



Die Schussen

Bilanz der Belastung eines Bodenseezuflusses

 Entwicklung, gegenwärtiger Zustand und Zukunftsperspektiven
für die Schussen aus wasserwirtschaftlicher Sicht



Die Schussen

Bilanz der Belastung eines Bodenseezuflusses

 Entwicklung, gegenwärtiger Zustand und Zukunftsperspektiven
für die Schussen aus wasserwirtschaftlicher Sicht

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe, www.lubw.baden-wuerttemberg.de
BEARBEITUNG	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Dr. Hans Güde, Langenargen, Peter Rey, Konstanz, Johannes Ortlepp, Öschelbronn
REDAKTION	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Institut für Seenforschung, Argenweg 50/1, 88085 Langenargen
BEZUG	Dieser Bericht ist kostenlos erhältlich Download unter: www.lubw.baden-wuerttemberg.de
ISSN	1437-0166
STAND	Juni 2010, 1. Auflage
DRUCK	Druckerei Uhl, 78306 Radolfzell Gedruckt auf Recyclingpapier
TITELBILD	Die Schussen im Naturschutzgebiet bei Eriskirch (Foto: Zickner)



Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	7
1. DIE NATUR DER SCHUSSEN	11
1.1 Naturräumliche Gegebenheiten, Topographie	11
1.2 Leben in der Schussen	22
2. NUTZUNGSGESCHICHTE DER SCHUSSEN	27
2.1 Besiedlung des Schussentals	27
2.2 Wirtschaftsgeschichte und Industrialisierung des Schussentals	33
2.3 Formen der stofflichen Belastung der Schussen	36
2.4 Warnzeichen beginnender Belastung	41
3. UNTERSUCHUNGS- UND SANIERUNGSPROGRAMME	51
3.1 Prinzipien der Siedlungsentwässerung und der Abwasserbehandlung	52
3.2 Sanierungsprogramme am Bodensee und an der Schussen	57
3.3 Maßnahmenprogramme an der Schussen	62
4. DER AKTUELLE ZUSTAND DER SCHUSSEN	67
4.1 Aktuelle Stoffausträge (Emissionen)	67
4.2 Aktuelle Belastung der Oberflächengewässer (Immissionen)	71
4.3 Erfolgsbilanz	78
5. ERKENNTNISSE UND PERSPEKTIVEN	83
5.1 Die Schussen im Jahr 2010	83
5.2 Fazit und Ausblick	95
6. ZUSAMMENFASSUNG	100
7. LITERATUR	102



Die Schussen unterhalb Ravensburg (Foto: Rey)

Vorwort

Die Schussen ist ein eher unauffälliger Mittellandfluss. Auf ihrem gerade einmal 60 km langen Lauf zwischen Bad Schussenried und ihrer Mündung in den Bodensee besitzt sie keine spektakulären Naturschönheiten. Die Schussen ist aber möglicherweise der interessanteste Bodenseezufluss, wenn man ihre wechselhafte Entstehungs-, Nutzungs- und Belastungsgeschichte näher beleuchtet.

Das Tal der Schussen ist eine breite, fruchtbare Ebene, die schon steinzeitliche Jäger und Sammler, danach römische Legionen und noch später Bauern und Bewohner der Stadt Ravensburg ernährte. Im Mittelalter wurde die Schussen bereits umfassend wasserbaulich verändert, um Landwirtschaftsflächen zu bewässern, Mühlen anzutreiben, Holz zu transportieren und Abwasser aufzunehmen.

Ein Fluss mit langer Geschichte

Die Fruchtbarkeit des Bodens, Wasser, mildes Klima und siedlungsfreundliches, flaches Gelände haben eine intensive Landnutzung, Besiedlung und Industrialisierung begünstigt. Im Vergleich zu anderen Bodenseezuflüssen ist die Schussen der Fluss mit den meisten Einwohnern pro Kubikmeter Abfluss. Früher wies die Schussen daher eine entsprechend starke Wasserverschmutzung auf. Die Belastungsgeschichte war dabei bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts durch Einträge aus dem Siedlungsbereich (v. a. Haushalte, Gewerbe und Industrie) bestimmt, die nach 1950 noch einmal rapide zunahmen. Dagegen erfolgte die Zunahme von Einträgen aus der Landwirtschaft lange Zeit schleichend, bevor sie mit der intensiveren Flächenbewirtschaftung zwischen 1960 und 1970 ebenfalls rasch anstieg. Somit ist die Schussen vor allem Repräsentant siedlungsbedingter stofflicher Einflüsse, darüber hinaus aber auch Abbild von Einträgen durch Landnutzung.

Ideale Siedlungsbedingungen im Schussental

So problematisch die Belastungsgeschichte der relativ kleinen Schussen auch ablief, so schnell und stark profitierte der Fluss von der Tatsache, dass sein Wasser in den Bodensee fließt, einen der bedeutendsten Trinkwasserspeicher Europas. Weil die Schussen im Vergleich zu anderen Bodenseezuflüssen beim Schadstoffeintrag eine Spitzenposition einnahm, mussten Maßnahmen zur Reinhaltung des Sees früh und schwerpunktmäßig auch bei diesem Fluss ansetzen. Die Maßnahmen zur Minderung der Schad- und Nährstoffeinträge fokussierten sich vor allem auf die Reduzierung der Abwasserbelastung mit Schwerpunkt auf den Einträgen aus Siedlungsräumen und Industrie.

Schussen und Bodensee

Seit Ende der 1960er-Jahre wurde an der Schussen eine Vielzahl von Belastungsuntersuchungen und in ihrer Folge von geeigneten Sanierungsmaßnahmen durchgeführt. Deshalb ist der Fluss auch ein ideales Fallbeispiel zur Veranschaulichung der Belastungsentwicklung und der unterschiedlichen Einflüsse aus Siedlung und Landwirtschaft. An der Schussen können andererseits die Möglichkeiten des Abwassermanagements nach dem jeweils aktuellen Stand der Technik aufgezeigt werden.

Im Fokus des Gewässerschutzes

„Die Schussen – Bilanz der Belastung eines Bodenseezuflusses“ ist keine Schussenmonographie, die das gesamte Spektrum an Informationen zu diesem Fluss enthält. Schwer-

Belastungsgeschichte steht stellvertretend für andere Flüsse

punkt ist die stoffliche Belastungsgeschichte. Sie steht stellvertretend für andere Zuflüsse zu Voralpenseen, deren Einzugsgebiet ebenfalls intensiv besiedelt, industrialisiert und landwirtschaftlich genutzt wird.

- Kapitel 1 stellt den Fluss Schussen vor, seinen Naturraum und seine erdgeschichtliche Entwicklung.
- Kapitel 2 beschreibt die Besiedlungs-, Nutzungs- und Belastungsgeschichte der Schussen bis zum Erreichen der maximalen Gewässerverschmutzung.
- Kapitel 3 schildert die an der Schussen durchgeführten Untersuchungen und die daraus resultierenden Sanierungsmaßnahmen.
- Inhalt von Kapitel 4 ist der nach allen bisherigen Maßnahmen erreichte Zustand der Schussen mit den verbliebenen Restbelastungen.
- Im abschließenden Kapitel 5 werden die Perspektiven für die Erhaltung einmal erreichter Qualitätsziele und weitere Verbesserungen diskutiert.

Danksagung Die hier zusammengetragene Übersicht über die Belastungsgeschichte der Schussen gründet zu wesentlichen Teilen auf den Ergebnissen des vom Land Baden-Württemberg geförderten und vom Regierungspräsidium Tübingen koordinierten Untersuchungsprojekts: „Schussenprogramm – Erfolgskontrolle und Maßnahmenoptimierung“. Sie verfolgt über den hierzu schon veröffentlichten Fachbericht [1] hinaus aber das Ziel einer weniger fachspezifischen und dafür allgemeiner verständlichen und geschichtlich weiter ausholenden Darstellung der Belastungsgeschichte der Schussen. Den Anstoß hierzu gab der Leiter des Instituts für Seenforschung, Dr. Heinz Gerd Schröder, der das Projekt ebenso wie die Erstellung des vorliegenden Berichts von Anfang an tatkräftig unterstützte.

Die Autoren schulden ihm daher tiefen Dank, ebenso wie den Projektpartnern Hans Joachim Vogel als Koordinator vom Regierungspräsidium Tübingen, Bernd Auerbach vom Landkreis Ravensburg, Georg Miller vom Landratsamt Bodenseekreis, Dr. Karl Wurm vom Gewässerökologischen Labor Starzach, die alle auch zu dieser Übersichtsdarstellung durch zahlreiche Kommentare und Ergänzungen wesentlich beitrugen. Die Autoren danken weiterhin Dr. Harald Hetzenauer vom Institut für Seenforschung für die Beiträge zur Bilanzierung von Phosphor und Stickstoff und zur Schadstoffbelastung der Schussen, sowie Prof. Dr. Rita Triebkorn für die Materialsammlung zur ökotoxikologischen Bewertung der Mikroverunreinigungen.

Das aktuelle Untersuchungsprogramm wäre nicht ohne die Unterstützung durch kommunale Abwasserverbände möglich gewesen. Es sei daher dem Abwasserzweckverband Unteres Schussental mit Heiko Kiebler und seinen Kollegen, dem Abwasserzweckverband Mariatal mit Hans Boy und seinen Kollegen, der Gemeinde Bad Waldsee mit Guido Lämmle und seinen Kollegen, dem Abwasserzweckverband Mittleres Schussental mit Achim Grob und seinen Kollegen, sowie der Gemeinde Kisslegg mit Roland Kistler und seinen Kollegen ebenfalls herzlich gedankt. Besonderer Dank gebührt weiterhin auch folgenden Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Seenforschung, die mit großem Einsatz bei Probenahme und Analytik am Projekt beteiligt waren: Simone

Eckenfels, Brigitte Engesser, Susanne Fitz, Anton Guhl, Stefanie Metzger, Petra Obad und Robert Obad. Nicht zuletzt sei auch Irmintraut Zickner – ebenfalls vom Institut für Seenforschung - für ihre sorgfältige Endbearbeitung des Manuskripts mit Text und Layout bis zur Erstellung der Druckvorlage von Herzen gedankt.



Naturnaher Abschnitt der Schussen im Unterlauf (Foto: Rey)

1. Die Natur der Schussen

„Man hat sich dran gewöhnt, sie ist nun eben einmal schmutzig, vielleicht mehr als die anderen Zuflüsse des Bodensees. Ein wenig träge fließt sie dahin, schenkt uns nicht die angenehmen Bilder blitzender Wirbel ... Auch hat man ihr nach und nach die reizvoll ausgreifenden Mäander abgeschnitten, und so bietet sie eber einen langweiligen Anblick, es sei denn, eine besondere Kulisse - wie bei Eriskirch - liefert den malerischen Hintergrund“ [5].

1.1 Naturräumliche Gegebenheiten, Topographie

1.1.1 Entstehungsgeschichte des Schussentals

Die letzte bedeutende Formung der oberschwäbischen Landschaft, durch deren Moränen und Drumlin-Hügel heute die Schussen fließt, geschah während der Eiszeiten, welche vor etwa 600 000 Jahren (Günz-Eiszeit) die vorangegangene subtropische Tertiärzeit ablösten. Der aus dem Alpenrheintal ins oberschwäbische Alpenvorland vordringende Rheingletscher, der einst mächtigste Gletscher am nördlichen Alpenrand, stieß während der Riß-Eiszeit über die Mulde des späteren Bodensees und dessen nördlicher Ausbuchtung bis in das Gebiet der heutigen Orte Ostrach, Bad Schussenried und Essendorf vor und hinterließ bedeutende Gesteinsablagerungen als Moränen, welche dort heute einen Teil der europäischen Wasserscheide zwischen Rhein und Donau bilden.

Gletscher formen die oberschwäbische Landschaft

Auch in der darauffolgenden Würm-Eiszeit kam es zu einem Wechsel zwischen Kalt- und Warmzeiten mit Abschmelzen des Gletschers, vor etwa 70 000 Jahren z. B. ein Vor-

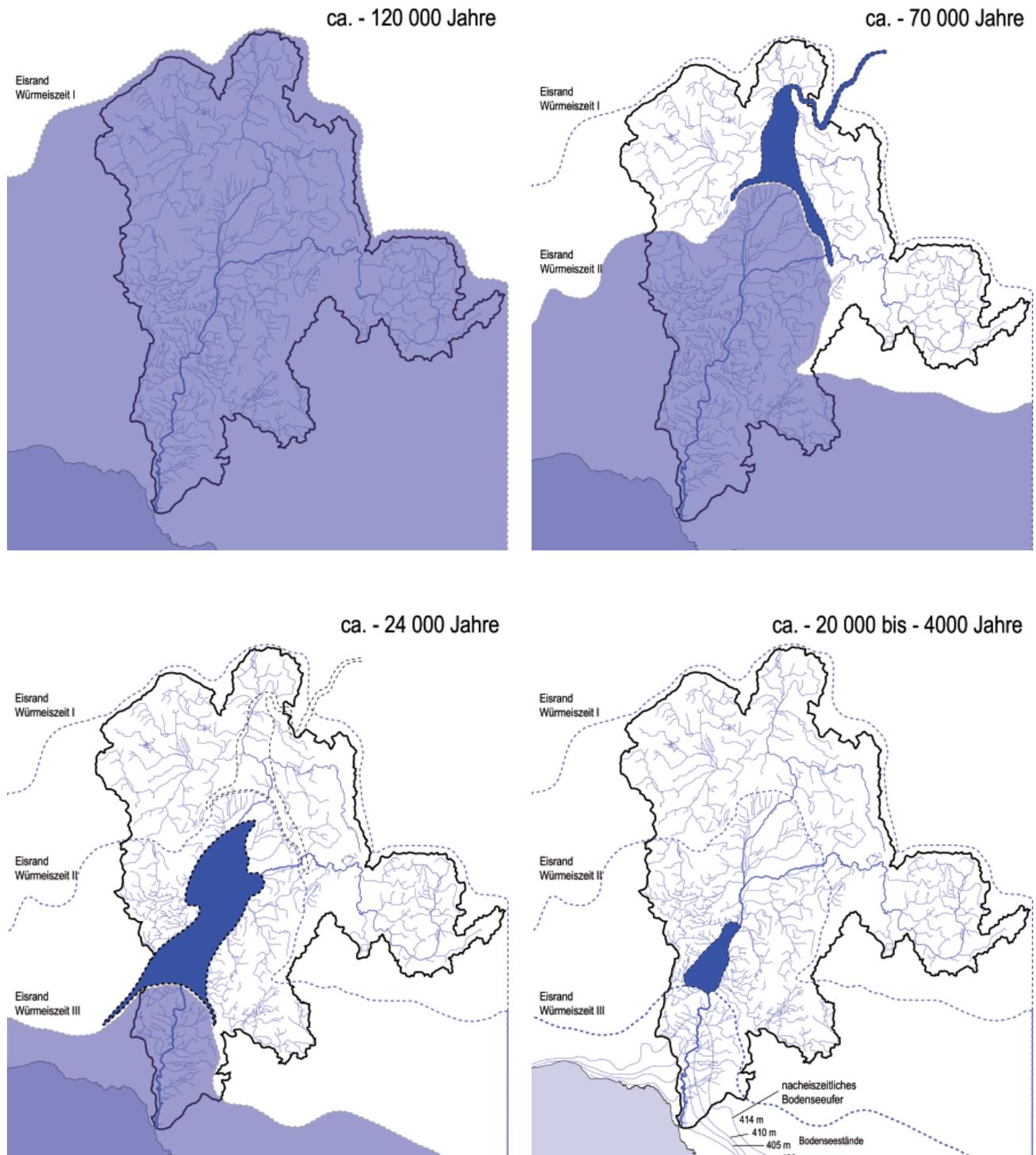


Abb. 1.1: Der Wechsel des Eisrands im Einzugsgebiet der Schussen während der letzten Kaltzeiten (Würm-Kaltzeiten I bis III und Nacheiszeit)
 Quellen: [11] sowie (<http://www.isnet-ev.de/privat/wbenz/allgaeu/ALPEN3.pdf>)

stoß des Gletschers bis in die Gegend von Zußdorf – Wolpertswende – Waldburg. Beim dritten und letzten Vorstoß vor rund 20 - 30 000 Jahren bedeckte der Rheingletscher den Bodensee nur noch bis etwa auf Höhe von Konstanz. Seine in die Mulde des späteren Schussentals hineingreifende Zunge drang bis südlich der heutigen Ortschaft Eschach vor und riegelte die nördlich davon befindliche Schussentalmulde gegen Süden ab.

Dadurch entstand im Schussental vor etwa 24 000 Jahren durch die Ansammlung von Schmelzwasser sowie der sonst zufließenden Wasserläufe ein vom Gletscher aufgestauter See, der Schussensee mit etwa 16 km Länge, bis zu 5 km Breite und bis 80 m Tiefe. Der See behielt wahrscheinlich über mehrere Tausend Jahre dieselbe Größe (Abb. 1.1) [11].

**Schussental und Schussensee
entstanden vor rund 24 000
Jahren**

1.1.2 Einzugsgebiet

Der Vorstoß des Rheingletschers markiert heute mit seinen gut erhaltenen Moränenwällen nicht nur die europäische Wasserscheide zwischen Rhein und Donau, sondern bildet zugleich die Umgrenzung des 815 km² großen Einzugsgebiets der Schussen (Abb. 1.2). Den Kiesen und Blockmassen dieser „Äußeren Jungmoräne“ bei Schussenried entströmt die Schussen auf 577 m Meereshöhe. Von dort aus fließt sie etwas mehr als 60 km ziemlich genau in nord-südlicher Richtung in den Bodensee (395 m Meereshöhe) [5, 29] und damit letztlich dem Rhein zu.

**Die Schussen entspringt an der
europäischen Wasserscheide**

Das Einzugsgebiet der Schussen wies noch im Jahre 1930 insgesamt 7 500 ha Moorgebiete auf. Eine Kartierung in den Jahren 1980/82 verzeichnete selbst in dem noch stark ländlich strukturierten Gebiet östlich von Wolfegg allein zwischen 1970 und 1987 einen Rückgang der Moore um 30 % [5]. Trotzdem ist die Schussen auch heute noch fast durchgehend durch Huminstoffe gefärbt, die als natürliche Inhaltsstoffe den Hintergrund aus dem moorigen Einzugsgebiet darstellen.

Rückgang der Moore

1.1.3 Längsverlauf und Gefälle

Nachdem die Schussen unterhalb ihrer Quelle bei Schussenried flaches Gelände durchströmt, nimmt ihr Gefälle einige Kilometer unterhalb mit maximal 7,8 ‰ zum ersten Mal deutlich zu. Dabei treten aber immer wieder deutliche Gefälleknicke auf. Bis Aulendorf durchfließt die Schussen einige Moore und Seen, woraus sich ein abwechslungsreicher, gestufter Flußverlauf ergibt - das typische Bild eines noch relativ jungen Flusses mit unausgeglichenem Gefälle.

Ihre eindrucksvollste Gefällestrecke besitzt die Schussen in ihrem mittleren Flußabschnitt zwischen Aulendorf und Mochenwangen. Auf einer Länge von neun Kilometern fällt sie im sogenannten „Schussentobel“ um knapp 85 Meter (8 ‰ Gefälle), wobei sie die Moränenwälle der Inneren Jungmoränen des Singener Stadions durchbricht. Auf diesem Abschnitt durchfließt der Bach das größte zusammenhängende Waldgebiet Oberschwabens, den Altdorfer Wald [5].

**Mehrfacher Wechsel von flachen
und steileren Abschnitten**

Nach Mochenwangen tritt die Schussen in das breite Becken des ehemaligen Ravensburger Eisstausees, und das Gefälle verringert sich wieder sprunghaft, um bei der Einmündung der Wolfegger Ach Werte unter 2 ‰ zu erreichen. In deutlich abgeschwächter Form wiederholt sich dieser Vorgang, wenn die Schussen zwischen Oberzell und Meckenbeuren den dritten, niedrigeren Moränenwall überwindet. Von da an fließt die Schussen als Mittellandfluss mit ausgeglichenem Gefälle dem Bodensee zu.

