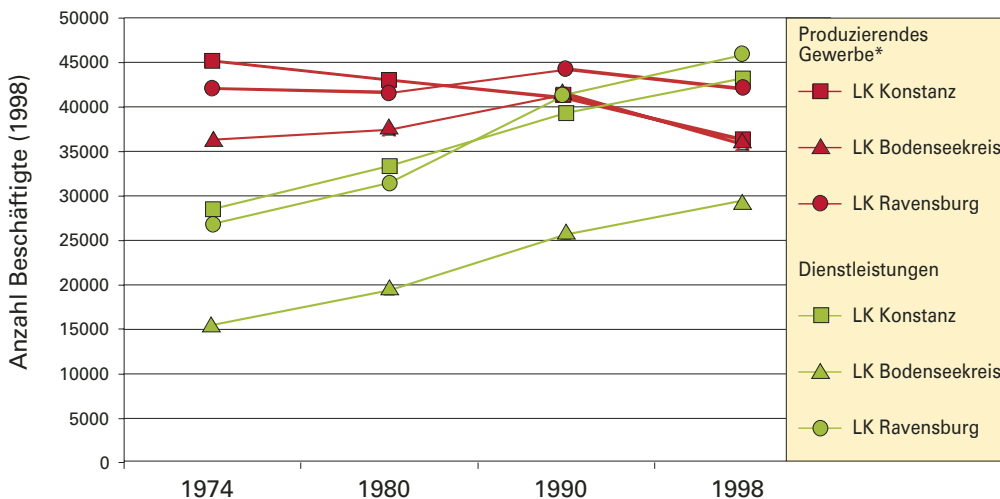


Abb. 3.3-2: Entwicklung der Beschäftigtenzahlen am deutschen Bodenseeufer nach Wirtschaftssektoren (\*Produzierendes Gewerbe: inkl. Landwirtschaft) [nach 6]

Mittelständische Betriebe dominieren

Im Bodenseeraum zählen 95 % der Betriebe des *produzierenden Gewerbes* zur Gruppe der klein- und mittelständischen Unternehmen, in denen über 75 % aller Arbeitskräfte der Privatwirtschaft beschäftigt sind [7]. Daneben existieren nur wenige Großbetriebe mit mehreren Tausend Arbeitskräften.

**Branchen**

Bezüglich der Branchenverteilung zeigt die Bodenseeregion eine vielfältige Struktur, in der auch die Teilregionen keine industrielle Monostruktur aufweisen. Industrielle Schwerpunkte sind:

Friedrichshafen	<i>Luft- und Raumfahrt, Automobilzulieferung</i>
Konstanz	<i>Elektrotechnik</i>
St. Gallen	<i>Textilindustrie, Maschinenbau</i>
Vorarlberg	<i>Textilindustrie, Maschinenbau, Metallveredelung, Ernährung</i>
Lindau	<i>Maschinenbau, Ernährung, Gummi/Kunststoff</i>

**Gefährdungspotenzial und Umweltbelastungen**

Die Ausweisung neuer Flächen für Gewerbe Zwecke führt häufig zu Konflikten mit dem Naturschutz bzw. anderen Nutzungsansprüchen, vor allem, wenn diese in bereits dicht besiedelten Gebieten des Bodenseeuferes oder des Rheintals liegen. Stoffliche Emissionen in Luft, Boden oder Gewässer können sowohl bei Normalbetrieb der Produktionsstätten und Lagerflächen verursacht werden, als auch bei Havarien (Unfällen, Störfällen).

Konflikte bei der Flächennutzung

Industrielle Abwässer können Schadstoffe enthalten, die in kommunalen Abwasserreinigungsanlagen zu Störungen der biologischen Abbauleistung führen. In diesen Anlagen nicht oder nur unvollständig abbaubare Stoffe können die Gewässer belasten. Schwermetalleinträge stammten früher meistens aus dem industriellen Bereich. Diese konnten durch Maßnahmen nach dem Stand der Technik wirksam reduziert werden. Heute stehen bei den Schwermetallen diffuse Einträge im Vordergrund. In mehreren Seezuflüssen wurde in den letzten Jahren eine deutliche Belastung mit den in Industrie und Gewerbe genutzten, schwer abbaubaren Komplexbildnern EDTA oder DTPA festgestellt [8]. Die EDTA-Fracht in den St. Gallischen Bodenseezuflüssen stammte 1997 im wesentlichen aus großen Abwasserreinigungsanlagen mit hohem Anteil an Industrie- und Gewerbeabwässern [9]. An der Schussen erwiesen sich Milchwerke, Papierindustrie und Textilausrüster als Hauptquellen der EDTA-

Belastungen konnten nach dem Stand der Technik wirksam reduziert werden

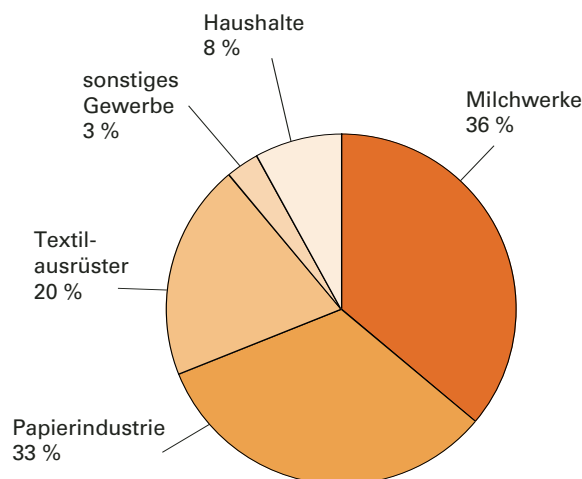


Abb. 3.3-3: Hauptquellen der EDTA-Belastung der Schussen [nach 8]





Intensivnutzung des Uferbereichs durch große Industrieanlagen. Fotos [a]

Belastung (Abb. 3.3-3). DTPA wurde dort nahezu ausschließlich von zwei Betrieben der Papier- und Zellstoffindustrie eingetragen.

In nahezu allen Bodenseezuflüssen wurden *Flammschutzmittel* nachgewiesen, die vor allem in der Kunststoff- und Textilindustrie eingesetzt werden, ebenso *Bisphenol A* (um 20 ng/l), ein schwach endokrin wirksamer Stoff, der in Kunststoff- und Papierindustrie verwendet wird. *Nonylphenol* – das ebenfalls endokrin wirksame Abbauprodukt eines in der Industrie eingesetzten Tensids – wurde 2001 in der Dornbirnerach (300 ng/l) und im Alpenrhein (71 ng/l) nachgewiesen. Zu den wichtigsten Industriechemikalien gehören *Phthalate*, die bei der PVC-Konfektionierung und in Farben Verwendung finden. Diese Verbindungen, die hauptsächlich über die Luft in die Gewässer eingetragen werden (s. Kap. 3.10), reichern sich im Sediment an. In den Zuflüssen wurden 1984 - neuere Daten liegen nicht vor - bis zu 700 µg/kg und im Bodensee bis zu 6,4 µg/kg Phthalate gemessen [10].

Größere Mengen potentiell umwelt- bzw. gewässergefährdender Stoffe können bei *Havarien* im Zusammenhang mit Produktion, Lagerung und Umschlag von Stoffen in die Umwelt gelangen bzw. als Umwandlungsprodukte entstehen. Im Kanton St. Gallen fielen im Jahr 2000 rund 200 von insgesamt 800 überprüften Betrieben in den Geltungsbereich der Störfallverordnung (StFV). Bei 2% der Betriebe und Anlagen können bei einem Störfall schwere Schädigungen von Bevölkerung und Umwelt nicht ausgeschlossen werden [11].

### 3.3.2 Auswirkungen auf den See

Die bis in die 1980er Jahre erheblichen Belastungen des Bodensees und seiner Zuflüsse durch Einleitungen aus Industrie und Gewerbe wurden mit dem Ausbau sowohl industrieller als auch kommunaler Abwasserbehandlungsanlagen wesentlich verringert. So konnte in der Schussen durch Maßnahmen der betreffenden Betriebe der jährliche Eintrag von EDTA von 6-8 t (1995/96) auf 4,7 t (Stand: 1999) reduziert werden [8]. Die Konzentrationswerte liegen im Mündungsbereich aber weiterhin über den von IAWR bzw LAWA vorgegebenen Qualitätszielen (s. auch Kap. 3.2).

Welchen Anteil Industrie und Gewerbe an der direkten Gewässerbelastung noch in den 1970er-Jahren hatte, zeigt ein Vergleich der Gewässergütekarten des Vorarlberger Rheintals der Jahre 1977 und 1998 (Abb. 3.3-5).

Papier- und Zellstoffindustrie, chemische Industrie und Betriebe mit chemischer Metall-Oberflächenbehandlung stellen eine potentielle Gefährdung des Bodensees dar. Während im Normalbetrieb kaum mehr schädigende Einflüsse zu erwarten sind,

**Störfälle mit  
Gefahrgütern**

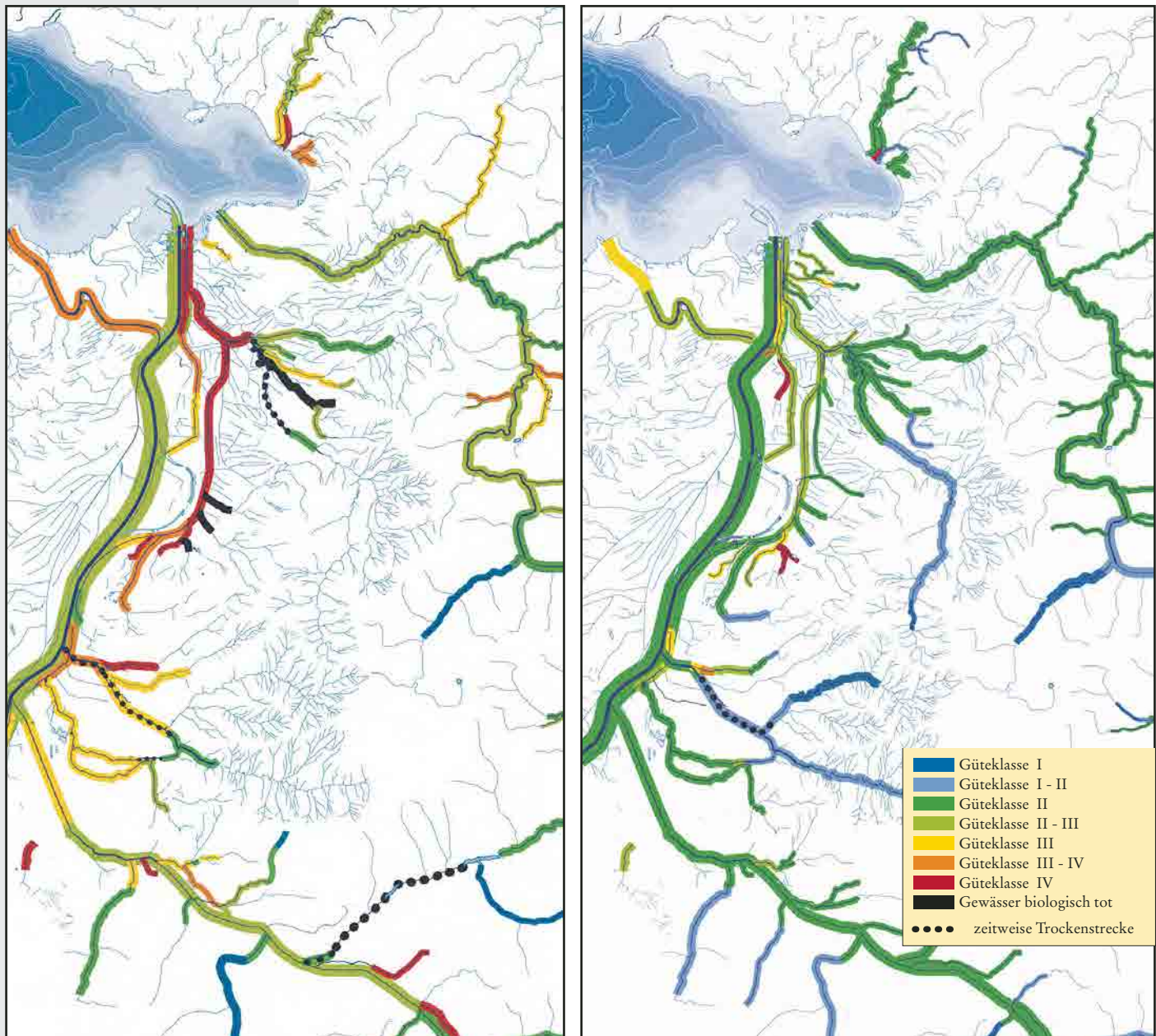


Abb. 3.3-5: Gewässergüte in Vorarlberg im Vergleich der Jahre 1977 und 1998 [nach 14, 15]. Durch technische Verbesserungen, vor allem in der Industrie und in Abwasserreinigungsanlagen wurde die Belastung der Gewässer deutlich reduziert.

**Gefahrenpotenzial**

können betriebliche Störfälle zu einer direkten und für die Organismen des Sees gefährlichen Belastung führen. In Anlagen, in denen wassergefährdende Stoffe gelagert werden, ist wegen des häufigen Wechsels der Stoffe und Lagermengen die Wahrscheinlichkeit eines Zwischenfalls nicht zu vernachlässigen. In gewässernahen Anlagen besteht darüberhinaus bei Hochwasser die Gefahr des Auftreibens oder der Beschädigung von Lagerbehältern. Während des Pfingsthochwassers 1999 am Bodensee wurde häufig eine unzureichende Sicherung von Heizöltanks und Lagern wassergefährdender Stoffe gegenüber Hochwasser festgestellt [12]. Bei stationären Anlagen und Betrieben wird heute allerdings die Wahrscheinlichkeit eines Schadenseintritts mit Auswirkungen auf den Bodensee als wesentlich geringer eingeschätzt als beim Transport von Gefahrgut (s. Kapitel 3.5) [13].

Das Hauptaugenmerk nationaler und internationaler Bemühungen zum Gewässerschutz liegt heute auf einer Begrenzung der Emissionen an der Quelle. So kann-

te die Gewässerbelastung durch Emissionen aus Industrie und Gewerbe durch innerbetriebliche Maßnahmen – Optimierung von Lager- und Produktionstechniken, Kreislaufführung, Umweltauditierung etc. – deutlich reduziert werden.

Die potentielle Beeinträchtigung von Abwasserreinigungsanlagen und Gewässern durch industrielles und gewerbliches Abwasser wird in den meisten Ländern und Kantonen des Bodensee-Einzugsgebietes mithilfe von *Direkt-* und *Indirekteinleiterkatastern* erfasst.

Für Anlagen und Betriebe, in denen besondere Gefahrenpotentiale vorhanden sind, bestehen im Einzugsgebiet des Bodensees besondere Störfallregelungen zur Verhütung schwerer Unfälle bzw. zur Begrenzung von deren Folgen. Diese Vorschriften umfassen:

- die Verpflichtung der Betriebsinhaber, alle nach dem Stand der Technik notwendigen Maßnahmen zu ergreifen, um schwere Unfälle zu vermeiden und deren Folgen für Mensch und Umwelt zu begrenzen;
- die Erstellung von Inspektionsprogrammen durch die Behörde zur planmäßigen und systematischen Überwachung der Einhaltung der Verpflichtungen der Betriebsinhaber;
- die Einrichtung zentraler Meldestellen für schwere Unfälle sowie von Warnzentralen.

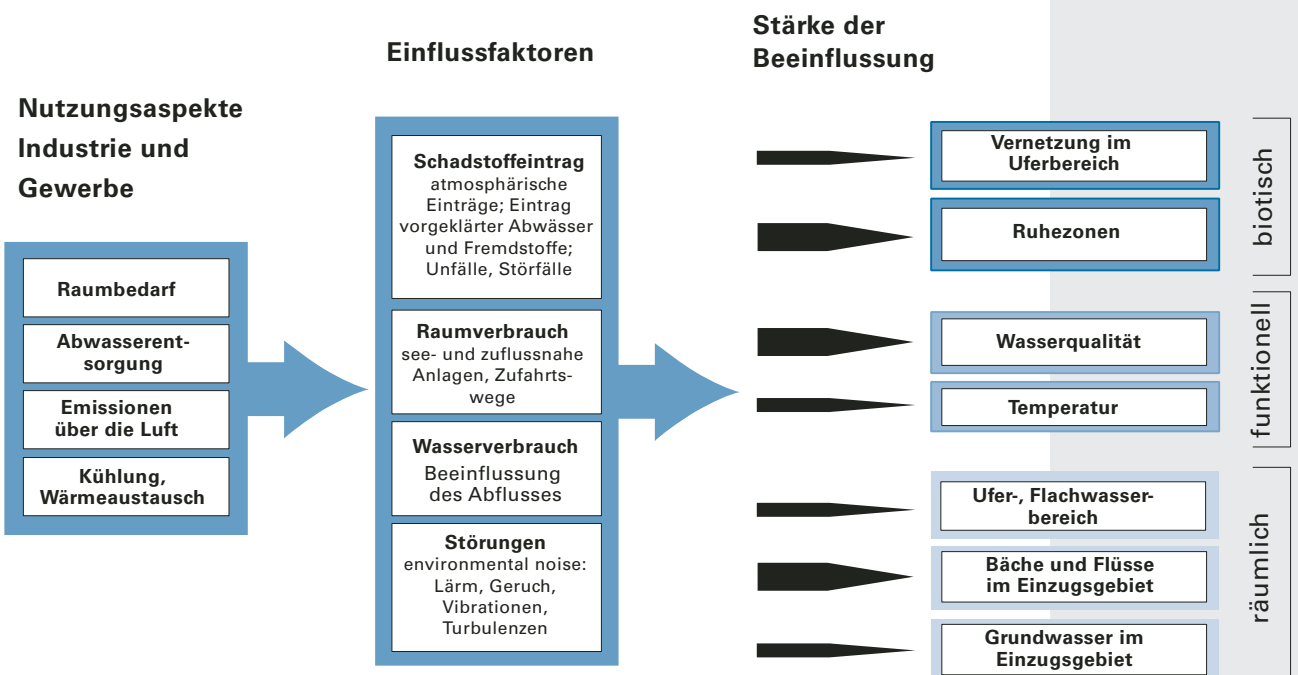
Die EU-Länder haben gemäß der Seveso II-Richtlinie weitere Vorschriften zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen erlassen.

Auf dem Bodensee und in dessen Einzugsgebiet macht die Bekämpfung von Unfällen mit wassergefährdenden Stoffen grenzüberschreitende Einsätze nötig. Die IGKB koordiniert internationale prophylaktische Maßnahmen für eine wirkungsvolle Schadensbekämpfung. Diese umfassen:

- Einrichtung und Aufrechterhaltung regionaler Stützpunktwehren mit ausreichender personeller und technischer Ausstattung;

**Begrenzung von Emissionen und Gefahrenpotenzialen an ihrer Quelle**

**Vorgaben und Beschränkungen**



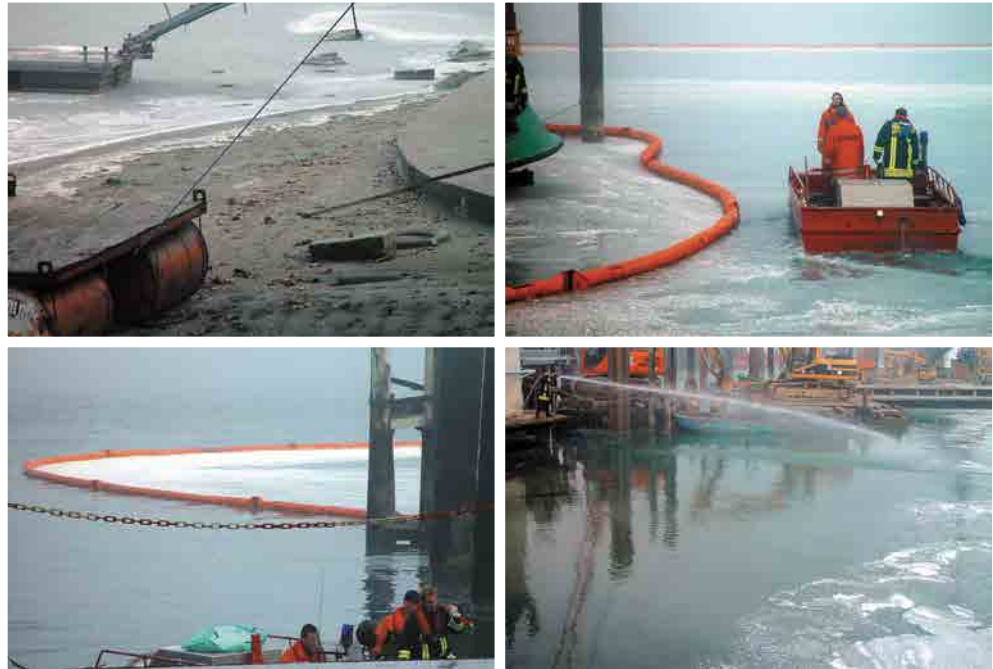
Kompartimente des Sees und des Einzugsgebietes

Abb. 3.3-4: Industrie und Gewerbe – Einflüsse auf den See

Die Bekämpfung von Unfällen mit wassergefährdenden Stoffen erfolgt durch lokale oder grenzüberschreitende Schadenswehren. Diese Schadensabwehr wird von der IGKB koordiniert.

Ölunfall im Konstanzer Fährhafen Staad am 20. 12. 2003

Fotos [i]



### Handlungserfordernisse

#### 3.3.3 Handlungserfordernisse

- Die Möglichkeiten zur Verminderung, Vermeidung und Verwertung von potenziell wassergefährdenden Stoffen sind bei Industrie- und Gewerbebetrieben nach dem Stand der Technik auszuschöpfen.
- Methoden zur Implementierung von Umwelt-Audits in kleineren und mittleren Betrieben sollen erarbeitet werden.
- Bei Erhebungen (Emissionskatastern) und Maßnahmen wie z.B. Brandrisikoschauen sind auch die zahlreichen Kleinbetriebe zu berücksichtigen.
- Im Rahmen der Bauleitplanungen sind die Möglichkeiten eines Flächenrecyclings vor Nutzung neuer Außenbereichsflächen für gewerbliche Zwecke zu prüfen.
- In allen Ländern und Kantonen des Einzugsgebietes sollen Direkt- und Indirekt-einleiterkataster erstellt und laufend aktualisiert werden.
- Für bekannte Überflutungsbereiche bzw. für einstaugefährdete Standorte sollen auf Gemeindeebene Kataster für die Lagereinrichtungen wassergefährdender Stoffe erstellt werden.
- Wassergefährdende Flüssigkeiten und sonstige Stoffe sollen - auch auf privaten Anwesen - so gelagert werden, dass sie kein Gefahrenpotenzial für den Bodensee darstellen. Überflutungsgefährdete Gebiete sollen von der Lagerung wassergefährdender Stoffe freigehalten werden. Wo dies nicht möglich ist, sind besondere Schutzmaßnahmen zu treffen (z.B. bei Öltanks in stark hochwassergefährdeten Kellern).
- Für seenahe Ortschaften und Betriebe sollen gegen Störfälle mit wassergefährdenden Stoffen Vorsorgekonzepte erarbeitet werden.

### Vorbeugung und Gefahrenabwehr

## Literatur

- [1] AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG (1996): Strukturdaten Vorarlberg. - Bregenz, 116 S.
- [2] PEZZATTI, M. & RIEDER, P. (1999): Landwirtschaft im Kanton St. Gallen. - Studie des Instituts für Agrarwirtschaft der ETH Zürich im Auftrag des Volkswirtschaftsdepartement des Kantons St. Gallen, 131 S.
- [3] STATISTIKFACHSTELLEN DER KANTONE ST. GALLEN, GRAUBÜNDEN UND THURGAU (2000): Beschäftigung und Branchenstruktur der Ostschweizer Wirtschaft, Analyse der eidgenössischen Betriebszählungen 1985, 1991, 1995, 1998. - Statistikfachstellen der Kantone St. Gallen, Graubünden und Thurgau
- [4] FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN, AMT FÜR VOLKSWIRTSCHAFT (2000): Liechtenstein in Zahlen 2000. - Verwaltungs- und Privatbank AG, Broschüre, 19 S.
- [5] VORARLBERG, WIRTSCHAFTSKAMMER (2001): Vorarlberg in Zahlen, Ausgabe 2001. - Wirtschaftskammer Vorarlberg, 39 S.
- [6] BADEN-WÜRTTEMBERG, STATISTISCHES LANDESAMT: Regionaldaten - <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de>
- [7] KÖSEL & HYDEBRECK (1990) : zitiert in: Scherer, R. & Müller, H. (1994): Erfolgsbedingungen grenzüberschreitender Zusammenarbeit im Umweltschutz. Das Beispiel Bodenseeregion. -
- [8] BADEN-WÜRTTEMBERG, MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR, Regierungspräsidium Tübingen, Landratsamt Ravensburg, Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein, Technologiezentrum Wasser (2000): Komplexbildner in der Schussen. - Abschlussbericht UBR-Projekt II U 14 "Schussenprogramm", 87 S.
- [9] EUGSTER, M. (1997): EDTA in den st. gallischen Bodensee-Zuflüssen. - Baudepartement des Kantons St. Gallen, Amt für Umweltschutz, 19 S.
- [10] KRIEGER, H., LAMPERTSDÖRFER, T. & DIETRICH, D. R. (2001): Status- und Strategiebericht Schadstoffe und ihre ökotoxikologische Relevanz für den Bodensee. - interner Bericht i. A. der IGKB, Konstanz
- [11] RATHGEB, K., FIOKA, G. & STÄMPFLI, A. (2000): Störfallvorsorge im Kanton St. Gallen. - 26 S.
- [12] IGKB (o. J.): Das Bodenseehochwasser im Frühsommer 1999. - Erfahrungsbericht
- [13] KRÄUTLER, E., ITEL, W., KATTE, R., MATHIS, C., STÄMPFLI, A., UHLICH, T. & WIDMER, U. (2000): Transport wassergefährdender Stoffe im Ufer- und im Zuflussbereich des Bodensees. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 52, 36 S., Eigenverlag
- [14] ÖSTERREICH / BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg., o. J.): Gütebild der Gewässer in Vorarlberg Stand 1977/78. - Wasserwirtschaftskataster, Wien
- [15] BUHMANN, D. & HUTTER, G. (1998): Fliessgewässer in Vorarlberg, Gewässergüte und Wasserbeschaffenheit 1998. - Schriftenreihe Lebensraum Vorarlberg, Band 44, Bregenz. 67 S.

### 3.4 Schifffahrt

#### 3.4.1 Bisherige Entwicklung

Der Bodensee hat heute zwar viel von seiner ursprünglichen Bedeutung als Verkehrs- und Transportweg verloren, dafür ist seine Bedeutung als Freizeitraum zusehends gestiegen. Vor allem im Sommer wird er intensiv durch Wassersportler, Segel- und Motorboote und durch Ausflugsschiffe genutzt. Diese Nutzung kann zu Beeinträchtigungen des Sees und seines Umfelds führen: durch die Errichtung von Schifffahrtsanlagen, durch stoffliche Einträge, durch Störungen der Biozönosen des Sees und seiner Ufer sowie durch Schädigungen der Ufer- und Flachwasserzone und ihrer Vegetation (s. Kap. 2.1).

#### Gremien und Gesetzgebung

Die 1973 gegründete Internationale Schifffahrtskommission für den Bodensee (ISKB) befasst sich mit Ausarbeitung und Durchführung einheitlicher Schifffahrtsvorschriften auf dem Bodensee. Diese sind in der Bodensee-Schifffahrts-Ordnung (BSO) geregelt, die 1976 in Kraft trat. Für die Zulassung von Wasserfahrzeugen und die Ausstellung von Schifferpatenten sind die Schifffahrtsämter der Länder, Landkreise bzw. Kantone zuständig. Auch die Kompetenz für die Ausweisung und Genehmigung von Bootsliegplätzen und Schutzgebieten liegt bei den Ländern bzw. Kantonen. Der Betrieb von Häfen und Steganlagen liegt in den Händen von Kommunen, öffentlichen Unternehmen (Bahnen) oder privaten Trägern. Auch die Internationale Bodenseekonferenz (IBK) beschäftigt sich mit Fragen der Schifffahrt. Im Bereich des öffentlichen Nahverkehrs findet eine Zusammenarbeit der nationalen Schifffahrtsunternehmen in den Vereinigten Schifffahrtsunternehmen auf dem Bodensee und Rhein (VSU) statt. Die Interessen des Bootsports werden von zahlreichen, teilweise grenzüberschreitenden Organisationen vertreten.

#### Schiffsverkehr

Die Zahl der Schiffe auf dem Bodensee stieg bis 1990 stark an. Seither ist sie weitgehend konstant geblieben. Allerdings war in den letzten Jahren eine Zunahme starker Motoren zu verzeichnen, bei gleichzeitigem Rückgang der Zweitaktmotoren (von 1993 bis 2000 um fast 50%). Im Jahr 2000 waren am Bodensee insgesamt 56 749

Die Schifffahrt wirkt direkt und indirekt auf den See und seine Ufer

Einheitliche Vorschriften

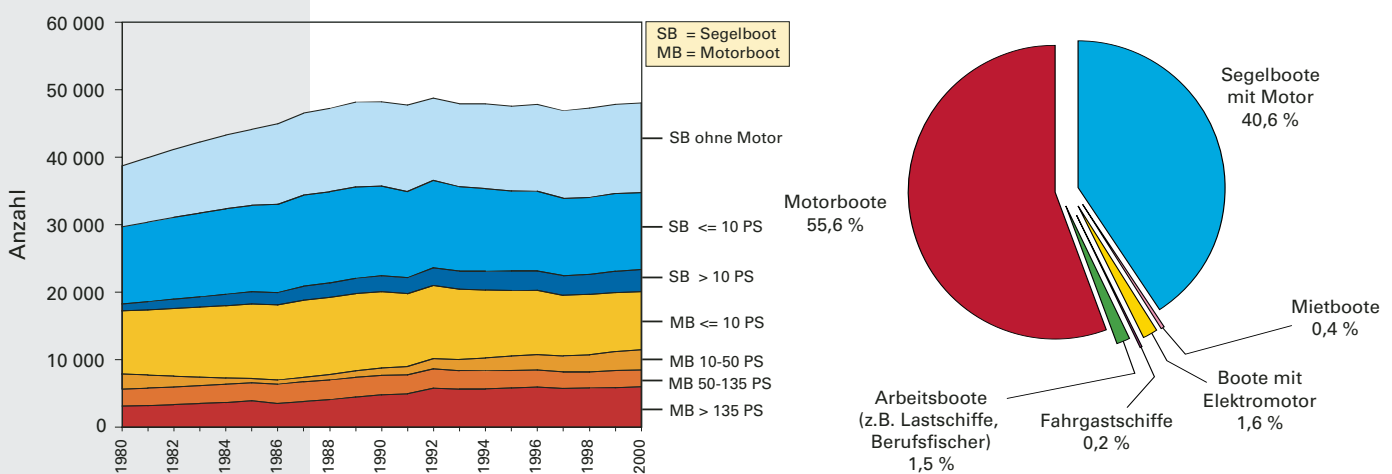


Abb. 3.4-1: a) Am Bodensee zugelassene Motor- und Segelboote ohne Arbeits-, Last- und Fahrgastschiffe (1980-2000) [nach 1]; b) Nutzungstypen der auf dem Bodensee zugelassenen motorisierten Fahrzeuge (Stand 31.12.2000) [nach 1]

Boote und Schiffe zugelassen. Umgerechnet auf seine Uferlänge (273 km) entfielen damit auf alle 5 Meter ein Boot. Rund 99 % der zugelassenen Fahrzeuge werden zu Freizeit Zwecken genutzt. Der Anteil der motorisierten Fahrzeuge liegt bei 64 % (Abb. 3.4-1).

Der *öffentliche Nahverkehr* auf dem Bodensee umfasst 3 ganzjährig betriebene Fährlinien (10 Fährschiffe), 3 saisonale Fährlinien und 9 saisonale Routen von Fahrgastschiffen (35 Schiffe). Letztere werden hauptsächlich touristisch genutzt. Sehr unterschiedlich wird der Bedarf an zusätzlichen neuen Fährverbindungen eingeschätzt. So wurde seit 1996 eine Schnellverbindung zwischen Konstanz und Friedrichshafen diskutiert, für die allerdings die prognostizierten Fahrgastzahlen um mehr als den Faktor 10 differierten. Im Oktober 2000 wurde die wasserrechtliche Genehmigung zum Betrieb dieser Schnellbootverbindung (Katamaran) erteilt. Verschiedene Einsprüche wurden verhandelt und abgewiesen, so dass die Genehmigung Anfang 2004 in letzter Instanz bestätigt wurde.

Fährbetrieb	Kilometerleistung	Beförderte Personen	Zweiräder	PKW	LKW/Bus
Fahrgastschiffe VSU	549 596	4 233 425	219 439	-	-
Fähre Romanshorn-Friedrichshafen (BSB, SBS)	153 348	643 438	62 744	68 249	24 895
Fähre Konstanz-Meersburg (Stadtwerke Konstanz)	341 078	5 192 326	457 840	1 638 365	94 651

VSU = Vereinigte Schifffahrtsunternehmen für den Bodensee und Rhein;  
BSB = Bodensee-Schiffsbetriebe GmbH;  
SBS = Schweizerische Bodensee-Schifffahrtsgesellschaft AG

Tab. 3.4-1: Beförderungszahlen der wichtigsten Fährn und der grossen Fahrgastunternehmen im Jahr 2000 [nach 2, 3]

Der Anteil der Freizeitboote an der *Fahrleistung* auf dem Bodensee übertrifft den der anderen Schiffskategorien deutlich (Tab. 3.4-2). Auch wenn diese Boote im Mittel jeweils nur wenige Stunden pro Jahr betrieben werden, bewirkt ihre grosse Zahl eine beträchtliche Schifffahrtsaktivität (Abb. 3.4-2).

Kategorie	Betriebsdauer [Std./Boot*Jahr]	Anzahl	Betriebsdauer [Std./Jahr]
Fahrgastschiffe	900	73	65 700
Lastschiffe, Arbeitsboote	600	536	321 600
Motorboote	35	20 072	702 520
Segelboote	10	14 666	146 660
Mietboote	250	156	39 000

Tab. 3.4-2: Geschätzte jährliche Betriebsdauer (2000) der wichtigsten Fahrzeugkategorien (motorisiert) (geschätzte Betriebsstunden nach RHYINER (1979) in [4])

**Am Bodensee sind rund 57 000 Wasserfahrzeuge zugelassen**

**Fährverbindungen zählen zum öffentlichen Nahverkehr**

**Freizeitboote dominieren den Schiffsverkehr**

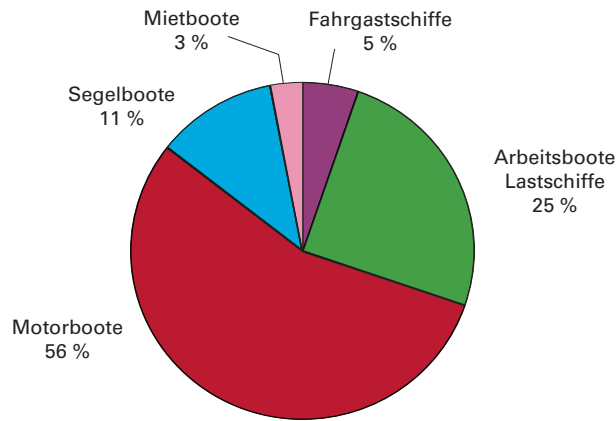


Abb. 3.4-2: Anteil der Fahrzeugkategorien an der Gesamtbetriebsdauer motorisierter Fahrzeuge auf dem Bodensee (ohne Boote mit Elektromotor), berechnet für den Bootsbestand im Jahr 2000 mit geschätzten Betriebsstunden [nach 4] (siehe Tabelle 3.4-2)

*Schiffahrtsanlagen*

Im Jahr 2000 verfügten 42 % der zugelassenen Boote über einen Wasserliegeplatz am Bodensee. Etwa 70 % dieser *Liegeplätze* befanden sich in den 179 Häfen, jeweils weitere 10% an 125 Steganlagen und 45 Bojenfeldern (Abb. 3.4-3). Während die Zahl der Wasserliegeplätze aufgrund der Forderungen der IGKB [5] und des Bodenseeleitbildes der IBK [6] weitgehend konstant gehalten werden konnte, nahm die Zahl der Landliegeplätze von 1989 bis 2001 auf mehr als das Doppelte zu. Im Jahr 2003 wurden am gesamten Bodensee neben 23 681 Wasserliegeplätzen 5 897 ufernahe Trockenliegeplätze gezählt.

**Nur 42 % der zugelassenen Boote haben einen Wasserliegeplatz**

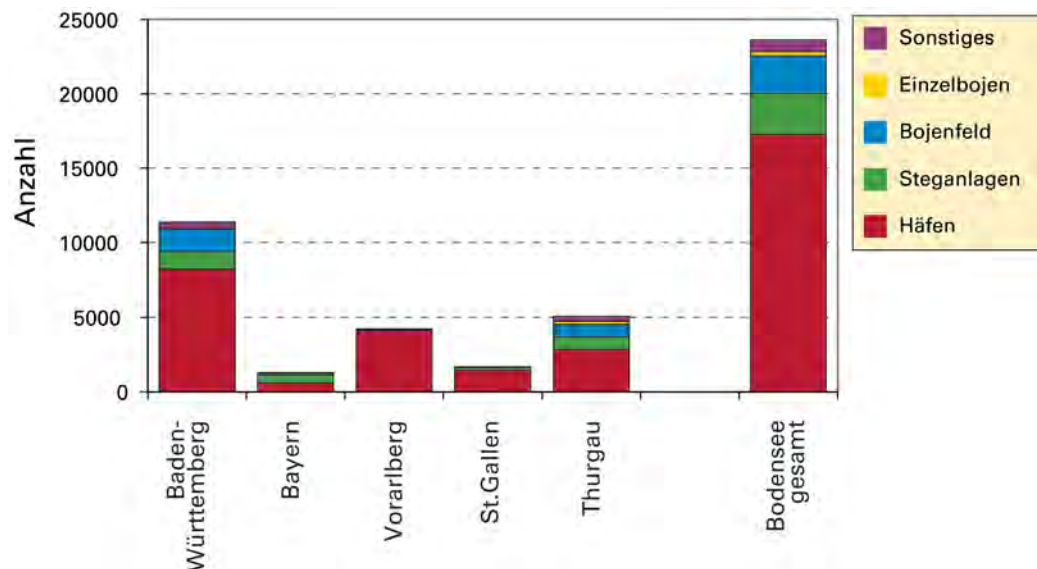


Abb. 3.4-3: Anzahl der Wasserliegeplätze nach Regionen [nach 7], Stand 2003

Die Zahl der Wässerungseinrichtungen am Bodensee ging von 1995 - 2000 leicht zurück, die der Entsorgungseinrichtungen (Fäkalabsauganlagen und Waschplätze) nahm hingegen deutlich zu (Tab. 3.4-3).



sekundäre Infrastruktur an Land	Bodensee gesamt			
	1995	1997	1999	2001
Seetankstellen	17	20	18	18
Fäkalienabsaugung	27	36	36	37
Waschplätze				26
Slipanlagen	129	136	126	116
Krananlagen	45	43	42	42

Tab. 3.4-3: sekundäre Schifffahrts-Infrastruktur [nach 7]

### 3.4.2 Auswirkungen auf den See

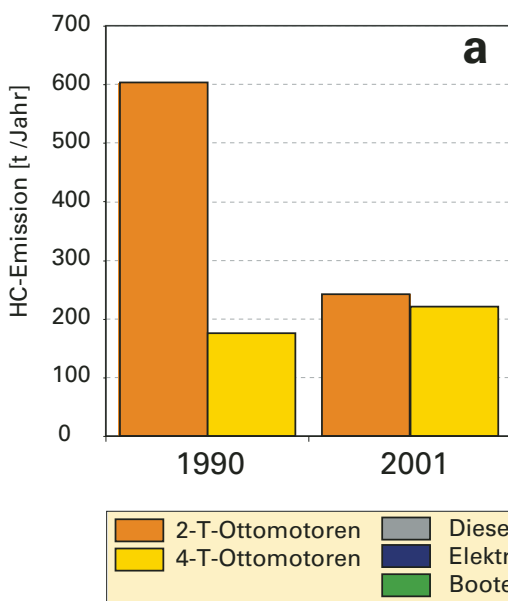
#### Stoffeinträge

Durch den Schiffsbetrieb können unterschiedliche Schad- und Fremdstoffe in den See gelangen: Motoremissionen (Kohlenwasserstoffe), Emissionen bei der Bootsbetankung, Schadstoffe aus Schiffsanstrichen, Reinigungsmittel, Müll, Abwasser und Fäkalien. Der weitaus größte Teil der Emissionen wird durch Freizeitmotorboote verursacht.

Ein deutlicher Zusammenhang besteht zwischen der Intensität des Bootsverkehrs und dem Gehalt des Hafengewässers an *Kohlenwasserstoffen* (Abb. 3.4-5, [9]). Hauptquelle des Eintrags an Kohlenwasserstoffen in den See waren bis zur Einführung von Abgasvorschriften im Jahr 1993 bzw. 1996 die 2-Takt-Motoren, die etwa das 10fache eines entsprechenden 4-Takt-Motors emittierten.