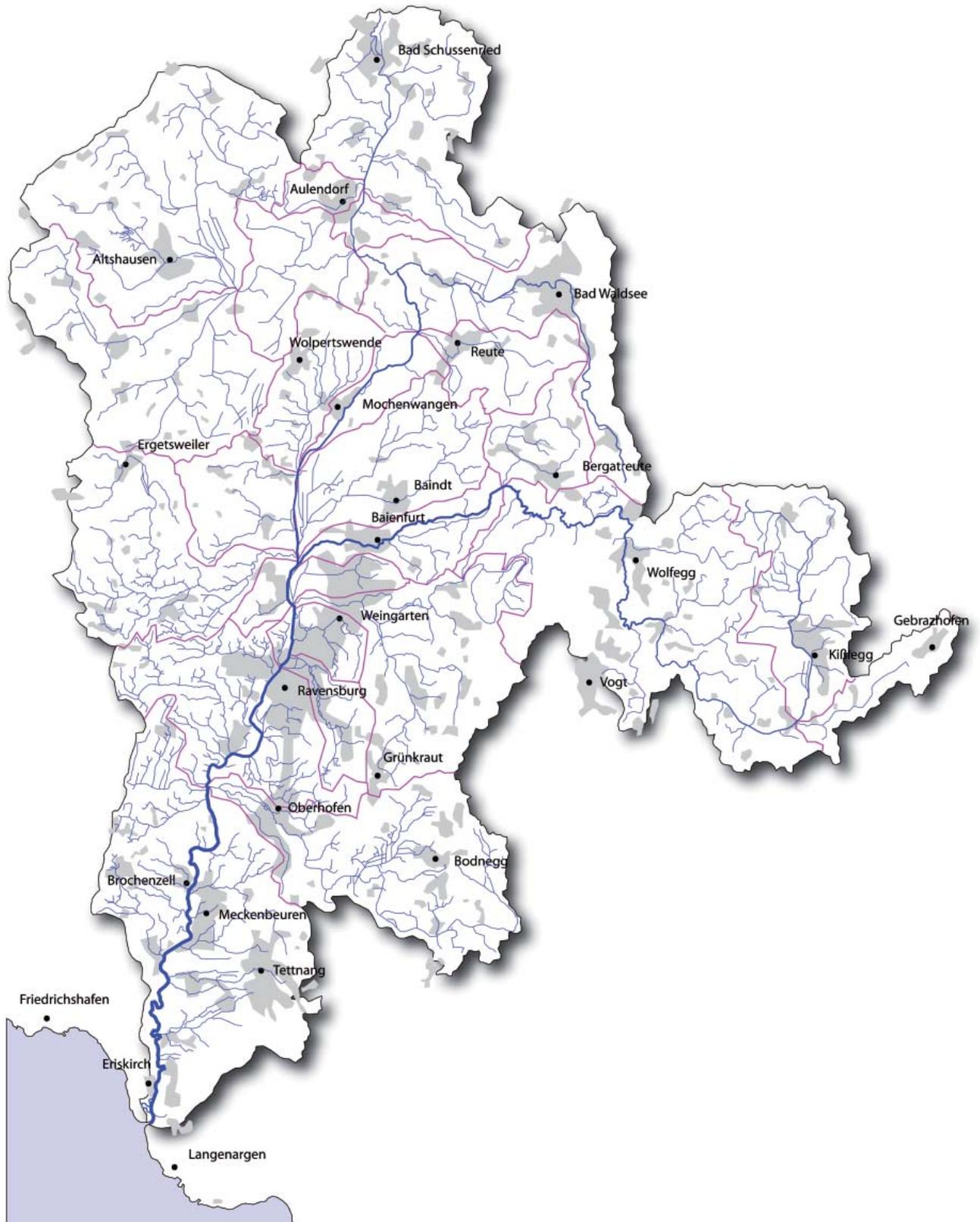


Abb. 1.2: Die Schussen und ihr Einzugsgebiet in ihrem heutigen Zustand



Abb. 1.3: Schussen: (a) im Schusentobel oberhalb Mochenwangen, (b) auf Höhe Aulendorf und (c) unterhalb von Bad Schussenried (Fotos: Rey)

Im Unterlauf stellen sich echte Talmäander ein, deren Lage sich früher nach jedem Hochwasser immer wieder veränderte. Auf den letzten zehn Kilometern ab Kehlen fällt die Schussen nur noch um acht Meter, ab Eriskirch nur noch 70 Zentimeter bis zu ihrer Mündung, dies entspricht einem Gefälle von nur noch 0,32 ‰. Häufige Überschwemmungen mit Laufverlegungen, der Bau der Eisenbahn und die Interessen der Landwirtschaft machten eine Korrektur dieses Flussabschnitts notwendig, die überwiegend in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts durchgeführt wurde.

Echte Talmäander im Unterlauf

Zwischen Meckenbeuren und der Mündung verkürzte sich der Lauf der Schussen durch Begradigungen spürbar. Die ursprüngliche Fließstrecke von 13 Kilometern bis zum Bodensee wurde um mehr als 3 km kürzer (Abb. 1.4). Dadurch wurde zwar der Fluß schneller, aber wegen des geringen Gefälles im Unterlauf kam es dennoch nicht zur Eintiefung des Flussbettes, die sonst als Folge von Begradigungen oft beobachtet wird [5].

Begradigungen haben den Flusslauf verkürzt



Abb. 1.4: Zusammenfluss der Schussen (von links) mit ihrem größten Zufluss, der Wolfegger Ach (von oben) bei Baienfurt-Binningen (Foto: Rey)

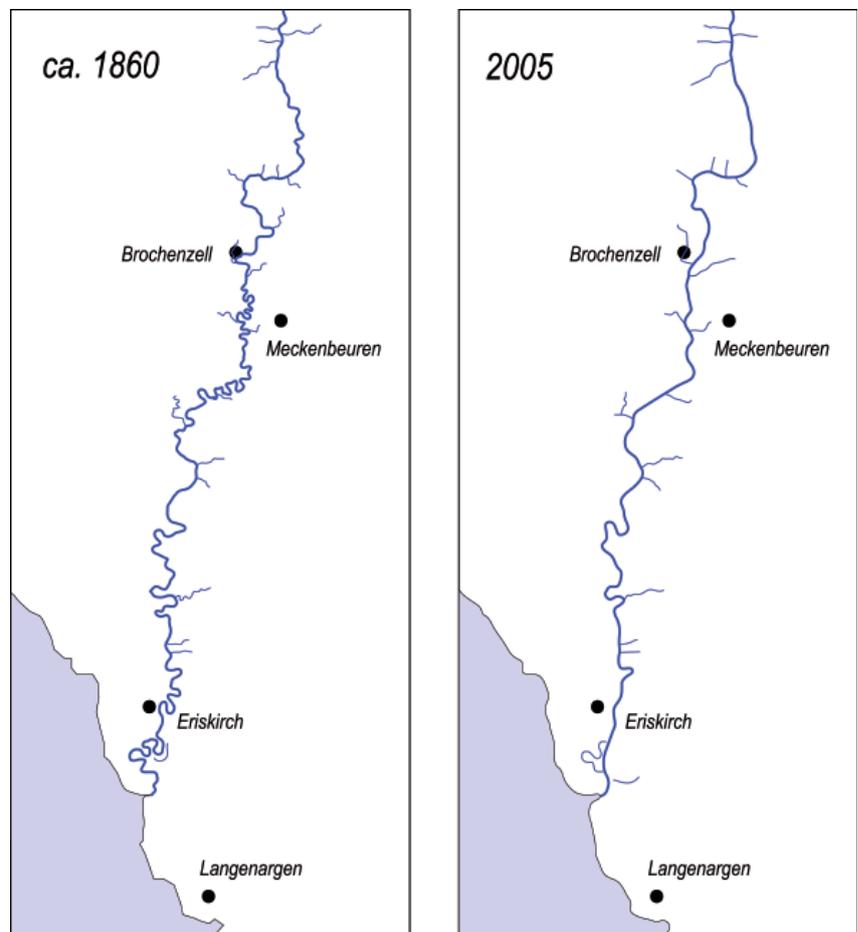


Abb. 1.5: Vergleich der Linienführung der Schussen in Ihrem Unterlauf in historischen Karten (DUF0UR 1860, [5]) und heute

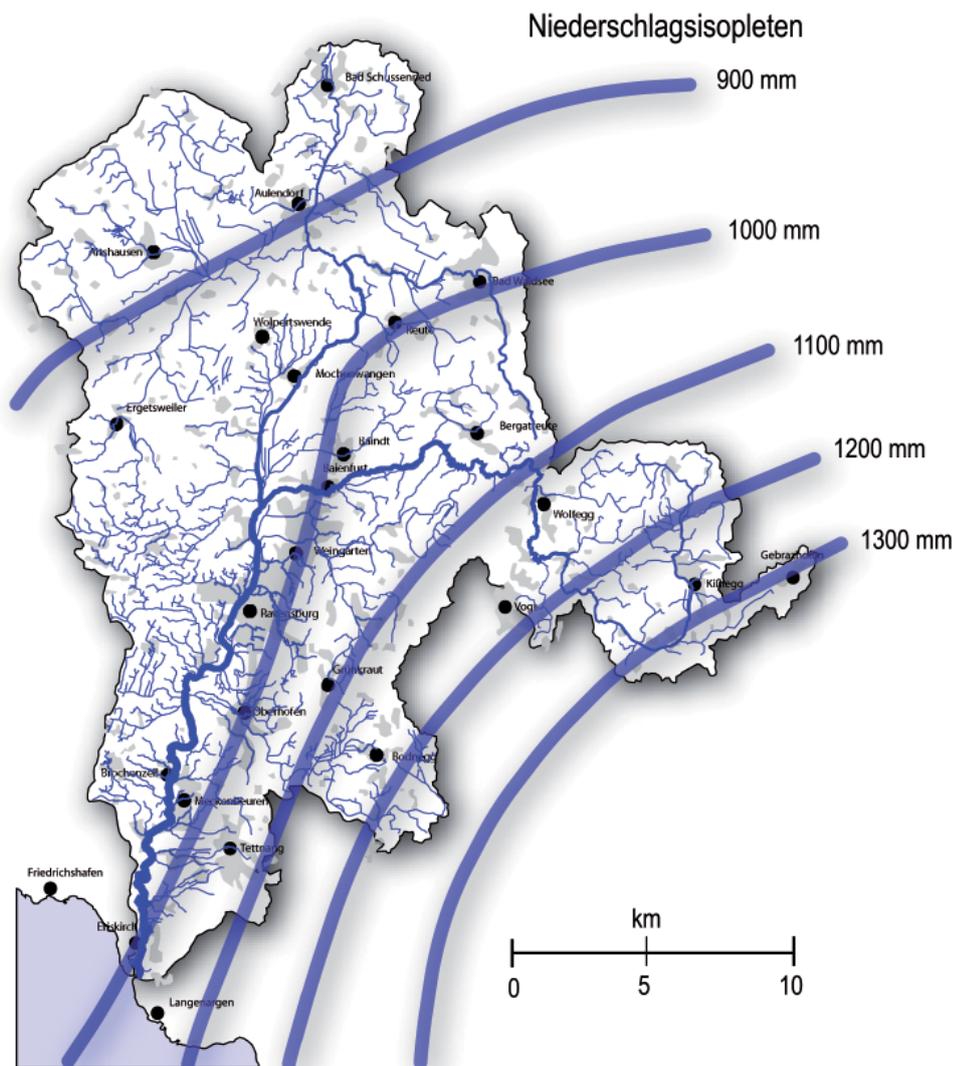


Abb. 1.6: Niederschlagslinien im Einzugsgebiet der Schussen (nach [5], verändert)

1.1.4 Wasserführung und Niederschläge

Die Schussen ist der größte rein baden-württembergische Bodenseezufluss. Die Wasserführung der Schussen schwankt sehr stark. Die niedrigste Wassermenge seit 1920 verzeichnete man am 8. August 1921 mit 1,05 m³/s, der höchste Wert lag bisher bei 143 m³/s, gemessen am 24. Mai 1978. Das langjährige Mittel (1981-2003) liegt bei 11,8 m³/s. Hochwasser kann zu allen Jahreszeiten auftreten, ist im Spätherbst aber selten.

Abflusswerte der Schussen

Wegen des deutlichen Niederschlagsgefälles zwischen dem westlichen Oberschwaben und dem Allgäuer Alpenrand (Abb. 1.6) führen die östlichen Schussenzuflüsse deutlich mehr Wasser als die westlichen. Auf das Einzugsgebiet der Schussen und ihrer Nebenflüsse fallen im Jahr durchschnittlich über 800 Millionen Kubikmeter Niederschläge. Etwa 300 Millionen Kubikmeter davon erreichen den Bodensee bei Eriskirch.

**Niederschlagsgefälle
von Ost nach West**

Wegen des niedrigeren Gebietsniederschlags weist die Schussen trotz ihres größeren Einzugsgebiets mit rund 11,8 m³/sec mittlerem Abfluss einen nur halb so großen Abfluss auf wie der östlich benachbarte Bodenseezufluss Argen.

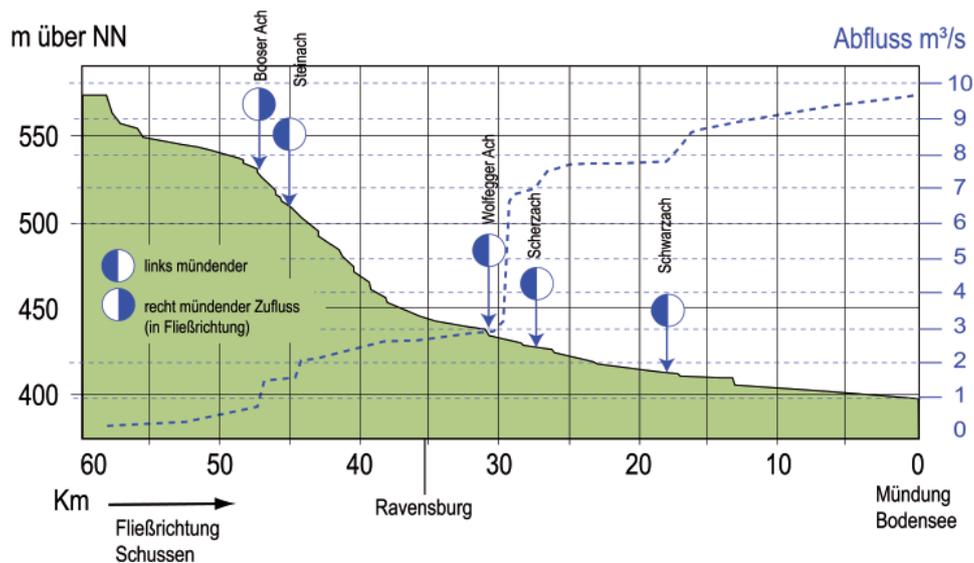


Abb. 1.7: Gefälleverhältnisse und Wasserführung im Längsprofil der Schussen (MQ: 1921-1950) [29]

1.1.5 Zuflüsse

Wolfegger Ach ist größter Schussenzufluss

Die Nebenflüsse und -bäche der Schussen sind in Dimension und Charakter sehr unterschiedlich. Mit einem mittleren Abfluss von 3,4 m³/s an ihrer Mündung ist die Wolfegger Ach der größte Schussenzufluss. Sie entspringt am Westrand des Westallgäus und fließt zunächst durch den Holzmühleweiher bei Immenried und den Obersee bei Kißlegg. Von dort verläuft sie in westlicher Richtung über Kißlegg nach Wolfegg. Zunächst langsam durch moorigen Wiesengrund fließend, gräbt sich die Wolfegger Ach allmählich immer tiefer ein, durchfließt den Altdorfer Wald und bildet dann bis zum Austritt in die Ebene ein tief eingeschnittenes, bewaldetes Tal. Unterhalb von Baienfurt zwischen den Ortsteilen Binningen und Niederbiegen mündet sie in die Schussen. Beim Zusammenfluss mit der Schussen führt die Wolfegger Ach im Mittel etwa soviel Wasser wie die Schussen selbst (vgl. Abb. 1.7).

Auch andere Hauptzuflüsse aus dem Osten

Auch die anderen größeren Bäche fließen der Schussen mehrheitlich aus östlicher Richtung zu: Die von Bad Waldsee kommende Steinach (mittlere Wasserführung 0,35 m³/s), die von Schlier kommende und durch Weingarten fließende Scherzach (mittlere Wasser-

Tab. 1.1: Einzugsgebiet und mittlere Abflüsse der größten Bodenseezuflüsse (Quelle: 23)

Gewässer	Einzugsgebiet	Mittlerer Abfluss
Alpenrhein	6.119,0 km²	233,24 m³/s
Bregenzerach	832,0 km²	48,14 m³/s
Argen	656,4 km²	20,10 m³/s
Rheintal-Binnenkanal (Alter Rhein)	360,0 km²	11,86 m³/s
Schussen	815 km²	11,80 m³/s
Dornbirner Ach	196 km²	4,9 m³/s
Seefelder Ach	280 km²	3,1 m³/s
Rotach	130 km²	1,8 m³/s



Abb. 1.8: Die Zuflüsse der Schussen und größere Teileinzugsgebiete

führung 0,43 m³/s) und die von Bodnegg kommende und bei Ravensburg-Eschach mündende Schwarzach (mittlere Wasserführung 0,51 m³/s).

Aus dem Westen kommend münden nur wenige Fließgewässer mit einer nennenswerten Wasserführung in die Schussen. Zu ihnen zählt die bei Aulendorf mündende Booser Ach und die gegenüber der Wolfegger Ach mündende Ettishofer Ach [29].

Eine besondere Stellung nimmt das Gewässernetz des Stillen Baches (Abb. 1.9) bei Weingarten ein. Es gehört zu den ältesten Kanalsystemen in Deutschland. Es wurde von

Alte künstliche Kanalsysteme



Abb. 1.9: Unterschiedlicher Charakter der Schussen-Zuflüsse: links die weitgehend noch naturnahe Wolfegger Ach; rechts der Stille Bach; Teil eines der ältesten Kanalsysteme Deutschlands (Fotos: Ortlepp, Güde)

Benediktiner-Mönchen im Mittelalter zur Wasserversorgung des Klosters Weingarten angelegt und ist bis zum heutigen Tag nahezu unverändert erhalten geblieben. Die Fläche des Gewässernetzes beträgt ca. 25 km² und umfasst zehn Kanäle sowie etwa 20 Weirher [http://de.wikipedia.org/wiki/Stiller_Bach]. Die Hauptbauzeit des Stillen Baches und seiner Teilgewässer erstreckt sich über einen Zeitraum von einem halben Jahrtausend (11. bis 17. Jahrhundert).

1.1.6 Abflussbesonderheiten der Schussen in ihrem Unterlauf

Bodensee wirkt in den Unterlauf der Schussen hinein

Die Zeiten der höchsten Wasserführung der Schussen und des höchsten Wasserstandes im Bodensee decken sich nicht. Während die Schussen normalerweise im Frühjahr die höchsten Abflüsse zeigt, hat der Bodensee seinen höchsten Wasserstand wegen der vielen Zuflüsse mit nivalem Abflusscharakter aus dem Alpengebiet meist erst im Juli. Die hohe Wasserspiegellage des Sees wirkt dann im Sommer bis weit in den Unterlauf der Schussen hinein, so dass sich bis über Eriskirch hinaus ein starker Rückstau bis hin zur fast vollständigen Stagnation aufbaut (0-0,02 m/s Fließgeschwindigkeit). Die vom Fluss mitgeführten Mineralsande und Flocken organischen Materials setzen sich ab. Da der Abtransport dieser Sinkstoffe unterbrochen ist, kommt es dort zur Aufzehrung des Sauerstoffgehalts im Wasser und zu anaeroben Abbauvorgängen und Faulschlammabildung. Lange Zeit waren äußere Anzeichen dieses Prozesses aufsteigende Gasblasen und Aufschwimmen von Schlammfladen [5]. Dieses früher häufige Phänomen wurde jedoch im Zuge der Verbesserung der Wasserqualität in den letzten Jahren kaum noch beobachtet.

Im Winter reinigt die Schussen ihr Bett

Wenn im Winterhalbjahr der Wasserstand des Bodensees gesunken ist, kann die Schussen wieder frei in den See fließen und zeigt dabei beachtliche Strömungsgeschwindigkeiten von 0,5 bis 1,5 m/s. Zu dieser Zeit reinigt die Schussen ihr Bett und führt den



Abb. 1.10: Unterlauf der Schussen mit Eriskirch. Durch die Schussenbegradigung wurden die alten Mäander vom Hauptgerinne abgeschnitten. (Foto: Ortlepp)



Abb. 1.11: Die Schussen führt Hochwasser (23.04.2008). In ihrem Unterlauf bei Eriskirch transportiert der Fluss eine große Schwebstofffracht. (Foto: Rey)



Abb. 1.12: Schussendelta bei Normal- und bei Niederwasser des Bodensees. (Fotos: Ortlepp, Rey)

heute zu > 80 % mineralischen Schlamm, der sich in den Sommermonaten abgesetzt hatte, in den Bodensee.

Das Schussendelta Neben seeeigenen Strukturen und Transportprozessen trägt diese umfangreiche Feststofffracht mit dazu bei, dass die Schussen ein sehr imposantes Mündungsdelta aufweist. Im See werden die vom Fluss eingetragenen Stoffe über eine stellenweise trockenfallende Uferbank unmittelbar zur Halde geschwemmt. Die ufernahe Strömung lenkt den Wasserkörper der Schussen nach ihrer Einmündung mehrheitlich in Richtung Nordwesten ab, doch werden je nach Wind- und Wetterlage auch andere Verteilungsbilder beobachtet [29].

1.2 Leben in der Schussen

1.2.1 Fische

Ursprünglicher Fischreichtum und Artenvielfalt Die Schussen war ursprünglich ein sehr fischreicher Fluss, dominiert von Forellen und Äschen [27]. Wahrscheinlich besaß sie früher ein sehr großes Fischartenspektrum, das vielleicht am ehesten mit demjenigen der Thur und dem Hochrhein zu vergleichen war. Noch heute können in der Schussen und ihrem Einzugsgebiet 35 Fischarten nachgewiesen werden. Lediglich fünf Arten davon sind als nicht ursprünglich heimisch einzustufen (Regenbogenforelle, Zander und Giebel, wahrscheinlich auch Aal und Stichling).

Erholung der Fischbestände Während den Zeiten starker Gewässerverschmutzung (siehe Abschnitt 3) führte auch die Schussen Substanzen mit Schadwirkung mit sich. Zusammen mit periodisch auftretenden Sauerstoffdefiziten kam es, wie auch in anderen Fließgewässern im Einzugsgebiet des Bodensees, zu negativen Auswirkungen auf den Fischbestand.

Intensiver Austausch zwischen Bodensee und Schussen Im Zuge der Sanierungsmaßnahmen zur Wasserqualität haben sich aber auch an der Schussen die Lebensraumbedingungen für Fische wieder deutlich verbessert. Dank des gefällearmen und langsam fließenden Unterlaufs kommt es zwischen Schussen und Bodensee zu einem intensiven Fischarten- und Individuenaustausch.



Aal



Alet, Döbel



Bachforelle



Äsche



Barbe



Brachsen



Hasel



Groppe



Schneider



Karpfen



Rotaugen



Hecht

Abb. 1.13: Einige der dominierenden Fischarten der Schussen (Fotos: Rey, Hartmann, Eichstaedt)

Vor allem Arten, die im Bodensee die selten gewordenen Flachuferbereiche als Lebensraum bevorzugen, wie Hechte, verschiedene Karpfenartige (Karpfen, Schleien, Alet, Brachsen), Aale, Welse und Flussbarsche sind auch im Unterlauf der Schussen relativ häufig. Diese Artengemeinschaft eher stehender Gewässer vermischt sich hier mit typischen Fließwasserarten wie Hasel und Schneider, Barbe und Bachforelle. Aus diesem Grund ist der Schussen-Unterlauf der bei weitem artenreichste und fischökologisch interessanteste, aber auch vergleichsweise fischreichste Abschnitt des Flusses.

Der Schussen-Mittellauf, der bis hinauf zum Schussentobel keine natürlichen Aufstiegs- hindernisse aufweist, spielt dagegen seit jeher eine Rolle als Aufstiegs- und Laichgewässer der seltenen Bodensee-Seeforellen sowie der Mitteldistanz-Wanderfischarten Barbe und Nase.

Der Oberlauf der Schussen besitzt – im Gegensatz zu den Oberläufen der meisten anderen Bodenseezuflüsse und auch zur Wolfegger Ach - keine eigentliche Forellenregion. Bis hinauf nach Bad Schussenried siedeln Fischarten, die wir eher im Bodensee erwarten wie Brachsen, Aal, Karpfen, Rotaugen und Rotfeder.

Eher untypische Fischbesiedlung im Oberlauf

1.2.2 Kleinlebewesen der Flusssohle

Von der übrigen mit bloßem Auge erfassbaren Lebewelt der Schussen bieten die Bodentiere (Makrozoobenthos) die artenreichste Gemeinschaft. Sie umfasst alle wirbellosen Kleinlebewesen in und auf der Flusssohle, die so genannten Makroinvertebraten. Zu dieser gemischten Gesellschaft zählen wasserlebende Larven von Insekten wie z. B. Eintags-, Stein- und Köcherfliegen sowie Zweiflügler, Netzflügler und Libellen. Ständig im Wasser leben Wasserinsekten, Krebse, Würmer, Schnecken und Muscheln.

Makroinvertebraten sind Zeiger des Gewässerzustands Jeder Gewässertyp zeigt ein charakteristisches Spektrum von Makroinvertebratenarten. Die Kleinlebewesen sind deshalb auch sehr gute Anzeiger des Gewässerzustands - jede Abweichung vom normalen Artenspektrum oder den erwarteten Häufigkeiten weist auf Defizite im Gewässer hin: chemische Gewässerbelastung, Sauerstoffversorgung, Strömungs- und Nahrungsverhältnisse und vor allem auch die Gewässerstruktur, die das Angebot an Habitaten bereitstellt.

Artenzusammensetzung in der Schussen verändert sich Aus verschiedenen Untersuchungen [1, 21] ist bekannt, dass sich mehr noch als bei den Fischen die Zusammensetzung des Makrozoobenthos der Schussen innerhalb der letzten Jahrzehnte verändert hat. Im Mittel- und Unterlauf der Schussen setzt sich das Makrozoobenthos wieder zu über 80 % aus Arten zusammen, die nur eine „geringe“ bis „mäßige“ Gewässerverschmutzung tolerieren und durch ihr Vorkommen die heute verbesserten Verhältnisse in der Wasserqualität anzeigen. So treten auch unterhalb von Ravensburg wieder die großen Larven der Steinfliegengattung *Perla* sowie einige Eintagsfliegen- und Hakenkäferarten auf, die zu den Reinwasserarten zählen. In Bereichen mit bewaldeten Ufern leben Flohkrebse in der Schussen; einen großen Anteil an dieser Gruppe stellt der Flussflohkrebs *Gammarus roeselii*, eine typische Art großer Flüsse, die auch im Bodensee häufig ist.



Steinfliege der Gattung *Perla*



Eintagsfliege *Baetis*



Hakenkäfer *Limnius*



Flussflohkrebs *Gammarus roeselii*



Wasserassel *Proasellus*



Schwebegarnele *Limnomysis*



Schlammröhrenwurm *Tubifex*



Egel *Dina punctata*



Strudelwurm *Dendrocoelum*

Abb. 1.14: Auffällige und häufige Makroinvertebratenarten der Schussen (Fotos: Werner, Rey)

Erwartungsgemäß leben in einem Fluss mit der Belastungsgeschichte der Schussen aber auch anspruchslosere Wirbellose. Zu ihnen gehören z. B. Wasserasseln und einige räuberisch lebende Egel und Strudelwürmer. Vor allem der Mündungsbereich der Schussen weicht hinsichtlich seiner Besiedlung wieder sehr stark vom gesamten übrigen Flussverlauf ab. Wegen der reduzierten Strömungsgeschwindigkeit und der dadurch bedingten stärkeren Ablagerung von organisch belasteten Feinsedimenten lebt hier ein hoher Anteil bezüglich sauerstoffzehrenden Belastungen belastungstoleranter Sedimentfresser wie Schlammröhrenwürmer und roten Zuckmückenlarven. Diese können im Schlamm überleben, weil ihr Körper den wenigen Sauerstoff mittels des Blutfarbstoffs Hämoglobin binden kann. Neu im Unterlauf der Schussen wurde 2009 auch die Schwebgarnele *Limnomysis* nachgewiesen, eine der im Bodensee bereits invasiv auftretenden Neozoenarten (WERNER, mündl. Mitteilung).

Im Schussen-Unterlauf leben nur belastungstolerantere Arten

1.2.3 Das Pflanzenleben in der Schussen

Die Wasserpflanzen (Makrophyten) bilden wegen ihrer weiten Verbreitung und ihrer Standortskonstanz die vorherrschenden Bedingungen im Gewässer ab. Viele Arten sind mehrjährig, womit sie z. B. auch Belastungsverhältnisse über längere Zeiträume hinweg integrieren. Durch ihre enge Bindung an die morphologischen und hydraulischen Bedingungen können Makrophyten auch auf strukturelle Beeinträchtigungen der Gewässer hinweisen.

Makrophyten sind weit verbreitet und standorttreu

Schussen und Wolfegger Ach sind natürlicherweise arm an höheren Wasserpflanzen. In vielen stark beschatteten Strecken und Passagen mit feinkörnigem Material auf der Gewässersohle gedeihen sie schlecht bzw. können kaum wurzeln. Vor allem im Schussen-Unterlauf herrscht durch die häufig sehr hohe Schwebstoffkonzentration ein Lichtklima, welches das Pflanzenwachstum erschwert. Zusätzlich wird die Makrophytenbesiedlung auch durch Defizite in der Gewässerstruktur erschwert (siehe Kap. 2.4.3).

Schussen ist von Natur aus arm an Wasserpflanzen

Unter den Makrophyten der Schussen und der Wolfegger Ach dominieren nach den jüngsten Erhebungen der LUBW (HOPPE, persönliche Mitteilung) schattenliebende Moose wie das Quellmoos *Fontinalis*. Stellenweise findet man auch sogenannte Helophyten, d. h. Pflanzen, die im Sediment wurzeln und deren Sprosse teilweise aus dem Wasser ragen. Hierzu gehört beispielsweise der Gemeine Merk (*Berula erecta*). In bescheidenem Umfang findet man - vor allem im gefälleschwachen Unterlauf - auch untergetauchte Unterwasserpflanzen wie Laichkräuter, Wasserpest und Tausendblatt.

Moose und Helophyten dominieren

Neben den großen Wasserpflanzen sind einzellige, mikroskopisch kleine Aufwuchsalgen ein wichtiger Bestandteil der Schussen-Vegetation. Diese bilden einen je nach Zusammensetzung und Jahreszeit bräunlichen bis grünen Belag auf Steinen und Sedimenten. Kieselalgen (Diatomeen) sind hier vorherrschend und häufig mit den Gattungen *Achnanthes*, *Navicula*, *Amphora* und *Cocconeis* vertreten.

Aufwuchsvegetation

Aufwuchskieselalgen eignen sich auch sehr gut als Bioindikatoren für den Trophiezu- stand, da sie ganzjährig vorkommen und besonders auf Nährstoffbelastungen mit Ände-

Kieselalgen sind gute Bioindikatoren



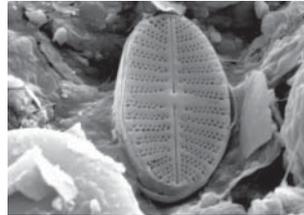
Tausendblatt (Myriophyllum)



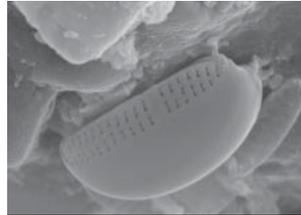
Quellmoos (Fontinalis)



Wasserpest (Elodea)



Kieselalge Achnantes



Kieselalge Amphora



Kieselalge Cocconeis

Abb. 1.15: Makrophyten und Aufwuchsalgen der Schussen (Fotos: Werner, Peters (www.korseby.net), Kümmerlin)

rungen ihrer Zusammensetzung reagieren. Wegen der relativen Kurzlebigkeit zeigen Verteilung und Häufigkeit der Kieselalgen die im Gewässer vorherrschende Wasserqualität der jüngsten Zeit an, während die langlebigeren Makrophyten eher die längerfristig gegebenen Verhältnisse im Gewässer anzeigen.



Die Schussen im Stadtbereich Ravensburg (Foto: Rey)

2. Nutzungsgeschichte der Schussen

2.1 Besiedlung des Schussentals

Die ersten menschlichen Siedlungen dürften in der mittleren Steinzeit zwischen 8000 und 3000 v. Chr. im unteren Schussental errichtet worden sein, bevor in der Jungsteinzeit und Bronzezeit auch die Pfahlbauten am nahe gelegenen Bodenseeufer entstanden (www.eriskirch.de/data/geschichte.php). Damals müssen Überschwemmungen großer Flächen des Auwaldes noch häufig gewesen sein.

Frühe Siedlungen im Schussental

Vor rund 2000 Jahren bauten die Römer entlang der natürlichen Verbindungslinie des Schussenlaufs eine Hauptstraße vom Bodensee zur Donau, obwohl das Gebiet dazwischen lange Zeit nur ein dicht bewaldetes Durchgangsland war und blieb. Die Stadtchronik Eriskirch berichtet über eine erste römische Brücke, die im Jahr 50 n. Chr. über den Unterlauf der Schussen geführt haben soll (www.eriskirch.de/data/geschichte.php). Auch die Römer legten ihre Straßen noch nicht im Talgrund an, sondern von Bregenz über Tettngang kommend über der Talsohle nahe bei den heutigen Orten Ravensburg, Weingarten und Baidnt [27].

Gefährlicher Talboden

Die Spuren der Römer

Obwohl durch die Römerstraße ein wichtiger Handelsweg geschaffen wurde, gelangten Städte wie Ravensburg und Biberach erst viel später im Mittelalter zu überregionaler Bedeutung – vor allem durch den Handel mit Italien. Im 14. Jahrhundert trug sich die Stadt Ravensburg sogar mit dem Gedanken, die Schussen vom Bodensee aus bis vor ihre

Hafenpläne in Ravensburg

Tore für Frachtkähne schiffbar zu machen. Der großzügige Plan scheiterte damals weder am Geld noch an den technischen Möglichkeiten, sondern lediglich daran, dass der Mündungsbereich der Schussen nicht zum ravensburgischen Herrschaftsbereich gehörte [5].

2.1.1 Bevölkerungsentwicklung

Das Einzugsgebiet der Schussen war schon seit jeher unterschiedlich dicht besiedelt. In der Achse des mittleren Schussentals lebten und leben mindestens viermal so viele Menschen wie in den ländlich strukturierten Gebieten des weiteren Hinterlands. Besonders hoch liegen die Besiedlungsdichten in den Zentren Ravensburg und Weingarten.

Als bedeutendes Handelszentrum hatte Ravensburg um 1 500 noch zwischen 4 000 und 5 000 Einwohner. Nach dem 30-jährigen Krieg und nach verschiedenen großen Bränden sank die Bevölkerungszahl um etwa 50 % und blieb sehr lange auf diesem niedrigen Niveau. Der Landkreis Ravensburg und sogar das zentrale mittlere Schussental zählten noch bis Mitte des 19. Jahrhunderts zu einem der württembergischen Entwicklungsräume und galten teilweise sogar als Abwanderungsgebiet [36].

Bevölkerungszunahme während Industrialisierung im 19. Jahrhundert

Ab der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts war die Stagnationsphase – nicht zuletzt durch die Industrialisierung des mittleren Schussentals – beendet. Die Bevölkerungsentwicklung näherte sich bald dem Landesdurchschnitt. Am Beispiel des Landkreises Ravensburg, der als flächenmäßig zweitgrößte Landkreis in Baden-Württemberg einen relativ hohen Anteil an ländlichem Siedlungsraum besitzt, lässt sich die Entwicklung seit 1870 verfolgen (Abb. 2.1, 2.2).

Bevölkerungszahl

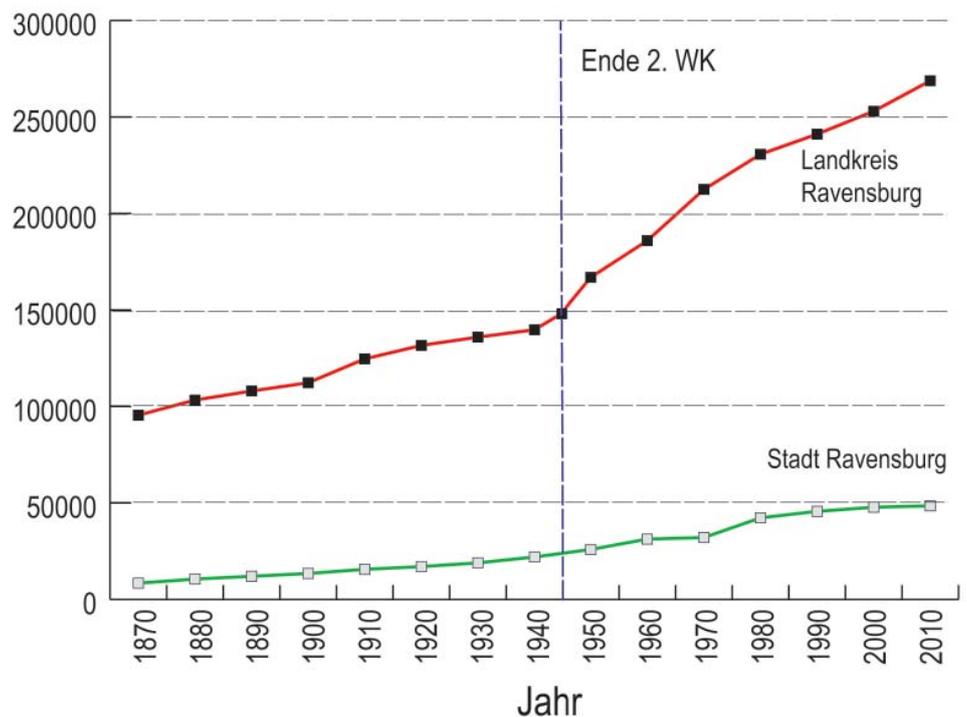


Abb. 2.1: Bevölkerungsentwicklung im Kreis und in der Stadt Ravensburg seit 1870. Quellen: [19, 36, Statistisches Landesamt]

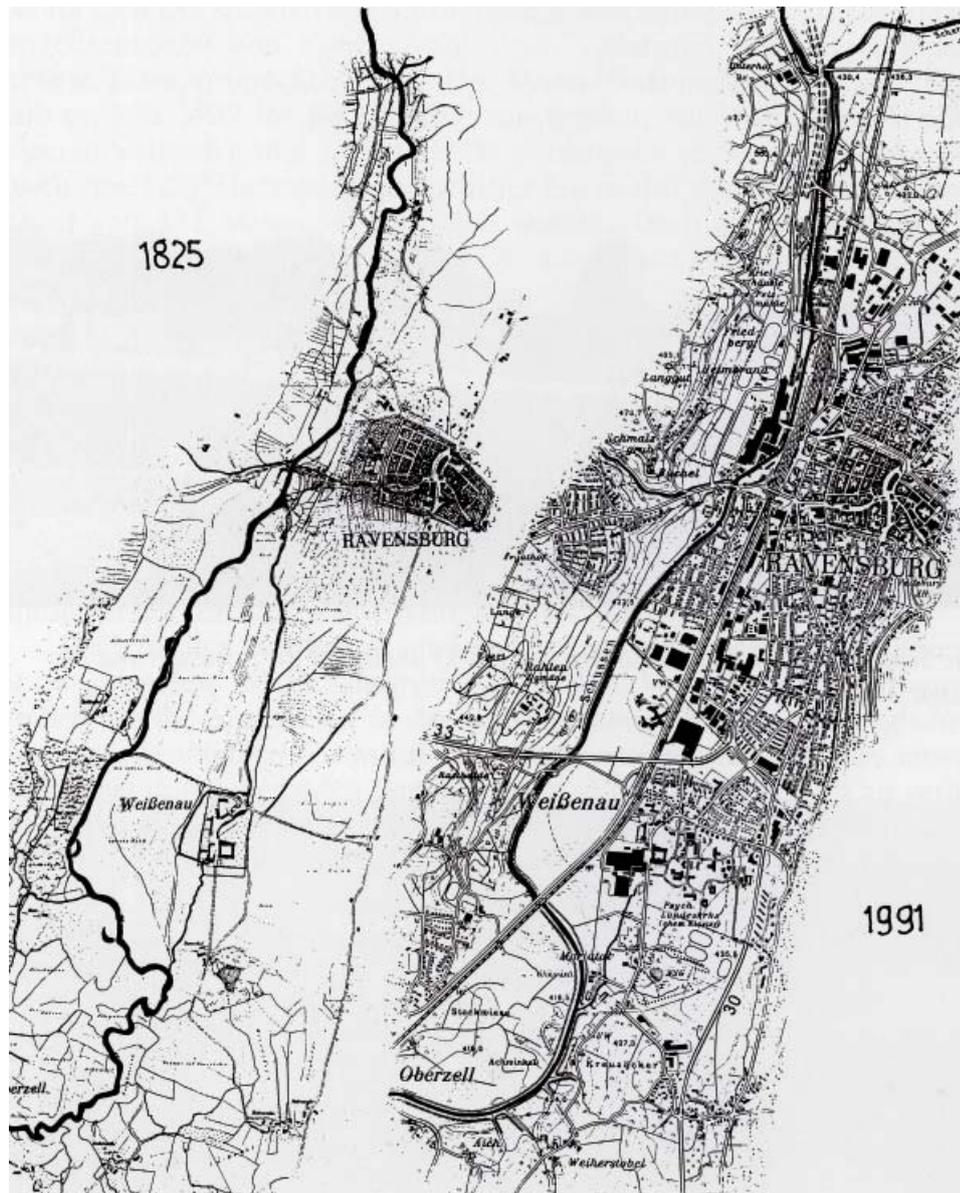


Abb. 2.2: Siedlungsentwicklung im Raum Ravensburg. Vergleich 1825 und 1991. Quelle: [27]

Trotz der somit schon früher einsetzenden Industrialisierung blieb das Schussental bis zum 2. Weltkrieg ein noch immer überwiegend durch Landwirtschaft dominierter Raum. Der überwiegende Teil der Bevölkerung lebte von der Landwirtschaft. Im Zuge der danach einsetzenden rasanten Wirtschaftsentwicklung kam es zu einem Zuzug von Arbeitskräften aus dem In- und Ausland mit deren Familien und die Bevölkerungsentwicklung im Landkreis überholte zum Teil die der benachbarten Verdichtungsräume, wie z. B. die des Bodenseekreises.

Zuzug von Arbeitskräften

2.1.2 Wasser- und Landnutzung vom Mittelalter bis in die Neuzeit

Das Schussental war von seiner Lage, seiner Fruchtbarkeit, seiner Erreichbarkeit und seiner historischen Entwicklung her schon seit jeher dazu prädestiniert, intensiv genutzt zu werden. Originalzitate aus historischen Chroniken zwischen dem 15. und 17. Jahrhundert

Schussental prädestiniert für intensive Landnutzung

[10] geben einen guten Eindruck von der Bedeutung der Schussen als Lebensader eines bereits hoch entwickelten Siedlungsraums.