**Schadstoffeinträge hauptsächlich durch Freizeitboote**

Emission von Kohlenwasserstoffen durch motorisierte Boote auf dem Bodensee



Anzahl der auf dem Bodensee zugelassenen Wasserfahrzeuge nach Motorentypen

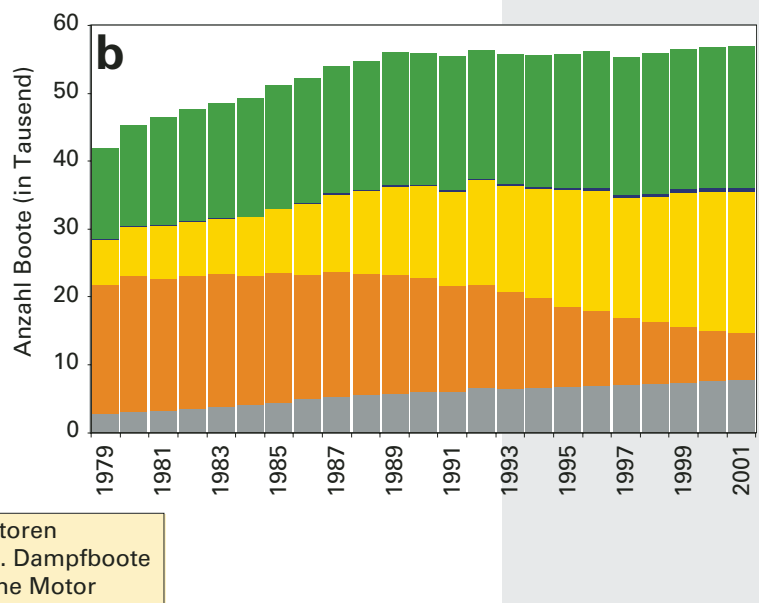


Abb. 3.4-4: a: Schadstoffemissionen nach Motortypen 1990 und 2001. Verglichen werden die Emissionen sämtlicher zugelassener Motorboote (ohne Dieselmotoren) bei einer angenommenen durchschnittlichen Aktivität von 30 Stunden pro Jahr [nach 8]. b: Motortypen der auf dem Bodensee zugelassenen Schiffe 1990 und 2001 [nach 1].

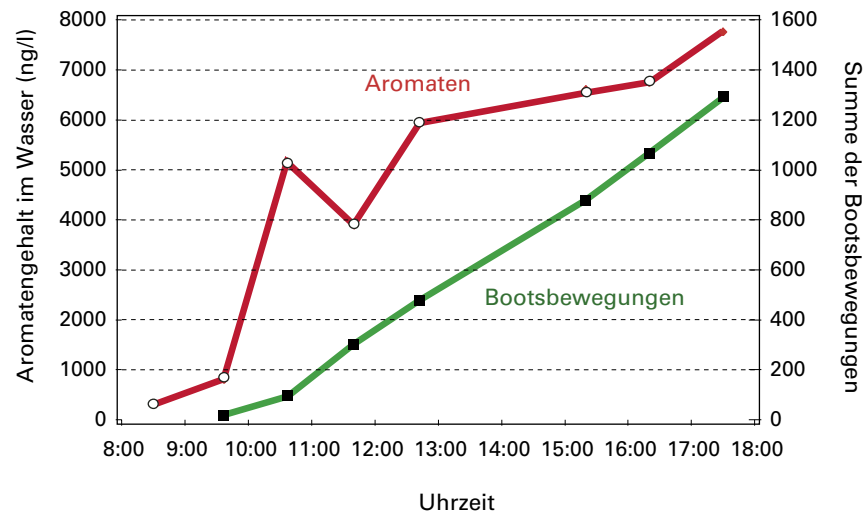


Abb. 3.4-5: Aromatengehalt im Wasser und Bootsbewegungen vor Hafeneinfahrt Langenargen am 18.8.1984 (nach [9])

Bei einer ersten systematischen Untersuchung der Bodenseesedimente stellte das Institut für Seenforschung Langenargen 1970 in allen Teilen des Bodensees erhebliche Anreicherungen von Kohlenwasserstoffen im Sediment fest [4]. Für 1980 wurde ein Eintrag von 440 t leichten und 42 t schweren Kohlenwasserstoffen durch die Schifffahrt in den See errechnet [24]. Der Kohlenwasserstoffeintrag durch 2-Takt-Motoren ging seit Einführung von Abgasgrenzwerten im Jahre 1993 bis 2001 um ca. 58% zurück [1] (Abb. 3.4-4).

*Antifoulingmittel* werden gegen den Bewuchs des Schiffsrumpfes durch Algen, Muscheln etc. eingesetzt. Die Bodensee-Schifffahrts-Ordnung verlangt: "Die Außenanstriche von Fahrzeugen ... müssen so beschaffen sein, dass sie das Gewässer nicht nachteilig verändern können" (Ziff. 6, Art.13.10, BSO [20]). In Ermangelung echter Alternativen werden jedoch die Wirkstoffe Kupfer und Triazin in zugelassenen Antifouling-Farben bis auf weiteres geduldet. Das früher in diesen Produkten überwiegend eingesetzte Biozid Tributylzinn (TBT) ist heute wegen seiner extremen Giftwirkung auf den Binnenseen weitgehend verboten. Dafür werden verstärkt toxische Kupfer-Salze eingesetzt.

Wasserqualität und Biozönosen werden durch das ständige Absondern von Bioziden beeinträchtigt; biologisch nicht abbaubare Bestandteile (Teflon, Silikon, halogenierte organische Biozide) reichern sich im Sediment an. In der Schweiz sind noch 8 Jahre nach dem Verbot von TBT hohe Belastungen in Hafensedimenten festgestellt worden [10]. Auch bei Analysen im Auftrag der Bodensee-Stiftung wurden im Bereich einiger Häfen 1999 noch hohe Rückstände von TBT, Triazin und Kupfer in Sediment und Wasser gefunden [11].

Die *Reinigung* von Sportbooten ist auf dem Bodensee nur mit Wasser ohne Zusätze zulässig [5]. Dennoch muss hier, wie auch bei der Reinigung von Fahrgastschiffen, mit einem Eintrag von Schadstoffen (Farbabrieb, Öle, Schmierstoffe etc.) in den See gerechnet werden. Die Belastung dürfte lokal und meist vergleichsweise gering bleiben [12].

*Flächenverbrauch und strukturelle Beeinträchtigungen*

Von der Gesamtlänge des Baden-Württembergischen Ufers wurden 1994 rund 28 % von Einrichtungen für die Schifffahrt in Anspruch genommen. Ähnlich sieht es auch in den übrigen Gebieten aus (vgl. Abb. 2.1-5).

Antifoulingmittel wirken ökotoxisch

Die Schiffsreinigung auf dem See bleibt problematisch

Durchschnittlicher Bedarf an Wasserfläche	
Bojenliegeplatz	400 - 500 m <sup>2</sup>
Platz am Bootssteg	35 - 75 m <sup>2</sup>
Platz im Hafen	40 - 100 m <sup>2</sup>

Tab. 3.4-4: Durchschnittlicher Verbrauch an Wasserfläche durch Bootsliegeplätze. Je Liegeplatz werden zusätzlich 50 – 100 m<sup>2</sup> Bedarf an Landfläche (Ver- und Entsorgung, Clubgebäude, Zufahrt u.a.) veranschlagt [13]

Verwaltungs- bereich	FWZ	Liegeplätze (2001)			Anteil der durch Liegeplätze beanspruchten Fläche in der FWZ	
	Fläche [ha]	Anzahl	Flächenbedarf [ha]		[%]	
			min.	max.	min.	max.
Baden-Württemberg	3 900	11453	99,3	170,6	2,5	4,4
Bayern	500	1 289	8,0	14,9	1,6	3,0
Vorarlberg	1 500	4 193	16,7	41,8	1,1	2,8
St. Gallen	500	1 670	7,3	17,0	1,5	3,4
Thurgau	1 100	5076	58,0	90,3	5,3	8,2
<b>Bodensee gesamt</b>	<b>7500</b>	<b>23681</b>	<b>189,2</b>	<b>334,6</b>	<b>2,5</b>	<b>4,5</b>

Tab. 3.4-5: Beanspruchung der Flachwasserzone (FWZ) durch Bootsliegeplätze (Schätzung) [nach 13, 14], Stand 1.1.2003

Für den gesamten Bodensee ergibt sich allein durch Wasserliegeplätze ein Flächenbedarf von bis zu 3,3 km<sup>2</sup> in der Flachwasserzone und bis zu 2,3 km<sup>2</sup> an Land. Am höchsten ist die Beanspruchung des schmalen Flachwasserbereichs am thurgauischen Südufer des Sees (Tab. 3.4-5).

### Sonstige Beeinträchtigungen

Die Auswirkungen des durch die Schifffahrt verursachten *Wellenschlages* auf den Ufer- und Flachwasserbereich werden unterschiedlich beurteilt. So halten DITTRICH & WESTRICH [15] die Wellenwirkung der Schifffahrt gegenüber den windinduzierten Wellen in der Friedrichshafener Bucht für vernachlässigbar. Je nach Uferexposition, Schiffskurs und -geschwindigkeit können Schiffswellen jedoch einen wesentlichen Teil des Einflusses des Wellenschlages ausmachen.

Für Fische und Wasservogel stellt die Sportschifffahrt oftmals eine erhebliche *Störung* dar. Störungen bedeuten eine Einschränkung im nutzbaren Lebensraum, da wichtige Ruhe-, Nahrungs- oder Mauserplätze verlassen werden. Besonders negativ sind Störungen in Zeiten besonderer Belastung der Vögel durch Jungenaufzucht, Mauser oder winterliche Temperaturen [17]. Der empfohlene Abstand zu Wasservogelansammlungen von 300 - 500 m [18], welcher angesichts der hohen Fluchtdistanz häufig noch zu gering ist, ist vor allem im Winter, wenn sich große Vogelschwärme auf dem See aufhalten, oft nicht einzuhalten.

**Liegeplätze beanspruchen viel Raum auf dem Wasser und am Ufer**

**Die Schifffahrt beeinflusst verschiedene Lebensräume durch Störungen**

## Aspekte der Schifffahrt am Bodensee

- a) Seit rund 7000 Jahren wird der Bodensee mit Booten befahren. Nachbau eines Einbaums der Pfahlbauern
- b) Dampfschiff um 1850 vor dem Konstanzer Hafen [16]
- c) ÖPNV-Fähre Konstanz-Meersburg
- d) Segelregatten finden im Sommer an jedem Wochenende statt
- e) Außenbordmotoren bleiben oft über das ganze Jahr am Boot. Sie können dabei Treibstoff und Öl verlieren
- f) Treibstoffrückstände in Hafenbecken bei Niedrigwasser
- g) Eine neue Generation von Solarbooten ergänzt den öffentlichen Personenverkehr auf dem See
- h) Im Seerhein muss die Schifffahrt besondere Rücksicht auf große Wasservogelansammlungen nehmen
- i) Einer der größten Bootshäfen am Bodensee an der Argenmündung bei Langenargen
- j) Versuche des Yachtclubs Konstanz mit verschiedenen, umweltverträglichen *Antifouling*-Mitteln

Fotos a, c, e, f, g, h, j [i]; Foto i [a]; Foto d [k]



Eine potenzielle Störung der Biozöosen im Sinne einer Veränderung der Artenzusammensetzung stellt das *Einbringen neuer Tierarten* in den See durch Wanderboote dar. Die Verbreitung der Wandermuschel *Dreissena polymorpha*, die um das Jahr 1966 in den Bodensee gelangte, erfolgte vermutlich durch Motorboote aus Norddeutschland oder dem Donaugebiet, an die sich die Muschel angeheftet hatte [19].

### Bestehende Regelungen

Zum 1. Januar 1993 (Stufe 1) und 1996 (Stufe 2) traten die im Zusammenwirken von IBK, IGKB und ISKB erarbeiteten Abgasvorschriften für den Bodensee in Kraft (Artikel 13.11a, Anlage C, BSO) [20]. Die Vorschriften sehen für neu zugelassene Motoren Grenzwerte für die Emission von Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffen (HC) und Stickstoffoxiden (NO<sub>x</sub>) vor (Abb. 3.4-7). Für Außenbordmotoren bis 30 kW Nennleistung gelten vorläufig noch die weniger strengen Anforderungen der Stufe 1. Für Dieselmotoren wurden weiters Grenzwerte der Abgasrübung festgelegt. Mit dem Inkrafttreten der Abgasstufe 1 konnte das seit 1976 auf dem Bodensee geltende Verbot von 2-Takt-Motoren über 10 PS aufgehoben werden, da diese auf Grund der neuen Emissionsgrenzwerte nicht mehr zugelassen werden.

Nach einer Prognose der ISKB dürften die Abgasnormen der BSO bis zum Jahr 2015 von allen Bootsmotoren erfüllt werden, da dann alle Altmotoren aufgrund normaler Austauschzyklen durch neue Motoren ersetzt sein sollten, die den Abgasnormen entsprechen. Der Kohlenwasserstoffeintrag in den Bodensee würde dann noch 12 % des Eintrags vor 1993 betragen. Daten zum aktuellen Stand der Abgastypisierung liegen erstmals für das Jahr 2001 für den gesamten See vor. Danach waren mit Stichtag 1.1.2003 27,3 % der zugelassenen Motorfahrzeuge nach Abgasstufe 1 typisiert, weitere 6,4 % nach Abgasstufe 2. Die von der EU im Zuge der Änderung der Richtlinie

**Wanderboote können neue Tier- und Pflanzenarten einschleppen**

**Beschränkung der Stoffeinträge**

**strengere Abgasnormen**

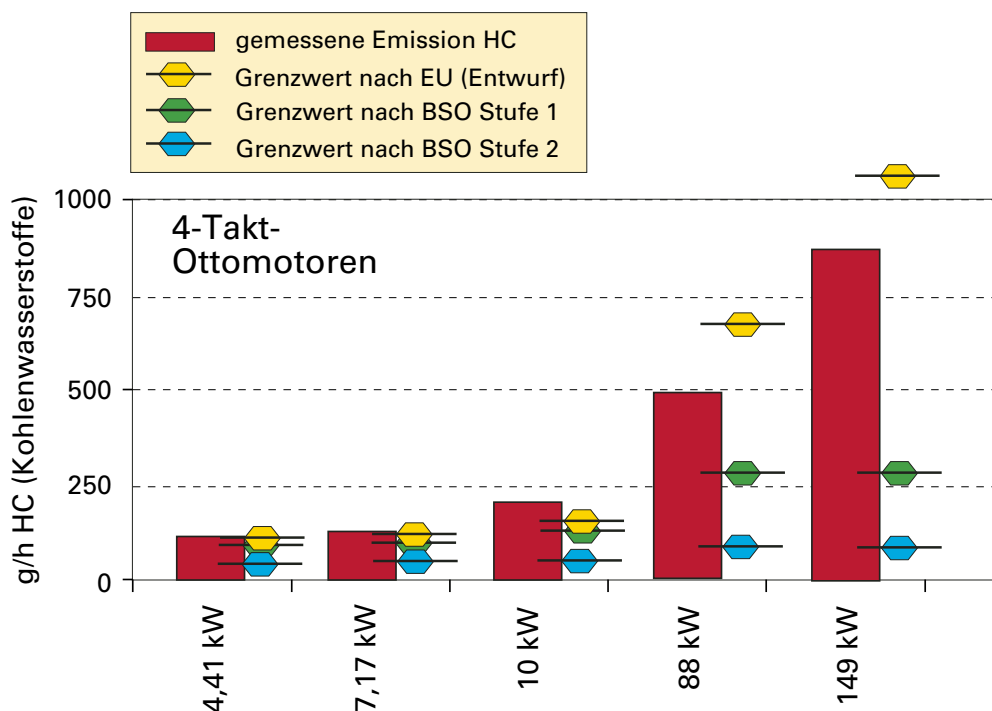


Abb. 3.4-7: Vergleich der Grenzwerte (HC/Kohlenwasserstoff-Emission) der BSO und des "Vorschlags zur Änderung der Richtlinie 94/25/EG" [21] am Beispiel von Motoren unterschiedlicher Nennleistung. Zum Vergleich HC-Emissionswerte getesteter Altmotoren, zusammengestellt in [22]

94/25/EG vorgesehenen Emissionsgrenzwerte sind wesentlich weniger streng als die Grenzwerte der BSO (Abb. 3.4-7).

Zur Einschränkung der strukturellen Belastungen und des Flächenverbrauches in der Uferzone ist eine weitere Beschränkung der Bootsliegeplätze erforderlich. In diese Richtung wirkt die in Uferschutz- und Richtplänen sowie dem Bodenseeleitbild der IBK aufgestellte Forderung, keine neuen (zusätzlichen) Wasserliegeplätze am Bodensee zu schaffen. Als zusätzliche Maßnahme wird eine Flächenbeschränkung für Anlagen zur Bootsstationierung zu diskutieren. Unterstützt wird der Schutz der Ufer- und Flachwasserzone durch die Ausweisung spezieller Schutz-zonen, die von Eingriffen aller Art weitgehend freizuhalten sind.

Durch die BSO wird der von Booten einzuhaltende Mindestabstand zum Ufer auf 300 m festgelegt. Von Schilf- und Wasserpflanzenbeständen ist ein Abstand von mindestens 25 m einzuhalten. Während der Brutzeit, der Mauser und der Überwinterung sollen größere Abstände zu Vogelschwärmen bzw. -habitaten eingehalten werden. Für zahlreiche ufernahe Schutzgebiete gelten besondere Vorschriften (z. B. [23]) Es bleibt zu diskutieren, ob eine weitergehende Einschränkung der Befahrbarkeit der Flachwasserzone oder eine Sperrung von bestimmten See-teilen (Gnadensee, Ermatinger Becken) im Winter für Sportboote anzustreben ist.

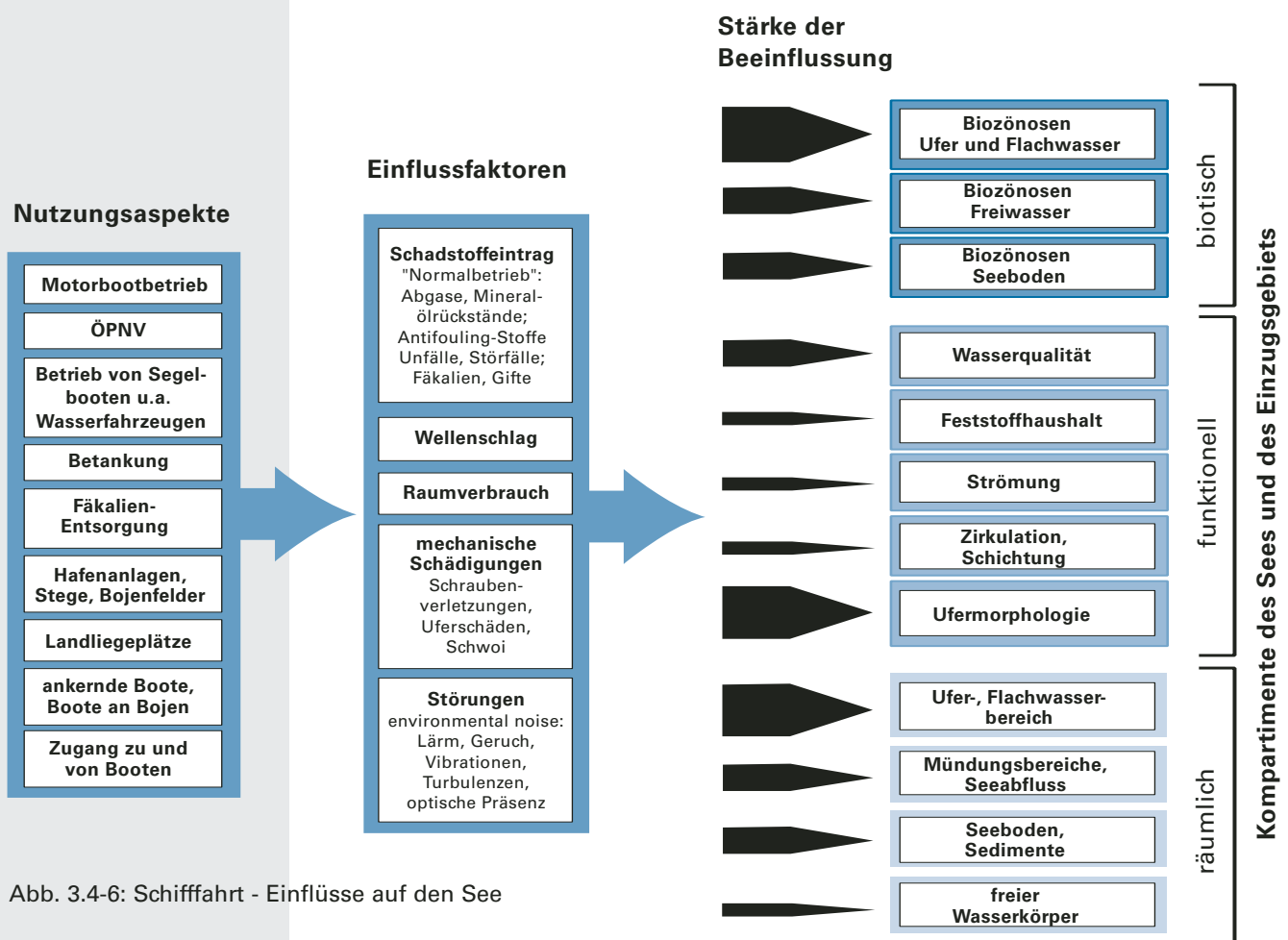


Abb. 3.4-6: Schifffahrt - Einflüsse auf den See

### 3.4.3 Handlungserfordernisse

„Die Belastungen durch die Schifffahrt sind zu verringern. Die Zahl der Boote und Liegeplätze ist zu begrenzen. Die Beeinträchtigungen der Ufer- und Flachwasserzone durch die Schifffahrt sind einzudämmen.“ [5]

- Die Zahl der auf dem Bodensee zugelassenen Motorboote soll auf den gegenwärtigen Stand begrenzt werden.
- Die Abgasvorschriften der BSO sollen aufgrund der besonderen Schutzwürdigkeit des Bodensees als Trinkwasserspeicher beibehalten werden (keine Übernahme von Abgasvorschriften mit höheren Grenzwerten z.B. EU-Vorschlag zur Änderung der Richtlinie 94/25/EG [22], vgl. Abb. 3.4-7).
- Die Ausnahmeregelung für Außenbordmotoren bis 30 kW von der Abgasstufe 2 soll im Sinne einer weiteren Reduktion der Schadstoffeinträge in den See aufgehoben werden.
- Der Austausch von Altmotoren soll gefördert werden.
- Die Verwendung emissionsfreier Motoren (z.B. Solarboote) soll gefördert werden, ebenso die Errichtung der nötigen Stromversorgungseinrichtungen.
- Aufgrund der hohen jährlichen Fahrleistungen sollen Fahrgastschiffe vermehrt nach dem Stand der Technik modernisiert werden.
- Einrichtungen zur Versorgung (Seetankstellen, Tankfahrzeuge u.ä.) und zur Reinigung von Wasserfahrzeugen sollen zur Vermeidung des Eintrags wassergefährdender Stoffe in den See geeignet ausgerüstet sein. Anlagen sollen fachgerecht betrieben und Schiffe so gereinigt werden, dass für den Bodensee keine Stoffbelastungen oder Störungen auftreten.
- Bootsbetankungen aus Kanistern sollen vermieden werden.
- Biozide Zusätze in Unterwasseranstrichen von Schiffskörpern und Schifffahrtsanlagen sind, soweit nach dem Stand der Technik möglich, zu vermeiden.
- Aus übergeordneten öffentlichen Interessen notwendige Eingriffe zur Sicherung der Schifffahrt und des Schiffverkehrs sollen auf ökologisch weniger wertvolle Abschnitte der Ufer- und Flachwasserzone beschränkt bleiben.
- Anzahl und Fläche der Wasserliegeplätze sollen auf den gegenwärtigen Stand begrenzt werden. Möglichkeiten zur Reduzierung des Flächenverbrauchs bei der Bootsstationierung sind zu prüfen.
- Bojenliegeplätze sollen weiter reduziert werden, sofern dies der Verbesserung des ökologischen Zustands der Ufer- und Flachwasserzone zugute kommt. Bei einer Verlegung der Liegeplätze sind die ökologischen Auswirkungen am Ersatzstandort zu beachten.
- Anzahl und Ausdehnung von Trockenliegeplatzanlagen im Uferbereich sind zu begrenzen, beziehungsweise auf deren Errichtung als Ersatz für Wasserliegeplätze zu beschränken.
- Genehmigungen zur Errichtung von infrastrukturellen Einrichtungen (Slip-, Krananlagen etc.) sollen – auch zur Eindämmung des Wanderbootverkehrs - nur unter Berücksichtigung aller negativen Auswirkungen erteilt werden.
- Das Einbringen von Neozoen in den Bodensee durch Wanderboote ist nach Möglichkeit zu verhindern. Hierzu dient vor allem die Information der Bootsbesitzer über Gegenmaßnahmen, wie Leeren des Bilgenwassers oder sonstigen Wassers oder Reinigen der Außenhaut beim Wechsel von Gewässern.
- Die Auswirkungen des Motorenlärms auf Fische und Wasservögel sollten noch untersucht und gegebenenfalls weiter reduziert werden.

**Beschränkung der Bojen- und Trockenliegeplätze**

**Reduktion von Störungen der Biozöosen**

## Literatur

- [1] INTERNATIONALE SCHIFFFAHRTSKOMMISSION FÜR DEN BODENSEE (ISKB) (2001 ff): Bodensee-Schiffsstatistik
- [2] VEREINIGTEN SCHIFFFAHRTSUNTERNEHMEN FÜR DEN BODENSEE UND RHEIN (2001): Pressegespräch der zum Saisonbeginn 2001 am 3. April 2001 in Konstanz. - 23 S.
- [3] STADTWERKE KONSTANZ (2001): Betriebsstatistik Fähre 2000. -
- [4] IGKB (1982): Limnologische Auswirkungen der Schifffahrt auf den Bodensee. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 29, 31 S., Eigenverlag
- [5] IGKB (2001): Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees. Stand vom 23. Mai 2001. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee
- [6] INTERNATIONALE BODENSEEKONFERENZ (1995): Bodenseeleitbild. - IBK, Kommission Öffentlichkeitsarbeit, Meersburg
- [7] IGKB (2001): Statistik der Schifffahrtseinrichtungen 2001. - interner Bericht
- [8] GOTTET, H.-J. (2002): - Bundesamt f. Verkehr, Sektion Schifffahrt, Bern, briefl. Mitt.
- [9] JÜTTNER, H. (1988): Motorboat derived volatile organic compounds (VOC) in lakewaters. - Zeitschrift für Wasser- und Abwasser-Forschung, 21: 36-39
- [10] EAWAG & BUWAL (1999): Stoffe mit endokriner Wirkung in der Umwelt. - Schriftenreihe Umwelt 308, BUWAL, Bern, 257 S.
- [11] WATERMANN, B., TRELEANO, R. & ROOS, E. (1999): Untersuchungen zur Belastung der Yachthäfen am Bodensee mit Antifoulingbioziden. - Studie im Auftrag der Bodensee-Stiftung im Rahmen des Projekts "Zukunftsfähiger Bodensee - Wasserschutz durch Umwelttechnologien in der Schifffahrt", 23 S.
- [12] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL) (2000): Empfehlungen für die Reinigung von Fahrgastschiffen. - Mitteilungen zum Gewässerschutz 37, BUWAL, Bern. 17 S.
- [13] REGIONALVERBAND HOCHRHEIN-BODENSEE (1984): Bodenseeuferplan. - Waldshut-Tiengen
- [14] IGKB (2003): Auswertung der Statistik der Schifffahrtsanlagen. Stand 01.01.2003. - IGKB, interner Bericht
- [15] DITTRICH, A. & WESTRICH, B. (1988): Bodenseeufererosion: Bestandsaufnahme und Bewertung. - Mitt. Inst. Wasserbau, Stuttgart, Heft 68
- [16] HUHNS, E. (1842-1850): Das Großherzogtum Baden in malerischen Originalansichten. - Darmstadt, bei G.G. Lange, 1842-50.
- [17] SCHNEIDER-JACOBY, M., BAUER, H.-G. & SCHULZE, W. (1993): Untersuchungen über den Einfluss von Störungen auf den Wasservogelbestand im Gnadensee (Untersee/Bodensee). - Ornithologische Jahreshefte für Baden-Württemberg 9 (1): 1-24
- [18] DEUTSCHE UMWELTSTIFTUNG (o. J.): Verhaltensregeln für umweltbewusste Wassersportler. - in: Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (Hrsg., 2001), Wassersport und Naturschutz am Bodensee, S. 22.
- [19] HOFMANN, F. (1970): Über das Vorkommen der Wander- oder Dreikantmuschel *Dreissena polymorpha* im Bodensee- und Hochrheingebiet. - Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen 29 (1968/72)
- [20] INTERNATIONALEN SCHIFFFAHRTSKOMMISSION (1976, 1992, 1996): Verordnung der Internationalen Schifffahrtskommission über die Schifffahrt auf dem Bodensee (Bodensee-Schifffahrts-Ordnung). -
- [21] EU (2001): Vorschlag für eine RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Änderung der Richtlinie 94/25/EG zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Sportboote. - Brüssel, 12.10.2001
- [22] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL)(1996): Schadstoffemissionen und Treibstoffverbrauch des Offroad-Sektors. - Umweltmaterialien 49, BUWAL, Bern. 243 S.
- [23] BADEN-WÜRTTEMBERG, MINISTERIUM FÜR KULTUS, JUGEND UND SPORT (Hrsg., 2001): Wassersport und Naturschutz am Bodensee. - 34 S.
- [24] RYHINER, G. D. (1981): Schadstoffemissionen der motorisierten Schifffahrt auf dem Bodensee. - interner Bericht z. Hd. Bundesamt für Umweltschutz, Bern, 19 S.



## 3.5 Verkehr

### 3.5.1 Bisherige Entwicklung

Das Bodenseegebiet ist durch große Verkehrsachsen mit den benachbarten großen Verdichtungsräumen wie Stuttgart und Zürich verbunden. Der gesamte See – mit Ausnahme des Südufers des Überlinger Sees – wird von Verkehrswegen umschlossen, die zum Teil in unmittelbarer Ufernähe verlaufen, wie die Bahnlinie zwischen Überlingen und Ludwigshafen, Straße und Bahnlinie zwischen Lindau und Bregenz oder entlang des gesamten schweizerischen Untersee-Ufers.

**Fast der gesamte Bodensee wird von Verkehrswegen umschlossen**

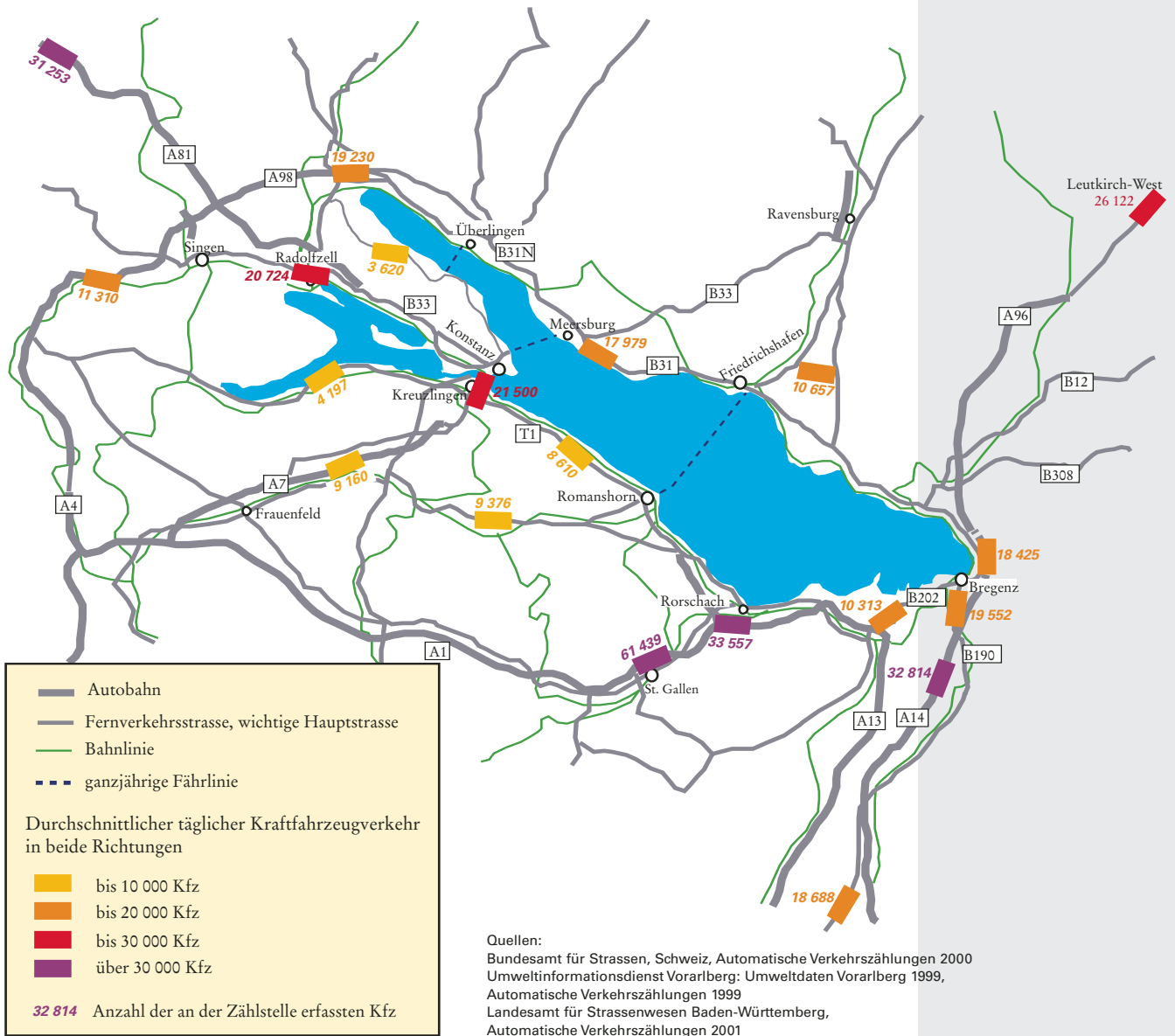


Abb. 3.5-1: Verkehrswege (Straßen, Bahnlinien) im Bereich des Bodensees

### Straßenverkehr

Im Einzugsgebiet des Obersees (ohne Seefläche) sind knapp 2 % (175 km<sup>2</sup>) durch *Verkehrsflächen* belegt, im Einzugsgebiet des Untersees beträgt der Anteil sogar 5 % (23 km<sup>2</sup>). Deutliche Konzentrationen der Verkehrswege finden sich im Alpenrheintal und im Nahbereich des Sees, wo häufig Straße und Schiene zugleich in Ufernähe verlaufen.

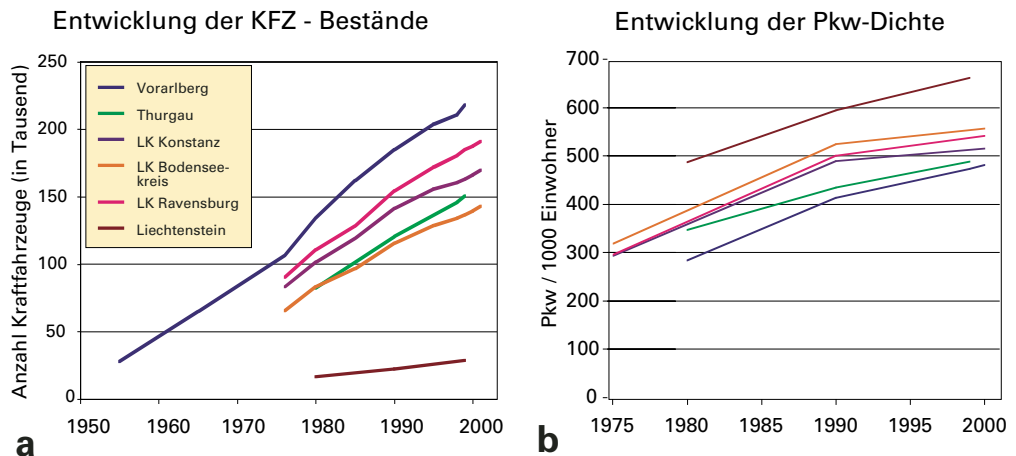


Abb. 3.5-2: Entwicklung der KFZ-Bestände (a) und der PKW-Dichte pro Einwohner (b) in Vorarlberg, Liechtenstein, Landkreis Konstanz, Landkreis Bodenseekreis und Landkreis Ravensburg [nach 1-7]

**Der Kraftfahrzeugverkehr nimmt rapid zu**

Der *Kraftfahrzeugbestand* (Abb. 3.5-2a) hat sich im Bodenseeraum von 1975 bis 2001 mehr als verdoppelt. 1975 entfielen auf 1000 Einwohner noch rund 300 Kraftfahrzeuge, im Jahr 2000 waren es bereits über 500 (Abb. 3.5-2b).

Sowohl auf wichtigen Zubringern als auch auf den Straßen um den Bodensee nahm der *Kraftfahrzeugverkehr* in den fünf Jahren zwischen 1985 und 1990 um 30% bis über 50% zu; für den *Güterverkehr* auf der Straße betrug die Steigerungsrate im westlichen Bodenseegebiet ca. 30 % [8]. Verkehrsschwerpunkte in Seenähe sind die B 31 im Bodenseekreis und die B 33 im Bereich Konstanz. An den Zollübergängen in Kreuzlingen/Konstanz werden täglich durchschnittlich 21 500 Fahrzeuge gezählt (1999). Weitere Verkehrsschwerpunkte sind die Autobahnen und kantonalen Straßen entlang des Obersees auf Schweizer Gebiet und im Alpenrheintal. Einen guten Eindruck von der Verkehrsentwicklung geben die Beförderungszahlen der Fähre Konstanz Meersburg (Abb. 3.5-3).

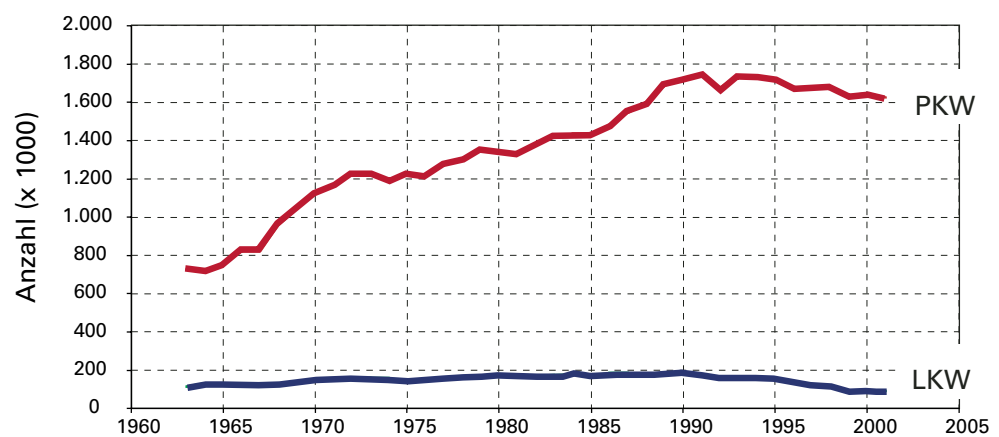


Abb. 3.5-3: Mittlere jährliche KFZ-Beförderungszahlen der Fährlinie Konstanz-Meersburg [nach 9]

### Luftverkehr

Mit den Flughäfen Friedrichshafen und Altenrhein nimmt der Bodenseeraum am internationalen Linienflugverkehr teil. Mehrere kleine Flugplätze dienen nahezu ausschließlich dem Flugsport, aber auch in Friedrichshafen lag der Anteil der nicht gewerblichen Flüge bei ca. 60% der durchschnittlich 18 000 Starts im Jahresmittel (1990-97) [4]. Vor allem der westliche Bodenseeraum und der Klettgau sind stark von den Flugbewegungen des Großflughafens Zürich betroffen (Abb. 3.5-4). Starts und Landeanflüge sowie der Flugbetrieb in Warteschleifen verursachen auch über dem Bodensee Störungen durch Lärm und Vibrationen ("environmental noise").