„...Das Schussental ist ein gut Tal mit allerlei Notdurft, und das Wasser, genannt die Schuß, hat gut mancherlei Fisch und auch gut Krewsen. Sie rinnt für viel Dörfer und fließt zu Ravensburg für die Stadt, do teilt sie sich in zwei Teil, die Schussen und den Schussenbach, und fließt fürbaß für das Kloster, die Weysaw genannt, Und fließt fürbaß für etliche Dörfer in den Bodensee. Und das Wasser, genannt die Schertz, das durch den Flecken Altdorf, bei dem Kloster Weingarten gelegen, fließt, kommt in die Schussen...“.

**Frühe wasserbauliche
Veränderungen**

Bereits früh fanden an der Schussen in großem Umfang wasserbauliche Veränderungen statt, um im Talgrund die unterschiedlichsten vom fließenden Wasser abhängigen Nutzungsformen zu ermöglichen. Der größte Teil des Holzbedarfs der Bewohner wurde aus dem Altdorfer Wald auf der Schussen bis vor die Tore der Stadt Ravensburg geflüßt. Die Schussen nahm auch einen Teil der damals sich in den Straßen ansammelnden Schmutzwässer auf und spülte sie fort. Man muss dabei allerdings berücksichtigen, dass die meisten häuslichen Abwässer - auch diejenigen von größeren Siedlungen - in früheren Zeiten in geschlossenen Gruben gesammelt, von dort auf Felder verbracht und somit erst nach einer mehr oder weniger langen Bodenpassage ins Gewässer gelangt sind [37].

**Die zentrale Rolle der Schussen
in der regionalen Entwicklung**

Es wurden Mühlteiche und neue Bewässerungskanäle angelegt, Waschgelegenheiten für Mensch und Tier geschaffen und für den Abtransport von Schmutzwasser aus Handwerksbetrieben gesorgt. Der Siedlungsraum um Ravensburg herum hatte somit bereits im Spätmittelalter eine Art funktionierende Siedlungswasserwirtschaft.

**Bewässerungs- und
Abwassersystem sowie
ein „durchflossenes“ Gasthaus**

...In der Stadt sind viel Röbrbrunnen und Mühlen, und man kann den Bach, den man all Feierabend in die Stadt fließen lässt, in all Gassen wenden und kehren. ... Der Herr und Burger Trinkstuben ist genannt „Im Esel“, darinnen ein schön Robrbrunnen, darin steht auf Stangen im Sommer viel Federspiel, Habicht und Sperber. ...In

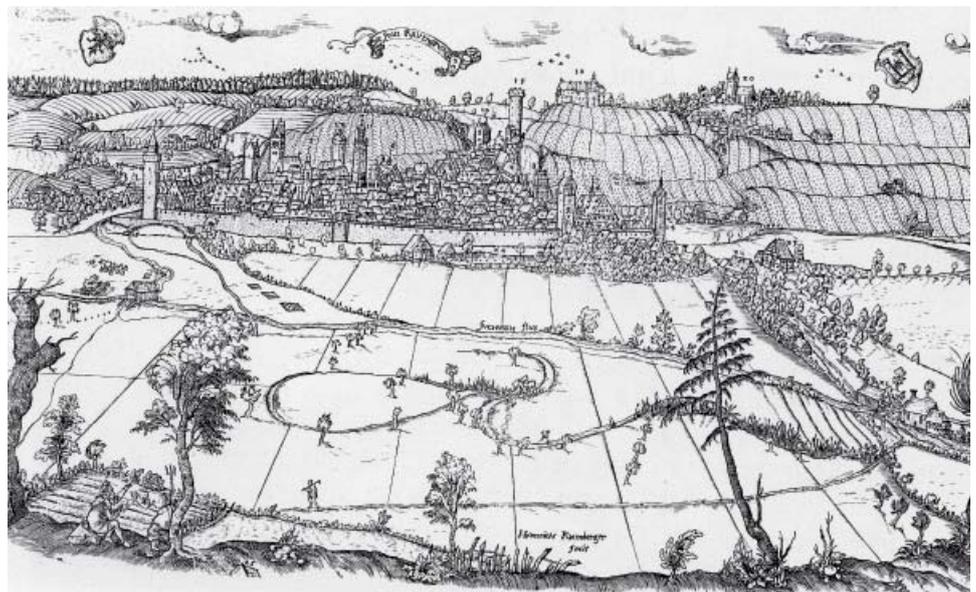


Abb. 2.3: Intensiv genutztes Schussental bei Ravensburg im Jahre 1605
(Quelle: Kupferstich Kumberger in [27])

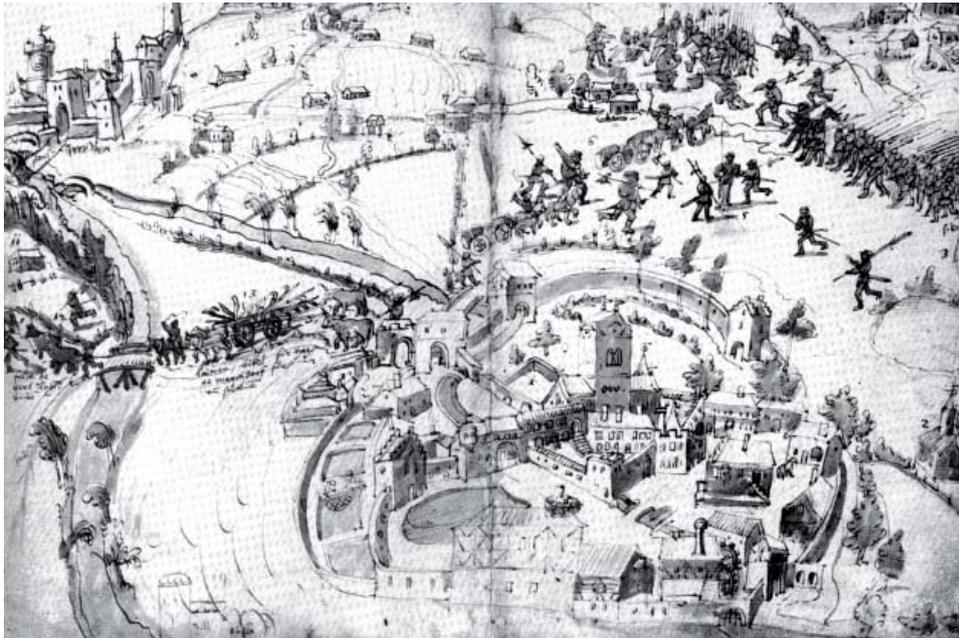


Abb. 2.4: Schussen und der das Kloster Weißenau durchfließende Mühlbach (Schussenbach) während des Bauernkriegs 1525 (Quelle: J. MURER, Chronik des Bauernkriegs, in [15])

der Stadt ist ein Roßschwemm, genannt das Wuol. Er rinnt auch ein Bach durch die Stadt unter den Lederern, es rinnt auch ein Mühlbach aus dem Wuol, desgleichen rinnt ein Bach an dem Gänsbühl. Auf die Bäch sind gemeine Sekretbäuser gebaut, für Frauen und Mannen...“ [10].

...im Elschwang ist ein gewölbter Turm, darin ist ein großer kupferner Kessel, darin viel kleine Kieselstein. Aus dem Kessel teilt man und röbrt das Wasser in alle Brunnen, die in der Stadt und Vorstädten sind, deren ob 70 sind. Und der Turm ist lustig und wohl bewahrt mit eisernen Stangen, Netzen und Türen, daß das Wasser nit vergifet wird, noch ein unsauber Ding darein fall oder käm ...

**Wasserturm und
Wasserreinigung**

Alle Versuche und Hoffnungen der Fernhandelsstadt Ravensburg, den kleinen, aber oft ungebärdigen Fluss schiffbar zu machen und so die Exportgüter ab beziehungsweise bis Ravensburg auf dem Wasser zu transportieren, scheiterten. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts überlegten sich Wasserbauingenieure des württembergischen Königs noch einmal ernsthaft, wie Donau und Bodensee und die oberschwäbischen Städte Biberach, Bad Waldsee und Ravensburg über Riß und Schussen durch ein ausgeklügeltes Kanalsystem miteinander verbunden werden könnten. Die baureifen Pläne wurden aber 1839 zugunsten der Eisenbahn fallengelassen, die als berühmte Südbahn schon ab 1850 Ulm fast ganz der Schussen folgend über „...Meckenbeuren, Durlesbach...“ mit Friedrichshafen verband [5].

**Eisenbahn statt schiffbarer
Schussen**

2.1.3 Landwirtschaft

Anzeichen von Landwirtschaft, der Nutzung geeigneter, zuvor meist gerodeter Flächen für den Anbau von Getreide und als Viehweiden, findet man im unteren Schussental schon seit etwa 8000 bis 3000 v. Chr. Vor etwa 3 000 Jahren war das Klima in Oberschwaben vermutlich etwas wärmer als heute (www.eriskirch.de/data/geschichte.php).

**Getreideanbau seit mehreren
tausend Jahren**

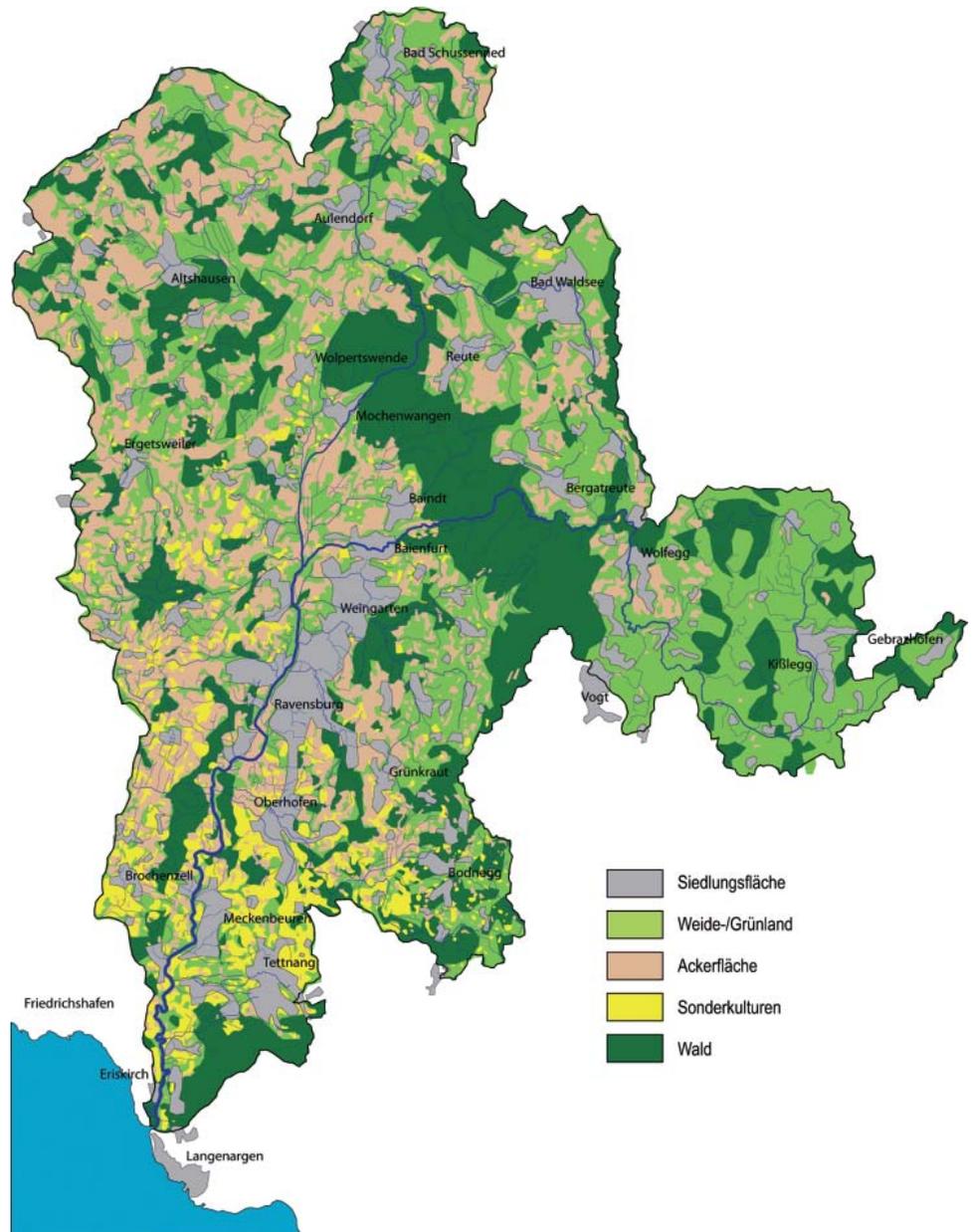


Abb. 2.5: Heutige Landnutzung im Schusseneinzugsgebiet (Quelle: ISF, BOWIS-Datenbank)

Die ersten Siedler mieden damals jedoch noch meist den offenbar noch unwirtschaftlichen, wegen seiner Überschwemmungsflächen und Undurchdringlichkeit gefährlichen Talboden. Man fand Spuren ihrer Existenz fast ausschließlich auf den das Schussental umgebenden Höhen oder deren Abhängen [27].

**Paradiesische Zustände
im Mittelalter**

Für Ackerbau und Viehzucht, aber auch für Weinanbau und die ersten Obstplantagen müssen im Schussental auch im späten Mittelalter und der Neuzeit nahezu paradiesische Verhältnisse geherrscht haben.

... Es wächst auch vor allen Toren Wein. Die Stadt hat auch viel schöne Wiesen, Ackerbau und Viehweid. Es sind auch viel schöne Baumgärten in der Stadt, und ist gerings um die Stadt lustig zu spazieren gebn. Im Stadtgraben sind ob 30 Stuck Hirsche und Hinden. In der Stadt sind schöne Manghäuser. Vor unser Frauen Tor, genannt am Andermannsperg, do sind viel Baumgärten, darin viel Weiber und Fischgruben, hat jede ihr eigen Wasserfluß, und ist daselbst außen lustige spazieren zu geben...

Heute sind nur noch 25 % des Schussen-Einzugsgebietes bewaldet, wovon der Altdorfer Wald das größte zusammenhängende Waldgebiet darstellt. 30 % der Fläche werden für Ackerbau genutzt, mit Schwerpunkt im mittleren und unteren Schussental, auf 5 % der Fläche – insbesondere im seenahen Mündungsbereich und im Raum Tettngang werden Sonderkulturen (v. a. Obst, Hopfen, Wein) angebaut. Knapp 30 % der Fläche werden für Grünland genutzt, dort mit einem ausgeprägten Schwerpunkt im Allgäuer Oberlauf der Wolfegger Ach (vgl. Abb. 2.5).

**Nur noch 25 % des
Schussengebiets sind bewaldet**

2.2 Wirtschaftsgeschichte und Industrialisierung des Schussentals

Die vom landwirtschaftlichen Reichtum der Region unabhängige gewerbliche Entwicklung des Schussentals begann im Prinzip schon mit der ersten Nutzung der Schussen als Energielieferant von Wasserkraft für Handwerksbetriebe. Aber erst mit der ersten Welle der Industrialisierung Anfang bis Mitte des 19. Jahrhunderts erkannte man den eigentlichen Wert der Schussen und ihrer Werkskanäle als wirtschaftsfördernden Faktor.

**Die Schussen als Motor
der Wirtschaft**

2.2.1 Textilverarbeitung

Schon um ca. 1830 konnten die württembergischen Webereien mit ihren Erzeugnissen den gestiegenen Qualitätsansprüchen nicht mehr genügen. Die Rohware - ein Teil davon auch im Schussental produziert - konnte im Lande nicht appretiert (gebrauchsfertig gemacht, verschönert) werden. Es gelang aber, den St. Galler Appreturfachmann Eduard Erpf 1839 für den Betrieb einer Bleich- und Appreturanstalt in den Bauten des ehemaligen Klosters Weißenau zu gewinnen. Der Standort war perfekt, da die bestehenden Gebäude als Infrastruktur dienten und der Schussenkanal als Energiequelle genutzt werden konnte. Staatliche Kredite machten es möglich, dass der Betrieb mit den damals modernsten und effektivsten Maschinen ausgerüstet wurde [27].

**Vom Kloster
zum Industriebetrieb**

Seit dem zweiten Weltkrieg hat allerdings die Bedeutung der Textilindustrie im Schussental und damit auch die daraus entstandenen erheblichen Gewässerbelastungen (Färbestoffe, Bleichen etc.) kontinuierlich abgenommen.

**Bedeutung der Textilindustrie
schwindet**

2.2.2 Papierindustrie und Maschinenbau

Auch die Papierherstellung, später die Papierindustrie, fand im Raum Ravensburg sehr günstige Bedingungen vor, die in erster Linie der Schussen zu verdanken waren:

**Region begünstigt
die Papierindustrie**

- Ein ausgeklügeltes Kanalsystem als Energielieferant zum Betreiben von Mühlen (später Turbinen) und Floßweg
- Die Schussen mit Nutzung für Produktionswasser und als Transportsystem für Abfälle und Abwasser
- Waldreichtum im Einzugsgebiet
- Die Schussen als Transportweg für die Flößerei

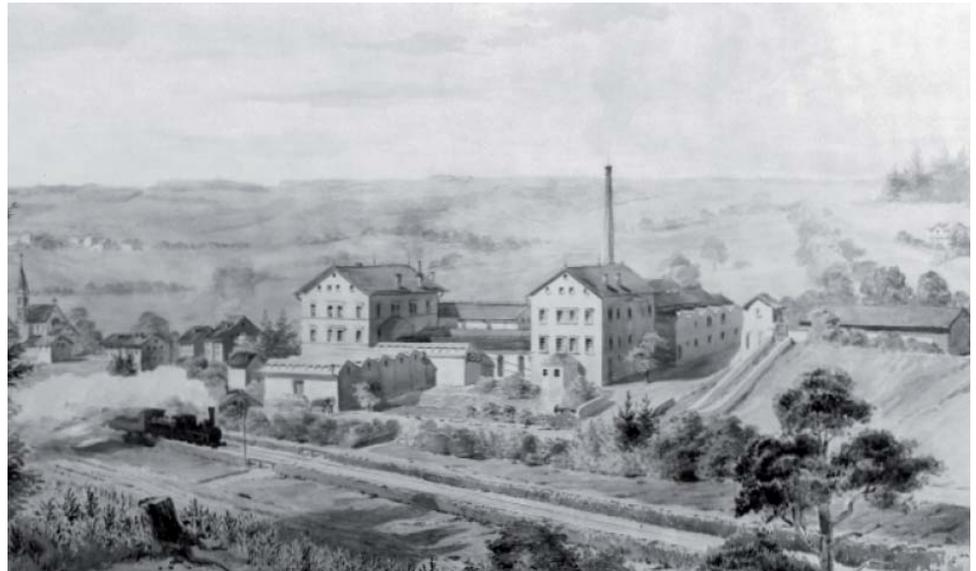


Abb. 2.6: Papierfabrik Mochenwangen um 1900 (Quelle: [27])

Ravensburg war deshalb seit dem späten 14. Jahrhundert neben Nürnberg ein frühes Zentrum der deutschen Papierproduktion [28].

**Einer der frühesten Standorte für
Papierherstellung in Europa**

...Auserhalb der Vorstadt Schornreute sind Papiermühlen, da macht man Papier, genannt Ravensburger Papier, mit dem Ochsenkopf, nutzt man gern in den Kanzleien. In der Stadt und beiden Vorstädten sind Mühlen, in den Vorstädten Sägmühlen... [28].

Diese Tradition der Papierherstellung setzte sich im Schussenbecken, aber auch an einigen anderen Standorten im südlichen Oberschwaben (Wangen, Wolfegg), bis in die Neuzeit hinein fort. Als im 19. Jahrhundert Holzschliff und Zellstoff als Rohstoffe der Papierzeugung eine immer stärkere Rolle einnahmen, stellten die herkömmlichen Papiermühlen die Produktion ein. An anderen Standorten, zum Beispiel in Mochenwangen (1868) und in Baienfurt (1871), kam es aber bald zur Gründung neuer Papierfabriken. Sie waren bis in die jüngste Zeit, nachdem im Dezember 2008 das Werk Baienfurt geschlossen wurde, von großer wirtschaftlicher Bedeutung [27].

**Schussenregulierung dient
erhöhter Produktion**

Die Nutzung der Schussen für die Flößerei und immer wieder auftretende Hochwasserschäden im Raum Ravensburg waren Anlass für die vielen Regulierungsmaßnahmen, die die Schussen im 19. Jahrhundert über sich ergehen lassen musste. Diese sind u. a. Ursache für heute noch bestehende strukturelle Defizite (siehe Abschnitt 2.4.3)

**Escher-Wyß - Maschinen
folgen dem Papier**

Diese wurden weiter intensiviert, als 1851 die Stadt Ravensburg eine Anfrage der Züricher Maschinenfabrik Escher-Wyß & Cie erreichte, eine der ältesten Papiermaschinenhersteller Europas [23], worin nach einer „eventuellen Möglichkeit der Ansiedlung eines Filialbetriebs“ gefragt wurde. Für die Stadt bot dies neben wirtschaftlichen Überlegungen unter anderem auch die Chance, wasserbauliche Maßnahmen zur Minderung von Hochwasserauswirkungen umzusetzen. 1856 war die Ansiedlung von Escher-Wyß in Ravensburg beschlossen und wurde von der Bevölkerung freudig begrüßt [27]. Als Baumaterial für die Fabrik wurden übrigens Steine der Stadtmauer Ravensburg verwendet.