Über dem Bodensee herrscht intensiver Flugverkehr

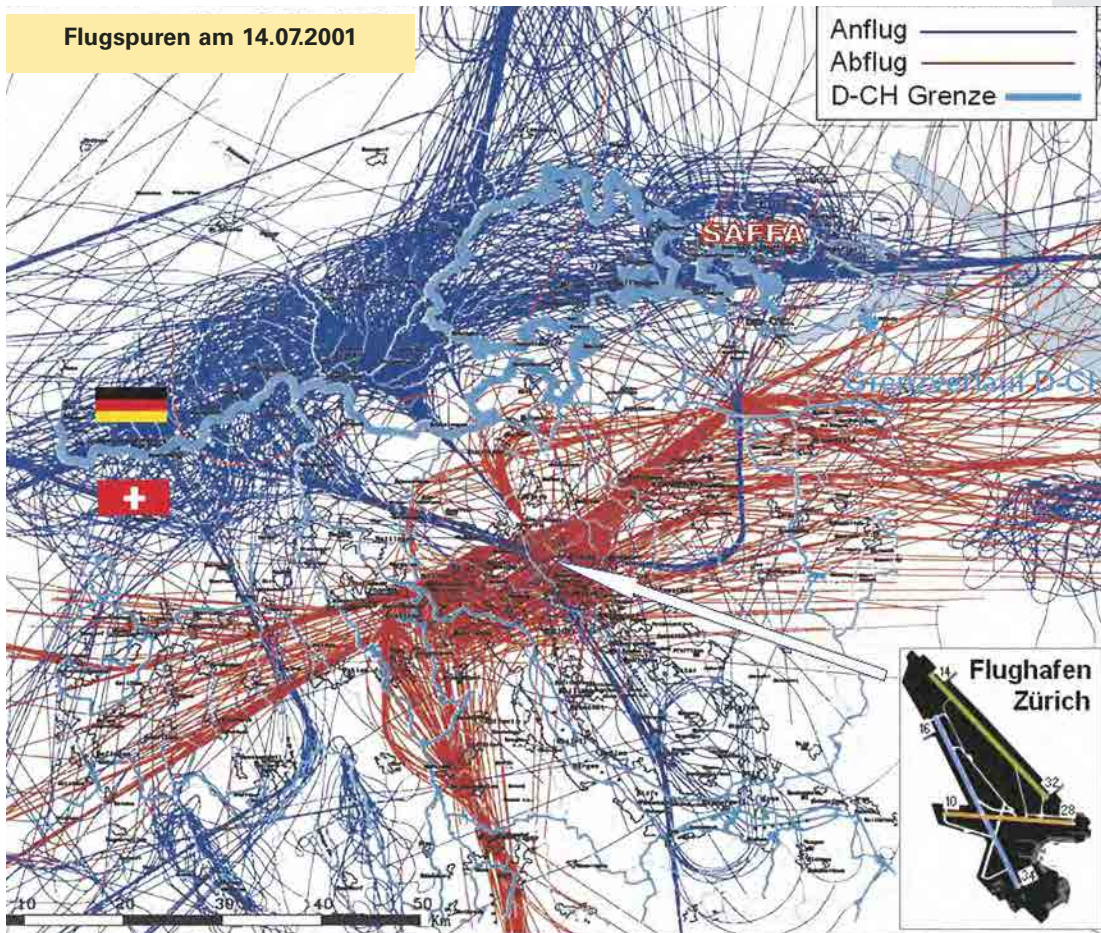


Abb. 3.5-4: Flugbewegungen von und zum Flughafen Zürich am Beispiel der Flugspuren vom 14. Juli 2001. "SAFFA" bezeichnet die Warteschleife zwischen Schaffhausen und Stein am Rhein [nach 10]. Seit 2002 gibt es Änderungen bei der Flugverkehrsführung.

### Bahnverkehr

Anders als der Straßenverkehr hat der Bahnverkehr - bezogen auf sein Transportvolumen - in den letzten Jahrzehnten kaum zugenommen (Abb. 3.5-5). Während 1960 in der Schweiz 67 % der Güter mit der Bahn und 33 % auf der Straße befördert wurden, hat sich das Verhältnis bis 1997 genau umgekehrt. Auch die anderen Länder im Bodenseeraum zeigen vergleichbare Entwicklungen. Während im schweizerischen und österreichischen Bodenseegebiet die Bahnen weitgehend elektrifiziert sind, sind auf deutschem Gebiet im Nahverkehr zahlreiche Dieselloks im Einsatz.

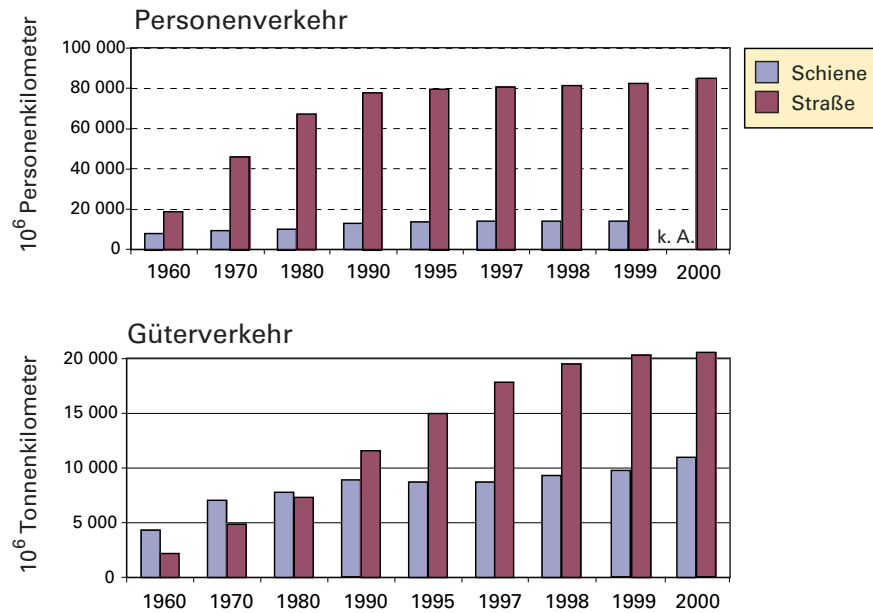


Abb. 3.5-5: Entwicklung der Personen- und Güterbeförderung in der Schweiz [nach 11, 12]

*Stoffliche Emissionen*

Verkehrsbedingte Emissionen entstehen durch Kraftstoffverdunstung und -verbrennung, Abrieb, Tropfverluste (Öl, Kraftstoff) und durch die Freisetzung von wassergefährdenden Stoffen bei Unfällen von Transportfahrzeugen. Emissionen bei der Instandhaltung von Verkehrswegen werden durch den Einsatz auftauender Mittel oder den Einsatz von Bioziden zur Vegetationskontrolle verursacht.

Ein Großteil der Kohlenmonoxid- und Stickoxid-Emissionen wird durch den Verkehr verursacht. Auch zu den Emissionen von Schwermetallen und kanzerogenen Stoffen wie Benzol und PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) trägt der Verkehr in hohem Maße bei [13]. Der Anteil des Verkehrs an den Schadstoffemissionen im Vergleich zu anderen Emittendengruppen wird in Abb. 3.5-6 am Beispiel des Kantons St. Gallen für das Jahr 2000 aufgezeigt. Die für St. Gallen beschriebenen Verhältnisse finden sich ähnlich auch in den anderen Ländern und Kantonen wieder.

Durch Maßnahmen zur Emissionsminderung, wie die Einführung der Katalysortechnik oder schadstoffärmerer Treibstoffe, konnte die Luftqualität des Bodensee-

**Der Verkehr ist die Hauptquelle von Schadstoffemissionen**

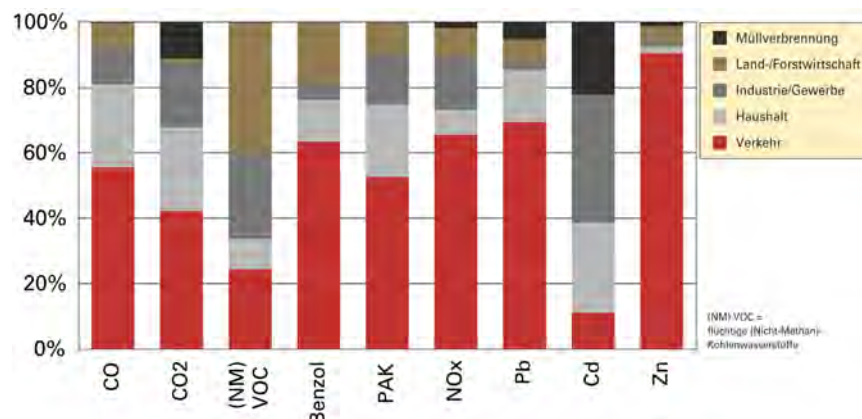


Abb.3.5-6: Anteil der Belastungsquellen an den Luftschadstoff-Emissionen im Kanton St. Gallen, 2000 [nach 13]

raums in den letzten Jahren verbessert werden. Die positiven Effekte werden jedoch durch die starke Zunahme des Verkehrs begrenzt bzw. weitgehend kompensiert.

Für die mittleren *Stickstoffdioxid*-Konzentrationen wurde zwar im Zeitraum 1990-1999 ein Rückgang um 20 % festgestellt (Abb. 3.5-7), im Bereich von Agglomerationen und großen Verkehrsachsen treten jedoch immer noch häufige Grenzwertüberschreitungen auf. So überschritten 1999 die Jahresmittelwerte von 106 der insgesamt 286 Messstationen im Bodenseeraum den schweizerischen Grenzwert von  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 43 Stationen den Grenzwert der EU-Richtlinie 1999/30/EG von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{NO}_2$  [14].

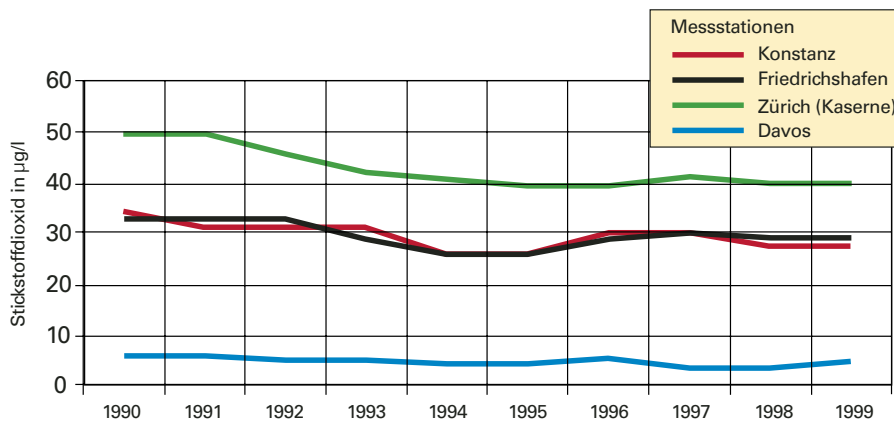


Abb. 3.5-7: Entwicklung der  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwerte für ausgewählte Messstationen 1990-1999 [nach 14]

Die Bildung von bodennahem Ozon wird durch Verkehrsimmissionen gefördert. Die Ozonbelastung schwankt je nach Wetterlage von Tag zu Tag und von Jahr zu Jahr deutlich. Im Sommer 1999 wurde im Bodenseegebiet der EU-Schwellenwert von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (ein-Stunden-Mittelwert) an 20% der Messstationen mindestens einmal überschritten (s. Kap. 3.10).

Die Konzentrationen des hauptsächlich durch Kraftfahrzeuge emittierten *Benzols* gingen nach der Reduktion des Gehaltes in Kraftstoffen kontinuierlich zurück. 1999 wurden im Bodenseegebiet überwiegend Konzentrationen unter dem Grenzwert der EU-Richtlinie ( $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) gemessen [14].

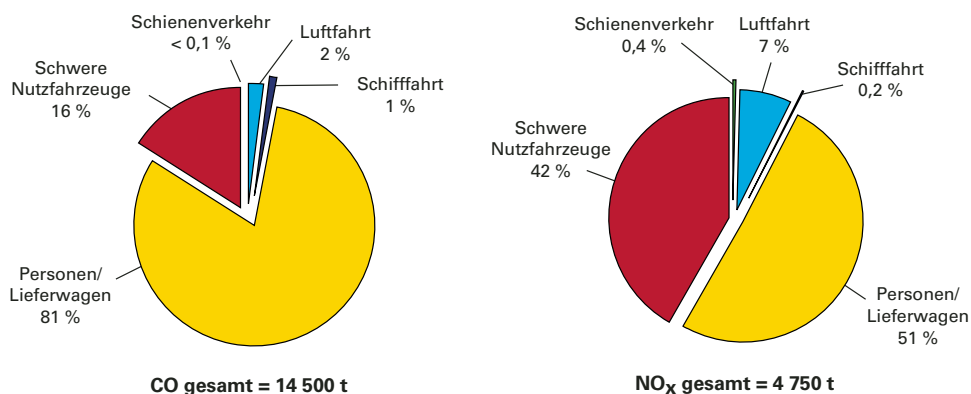


Abb. 3.5-8: Anteile der Verkehrsträger an den  $\text{CO}$ - und  $\text{NO}_x$ -Emissionen im Kanton St. Gallen 2000 (Schienenverkehr fast vollständig elektrifiziert) [nach 13]

**Durch Katalysatoren  
20 % weniger Stickoxide**

**Ozonbelastung ist im  
Bodenseegebiet erhöht**

Der weitaus größte Teil der Verkehrsemissionen wird durch den Kraftfahrzeugverkehr verursacht (Abb. 3.5-8). Von den durch den Kfz-Verkehr verursachten Schadstoffbelastungen gelangen 5–20 % unmittelbar in die *Straßenabläufe* [15]. Der Rest wird mit dem Wind verfrachtet oder mit dem Spritzwasser in der Umgebung verteilt. Straßenabwässer können mit einer Vielzahl unterschiedlicher Stoffe belastet sein (Tab. 3.5-1).

Parameter	Typisches Straßenabwasser [15] [mg/l]	Anforderungen an die Einleitungen in Gewässer* [mg/l]	Anforderungen an die Wasserqualität für Fließgewässer* [mg/l]
gelöste Stoffe	240	20	-
Al	19	-	-
Pb	0,3	0,5	0,01
Cd	0,004	0,1	0,0002
Cu	0,15	0,5	0,005
Zn	0,5	2	0,02
Cl	150	-	-
NO <sub>3</sub>	12	-	25
NO <sub>2</sub>	0,4	-	-
DOC	7	10	1-4
TOC	16	-	-
BSB <sub>5</sub>	12	20	2-4
GKW	8	20	-
Phenole	0,1	-	-
PAK	0,003	-	-

Tab. 3.5-1: Charakteristische Schadstoffkonzentrationen im Abwasser stark befahrener (> 400 Fahrz./Tag) Straßen (aus Literaturangaben bis 1996 und Anforderungen an Abwasser sowie Qualitätsziele [15])

\*Gewässerschutzverordnung der Schweiz (GSchV) vom 28. Oktober 1998 (Stand am 18. Dezember 2001); BSB<sub>5</sub> = Biologischer Sauerstoffbedarf (5 Tage); GKW = Gesamte Kohlenwasserstoffe; PAK = polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

Durch präventive Maßnahmen weniger Unfälle mit Gefahrguttransporten

Im Bodenseeraum werden jährlich rund 3,4 Mio. t Gefahrgüter, 54 % davon auf der Straße, transportiert [16]. Rund 90 % dieser Gefahrgüter - im wesentlichen Mineralölprodukte - werden als wassergefährdend eingestuft. Statistiken über Gefahrgutunfälle werden von den Ländern und Kantonen im Bodensee-Einzugsgebiet nur teilweise und mit unterschiedlichen Erfassungsgraden geführt. Durch technische und logistische Maßnahmen (Harmonisierung der Beförderungsvorschriften für gefährliche Güter auf hohem technischen Niveau, wirkungsvolle Schadensbekämpfung mit verstärkter Prävention) konnte die Zahl der Unfälle in den letzten Jahren reduziert werden. Dennoch wurden 1999 bei 17 Transportunfällen in den baden-württembergischen Landkreisen am Bodensee rund 1400 l wassergefährdende Stoffe freigesetzt, wovon jedoch rund 90 % abgefangen werden konnten [17].

Wirkung von Streusalz

Auch bei der Instandhaltung von Verkehrswegen können Schadstoffe in die Umwelt gelangen. In Nähe der Verkehrsflächen führt der Einsatz von auftauenden Mitteln (v.a. NaCl, CaCl<sub>2</sub>) zu Anreicherungen im Boden und Belastungen der Vegetation. Von einer akuten Gefährdung der Oberflächengewässer bzw. von Wassertieren durch Auftausalze ist jedoch nicht auszugehen [18].

Auf Gleisanlagen wurden bis in die 1990er Jahre zur Vegetationskontrolle Bodenherbizide eingesetzt, zu denen auch der Wirkstoff Atrazin zählt. Heute werden nur

noch Blattherbizide mit den umweltverträglicheren Wirkstoffen *Glyphosat* und *Sulfosat* verwendet. Insgesamt wurde der Herbizid-Verbrauch reduziert; in der Schweiz wird heute nur noch rund 25 % der gegen Ende der 1980er Jahre eingesetzten Menge ausgebracht [19]. Maßnahmen zur Entfernung der Vegetation - chemisch, mechanisch, elektrothermisch – werden zunehmend mit präventiven Maßnahmen baulicher oder biologischer Natur kombiniert.

Straßenverkehr ist die bedeutendste Lärmquelle in der Bodenseeregion. Bereits um die Mitte der 1980er Jahre waren im Seeuferbereich des baden-württembergischen Bodenseegebietes ein Viertel aller Flächen einer Lärmeinwirkung von mehr als 40 dB ausgesetzt [20].



### Weniger Herbizideinsatz bei der Bahn

### Strassenverkehr als bedeutende Lärmquelle

### Verkehr und Flächenverbrauch

a) Straßen- und Bahntrassenführung am vorarlberger Seeufer bei Lochau

b) Direkt am See - die Bahntrassen in Radolfzell

### Talraumnutzung im Einzugsgebiet

c) Entsprechend der kürzesten Nord-Süd-Verbindung verlaufen der regulierte Alpenrhein, die Autobahn und die Landesstraßen parallel

d) In engen Tälern konkurrieren Fluss und Straßen um den begrenzten Raum (Landquart, Klus)

### Historische Prioritäten

e) Noch Mitte des 19. Jh. waren die Heidenhöhlen bei Überlingen eines der bedeutendsten Natur- und Kulturdenkmäler am Bodensee [21]

f) Für den Bau von Bundesstraße und Bahntrasse wurden sie abgesprengt (alte Grenze noch im Flachwasser erkennbar)

Fotos a, c, d [i]

Fotos b, f [a]

## 3.5.2 Auswirkungen auf den See

### Flächenverbrauch

Das dichte Verkehrsnetz im Bodenseeraum führt nicht nur zu einer starken Zerschneidung oder Zerstörung von Lebensräumen, sondern auch zu einer Beeinträchtigung des Landschaftsbildes und der Erholungseignung der stark auf Tourismus

**Straßen belegen mehr Fläche als Naturschutzgebiete**

ausgerichteten Region. In den baden-württembergischen Landkreisen im Einzugsgebiet sind heute ebensoviel bzw. deutlich mehr Flächen durch Verkehrsanlagen verbraucht als Flächen für den Naturschutz ausgewiesen sind (Abb. 3.5-9).

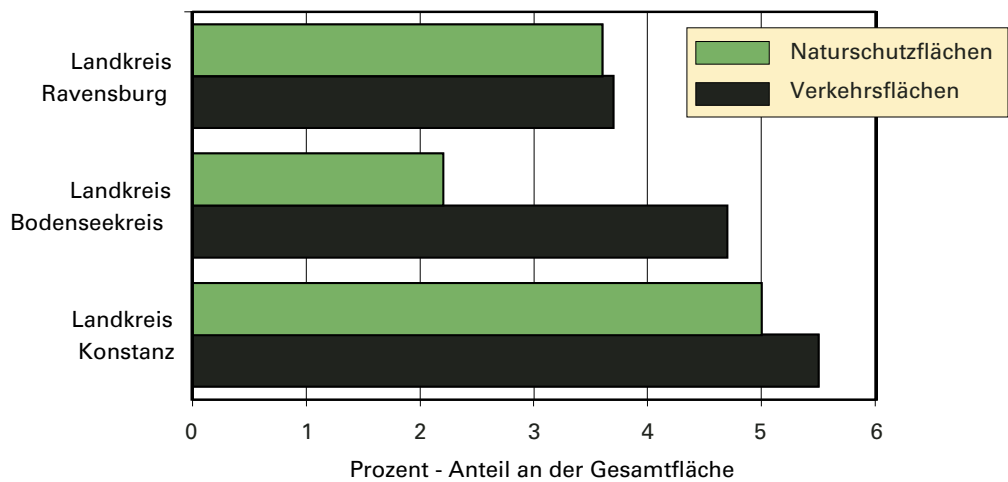


Abb. 3.5-9: Anteile der Verkehrsanlagen und Naturschutzgebieten an den Flächen der Landkreise Konstanz, Ravensburg und Bodenseekreis [nach 22] (Stand 2001)

**Stoffeinträge**

Eine Zuordnung und Quantifizierung der Schadstoff-Einträge in den See *aus der Luft* oder aus *Niederschlägen* zu einzelnen Emittenden ist problematisch, da sich Emissionen verschiedener Quellen wie Verkehr, Industrie, Hausbrand u.a. überlagern. Im relativ wenig industrialisierten Bodenseeraum dürfte der Anteil des Verkehrs an der Immission besonders hoch sein. So sind rund 65 % der *NO<sub>x</sub>-Emissionen* verkehrsbedingt (Abb. 3.5-6). Das entspräche 1997 rund 320 t von insgesamt 490 t Stickstoff, die über den Niederschlag direkt in den See gelangten, wenn man annimmt, dass der gesamte N-Eintrag aus *NO<sub>x</sub>-Emissionen* stammt. Nicht berücksichtigt sind dabei die trockene Deposition und Ablagerungen im Einzugsgebiet, die zum Teil ebenfalls über Auswaschung und Erosion in den See gelangen.

**Reifen- und Straßenabrieb**

Durch *Reifen- bzw. Straßenabrieb und Ölverlust* der Kraftfahrzeuge gelangten im Jahr 1990 schätzungsweise 32 Tonnen Kohlenwasserstoffe in den unmittelbaren Wassereinzugsbereich des Bodensees [20]. Der Schwermetall-Eintrag in den See über Straßenabläufe wurde für 1985 auf ca. 1,5 t Zink, 755 kg Blei und 208 kg Kupfer geschätzt [8]. Neuere Daten bezüglich der Belastung des Bodensees durch Straßenabwasser liegen nicht vor.

Die zur Vegetationskontrolle an Gleisanlagen bis Anfang der 1990er Jahre eingesetzten *Biozid-Wirkstoffe* werden bei Untersuchungen des Freiwassers bzw. des Rohwassers für die Trinkwasserversorgung immer noch nachgewiesen (Kap. 2.2). Zu welchen Anteilen dies auf den Einsatz der Biozide zur Vegetationskontrolle oder aber auf den Einsatz in der Landwirtschaft zurückzuführen ist, kann kaum nachvollzogen werden. Daten zur Belastung des Seewassers mit Glyphosat, das seit dem Atrazin-Verbot in Deutschland (1991) verstärkt zur Vegetationskontrolle eingesetzt wird, liegen nicht vor.

Ältere Langstreckenflugzeuge müssen bei vorzeitigem Flugabbruch ihr Landegewicht verringern. Dies geschieht durch einen Notablass von Flugbenzin, das so



genannte "fuel dumping". Der Bodensee ist für den Flughafen Zürich-Kloten als Notablassgebiet für Kerosin ausgewiesen. Bei ungünstiger Witterung (Niederschlag) kann bis zu 50% des giftigen Kerosins den Boden erreichen. Noch immer ist jährlich mit Notablässen zu rechnen, bei denen jeweils 10-100 t (maximal ca. 400 t/a) Kerosin freigesetzt und über eine Fläche von bis zu 400 km<sup>2</sup> verteilt werden. Durch den Ersatz alter Maschinen dürfte die Zahl der fuel-dumping-Fälle in den nächsten Jahren deutlich zurück gehen.

**Störung der Biozöosen**

Der Flächenverbrauch durch die Verkehrswege und der Verkehr führen zu Beeinträchtigungen und Verlusten von Lebensräumen für Tiere, Pflanzen und Menschen. Durch das dichte Verkehrsnetz werden Lebensräume zerschnitten (Straßen als unüberwindbare Barrieren für Tiere), wodurch z. B. temporär benötigte Biotope unerschbar werden können (z. B. Amphibienlaichgebiete) und der Gen-Austausch zwischen Teilpopulationen erschwert wird.

Über dem Bodensee können noch immer größere Mengen Kerosin abgelassen werden

Durch das Verkehrsnetz werden Lebensräume zerschnitten

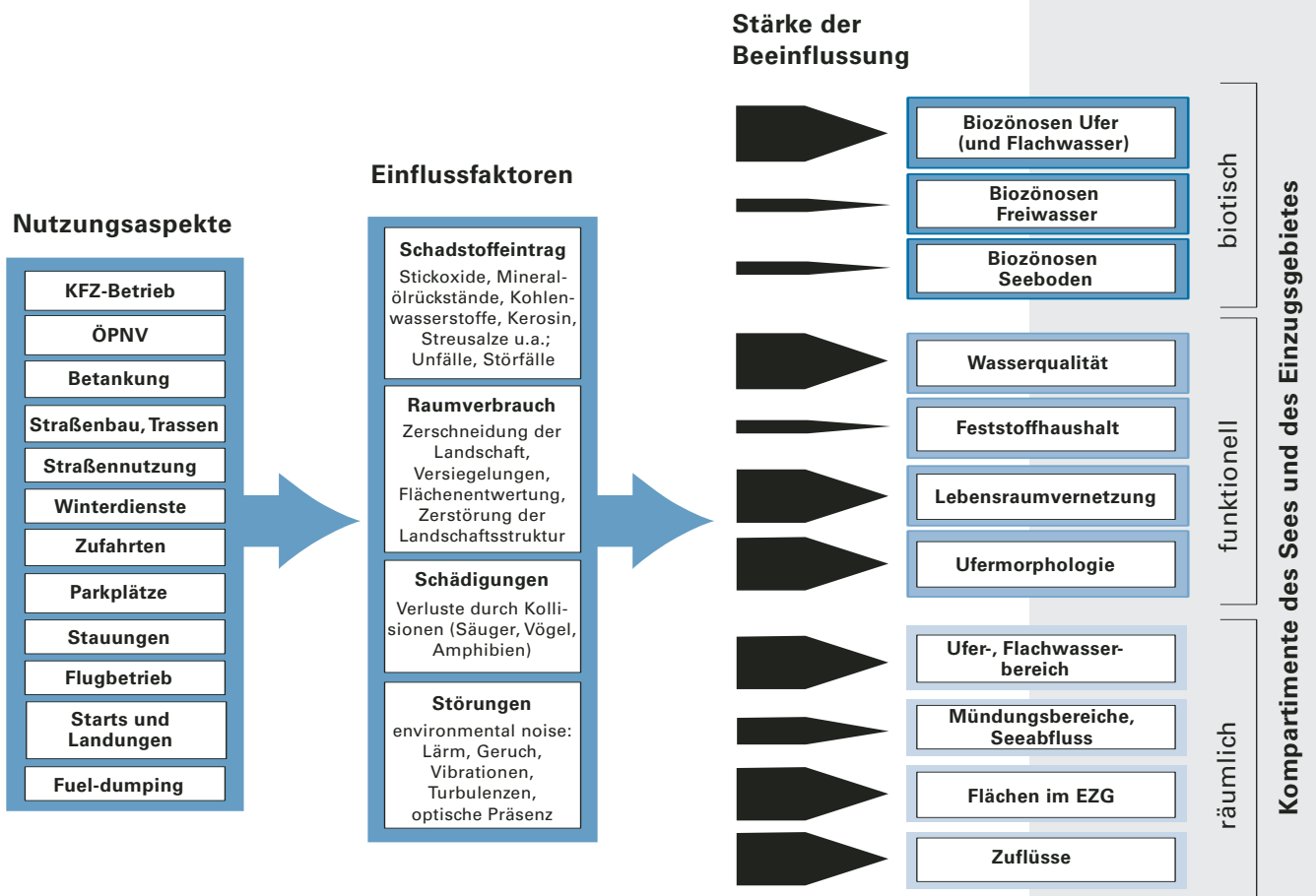


Abb. 3.5-10: Verkehr - Einflüsse auf die Seekompartimente

**3.5.3 Handlungserfordernisse**

Der Verkehr wird auch künftig eine der größten Belastungsquellen der Bodensee-region bleiben. Zur Reduktion seiner negativen Auswirkungen sind weitere Bemühungen auf nationaler und internationaler Ebene dringend erforderlich. Ziel raumordnerischer Maßnahmen muss eine Verkehrsminderung zwischen Wohn- und Arbeitsplätzen sowie im Bereich stark frequentierten Freizeiteinrichtungen sein.

Vorrangig sollte die Reduktion des Kfz-Verkehrs durch die Förderung des öffentlichen Personen(nah)verkehrs verfolgt werden. Erste Schritte sind in diese Richtung unternommen (ÖPNV auf Schiffen, regionale Tageskarten etc.). Der Bahnverbund ist weiter zu verbessern.

Notwendig - im Hinblick auf Schadstoff- und Lärmemissionen, aber auch auf die Unfallstatistik – ist die Entwicklung eines logistischen Systems, das den Schwerpunkt der Güterbeförderung auf die Schiene verlegt. Wünschenswert wäre eine gemeinsame Politik der betroffenen Länder, die sich an den regional am weitesten fortgeschrittenen Maßnahmen (z. B. Alpeninitiative der Schweiz, Bahn 2000) orientiert.

- Durch eine Verlagerung des Verkehrsgeschehens - insbesondere des Transitverkehrs - vom Seeufer ins Hinterland wird nicht nur die Störung der Uferregion, sondern auch die Gefährdung des Sees durch Havarien reduziert. Bei der Schaffung neuer Straßenverbindungen im Hinterland sind die seenahen Routen entschieden zurückzubauen, wie es abschnittsweise bereits geschehen ist (z. B. B31 Überlingen-Meersburg).
- Die deutliche Schadstoffbelastung des Regenwasserabflusses stark befahrener Straßen erfordert zwingend eine dem Stand der Technik entsprechende Behandlung vor Einleitung in die Gewässer. In einigen Ländern wurden bereits Regelblätter oder Wegleitungen zur Straßenentwässerung erarbeitet. Sie dienen als Leitfaden für die Projektierung wie auch für die wasserwirtschaftliche Begutachtung von Straßenentwässerungsanlagen [23, 24].
- Bei Verkehrswegen und Transporteinrichtungen ist sicherzustellen, dass wassergefährdende Stoffe nicht in den Bodensee gelangen können. Die Zahl der Unfälle beim Transport wassergefährdender Stoffe konnte in den letzten Jahren durch technische und logistische Maßnahmen (nationale und internationale Schutzvorschriften, Internationale Schadensabwehr Bodensee etc.) reduziert werden. Die IGKB spielt bei der Koordination der Maßnahmen eine wichtige Rolle. Die internationale Schadensabwehr Bodensee ist auch in Zukunft personell und technisch auf einem solchen Stand zu halten, dass sie ihren in den Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees enthaltenen Auftrag erfüllen kann.

Besondere Anstrengungen sollten - zumal in einer Urlaubsregion wie dem Bodensee - der Reduktion der Lärmemissionen des Verkehrs gelten. Hier wäre an lokale Einschränkungen für lärmemittierende Freizeitfahrzeuge zu denken, wie sie in einigen Innerortsbereichen bereits besteht. Auch Freibereiche sind bei stark genutzten oder bei Neuanlagen von Verkehrswegen gegen Lärmemissionen zu schützen.

Die folgende Aufzählung gibt eine Übersicht über die bestehenden Handlungserfordernisse:

- Das Verkehrsaufkommen im Seeuferbereich soll durch raumordnerische Maßnahmen reduziert werden.
- Der Schwerpunkt des Gütertransportes, vor allem im Durchgangs- und Fernverkehr, soll verstärkt auf die Schiene verlegt werden.
- Der Privatverkehr soll durch die Förderung des öffentlichen Personennahverkehrs reduziert werden. Das Angebot an Bahnverbindungen im Bodenseeraum ist zu sichern und auszubauen.
- Das Verkehrsgeschehen soll langfristig vom Seeufer weg verlagert werden, wobei jedoch die Gesamt-Ökobilanz einer solchen Verlagerung berücksichtigt werden

**Die IGKB koordiniert grenzübergreifende Maßnahmen zur Schadensabwehr**

**Handlungserfordernisse**

muss. Auf neue Verkehrsanlagen am Seeufer soll nach Möglichkeit verzichtet werden.

- Eine Elektrifizierung der seenahen Bahnlinien auf deutschem Gebiet ist voranzutreiben.
- Sammlung und Behandlung verschmutzten Straßenabwassers soll flächendeckend dem Stand der Technik angepasst werden.
- Verstärkte Bemühungen sind zur Reduktion der Lärmimmissionen auf dem See und in seinen Uferbereichen erforderlich.
- Aus Vorsorgegründen sollte der Bodensee als Ablassgebiet von Flugzeugtreibstoff (Kerosin) möglichst gemieden werden [25].
- Schadensabwehrmaßnahmen bei der Freisetzung wassergefährdender Stoffe sollen nach dem Stand der Technik erfolgen.
- Einsatzmittel zur Schadensabwehr sind beständig einer Prüfung auf ihre Kompatibilität zu unterziehen. Daneben sind sie insbesondere bezüglich ihrer Flachwasertauglichkeit zu beurteilen.
- Die Schadstofffrachten, die durch Straßenabwasser in den Bodensee gelangen, sollen erfasst werden.
- Der Eintrag biozider Wirkstoffe aus der Instandhaltung von Verkehrswegen (Vegetationskontrolle) in den See soll untersucht werden.
- Gefahrgutunfälle in den Ländern und Kantonen des Einzugsgebietes sollen einheitlich erfasst werden.

### Gefahrenvermeidung

### Forschung und Monitoring

## Literatur

- [1] VORARLBERG /AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG (1996): Strukturdaten Vorarlberg. - Bregenz, 116 S.
- [2] KANTON THURGAU, STATISTISCHES AMT (2000): Der Kanton Thurgau in Zahlen 2000. - Broschüre
- [3] BADEN-WÜRTTEMBERG, STATISTISCHES LANDESAMT: - <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de>
- [4] BADEN-WÜRTTEMBERG, STATISTISCHES LANDESAMT (1997): Daten zur Umwelt 1996. - Statistik von Baden-Württemberg, Band 527, 263 S., Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart
- [5] FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN, AMT FÜR VOLKSWIRTSCHAFT (2000): Liechtenstein in Zahlen 2000. - Verwaltungs- und Privatbank AG, Broschüre, 19 S.
- [6] ÖSTERREICH, WIRTSCHAFTSKAMMER: - <http://www.wko.at/statistik/jahrbuch>
- [7] VORARLBERG, WIRTSCHAFTSKAMMER: - <http://www.wkv.at/service/stat/vizverkehrswesen.html>
- [8] BADEN-WÜRTTEMBERG, UMWELTMINISTERIUM (Hrsg., 1995): Umweltprogramm Bodensee Raum. I. Zusammenfassung und Wertung. - Umweltministerium Baden-Württemberg, 110 S., Stuttgart
- [9] STADTWERKE KONSTANZ (2001): Betriebsstatistik Fähre. - Konstanz
- [10] UNIQUE AIRPORT ZÜRICH (2001): Flugspuren am 14.07.2001. - <http://www.uniqueairport.com/noise/PDF/Flugspuren140701.pdf>
- [11] BUNDESAMT FÜR STATISTIK (Schweiz): 11 Verkehr und Nachrichtenwesen: Verkehrsleistungen - [http://www.statistik.admin.ch/stat\\_ch/ber11/dufr11.htm](http://www.statistik.admin.ch/stat_ch/ber11/dufr11.htm)
- [12] LITRA, INFORMATIONSDIENST FÜR DEN ÖFFENTLICHEN VERKEHR: Verkehrsanteile im Güterverkehr. - <http://www.litra.ch>
- [13] KANTON ST. GALLEN, AMT FÜR UMWELTSCHUTZ (1999): Luftschadstoff-Emissionen im Kanton St. Gallen. - Faktenblatt, Amt für Umweltschutz St. Gallen, S. 1-6

- [14] ARBEITSGEMEINSCHAFT EMCH+BERGER AG & UMEG (2001): Grenzüberschreitende Bewertung der Luftqualität im Bodenseeraum - Abschlussbericht. - Auftraggeber: Projektrat des INTERREG II-Projektes "Grenzüberschreitende Bewertung der Luftqualität im Bodenseeraum", 101 S.
- [15] SCHWEIZ / BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (1996): Gewässerschutzmassnahmen beim Strassenbau – Grundlagenbericht. - Schriftenreihe Umwelt 263, BUWAL, Bern. 157 S.
- [16] KRÄUTLER, E., ITEL, W., KATTE, R., MATHIS, C., STÄMPFLI, A., UHLICH, T. & WIDMER, U. (2000): Transport wassergefährdender Stoffe im Ufer- und im Zuflussbereich des Bodensees. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 52, 36 S., Eigenverlag
- [17] BADEN-WÜRTTEMBERG, STATISTISCHES LANDESAMT (2000): Unfälle beim Umgang mit und bei der Beförderung von Wasser gefährdenden Stoffen in Baden-Württemberg. - Statistische Berichte Baden-Württemberg, Artikel -Nr. 3671 99001, S: 1-8
- [18] DWORSKY, R. & SCHIMON (1984): Einfluss von Strasse und Verkehr auf Gewässer. - Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien (Hrsg.), 22 S.
- [19] SCHWEIZERISCHE BUNDESBAHNEN (SBB AG): [www.sbb.ch](http://www.sbb.ch)
- [20] UMWELTRAT DER BODENSEESTIFTUNG (1998): Positionspapier Umwelt und Verkehr am Bodensee. - Radolfzell
- [21] TOMBLESON, W. (1832): Tombleson's Upper rhine. - Edited by W. G. Fearnside. London, Tombleson & Comp., 1832.
- [22] STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (2001): Daten zur Umwelt 2000.- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Band 562: 248 S. Stuttgart
- [23] LANDESWASSERBAUAMT BREGENZ (1996): Regelblatt Straßenentwässerung und Gewässerschutz.- Bearbeiter: Th. Blank; Bregenz
- [24] E. BASLER & PARTNER AG (2002): Wegleitung Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen.- Vollzug Umwelt, BUWAL, Bern, 57 S.
- [25] IGKB (1992): Fuel-dumping über dem Bodensee. Bericht und Stellungnahme der Sachverständigen der IGKB zur 38. Kommissionstagung am 26./27. Mai 1992.

## 3.6 Land- und Forstwirtschaft

### 3.6.1 Bisherige Entwicklung

Im Einzugsgebiet des Bodensees werden knapp 50 % der Gesamtfläche landwirtschaftlich genutzt, 28 % der Fläche sind bewaldet (siehe auch Kap. 3.1). Die Grünlandnutzung (Wiesen, Weiden, Alpflächen) nimmt mit 83 % den größten Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche ein (Abb. 3.6-1). In den Schweizer Kantonen, in Vorarlberg und Bayern dominiert diese Nutzung deutlich (> 90 %). Ackerland findet sich vor allem in Liechtenstein (16,5 %) und im baden-württembergischen Gebiet (35 %). Der Obst- und Gartenbau ist in Baden-Württemberg und Bayern mit Anteilen von 3 bis 4,5 % am stärksten vertreten (Abb. 3.6-2).

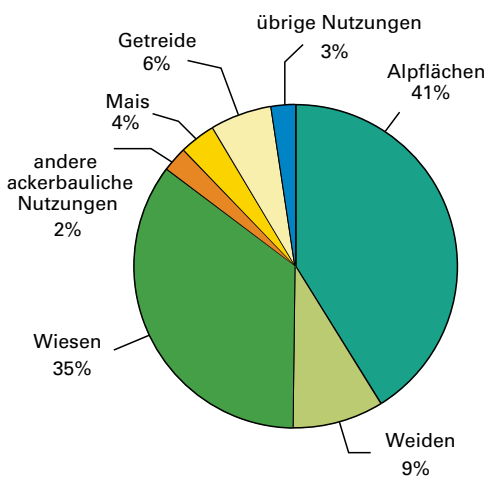


Abb. 3.6-1: Anteile verschiedener Nutzungen an der Landwirtschaftsfläche im Einzugsgebiet des Bodensees [1]

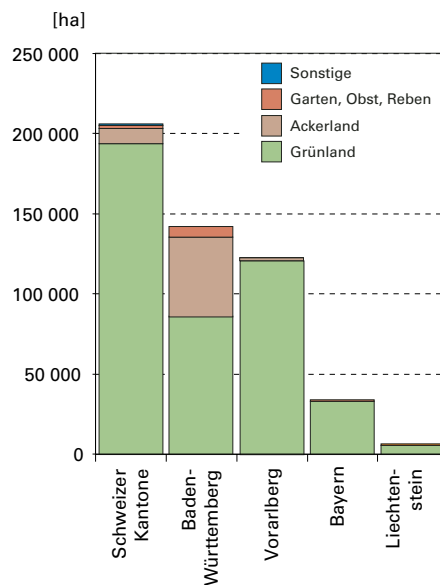


Abb. 3.6-2: Landwirtschaftliche Nutzung im Einzugsgebiet des Bodensees nach Ländern [1]

### Entwicklung der Landwirtschaft

Aufgrund des allgemeinen Strukturwandels und der Einkommenssituation nahm im Bodenseeraum – wie in weiten Teilen Mitteleuropas – die Gesamtzahl landwirtschaftlicher Betriebe in den letzten Jahrzehnten deutlich ab. Auch im Bodenseeraum sind vor allem kleinbäuerliche Betriebe mit geringen Betriebsgrößen davon betroffen.

Auch der Anteil der Landwirtschaftsfläche hat abgenommen. So gingen allein im Zeitraum 1985/86 bis 1996/97 im Bodenseeeinzugsgebiet 16 000 ha Landwirtschaftsfläche verloren, während der Anteil der Siedlungsfläche um über 6 000 ha (10 %) und der Anteil des Waldes um knapp 11 000 ha (4%) zunahm.

Die *Tierbestände* (Abb. 3.6-3) haben sich in den letzten 40 Jahren in den einzelnen Kreisen bzw. Kantonen des Einzugsgebietes unterschiedlich entwickelt. Während die Rinderbestände in Vorarlberg und im Landkreis Lindau kaum abnahmen, betrug im Bodenseekreis der Rückgang ca. 35%. Die Schweinebestände nahmen in allen Teilgebieten deutlich ab (Abb. 3.6-4). Zugenommen haben hingegen Geflügel und Bestände von Tieren, die für eine extensive Nutzung der Landschaft stehen (Schafe) oder Freizeitbedürfnissen entsprechen (Pferde).

**Rückgang der kleinbäuerlichen Betriebe**

**Siedlungen verdrängen die Landwirtschaft**

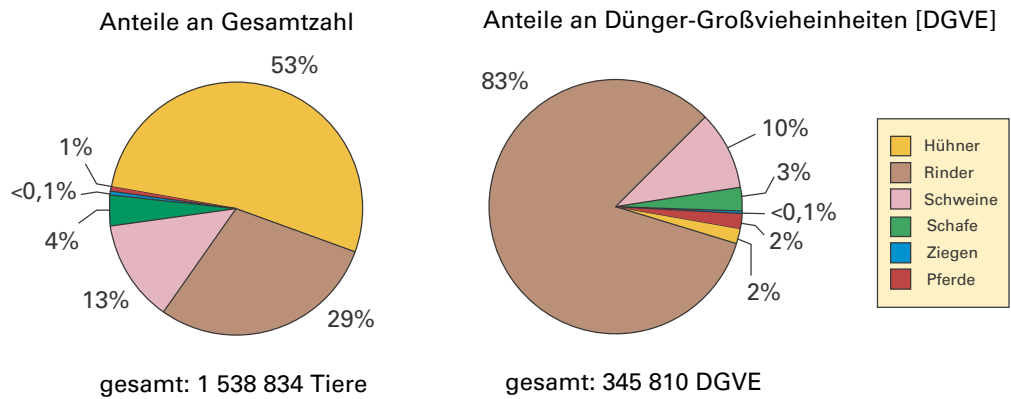


Abb. 3.6-3: Tierbestand im Gesamteinzugsgebiet, 1996/97 [1]; links: Anzahl Tiere, rechts: Düngergrößenheiten\* (DGVE).

\*Eine Düngergrößenheit entspricht dem durchschnittlichen jährlichen Anfall von Gülle und Mist einer 600 kg schweren Kuh (vgl. Art. 14 Abs. 8 Gewässerschutzgesetz / Schweiz). Für die Umrechnung der Nutztiere eines Betriebes auf DGVE ist ihre jährlich ausgeschiedene Nährstoffmenge maßgebend. Diese beträgt für eine DGVE 105 kg Stickstoff und 15 kg Phosphor.

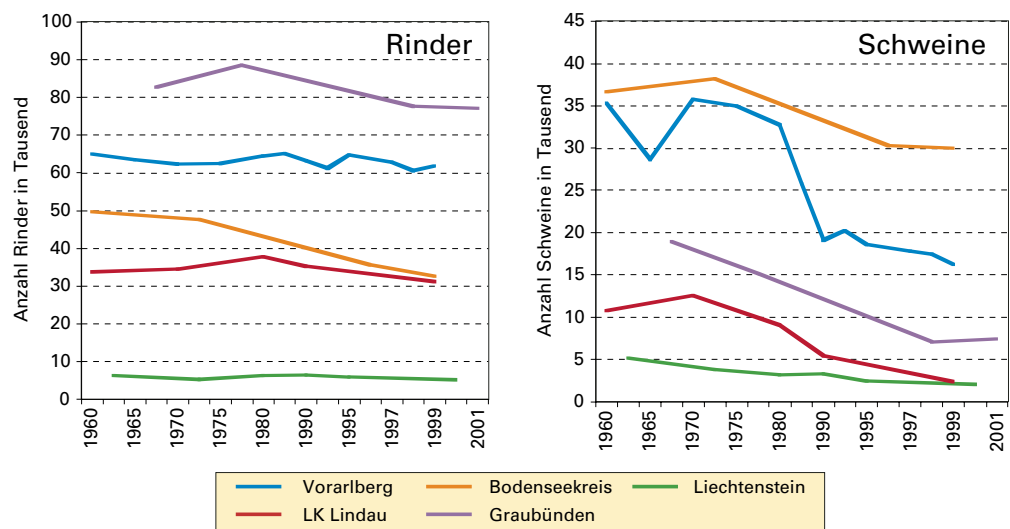


Abb. 3.6-4: Entwicklung der Rinder- und Schweinebestände seit 1960 (auch Bestände aus Teileinzugsgebieten der Donau enthalten) [2-6]

*Einsatz von Düngemitteln*

Bei den in der Landwirtschaft verwendeten Düngemitteln sind Hof- bzw. Wirtschaftsdünger, Mineraldünger und andere Dünger wie Kompost und teilweise auch Klärschlamm zu unterscheiden (Abb. 3.6-5). Der Einsatz von Hofdünger ging in den 10 Jahren zwischen 1985/86 und 1996/97 im Gesamteinzugsgebiet als Folge verringerten Viehbesatzes (DGVE/ha, Tab. 3.6-1) deutlich zurück.

Für den Einsatz von Mineraldüngern liegen keine auf das Bodenseeinzugsgebiet bezogene Daten vor. Die Entwicklung kann aber aus Daten der einzelnen Länder und Kantone ersehen werden, die weitgehend ähnlich verlaufen (Abb. 3.6-5, 3.6-6).

Nachdem in den 1970-1980er Jahren ein intensiver Einsatz von Mineraldünger stattfand, ist in den 1980 bis Mitte der 90er Jahre ein deutlicher Rückgang festzustellen, danach in den meisten Regionen wieder ein leichter Anstieg. Besonders ausgeprägt

**Weniger Düngemittel-einsatz**

Kategorie	1985/86	1996/97	Veränderung 1985/86 - 1996/97	
Viehbesatz [DGVE/ha]	0,95	0,85		-10 %
Phosphor [t/a]	7 644	5 416	-2 228	-29 %
Stickstoff [t/a]	41 454	35 046	-6 408	-15 %

Tab. 3.6-1: Viehbesatz, sowie Phosphor und Stickstoff aus dem Hofdüngeranfall im Einzugsgebiet des Bodensees in (t/a) [1]

ist der geschilderte Verlauf beim *P-Mineraldünger*, deutlich schwächer beim *N-Mineraldünger* (Abb. 3.6-6). Regional wird Mineraldünger verstärkt in Ackerbaugebieten eingesetzt, wo der Viehbesatz und damit der Hofdüngeranfall vergleichsweise gering ist.

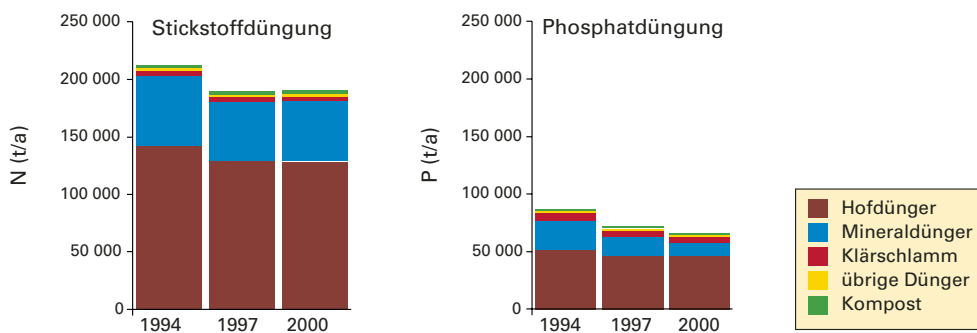


Abb. 3.6-5: Düngerverbrauch in der Schweiz [7 ergänzt von B. BAUMGARTNER, AFU TG]

Zur Entwicklung der Hofdüngerlagerkapazität liegen nur exemplarische Daten aus Baden-Württemberg und der Schweiz vor. Die Lagerkapazität für die Ackerbau- und Hügelzone liegt dort teilweise bereits über den in der Schweiz geltenden Anforderungen (3-4 Monate-Kapazität). Die Situation in den Bergregionen des Einzugsgebietes ist aufgrund der ungenügenden Datenlage nicht einzuschätzen [8].

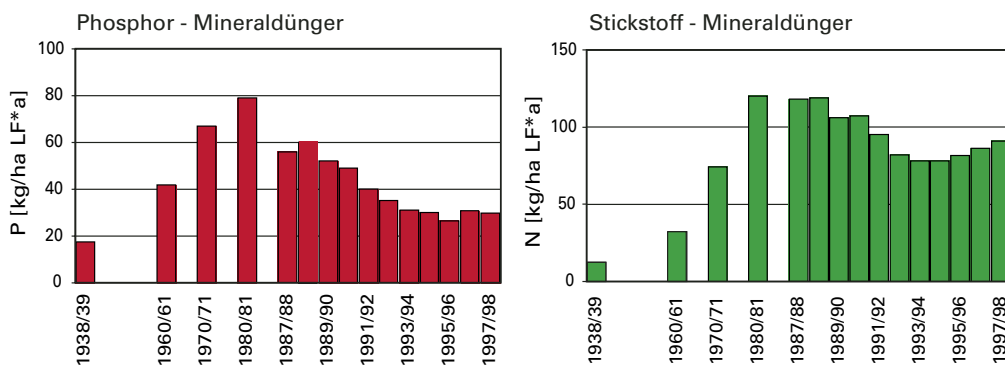


Abb. 3.6-6: Entwicklung des Phosphor- und Stickstoff-Mineraldüngereinsatzes in Bayern [9]

### Erosion und Nährstoffaustrag

Nährstoffe können oberflächlich durch Erosion und Abschwemmung oder durch Auswaschung über Dränungs- und Grundwasserabflüsse aus dem Boden ausgetragen werden.

**Bodenerosion als zentrales Problem der Nährstoffabschwemmung**

Von der „natürlichen“ Erosion (Bachbetterosion, Verwitterungsprozesse etc.) ist eine durch den Menschen verursachte, nutzungsbedingte Bodenerosion vor allem auf Ackerland zu unterscheiden (Abb. 3.6-7). Die Bodenerosion auf Ackerland ist abhängig von der Erodibilität des Bodens, von der Erosivität des Niederschlags, von der Hangneigung und von der Bodenbedeckung in Abhängigkeit von Kulturart und Anbaumethode. Im Jahr 1996/97 wurden den Gewässern im Einzugsgebiet des Bodensees rund 2,3 Mio. t Erosionsmaterial zugeführt, der überwiegende Teil durch „natürliche Erosion“. In den alpin geprägten Gebieten (Alpenrheintal, Ill usw.) sind bis zu 100 % der gesamten Materialeinträge durch natürliche Erosion verursacht, in Ackerbaugebieten (z. B. Radolfzeller Aach) stammen dagegen bis über 20% von den Ackerflächen und sind somit nutzungsbedingt. Bodenerosion führt vor allem zum Verlust von Humus und von partikulärem Phosphor. In den ackerbaulich geprägten Teileinzugsgebieten des Bodensees verursacht die Bodenerosion auf Ackerflächen mit über 0,2 kg P/ha\*a etwa die Hälfte des partikulären P-Eintrags in die Gewässer [1, 10].

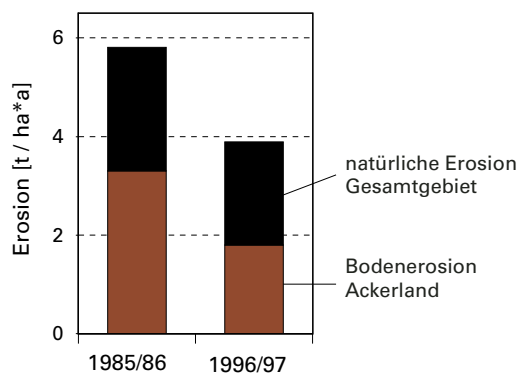


Abb. 3.6-7: Abschätzung der Bodenerosion auf Ackerland und „natürliche Erosion“ im Gesamteinzugsgebiet in den hydrologischen Jahren 1985/86 und 1996/97 [1, 10]

Nährstoffe können, vor allem nach Düngung, durch Abschwemmung in die Gewässer gelangen. Abschwemmungen vom Grünland sind die Hauptquelle des diffus in die Gewässer des Bodensee-Einzugsgebietes gelangenden gelösten Phosphors. Am

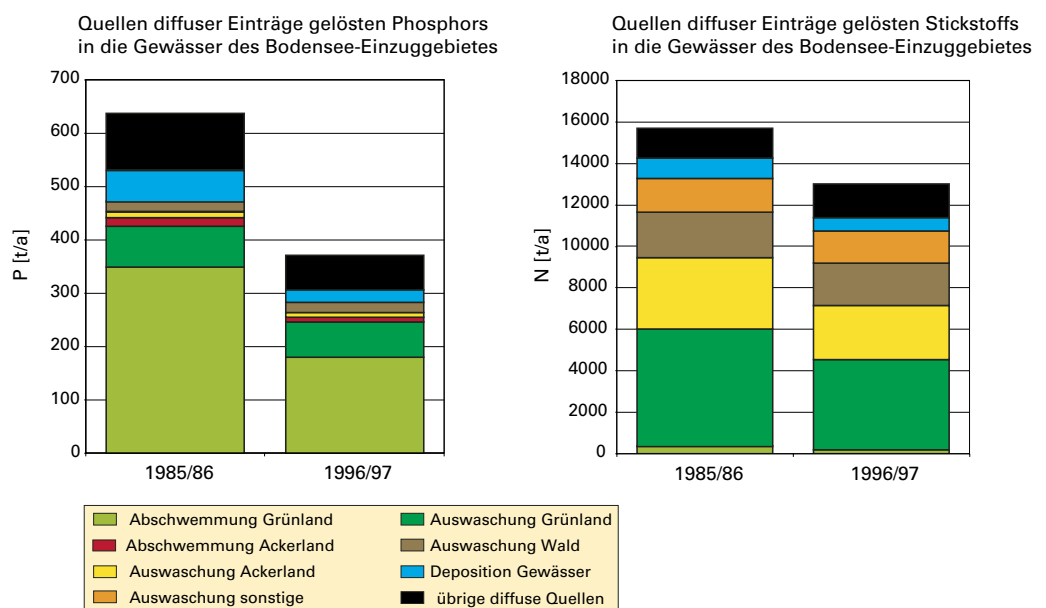


Abb. 3.6-8: Quellen des diffusen Eintrags von Phosphor (links) und Stickstoff (rechts) in die Gewässer des Bodensee-Einzugsgebietes 1985/86 und 1996/97 [nach 1]



*diffusen Eintrag* gelösten Stickstoffs in die Gewässer ist im Bodensee-Einzugsgebiet vor allem die Auswaschung von Grünland (33%) und von Ackerland (20%) beteiligt (Abb. 3.6-8) [1].

Austräge aus dem Grünland (Flächenanteil ca. 40%) machen im Bodensee-Einzugsgebiet etwa 75% der gesamten *diffusen Austräge* an gelöstem Phosphor aus. An den diffusen Stickstoffausträgen sind diese Flächen zu etwa 30% beteiligt, Ackerflächen mit 20% und die Waldgebiete mit 15% (Tab. 3.6-2).

Flächentyp	Flächenanteil in %	Diffuser Austrag von gelöstem Phosphor (in %)	Diffuser Austrag von gelöstem Stickstoff (in %)
Grünland	40	75	30
Ackerfläche	5,6	5	20
Waldgebiete	28	5	15

Tab. 3.6-2: Anteile verschiedener landwirtschaftlicher Nutzungsformen am flächenhaften Nährstoffaustrag im Bodensee-Einzugsgebiet [nach 1]

### *Pflanzenschutzmittel und Tierpharmaka*

Die wichtigsten Gruppen der Pflanzenschutzmittel (PSM) sind Herbizide, Fungizide und Insektizide. Der Hauptanwendungsbereich von Herbiziden liegt im Ackerbau. Fungizide und Insektizide werden im Ackerbau, vor allem aber in Obstanlagen sowie Wein- und Hopfenanbau eingesetzt, Antibiotika regional auch zur Bekämpfung des Feuerbrandes.

Über den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln liegen keine auf das Einzugsgebiet des Bodensees bezogene Daten vor. Die Entwicklung muss aus Daten der Länder und Kantone zum PSM-Absatz ersehen werden. Vom Absatz kann jedoch nicht unmittelbar auf den Verbrauch geschlossen werden, da die aufgebrachten Mengen je nach Anbauart und Fruchtfolge sowie den standörtlichen Bedingungen zum Teil erheblich variieren und die Präparate häufig über mehrere Jahre hinweg gelagert werden.

In der *Schweiz* ist der jährliche Verkauf von Pflanzenschutzmitteln zwischen 1992 und 1999 von rund 1900 t auf 1450 t aktive Substanz zurückgegangen. In Österreich schwankte der Absatz im gleichen Zeitraum zwischen 3 000 und 3 500 t. Auch in Deutschland blieb der Absatz an Pflanzenschutzmitteln in den 1990er Jahren relativ konstant (1999: 30 000 t). Bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche ohne Grünland ergibt sich ein Wirkstoffaufwand von ca. 2-3 kg/ha\*Jahr [11, 12]. Zu berücksichtigen ist, dass PSM-Wirkstoffe auch außerhalb der Landwirtschaft – an Verkehrswegen, Grünanlagen, Gärten etc. – angewendet werden. Der Rückgang der ausgebrachten PSM-Mengen relativiert sich durch eine höhere Wirksamkeit der angewandten neuen Produkte.

Da die landwirtschaftlichen Nutzflächen oft bis dicht an den See reichen, ist besonders der ufernahe Flachwasserbereich durch Verdriftung von Pflanzenschutzmitteln oder Auslaufen von Vorratsbehältern gefährdet.

Zur Anwendung von Tierpharmaka liegen keine für das Bodenseegebiet regionalisierten Daten vor.

### Belastungsrelevante Aspekte der Landwirtschaft

a) Hofdünger (Gülle) wird auf das Weideland ausgebracht

b) Versprühen von Pflanzenschutzmitteln in Obstplantagen

c) Erosion von Ackerflächen

d) Eintrag von Ackerab-schwemmung in die Straßenentwässerung, und von dort über Mischkanalisation oder Fließgewässer in den See

e) Gemüse-Anbauflächen auf der Insel Reichenau

Fotos a, c, d [h]; Foto b [i]; Foto e [k]



### 3.6.2 Auswirkungen auf den See

Eine Belastung des Sees durch die Landwirtschaft ergibt sich vor allem aus dem Eintrag von Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln in die Zuflüsse bzw. direkt in den See.

### Nährstoffeinträge

Der Eintrag bioverfügbaren Phosphors und Stickstoffs in den See setzte sich 1997 fast zu gleichen Teilen aus diffusen Einträgen, vor allem aus der Landwirtschaft, und aus der Nährstofffracht der Abwasserreinigungsanlagen zusammen (Abb. 3.6-10). Die gegenüber 1985/86 deutlich verringerten Nährstofffrachten aus landwirtschaftlichen Flächen (Abb. 3.6-8) können zum Teil auf geringere Niederschläge im Zeitraum 1996/97 zurückgeführt werden. Von großer Bedeutung für die Reduktion waren jedoch auch Änderungen in der Landnutzung (Rückgang erosionsgefährdeter Kulturen wie Mais) und in der Bewirtschaftungsweise [1].

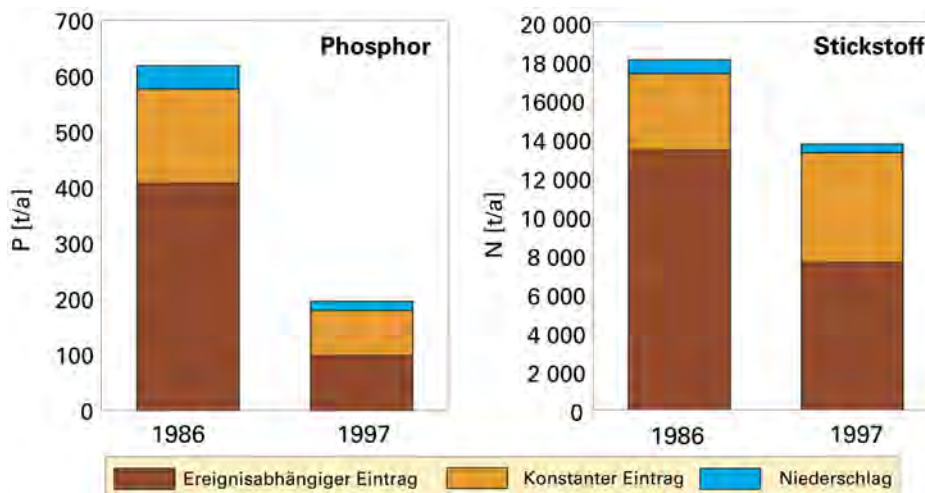


Abb. 3.6-10: Eintrag von bioverfügbarem (gelöstem) Phosphor (links) und Stickstoff (rechts) in den Bodensee-Obersee 1986 und 1997 [nach 1]; ereignisabhängige Einträge stammen vorwiegend aus der Landwirtschaft. Sie gehen vor allem auf Austräge bei Regenereignissen zurück; konstante Einträge bestehen aus der natürlichen Hintergrundfracht und aus Abwassereinleitungen [nach 13] (siehe auch Abb. 3.2-2, S.86)

### Einträge von Pflanzenschutzmitteln

Der Eintrag von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in Oberflächengewässer erfolgt einerseits diffus über Abdrift oder Abschwemmung aus (landwirtschaftlichen) Anwendungsflächen. Pflanzenschutzmittel gelangen aber auch als punktuelle Einträge direkt in die Oberflächengewässer, z. B. bei der Reinigung von Spritzgeräten in Gewässernähe. Indirekt können PSM über Kläranlagen eingetragen werden, wenn Spritzbrühe über die Kanalisation entsorgt wird.

In ganz Deutschland wird die Menge der jährlich in Oberflächengewässer gelangenden PSM auf 30 t geschätzt, wovon etwa 10 t aus Hofabläufen stammen [14]. Untersuchungen im Einzugsgebiet der Seefelder Aach 1999/2000 weisen darauf hin, dass für das Land Baden-Württemberg, in dem viele landwirtschaftliche Kleinbetriebe über eigene Applikationsgeräte verfügen, der Anteil der punktuell aus Hofabläufen und Kanalisation eingetragenen PSM noch erheblicher ist [14].

In den Bodenseezuflüssen werden häufig die Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe Atrazin und dessen Abbauprodukte sowie Diuron, Isoproturon und Simazin nachgewiesen [15]. Bei Untersuchungen 1999/2000 im stark durch Obstanbau und Ackerbau geprägten Einzugsgebiet der Seefelder Aach wurden sowohl in den Kläranlagenabläufen als auch in den Fließgewässern mehrfach Konzentrationen gemessen, welche die Zielvorgaben der LAWA für PSM in Oberflächengewässern im Hinblick auf

**Nährstoffeinträge durch die Landwirtschaft**

**Gefahrenpotenzial im Umgang mit Pflanzenschutzmitteln**

den Schutz der aquatischen Lebensgemeinschaften überschritten [14]. Für den Untersuchungszeitraum Mai 1999 bis Mai 2000 wurde ein Gesamteintrag von 9,3 kg PSM über die Seefelder Aach in den Bodensee festgestellt. Die PSM-Fracht bestand vor allem aus den Herbiziden Diuron und Isoproturon – Wirkstoffe, die nicht nur aus landwirtschaftlicher Anwendung stammen.

Wirkstoff	Zielvorgabe LAWA	Seefelder Aach	Riedgraben	ARA-Abläufe
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
<i>Diuron</i>	0,05	bis 0,23	bis 0,62	bis 9,3
<i>Isoproturon</i>	0,3	bis 1,45	bis 35,9	bis 13,1

Tab. 3.6-3: Maximale PSM-Belastung in einem landwirtschaftlichen Gebiet [14]. LAWA = Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Deutschland)

Trotz der zum Teil deutlichen PSM-Belastung einiger Bodensee-Zuflüsse ist der See selbst aufgrund der starken Verdünnung derzeit nicht als gefährdet anzusehen. Im Jahresmittel 2000 lag die Summe der im Bodensee nachgewiesenen Pflanzenschutzmittel unter 0,05 µg/l [15]. An den von der AWBR (Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein) untersuchten Rohwasserentnahmestellen wurde in den letzten Jahren ein rückläufiger Trend der Belastung durch Pflanzenschutzmittel festgestellt [16].

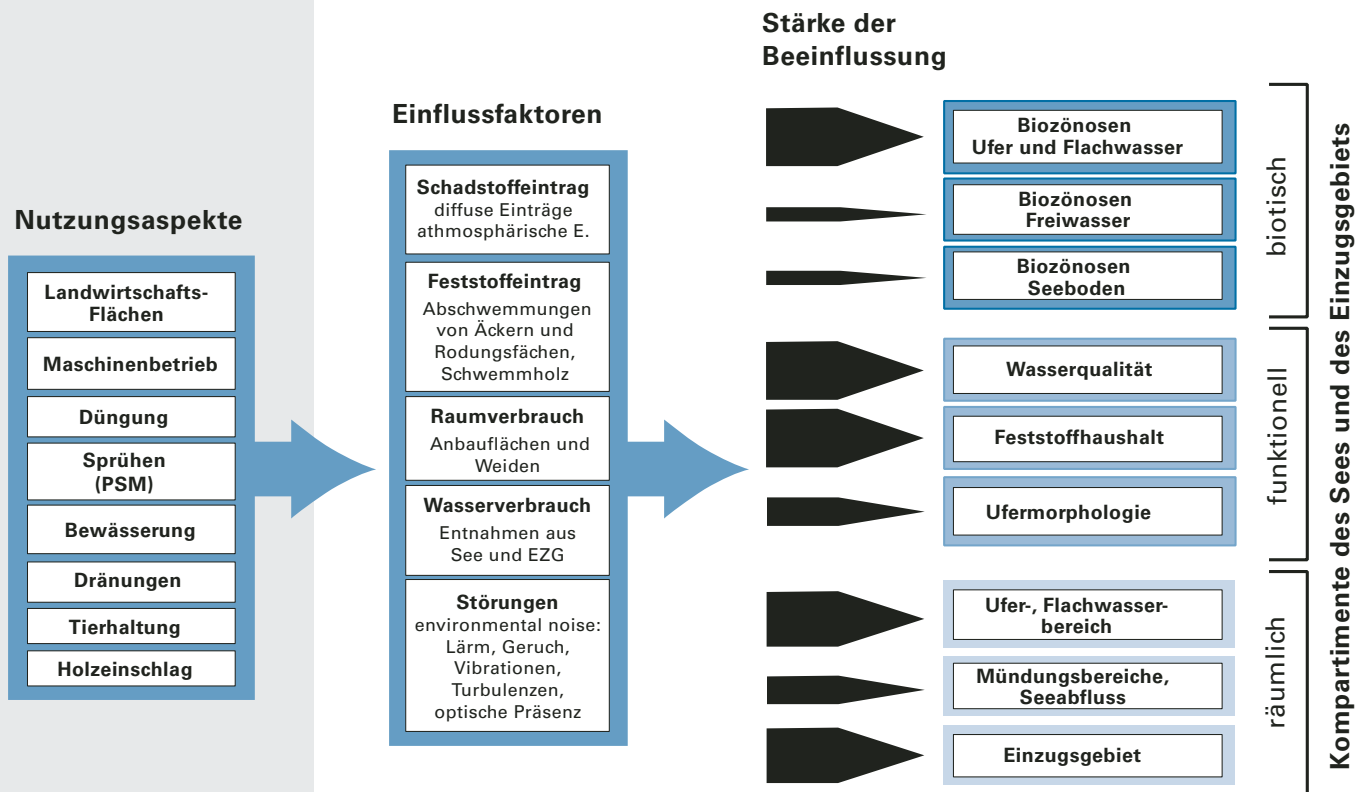


Abb. 3.6-9: Land- und Forstwirtschaft – Einflüsse auf den See

### 3.6.3 Handlungserfordernisse

Von der Internationalen Bodenseekonferenz wurde 1999 ein Maßnahmenplan zu Landwirtschaft und Gewässerschutz für den Bodenseeraum erarbeitet [9]. In diesem Maßnahmenplan wurde der Handlungsbedarf in den einzelnen Ländern und Kantonen zur weiteren Reduktion der Belastung aufgrund des jeweiligen Anteils an der anthropogen verursachten diffusen Fracht und aufgrund der vorherrschenden Nutzungsart abgeleitet.

In Ländern/Kantonen mit hohem Grünlandanteil und hohem Viehbesatz sind Maßnahmen zur Reduktion der Abschwemmung vorrangig. In stärker ackerbaulich genutzten Gebieten (z.B. Baden-Württemberg) sind daneben auch Maßnahmen zur Reduktion der erosionsbedingten Nährstoffverluste von Bedeutung. Derzeit stehen in allen Teilgebieten die Umstellung auf naturverträgliche Produktion, bedarfsgerechte Düngung, angemessene Reduktion des Viehbesatzes und Maßnahmen im Bereich der Hofdüngerlagerung im Vordergrund.

Das Ziel einer Verringerung der Umweltbelastung durch die Landwirtschaft wird in allen Ländern und Kantonen mit einer Kombination aus Beratung, Geboten, Ver-

Land	Gebote/Verbote	Anreizinstrumente
Baden-Württemberg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düngeverordnung</li> <li>• Pflanzenschutzgesetz</li> <li>• Wasserhaushaltsgesetz</li> <li>• Klärschlammverordnung</li> <li>• Bundes-Bodenschutzgesetz</li> <li>• Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich (MEKA)</li> <li>• Landschaftspflegeleitlinie</li> </ul>
Bayern	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düngeverordnung</li> <li>• Pflanzenschutzgesetz</li> <li>• Wassergesetze</li> <li>• Klärschlammverordnung</li> <li>• Bayer. Bodenschutzgesetz</li> <li>• Bundes-Bodenschutzgesetz</li> <li>• Bioabfallverordnung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kulturlandschaftsprogramm (KULAP)</li> <li>• Programm Stickstoff 2000 (N 2000)</li> </ul>
Vorarlberg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserrechtsgesetz</li> <li>• Klärschlammverordnung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Österreichisches Programm für umweltgerechte Landwirtschaft (ÖPUL)</li> </ul>
Schweiz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Landwirtschaftsverordnung</li> <li>• Direktzahlungsverordnung</li> <li>• Umweltschutzgesetz, Stoffverordnung</li> <li>• Gewässerschutzgesetz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ökobeiträge nach Landwirtschaftsgesetz (LwG)</li> <li>• Gewässerschutzgesetz</li> </ul>
Fürstentum Liechtenstein	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stoffverordnung</li> <li>• Gewässerschutzgesetz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abgeltungsgesetz</li> </ul>
EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nitrat-Richtlinie</li> <li>• Pflanzenschutz-Richtlinie</li> </ul>	

Tab. 3.6-4: Wichtige Anreizinstrumente, Gebote und Verbote zur Erreichung der Umweltziele im Bereich Landwirtschaft [nach 9; ergänzt]

Maßnahmenplan  
der IBK

Qualitätsziele

Vorgaben

boten und Anreizinstrumenten verfolgt (Tab. 3.6-4). Besonders die finanzielle Förderung gewässerschonender Betriebsweisen erweist sich hier als erfolgversprechend.

#### *Handlungserfordernisse in der Landwirtschaft*

#### **Handlungserfordernisse**

- Die nationalen Programme und gesetzlichen Vorgaben im Bereich Landwirtschaft im Sinne der guten fachlichen Praxis sollen zügig umgesetzt werden.
- Die Wirksamkeit landwirtschaftlicher Programme und Fördermaßnahmen soll kontrolliert und in einem Monitoring verfolgt werden.
- Förderleistungen sollen an den Nachweis umweltschonenden Wirtschaftens gekoppelt sein.
- Datenlücken zur betrieblichen Hofdüngerlagerkapazität und zur Entwicklung des Mineraldüngereinsatzes und Pflanzenschutzmittelverbrauchs im Einzugsgebiet sollen geschlossen werden.

#### *Düngung*

- Um die Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft in den Bodensee zu reduzieren, muss insbesondere der Nährstoffaustrag durch Abschwemmung und Auswaschung auf Grünland sowie durch Erosion weiter vermindert werden.
- Nährstoffverluste sollen durch entsprechende Bewirtschaftungsmethoden (Anbautechnik, Ausbringungstechnik, Bodenbearbeitung, Fruchtfolge) vermindert werden.
- Beim Düngereinsatz sind die Nährstoffvorräte des Bodens, der Bedarf der Pflanzen und die Boden- und Witterungsverhältnisse zu berücksichtigen.
- Die Einrichtungen zur Hofdüngerlagerung müssen dicht sein und so ausreichend bemessen, dass eine für die Umwelt unschädliche Ausbringung erfolgen kann.
- Die Hofdüngerflüsse müssen insbesondere in Zusammenhang mit Überschüssen transparent dokumentiert und verfolgbar sein (Düngerabnahmeverträge).
- Wo keine anderweitige kontrollierte Düngerverwertung erfolgt, muss die Größe des Nutztierbestandes auf die Nährstoffbelastung der zur Hofdüngerausbringung vorgesehenen Flächen abgestimmt sein.

#### *Pflanzenschutz*

- Bei PSM-Einsatz muss ein ausreichender Abstand zum Gewässer eingehalten werden (Abstandsauflagen als Bestand der guten fachlichen Praxis). Bei starkem Wind oder Regen soll keine Ausbringung von Dünger oder PSM erfolgen.
- Gewässerverträgliche und gut abbaubare PSM müssen bevorzugt zum Einsatz gelangen.
- Eine Einleitung von PSM-haltigem Reinigungswasser in Gewässer oder Kanalisation ist zu vermeiden. Die Reinigung der Spritzgeräte hat bereits auf dem Feld (im Anwendungsgebiet) zu erfolgen.
- Durch Anwendung von Maßnahmen des integrierten Pflanzenschutzes, wie angemessene Arten- und Sortenwahl, Fruchtfolge etc., soll der PSM-Einsatz reduziert werden.
- Für PSM-Anwendungen im nicht landwirtschaftlich-gärtnerisch-forstlichen Bereich (z.B. auf Verkehrsflächen) soll - soweit noch nicht erfolgt - eine Genehmigungspflicht eingeführt werden.

- Eine intensive Information der landwirtschaftlichen Betriebe über die gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz ist zu gewährleisten.

**Flächenschutz, Gewässerschutz und Bodenschutz**

- Feststoffeinträge in den Bodensee, die aus Hang- und Flächenerosionen im Einzugsgebiet stammen und über ein natürlicherweise auftretendes Maß hinaus gehen, sind durch geeignete und nachhaltige Bewirtschaftung, geeignete Anbauweisen, Fruchtfolgen etc. zu minimieren oder zu verhindern.
- Zum Schutz der Gewässer vor Einträgen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen sind ausreichend breite, extensiv bewirtschaftete Gewässerrandflächen auszuweisen.
- Überflutungsgefährdete Flächen sollen, sofern sie landwirtschaftlich genutzt werden, in extensive Nutzung überführt werden, um einerseits hochwasserbedingte Schäden für die Landwirtschaft und andererseits stoffliche Belastungen für den See zu vermeiden oder zu minimieren.
- Die Dränung landwirtschaftlicher Flächen soll sehr zurückhaltend durchgeführt und soweit möglich rückgängig gemacht werden.

**3.6.4 Forstwirtschaft**

Ursprünglich dürften mehr als 75% des gesamten Einzugsgebietes des Bodensees bewaldet gewesen sein, heute nimmt der Wald nur noch etwa 40% dieser ursprünglichen Fläche ein. Die natürliche Waldgrenze liegt in den Randalpen bei etwa 1500 m, in den inneren Alpen steigt sie bis 2 200 m.

Der Wald wirkt sich wesentlich auf die Beschaffenheit der Gewässer bzw. des Sees aus. Durch Interzeption (Zurückhalten des Niederschlagswassers auf den Oberflächen von Pflanzen) und Wasserspeicherung im Waldboden wirkt der Wald dämpfend auf die Abflussamplitude. Hierdurch und durch die Durchwurzelung des Waldbodens vermindert er Erosion und Stoffaustrag.

Im Gegensatz zu landwirtschaftlich genutzten Flächen tragen waldbestockte Flächen kaum (ca. 7 %) zum P-Austrag durch Auswaschung und Abschwemmung bei (Abb. 3.6-12). Zum Verlust von Stickstoff durch Auswaschung tragen Waldflächen mit 19 % bei [1]. Der Wald zeigt daneben eine gewisse Filterwirkung für Luftschadstoffe. Langfristig muss jedoch mit einem verstärkten Austrag aus dem Wald gerechnet werden, wenn die Belastungsgrenze für Waldökosysteme erreicht wird.

**Waldflächen halten Nähr- und Schadstoffe zurück**

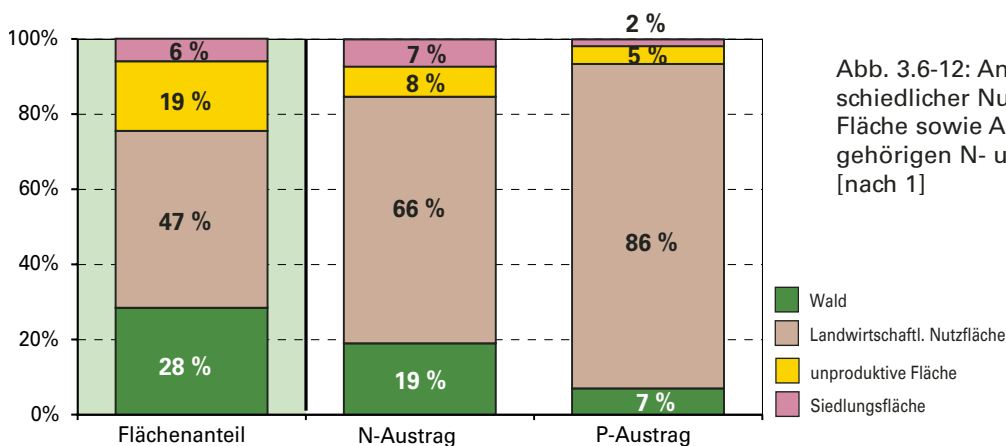


Abb. 3.6-12: Anteile unterschiedlicher Nutzungen an der Fläche sowie Anteile des dazu gehörigen N- und P-Austrags [nach 1]

Die Waldfläche nimmt infolge Brachlegung von bisher landwirtschaftlich genutzten Flächen vor allem im Gebirge zu. Ob diese Entwicklung auch Auswirkungen auf den Bodensee zeigt, z.B. über Veränderungen des Erosionsgeschehens, kann heute noch nicht abgeschätzt werden.

Besonders der alpine Wald stellt eine wichtige Quelle für Schwemmholz dar, das in den Flussläufen ein wertvolles Strukturelement bildet, im Übermaß allerdings ein beträchtliches Problem für die Hochwassersicherheit darstellt. Beim Hochwasser im Frühjahr 1999 führte der Rhein ca. 50 000 m<sup>3</sup> Schwemmholz in den Bodensee, was dem Baumbestand einer Fläche von ca. 1-2 km<sup>2</sup> entspricht. Am Seeufer können eingeschwemmte Holzmassen zur Erosion und zur Zerstörung von Lebensräumen führen und die Schifffahrt erheblich gefährden oder behindern. Die Entfernung und Beseitigung des eingeschwemmten Holzes schafft besonders in der sensiblen Uferzone weitere ökologische Probleme.

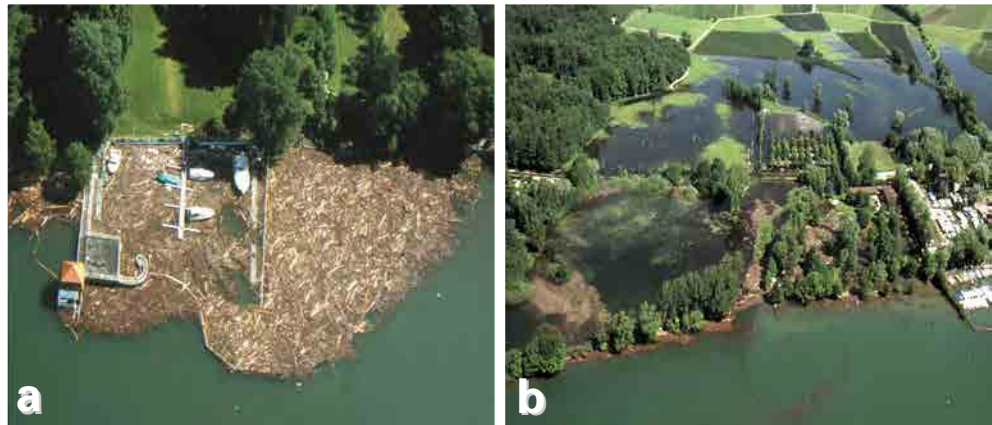
Zu Gewässerbelastungen als Folge fortwirtschaftlicher Maßnahmen - Anwendung von Düngestoffen und Pflanzenschutzmitteln, Holzlagerung etc. - liegen keine spezifischen und einzugsgebietsbezogenen Daten vor.