Abb. 2.7: Die Ravensburger Filiale der Züricher Maschinenfabrik Escher-Wyß im Jahr 1896 (Quelle: [16])

Escher-Wyß war in der Folge in entscheidendem Maße an der industriellen Nutzbarmachung und Regulierung der Schussen beteiligt. Es wurden weitere Flusskorrekturen durchgeführt, der rund 2 km lange Escher-Wyß-Kanal gebaut und von der Firma, die sich zwischenzeitlich um weitere Produktionszweige vergrößert hatte, ein Flusskraftwerk installiert und die Schussen in ihrem Mittellauf so zu einem vorwiegend industriell genutzten Abwasser- und Energiegewässer umgestaltet.



Abb. 2.8: Die Papierfabrik STORA-ENSO in Baienfurt 2010 nach Schließung des Werks (Foto: Rey)

2.3 Formen der stofflichen Belastung der Schussen

Nutzungsgeschichte bestimmt die Belastungsgeschichte Die geschilderte Geschichte zunehmender Gewässernutzungen hat sich natürlich auch in einer entsprechenden Belastungsgeschichte der Schussen niedergeschlagen. Man kann aber davon ausgehen, dass die eigentlichen, gewässerrelevanten Belastungen erst mit dem Zeitalter der Industrialisierung entstanden sind. Zum besseren Verständnis dieser Belastungsgeschichte ist es aber erforderlich, sich zunächst einen Überblick über die wichtigsten Quellen und Belastungsformen zu verschaffen.

Quellen der stofflichen Belastungen Die stoffliche Belastung der Schussen und ihrer Zuflüsse hat verschiedene Quellen. Sie stammt einerseits aus der Siedlungsentwässerung mit Abwasserbehandlungsanlagen, andererseits aus landwirtschaftlichen Nutzflächen, aus denen z. B. Nährstoffe und Pestizide ausgeschwemmt werden (Abb. 2.9). Die heute überwiegend in Mischkanalisationssystemen gefassten industriellen und häuslichen Abwässer sowie die Niederschläge aus Versiegelungsflächen gelangen via Kläranlagenauslauf und Regenüberlaufbecken als punktuelle Einträge (Punktquellen) in die Schussen. Alle weiteren Belastungen erreichen die Gewässer als diffuse, mehr oder weniger durch Bodenpassage gefilterte Einträge.

So vielfältig die potenziellen Belastungsquellen im Schussengebiet sind, so vielfältig können auch die unterschiedlichen Stoffe sein, die als Verschmutzung in den jeweiligen Gewässer nachweisbar sind.

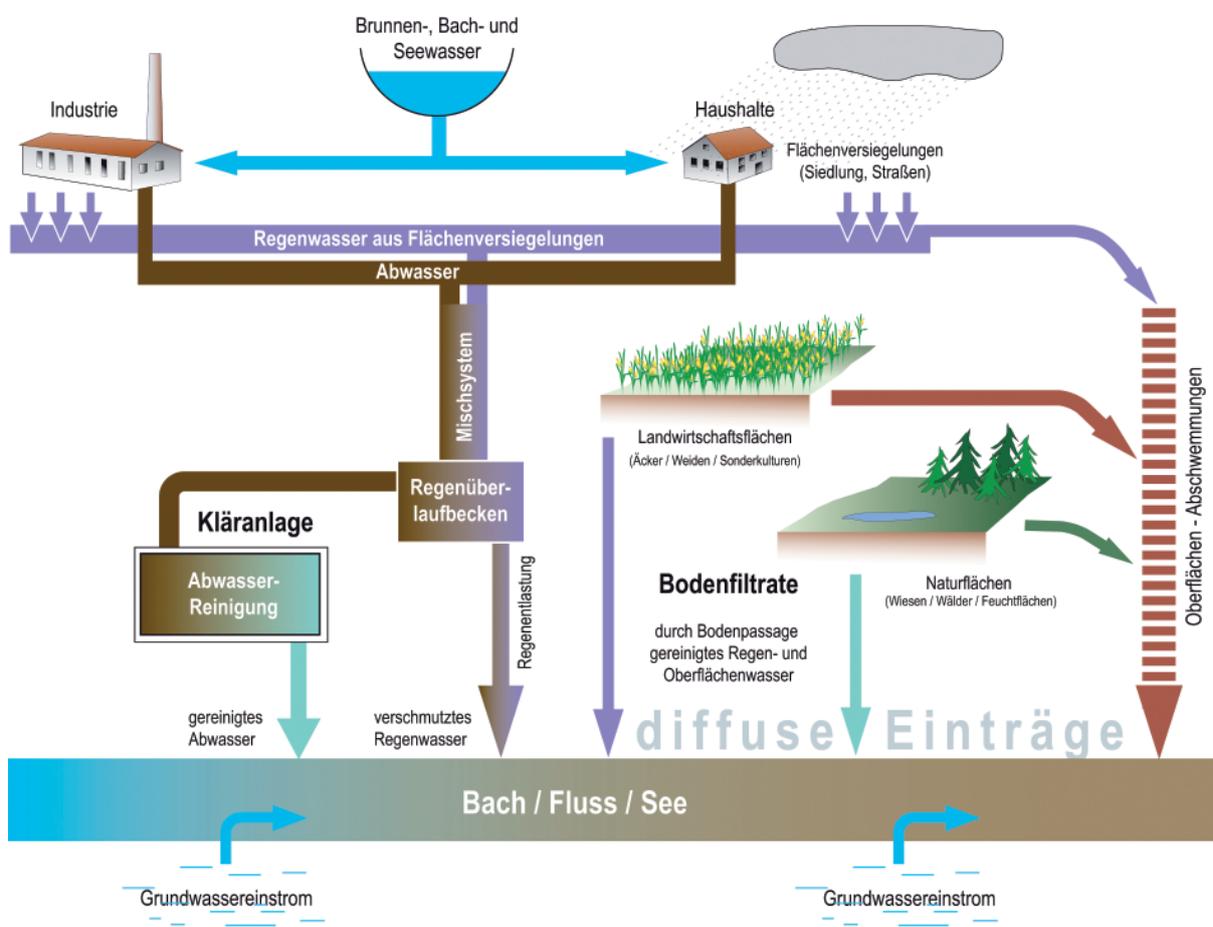


Abb. 2.9: Prinzip der Siedlungs- und Landflächenentwässerung sowie die Haupteintragswege der stofflichen Belastung der Schussen

2.3.1 Makroverunreinigungen

Unter den hier gewählten Begriff „Makroverunreinigungen“ fallen die am frühesten wahrgenommenen stofflichen Belastungsformen, deren Stoffkonzentrationen insgesamt auch im größeren, gut nachweisbaren (i. d. R. im Bereich mg/l) Bereich liegt. Diese „klassischen“ Belastungen beinhalten darüber hinaus die Stoffe und Stoffgruppen,

- von denen schon lange bekannt ist, dass sie deutliche ökologische Wirkungen auf die Gewässerbiozöten zeigen;
- die als gute Indikatoren oder als Summenparameter für die verschiedenen Arten anthropogener Belastung gelten;
- deren Elimination aus diesen Gründen eine große Rolle im „qualitativen Gewässerschutz“ (der Verbesserung der Wasserqualität) spielt;

Die wichtigsten hierzu gehörenden Stoffe bzw. Messgrößen sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Sauerstoffzehrende organische Substanzen

Sauerstoffdefizite sind die häufigste und am frühesten beobachtete Auswirkung von leicht abbaubaren Stoffbelastungen. Das Ausmaß dieser Belastung wird durch den biologischen (biochemischen) Sauerstoffbedarf (BSB) ermittelt. Der BSB gibt die Menge an Sauerstoff an, die zum biologischen Abbau der im Wasser vorhandenen organischen Stoffe (unter bestimmten Bedingungen und innerhalb einer bestimmten Zeit) benötigt wird. Der BSB dient somit vor allem als Summenparameter zur Erfassung und Beurteilung der Belastung abwasserverschmutzter Gewässerabschnitte und von Abschnitten mit starker Oberflächenabschwemmung aus landwirtschaftlichen Nutzflächen.

**Biologischer
Sauerstoffbedarf (BSB)**

Heute wird die organische Belastung vorwiegend durch Ermittlung des chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) gemessen. Der CSB erfasst dabei alle, auch die nicht biologisch abbaubaren Stoffe, sowie auch einige anorganische Stoffe, die durch ein starkes Oxidationsmittel (Kaliumdichromat) oxidiert werden können. Der CSB ist deshalb in der Regel immer größer als der BSB. Der CSB ist ein wichtiger Parameter bei der Bemessung, Dimensionierung und der betrieblichen Kontrolle von Kläranlagen. Im funktionierenden Ablauf einer biologischen Abwasser-Kläranlage sind hauptsächlich gelöste, biotisch nicht abbaubare organische Stoffe enthalten. Bei Abwässern aus Papierfabriken kann dieser Anteil noch sehr hoch sein.

**Chemischer
Sauerstoffbedarf (CSB)**

**Wichtiger Messwert
für Kläranlagen**

Phosphor

Phosphor gelangt sowohl über Punktquellen aus Abwasser als auch diffus - über Abschwemmung aus landwirtschaftlichen Nutzflächen - in die Gewässer. Während bei der Düngung von Landflächen Stickstoff in der Regel die wichtigste Rolle spielt, ist Phosphor in Gewässern meist Minimumfaktor und steuert damit das Pflanzenwachstum. Entsprechend zentral ist seine Rolle als wichtigste Steuer- und Kontrollgröße bei der

Phosphor als Minimumfaktor

Eutrophierung von Binnengewässern, insbesondere der Seen und gestauten Fließgewässern. Natürliche diffuse Phosphoreinträge wirken sich dagegen viel weniger auf die Produktion aus, da sie überwiegend partikulär gebunden vorliegen und damit für die Pflanzen nur schwer verfügbar sind.

**Phosphor als Hauptursache
der Gewässereutrophierung**

In Gewässern besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Menge verfügbaren Phosphors und der Biomasseproduktion. Ein unnatürlich hoher Eintrag bioverfügbaren Phosphors - das ist vor allem der gelöste Phosphor - führt deshalb zur Gewässer-Eutrophierung mit allen ihren negativen ökologischen Folgen. Die Bekämpfung bzw. das Verhindern von Eutrophierung ist deshalb eines der wichtigsten Qualitätsziele im Gewässerschutz und die Phosphorelimination somit eine wichtige Aufgabe verschiedene Verfahren moderner Kläranlagentechnik.

Stickstoff

**Stickstoff stammt aus
vielen Quellen**

Stickstoff ist wie Phosphor ein wichtiger Pflanzennährstoff und deshalb auch potenziell eutrophierungswirksam. In Binnengewässern spielt er aber – im Gegensatz zu Meeren - fast nie die Rolle des primär wachstumsbegrenzenden Faktors. Zur Stickstoffbelastung der Gewässer tragen vor allem diffuse Quellen aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung bei. Auch in diesem Fall kommen zusätzliche Belastungen aus gereinigtem Abwasser und der Regenentlastung sowie aus atmosphärischen Einträgen (Deposition) hinzu.

**Fischtoxische
Stickstoffverbindungen
Ammonium und Nitrit**

Während Stickstoff in der oxidierten *Nitrat*-Form selbst eine vergleichsweise geringe Schädigung auf Gewässerorganismen hat, gehören die instabilen reduzierten Abbauprodukte der Stickstoffverbindungen wie *Ammonium* und *Nitrit* zu den gefährlichsten, darüber hinaus aber auch zu den am meisten verbreiteten Fischgiften. Besonders relevant ist dabei die Bildung des schon in geringen Konzentrationen toxisch wirkenden freien Ammoniaks aus Ammoniumverbindungen, die mit steigender Temperatur und pH-Wert zunimmt. Ammonium und Nitrit entstehen bei der so genannten Nitratatmung (Denitrifikation und Ammonifikation) von Bakterien bzw. bei der Zersetzung von Eiweißverbindungen. Diese Prozesse laufen nicht nur in der Natur ab, sondern auch bei der biologischen Abwasserreinigung in Kläranlagen. Deswegen kommt einer funktionierenden Nitrifikation in Kläranlagen auch eine hohe ökologische Bedeutung zu.

Salze

**Sulfat und Chlorid:
natürliche Inhaltsstoffe
und Belastungszeiger**

Sulfat und Chlorid gehören zu den natürlichen Wasserinhaltsstoffen (geogener Hintergrund), ihre spezifischen Konzentrationen sind damit auch ein Charakteristikum unterschiedlicher Gewässer. Nur in höheren Konzentrationen wirken beide Salze auch für Gewässerorganismen toxisch. Chlorid und Sulfat zeigen aber auch, wenn sie in einer für das jeweilige Gewässer untypischen Menge nachweisbar sind, die Höhe der anthropogenen Belastung an.

In der Regel sind erhöhte Belastungen durch Chlorid auf Abwässer, Deponiesickerwässer oder Straßenabschwemmungen (z. B. Chlorid aus Streusalz), also auf Einträge aus

der Siedlungsentwässerung, zurückzuführen. Der Sulfatgehalt wird im Einzugsgebiet der Schussen noch mehr als Chlorid vom geogenen Hintergrund geprägt. Höhere Konzentrationen in den gereinigten Abwässern von Kläranlagen können aber ebenfalls als Hinweis für spezifische Belastungen von Siedlungsflächen herangezogen werden (Beispiel Abwasser Papierfabrik Baienfurt).

2.3.2 Mikroverunreinigungen

Zu den Mikroverunreinigungen zählt eine große Gruppe von Stoffen mit zum Teil völlig unterschiedlichen chemischen Eigenschaften und biologischen Wirkungen. Ihre Gemeinsamkeit beschränkt sich im wesentlichen darauf, dass es sich um Fremdstoffe handelt, die in nur sehr geringen Konzentrationen (ng - µg/l) im Wasser vorkommen. Aufgrund dieser Heterogenität ist es auch vollkommen unmöglich, einen allgemein gültigen Ansatz zur Einordnung der Umweltrelevanz oder der Wirksamkeit möglicher Maßnahmen anzubieten, um die Belastung durch solche Stoffe zu verringern. Vielmehr können hier daher nur sehr allgemeine Gesichtspunkte und Prinzipien vorgestellt werden, die streng genommen für jeden Stoff nochmals im Detail zu prüfen und anzupassen sind.

**Mikroverunreinigungen –
eine heterogene Gruppe
unterschiedlichster Stoffe**

Als Pflanzenschutzmittel (PSM) in landwirtschaftlichen Anbaubereichen werden überwiegend Pestizide eingesetzt. Hierzu zählen Herbizide („Unkrautvernichtungsmittel“), Fungizide („Pilzvernichtungsmittel“) und Insektizide („Insektenvernichtungsmittel“). Naturgemäß wirken alle drei Gruppen nicht nur gegen Kulturschädlinge, sondern schädigen auch mehr oder weniger die restliche belebte Umwelt. Durch ihre schwere Abbaubarkeit und globale Verbreitung können sie sich überdies stark anreichern. Noch heute wird das längst verbotene DDT weltweit in vielen Organismen nachgewiesen.

Pflanzenschutzmittel

Bezüglich ihrer Ökotoxizität können auch zu den erlaubten Stoffen der neuen Pestizidgeneration keine eindeutigen Aussagen gemacht werden. Für in größerer Konzentration nachgewiesene Stoffe ist aufgrund ihrer Persistenz aber weder die Karzinogenität, ein Einfluss auf Hormonhaushalt oder die Reproduktionsbiologie von Gewässerorganismen auszuschließen.

Obwohl die Datenlage bis heute bei weitem noch nicht so umfangreich ist wie bei den Pflanzenschutzmitteln, wurden doch in den letzten Jahren immer mehr Arbeiten durchgeführt, die Effekte von Arzneimitteln bei aquatischen Tieren abschätzen lassen. Während die Wirkung hormonaktiver Stoffe (i. d. R. Östrogene) z. B. auf Fische in der Öffentlichkeit bereits heftig diskutiert wird, reicht der wissenschaftliche Kenntnisstand über deren ökologische Wirkung kaum aus, die damit verbundenen „Wirkungstheorien“ zu bestätigen (Stichwort: „Verweiblichung“ von Fischen). Wichtige in der Schussen gefundene Arzneimittelklassen sind Schmerzmittel, Psychopharmaka, Antibiotika, Diagnostika (wie z. B. Röntgenkontrastmittel) und Hormone.

Arzneimittel

Bei den Industriechemikalien besitzen neben den gefährlichen chlorierten und bromierten Kohlenwasserstoffen und Benzol auch die weit verbreiteten Phenole, Bisphenole und Phthalate ökotoxikologische Bedeutung. Das in der Umwelt schwer abbaubare

Industriechemikalien

Nonylphenol wird zur Herstellung von Produkten verwendet, die als nichtionische Tenside in Reinigungsmitteln, Waschlösungen oder Desinfektionsmitteln vorkommen. Zudem werden diese Stoffe bei der Herstellung von PVC-Folien, Kunststoffen, Textilien, Papier, Fungiziden (Anstriche) oder Arzneimitteln eingesetzt. Octylphenol findet in ähnlichen Bereichen Verwendung und zeigt, vergleichbar mit Nonylphenol, auch noch hormonaktive Eigenschaften. In der Schussen lagen insgesamt 10 Industriechemikalien über der Nachweisgrenze, darunter fünf (u. a. Bisphenol A, Nonylphenolderivate und 4-Octylphenol) in Konzentrationen deutlich über formulierten Zielvorgaben [39].

Perfluorierte Tenside

Perfluorierte Tenside (PFTs) sind organische Verbindungen, die bei der Behandlung und Imprägnierung von Materialoberflächen verwendet werden, z. B. in der Textilindustrie zur Herstellung atmungsaktiver Jacken, in der Papierindustrie zur Herstellung von schmutz-, fett- und wasserabweisenden Papieren, bei der Herstellung von Halbleiterplatten und bei galvanischen Verfahren. Eingesetzt werden diese Verbindungen z. B. aber auch in der Photoindustrie, bei der Herstellung von Feuerlöschmitteln, Shampoos und Pestiziden, sowie in der Luft- und Raumfahrt. Perfluorierte Tenside sind in der Umwelt schlecht abbaubar und akkumulieren in den Geweben verschiedener Tiere, vor allem in deren Blut, Niere und Leber sehr stark.

Komplexbildner

Komplexbildner sind gut wasserlöslich und stabil. Sie werden in vielerlei Branchen und Produkten eingesetzt (z. B. Metallverarbeitung, Papierindustrie, Textil- und Lederindustrie, Herstellung von Wasch- und Reinigungsmitteln, Pharmazeutika und Pflanzenschutzmitteln). An der Schussen erwiesen sich Milchwerke, Papierindustrie und Textilausrüster als Hauptquellen der Belastung durch den Komplexbildner EDTA. DTPA, ein anderer Stoff dieser Gruppe, wird fast ausschließlich von zwei Betrieben der Papier- und Zellstoffindustrie eingetragen.

Umweltrelevanz der Komplexbildner ist noch ungewiss

Bei Komplexbildnern ist es besonders schwer, eine ökologische Relevanz nachzuweisen. Sie sind aber gut wasserlöslich und stabil und daher eine potenzielle Gefahr für Gewässerorganismen. Bis mehr über sie bekannt ist, sollten sie als Fremdstoffe nach dem Vorsorgeprinzip behandelt und ihr Eintrag in die Gewässer zumindest minimiert werden.

Metalle, Schwermetalle

Der Eintrag von Kupfer, Zink und Blei in die Gewässer geht meist auf die „umwelt-offenen Anwendungen“ dieser Stoffe zurück, wie ihre Verwendung in Materialien für Dacheinbauten, Regenrinnen, Fallrohre, Kamine, Dachabdichtungen, Fassadenelemente und Verkleidungen.

Liste der Mikroverunreinigungen wächst

In den letzten Jahren wurde die Liste der nachgewiesenen Mikroverunreinigungen immer länger. Unter anderem findet man heute den Zuckerersatzstoff *Sucralose* (nicht abbaubarer chlorierter Zucker) und *Benzotriazol* (Korrosionsschutzmittel) bereits in beachtlich hohen Mengen in Schweizer Gewässern, zumindest in einem Bodenseezufluss [12] und im Bodensee selbst (IGKB, unveröffentlicht).

2.3.3 Keimbelastung

Der hygienischen Belastung der Gewässer durch Fäkalkeime und Krankheitserreger kommt eine Sonderrolle zu, weil bei ihr nicht die ökologischen Schadwirkungen sondern die menschliche Gesundheitsfürsorge im Mittelpunkt steht. Diese kann durch einen übermäßigen Anfall von Abwasser und diffusen Einträgen zum Gewässerschutz- und Gesundheitsproblem werden. Überwiegend stammen diese Keime aus dem Darm warmblütiger Tiere und des Menschen und können nur kurze Zeit außerhalb des Darms überleben.

**Sonderrolle der
hygienischen Belastung**

Bei der hygienischen Gewässerüberwachung werden normalerweise Krankheitserreger nicht direkt erfasst. Die einfach messbaren fäkalkoliformen Keime (*Escherichia coli*) sowie die intestinalen Enterokokken werden deshalb als Indikatoren herangezogen, die das Maß der hygienischen Belastung anzeigen: wo viele von diesen i. d. R. harmlosen Fäkalkeimen nachgewiesen werden, ist auch die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass auch Krankheitserreger im Wasser vorliegen können.