### Zunehmende Probleme mit Schwemmholz

Einschwemmung von Treibholz in den See sind u.a. auf Hangerosionen an Rodungsflächen im Einzugsgebiet zurückzuführen.

In Hochwasserjahren wie 1999 können Schäden an Hafenanlagen (a) und Naturuferrn (b) auftreten

Fotos [e]



Die Staaten im Einzugsgebiet des Bodensees haben Waldgesetze, die einen weitgehenden Schutz des Waldes garantieren. Insbesondere die Erhaltung der Waldfläche, die nachhaltige Nutzung und die Verwendung von Düngestoffen und Pflanzenschutzmitteln sind restriktiv geregelt. Im Rahmen der Alpenkonvention verpflichten sich die beteiligten Staaten mit dem Bergwald-Protokoll zu einer pfleglichen, naturnahen und nachhaltig betriebenen Bergwaldwirtschaft. Zur Umsetzung der Maßnahmen mit Bezug auf den Bodensee lassen sich folgende Aussagen machen:

- Die Luftschadstoffe, wie z. B. Ammoniak und Stickoxide, stellen für die Gesundheit des Waldes ein Risiko dar, sie müssen auf ein Maß gesenkt werden, das für Waldökosysteme nicht schädlich ist.
- Für die Wälder im Einzugsgebiet des Bodensees muss die nachhaltige Verjüngung mit standortgerechten Baumarten sicher gestellt werden. Um dies zu erreichen, muss insbesondere die Verbissbelastung durch das Schalenwild auf ein tragbares Maß gesenkt werden.

### Handlungserfordernisse in der Forstwirtschaft



## Literatur

- [1] PRASUHN, V. (1999): Phosphor und Stickstoff aus diffusen Quellen im Einzugsgebiet des Bodensees 1996/97. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 51, 84 S. + Anhang, Eigenverlag
- [2] STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG: Regionaldaten - <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de>
- [3] LAND VORARLBERG (o. J.): Viehzucht in Vorarlberg. - [http://www.vorarlberg.at/vorarlberg/landwirtschaft\\_forst/landwirtschaft/landwirtschaft/daten\\_fakten/viehzuchtinvorarlberg.htm](http://www.vorarlberg.at/vorarlberg/landwirtschaft_forst/landwirtschaft/landwirtschaft/daten_fakten/viehzuchtinvorarlberg.htm)
- [4] FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN, Landwirtschaftsamt: Statistisches Jahrbuch 2000. - Vaduz, 2001
- [5] KANTON GRAUBÜNDEN, LANDWIRTSCHAFTSAMT (2002): Viehbestand. - Landwirtschaftsamt Graubünden (unveröff. Daten)
- [6] BAYERISCHES STATISTISCHES LANDESAMT (1961 ff.): Viehbestand. - Statistische Berichte des Bayerischen Statistischen Landesamtes (1961 ff.)
- [7] Schweiz / Bundesamt für Statistik (2000): Einblicke in die schweizerische Landwirtschaft. - Ausgabe 2000, 116 S.
- [8] CHASSOT, G. & ALTORFER BORER, M. (2001): Vollzug des Gewässerschutzgesetzes: Stapelvolumen von Güllebehältern. Auswertungsbericht 2001. - BUWAL, Bern, 11 S. + Anh.
- [9] INTERNATIONALE BODENSEEKONFERENZ (1999): Massnahmenplan Landwirtschaft Gewässerschutz für den Bodenseeraum 1999. - Im Auftrag der Kommission Umwelt. Erarbeitet durch die Arbeitsgruppe Landwirtschaft / Gewässerschutz. In Zusammenarbeit mit der IGKB, 93 S. + Anh.
- [10] PRASUHN, V., SPIESS, E. & BRAUN, M. (1996): Methoden zur Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den Bodensee. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 45, 113 S., Eigenverlag
- [11] UMWELTBUNDESAMT WIEN: - [http://www.ubavie.gv.at/umweltsituation/landwirt/lw\\_psmge.htm](http://www.ubavie.gv.at/umweltsituation/landwirt/lw_psmge.htm)
- [12] INSTITUT FÜR SIEDLUNGSWASSERBAU, WASSERGÜTE- UND ABFALLWIRTSCHAFT DER UNIVERSITÄT STUTTGART (2000): Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben "Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer am Beispiel des Bodensee-Zuflusses Seefeldler Aach". - 105 S.
- [13] BÜHRER, H., KIRNER, P. & WAGNER, G. (2000): Dem Bodensee in den Abflussjahren 1996 und 1997 zugeführte Stofffrachten. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 53, 42 S., Eigenverlag
- [14] SCHLICHTIG, B., SCHÜLE, E. & ROTT, U. (2001): Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in die Seefeldler Aach. - Wasser und Abfall, 3/2001: 20-28
- [15] KRIEGER, H., LAMPERTSDÖRFER, T. & DIETRICH, D. R. (2001): Status- und Strategiebericht Schadstoffe und ihre ökotoxikologische Relevanz für den Bodensee. - interner Bericht i. A. der IGKB, Konstanz
- [16] ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSERWERKE BODENSEE-RHEIN (1991 ff): Jahresberichte der AWBR

### Beiträge zum Thema Forstwirtschaft:

RAPHAEL SCHWITTER, dipl. Forsting. ETHZ, Leiter Fachstelle für Gebirgswaldpflege, 7304 Maienfeld.  
Mail: [raphael.schwitter@fzm.ch](mailto:raphael.schwitter@fzm.ch)

WERNER FREY, dipl. Forsting. ETHZ, stellvertretender Leiter Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Flüelastr. 11, 7260 Davos Dorf. Mail: [frey@slf.ch](mailto:frey@slf.ch)

FUCHS, ALLB Markdorf: Hofdüngerlagerkapazität. - schriftl. Mitt.

Der Bodensee ist eines der touristischen Zentren Europas

### 3.7. Tourismus und Naherholung

#### 3.7.1 Bisherige Entwicklung

Mit jährlich rund 6 Millionen Übernachtungen und einem Vielfachen an Tagesbesuchern zählt die engere Bodenseeregion zu den touristischen Zentren Mitteleuropas. Tourismus und Naherholung sind einerseits von wesentlicher Bedeutung für die wirtschaftliche Entwicklung der Region, tragen andererseits jedoch zur Belastung des Sees und seines Umlands bei.

Mit dem wirtschaftlichen Aufschwung und der zunehmenden Mobilität stieg der Tourismus am Bodensee in den 1950/60er Jahren stark an. Im Jahr 1970 wurden 5,5 Mio., 1978 bereits 6,25 Mio. Übernachtungen gezählt [2]. In den Folgejahren war in allen Ländern und Kantonen eine weitere Zunahme zu verzeichnen, wobei die Entwicklung in den einzelnen Gemeinden unterschiedlich verlief (Abb. 3.7-1).

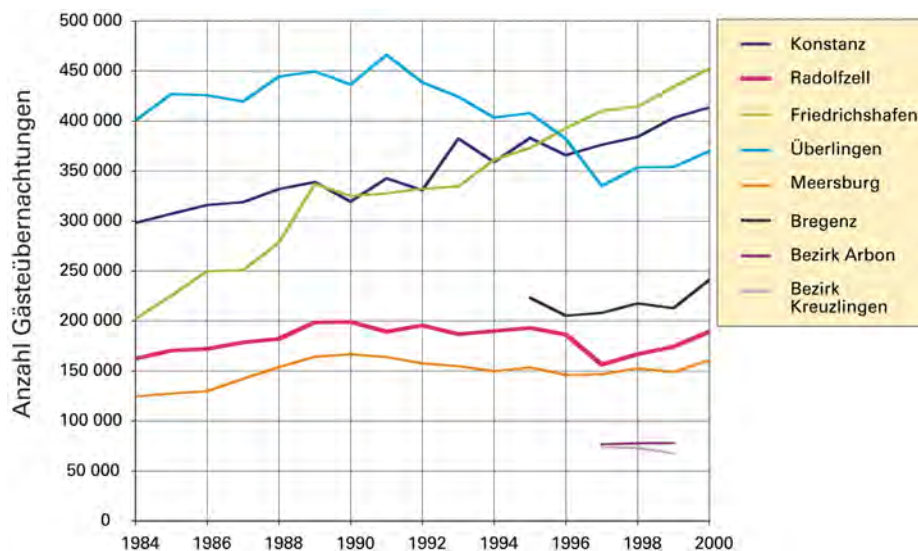


Abb. 3.7-1: Entwicklung der Übernachtungszahlen (ohne Campingplätze) seit 1984 in ausgewählten Gemeinden des Bodenseegebiets. [nach 3-7]. Mit den amtlichen Statistiken werden Privatanbieter mit geringer Bettenzahl und Campingplätze nicht erfasst. Die Übernachtungen auf Campingplätzen wurden allein für das deutsche Bodenseegebiet auf 1,4 Mio. im Jahr 1996 geschätzt [1].

Während die Übernachtungszahlen in einigen Städten kontinuierlich anstiegen (z. B. Friedrichshafen), stagnierten sie anderswo in den 1980er- und 1990er-Jahren oder zeigten Einbrüche. Seit 1997 zeigen die Übernachtungszahlen in allen wichtigen Tourismusorten Zuwächse. Die touristische Nutzung konzentriert sich stark auf das Nordufer des Sees (Abb. 3.7-2). In den Städten Friedrichshafen, Konstanz und Bregenz sind die hohen Übernachtungszahlen neben dem Urlaubstourismus auch auf die Bedeutung als Wirtschafts-, Messe- bzw. Festspielstandort zurückzuführen.

Der Tourismus am Bodensee konzentriert sich auf das Sommerhalbjahr. Besonders deutlich zeigt sich dies im baden-württembergischen Bodenseegebiet, während in der vorarlbergischen Region „Bodensee-Alpenrhein“ die Übernachtungszahlen im Winter durch die angrenzenden Skigebiete geprägt sind [7].

Kaum erfassen lässt sich die Anzahl der Tagesgäste. Für das deutsche Bodenseegebiet wird von jährlich rund 14 Mio. Tagesausflüglern aus dem Inland ausgegangen [1]. Der Tagesausflugsverkehr ist von seiner wirtschaftlichen Bedeutung für die Region

Schwerpunkt ist der Sommertourismus

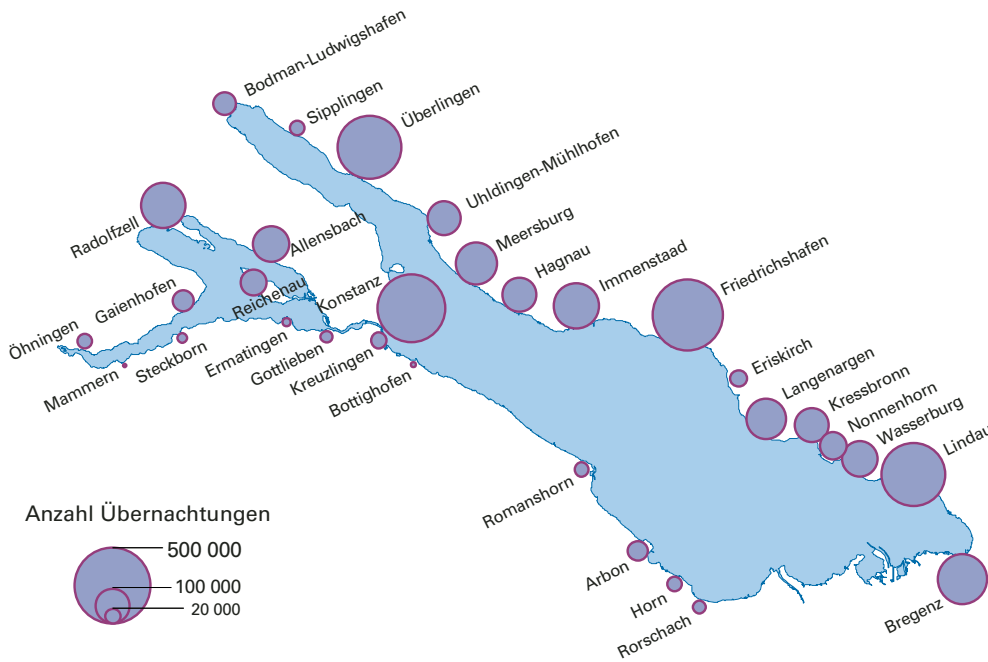


Abb. 3.7-2: Anzahl der Gästeübernachtungen in ausgewählten Kommunen der Bodensee-region, 1999 (Mammern 1997, Rorschach 2000) [nach 3 - 6]

sehr viel geringer einzuschätzen als der Übernachtungstourismus – etwa 3,5 Tagesreisen bewirken den gleichen Einkommenseffekt wie eine Übernachtung - führt jedoch in weit stärkerem Masse zur Belastung des Naturraums. Für einen Tagesausflug an den Bodensee werden durchschnittlich 91 km einfache Wegstrecke - in 85% der Fälle mit dem PKW - zurückgelegt [1]. In den Urlaubsmonaten ergibt sich am Bodensee eine dem Ruhrgebiet vergleichbare Autodichte [8]. Der Zusammenhang zwischen Tourismus/Naherholung und saisonalem Verkehrsaufkommen wird beispielhaft durch das Transportaufkommen der Fähre Konstanz-Meersburg illustriert. Hier zeigt sich ein deutlich höheres Verkehrsaufkommen in den Sommermonaten (Abb. 3.7-3).

**Der Tagestourismus belastet in besonderem Maße den Naturraum**

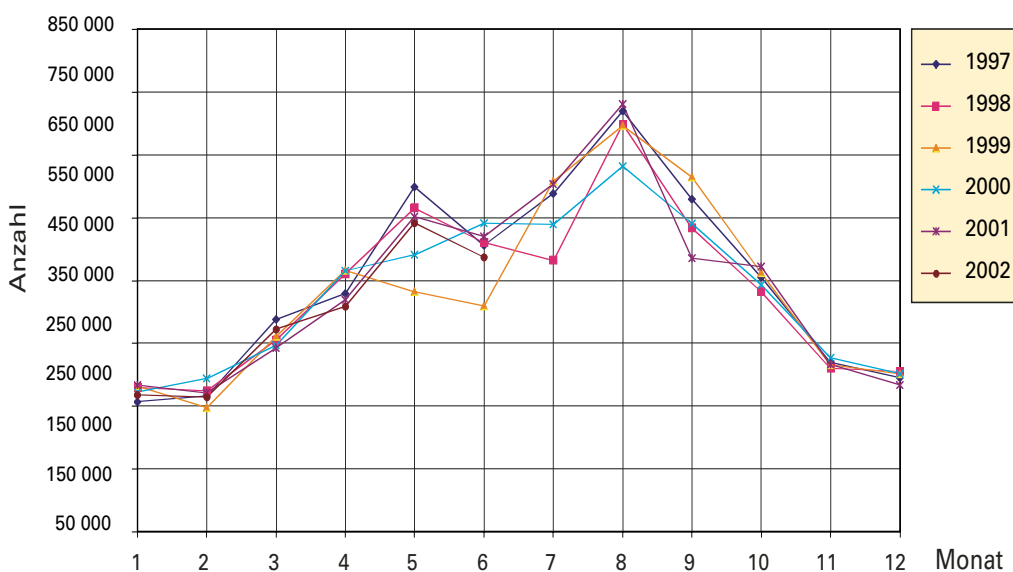


Abb. 3.7-3: Monatliche Anzahl der beförderten Personen auf der Fähre Konstanz-Meersburg, 1997-2002 [9]

**Touristische Schwerpunkte am Bodensee**

Die Aktivitäten von Touristen und Ausflugs Gästen konzentrieren sich deutlich auf einige Punkte oder Angebote. Mit 2 Mio. Fahrgästen bzw. 1,5 Mio. Besuchern zählten im Jahr 1999 eine Schifffahrt auf dem Bodensee und die Insel Mainau zu den beliebtesten Tourismusattraktionen [10]. Kaum erfassbar ist die Zahl der Gäste, die den See für wassersportliche Aktivitäten und den Tauchtourismus nutzen. Im Jahr 2000 waren am See rund 56 000 Boote zugelassen, die ganz oder überwiegend für touristische Zwecke genutzt werden (Statistik ISKB). Im Uferbereich stehen insgesamt über 55 Campingplätze, 54 Strandbäder, 33 größere Badeplätze und 27 Zugänge für Windsurfer zur Verfügung (vgl. Abb. 2.1-6). Im weiteren Uferbereich zieht der durchgehend um den See ausgebaute Bodensee-Radwanderweg eine große Zahl von Besuchern an.

**3.7.2 Auswirkungen auf den See**

**Flächenverbrauch durch Freizeiteinrichtungen**

Die gravierendste Auswirkung von Tourismus und Naherholung auf die Bodenseelandschaft ist die Zunahme des Flächenverbrauchs und der Verkehrsbelastung im Umland des Bodensees. Allein durch Campingplätze im Uferbereich wird eine Fläche von etwa 1,5 km<sup>2</sup> beansprucht. Auf rund 6 km (2 %) von insgesamt 273 km Uferlänge grenzen Campingplätze direkt an den See. Rund 18 km (6,6 %) des Ufers werden von Strandbädern und Badeplätzen belegt (berechnet nach [11]). Im Bereich der verbliebenen ungenutzten Freiflächen in Ufernähe verlaufen häufig Wander- oder Radwege, so dass auch hier Störungen des Ökoystems nicht unterbleiben (s. Kap. 2.1).

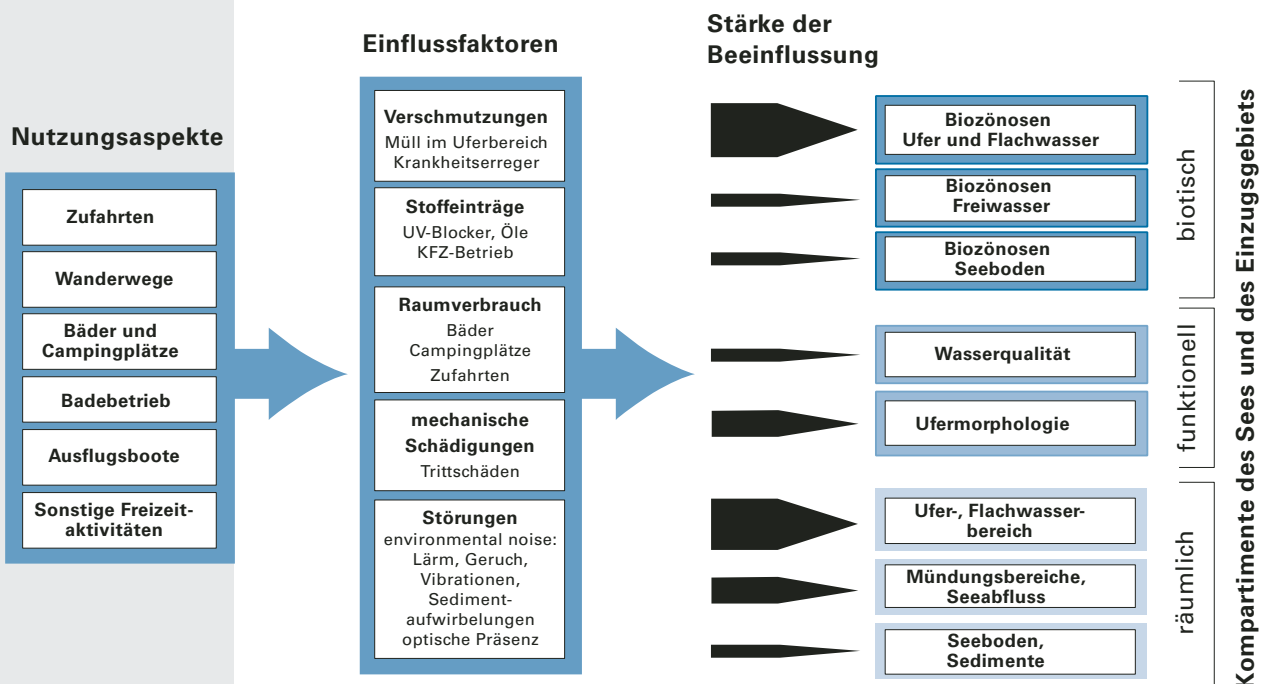


Abb. 3.7-4: Tourismus und Naherholung - Einflüsse auf die Seekompartimente

**Wassersport und Badebetrieb beeinflussen verschiedene Lebensräume**

Im See selbst werden die Belastungen hauptsächlich durch den Wassersport verursacht (s. Kap. 3.4). Der Badebetrieb kann neben der Störung von Tierpopulationen (z.B. Amphibien, Kleinfische) auch zur Zerstörung von Ufervegetation und Gelegen führen. Lokal kommt es zu Stoffeinträgen und – bei entsprechender Ballung der Badegäste – zu hygienischen Belastungen. Durch den Gebrauch von Sonnenschutzmitteln gelangen potenziell gefährdende Fremdstoffe in den See [12].

Der Wasseraufwand/-verbrauch einer Person ist im Urlaub mit 400-800 l/Tag dreibis fünffach höher als zu Hause (140 l/Tag) [8]. Somit trägt der Tourismus auch über die Zunahme des Abwassers zur stofflichen Belastung des Sees bei.



**Massentourismus am Bodensee**

a) Strandbad Hörnle in Konstanz

b) Saisonbetrieb auf der Mainau (Hochwasser 1999)



**Umweltverträgliche Tourismuseinrichtungen**

c) Solarfähre zwischen der Höri und dem Schweizer Ufer

d) Solarkocher am Campingplatz Horn

Fotos [i]

**3.7.3 Handlungserfordernisse**

Die vielfältige naturräumliche Ausstattung des Bodenseegebiets ermöglichte eine stark auf Tourismus ausgerichtete Entwicklung. Dadurch konnten gegenüber den stärker industrialisierten Regionen die Belastungen des Naturraumes begrenzt werden. Ein umweltverträglicher Tourismus sollte als wesentlicher wirtschaftlicher Faktor in der Region gezielt gefördert werden.

*"In der Bodenseeregion sollen Tourismus und Erholung durch qualitative Verbesserungen des Angebotes und andere strukturelle Massnahmen umwelt- und sozialverträglich gesichert und weiterentwickelt werden"* [13].

Zu einer umweltverträglichen Gestaltung des touristischen Individualverkehrs trägt der 1992 eingeführte Bodensee-Pass bei, mit dem die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel gefördert wird. Mittlerweile sind eine ganze Reihe ähnlicher Projekte in der Region verwirklicht worden. Für den Rad- und Wandertourismus stehen mit dem Bodensee-Radwanderweg und dem Bodensee-Rundwanderweg um den gesamten See führende Strecken zur Verfügung. Bisherige Bemühungen, die Belastung des Sees durch den Sportbootverkehr zu reduzieren, werden im Kap. 3.4 (Schifffahrt) dargestellt.

Mit dem Ziel, den Campingtourismus umweltverträglicher zu gestalten, wurde 1999 auf Initiative der Bodensee-Stiftung das Netzwerk ECOCAMPING Bodensee gegründet. Bisher beteiligen sich daran 14 Campingplätze rund um den See.

- Die Erhebung touristischer Daten soll im gesamten Bodenseegebiet auf einer einheitlichen Grundlage und mit deutlichem räumlichem Bezug erfolgen. Bei der Datenerhebung sollen umweltrelevante Aspekte mit berücksichtigt werden.
- In der Bodenseeregion sollen Tourismus und Erholung durch qualitative Verbesserungen des Angebotes und strukturelle Massnahmen umweltfreundlich gesichert und weiterentwickelt werden.

**Bisherige Maßnahmen**

**Handlungserfordernisse**

- Durch eine Koordinierung des touristischen Angebotes in der Region soll eine naturverträgliche Gestaltung der touristischen Nutzung ermöglicht werden. Eine Konzentration der Angebote in unmittelbarer Seenähe soll durch verbesserte Angebote im weiteren Einzugsgebiet des Sees vermieden, beziehungsweise abgebaut werden.
- Längerfristige Erholungsaufenthalte sollen gegenüber dem Tagestourismus gefördert werden.
- Der begonnene Ausbau der Angebote des ÖPNV soll weitergeführt und ausgedehnt werden.
- Die Anreise zum Urlaubsort mit öffentlichen Verkehrsmitteln soll gegenüber der Anfahrt mit dem PKW gefördert werden.
- Ökologisch sensible Gebiete sollen durch Besucherlenkung und -information vor übermäßiger touristischer Nutzung geschützt werden. Ein quantitativer Ausbau von Erholungsangeboten soll in diesen Gebieten unterbleiben.
- Belastungen durch den Badebetrieb sollen weiterhin durch geeignete Massnahmen reduziert werden. Die Sensibilisierung der Badegäste für ökologische Belange (Schilf, Wasservögel, Fische, Amphibien) ist vor allem durch geeignete Information anzustreben.
- Zum Schutz sensibler Bereiche sollen Bade- und Nutzungsverbote gezielt überwacht werden.

## Literatur

- [1] HARRER, B. & HÄNSSLER, K. H. (1998): Der Tourismus als Wirtschaftsfaktor im deutschen Bodenseegebiet. - 52 S.
- [2] MAURER, H. (1994): Der Mensch als Verursacher von Umweltveränderungen. - in: Maurer (Hrsg.) (1994), Umweltwandel am Bodensee, S. 13-29
- [3] BADEN-WÜRTTEMBERG, STATISTISCHES LANDESAMT: Struktur und Regionaldatenbank: Tourismus - <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/SRDB>
- [4] ÖSTERREICH, WIRTSCHAFTSKAMMER, BUNDESSEKTION TOURISMUS UND FREIZEITWIRTSCHAFT (2001): Tourismus in Zahlen. - 84 S.
- [5] KANTON THURGAU: Thurgau in Zahlen, Fakten und Zahlen, Tourismus - [http://www.kttg.ch/biografi/zahltg/za7\\_8.htm](http://www.kttg.ch/biografi/zahltg/za7_8.htm)
- [6] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG: Struktur und Regionaldatenbank: Tourismus - <http://www.bayern.de/LFSTAD/daten>
- [7] VORARLBERG, LANDESSTELLE FÜR STATISTIK: Der Tourismus im Winter 2001/02 - [http://www.vorarlberg.at/pdf/wintersaison2001\\_02\\_web.pdf](http://www.vorarlberg.at/pdf/wintersaison2001_02_web.pdf)
- [8] BADEN-WÜRTTEMBERG, MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR (1996): . - Blickpunkt Umwelt Nr. 4 (Tourismus), S.8
- [9] STADTWERKE KONSTANZ (2002): Statistik Fähre 2002. - Stadtwerke Konstanz
- [10] KUHN, S. (2000): Die BodenseeErlebniskarte als Erfolgsfaktor im Destinationsmanagement. Forum: Touristische Gästekartenkonzepte im Vergleich. - [http://www.irs-consult.de/downloads/stefan\\_kuhn.pdf](http://www.irs-consult.de/downloads/stefan_kuhn.pdf)
- [11] TEIBER, P. (2002): Zustandsbeschreibung des Bodenseeuferes 2000/2001. - CD ; Herausgeber: Internationale Bodenseekonferenz (IBK) & Landesanstalt f. Umweltschutz Bad.-Württemberg
- [12] KRIEGER, H., LAMPERTSDÖRFER, T. & DIETRICH, D. R. (2001): Status- und Strategiebericht Schadstoffe und ihre ökotoxikologische Relevanz für den Bodensee. - interner Bericht i. A. der IGKB, Konstanz
- [13] INTERNATIONALE BODENSEEKONFERENZ (1995): Bodenseeleitbild. - IBK, Kommission Öffentlichkeitsarbeit, Meersburg

## 3.8 Seewassernutzung

### 3.8.1 Bisherige Entwicklung

Im Jahre 1895 nahm die Stadt St. Gallen das erste Wasserwerk am Bodensee in Betrieb [1]. Seither wird an zahlreichen Entnahmestellen aus dem See Wasser für die Trinkwasserversorgung, als Brauch- und Kühlwasser oder zur Wärmegewinnung gefördert (Abb. 3.8-1). Wasserentnahmen über 50 l/s unterliegen dem von den Anliegerstaaten abgeschlossenen „Übereinkommen über die Regelung von Wasserentnahmen aus dem Bodensee“ [2] vom 30. April 1966. Darin wird unter anderem die gegenseitige Konsultation bei der Zulassung von Wasserentnahmen vorgesehen, die 750 l/s (bei Verwendung außerhalb des hydrologischen Einzugsgebietes) bzw. 1500 l/s (bei Verwendung innerhalb des hydrologischen Einzugsgebietes) übersteigen. Das im hydrologischen Einzugsgebiet verbrauchte Wasser wird als gereinigtes Abwasser wieder dem Bodensee zugeführt.

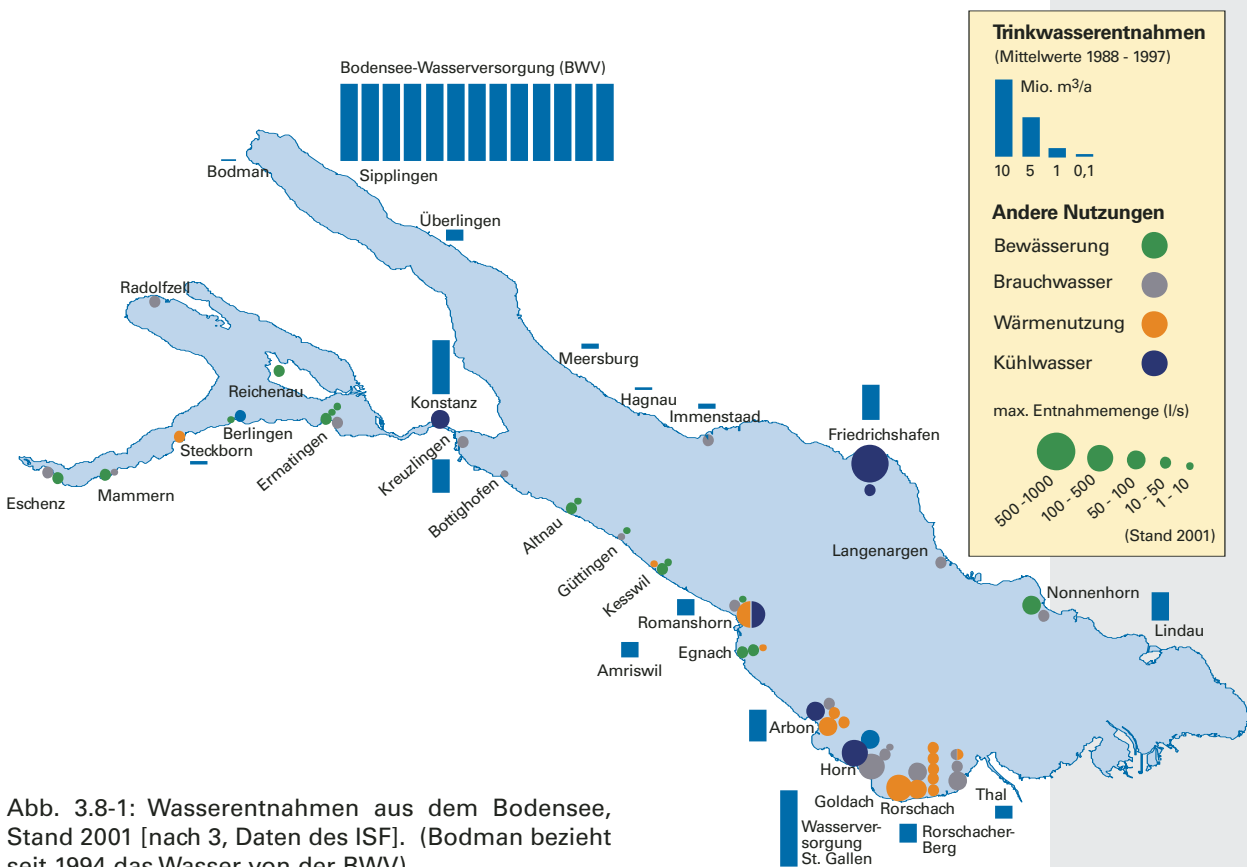


Abb. 3.8-1: Wasserentnahmen aus dem Bodensee, Stand 2001 [nach 3, Daten des ISF]. (Bodman bezieht seit 1994 das Wasser von der BWV)

### Trinkwassernutzung

Für die Trinkwassergewinnung werden dem See jährlich rund 173 Mio. m<sup>3</sup> Rohwasser entnommen, davon 132 Mio. m<sup>3</sup> (75 %) durch den Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung (BWV). Rund 3,7 Millionen Einwohner werden von der BWV mit Trinkwasser aus dem Bodensee versorgt [4]. Das Rohwasser wird im Überlinger See aus etwa 60 m Tiefe entnommen. Es weist Temperaturen zwischen 4,5 und 5,5 °C, einen pH-Wert von ca. 7,9 und eine Gesamtwasserhärte von ca. 8,9 °dH auf. Nach der Aufbereitung mit Mikrosieb-, Ozon- und Filteranlagen in der Aufbereitungsanlage auf dem Sipplinger Berg wird das Trinkwasser durch rund 1 700 km Rohrleitungen bis an die Nordgrenze Baden-Württembergs geleitet (Abb. 3.8-2).

**Der Bodensee ist Trinkwasserlieferant für rund 4 Millionen Menschen**



Abb. 3.8-2: Leitungsnetz des Zweckverbands Bodensee-Wasserversorgung [nach 4]

Angesichts des stagnierenden bzw. rückläufigen Wasserverbrauchs der Bevölkerung und Dank gesetzlicher Verordnungen der Länder und Kantone zum Schutz des Grundwassers, können viele Gemeinden auf Wasser aus eigenen Brunnen zurückgreifen, so dass derzeit kein weiterer Ausbau der Trinkwasserversorgung mit Bodenseewasser zu erwarten ist.

**Kühlwasser- und Wärmenutzung**

Neben der Nutzung in Wärmepumpen wird Seewasser in Kühlanlagen, zur Klimatisierung von Gebäuden oder zur Abfuhr von Abwärme aus betrieblichen Anlagen genutzt. Das meiste Nutzwasser wird in Friedrichshafen entnommen, genehmigt sind dort maximal 833 l/s. Das aus 40 m Tiefe hochgepumpte Wasser wird in Motoren-Prüfständen als Kühl- und Bremswasser eingesetzt. Durch seine Wiedereinleitung wird dem See jährlich eine Wärmemenge von etwa 95 840 GJ zugeführt, was – bezogen auf 1993 – einem Anteil von 0,09 % am Gesamtwärmeaustausch des Sees entspricht [5].

**3.8.2 Auswirkungen auf den See**

Eine Belastung des Sees durch die Trinkwassernutzung ist bislang nicht erkennbar. Die mit einer Ausleitung aus dem direkten Einzugsgebiet verbundenen Entnahmen (BWV, St. Gallen) entsprechen etwa 3/4 der geförderten Wassermenge oder etwas mehr als 1 % des Wasserdurchflusses durch den See (Abb. 3.8-3). Diese Wasserentnahme wird durch Überleitungen aus anderen Einzugsgebieten nahezu kompensiert.

Eine potenzielle Belastung im Sinne einer Erwärmung bzw. Abkühlung des Bodenseewassers ergibt sich aus der Wassernutzung zu Kühl- bzw. Heizzwecken. So könnte die Wiedereinleitung großer Mengen erwärmten Tiefenwassers lokal zu einer Verlängerung der sommerlichen Stagnationsperiode führen oder durch die Nachlieferung von Nährstoffen in die produktive Zone das Algenwachstum fördern [5].

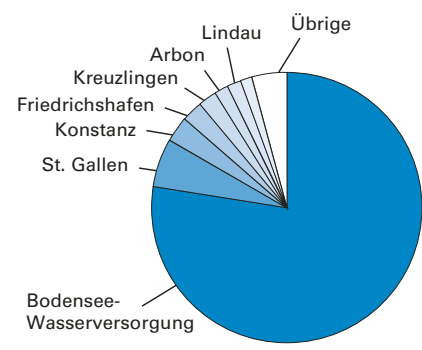
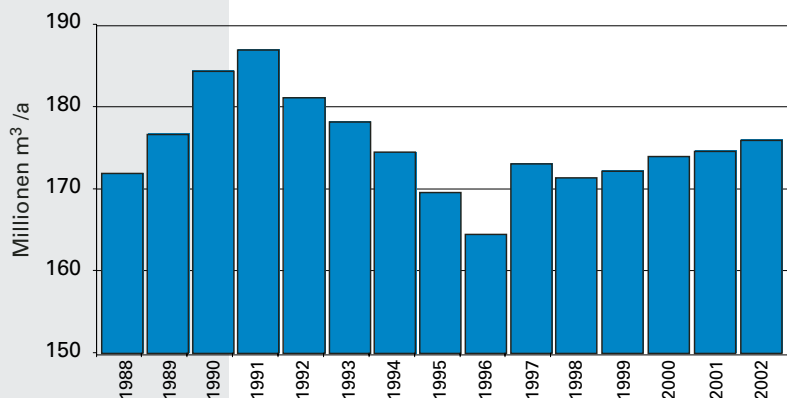


Abb. 3.8-3: jährliche Trinkwasserentnahmen aus dem Bodensee 1988-2002 und durchschnittlicher Anteil der einzelnen Wasserentnahmen 2002 [nach 3, aktualisiert]



Bei Untersuchungen zum Einfluss der Kühlwassereinleitung auf die Flachwasserzone bei Friedrichshafen zeigte sich im Winter eine deutliche Erhöhung der Wassertemperatur im Bereich der Einleitungsstelle. Die Ausdehnung der Kühlwasserfahne betrug 100-200 m. Bis zu einem Abstand von 15–30 m vom Zulauf zeigten Fauna und benthische Algenflora Änderungen in der Artenzusammensetzung mit Zunahme wärmeliebender Arten. Vom Kühlwasser überspülte Bereiche der Geröllzone waren z.T. mit dicken Algenwatten überzogen. Auch im Kühlwasserzulauf traten Blaualgenwatten auf. Im Sommer konnte dagegen kein Einfluss der Kühlwasserzufuhr auf die Temperaturverteilung im See festgestellt werden [5]. Ob sich auch im Bodensee im Bereich von Kühlwassereinleitungen bevorzugt Neozoen (bei den Fischen z. B. der Blaubandbärbling) aufhalten, wie es bei Einleitungen in Flüsse oft beobachtet wird, ist noch nicht untersucht.

Die Wiedereinleitung von zur Wärmegewinnung entnommenem Wasser führt zu lokalen Abkühlungen des Seewassers, wodurch der Lebenszyklus von Organismen beeinflusst werden kann. Insgesamt sind bislang nur geringe, lokal begrenzte Auswirkungen der Wasserentnahme und -rückleitung zur Wärmegewinnung oder zur Kühlung zu beobachten.



**Bodensee-  
Wasserversorgung auf  
dem Sipplinger Berg**

- a) Aufstoßbecken  
Rohwasser
- b) Mikrosiebanlage
- c) Entkeimungsanlage
- d) Speicherbecken

Fotos [i]

### 3.8.3 Handlungserfordernisse

Um das Seewasser ohne aufwändige Aufbereitungsverfahren zur Trinkwasserversorgung nutzen zu können, muss bereits das Rohwasser eine hohe Qualität aufweisen. Aus diesem Grund verfolgen die Wasserwerke und die IGKB gemeinsame Zielsetzungen zur Reinhaltung des Bodensees. So basieren die 1967 von der IGKB erarbeiteten *„Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees“* unter anderem auf den Untersuchungen der Wasserwerke. Solche Untersuchungen werden seit 1968 regelmäßig durch die Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR) im See und seinen Zuflüssen durchgeführt und koordiniert (siehe [7]).

Wasserentnahmen zu Kühlzwecken unterliegen in der Regel nicht nur einer Begrenzung hinsichtlich der maximal zulässigen Entnahmemenge, sondern müssen bei der Rückleitung in den See oft auch Grenzwerte bezüglich der maximalen Temperatur und der minimalen Sauerstoffkonzentration einhalten.

**Lokale Einflüsse durch  
Kühlwassernutzung nur  
im Winter**

**Qualitätsziele**

## Handlungserfordernisse

Die vorrangigen Handlungserfordernisse bei der Seewassernutzung sind:

- Eine Erhöhung der Wasserentnahmen zur Ausleitung aus dem Einzugsgebiet bedarf einer vorherigen eingehenden Prüfung.
- Aktuelle oder geplante Seewassernutzungen zu Kühlzwecken oder zur Wärmegewinnung sollen in jedem Fall auf ihre Umweltverträglichkeit hin untersucht werden; jeweilige Alternativen sind zu prüfen.
- Die Seewassernutzung zu Kühl- und Heizzwecken muss umweltverträglich nach dem jeweiligen Stand der Technik erfolgen.

Umsetzung der Anforderungen der IGKB-Richtlinien:

*"Der Bodensee darf durch ... Wärmeeintrag oder Wärmeentzug nicht nachteilig beeinflusst werden."* [6]

- Durch die Rückleitung genutzten Wassers in den See dürfen die Biozönosen im Bereich der Einleitung in ihrem Charakter und ihrer Funktion nicht beeinträchtigt werden.

*"...Das entnommene Wasser darf außer durch die Abkühlung in seiner Beschaffenheit nicht verändert werden..."*[6].

- In Abhängigkeit von der Wärmeleistung der Anlagen werden maximal zulässige Abkühlung, zulässige Kältemittel und Kältemittelöle und Anforderungen an den Ort der Rückleitung des abgekühlten Wassers definiert.
- Ein Abfluss von Kältemitteln bei Leckagen des Kühlmittelkreislaufs muss sicher verhindert werden.
- Wärmetauscher dürfen im See nur über Zwischenkreisläufe betrieben werden; in den Zwischenkreisläufen ist nur Wasser ohne Zusätze als Wärmeträger zulässig.

## Literatur

- [1] MÄCKLE, H. (1986): Die Entwicklung der Trinkwasseraufbereitung am Bodensee. - Wasser + Boden Nr. 12: 603-609
- [2] (30. April 1966): Übereinkommen über die Regelung von Wasserentnahmen aus dem Bodensee. - [www.admin.ch/ch/d/st/i7/0.721.423.de.pdf](http://www.admin.ch/ch/d/st/i7/0.721.423.de.pdf)
- [3] ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSERWERKE BODENSEE-RHEIN (1998): Jahresbericht Nr. 29, 1997. - 424 S.
- [4] ZWECKVERBAND BODENSEE-WASSERVERSORGUNG (BWV) (2000): Wasser aus dem Bodensee.
- [5] TEIBER, P., WEYHMÜLLER, M. & WEYHMÜLLER, M. (1998): Einfluß einer Kühlwassereinleitung auf die Flachwasserzone des Bodensees. Endbericht. - Bericht erstellt im Auftrag der Motoren und Turbinen Union Friedrichshafen. 69 S.
- [6] INTERNATIONALE GEWÄSSERSCHUTZKOMMISSION FÜR DEN BODENSEE (2001): Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees. Fassung vom 23. Mai 2001.
- [7] ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSERWERKE BODENSEE-RHEIN (1991 ff): Jahresberichte der AWBR

### 3.9 Fischereiliche Nutzung

#### 3.9.1 Bisherige Entwicklung

Am 5. Juli 1893 beschlossen die Bodensee-Anrainerstaaten und das Fürstentum Liechtenstein in der so genannten *Bregenzer Übereinkunft* [1] die gemeinsame fischereiliche Bewirtschaftung des Bodensee-Obersees. Zu diesem Zweck wurden die bis heute regelmäßig stattfindenden Internationalen Bevollmächtigtenkonferenzen für die Fischerei im Bodensee-Obersee (IBKF) ins Leben gerufen. Im Untersee wird die Fischerei durch die *Unterseefischereiordnung* vom 2.11.1977 (revidierte Fassung 1997) geregelt [2].

Im Bodensee-Obersee werden seit 1990 im Jahresdurchschnitt rund 1200 t Fische gefangen. Ca. 93 % des Fangs entfallen auf die 160 Berufsfischer und ca. 7 % auf die rund 10 000 Angelfischer. Im Untersee werden von den 44 Berufsfischern jährlich gut 200 t Fische gefangen.

Nur wenige der rund 30 ständig im See vorkommenden Fischarten [3] sind von fischereiwirtschaftlicher Bedeutung. Im Obersee machen Blaufelchen, Gangfisch und Barsch 90 % des Fangtrags der Berufsfischer aus (Abb. 3.9-1). Im Untersee besitzen darüberhinaus auch Brachsen (13 %), Aal (7 %) und Hecht (7 %) einen bedeutenden Anteil am Fangtrug (Mittel 1991-2000).

Die Fischerei am Bodensee wird seit 1893 international geregelt

Über 200 Berufsfischer fangen im Schnitt 1300 t bis 1400 t Fisch pro Jahr

Felchen haben die größte fischereiliche Bedeutung

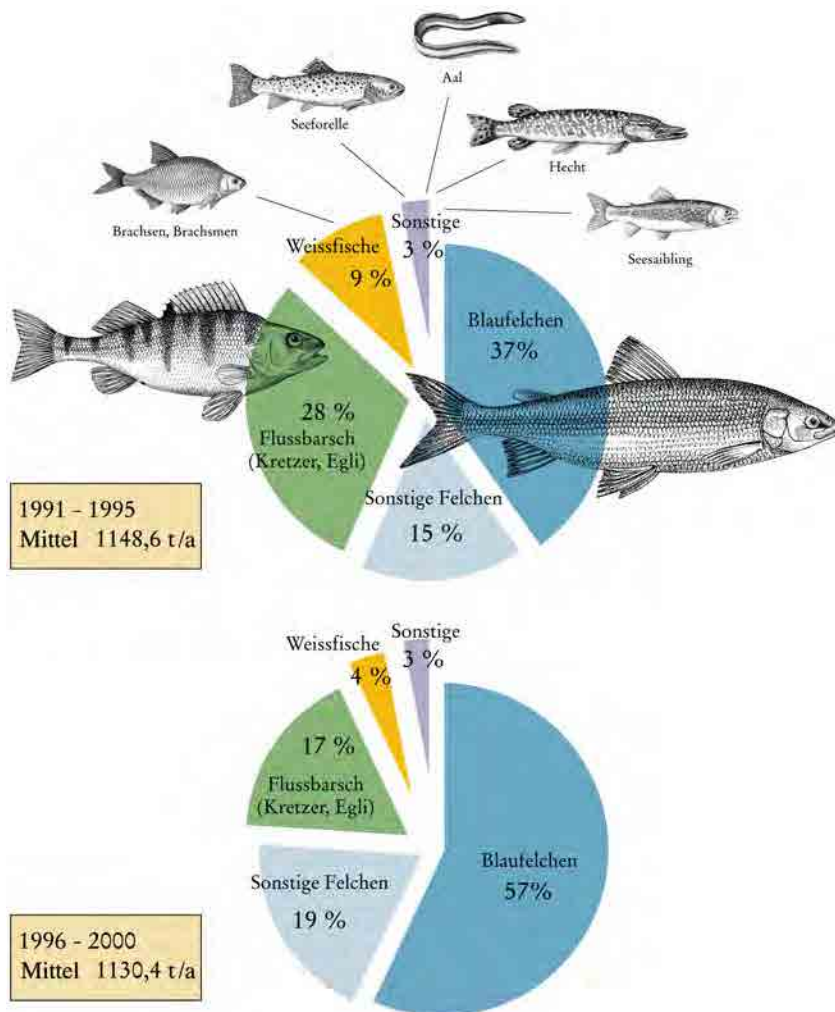


Abb. 3.9-1: Anteile der wichtigsten Fischarten am Fangtrug der Berufsfischer im Bodensee-Obersee (Mittel der Jahre 1991-1995 und 1996-2000) [nach Fischereistatistik der IBKF]; Zeichnungen aus [20]

**Veränderungen im Bodensee wirken sich auf Artenzusammensetzung und Fangertag aus**

Im Obersee wirkten sich Eutrophierung und Reoligotrophierung deutlich auf die Fischerträge aus. Menge und Artenzusammensetzung der gefangenen Fische änderten sich in den letzten 100 Jahren beträchtlich (Abb. 3.9-2). Vom Beginn des 20. Jahrhunderts bis 1955 stiegen die Erträge langsam an, den Hauptanteil des Fangs (ca. 70%) machten die Felchen aus. Von 1955 bis 1977 stiegen die Fangertäge auf fast die dreifache Menge an, gleichzeitig sank der Anteil gefangener Felchen bis unter 30%, während der Anteil der Barsche und Weißfische zunahmen. Seit Ende der 1970er-Jahre haben sich die Felchenfänge verbessert und stabilisiert. Die Barschfänge sind seither tendenziell zurückgegangen, stiegen aber Mitte der 1980er-Jahre noch einmal deutlich aber kurz an. Der auch heute noch anhaltende Rückgang der Barschfänge geht mit einem Rückzug der Art aus dem Pelagial einher. Im reoligotrophierten Bodensee ernähren sich größere Barsche wieder vorwiegend von Fischen, meist der eigenen Art [4]. Die Weißfischfänge sind schon spätestens seit Beginn der 1970er-Jahre stark zurückgegangen. Die Ursachen hierfür sind unbekannt.

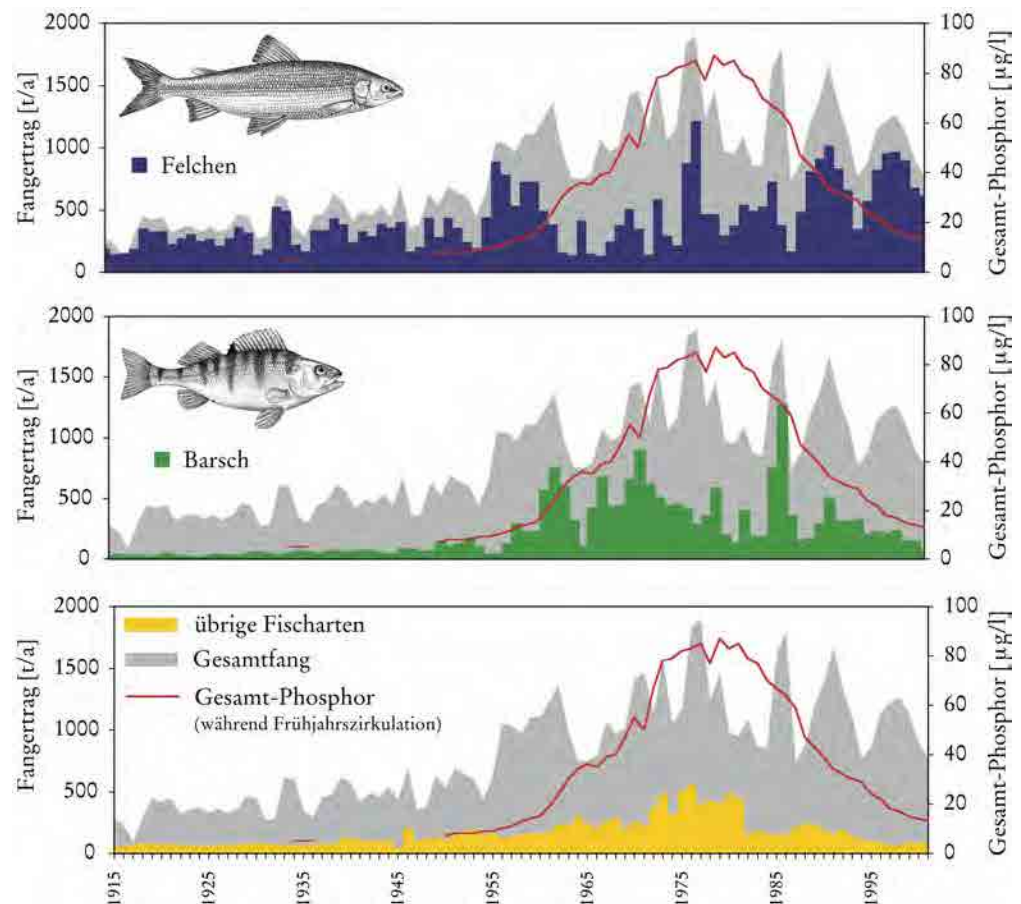


Abb. 3.9-2: Fangertäge der Berufsfischerei im Bodensee-Obersee, 1914-2000; Gesamt-Phosphor ( $\mu\text{g/l}$ ), 1963-2000 [nach Fischereistatistik der IBKF]

**Fangregulierende Maßnahmen**

Die jährlichen Fangergebnisse spiegeln die Lebensbedingungen der Fische im See recht gut wider, wobei aber nicht übersehen werden darf, daß auch fischereiliche Maßnahmen und veränderte Fangmethoden einen wichtigen Einfluss auf die jährlichen Fänge besitzen. Der Befischungsdruck wurde zwischen den Jahren 1961 und 2000 auf etwa 17% reduziert. Diese Reduktion kam vorwiegend durch fischereiliche Regelungen und den Rückgang der Zahl von Berufsfischer-Patenten zustande [5].

Im Jahr 2000 lag der Gesamtfang der Berufsfischer im Obersee rund 20 % unter dem Ergebnis des Vorjahres und knapp 25 % unter dem 10-Jahresmittel [6]. Im Untersee ging der Ertrag gegenüber 1999 um 17 % auf 256 t zurück. Die Abnahme der Erträge setzte sich auch im Fangjahr 2001 fort. Der Fangrückgang betrifft in geringerem Maße den Felchen- vor allem aber den Barschfang. Die Ergebnisse der von der IBKF durchgeführten Monitoringprogramme [4] lassen den Schluss zu, dass der Rückgang der Barschbestände - unterbrochen durch ertragreichere Jahre wie z. B. 2003 - eine dauerhafte Erscheinung ist, die neben anderen Faktoren den veränderten trophischen Zustand des Sees widerspiegelt. Unklarer ist die Situation beim Felchenbestand. Der in den letzten Jahren zunehmende Anteil älterer Fische am Felchenfang deutet vorerst nur auf einen Wachstumsrückgang als Folge des verminderten Nahrungsangebots hin. Während die Blaufelchen 1968-1985 überwiegend als 2+ Fische (im dritten Lebensjahr), ins Netz gingen, stieg seit 1986 das mittlere Befischungsalter kontinuierlich an. Im Jahr 2001 entfielen über 75 % des Blaufelchenertrags auf 3+ und 4+ Fische, während der Anteil der 2+ Fische nur noch 2 % betrug [7].

**3.9.2 Auswirkungen auf den See**

Die fischereiliche Nutzung und Bewirtschaftung beeinflusst im Gegensatz zu anderen Nutzungsformen - bis auf geringe Störungen der Flachwasser-Biozönosen durch Fischerboote und Angler - den See selbst oder seinen Stoffhaushalt kaum. Sie kann jedoch, neben anderen Faktoren, zu quantitativen und qualitativen Änderungen des Fischbestands im Bodensee führen. Bereits 1934 musste zur Verhinderung einer Übernutzung die Begrenzung der Berufsfischerpatente auf maximal 218 Hochseepatente beschlossen werden [8].

**Rückgang der Barschbestände als Folge der Reoligotrophierung des Sees**

**Die fischereiliche Nutzung beeinflusst den Bodensee kaum**

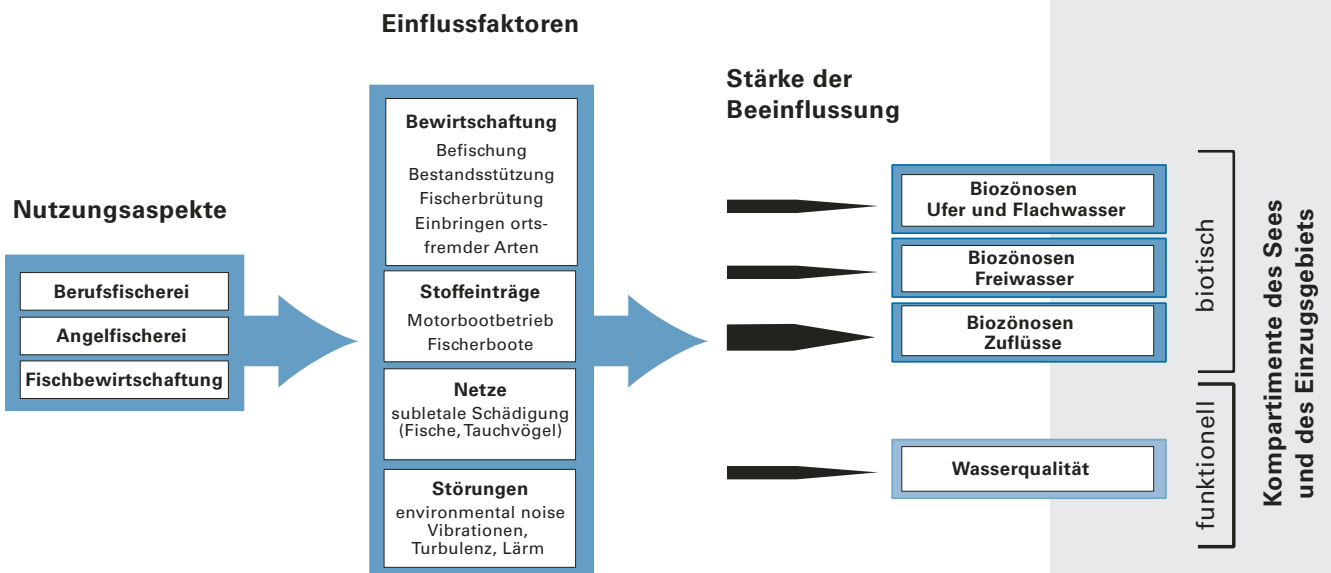


Abb. 3.9-3: Fischereiliche Nutzung - Einflüsse auf die Seekompartimente

Der Bestand und die Ertragsfähigkeit der genutzten Bodenseefische wird durch ständige Anpassungen der zugelassenen Fangmethoden und Befischungsintensität geschützt. Die IBKF führt hierzu ein intensives Monitoring der Fischbestände durch, welches Voraussagen zur Bestandsentwicklung und frühzeitige Maßnahmen zur Bestandssicherung erlaubt.

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts wird der Fischbestand des Bodensees durch künstliche Erbrütung von Eiern und Besatz gestützt. Der heutige Fischbesatz ist auf die

Lange Tradition in der Fischerbrütung und im Fischbesatz

im „Besatzplan für den Bodensee-Obersee“ der IBKF von 1987 erwähnten Arten beschränkt. Für alle Fischarten wird ein Besatz mit seeeigenem „Material“ angestrebt. Der Besatz mit Felchen soll die zum Teil starken Schwankungen der Jahrgangsstärken ausgleichen und zur Erhaltung bzw. Förderung der verschiedenen Felchenformen des Bodensees beitragen. Für den Hecht werden Besatzmaßnahmen im Obersee als notwendig erachtet, da hier natürliche Laichmöglichkeiten - geeignete Flachwasser- und Überschwemmungsbereiche - heute weitgehend verschwunden sind [9]. Zurzeit ist der Besatz mit Hechten allerdings ausgesetzt, da seine Bestände im Bodensee fast durchgehend Träger des Hechtbandwurms sind, der den Barsch als Zwischenwirt befällt. Seit einigen Jahren sind auch ältere Barsche im Obersee zu mehr als 50 % mit diesem Parasiten infiziert.

Fischart	Stadium	Mittel 1991-2000	2000
Blaufelchen	Brut	196 277 800	247 500 000
	Brut angefüttert	3 365 000	4 400 000
	Vorsommerlinge	57 000 *	100 000
Gangfisch	Brut	170 882 100	73 600 000
	Brut angefüttert	4 460 000	6 300 000
	Vorsommerlinge	87 900 *	29 000
Sandfelchen	Brut	500 000 *	0
	Brut angefüttert	1 120 000	4 300 000
Seeforelle**	Brut	340 270 *	661 000
	Brut angefüttert	124 850 *	0
	Vorsommerlinge	885 185	868 500
	Sommerlinge	432 442	586 120
	Jährlinge und älter	56 452	83 105

\* kein regelmässiger Besatz    \*\* Besatz erfolgt zu über 70 % in die Zuflüsse

Tab. 3.9-1: Fischeinsätze in den Bodensee-Obersee und in seine Zuflüsse (wichtigste Arten) [nach 6]

Bereits im 19. Jahrhundert begann ein auf Ertragsförderung gerichteter Einsatz standortfremder Fischarten. 1882 wurden erstmals *Zander* in den See eingesetzt. Seit 1881 erfolgte - zunächst ungerichtet, nach 1903 mit Genehmigung der IBKF - ein Besatz mit der aus Nordamerika stammenden *Regenbogenforelle*. Das heutige Vorkommen der Regenbogenforelle im Bodenseesystem wurde jedoch vor allem durch die Besatzmaßnahmen in den Zuflüssen beeinflusst. In den Rheinseitengewässern der Schweiz und Liechtensteins (wo heute Besatzverbote gelten) und Vorarlbergs haben sich in den letzten drei Jahrzehnten selbstreproduzierende Bestände der Regenbogenforelle etabliert [10]. Im Bodensee werden heute nach einem Beschluss der IBKF von 1987 keine Regenbogenforellen mehr eingesetzt [8]. Auch in den meisten Zuflüssen, mit Ausnahme der Gewässer Vorarlbergs, unterbleibt ein Besatz. Förderungsmaßnahmen aller Länder und Kantone des Bodensee-Einzugsgebietes konzentrieren sich seither auf die Seeforelle, den wichtigsten heimischen Wanderfisch.

Von den zahlreichen neu in den Bodensee gelangten Arten konnten sich vor allem Regenbogenforelle, Dreistachliger Stichling, Zander und Kaulbarsch erfolgreich eta-

Ein Besatz des Sees mit standortfremden Arten findet heute nicht mehr statt

blieren. Arten wie der Sonnenbarsch und Blaubandbärbling werden nur in Einzelfällen gefangen [11, 12]. Ursprünglich wohl nicht natürlich vorkommende Arten wie Karpfen, Schleie und Karausche [3] sind bereits seit dem ausgehenden Mittelalter vor allem im Untersee eingebürgert.

Nicht immer gelangten neue Fischarten durch gezielte Besatzmaßnahmen in den Bodensee. So geht der Bestand des Stichlings (*Gasterosteus aculeatus*) vermutlich auf um 1930 entlassene Aquarienfische zurück [11]. Für den Kaulbarsch (*Gymnocephalus cernuus*), der erstmals 1987 im Obersee beobachtet wurde und heute als häufigster Fisch in der Flachwasserzone gilt [13], wird eine Freisetzung als Angelköder- oder Aquarienfisch oder die unbeabsichtigte Einschleppung bei einem Fischbesatz vermutet. Der Kaulbarsch kann in Nahrungskonkurrenz zum Flussbarsch treten. Neben der direkten Konkurrenz durch neue Arten kann auch die Einschleppung neuer Krankheiten und Parasiten die autochthonen Fischbestände gefährden [14].

Im südwestlichen Bodensee sind die heimischen Stein- und Edelkrebse seit etwa 1980 weitgehend verschwunden, während der osteuropäische Galizierkrebs sich stark ausbreitete. Im westlichen Obersee breitet sich seit 1995 der amerikanische Kamberkrebs aus. Der ebenfalls aus Amerika stammende Signalkrebs lebt bereits in den Zuflüssen zur Bregenzer Bucht und ist somit in Kürze auch im Bodensee zu erwarten. Die amerikanischen Krebse sind Träger der für die einheimischen Arten tödlichen Krebspest. Es muss befürchtet werden, dass noch verbliebene Edel- und Steinkrebsbestände sowie die derzeit im See dominierenden Galizierkrebse infolge der Krebspest innerhalb weniger Jahren aus dem Bodensee verschwinden könnten [15].

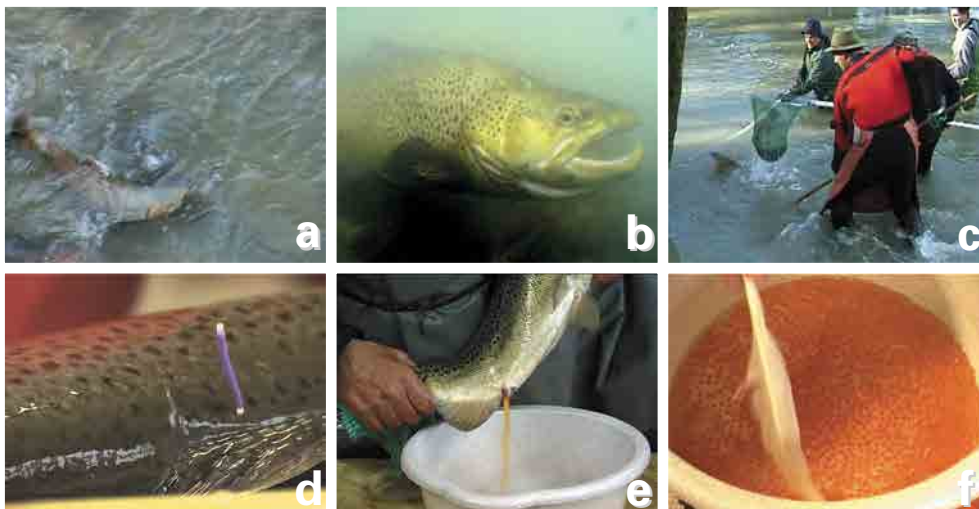
### 3.9.3 Handlungserfordernisse

Ein großer Teil der Maßnahmen zur fischereilichen Nutzung und Bewirtschaftung der Fischbestände des Bodensees steht seit 1893 unter ständiger Kontrolle der IBKF. Damals wurden Grundsätze zur „Erhaltung eines nachhaltigen fischereilichen Ertrags sowie zum Arten- und Lebensraumschutz“ formuliert. Ergänzt wurden diese durch den Beschluss von 1934 zur Verhinderung der Übernutzungen des Sees. Hierzu wurde erstmals die Zahl der Berufsfischerpatente begrenzt [8]. Im Jahr 2000 wurden für den Obersee nur noch 164 Hochsee- und Haldenpatente ausgegeben [6]. Mit den im Jahr 1987 von der IBKF verabschiedeten „Grundsätzen der fischereilichen Bewirtschaftung des Bodensee-Obersees und seiner Zuflüsse“ wurde ein Bewirtschaftungskonzept beschlossen, in dem neben der Sicherung der Erträge auch

**Eingeschleppte Arten als potenzielle Gefahr für die angestammte Biozönose**

**Bisherige Maßnahmen und Regelungen**

**Die Rettung der Seeforellen**



- a) Seeforellenmännchen beim Revierkampf
- b) Kapitäles Männchen (Milchner) auf dem Weg zu seinem Laichgebiet
- c) Elektrofang reifer Tiere in den Zuflüssen zum See
- d) Seeforellenweibchen (Rogner) wird markiert
- e) "Streifen" eines reifen Weibchens
- f) Eier und Samen werden vermischt

Fotos [i]

gewässerökologische Aspekte in hohem Maße berücksichtigt werden. Darüber hinaus liefert ein intensives Monitoring Erkenntnisse, auf Grund derer flexible Maßnahmen zur Sicherung einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Fischbestände ergriffen werden können.

#### Rettung der Seeforelle

Als großer Erfolg eines internationalen Maßnahmenprogramms ist die Erholung des seit den 1950er-Jahren stark bedrohten Seeforellenbestands zu werten [16, 17] (vgl. Abb. 2.4-12). Als neueste Maßnahme hat die im Winter 2001/2002 neu eröffnete Fischaufstiegshilfe am Kraftwerk Domat/Ems rund 1000 laichreifen Seeforellen den Aufstieg in ihre alten Laichgebiete am Vorder- und Hinterrhein ermöglicht [18].

#### Qualitätsziel

Die Grundlagen für eine nachhaltige fischereiliche Nutzung werden im Besitzplan der IBKF für den Bodensee-Obersee formuliert: „Grundlage eines artenreichen und standortgerechten Fischbestandes sowie der fischereilichen Ertragsfähigkeit im Bodensee ist die natürliche Fortpflanzung der Fische. Nachhaltiger Fischereiertrag und Artenschutz sind gleichberechtigte Zielvorgaben.“ [19]

Auf dieser Grundlage ergeben sich Handlungserfordernisse, die in großem Umfang bereits durch die jeweiligen Bewirtschaftungsvorschriften der IBKF verwirklicht sind:

#### Handlungserfordernisse

- Anstelle von Besatzmaßnahmen sollen vorrangig alternative Möglichkeiten zur Förderung der Fischbestände genutzt werden. Hier sind insbesondere zu nennen:
  - angemessene Schonmaße,
  - angemessene Schonzeiten,
  - dem aktuellen Bestand Rechnung tragende Fangmengenlimite,
  - schonende und selektive Fangmethoden,
  - Beseitigung von Wanderhindernissen in Zuflüssen,
  - Verbesserung der Wasserqualität und der Uferstrukturen.
- Ein notwendiger Besatz soll durch Fische in einem möglichst frühen Entwicklungsstadium erfolgen. Jungfische sollen nur eingebracht werden, wenn die natürlichen Aufkommen eingeschränkt sind und Besatzmaßnahmen Erfolg versprechen. Ausschließlich die gewässerökologischen Voraussetzungen bestimmen die Fischartenzusammensetzung.
- Für den Fischbesatz soll ausschließlich autochthones Laichmaterial aus dem Bodensee und seinem Einzugsgebiet Verwendung finden.
- Seltene und im Bestand gefährdete angestammte Fischarten sollen gefördert werden, auch wenn es sich um Arten handelt, die keine fischereiliche Bedeutung besitzen; Untersuchungen zu Bestand, Ansprüchen etc. dieser Arten sind zu verstärken. Ein Besatz mit solchen Arten sollte in der Regel jedoch nicht stattfinden.
- Aquarien- und Zuchtfische sowie anderer Wasserorganismen, die nicht zum natürlichen Artenspektrum des Bodensees und der mit ihm verbundenen Gewässern gehören, sollen nicht in den Bodensee oder die Gewässer seines Einzugsgebietes eingebracht werden. Die Öffentlichkeit muss zukünftig besser über dieses Thema und mögliche ökologische Konsequenzen informiert werden.
- Der Besatz ursprünglich fischloser natürlicher Gewässer ist zu unterlassen. Natürliche Wanderhindernisse sollen nicht durchgängig gemacht werden.
- Beim Betrieb von Fischzuchten ist zu verhindern, dass Fischkrankheiten oder standortfremde Fischarten und -rassen in den Bodensee oder mit ihm verbundene Gewässer gelangen.



- Bei Baumassnahmen im und am Bodensee und seinen Zuflüssen sind Fischlaichgebiete besonders zu schonen.
- Die seit Ende der 1980er-Jahre durchgeführten Untersuchungen zum Erfolg von Bewirtschaftungsmaßnahmen (z.B. Überlebensrate von Besatzfischen, Abwachsen bis zur Fangreife, Selektivität von Netzfängen) sollen fortgesetzt und intensiviert werden. Die Auswirkungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen, insbesondere unter den veränderten Bedingungen des oligotrophierten Sees, sollen auch weiterhin durch ein ausreichendes Monitoring dokumentiert werden.
- Den Auswirkungen der Oligotrophierung auf wirtschaftlich nicht oder wenig genutzte Fischarten soll vermehrt Aufmerksamkeit gewidmet werden.
- Untersuchungen zur Bestimmung des Anteils der natürlichen Reproduktion am Bestandsaufkommen gegenüber den Einflüssen von Besatzmaßnahmen sollen intensiviert werden.
- Die Einführung neuer Fisch- und Krebsarten in den See und sein Einzugsgebiet aus fischereiwirtschaftlichen Gründen ist zu verhindern. Die Entscheidung über die Aussetzung und Förderung bereits bewirtschafteter, aber nicht angestammter Arten oder Rassen muss weiter diskutiert werden. Ihr Einfluss auf das autochthone Fischartenspektrum und die Biozönose des Bodensees muss intensiver untersucht werden.

### Forschungsbedarf

## Literatur

- [1] BREGENZER ÜBEREINKUNFT (1893): Übereinkunft betreffend die Anwendung gleichartiger Bestimmungen für die Fischerei im Bodensee Abgeschlossen in Bregenz am 5. Juli 1893 - <http://www.admin.ch/ch/d/sr/i9/0.923.31.de.pdf>
- [2] UNTERSEEFISCHEREIORDNUNG (1997): Vereinbarung zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und dem Land Baden-Württemberg zur Änderung des Vertrags über die Fischerei im Untersee und Seerhein (Unterseefischereiordnung), 24.11.1997. - [www.admin.ch/ch/d/as/2000/2352.pdf](http://www.admin.ch/ch/d/as/2000/2352.pdf)
- [3] BERG, R. (1993): Über die Fische des Bodensees. - S. 58-72 in: IBKF / Wagner, B., Löffler, H., Kindle, T., Klein, M. & Staub, E. (Hrsg.), Bodenseefischerei Geschichte - Biologie und Ökologie - Bewirtschaftung. Thorbecke Verlag, Sigmaringen
- [4] KRÄMER, A., STAUB, E. & GERSTER, S. (1997 ff): Barschfischerei und Barschbestandsüberwachung im Jahr ... - Bericht zur Internationalen Bevollmächtigten Konferenz für die Fischerei im Bodensee-Obersee (IBKF)
- [5] BERG, R. (2003): Befischungsdruck im Bodensee - Fischereiforschungsstelle Bad.-Württ., mündl. Mitt.
- [6] KLEIN, M. (2001 ff): Die Fischerei im Bodensee-Obersee im Jahre .... - Bayer. Landesanstalt f. Fischerei, Starnberg
- [7] RUHLÉ, C. & KUGLER, M. (2001): Blaufelchen-Fischerei, Felchen-Laichfischfang, Blaufelchen-Bestandsüberwachung; Berichtsjahr 2000. - Bericht zur Internationalen Bevollmächtigten Konferenz für die Fischerei im Bodensee-Obersee (IBKF), 18 S.
- [8] STAUB, E. (1993): Bewirtschaftungsgrundsätze - Von der Bregenzer Übereinkunft zur aktuellen Bewirtschaftungsphilosophie. - in: IBKF / Wagner, B., Löffler, H., Kindle, T., Klein, M. & Staub, E. (Hrsg.), Bodenseefischerei. Geschichte - Biologie und Ökologie - Bewirtschaftung, S. 110-117, Thorbecke Verlag, Sigmaringen
- [9] RÖSCH, R. (1993): Frischbrutanstalten - früher und heute. - in: IBKF / Wagner, B., Löffler, H., Kindle, T., Klein, M. & Staub, E. (Hrsg.), Bodenseefischerei. Geschichte - Biologie und Ökologie - Bewirtschaftung, S. 124-129, Thorbecke Verlag, Sigmaringen
- [10] KINDLE, T. (1993): Zur Entwicklung der Regenbogenforelle im Liechtensteiner Binnenkanal. - *Ber. bot.-zool. Ges. Liechtenstein-Sargans-Werdenberg* 20: 159-161
- [11] LÖFFLER, H. (1996): Neozoen in der Fischfauna Baden-Württembergs - ein Überblick. - S. 217 in: *Gebietsfremde Tierarten* (Hrsg.: Gebhardt, Kinzelbach & Schmidt-Fischer). ecomed, Landsberg
- [12] DÜBLING, U. & BERG, R. (2001): Fische in Baden-Württemberg. - Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg, Stuttgart, 176 S.

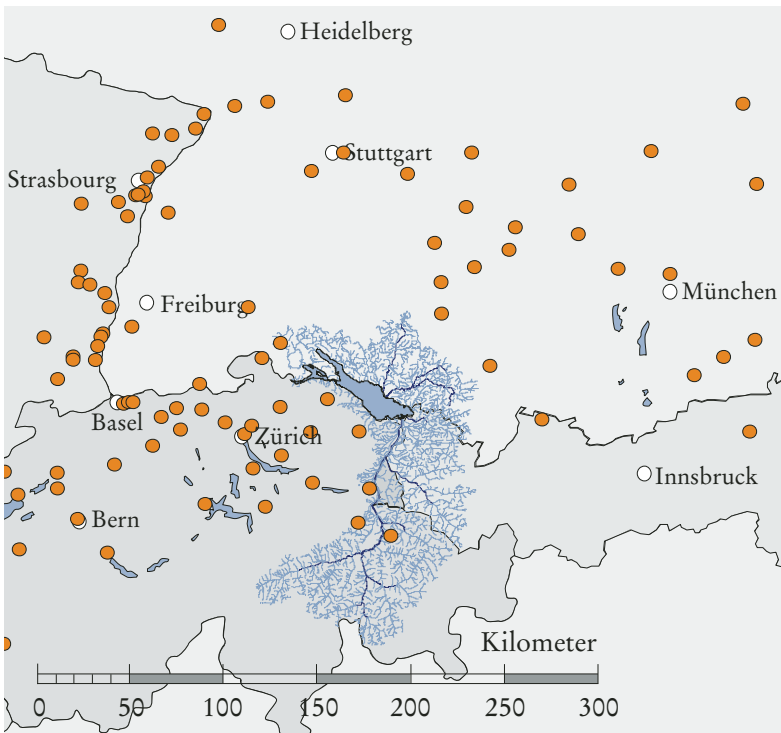
- [13] RÖSCH, R. & SCHMID, W. (1996): Ruffe (*Gymnocephalus cernuus* L.), newly introduced into Lake Constance: preliminary data on population biology and possible effects on whitefish (*Coregonus lavaretus* L.). - *Ann. Zool. Fenn.* 33: 467-471
- [14] HAMERS, R. (2001): Einschleppung von Fischkrankheiten durch fremde Arten - Auch heute noch ein aktuelles Thema in der Fischerei? - *Aquakultur- und Fischereinformationen* 3/2001: 9-13
- [15] RUHLÉ, C.: Krebse im Bodensee. - Amt f. Jagd u. Fischerei St Gallen, schriftl. Mitteilung
- [16] RUHLÉ, C. & KINDLE, T. (1993): Wissenswertes über die Seeforelle - Artenschutzprobleme im Bodensee und in seinem Einzugsgebiet. - in: IBKF / WAGNER, B., LÖFFLER, H., KINDLE, T., KLEIN, M. & STAUB, E. (Hrsg.), *Bodenseefischerei. Geschichte - Biologie und Ökologie - Bewirtschaftung*, S. 92-101, Thorbecke Verlag, Sigmaringen
- [17] INTERNATIONALE BEVOLLMÄCHTIGTENKONFERENZ FÜR DIE BODENSEEFISCHEREI (IBKF) (Hrsg., 1999): *Die Rettung der Bodensee-Seeforelle: Eine Erfolgsstory*. - Informationsbroschüre
- [18] ACKERMANN, G. : Seeforellenaufstieg im Alpenrhein - Jagd- u. Fischerei-Inspektorat Graubünden, mündl. Mitteilung
- [19] INTERNATIONALE BEVOLLMÄCHTIGTENKONFERENZ FÜR DIE BODENSEEFISCHEREI (IBKF) (1988): *Grundsätze der fischereilichen Bewirtschaftung des Bodensee-Obersees und seiner Zuflüsse*. -
- [20] GYSIN, B. (1996): *Die Fische und Krebse der Schweiz*.- Fischereiinspektorat des Kantons Bern, CD

### 3.10 Atmosphärische Einträge

#### 3.10.1 Bisherige Entwicklung

Aus der Verbrennung fossiler Brenn- und Treibstoffe, industriellen Prozessen und durch die Landwirtschaft werden jährlich große Mengen von Gasen, Aerosolen und Staubteilchen in die Atmosphäre abgegeben. Der Schadstoffgehalt der Luft wird sowohl durch die Emissionen lokaler und regionaler Quellen als auch durch den Schadstofftransport aus weiter entfernt liegenden Räumen bestimmt (Abb. 3.10-1).

**Die Luftqualität wird auch durch weit entfernte Quellen bestimmt**



● Potenzielle Emissionsquellen von Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) im erweiterten Bodenseeraum. Aufgenommen sind industrielle und Müll-Verbrennungsanlagen. Datenquellen unterschiedlicher Informationsdichte (Stand 1999-2002)

Abb. 3.10-1: Karte potenzieller Emissionsquellen für Luftschadstoffe [nach 1, 2, 17, 18, 19]

Die Luftqualität des Bodenseeraums konnte in den letzten Jahren hinsichtlich der meisten Luftschadstoffe durch nationale gesetzliche Maßnahmen verbessert werden. Nach wie vor hohe Belastungen, vor allem an *Feinstaub* und *Stickoxiden*, werden jedoch durch den Verkehr verursacht (s. Kap. 3.5).

**Verbesserungen durch gesetzliche Vorgaben**

Die Belastung durch bodennahes *Ozon* wird gleichfalls in erster Linie von Verkehrsemissionen und der Wetterlage beeinflusst. Die vorindustriellen Ozonwerte lagen zwischen 20 und 30 µg/m<sup>3</sup>, mit Spitzenwerten zwischen 60 und 80 µg/m<sup>3</sup> Luft [3]. Im Sommer 1999 wurde im Bodenseegebiet der EU-Schwellenwert für die Unterbringung der Bevölkerung von 180 µg/m<sup>3</sup> (1-Stunden-Mittelwert) an 8 der 38 Dauermessstationen überschritten, der Grenzwert der Schweiz für das höchstzulässige Ozon-Stundenmittel (120 µg/m<sup>3</sup>) an 24 Stationen [3]. Zusammen mit den Stickoxiden sind die flüchtigen organischen Verbindungen (*VOC = volatile organic compounds*) Vorläufersubstanzen für die Ozonbildung. Wie am Beispiel von St. Gallen für die wichtigsten VOC-Substanzen dargestellt (Abb. 3.10-2), sind in den letzten Jahren deutliche Rückgänge der VOC-Emission zu beobachten.