**E.coli und Enterokokken
als Belastungsindikatoren**

Die Keimbelastung eines Oberflächengewässers ist vor allem für seine Qualität als Badegewässer von besonderer Bedeutung. In entsprechenden Richtlinien wird dieser Tatsache mit geeigneten Richtwerten Rechnung getragen. Allerdings findet eine Überwachung nur an ausgewiesenen Badeplätzen statt, die es an der Schussen wie an fast allen Fließgewässern Baden-Württembergs nicht gibt. Als Bodenseezufluss mit mündungsnahen Strandbädern hat die Keimbelastung der Schussen aber hohe Relevanz.

Trink- und Badewasser

2.4 Warnzeichen beginnender Belastung

Da die Abwasserentsorgung durch die ausgeklügelten Kanalsysteme Ravensburgs vom späten Mittelalter bis zur Industrialisierung offenbar soweit funktionierte, dass kritische Belastungen noch nicht erreicht wurden, war mit der beschleunigten Siedlungsentwicklung und der Industrialisierung zu Beginn des 20. Jahrhunderts wahrscheinlich zum ersten Mal die Belastungskapazität der Schussen – zumindest lokal – überschritten.

**Belastungskapazität war
im 20. Jahrhundert überschritten**

Die Öffentlichkeit bemerkte nun, dass die Schussen ihre braune Färbung nicht mehr nur aus dem moorigen Einzugsgebiet mitbrachte, sondern dass sie durch Verunreinigungen und das Abwasser aus den größeren Siedlungen und durch industrielle Abwässer – v. a. aus der Zellstoffindustrie – massiv verschmutzt wurde. Es sollte jedoch noch mehrere Jahrzehnte dauern, bis sich die Auswirkungen dieser sichtbaren Belastung auch in Form einer veränderten Biologie des Flusses manifestierten.

Die braune Schussen

Bis ca. 1930 galt die Schussen hinsichtlich biologischer Gewässergüte noch als gering bis mäßig belastet. In den Jahren 1926/27 hat WETZEL den Verschmutzungsgrad der Schussen bei Langenargen, kurz vor der Einmündung, untersucht und β - bis α -mesosaprobe Verhältnisse – also lediglich eine mäßige Belastung der Wasserqualität – gefunden. WETZEL selbst schließt daraus, dass die Schussen zu dieser Zeit „... in keiner Weise verunreinigt war...“ [44]. In der Retrospektive tendieren wir eher zu dem Schluss, dass die belastenden

**Biologischer Zustand wurde noch
länger als gut beurteilt**

Faktoren damals schon wirksam waren, die Schussen aber nicht in vollem Maße beeinflussen konnten, weil

Noch nicht alle Belastungen erreichten die Schussen direkt

- die Abwasserbelastung pro Kopf der Bevölkerung aufgrund anderer Lebensgewohnheiten geringer als heute war;
- die damals noch vorherrschende Abwasserentsorgung mit geschlossenen Gruben und Ausbringung auf Felder zwar zu lokalen Belastungen im Einzugsgebiet geführt haben kann, die Schussen selbst aber noch nicht so stark beeinflusste;
- die Schussen und das Umland (Bodenfiltration) im Mittellauf eine für die anfallende Belastung noch ausreichende Selbstreinigungskraft besaß;
- sich in den Sedimenten der Schussen damals vermutlich erst geringere Mengen remobilisierbarer Belastungen abgelagert hatten.

Schussen ist empfindlicher als andere Bodenseezuflüsse

In jedem Fall kam es im Zuge dieser Entwicklung gegenüber anderen Bodenseezuflüssen wie z. B. der Argen zu einer erhöhten stofflichen Belastung. Zudem ist und war die im Unterlauf träge fließende Schussen auch von Natur aus durch Abwässer stärker beeinflussbar, weil die Sauerstofferneuerung dort geringer ist [24]. Es konnte daher nicht ausbleiben, dass sich die Belastungen der Schussen durch Siedlungs- und Industrieabwässer über kurz oder lang auch in ihrer Wasserqualität und Lebewelt zeigen mussten.

2.4.1 Auswirkungen der Zellstoffindustrie auf die Schussen

Papierindustrie als Schlüsselfaktor der Industrieentwicklung

Wie schon oben ausgeführt, stellt die Papierindustrie einen Schlüsselfaktor in der Industrieentwicklung des Schussentals dar. Unter den bis 2008 verbliebenen zwei großen Werken Mochenwangen und Baienfurt stand besonders das Werk Baienfurt aufgrund seiner Produktionsmengen im Zentrum der öffentlichen Aufmerksamkeit. Schon 1914 betrug die Zellstoffproduktion im Papierwerk Baienfurt 8 000 to/Jahr und die Papierproduktion 6 000 to/Jahr. Während des Ersten und vor dem Zweiten Weltkrieg produzierte das Werk zwar zeitweilig kein Papier mehr, die Produktion von Zellstoff (als Ausgangsmaterial für Schießpulver) und Karton wurden dagegen hochgefahren [3].

Sichtbare Auswirkungen der Zellstoffindustrie

1934/35 belegten erste umfangreiche limnologische Untersuchungen [9], dass die Schussen noch bis zu ihrem Zusammentritt mit der Wolfegger Aach ein nur mäßig verunreinigtes Gewässer geblieben war. Letztere brachte jedoch die Abwässer der Papierfabrik Baienfurt – u. a. große Mengen Holzfasern. Die Autoren beschreiben die damalige Situation folgendermaßen: *"...Ein grobmaschiges Planktonnetz, welches wiederholt unmittelbar bei der Ausmündungsstelle der Fabrikabwässer in den Fluss gebracht wurde, war bereits nach einer halben Minute völlig mit Holzfasern verstopft. Diese beginnen schon nach kurzer Zeit sich zu zersetzen. Es bilden sich mächtige Flocken von Sphaerotilus, die im ganzen weiteren Schussenverlauf zu beobachten sind... In den Wintermonaten, beim Niederwasserstand des Sees - von November bis Mitte Mai - fließt das Schussenwasser in den Bodensee und kann dort wenigstens einen Teil seiner Faulstoffe ablagern. Im Sommer jedoch, wenn die Wasserführung der Schussen gering ist und Rückstauung des Flusses durch den Bodensee erfolgt, ist ihr O₂-Gehalt im Unterlauf oft schon in 25 cm Tiefe = 0...!"*

Es kam zu Fischsterben, wie es z. B. im Mai und Anfang Juni 1934 beobachtet wurde. Tote Fische trieben zentnerweise zusammen mit mächtigen Ballen vom *Sphaerotilus* (Abwasserbakterium) in der Schussen. Dieser Zustand wurde 1934 erst Mitte Juni abgemildert, als infolge starker Regenfälle größere Wassermassen und mit ihnen die Schmutzstoffe in den See abflossen... [9].

Tote Fische und
Abwasserbakterien

Solche massiven Gewässerbelastungen gerieten zwar durch den Zweiten Weltkrieg in vorübergehende Vergessenheit, aber schon Untersuchungen in den Jahren 1953/54 längs des gesamten Flusslaufs der Schussen [26] zeigten, dass der Belastungsprozess mit dem wirtschaftlichen Aufschwung nach Kriegsende wieder aufgenommen worden war. Nach NÜMANN [24] verschlechterte sich der chemische und biologische Zustand der Schussen in diesen Jahren rapide. 1951 schrieb WETZEL [44]: „... Während des Sommerrückstaus gerät das organische Material des Flusses in Fäulnis, Sauerstoff ist selbst an der Oberfläche nur in Spuren vorhanden (0,1 mg/l); nach 2-stündiger Zebrung ist kein O₂ mehr nachweisbar. Bis zur Oberfläche ist H₂S (Schwefelwasserstoff) vorhanden. Die spontane Methanblasenbildung ist stark... Seit 1926/27 ist die Verschmutzung der Schussen um eine volle Saprobiestufe gestiegen...“

2. Weltkrieg als Belastungsäsur

WETZEL schloss seine Betrachtungen mit der Prognose, dass dem Bodensee durch die Schussen starke Verunreinigungen zugeführt werden. Er befürchtete, dass der Bodensee Gefahr läuft, in einen ähnlichen Zustand zu geraten wie der Zürichsee, der damals schon starke Eutrophierungserscheinungen zeigte [44].

Schussen als Gefahr für den
Bodensee?

Sündenböcke und Trittbrettfahrer

Betrachtet man die Berichterstattung zur Schussenbelastung in der Nachkriegszeit in der Presse, zum Teil aber auch in Fachberichten, dann wird die Papierfabrik Baienfurt stets als Hauptverursacher und damit „Sündenbock“ der übermäßigen Gewässerverschmutzung gebrandmarkt. Anfang der 1960er-Jahre stand das Werk aus diesen Gründen einmal kurz vor seiner Schließung.

Das Problem der
organischen Belastungen

LANDESÜBERBLICK

Nach zweieinhalb Stunden harter Diskussion sagt der Umweltschutz-Minister ein klares Nein:

Brünner verweigert Fristverlängerung für Zellstoff-Abwässer aus Baienfurt

Von unserem Redaktionsmitglied

AULENDORF/BAIENFURT (ms) - Die Feldmühle Aktiengesellschaft kann nicht mehr damit rechnen, daß die am 31. Dezember auslaufende Frist für die Einleitung unzureichend geklärter Abwässer aus der Zellstoff-Fabrikation der Papierfabrik Baienfurt in Schussen und Bodensee verlängert wird. Dies hat der Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt, Dr. Friedrich Brünner, gestern abend auf Anfrage der „Schwäbischen Zeitung“ erklärt, nachdem er am Vormittag die Papierfabrik Baienfurt besichtigt und mit der Werksleitung ein zweieinhalbstündiges Gespräch geführt hatte.

schutz-Minister den Versuch an, innerhalb der verbliebenen 10 Monate eine Möglichkeit für die ordnungsgemäße Klärung zu finden.

Bestürzt über die Haltung des Ministers zeigte sich gestern abend Direktor Sollinger von der Papierfabrik Baienfurt. Sollinger versicherte erneut, daß man „vor einer echten Lösung“ der Abwasserprobleme stehe und sich bemühen wolle, nun innerhalb der gesetzten Frist die Klärversuche abzuschließen. „Wir geben keinesfalls auf.“

Abb. 2.10: Auflagen zur besseren Klärung der Abwässer und die mögliche Schließung des Zellstoffwerks Baienfurt waren in den 1960er und 1970er-Jahren ein ständiges Thema in der regionalen Presse (Quelle: Schwäbische Zeitung 1973)

Ligninsulfonsäure und chlorierte Zellstoffreste

Neben den eindeutig aus der Zellstoffindustrie stammenden Substanzen, wie der toxischen *Ligninsulfonsäure* und den teilweise chlorierten Zellstoffresten, gelangten aber aus verschiedenen anderen Betrieben und via Siedlungsentwässerung eine große Menge weiterer Schmutzstoffe in die Schussen. Erst zusammen führte dies zu den damals beobachteten folgereichen Sauerstoffzehrungen im Fluss. In der Rückschau profitierten also Gemeinden und Betriebe indirekt von den Auswirkungen der Zellstoffabwässer, solange ihre eigenen Abwässer sich hinter den Belastungen der Papierfabriken „verstecken“ konnten. Von daher wurden an der Schussen zunächst teure Investitionen zur betrieblichen und kommunalen Abwasserreinigung nicht als vordringlichste Notwendigkeit zur Sanierung betrachtet.

Der Druck auf die Zellstoffindustrie verstärkt sich

Anders erging es der Papierfabrik Baienfurt. Aufgrund der beobachteten anhaltenden sichtbaren Defizite und im Zusammenhang mit dem Inkrafttreten der von der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) verfassten „Richtlinien zur Reinhaltung des Bodensees“ wurde der öffentliche und behördliche Druck auf die Zellstoffindustrie immer größer. Die Papierfabrik Baienfurt sah sich sehr früh (1962) zu ersten umfassenden Reinigungs- und Minimierungsmaßnahmen gezwungen. Diese wurden danach vor allem in den 70er und 80er Jahren intensiviert (v. a. Ausbau des werkinernen Rückhalts von organischen Stoffen aus dem Abwasser, Wechsel von Chlor- zu Ozonbleiche bei der Zellstoffherstellung). Am Ende wurde das Werk zu einer der umweltverträglichsten Zellstofffabriken überhaupt [3]. Vor rund einem Jahrzehnt wurde werksbedingt die Zellstoffproduktion gänzlich eingestellt und Ende 2008 das Werk ganz geschlossen. Die bis dahin noch messbaren Restbelastungen (z. B. Emissionen von sauerstoffzehrenden Substanzen (CSB) und Komplexbildnern) stammten aus der Papierproduktion. Dementsprechend wurden nach 2008 deutliche Verminderungen dieser Restbelastungen festgestellt (ISF, unveröffentlicht).

Kaum waren die Belastungen durch die Papier- und Zellstoffindustrie gemindert, rückten auch die anderen Verursacher der Schussenverschmutzung und weitere Gewässerdefizite in den Fokus der Gewässerschutzinteressen.

2.4.2 Zusätzliche Belastungen aus häuslichen Abwässern und der Landwirtschaft

Einträge aus häuslichen Abwässern treten in den Vordergrund

NÜMANN fasste 1968 die damalige Kenntnis über die Schussenbelastung zusammen [24]. Durch seine Arbeiten wurde bestätigt, dass bezüglich der organischen sauerstoffzehrenden Belastungen tatsächlich ein großer Teil auf die Abwässer der Papierfabriken zurückzuführen war. Andererseits konnte aber auch klar gezeigt werden, dass diese für die Belastungen mit Nährstoffen und Ammonium keineswegs in gleicher Weise verantwortlich waren. Diese Belastungsformen wurden vorrangig durch Einträge aus häuslichen Abwässern - insbesondere aus dem mittleren und unteren Schussental - verursacht. Später wurde auch offensichtlich, dass die ab ca. 1960 erfolgten strukturellen Änderungen in der Landwirtschaft zu zusätzlichen Nährstoffeinträgen führten.

2.4.3 Strukturgüte der Schussen

Die Strukturgüte ist ein Qualitätsaspekt des Gewässerschutzes, der schon lange in einem direkten Zusammenhang mit der ökologischen Funktionsfähigkeit eines Gewässers gesehen wurde. Daher entstanden auch vergleichbare oder synonyme Begriffe wie „ökomorphologischer“ oder „strukturökologischer“ Gewässerzustand. Nach der erfolgreichen Schadstoffreduktion, die dem Kläranlagenbau und der Abwasserbehandlung in vielen mitteleuropäischen Gewässern folgte, war die chemische Wasserqualität schon bald nicht mehr der entscheidende Faktor für eine individuen- und artenreiche Besiedlung. Strukturelle Defizite hatten sich lange Zeit hinter verschmutztem Wasser „versteckt“ und traten nun umso mehr zu Tage. Regulierte, wasserwirtschaftlich genutzte oder hochwasser-sicher verbaute Fließgewässer blieben arten- und individuenarm; ihnen fehlten geeignete Strukturen und damit Lebensräume für eine natürliche Besiedlung. Durch Sohl-schwellen und Wasserfassungen waren zudem Querbauwerke errichtet worden, die das Fließgewässerkontinuum unterbrachen und von wandernden Fischarten nicht mehr überwunden werden konnten.

**Begrifflicher und
historischer Hintergrund**

In den meisten gewässerökologischen Untersuchungen konnten relevante Zusammenhänge zwischen der Strukturgüte und der biologischen/ökologischen Qualität eines Gewässers bestätigt werden:

**Zusammenhänge zwischen der
Struktur und der Besiedlung
von Gewässern**

- Die Qualität der Gewässerstrukturen bestimmt die Art der biologischen Besiedlung. Ein guter ökologischer Zustand kann sich nur in Gewässern mit entsprechend natürlicher bzw. naturnaher Morphologie einstellen; umgekehrt besitzt ein strukturarmes Gewässer kein ausreichendes Lebensraumangebot für eine hohe Artenvielfalt und angemessene Besiedlung, auch wenn seine chemische Wasserqualität sehr gut ist.
- Nur ein strukturreiches Gewässer bietet anspruchsvollen Tier- und Pflanzenarten einen Selektionsvorteil gegenüber anspruchslosen und sich rasch vermehrenden Organismen. Massenvermehrung invasiver Arten (z. B. viele Neozoen und Neophyten) lassen sich deshalb vor allem in strukturarmen Gewässern verfolgen.
- Ein Gewässer mit natürlicher bzw. naturnaher struktureller Ausprägung sichert Austauschprozesse zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser; Über sein Lückensystem im Sediment und durch seine Fähigkeit, Stoffe partikulär zu binden besitzt es überdies eine natürliche Filterfunktion und gewisse Selbstreinigungskraft.
- Auch ein natürliches Gewässer besitzt eine nur beschränkte Selbstreinigungskraft. Während ein Teil der Nährstoffe biologisch gebunden und damit dem Wasser entzogen werden können, wird der andere Teil, Schadstoffe und viele Keime bestenfalls „zwischengelagert“. Eine Verbesserung der Strukturgüte kann also auch nicht ansatzweise eine abwassertechnische Schadstoffelimination ersetzen.
- Umgekehrt besitzt auch ein Gewässer ohne stoffliche Belastungen noch immer ökologische Defizite, wenn es eine unzureichende Strukturgüte aufweist.

**Arten- und Individuenreichtum
sind von der Strukturgüte
abhängig**

Selektionsvorteile

**Filterfunktion und
Selbstreinigungskraft**

**Selbstreinigungskraft kann
Abwasserbehandlung
nicht ersetzen**

**Mangelhafte Strukturgüte
der Schussen**

Die Strukturgüte der Schussen wurde in einem landesweiten Programm der LUBW aufgenommen. Im Gegensatz zu ihrer natürlich verbliebenen bzw. teilweise renaturierten Nachbargewässer Argen und Rotach (Abb. 2. 11) wird die Schussen über große Strecken ihres Laufs als zumindest „strukturell stark verändert“ eingestuft.

Dieser überwiegend degradierte Strukturzustand über den gesamten Verlauf hat mehrere, z. T. lange zurückliegende Ursachen:

- durch ihren gefällearmen Verlauf war und ist die Schussen nahezu über ihren gesamten Verlauf hinweg besiedelbar;
- infolge der intensiven Flächennutzung durch Siedlung und Landwirtschaft wurde der Fluss in ein relativ schmales Korsett gezwängt;
- die dadurch nötig gewordenen Hochwasserschutzmaßnahmen haben eine weitere strukturelle Verschlechterung verursacht;
- nicht zuletzt haben die z. T. bereits im Mittelalter durchgeführten wasserbaulichen Veränderungen am System (Ableitung von Mühlbächen und Werkskanälen, Schaffen künstlicher Gewässerverbindungen, Anlage ganzer Kanalsysteme) ein anthropogen überprägtes Gewässersystem geformt, das nach Kriterien der Strukturgüte auch dann nicht mehr positiv bewertet werden kann, wenn dort bereits wieder naturnahe gewässerökologische Verhältnisse herrschen.



Abb. 2.11: Die Wasserfassung des Werkkanals zur Papierfabrik Mochenwangen im ansonsten naturnahen Schussentobel (Foto: Rey)

**Wichtige Aspekte für die
Verminderung von Stoffeinträgen**

Betrachtet man die Prozesse in der Schussen, die für Selbstreinigung bzw. für die strukturbezogene Verminderung von Schadstoffeinträgen verantwortlich sein könnten, so sind folgende Punkte von Bedeutung:

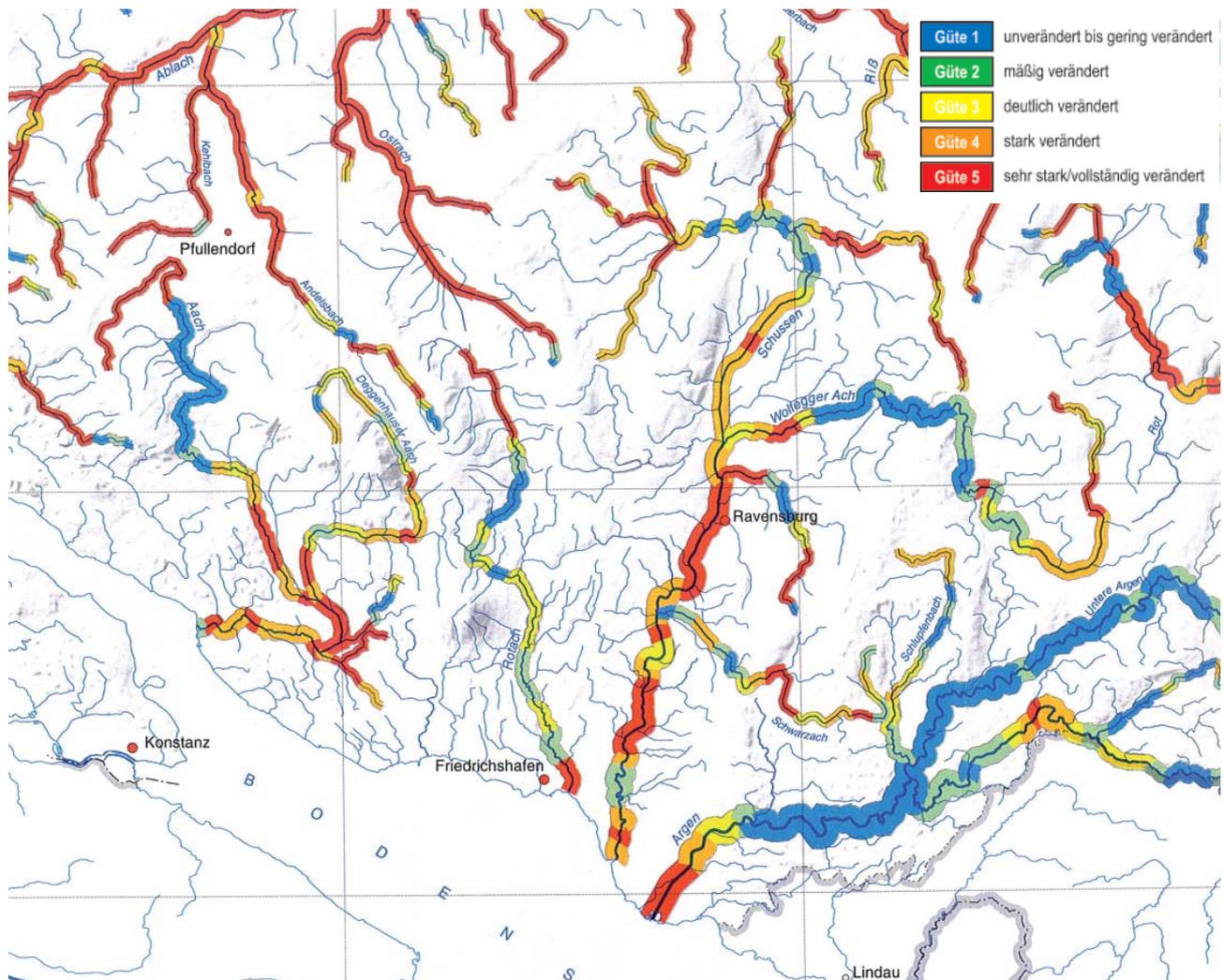


Abb. 2.12: Strukturgüte der Schussen, ihrer Zuflüsse und benachbarter Fließgewässersysteme im nordöstlichen Einzugsgebiet des Bodensees. Stand: 2004 (Quelle: [20])

- Das Vorhandensein von Gewässerrandflächen mit Nutzungsverzicht;
- die Länge der Bodenpassage für diffuse Belastungen;
- die Versiegelung der Flusssohle und damit das Ausmaß von In- und Exfiltration von Grundwasser;
- die Beschaffenheit und der Stoffumsatz im Flusssediment.