Eine deutliche Reduktion der Belastung mit *Grobstaub* wurde durch emissionsbegrenzende Maßnahmen vor allem im industriellen Bereich erreicht. Kaum vermindert wurden hingegen die *Feinstaubemissionen*. Im Bodenseeraum lagen 1999 die Konzentrationen von Staubteilchen mit einem mittleren Durchmesser von weniger als 10 µm meist im Bereich von 20-25 µg/m<sup>3</sup> (Grenzwert EU-Richtlinie = 40 µg/m<sup>3</sup>). Der in der Schweiz und Liechtenstein geltende strengere Grenzwert von 20 µg/m<sup>3</sup>

**Der Feinstaubniederschlag ist noch immer zu hoch**

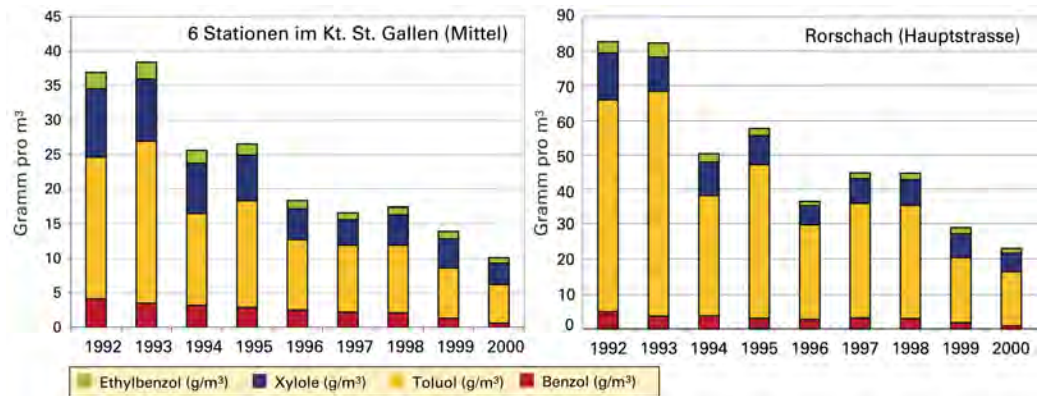


Abb. 3.10-2: Jahresmittelwerte der VOC-Passivsammler (Mittel von 6 Stationen im Kanton St. Gallen) [nach 4]

wurde nur an zwei der 18 Messstellen eingehalten. Die Belastung durch *Staubniederschlag* lag an 2/3 der 81 Messpunkte unter 100 mg/m<sup>2</sup>d (Grenzwert nach Schweizer Luftreinhalte-Verordnung = 200 mg/m<sup>2</sup>d). Höhere Belastungen wurden im Nahbereich verkehrsreicher Straßen gemessen [3]. Die *Blei-* und *Cadmium*gehalte im Schwebstaub und im Staubniederschlag lagen weit unter den jeweiligen Grenzwerten. Auf einen in den 1960/70er-Jahren deutlich höheren atmosphärischen Eintrag an Schwermetallen weisen Untersuchungen der Bodenseesedimente hin (s. Kap. 2.3). Der Eintrag über die Atmosphäre ist bei Blei der Haupteintragsweg in Seen.

Die Belastung der Luft mit *Schwefeldioxid* hat in Bezug auf die Beurteilungswerte der EU-Richtlinie und der Schweizer Luftreinhalte-Verordnung [5] ein sehr niedriges Niveau erreicht. Der im Bodenseeeinzugsgebiet 1999 gemessene Maximalwert lag bei rund 50 % des EU-Grenzwertes für Ökosysteme (20 µg/m<sup>3</sup>) [3].

Erhöhte Gehalte an *polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK)* wurden 1997/98 bei Expositionsversuchen mit Pflanzenblättern im Raum Friedrichshafen/Ravensburg festgestellt. Die Werte lagen dabei um das 10- bis 20-fache über der Hintergrundbelastung [6]. Daneben wurden in der Mehrzahl der Exponate über dem MID-Wert für Futtermittel (maximale Immissionsdosis nach VDI 2310-32: 2 ng/g TS) liegende Konzentrationen an *polychlorierten Biphenylen (PCB)* nachgewiesen. Nach dem Verbot der PCB-Herstellung in Deutschland seit 1989 gelangt PCB immer noch durch unsachgemäße Verbrennung oder durch die Verdampfung aus PCB-haltigen Materialien in die Umwelt.

Eine Belastung des Bodenseeeinzugsgebiets durch den Eintrag *radioaktiver Stoffe* wurde durch die Kernwaffentests in den 1950/60er Jahren und durch den Unfall im Reaktor Tschernobyl am 26. April 1986 verursacht. Die durch die Reaktorkatastrophe in Tschernobyl freigesetzte Radioaktivität wurde durch großräumige Luftverfrachtungen über weite Räume Europas verteilt. Im Bodenseegebiet gelangten große Mengen radioaktiver Stoffe mit dem Niederschlag am 30. April 1986 zur Deposition (*fall-out*). Die mittlere <sup>137</sup>Cs-Deposition (radioaktives Cäsium) im Einzugsgebiet lag bei 7,6 kBq/m<sup>2</sup> [7]. Unterschiede ergaben sich entsprechend der regionalen Verteilung der Niederschläge.

### 3.10.2 Auswirkungen auf den See

Durch trockene oder nasse Deposition gelangen Stoffe aus der Atmosphäre direkt auf die Oberfläche des Sees und seiner Zuflüsse. Ein indirekter Eintrag erfolgt mit Stoffen, die im Einzugsgebiet deponiert und zum Teil durch Abschwemmung, Erosion und Auswaschung ausgetragen werden („diffuser Stoffeintrag“).

**Die radioaktive Wolke aus Tschernobyl erreichte nach vier Tagen den Bodensee**

Potenzielle Belastungen des Sees ergeben sich aus der Nährstoffwirkung, aus möglichen toxischen Wirkungen eingetragener Stoffe oder der Anreicherung von persistenten Stoffen in Organismen und im Sediment. Eine Beeinträchtigung des Bodensees durch den aus den Vorläufersubstanzen  $\text{SO}_x$  und  $\text{NO}_x$  gebildeten „sauren Regen“ ist angesichts der Puffereigenschaften des Bodenseewassers (pH um 8) nicht zu erwarten.

**Eintrag von Nährstoffen**

Eine wesentliche Komponente des Nährstoffeintrags aus der Atmosphäre ist, neben Phosphor und Schwefel, der Stickstoff, der bei trockener Deposition überwiegend als  $\text{NO}_3$ , bei nasser Deposition überwiegend als  $\text{NH}_4$  in die Ökosysteme eingetragen wird [8]. Im Jahr 1997 gelangten rund 490 t Stickstoff, 920 t Schwefel und 17 t Phosphor mit dem Niederschlag direkt auf die Seeoberfläche (Ober- und Untersee) [9]. Nochmals die 2- bis 6-fache Menge kommt beim Stickstoff als trockene Deposition hinzu [8, 10]. Zum gesamten Stickstoffeintrag in den See tragen die atmosphärischen Einträge auf die Seeoberfläche jedoch nur mit einem geringen Anteil bei (Abb. 3.10-3). Allerdings wirkt sich darüber hinaus die atmosphärische Stickstoff-Deposition im Gesamteinzugsgebiet über den Gebietsabfluss indirekt auf die Konzentrationen im See aus [9]. Der Eintrag mit dem Niederschlag sowohl von Stickstoff als auch von Phosphor wurde im Zeitraum zwischen 1971/72 und 1996/97 deutlich reduziert (Abb. 3.10-4).

**Der Bodensee puffert den „Sauren Regen“ ab**

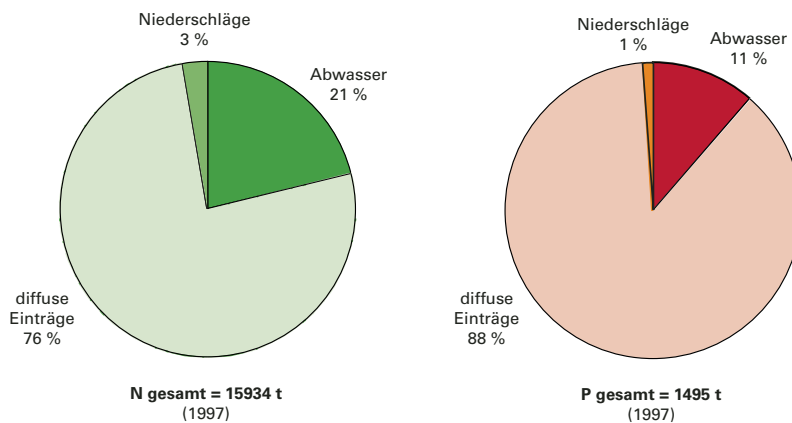


Abb. 3.10-3: Anteile von Niederschlag auf die Seefläche (ohne trockene Deposition) im Vergleich zu Abwassereinträgen und diffusen Einträgen an den Nährstoff-Frachten zum Bodensee-Obersee, 1997 [9]

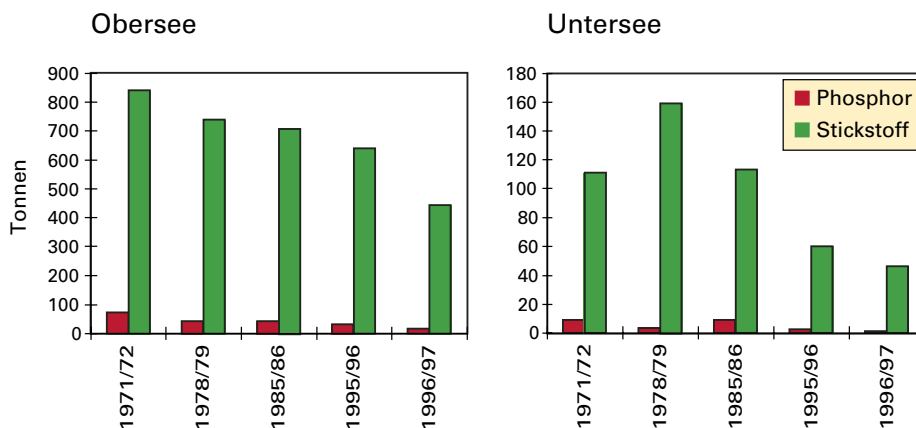


Abb. 3.10-4: Entwicklung der Stofffrachten im Niederschlag auf den Obersee und Untersee, 1971/72-1996/97 [9]

*Eintrag von Schadstoffen (PCB, Schwermetalle, radioaktive Stoffe)*

In Oberflächensedimenten wurden 1980 PCB-Gehalte (polychlorierte Biphenyle) von bis zu 270 µg/kg (Tiefer Schweb) festgestellt [11]. In den Bodenseezuflüssen und im Freiwasser des Sees wurden die toxischen und inzwischen weitgehend verbotenen PCB bisher nicht nachgewiesen [12]. Eine Beurteilung der Gefährdung durch PCB ist derzeit nicht möglich, da neuere Daten zur Belastung des Sediments bzw. der toxischen Wirkung auf die relevanten Lebewesen des Seegrundes fehlen.

In den Seesedimenten zeigen die meisten Schwermetalle eine maximale Konzentration in den auf 1956–63 zu datierenden Schichten. Diese Belastungen dürften zu einem beträchtlichen Teil aus atmosphärischen Einträgen stammen. 1995 lagen die Konzentrationen bereits wieder im Bereich unbedenklicher Hintergrundwerte (s. Kap. 2.3). 1976-79 betrug der jährliche Schwermetalleintrag aus der Atmosphäre 11000 ng/cm<sup>2</sup> Blei, 8 400 ng/cm<sup>2</sup> Zink, 714 ng/cm<sup>2</sup> Kupfer und 20 ng/cm<sup>2</sup> Cadmium [13]. Für 1999 lässt sich aus Messungen im Einzugsgebiet ein weiterer deutlicher Rückgang der atmosphärischen Schwermetalleinträge erkennen [3].

Der Eintrag an <sup>137</sup>Cs-Radionukliden in den Bodensee während der Kernwaffentests in den 1950/60er Jahren summierte sich auf 3,6 kBq/m<sup>2</sup>, abgeleitet aus Bodenprofilen von Konstanz und Lindau [14]. Nach dem Tschernobyl-Unfall 1986 erfolgte im Obersee ein direkter Eintrag radioaktiver Stoffe von 14-17 kBq/m<sup>2</sup> <sup>137</sup>Cs auf die Wasseroberfläche [14] (Kap. 2.2, Abb. 2.2-8). Hinzu kamen die in der Folgezeit mit den Zuflüssen aus dem Einzugsgebiet eingeschwemmten Radionuklide. Nach dem Reaktorunfall ging die Konzentration an gelöstem <sup>137</sup>Cs in der Wassersäule durch Ausschwemmung und Adsorption an Tonminerale sehr rasch zurück (vgl. Kap. 2.2).

**Der historische Eintrag von Schadstoffen zeigt sich in den Seesedimenten**

**Kernwaffentests und Tschernobyl-Unfall sind noch heute im Bodensee-Sediment nachweisbar**

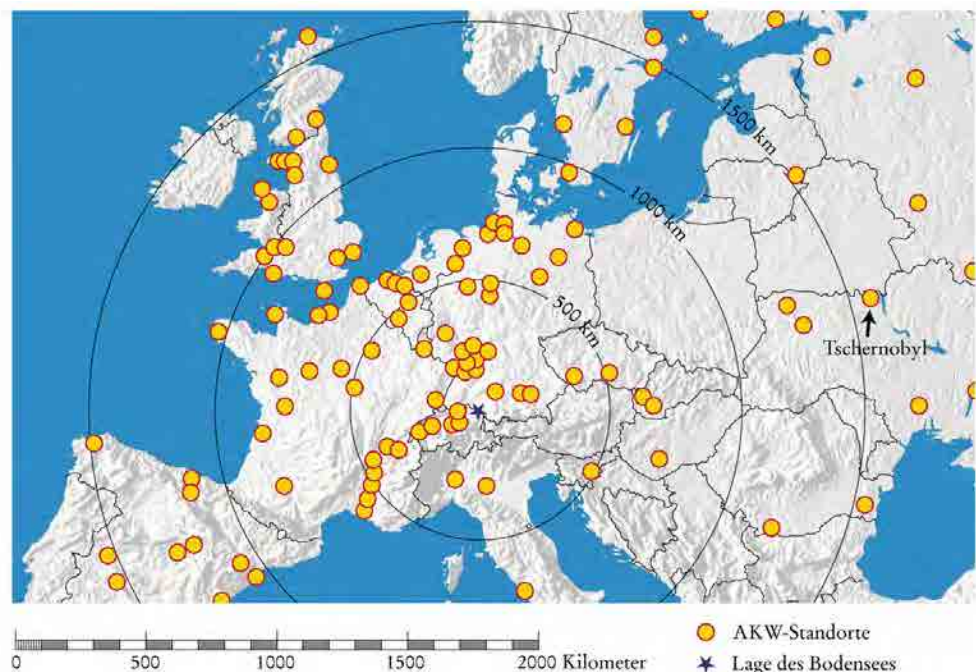


Abb. 3.10-7: - AKW-Standorte in Europa (Stand 2002) [nach 15]

**3.10.3 Handlungserfordernisse**

Bei den meisten Luftschadstoffen konnte in den letzten Jahren ein Rückgang der Belastung erreicht werden. Die Bemühungen zur Reduktion der verkehrsbedingten Immissionen wurden jedoch durch die Zunahme des Verkehrsaufkommens weitge-

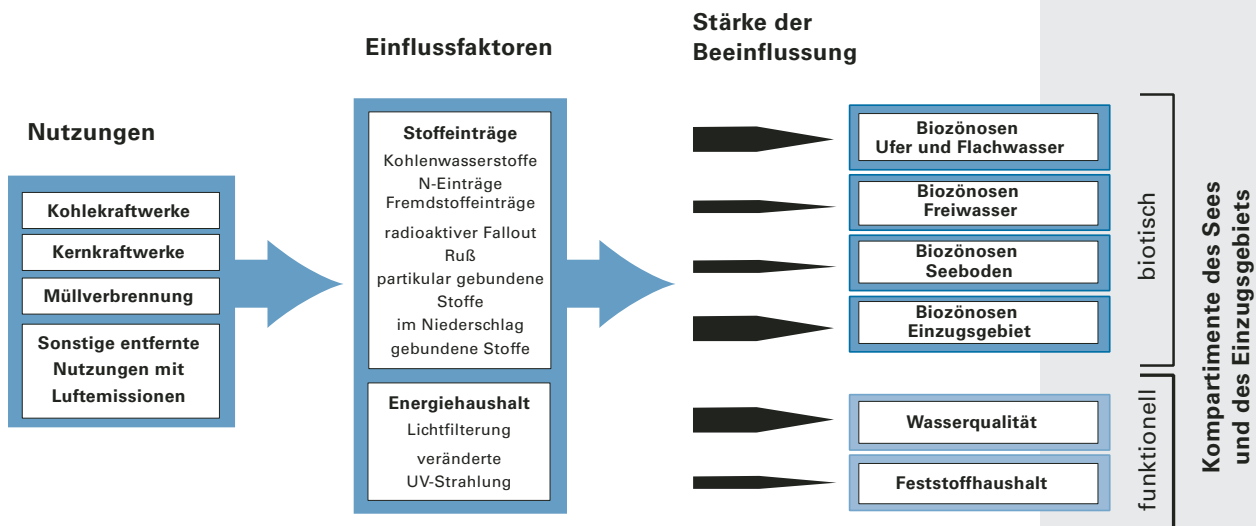


Abb. 3.10-7: - Einflüsse atmosphärischer Einträge auf den See

hend kompensiert. Der Schwerpunkt regionaler, nationaler und internationaler Bemühungen zur Reinhaltung der Luft wird daher im Bereich „Minderung der verkehrsbedingten Belastungen“ liegen. Entsprechende Handlungserfordernisse für den Bodenseeraum werden im Kapitel 3.5 dargestellt.

Im Sinne des Vorsorgeprinzips muss die Entwicklung der Luftqualität im Bodenseeraum durch ein zeitlich und räumlich engmaschiges Messprogramm intensiver überwacht werden. Regional wird dies bereits beispielhaft im Projekt "Ostluft" der Schweizer Kantone und Liechtensteins verwirklicht [16]. Es ist geplant, die Messergebnisse der vorhandenen Messsysteme der Länder und Kantone der Bodenseeregion in einem gemeinsamen Internetauftritt zugänglich zu machen. Die Unterschiede in den nationalen Gesetzgebungen in Bezug auf Grenzwertfestlegungen bedingen bisher zum Teil unterschiedliche Strategien und Messnetze [3]. Um die Vergleichbarkeit der nationalen Messdaten zu gewährleisten, müssen die Messmethoden abgestimmt werden.

- Überwachung der Luftqualität im Bodenseeraum durch ein zeitlich und räumlich engmaschiges Messprogramm
- Einrichtung und Koordination eines grenzüberschreitenden Luftgüte-Überwachungssystems für den Bodenseeraum.

**Koordinationsbedarf**

**Handlungserfordernisse**

**Literatur**

[1] BUWAL, Bern: KVA, Reaktor- und Reststoffdeponien in der Schweiz 2001. - [http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg\\_abfall/anlagen/verbrennung/](http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_abfall/anlagen/verbrennung/)

[2] MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR, BADEN-WÜRTTEMBERG: Entsorgungsanlagen in Baden-Württemberg (Teilbericht 5 der Abfallbilanz 2001) - <http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/uvm/abt2/abfallbilanz2001/5Entsorgungsanlagen.pdf>

[3] ARBEITSGEMEINSCHAFT EMCH+BERGER AG & UMEG (2001): Grenzüberschreitende Bewertung der Luftqualität im Bodenseeraum - Abschlussbericht. - Auftraggeber: Projektrat des INTERREG II-Projektes "Grenzüberschreitende Bewertung der Luftqualität im Bodenseeraum", 101 S.

[4] KANTON ST. GALLEN, AMT FÜR UMWELTSCHUTZ & KANTON THURGAU, AMT FÜR UMWELT (Hrsg., 2001): Luftschadstoff-Belastung in den Kantonen St. Gallen und Thurgau, Messergebnisse 2000. - 30 S.

[5] LUFTREINHALTEVERORDNUNG (LRV) vom 16. Dezember 1985 (Stand 28. März 2000). - [www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.318.142.1.de.pdf](http://www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.318.142.1.de.pdf)

- [6] UMEG Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen mbH (1998): Immissions- und Wirkungsuntersuchungen im Raum Friedrichshafen/Ravensburg 1997/98. - Bericht Nr. 31-1/98. 140 S.
- [7] INTERNATIONALE GEWÄSSERSCHUTZKOMMISSION FÜR DEN BODENSEE (1987): Die Entwicklung der Radioaktivität im Bodensee nach dem Unfall Tschernobyl. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 36, 75 S., Eigenverlag
- [8] BADEN-WÜRTTEMBERG, LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (Hrsg., 2000): Ferntransporte von Luftverunreinigungen nach Baden-Württemberg. - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. Luftqualität, Lärm, Verkehr 3, 35 S.
- [9] BÜHRER, H., KIRNER, P. & WAGNER, G. (2000): Dem Bodensee in den Abflussjahren 1996 und 1997 zugeführte Stofffrachten. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 53, 42 S., Eigenverlag
- [10] NEFTEL, A. & WANNER, H. (1994): Stickstoffeintrag aus der Luft in ein Naturschutzgebiet. - Umwelt-Materialien Nr. 28, BUWAL, Bern, 135 S.
- [11] ROBKNECHT, H. (1984): Schadstoffe in Bodensee-Sedimenten. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 31, 45 S., Eigenverlag
- [12] KRIEGER, H., LAMPERTSDÖRFER, T. & DIETRICH, D. R. (2001): Status- und Strategiebericht Schadstoffe und ihre ökotoxikologische Relevanz für den Bodensee. - interner Bericht i. A. der IGKB, Konstanz
- [13] SIGG, L., STURM, M., STUMM, W., MART, L. & NÜRNBERG, H. W. (1982): Schwermetalle im Bodensee - Mechanismen der Konzentrationsregulierung. - Naturwissenschaften 69: 546-547
- [14] MANGINI, A., CHRISTIAN, U., BARTH, M., SCHMITZ, W. & STABEL, H. H. (1990): Pathways and Residence Times of Radiotracers in Lake Constance. - in: Large Lakes. Ecological Structure and Function. Tilzer, M. & Serruya, C. (Hrsg.). - Springer-Verlag, Berlin
- [15] INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY CENTER (2003): AKW-Standorte - Maps of Nuclear Power Reactors: Europe.- <http://www.insc.anl.gov/pwrmaps/map/europe.php>
- [16] OSTLUFT Homepage: - <http://www.ostluft.ch>
- [17] DIRECTION RÉGIONALE DE L'INDUSTRIE, DE LA RECHERCHE ET DE L'ENVIRONNEMENT ALSACE (2003): Bilan de l'Environnement. Industrie & Environnement en Alsace 2003.- <http://www.alsace.drire.gouv.fr/envoronnement/bilan2003>
- [18] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2001): Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2001. Abfallbericht. - Wien
- [19] UMWELTBUNDESAMT WIEN (2003): Abfallwirtschaftliche Verwertungs- und Behandlungsanlagen (Datenbank). - <http://www.umweltbundesamt.at/umwelt/abfall/datenbanken/anlage-stoffe/anlagen/>



## 3.11 Klima und Witterung

### 3.11.1 Entwicklung und heutiger Zustand / Prognose

#### *Das Klima im Bodenseegebiet*

Der Bodensee liegt in der warmgemäßigten feuchten Klimazone, im Einflussbereich von atlantischem und kontinentalem Klima. Aus westlicher Richtung erhält der Bodenseeraum feuchte Meeresluft, aus dem Osten vorwiegend trockene, kühle Kontinentalluft. Daneben ist der Raum vom Alpenföhn betroffen, der das Rheintal wie einen Kanal durchströmt und auf den östlichen Teil des Obersees bis etwa Friedrichshafen hinausströmt.

Die Jahresmitteltemperatur beträgt 8-9 °C, das Januarmittel liegt um -1°C, das Juli- mittel bei +18°C [1]. Die große Wassermasse des Sees wirkt ausgleichend auf die Lufttemperaturen der Umgebung: In den Monaten Februar bis Juli speichert das Wasser eine Wärmemenge von durchschnittlich  $585 \times 10^{15}$  Joule, welche von August bis Januar wieder an die Umgebung abgegeben wird [2]. Der milde Winter und eine frostfreie Periode von rund 210 Tagen ermöglichen am See den Anbau temperatur- empfindlicher Pflanzenkulturen. Die Niederschläge nehmen infolge des Staueffekts der Alpen von West nach Ost zu: in Radolfzell fallen durchschnittlich 805 mm im Jahr, in Konstanz 847 mm, in Romanshorn 900 mm und in Bregenz 1 380 mm. Der Anteil der Schneefälle am Niederschlag beträgt bei der Wetterstation Romanshorn derzeit 17%, wobei eine sinkende Tendenz zu verzeichnen ist [3].

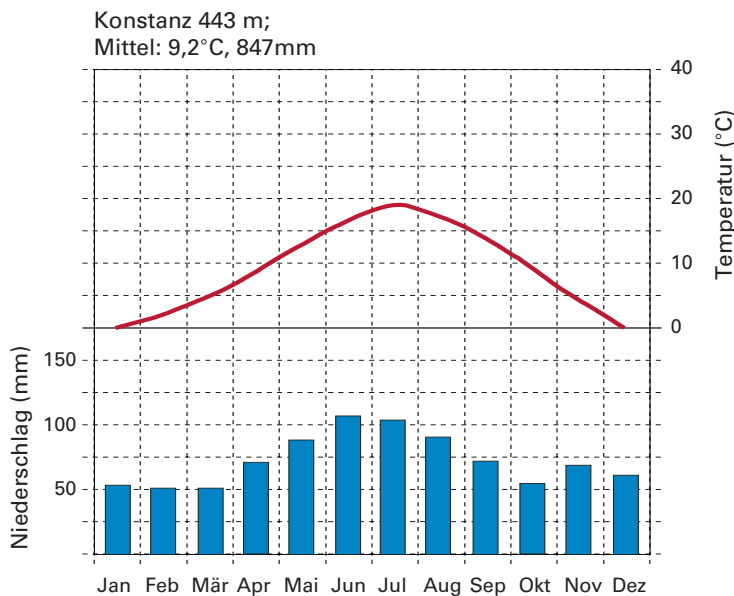


Abb. 3.11-1: Temperaturverlauf und Niederschläge im Mittel der Jahre 1961-1990 in Konstanz [nach 4].

Neben dem großräumigen Windsystem und dem regionalen Einfluss des Alpenföhns wirkt am Bodensee die auch für Meeresküsten typische Erscheinung der See- und Landwinde, die aus der unterschiedlichen Lufterwärmung über dem Wasser und über dem Land resultiert.

#### *Klimaänderungen*

Das mitteleuropäische Klima unterliegt nach dem Ende der letzten Kaltzeit starken Schwankungen. Für die letzten 1000 Jahre lassen sich für Süddeutschland mittelfri-

**Warmgemäßigtes  
Klima und Alpenföhn**

**Das Klima im Boden-  
seegebiet ist günstig  
für empfindliche  
Pflanzenkulturen**

**Schneefälle sind  
rückläufig**

### Viele Klimaschwankungen seit der letzten Eiszeit

Das fast völlige Zufrieren des gesamten Bodensees, eine "Seegfrörne", ereignete sich zum letzten Mal im Februar und März des Jahres 1963. Seither entwickelte sich eine durchgehende Eisdicke nur noch in einigen Teilen des Bodensee-Untersees.

Fotos [j,a]; Foto links unten [m]

stige Temperaturvariationen von bis zu 1,5°C nachweisen [5]. Während der „Kleinen Eiszeit“ kam es am Bodensee im 14.-16. Jahrhundert zu einer Abkühlung mit einer Häufung von Seegfrörne-Ereignissen. Im 20. Jahrhundert hingegen hat die Durchschnittstemperatur global um 0,6°C ± 0,2°C zugenommen [6]. Mitverursacht wird dies nach heutiger Erkenntnis durch die anthropogene Verstärkung des Treibhauseffekts durch die zunehmende Emission treibhauswirksamer Gase.



### Deutliche Temperaturzunahme im Winter

Am Bodensee nahmen im Zeitraum zwischen 1880 und 1997 die Jahrestemperaturen nach Aufzeichnungen der Wetterstation Romanshorn um 1,5°C zu. Deutliche Temperaturzunahmen um bis zu 2°C werden vor allem für die Wintermonate verzeichnet [3]. Ein deutlicher Temperaturanstieg war in den letzten 40 Jahren auch in

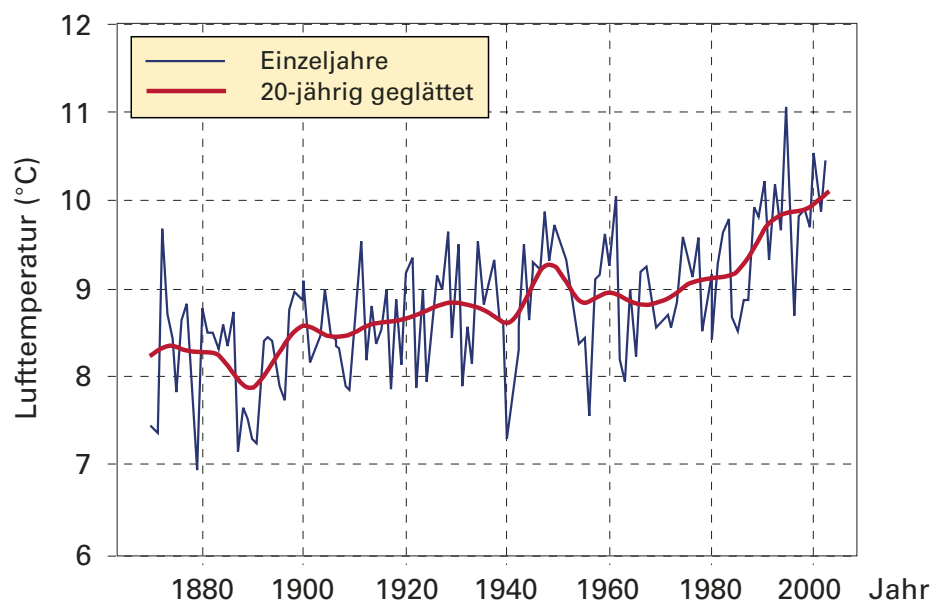


Abb. 3.11-2: Verlauf der mittleren Jahrestemperaturen in Bregenz seit 1880 [7].

Bregenz zu verzeichnen (Abb. 3.11-2). Im Rahmen des Projektes „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ (KLIWA, seit 1999) wurden Änderungen der Klimagrößen und des Wasserhaushalts im regionalen Bereich für Baden-Württemberg und Bayern untersucht. Hier wurden für das 20. Jahrhundert folgende Trends festgestellt (KLIWA-Symposium 2000, [8]):

- Zunahme der winterlichen Starkniederschlagshöhen im Zeitraum 1931-98, in großen Teilen Baden-Württembergs um bis zu 40 % des Mittelwertes der Extremwertserien.
- Häufung der Niederschlagsextremwerte in einem Zeitraum von ca. 10-15 Jahren vor und einschließlich 1995, keine weitere Zunahme bis 1998.
- Abnahme der mittleren Schneedeckendauer im Zeitraum 1951/52 bis 1995/96 in Abhängigkeit von der Höhenlage (in den unteren Höhenlagen um 40 % und mehr, in Kamm- und Gipfelbereichen um < 10 %).
- Abnahme der Jahressummen der potenziellen Verdunstung im Zeitraum 1931-1996. Verminderung der potenziellen Verdunstung im Sommer, Zunahme im Winter.

Mit Hilfe von Klimamodellen wird versucht, den Einfluss der klimarelevanten Gase auf das zukünftige Klima zu berechnen. Die Modellierungen beruhen auf Szenarienberechnungen, bei denen der künftige Ausstoß von Treibhausgasen und die Verteilung von Aerosolen variiert werden.

Mit den neuerdings - ausgehend von Globalmodellen - entwickelten Regionalmodellen wird versucht, für kleinere Gebietseinheiten künftige Änderungen des Klimas und deren Auswirkungen vorausszusagen. Ob allerdings der derzeitige Stand der Klimaforschung belastbare Aussagen über Klimaänderungen auf regionaler Ebene zulässt, wird noch diskutiert.

Für Bayern bzw. den süddeutschen Raum wurde im Rahmen des Bayerischen Klimaforschungsprogrammes (BayFORKLIM) ein regionales Klimamodell entwickelt [9]. Alpenraum und Bodenseeregion sind teilweise in die Modellierung miteinbezogen. Bei einer Verdopplung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes gegenüber 1990 würden sich nach diesem Modell folgende Änderungen des regionalen Klimas ergeben [9]:

- Die im Winter in Mitteleuropa vorherrschende westliche Anströmung nimmt an Intensität zu. Dies führt zu einer leichten Erwärmung und Niederschlagszunahme im Winter.
- In den Sommermonaten wird im Mittel die Zufuhr atlantischer Luftmassen schwächer, so dass in Süddeutschland der kontinentale Einfluss stärker werden kann. Die Sommer werden deutlich wärmer und trockener, wobei die gravierendsten Veränderungen im Bodenseegebiet auftreten.
- Insgesamt nimmt die Jahresmitteltemperatur um rund 2 bis 2.5 Grad zu.

#### *Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen*

Künftige Veränderungen des Abflussgeschehens können angesichts der prognostizierten Änderungen von Klimagrößen auch für das Einzugsgebiet des Bodensees nicht ausgeschlossen werden:

- Die prognostizierte weitere Zunahme der Niederschläge im Winter führt zusammen mit der steigenden Schneefallgrenze zu einer Zunahme der Winterabflüsse.

**Klimatrends im Bodenseegebiet**

**Regionale Klimaprognosen und -modelle**

**Mehr Hochwasser im Winter**

**Abschmelzen der Gletscher**

- Die mittlere Hochwasserhäufigkeit wird im Winter eher steigen und im Sommer eher etwas abnehmen. Die Resultate betreffend der Tendenzen des sommerlichen Niederschlagsklimas sind jedoch unsicher.
- In vergletscherten Einzugsgebieten werden die sommerlichen Abflüsse dank des Schmelzwassers zunächst eher zunehmen. Mit zunehmendem Gletscherschwund wird jedoch die Anzahl und Dauer der Niedrigwasserführung von glazial beeinflussten Gewässersystemen besonders in trockenen Sommermonaten zunehmen.
- Als Folge der Zunahme von Starkniederschlägen kann die Erosion und damit der Stoffeintrag in die Gewässer (Feststoffe, Nährstoffe, Schadstoffe) erhöht werden.

**Vermehrte Erosionen im Einzugsgebiet**

Die Erforschung der Auswirkungen der sich abzeichnenden *Klimaänderungen* auf das Seegeschehen steht erst in ihren Anfängen. Erste Arbeiten zu diesem Thema wurden in den letzten Jahren begonnen [z. B. 11, 12].

**3.11.2 Auswirkungen auf den See***Wasserstand***Veränderungen der Bodensee-Wasserstände**

Mögliche Folge einer Klimaerwärmung und Zunahme der Trockenheit im Sommer ist eine geringere Wasserzufuhr durch die Flüsse und eine höhere Verdunstung aus dem See. Aus den fallenden Wasserständen würden sich Auswirkungen auf Ufervegetation und Fauna – wie die Beschneidung der Brutgebiete – ergeben. Tatsächlich wurden für die letzten 100 Jahre deutliche Veränderungen der Bodensee-Wasserstände festgestellt (s. Kap. 1). So fielen die jährlichen Höchstwasserstände des Obersees in dieser Zeit um 27 cm und die des Untersees um 25 cm. Auch die mittleren Wasserstände sind im Obersee um 16 cm gefallen [13]. Als Ursache werden Veränderungen der hydraulischen Bedingungen – Abgrabungen, Bauwerke, Erosionsvorgänge im Seeauslauf und der Wasserrückhalt durch Speicherkraftwerke im Einzugsgebiet – genannt. Inwieweit Klimaänderungen zum Fallen der Wasserstände beitragen bzw. beitragen werden, ist ungewiss.

*Temperaturhaushalt***Leichter Anstieg der Seetemperatur**

Im Zeitraum 1964-1996 variierte die Jahresdurchschnittstemperatur im Freiwasser des Obersees zwischen 5,0 °C und 6,3 °C, der Mittelwert über die 33 Jahre lag bei 5,7 °C (Abb. 3.11-3). Es lassen sich mehrere Erwärmungs- und Abkühlungsphasen unterscheiden. Es ist jedoch auch eine insgesamt leicht steigende Tendenz der Seetemperatur seit Beginn der Messreihe festzustellen. Inwieweit diese Tendenz bereits eine globale Erwärmung nachzeichnet, ist unklar, da die klimatologischen Verhältnisse äußerst komplex sind und ihr Einfluss auf die Seetemperatur nicht aus kurz- und mittelfristigen Schwankungen abgeleitet werden kann [14].

*Schichtungs- und Zirkulationsverhalten***Mögliche Probleme bei der Wasserdurchmischung**

Die limnologisch bedeutsame winterliche Tiefenwassererneuerung und Sauerstoffregeneration werden im Wesentlichen von folgenden Prozessen bestimmt: Vertikalzirkulation / Konvektion, seitliches Einströmen von schwerem kalten Oberflächenwasser aus flacheren Randbereichen des Sees und tiefe Einschichtung von Flusswasser. Alle diese Prozesse sind stark temperaturgesteuert und setzen kalte Winter voraus. Der derzeitige Trend der Klimaentwicklung lässt künftig eine Reihe aufeinander folgender Jahre mit unvollständiger Zirkulation im Bodensee wahrscheinlicher werden als früher [15]. Dadurch würden die sonst regelmäßig bis in größte Tiefe wirkenden Austauschvorgänge länger unterbrochen mit der Folge einer „Alterungstendenz der untersten Schichten“ [11].

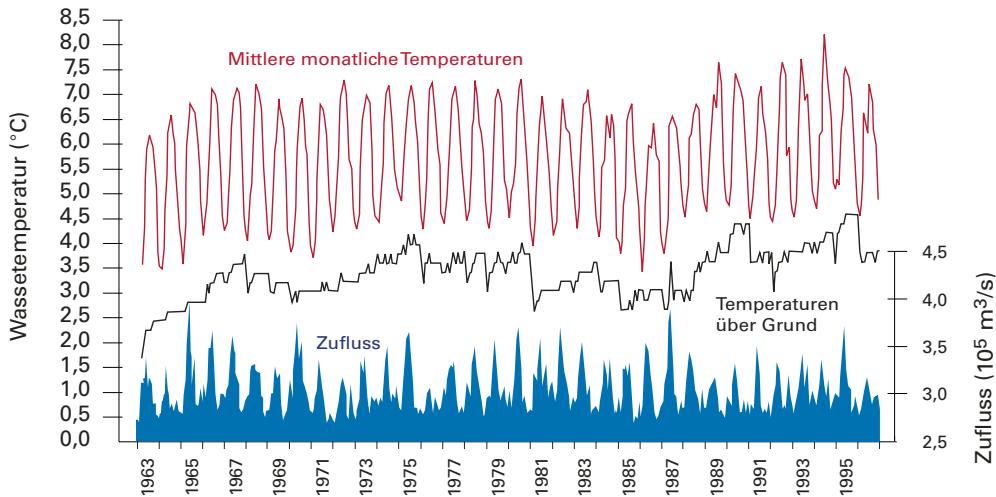


Abb. 3.11-3: Mittlere monatliche Temperaturen im Freiwasser des Obersees, Temperaturen in 1 m über Grund und mittlere monatliche Zuflussmenge, 1963-96 [nach 14]

### Nährstoffhaushalt

Mit einer verstärkten Erosion als mögliche Folge einer klimabedingten Zunahme von Starkniederschlägen wäre ein erhöhter Feststoff- und Nährstoffeintrag in die Gewässer verbunden. Das Niederschlagswasser selbst könnte durch ein häufigeres Anspringen der Regenentlastungen einen zusätzlichen Eintrag ungenügend behandelter Abwässer in die Seezuflüsse bewirken.

### Biologische Systeme

Die – als Folge des Abbaus stratosphärischen Ozons („Ozonloch“) - erhöhte UV-Strahlung kann Veränderungen im Plankton des Sees hervorrufen. Bei Untersuchungen im Rahmen des Bayerischen Klimaforschungsprogramms wurde ein hemmender Einfluss von UV-B-Strahlung auf die Sauerstoffproduktion von *Euglena gracilis*, einer auch im Bodensee vorkommenden Flagellatenart, nachgewiesen. Bis in Wassertiefen von 15-20 cm wurden sogar letale Schädigungen an Zooplanktern festgestellt. Jedoch dürften auch in größeren Tiefen noch subletale Schäden, die sich auf das Populationswachstum negativ auswirken würden, möglich sein [9]. Besonders im Flachwasserbereich muss mit Schädigungen der Biozöosen bei einer Erhöhung der UV-Einstrahlung gerechnet werden.

#### 3.11.3 Handlungserfordernisse

Die Auswirkungen der globalen Klimaänderung auf den Bodensee sind bisher noch nicht ausreichend bekannt. Die Klimamodellierungen im Rahmen des Programms BayFORKLIM, in denen Bodensee- und Alpengebiet zum Teil miterfasst wurden, erlauben erste Einschätzungen bezüglich der künftigen Änderung des Klimas und der damit verbundenen Auswirkungen. Einzelne Korrelationen zwischen klimatischen und biologischen Phänomenen im Bodensee wurden bereits beschrieben [16]. Zur Erweiterung der Kenntnisse wäre eine speziell auf das Bodenseeeinzugsgebiet bezogene Klimamodellierung wünschenswert. Einbezogen werden müssten Untersuchungen zu Folgen erhöhter UV-Strahlung für die Gewässerorganismen.

**Stoffeinträge durch vermehrte Erosionen**

**Schädigung der Biozöosen durch verstärkte UV-Einstrahlung**

**Forschungsbedarf**

*Weiterer Forschungsbedarf*

- Die vorhandenen Klimamodelle sollen so verfeinert werden, dass sie eine auf das Bodenseeeinzugsgebiet bezogene Klimamodellierung erlauben.
- Der Datenbestand der bereits bestehenden Messnetze soll auf seine Kompatibilität kontrolliert und verfügbar gemacht werden.
- Für die klimarelevanten Größen sollte, unter Einbeziehung bestehender Messstellen, ein auf ein Langzeitmonitoring ausgerichtetes koordiniertes Messnetz geschaffen werden.
- Szenarien zur Auswirkung von Klimaveränderungen auf die hydrologischen Verhältnisse im Einzugsgebiet und auf die Lebensräume des Sees sollen erarbeitet werden.

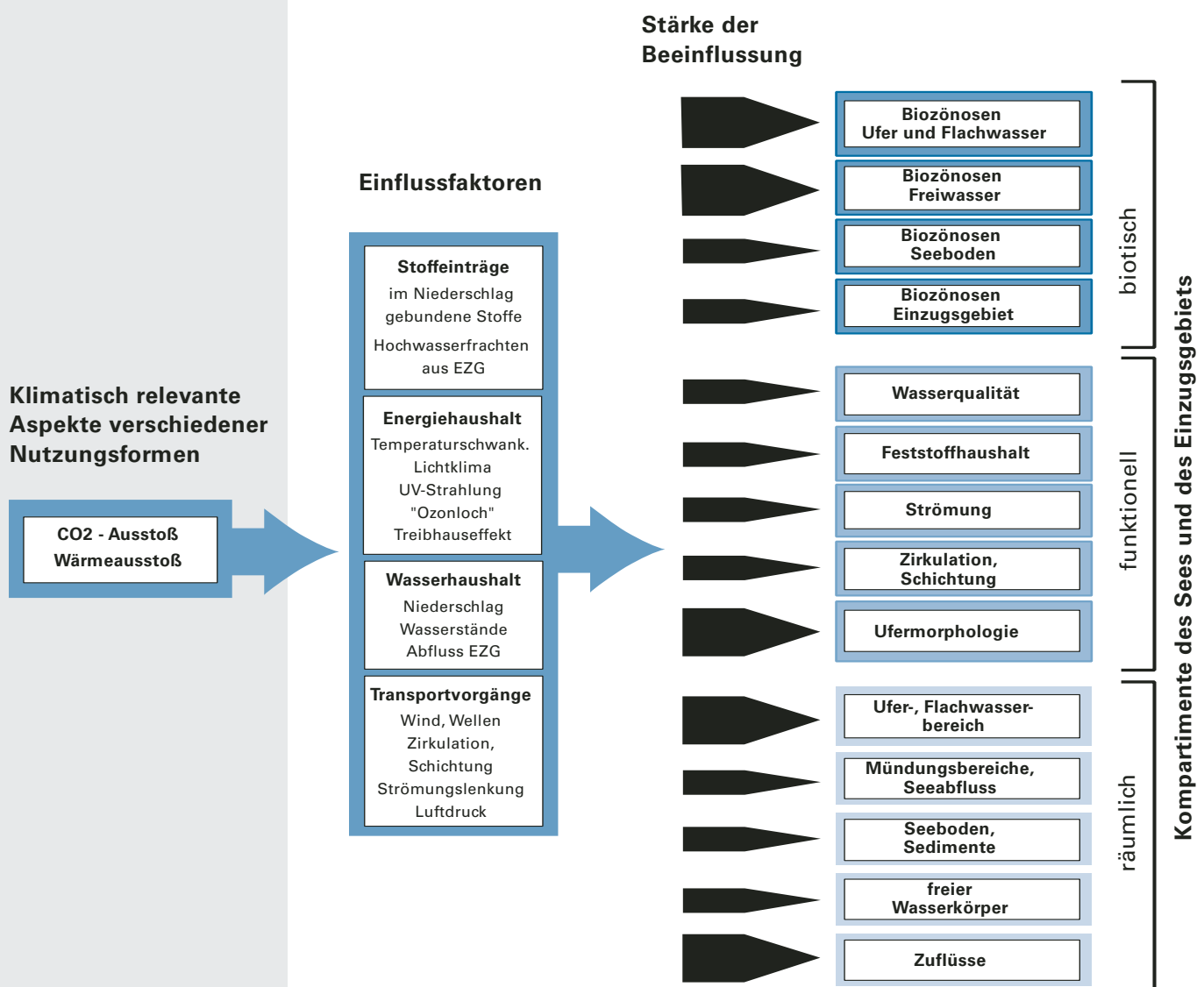


Abb. 3.11-4: Klima und Witterung - Einflüsse auf den See

## Literatur

- [1] RAUH, P. (1989): Das Klima des Bodenseegebiets. - Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 1/89: 12-14
- [2] BODENSEE NATURMUSEUM KONSTANZ (Hrsg., 2000): Vom See, seiner Entstehung und seiner Umwelt. - Führer durch das Bodensee-Naturmuseum Konstanz. 82 S.
- [3] FRAUENFELDER, C. (1999): Das Bodenseeklima. - Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung 117: 245-256
- [4] MÜHR, B. (2003): Klimadiagramme. - <http://www.klimadiagramme.de/Deutschland/konstanz.html>
- [5] GLASER, R., BEYER, U. & BECK, C. (1999): Klimageschichte in Süddeutschland seit dem Jahr 1000. Abschlussbericht zum Projekt „Z 3“ des Bayerischen Klimaforschungsprogramms. - Bayerischer Klimaforschungsverbund (BayFORKLIM), 22 S.
- [6] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC): Climate change 2001. - <http://www.ipcc.ch>
- [7] AUER, I. & WERNER, R. (Red.) (2001): : Klima von Vorarlberg. Eine anwendungsorientierte Klimatographie. - 3 Bde. Bregenz (Amt der Vorarlberger Landesregierung).
- [8] ARBEITSKREIS KLIWA (2002): Klimaveränderungen und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft. Fachvorträge beim KLIWA-Symposium am 29.-30. 11.2000 in Karlsruhe. - KLIWA-Berichte. H. 1, 278 S.
- [9] BAYERISCHES KLIMAFORSCHUNGSVERBUND (BayFORKLIM) (1999): Klimaänderungen in Bayern und ihre Auswirkungen. Abschlußbericht. - Bayer. Klimaforschungsverbund, München 1999, 90 S.
- [10] OCCC (Organe consultatif en matière de recherche sur le climat et les changements climatiques) (1998): Klimaänderung Schweiz. Auswirkungen von extremen Niederschlagsereignissen. - Wissensstandsbericht. 32 S.
- [11] HOLLAN, E. (2000): Mögliche Auswirkungen einer Klimaveränderung auf grössere Binnenseen. - Vortrag am KLIWA (Klima und Wasserwirtschaft)-Symposium vom 29./30.11.2000 in Karlsruhe
- [12] ARBEITSKREIS KLIWA (2002): Klimaveränderungen und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft. Fachvorträge beim KLIWA-Symposium am 29.-30. 11.2000 in Karlsruhe. - KLIWA-Berichte. H. 1, 278 S.
- [13] LUFT, G. (1993): Langfristige Veränderung der Bodensee-Wasserstände und mögliche Auswirkungen auf Erosion und Ufervegetation. - Seeuferzerstörung und Seeuferrenaturierung in Mitteleuropa (Hrsg.: Ostendorp, W. & Krumscheid-Plankert, P.), Limnologie aktuell Band 5: 61-75
- [14] ROßKNECHT, H. (1998): Langjährige Entwicklung chemischer Parameter im Bodensee-Obersee. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 48, 143 S., Eigenverlag
- [15] BÜHRER, H. (2002): Tolerierbare Phosphor-Fracht des Bodensee-Obersees. 2. Aufl. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 54, 81 S., Eigenverlag
- [16] STRAILE, D. (2000): Meteorological forcing of plankton dynamics in a large and deep continental European lake. - Oecologia 122 (1): 44-50
- [17] WEYHENMEYER, G. A., ADRIAN, R., GAEDKE, U., LIVINGSTONE, D. M. & MABERLY, S. C. (2002): Meteorological forcing of plankton dynamics in a large and deep continental European lake. - Oecologia 122 (1): 44-50

## Die Zukunft des Bodensees

### 4.1 Defizite und bisherige Verbesserungen des Seezustandes

Die in den vorangegangenen Kapiteln ausgearbeitete Gesamtschau zum ökologischen Zustand des Bodensees gibt einen aktuellen Einblick in alle wichtigen Einflüsse und ihre Verflechtungen, die auf die verschiedenen Kompartimente des Bodensees und seines Einzugsgebietes wirken. Im letzten Kapitel werden noch einmal die wichtigsten Defizite und ihre Ursachen sowie Ziele und Handlungserfordernisse zusammenfassend dargestellt. Eine ausführlichere Auflistung mit Bezug zum jeweiligen Themenbereich findet sich in den entsprechenden Fachkapiteln.

**Zusammenfassung  
der wichtigsten  
Ziele und Hand-  
lungserfordernisse**

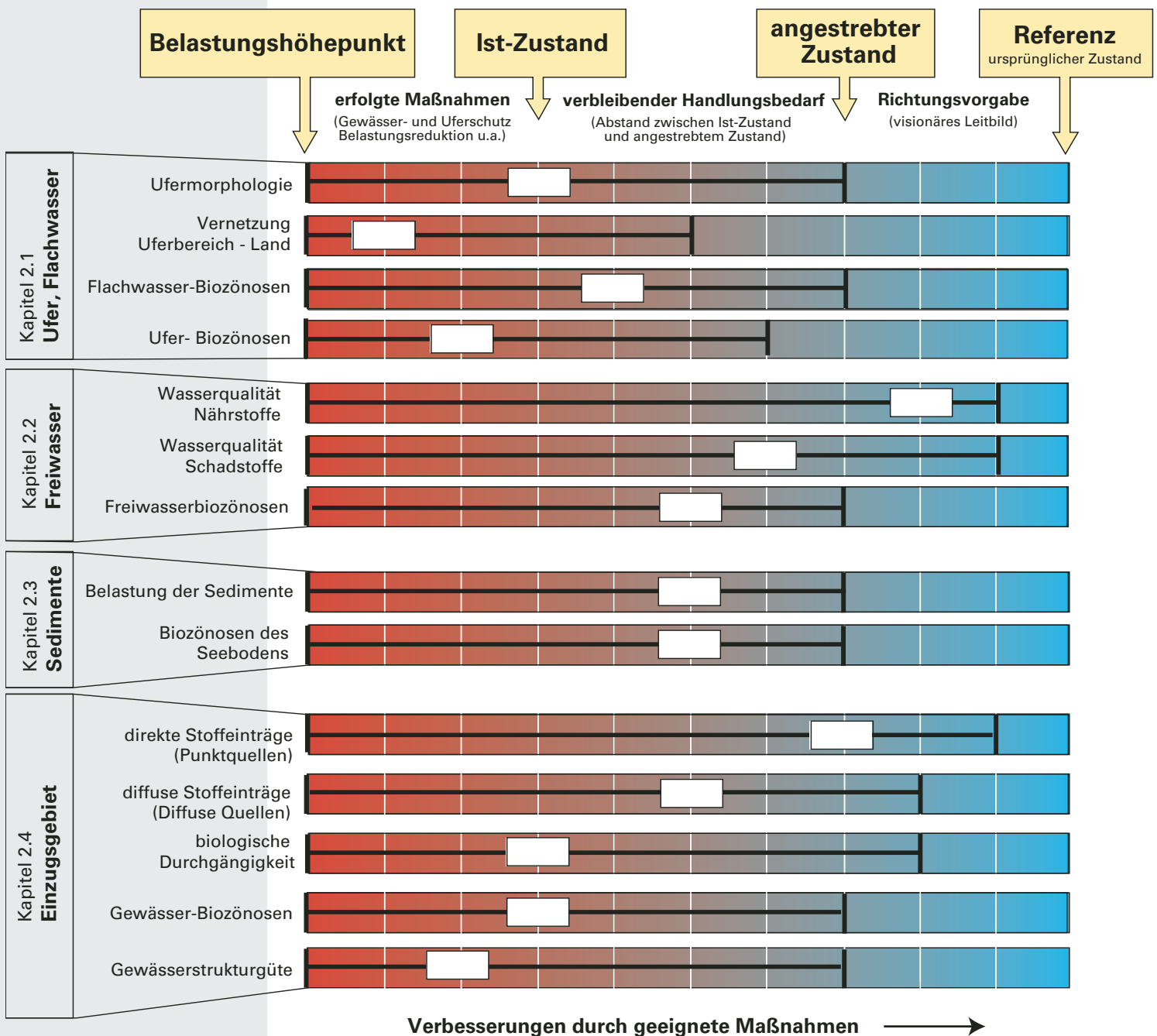


Abb. 4.1-1: Qualitative Entwicklung wichtiger Kompartimente des Bodensees und seines Einzugsgebietes, bereits erfolgte Verbesserung als Folge verschiedener Maßnahmen und verbleibender Handlungsbedarf. Darstellung der Qualitätszustände auf einer nicht dimensionierten Skala.



Die Bilanz wird zu einem Zeitpunkt gezogen, an dem das Maximum der Gewässerbelastung mit der daraus folgenden Bodensee-Eutrophierung mehr als zwei Jahrzehnte zurück liegt. Nach der Darstellung der zeitlichen Entwicklung, die beim Belastungshöhepunkt des Sees beginnt und bei der natürlichen Referenz, einem heute nicht mehr erreichbaren Idealzustand, endet, hat sich der Zustand des Bodensees ökologisch bereits wieder deutlich verbessert (Abb. 4.1-1). Für die verschiedenen morphologischen und funktionellen Kompartimente sind Verbesserungen in unterschiedlichem Ausmaß erreicht worden, es ergibt sich aber auch ein je nach Kompartiment unterschiedlicher Handlungsbedarf.

Es zeigt sich, dass sich die Situation gegenüber früheren kritischen Zuständen vor allem dort deutlich verbessert hat, wo konsequente Gewässerschutzprogramme, kombiniert mit moderner Technologie, zur Belastungsreduktion beigetragen haben (Abwasserentsorgung, Phosphateliminierung) oder neue Erkenntnisse über Systemzusammenhänge einen Anstoß für Sanierungsmaßnahmen gaben (z.B. im Rahmen von Uferrevitalisierungen und strukturellen Verbesserungen im Einzugsgebiet).

Um den Zustand einzelner Kompartimente zu verbessern oder zu halten, sind unterschiedlich große und dauernde Anstrengungen nötig. Während sich Maßnahmen zur Sicherung des natürlichen Energiehaushalts des Bodensees im regionalen Rahmen auf die Vermeidung von Störungen (Wärmenutzung, Kühlung) beschränken können, muss zum Erhalt bereits erreichter Standards bei der Wasserqualität auf Dauer ein ständig hoher Aufwand betrieben werden. In einigen Bereichen liegt der nach heutiger Kenntnis erreichbare *anzustrebende Zustand* (Entwicklungsziel) sehr nahe am ökologischen Ideal (natürliche Referenz), bei anderen bleibt er auch zukünftig, auf Grund weiter bestehender Nutzungsansprüche oder irreversibler Entwicklungen, weiter davon entfernt.

## 4.2 Nutzungen und ihre Folgen für den Zustand des Bodensees

Während im vorangehenden Abschnitt der Zustand der Kompartimente in Abhängigkeit von bereits erfolgten und noch ausstehenden Maßnahmen dargestellt wurde (Abb. 4.1-1), werden im Folgenden die Auswirkungen komplexer Nutzungsformen für den See zusammenfassend betrachtet (Tab. 4.2-1).

Die verschiedenen Nutzungsformen belasten den Bodensee und sein Einzugsgebiet in unterschiedlichem Maße. Manche Nutzungen müssen im Sinne einer ökologischen Verträglichkeit weiter reduziert oder modifiziert, andere können in ihrer derzeitigen Form belassen werden. Bei Nutzungen, die räumlich ausgedehnt, intensiviert oder relevant verändert werden sollen, sind im Rahmen künftiger Bewirtschaftungspläne und Aktionsprogramme die Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie besonders zu berücksichtigen. Die diesbezüglich wichtigsten Nutzungen sind:

- die Raumnutzung am See und im Einzugsgebiet;
- die Siedlungswasserwirtschaft;
- die Nutzung und strukturelle Veränderung der Ufer- und Flachwasserzone;
- die Schifffahrt und Schifffahrtseinrichtungen;
- der Verkehr und Transporte;
- die Land- und Forstwirtschaft;
- der Tourismus und die Naherholung;
- die Seewassernutzung;
- die Fischereiliche Nutzung;
- die Nutzungen und strukturelle Veränderungen der Zuflüsse.

**Erfolge der Gewässerschutzprogramme**

**Unterschiedliche Verbesserungen**

**Auswirkungen komplexer Nutzungsformen**

**Bewertung der Einflüsse verschiedener Nutzungsformen**

<b>Folgen für den Bodensee</b> →  <b>Nutzungen von See und Umland, sonstige Einflüsse</b> ↓	Defizite im Uferbereich: Morphologie / Vernetzungen	Unnatürliche Sedimentation und Sedimentbelastung	Störungen des Energiehaushalts	Stoffliche Belastung, Beeinflussung der Wasserqualität	Störungen der Transport- und Austauschvorgänge	Störungen des Wasserhaushalts	Gefahrenpotenzial (Havarien / Altlasten etc.)	Defizite der Durchgängigkeit im/zum Einzugsgebiet	Veränderungen / Störungen der Biozönosen im/am See
Entwicklung der Raumnutzung	■		□	■	□	□	■	□	■
Siedlungswasserwirtschaft		□		■	□	□	■		□
Nutzung / Veränderung der Ufer- und Flachwasserzone	■	■		□	■			■	■
Industrie und Gewerbe - wassergefährdende Stoffe				■			■		□
Schifffahrt	■	□	□	■	□		■		■
Verkehr und Transporte	□			□			■		□
Land- und Forstwirtschaft	■	□		■	□	□	□	□	■
Tourismus und Naherholung	■			□					■
Seewassernutzung									
Fischereiliche Nutzung									□
Nutzungen und strukturelle Veränderungen der Zuflüsse	□	■	□	■	■	■	□	■	□

Tab. 4.2-1: Derzeitige Nutzungsformen und ihre Folgen (Defizite) für den Bodensee und sein Einzugsgebiet (gemäß Bilanz 2004). ■ = bedeutender, □ = weniger bedeutender Zusammenhang. Indirekte und lokal nicht regelbare Einflüsse (Atmosphärische Einträge, Klima, Witterung) wurden nicht berücksichtigt.

**4.3 Angestrebter ökologischer Zustand des Bodensees (Entwicklungsziel)**

Übergeordnetes Entwicklungsziel für die Naturräume des Bodensees und sein Einzugsgebiet ist es, einen *naturnahen Zustand* zu erhalten oder wieder zu erlangen. Funktionell kommt dieser Zustand dem natürlichen Referenzzustand nahe. Wichtige Charakteristika eines naturnahen Zustandes für den Bodensee sind:

- alle für den Bodensee und seine Kompartimente bedeutenden biologischen und abiotischen Prozesse laufen in natürlicher, vom Menschen nicht unterstützter Weise ab;
- das System Bodensee und seine Kompartimente unterliegen einer natürlichen Dynamik und Eigenentwicklung;
- der Bodensee und seine Kompartimente zeigen als Naturraum trotz anthropogener Nutzung kein unnatürliches oder unharmonisches Erscheinungsbild.

**Charakteristika eines naturnahen Systems**

Übergeordnete Qualitätsziele für den anzustrebenden Zustand des Bodensees sind:

- Der physikalisch-chemische und biologische Charakter des Bodensees (Wasser, Sedimente, Biozönosen), und seiner Uferbereiche soll dem eines großen oligotrophen Voralpensees entsprechen.
- Genutzte natürliche Ressourcen aus dem Bodensee und seinem Einzugsgebiet sollen sich selbst regenerieren können.
- Die verschiedenen Lebensräume des Bodensees sollen ausreichend groß, durchgängig und miteinander vernetzt sein. Sie sollen die Gewähr dafür bieten, dass natürliche Prozesse ablaufen können; in und am See sollen sich selbsterhaltende Populationen aller typischen Tier- und Pflanzenarten existieren können.
- Das Bodenseewasser darf auf die Lebensgemeinschaften im See keine negativen Wirkungen besitzen. Es sollte frei sein von anthropogenen Schad- und Fremdstoffen, auch von solchen, deren Wirkung und Zusammenwirken mit anderen Substanzen noch unbekannt sind. Die Trinkwasserqualität muss erhalten bleiben.
- Die Sedimente des Bodensees sollen frei sein von wassergefährdenden Stoffen.
- Hydrologische Verhältnisse und Struktur der dem Bodensee zufließenden Gewässer sollen ein naturnahes und für den Bodensee typisches Zufluss- und Abflussregime gewährleisten.
- Wassernutzung, Wasserrückhalt und Abflussregulierungen dürfen den Zustand des Sees und seiner Lebensgemeinschaften nicht durch untypische Wasserstände und/oder mitgebrachtes Material gefährden.
- Anthropogene Gefahren- und Belastungsquellen für die Biozönosen und die Wasserqualität von Bodensee und Einzugsgebiet müssen beseitigt oder bei ausreichender Kontrolle zumindest sicher und beständig eingegrenzt werden.
- Alle Nutzungen und Veränderungen des Bodensees, seiner Ufer und seines Umlandes müssen so ausgelegt sein, dass durch sie auch unter außergewöhnlichen klimatischen, hydrologischen (z.B. Hochwasser) oder geologischen (z.B. Erdbeben) Bedingungen keine langfristige oder gar nachhaltige Gefährdung für den See und seine Biozönosen ausgehen.

#### 4.4 Handlungserfordernisse für den Bodensee

Um den angestrebten Zustand für den Bodensee und sein Einzugsgebiet innerhalb akzeptabler Fristen zu erreichen, müssen die aus dem jeweiligen Zustand des Sees resultierenden Handlungserfordernisse erkannt und umgesetzt werden. Alle Handlungen und Maßnahmen orientieren sich dabei an folgenden übergeordneten Prinzipien:

- Das *Prinzip der Nachhaltigkeit* geht über die rein ökologischen Ziele des Gewässerschutzes hinaus. Es besagt, dass Maßnahmen und Entwicklungen dann als nachhaltig zu werten sind, wenn sie die Bedürfnisse der Bevölkerung, der Natur- und Lebensräume der jetzigen und zukünftiger Generationen berücksichtigen.
- Das *Vorsorgeprinzip* umfasst Verhinderungs- und Abwehrmaßnahmen gegen negative Beeinflussung. Es beinhaltet z.B. für den Bodensee und seine Lebensräume die Forderung, dass keine Stoffe in den See gelangen dürfen, deren Wirkung noch unbekannt oder unsicher ist. Darüber hinaus fordert es eine Störfallprophylaxe sowie die Vermeidung und Behebung absichtlich oder leichtfertig verursachter Schäden im Seegefüge.

**Übergeordnete  
Qualitätsziele für den  
anzustrebenden Zustand**

**Übergeordnete  
Handlungsprinzipien**

Übergeordnete Handlungsprinzipien

- Das *Minimierungsprinzip* verlangt Maßnahmen, welche die Belastungen des Bodensees so gering wie möglich halten, da einmal eingetretene Schäden oft nur schwer oder gar nicht mehr rückgängig gemacht werden können. Für einige in ihrer Wirkung bekannte Stoffe und Stoffklassen müssen unter Berücksichtigung bestehender Nutzungsverhältnisse des Sees und seines Umlandes strenge Belastungsgrenzen vorgegeben werden. Auch Störungen sollen auf ein Minimum reduziert werden.
- Das *Verursacherprinzip* verlangt, dass jeder Verursacher direkter und indirekter Belastungen des Bodensees für seine Einwirkungen einzustehen hat. Belastungen müssen möglichst am Entstehungsort durch den Verursacher verhindert respektive beseitigt werden.
- Das *Kooperationsprinzip* besagt, dass zum Erreichen der gemeinsamen Ziele alle Institutionen - auch ohne gesetzlichen Zwang - zusammenarbeiten (z.B. die Kooperation innerhalb internationaler Kommissionen wie IGKB, IBK, IRKA und IBKF).

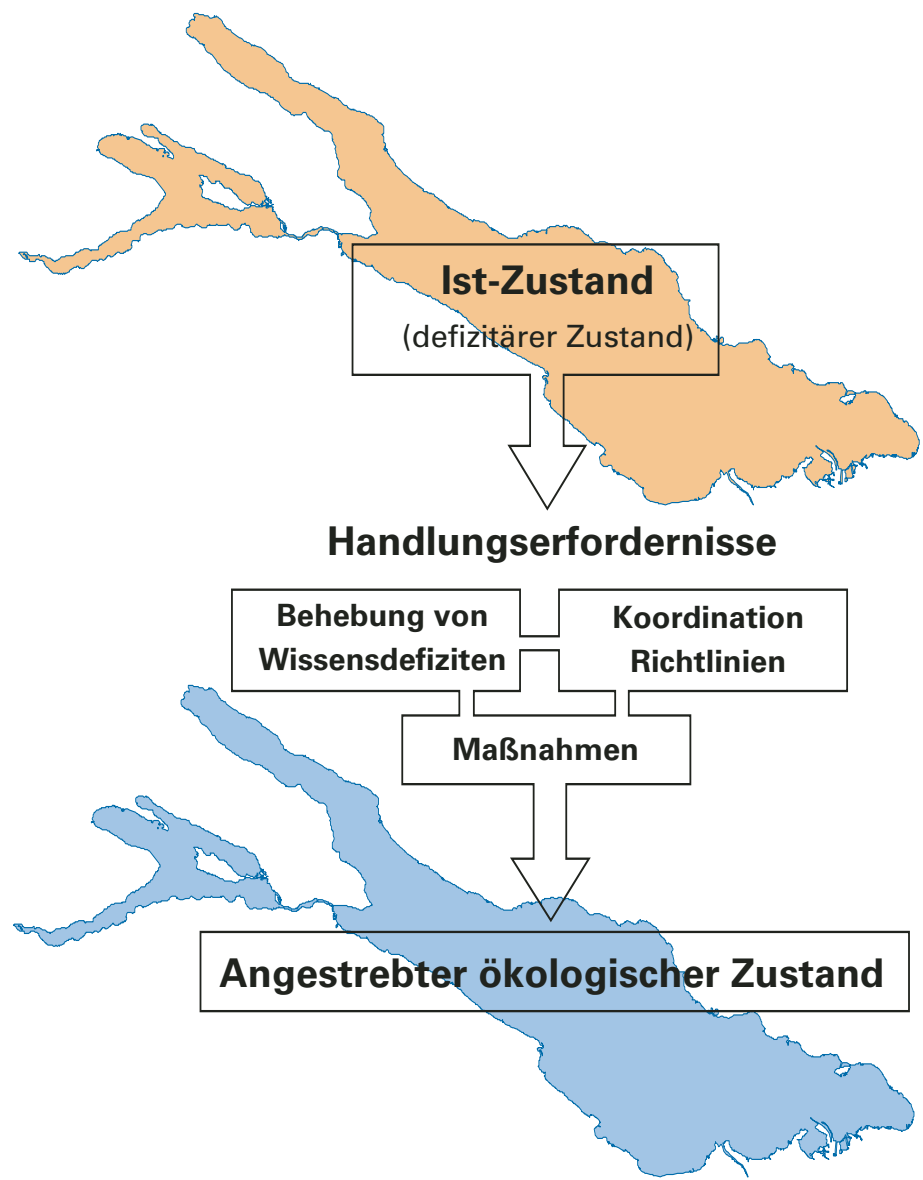


Abb. 4.4-1: Die Handlungserfordernisse für eine naturnahe Entwicklung des Bodensees und seines Einzugsgebiets lassen sich in drei große Blöcke fassen, die inhaltlich aufeinander aufbauen

## *Behebung von Wissensdefiziten*

### *Ökosystemforschung*

Eine wichtige Voraussetzung für die Bewertung von Defiziten am Bodensee und in seinem Einzugsgebiet sind fundierte Kenntnisse über ökosystemare Prozesse und kausale Zusammenhänge, z.B. zwischen strukturellen und funktionellen Systemkomponenten. Obwohl Funktionen und Prozesse des Bodensees schon seit den 1930er Jahren konsequent erforscht werden, gibt es im Zusammenhang mit der Aufstellung von Maßnahmenprogrammen noch immer Wissensdefizite, die eine weitere Vertiefung und Intensivierung der Ökosystemforschung erforderlich machen.

### *Ökotoxikologie*

Ebenfalls hohen Stellenwert für den Bodensee besitzt die Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Ökotoxikologie. Noch immer gelangen synthetische Substanzen (potenzielle Schadstoffe) in größeren Mengen in den See. Ihre Wirkungen und synergistischen Wirkungen auf die Biozöosen des Sees sind aber immer noch weitgehend unbekannt. Gewässerschutzmaßnahmen gegen möglicherweise ökotoxikologisch wirksame Stoffe und Prozesse müssen stets nach dem Vorsorgeprinzip gehandhabt werden, bis mehr über die Ökosystemrelevanz solcher Stoffe und Stoffgemische bekannt ist.

### *Monitoringprogramme*

Als Bindeglied zwischen Forschungsprogrammen und dem Gewässerschutz-Vollzug stehen die Monitoringprogramme als längerfristig anzusetzende Beobachtungen und Kontrollen konkreter Belastungsformen, aber auch von Nutzungen und deren Auswirkungen auf den See und sein Einzugsgebiet. Am Bodensee gibt es eine lange und erfolgreiche Tradition des Monitoring; unterschiedliche Belastungsarten und -intensitäten erfordern aber auch hier fortlaufend neue Konzepte. Um die Möglichkeiten solchen Monitorings voll auszuschöpfen, müssen sie zukünftig in noch engerer internationaler Zusammenarbeit geplant, durchgeführt und ausgewertet werden.

### *Koordination und Richtlinien*

In den Ländern und Kantonen des Bodensees (vgl. Abb. 1.2-1) gelten für den Umgang mit vergleichbaren Problemen verschiedene Regelungen, z. B. durch Gesetze und Verordnungen. Die Gewässerschutzarbeit im Bodensee-Einzugsgebiet erfordert daher stets eine gemeinsam abgestimmte Lösung in Form multilateraler Vereinbarungen und Richtlinien. Auf dem Gebiet des Gewässerschutzes am Bodensee werden diese von der IGKB als zuständiger internationaler Kommission vorgeschlagen. Ein künftiges Aktionsprogramm für den Bodensee stellt besondere Anforderungen an das abgestimmte Handeln verschiedener Institutionen, die für den Gewässerschutz, den Hochwasserschutz und die Raumplanung verantwortlich sind oder die Interessen der Nutzer vertreten (Stichwort: "integrierter Umweltschutz"). Diese koordinierte Vorgehensweise ist ebenfalls zur Erarbeitung von Bewirtschaftungsplänen erforderlich, die zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie aufgestellt werden.

**Forschungsbedarf**

**Koordinationsbedarf  
und Vorgaben**

### *Maßnahmen*

Die Behebung der oben genannten Wissensdefizite und abgestimmte Vorgaben sind die Voraussetzung dafür, dass geeignete Maßnahmen ergriffen werden können, mit denen Gewässerschutzziele erreicht werden sollen und sich das gesamte System Bodensee und Einzugsgebiet dem angestrebten Zustand annähert (Abb. 4.4-1). Gut konzipierte und koordinierte Maßnahmenprogramme (z. B. auch im Vollzug der EU-Wasserrahmenrichtlinie) mit einem Gesamtansatz für den Bodensee und sein Einzugsgebiet sind lokal oder inhaltlich begrenzten Einzelmaßnahmen vorzuziehen. Sie zeigen bedeutende Auswirkung auf das gesamte System Bodensee mit Einzugsgebiet und berücksichtigen dabei auch großräumige Prozesse sowie Interaktionen zwischen verschiedenen Lebensräumen.

**Umsetzung der  
Erkenntnisse und  
Vorgaben**

**Öffentlichkeitsarbeit**

Die Öffentlichkeit ist über alle Maßnahmen in geeignetem Rahmen und geeigneter Weise zu informieren. Gründe für die jeweiligen Maßnahmen sind von zuständigen Stellen offen zu legen und zu erläutern. Der Dialog mit der Bevölkerung soll sowohl den Kenntnisstand als auch das Verantwortungsbewusstsein jedes Einzelnen fördern.

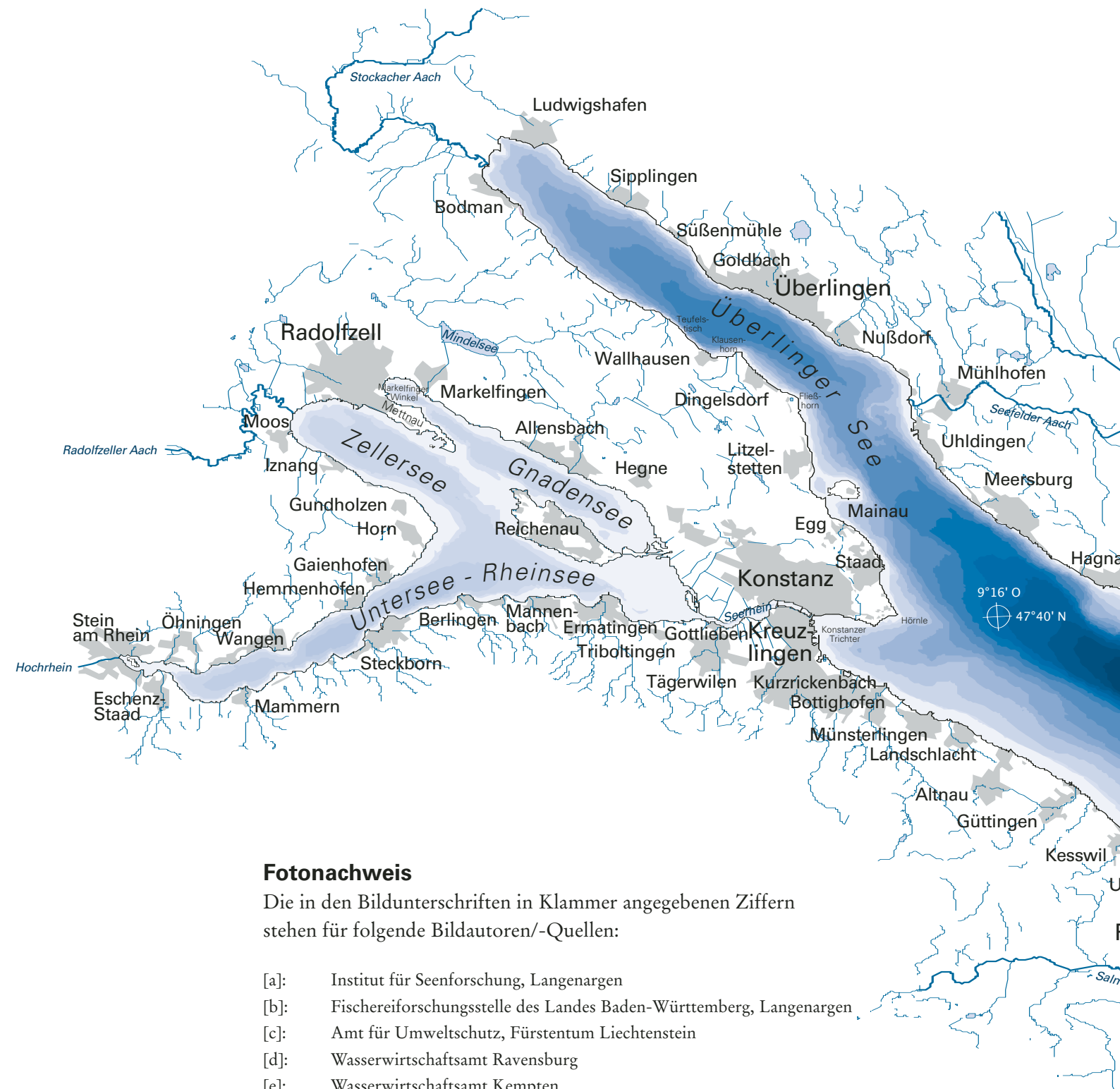
## Schlussbemerkung

Dieser Statusbericht stellt wichtige Zusammenhänge dar und schafft eine Verbindung zwischen dem heutigen Zustand des Bodensees und zukünftiger Gewässerschutzarbeit. Bei der Bearbeitung wurde deutlich, dass der angestrebte Zustand (Entwicklungsziel) für den Bodensee noch mehr oder weniger weit entfernt ist, aber durch geeignete Maßnahmen entscheidende Verbesserungen erreicht werden können. Hierzu nötige Maßnahmenkonzepte – unter Gesichtspunkten des “integrierten Umweltschutzes” – müssen ständig aktualisiert und der jeweils veränderten Situation angepasst werden. Die aus heutiger Sicht nötigen Handlungserfordernisse sind in den jeweiligen Fachkapiteln dieses Berichts aufgeführt.

Noch in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts herrschten am Bodensee Verhältnisse, die heute als Referenz für einen “naturnahen” Systemzustand mit “seeverträglichen” Nutzungsformen herangezogen werden können (Kap. 1.3.2). Eine zunehmend intensivere Nutzung des Sees und seines Umlandes hat in der Folge zu einem beschleunigten Anstieg der Belastungen und zu ökologischen Defiziten des Sees und seines Einzugsgebiets geführt. Nachdem der Bodensee in den 1970er Jahren den Höhepunkt seiner Nährstoff-Belastung erreicht hatte, griffen die seitens der IGKB initiierten und von den Ländern und Kantonen kooperativ umgesetzten Gegenmaßnahmen. In den folgenden Jahrzehnten erholte sich der Bodensee nach und nach. Der Rückgang der Eutrophierungssphänomene machte die Sicht frei auf weitere Problembereiche, die bisher weniger beachtet wurden - allen voran die auffälligen strukturellen Defizite am Seeufer und an den Zuflüssen, aber auch auf Schadstoffe, die bislang unberücksichtigt blieben.

Die vorliegende Arbeit bestätigt, dass die konsequente länder- und kantonsübergreifende Gewässerschutzarbeit bereits zu bedeutenden Verbesserungen der gesamtökologischen Situation geführt hat. Der aktuelle ökologische Zustand des Systems Bodensee und seines Einzugsgebiets wird wieder als weitgehend funktionsfähig, in einigen Kompartimenten jedoch als noch immer gefährdet und insgesamt verbesserungswürdig beurteilt. Das generelle Entwicklungsziel ist ein naturnaher Zustand für das gesamte System. Dieses Ziel ist hoch gesteckt. Damit es innerhalb angemessener Fristen erreicht werden kann, müssen zukünftige Maßnahmenkonzepte mit hoher Effektivität geplant und umgesetzt werden.

Durch nachhaltigen Umgang mit dem Lebensraum Bodensee, seinem Einzugsgebiet und allen Ressourcen sollen zukünftigen Generationen und Lebensgemeinschaften alle Möglichkeiten erhalten bleiben, ihre jeweiligen Lebensansprüche und Nutzungsinteressen zu befriedigen.



### Fotonachweis

Die in den Bildunterschriften in Klammer angegebenen Ziffern stehen für folgende Bildautoren/-Quellen:

- [a]: Institut für Seenforschung, Langenargen
- [b]: Fischereiforschungsstelle des Landes Baden-Württemberg, Langenargen
- [c]: Amt für Umweltschutz, Fürstentum Liechtenstein
- [d]: Wasserwirtschaftsamt Ravensburg
- [e]: Wasserwirtschaftsamt Kempten
- [f]: Internationale Rheinregulierung (IRR)
- [g]: Amt für Jagd und Fischerei Graubünden, Chur
- [h]: Amt für Umweltschutz, Kanton Thurgau, Frauenfeld
- [i]: HYDRA, Büro Peter Rey, Konstanz
- [j]: Julius Pietruske, Langenargen
- [k]: Stanko Petek, Radolfzell, <http://www.luftbild.com>
- [l]: Max Granitza, Konstanz
- [m]: Stadtwerke, Konstanz
- [n]: Reiner Eckmann, Limnologisches Institut der Univ. Konstanz



## Wissenswertes über den Bodensee

Das Ur-Bodenseebecken ist nach Ende der Riss-Kaltzeit (Pleistozän) vor 1,3 bis 0,9 Mio. Jahren entstanden; seine heutige Form besitzt der See seit ca. 10 000 Jahren. Ufer und Hinterland sind seit rund 7 000 Jahren ununterbrochen besiedelt.

Meereshöhe über Normal Null:	395 m
Oberfläche gesamt:	535 km <sup>2</sup>
Fläche Obersee:	472 km <sup>2</sup>
Fläche Untersee:	62 km <sup>2</sup>
Tiefste Stelle:	-254 m
Rauminhalt:	48,4 km <sup>3</sup>
Uferlänge:	273 km
Längste Ausdehnung:	63 km
Größte Breite:	13 km

Einzugsgebiet, Fläche (ohne See):	10 903 km <sup>2</sup>
Mittlerer jährlicher Durchfluss ca.	372 m <sup>3</sup> /s
Hauptzufluss	Alpenrhein ca. 230 m <sup>3</sup> /s
Seeabfluss	Hochrhein

Uferlänge gesamt	273 km
davon Baden-Württemberg	155 km
Bayern	18 km
Österreich	28 km
Schweiz	72 km