Diese auch von der Struktur des Gewässers und seines direkten Umlands abhängigen Faktoren gehen nicht oder nur marginal in die Strukturgütebewertung ein. Deshalb lassen sich entsprechende Defizite auch nicht aus den Karten der herkömmlichen Strukturgütebewertung (Abb. 2.12) ablesen.

Die Auswirkungen der Schuszenbelastung auf den Bodensee

Kanalisationen und Kläranlagen werden gebaut, um Abwasser von dort fortzubringen, wo es anfällt und danach das gesammelte Abwasser wieder so zu reinigen, dass die Belastungen der Fließgewässer und Seen so gering wie möglich gehalten wird und sauberes Wasser als Ressource nachhaltig nutzbar bleibt. Dass das Zusammenspiel zwischen Entstehen, Transportieren und Reinigen von Abwasser nicht immer reibungslos funktioniert, zeigt das Beispiel der Bodensee-Eutrophierung, zu der die Schuszen einen nicht unerheblichen Teil beigetragen hat.

Der Bodensee zählte noch bis Mitte des 20. Jahrhunderts zu den typischen Vertretern tiefer oligotropher Alpenrandseen. Obwohl es schon in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts deutliche Anzeichen für Veränderungen gab – vor allem in den Bodenseezuflüssen – blieb der See bis ca. 1950 oligotroph. Der danach einsetzende massive Umschwung des trophischen Zustands (vgl. Abb. 2.13) und die darauf folgenden Eutrophierungerscheinungen werden heute der nach dem letzten Weltkrieg erfolgten, tiefgreifenden gesellschaftlichen Veränderung zugeschrieben.

Folgende Prozesse, die alle nach 1950 abliefen oder einsetzten, waren dafür entscheidend [13]:

- Die rasche Zunahme der Bevölkerungszahl;
- Der große Aufschwung bei Industrie und Dienstleistungen; früher eher landwirtschaftlich ausgerichtete Lebens- und Wohnformen wichen konzentrierten Siedlungen mit Gewerbe- und Industriegebieten;
- Die Veränderungen in Mobilität, Straßenbau, Häufigkeit von Waschvorgängen, sanitären Einrichtungen u. a. wirkten sich zwangsläufig auf die Eintragswege und die Menge von verunreinigtem Wasser im Einzugsgebiet aus.
- Die Erschließung vieler Gemeinden durch Kanalisationsnetze ging dem Bau leistungsfähiger Abwasserreinigungsanlagen in der Regel um viele Jahre voraus. Dementsprechend stieg der Anteil des Brauchwassers, das ohne vorherige Bodenfiltration in die Bodenseezuflüsse gelangte, in kurzer Zeit massiv an. In diesem Zusammenhang besonders entscheidend war der Wechsel von geschlossenem Phosphorkreislauf (Ausbringen von Sinkgrubeninhalten auf Landflächen) zu einem mehrheitlich offenen Phosphor-Transportsystem via Kanalisation in die Flüsse und letztlich in den See.
- Der gleichzeitig massive Anstieg des Phosphor-Eintrags pro Kopf mit dem Aufkommen stark phosphathaltiger Waschmittel.

All diese Faktoren führten letztlich am „*End of the Pipe*“, dem Bodensee, zu einer Verzehnfachung der Phosphorkonzentration zwischen 1950 und 1970.

Heute hat sich die Phosphorkonzentration im Bodensee auf einem Niveau zwischen 6 und 8 mg/m³ eingependelt. Mit diesem Wert wurden die von der IGKB angestrebten Ziele weitestgehend erreicht. Dennoch liegen die Werte noch immer deutlich über denen vom Anfang des 20. Jahrhunderts (< 4 mg/m³).

Erst ab den 1960er Jahren – also mit einem Jahrzehnt Verzögerung im Vergleich zum Phosphoranstieg – wurden auch steigende Stickstoff-Konzentrationen im See registriert. Dabei setzte sich dieser Trend auch noch fort, als die Phosphor-Konzentrationen schon wieder deutlich abnahmen. Zusätzlich blieben die Konzentrationen auch nach Erreichen der neuen Maximalkonzentration in den 1980er Jahren (die allerdings nur eine Verdopplung gegenüber dem Ausgangszustand bedeuteten) bislang weitgehend unverändert auf dem erhöhten Niveau. Dieser und weitere Befunde weisen auf unterschiedliche Quellen für die Phosphor- und Stickstoffbelastungen hin, wobei allgemein eine dominan-

te Rolle der Landwirtschaft bei der Stickstoffbelastung angenommen wird. Obwohl die Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe seit 1950 bis heute stetig abnahm, wurde infolge der durch die EU-Agrarpolitik eingeleiteten Strukturänderungen die Landnutzung ab den 60er Jahren außerordentlich intensiviert. Dies war unvermeidlich auch mit erhöhten Austrägen von Düngestoffen (Phosphor, Stickstoff) verbunden, was sich in diesem Falle aber mehr auf die Stickstoff-Zufuhr auswirkte. Die vorliegenden Bilanzen zu Stoffeinträgen (siehe Tabelle 3.1) sprechen dafür, dass am Bodensee zwar intensivierte Landnutzung auch zu erhöhtem diffusen Eintrag von bioverfügbarem Phosphor führte, dass diese aber für den Anstieg (und den nachfolgenden Abfall) der Phosphor-Konzentrationen nicht die entscheidende Rolle spielten.

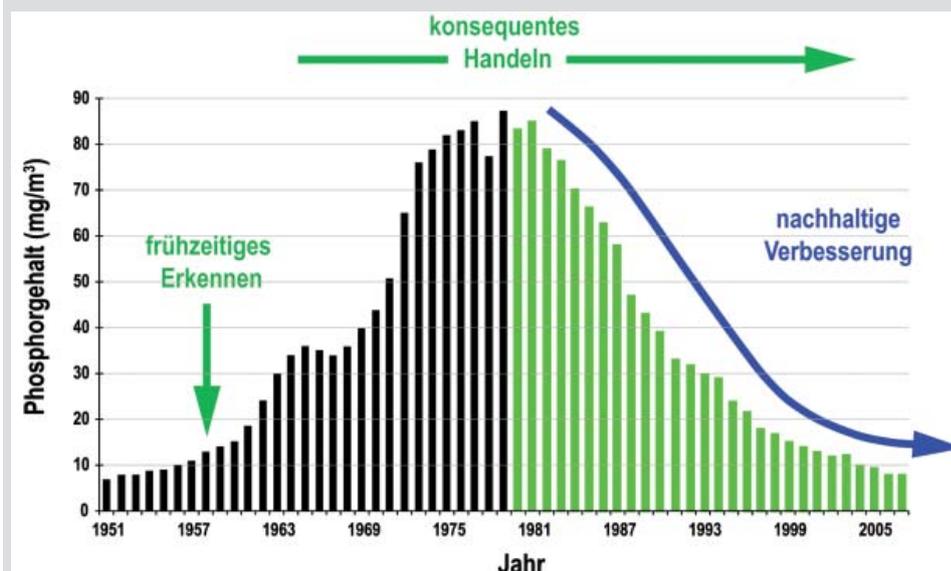
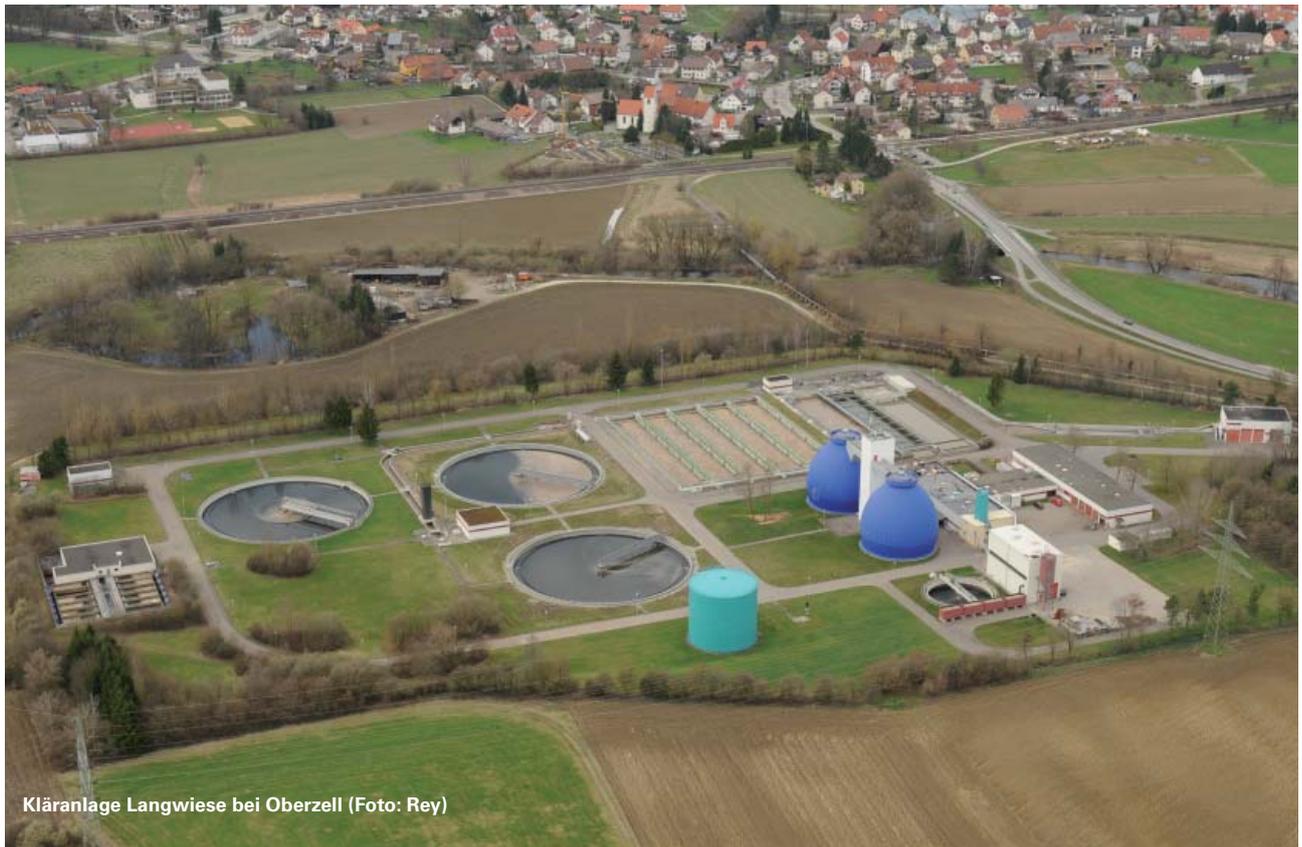


Abb. 2.13: Die Entwicklung des Phosphorgehalts im Bodensee-Obersee von 1960 bis heute (Quelle: Schröder, ISF)



Kläranlage Langwiese bei Oberzell (Foto: Rey)

3. Untersuchungs- und Sanierungsprogramme

Die historische und aktuelle Entwicklung der Gewässerbelastung an der Schussen ist gut dokumentiert. An der Schussen wurden aber auch Sanierungsprogramme besonders sorgfältig geplant und regelmäßig auch wissenschaftlich begleitet. Viele der an der Schussen gemachten Erfahrungen besitzen somit auch überregionale Bedeutung.

Wissenschaftlich begleitete Programme

Im Verlauf der Jahrzehnte, in denen die Belastung der Schussen im Gewässerschutz thematisiert wurde, haben sich die Problemfelder und damit auch die Wahrnehmungsfelder stark verändert. Zunächst stand die Belastung durch sauerstoffzehrende Stoffe - insbesondere aus der Zellstoffindustrie - im Mittelpunkt der Betrachtungen; ihr folgte die Phosphorbelastung mit ihren Eutrophierungserscheinungen. In jüngerer Zeit fanden Mikroverunreinigungen vermehrt Aufmerksamkeit.

Wechsel der Themenschwerpunkte im Gewässerschutz

Regelmäßig folgten den Beobachtungen und Untersuchungen an der Schussen auch Maßnahmen oder ganze Maßnahmenprogramme. Deren Erfolg wurde anschließend wieder durch geeignete Programme beurteilt.

Bei allen bisherigen Untersuchungen wurde deutlich, dass die stofflichen Belastungen der Schussen zum überwiegenden Teil aus dem Siedlungsbereich, also aus Punktquellen stammten, während diffuse Belastungsquellen zwar nicht vernachlässigbar, jedoch in fast keinem Fall (außer beim Stickstoff) dominant waren. Die Dominanz der Punktquellenbelastung aus dem Siedlungsbereich ergab aber auch gute Perspektiven für Sanierungs-

Punktquellenbelastungen können effektiver reduziert werden

programme: Damit standen für einen großen Teil der relevanten Belastungsarten technologisch und ökonomisch realisierbare Lösungsmöglichkeiten zur Verfügung – allen voran der Rückhalt des Phosphors in den Kläranlagen und die Einführung von Phosphorersatzstoffen in Waschmitteln. Um diese Maßnahmen und ihr Zusammenspiel mit den Wirkungen besser verstehen zu können, erscheint es sinnvoll, vorab Siedlungsentwässerung und Abwasserreinigung in Grundlinien kurz darzustellen.

3.1 Prinzipien der Siedlungsentwässerung und der Abwasserbehandlung

Frühe Formen der Siedlungsentwässerung Im Zuge sich ändernder Zielsetzungen bei der Siedlungsentwässerung lag zunächst (ab ca. 1850) die Priorität fast ausschließlich auf der schnellen Ableitung von Brauch- und Regenwasser – einerseits zum Hochwasserschutz, andererseits auch zur „Entsorgung“ hygienischer Belastungsquellen. Deshalb war der Bau von Kanalnetzen in urbanen Ballungsräumen zunächst auch nicht mit der Absicht verbunden, anfallendes Abwasser zu reinigen, sondern sollte lediglich einer funktionierenden Entwässerung dienen. Diese war damals bestenfalls auf die Entfernung mechanisch abtrennbarer Schmutzstoffe beschränkt [37].

Gewässerschutz kommt ins Spiel Erst im 20. Jahrhundert, nicht zuletzt ausgelöst durch die Wahrnehmung der durch die Kanalisation ohne Abwasserreinigung bewirkten gravierenden Gewässerbelastungen (wie sie eben auch an der Schussen sichtbar wurden), gewann zunehmend das Ziel des Gewässerschutzes Bedeutung. Folgerichtig wurde dann zusätzlich zur Kanalisation und zur mechanischen Reinigung der Bau von Kläranlagen mit biologischer Abwasserreinigung vorangetrieben, wobei diese in der Regel an das schon vorhandene Kanalnetz angeschlossen wurden. Dieses wird im Schussen-Einzugsgebiet fast ausschließlich als Mischkanalsystem (Ausnahme: Meckenbeuren) betrieben, d. h. die Abwässer werden zusammen mit dem Regenwasser der Kläranlage zugeführt.

3.1.1 Entwicklung und Prinzipien der zentralen und dezentralen Abwasserreinigung

Stufe 1: Mechanisch abtrennbare Verunreinigungen werden beseitigt Nach Einführung der Schwemmkanalisation wurden bald – insbesondere in urbanen Ballungsräumen - zumindest optisch sichtbare Beeinträchtigungen der Gewässer augenfällig. Entsprechend waren die ersten Bemühungen vor allem auf die Entfernung der mechanisch abtrennbaren Feststoffe gerichtet. Das wurde durch Grobrechen, Sandfänge, Fettabscheider und Sedimentationsbecken erreicht. Diese Einrichtungen sind auch heute noch feste Bestandteile der ersten Reinigungsstufe zentraler Kläranlagen, die daher auch als „mechanische Stufe“ bezeichnet wird. Sie war aber in den frühen Phasen der Abwasserreinigung nur auf diese beschränkt [37].

Stufe 2: Biologische Reinigung – an natürlichen Prozessen abgeschaut Da sich bald erwies, dass die Entlastung der Gewässer durch die mechanische Reinigung allein nicht ausreichte, wurden Kläranlagen zunehmend auch mit einer biologischen Reinigung ausgestattet. Allen hierzu eingesetzten Verfahrenstechniken ist gemeinsam, dass

die bei der biologischen Selbstreinigung der Gewässer schon vorhandenen natürlichen Abbaukapazitäten von Mikroorganismen in der Kläranlage örtlich und zeitlich konzentriert ablaufen. Unter diesen Verfahrenstechniken hat sich heute weitgehend das sogenannte Belebtschlammverfahren durchgesetzt. Dabei werden die nach der mechanischen Reinigung noch reichlich vorhandenen gelösten und feinsuspendierten organischen und anorganischen Substanzen unter Sauerstoffeintrag in einem Belebtschlammbecken mit Hilfe von Mikroorganismen biologisch oxidiert. Diese Mikroorganismen vermehren sich dabei und ihre Biomasse bildet den „Belebtschlamm“, der danach in einem Nachklärbecken vom klaren, gereinigten Wasser getrennt wird. Ein Teil des Schlammes wird wieder zum Belebungsbecken zurückgeführt, ein anderer Teil als „Überschussschlamm“ nach Ausfällung im Faulurm und Trocknung verbrannt. Das so gereinigte Wasser kann nun ins Gewässer geleitet werden. Es verursacht dort, aufgrund effizienter Elimination (i. d. R. > 90 %) von sauerstoffzehrenden organischen Substanzen und der im Idealfall vollständigen Umwandlung aller gelöster Stickstoffverbindungen (Nitrifikation) in die fischverträgliche oxidierte Nitrat-Form, weder Sauerstoffdefizite noch fischtoxische Wirkungen durch Ammoniak im Gewässer.

Diese konventionelle mechanisch-biologische Klärtechnik war lange Zeit Stand der Technik bei der Abwasserreinigung. Sie reichte für sich allein auch weitgehend aus, um dem zunächst vorherrschenden Problem der Belastung der Gewässer mit sauerstoffzehrenden Substanzen wirkungsvoll zu begegnen. Sie erwies sich aber als unzureichend bei der Elimination von Nährstoffen (P, N). Durch ihre Düngewirkung und damit verbundenem Aufbau pflanzlicher Biomasse führen diese sekundär im Oberflächengewässer zur Produktion neuer sauerstoffzehrender organischer Substanz.

Stufe 3: Nährstoffelimination

Diese Eutrophierungswirkung konnte sich insbesondere bei unterliegenden Stehgewässern entfalten, wobei die Düngewirkung dort – wie z. B. auch am Bodensee – fast ausschließlich aus der erhöhten Phosphor-Zufuhr resultierte. Deshalb wurde in solchen Fällen auch eine dritte Reinigungsstufe mit chemischer Fällung der verbleibenden P-Belastung eingeführt. Damit konnten 95 % der P-Zufuhr in der Kläranlage zurückgehalten werden. Da in Meeren – anders als in den meisten Binnengewässern – auch erhöhte Stickstoffzufuhr zur Eutrophierung führt, stellte sich ab Mitte der 80er Jahre die Frage nach Möglichkeiten zur Stickstoffreduktion in Kläranlagen. Diese kann über die sogenannte Denitrifikation erreicht werden, bei der durch Einschub sauerstoff-freier anaerober Verfahrenstechniken ein großer Teil (ca. 70 %) der Stickstoff-Zufuhr mikrobiologisch in atmosphärischen Stickstoff umgewandelt und damit aus dem Wasser entfernt wird. Die nach Stand der Technik somit möglichen erniedrigten N-Ablaufwerte wurden daher auch gesetzlich festgelegt und ab den 90er Jahren im Zuge von Erweiterungs- und Umbaumaßnahmen sukzessive eingesetzt.

Die Wahrnehmung von Restbelastungen, die durch diese dreistufige Klärtechnik nicht ausreichend eliminiert werden, führte zu Überlegungen hinsichtlich der Möglichkeiten weitergehender Abwasserreinigung über eine sogenannte vierte Reinigungsstufe. Zu diesen Restbelastungen zählen insbesondere die schon genannten Mikroverunreinigungen und die Keimbelastungen. Für die meisten der hierzu verfügbaren technologischen Ver-

Stufe 4: Auch Keime und Mikroverunreinigungen müssen raus

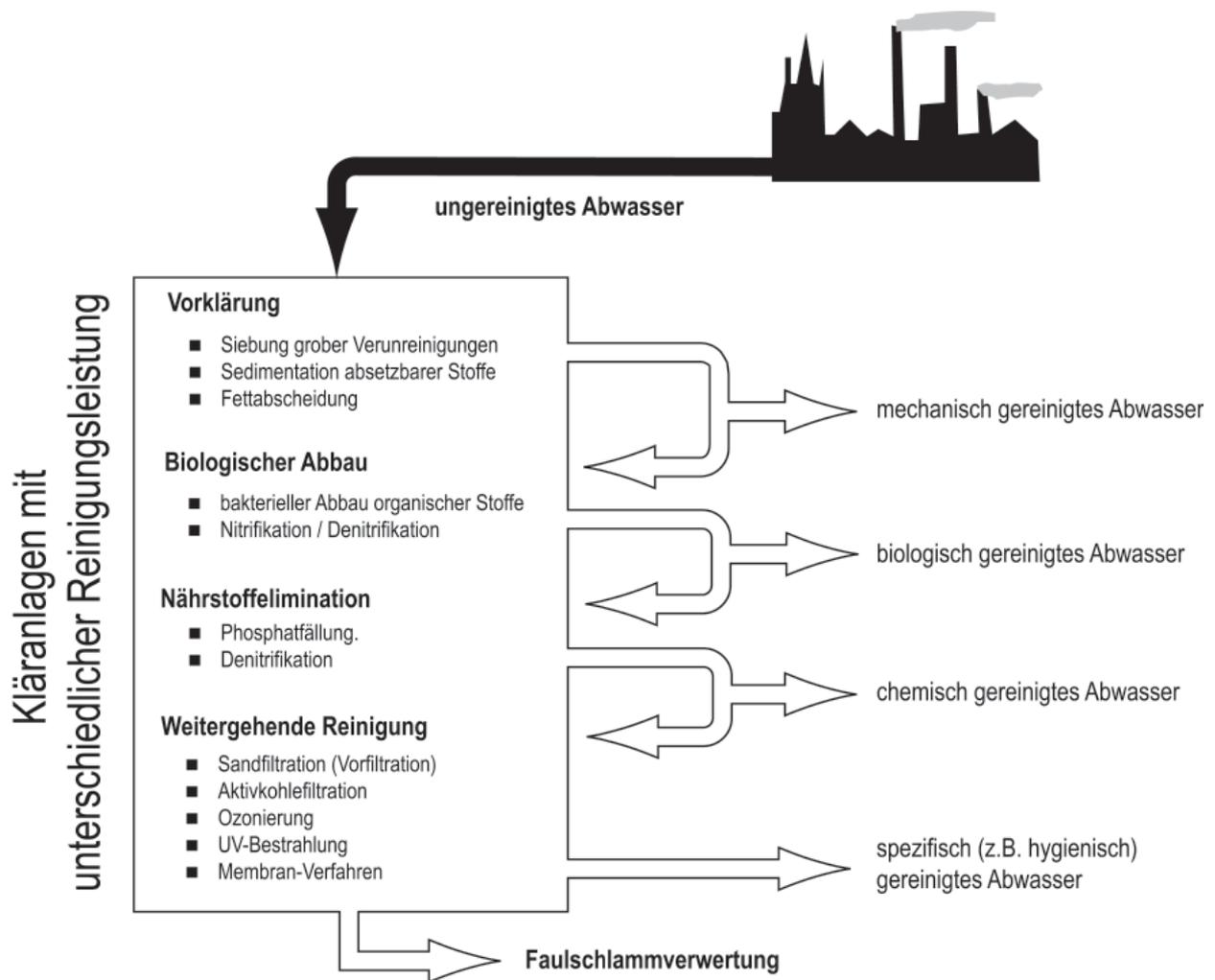


Abb. 3.1: Prinzipien der Abwasserbehandlung

fahrerntechniken ist Voraussetzung, dass die Wässer nach der dreistufigen Reinigung zunächst über Sandfiltration (ggf. auch mit Flockung verbunden → Flockungsfiltration) nachgereinigt werden, wobei insbesondere noch feinstpartikuläre Verunreinigungen zurückgehalten werden. Mit dieser Nachreinigung sind auch die Voraussetzungen für mögliche nachfolgende weitergehende Reinigungsschritte gegeben. Dabei können einerseits durch Aktivkohlefiltration viele (jedoch bei weitem nicht alle) gelöste Mikroverunreinigungen eliminiert, und/oder andererseits über Membranfiltration bzw. UV-Behandlung und Ozonierung sowohl eine hygienische Entlastung als auch über oxidativen Abbau eine Elimination weiterer organischer Spurenstoffe erreicht werden.

Dezentrale Abwasserreinigung

Abwasserreinigung abseits der großen Kläranlagen

Neben diesen schon etablierten bzw. noch diskutierten Verfahren im Bereich der zentralen Abwasserreinigung erfolgt auch heute noch ein geringer Teil der Abwasserreinigung dezentral, insbesondere in Streusiedlungsbereichen wie dem Allgäuer Alpenvorland. Dabei waren neben geschlossenen Gruben, deren Inhalt regelmäßig über zentrale Kläranlagen entsorgt wird, lange Zeit sogenannte Drei-Kammer-Gruben vorherrschend, deren Reinigungsleistung im wesentlichen mit der einer mechanischen Klärstufe ver-

gleichbar ist. Da Drei-Kammer-Gruben nicht mehr Stand der Technik sind, wurden diese in der jüngsten Zeit durch Kleinkläranlagen mit biologischen Reinigungsstufen wie Pflanzenkläranlagen, SBR-Reaktoren, Membranverfahren, Belebungsverfahren o. ä. ersetzt.

3.1.2 Regentlastung, Misch- und Trennkanalisation

Die zur Kläranlage gehörigen Kanalnetze nehmen zum Schutz der Siedlungen größere Mengen von Niederschlagswasser auf und leiten es ab. Kläranlagen werden aus wirtschaftlichen Gründen auf geringere Wassermengen dimensioniert. Da deshalb die Kapazität für die Wassermengen begrenzt ist, die eine Kläranlage ohne Verlust der Funktionsfähigkeiten aufnehmen kann, werden der Kläranlage Bauwerke zur hydraulischen „Entlastung“ vorgeschaltet, die so genannten Regenüberlaufbecken. Diese wirken als Absetzbecken und entsprechen im wesentlichen der mechanischen Reinigung in Kläranlagen. Zwischen zwei Regenereignissen wird der Inhalt des Überlaufbeckens - einschließlich des abgesetzten Schlammes - zur Kläranlage zurückgepumpt, so dass nur noch im Falle der Überschreitung der Beckenkapazität ein Abschlag von verdünntem mechanisch gereinigtem Abwasser in das Oberflächengewässer erfolgt.

Problem mit den Niederschlägen auf Siedlungsgebiete

Es zeigte sich aber bald - und dies wurde auch durch die Untersuchungen an der Schussen offensichtlich - dass solche Überlaufereignisse einen nicht vernachlässigbaren Anteil an Gewässer-Belastungen haben.

Belastungen aus den Regenüberlaufbecken

Es wurde deshalb auch diskutiert, ob nicht eine separate Ableitung der geringer belasteten Wassermengen aus Regenwasser und dem hoch belasteten Abwasser über eine so genannte Trennkanalisation die ökologisch bessere Lösung sei. Durch die damit gegebene Trennung von Abwasser- und Regentlastungskanälen könnten einige der mit Mischkanalisation verbundenen Belastungsprobleme für die natürlichen Gewässer vermindert werden. Allerdings sind auch bei Trennkanalisation Gewässerbelastungen, insbesondere durch Stoßbelastungen nach dem ersten Regenfall, keineswegs auszuschließen.

Überlegungen zur Trennkanalisation

Für das Ziel der Minimierung der Belastungen aus Regenüberlaufbecken waren somit zweierlei Konsequenzen zu ziehen:

- 1) Das Entlastungsverhalten der relevanten Regenüberlaufbecken muss dauerhaft gemessen und statistisch ausgewertet werden. Die statistischen Auswertungen der Entlastungsdaten, die Aussagen über die Anzahl der Ereignisse und die Entlastungsdauer pro Jahr liefern, sind Voraussetzung dafür, wirtschaftlich die Optimierung des Betriebes der Regenüberlaufbecken, die Optimierung von Regenwasserbehandlung und Kläranlage sowie der Bewirtschaftung von Kanalnetz und Regenüberlaufbecken anzugehen. Sie dienen alle dem Ziel, möglichst wenig Mischwasser in das Gewässer zu entlasten. In den Regenüberlaufbecken sind hierzu Messgeräte einzubauen. Die Kosten für die Einrichtung und den Unterhalt sind unverhältnismäßig gering gegenüber den Investitions- und Jahreskosten der Becken.

- 2) Gering verschmutztes Regenwasser sollte nicht mehr in die Mischwasserkanalisation gelangen. Dieses Ziel wird durch die „modifizierte Mischkanalisation“ erreicht.



Abb. 3.2: Regenentlastung am Beispiel der Anlage Mariatal (Foto: Rey)

3.1.3 Modifizierte Mischkanalisation

Regenwasser soll von der Kanalisation ferngehalten werden

Eine nachhaltige Belastungsverringerung ist auch durch die so genannte modifizierte Mischkanalisation möglich. Dabei versucht man, die Mischwassermengen im Kanalnetz zu minimieren, indem möglichst große Mengen von anfallendem gering belastetem Wasser von der Kanalisation ferngehalten werden. Dazu zählt u. a. Niederschlagswasser von Dachflächen und Wohnwegen, welches durch Speicherung, Versickerung und Verdunstung verzögert in das nächste Gewässer abgeleitet wird [30]. Folgende auch gut miteinander kombinierbare Ansätze stehen dabei zur Verfügung:

- **Entsiegelung von Flächen:** Sowohl im Siedlungsbereich als auch auf Industrieflächen, auf denen nur wenig Schadstoffe und Mineralölrückstände anfallen.
- **Anlegen von Regenwasserteichen und Grünmulden:** Dachwasser, z. T. auch Straßenwasser, wird in offene Teichanlagen bzw. Versickerungsmulden geleitet, von denen aus es versickern, verdunsten, in weitere Gewässer fließen und/oder via Bodenpassage gereinigt wieder in den Kreislauf gelangen kann.
- **Vermehrte Nutzung von Bodenpassagen:** wo immer möglich, werden für das Niederschlagswasser Bodenpassagen genutzt und bestehende Passagen verlängert. Die Durchlässigkeit des Bodens kann durch das Einbringen von wasserdurchlässigen Schichten (Rigolen) weiter verbessert werden.

Das Wassergesetz von Baden-Württemberg und die dazu gehörigen Rechtsverordnungen unterstützen solche modifizierenden Maßnahmen und verpflichten seit 1999 die Kom-

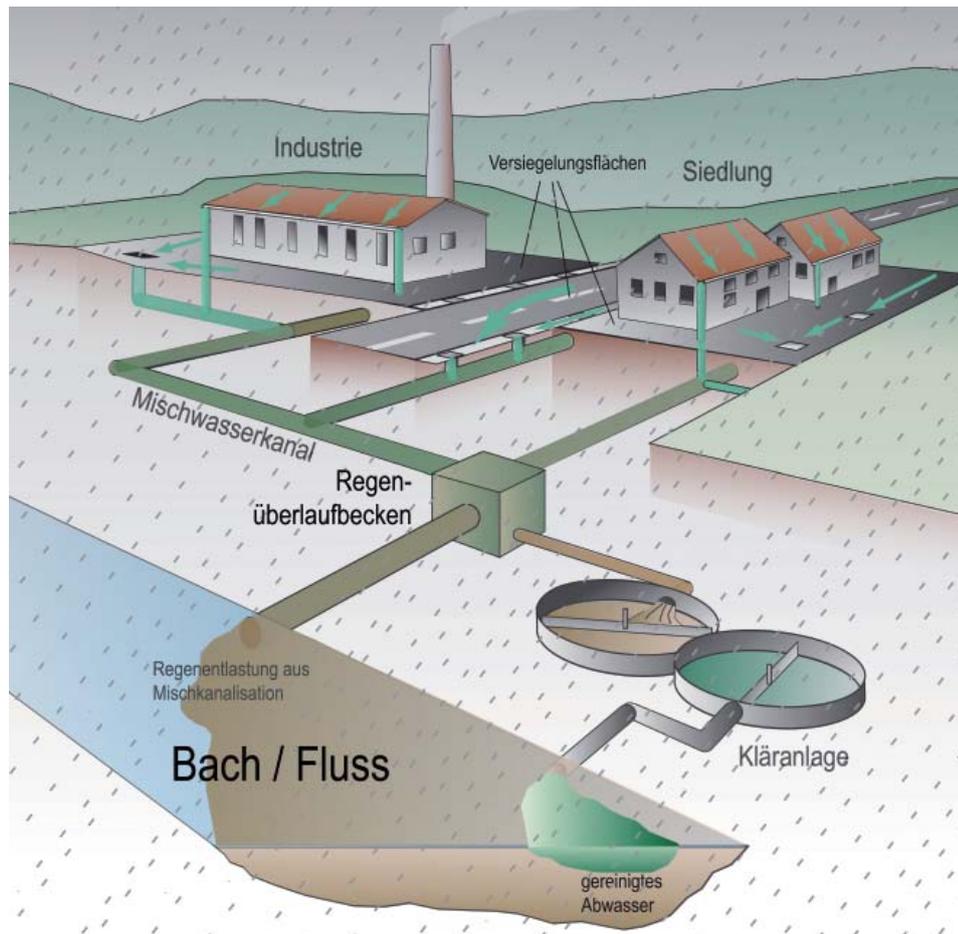


Abb. 3.3: Schematische Darstellung des Mischkanalsystems. Schmutzwasser und Regenwasser aus Versiegelungsflächen vermischen sich im Mischkanal. Ist die Kapazität der Kläranlage und danach auch diejenige der Regenrückhaltebecken erschöpft, gelangt das zum Teil noch stark belastete Wasser direkt in die Gewässer.

Bei der „modifizierten Mischkanalisation“ wird Regenwasser aus gering belasteten Versiegelungen direkt in das Gewässer geleitet und damit das Kanalnetz hydraulisch entlastet.

munen, bei Neubaugebieten und erstmals abwassertechnisch entsorgten Gebieten modifizierte Entwässerungssysteme einzusetzen, soweit die örtlichen Verhältnisse dies zulassen [30]. Aus diesem Grunde ist aber auch eine flächenhafte Umsetzung des modifizierten Mischsystems in absehbarer Zeit nicht realisierbar.

3.2 Sanierungsprogramme am Bodensee und an der Schussen

Die im Schusseneinzugsgebiet erfolgten Sanierungsprogramme waren maßgeblich dadurch bestimmt, dass die Schussen ein Bodensee-Zufluss ist. Die Entwicklung des Gewässerschutzes am Bodensee hatte dabei eine Vorreiterrolle in der baden-württembergischen Wasserwirtschaft. So wurden beispielsweise mit der Bodenseerichtlinie Vorgaben für Ablaufwerte von Kläranlagen gesetzt, die in der Regel strenger waren als die nationalen Mindestanforderungen. Die Umsetzung dieser Vorgaben vor Ort erfolgte durch Förderprogramme des Landes, durch die die erforderlichen Investitionen zum größten Teil abgedeckt wurden. Neben diesen waren auch nationale Vorgaben, wie

z. B. diejenige zur Einführung der Nitrifikation / Denitrifikation sowie EU-Vorgaben am Sanierungsprozess der Bodenseezuflüsse beteiligt.

Die im Folgenden dargestellten Sanierungsmaßnahmen an der Schussen waren somit einerseits Resultat der bodenseespezifischen andererseits aber auch nationaler und EU-weiter Vorgaben.

3.2.1 Bau- und Investitionsprogramme der IGKB 1965 bis 1980

Die natürlichen Ressourcen des Bodensees waren in Gefahr Wegen der Gefahren für den Trinkwasserspeicher Bodensee, seine ökologischen Schutzgüter und die Bodenseefischerei durch eine drohende und sich bereits deutlich abzeichnende Bodensee-Eutrophierung wurde 1959 die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) gegründet. Diese schlug nach eingehenden Beratungen sechs Jahre später ein Maßnahmenprogramm vor, das einen dreistufigen Ausbau aller zentralen größeren Kläranlagen im gesamten Einzugsgebiet mit Phosphorfällung vorsah. Dieses Maßnahmenprogramm wurde von den Anrainerstaaten im sogenannten Bau- und Investitionsprogramm der IGKB in den folgenden Jahren umgesetzt. In diesem Zusammenhang fanden auch in der Schussen die entscheidenden Maßnahmen zur Verbesserung der Abwasserreinigung statt. Insgesamt wurden zwischen 1968 und 1978 alle größeren Kläranlagen entsprechend den Vorgaben der IGKB ausgebaut. Bis Anfang der 80er-Jahre war somit auch im Einzugsgebiet der Schussen ein großer Teil des Maßnahmenprogramms umgesetzt.

IGKB initiiert wegweisendes Maßnahmenprogramm

3.2.2 Erfolgsbilanz der ersten Ausbauphasen der Abwasserreinigung

Kontrolle der „gelösten Frachten“ Um die Auswirkungen dieser Maßnahmen zu überprüfen, wurden durch die IGKB Bilanzierungen zur Entwicklung der Frachten von Phosphor, Stickstoff und organischem Kohlenstoff der Bodenseezuflüsse in den Jahren 1972, 1978/79, 1985/86 und 1996/97 [7, 40, 41, 42] erhoben. In der Tabelle 3.1 sind daraus die entsprechenden Kenndaten für die Schussen wiedergegeben. Die Beschränkung auf die gelösten Frachten erwies sich für den Bodensee als sinnvoll, da diese dort nachweislich die P-Konzentration im See bestimmten. Dagegen erwiesen sich die in den Flussschwebstoffen gebundenen Frachten als weniger relevant für die Eutrophierung. Sie wiesen sehr große Schwankungen zwischen den verschiedenen Messjahren auf und zeigten weder einen Zusammenhang mit dem Fortschritt der Abwasserreinigung noch mit der Konzentrationsentwicklung im See.

Entwicklung der Phosphorfrachten in der Schussen Der Tab. 3.1 kann auch entnommen werden, dass in der Schussen (entsprechend der Entwicklung aller Seezuflüsse) nach einem Maximum der Phosphor-Frachten 1972 ungefähr eine Halbierung dieser Frachten bis 1986 erfolgte. Die Entwicklung der Konzentrationen im See folgte mit Verzögerung der Entwicklung der Frachten. Bis 1978/79 wurde sogar noch ein Anstieg der Konzentrationen beobachtet, danach zeigte sich aber bis 1986 ebenfalls ein Abfall auf ca. 50 % des erreichten Maximalwertes.

Demgegenüber waren beim Stickstoff bis 1986 sogar Zunahmen und beim Kohlenstoff keine Änderungen festzustellen. Diese vom Phosphor abweichenden Entwicklungen sind ein Hinweis dafür, dass beide Belastungen im betrachteten Zeitraum zum überwiegenden Teil nicht aus Abwassereinträgen verursacht waren. Für Stickstoff wurde schon auf den hohen Anteil der landwirtschaftlich bedingten diffusen Einträge hingewiesen. Beim organischen Kohlenstoff muss beachtet werden, dass die Elimination der leicht abbaubaren sauerstoffzehrenden Substanzen aus dem Abwasser schon zu Beginn der Messkampagnen weit fortgeschritten war. Damit werden an der Flussmündung nur die schwer abbaubaren Anteile erfasst, zu denen einerseits die schon erwähnten Restlasten der Emissionen aus Papierfabriken, zum andern aber auch natürliche Huminsubstanzen gehören, die in der Schussen aufgrund des teilweise moorigen Einzugsgebiets erhöht sind.

Keine Reduktion der Stickstoff- und Kohlenstoff-Frachten

Tab. 3.1: Jahresfrachten (t) der Schussen von gelöstem Phosphor, Stickstoff und Kohlenstoff der Schussen. Quelle: IGKB Zuflussuntersuchungen [7, 39,40,41] bzw. Zuflussuntersuchungen des ISF (2006/07)

Fracht in t	1972	1978/79	1985/86	1996/97	2006/07
Phosphor	148	130	70	19	20
Stickstoff	732	1725	2203	1447	1495
organischer Kohlenstoff	-	4700	5780	3480	-

Die Zuflussuntersuchungen erbrachten also den Beleg, dass das Sanierungsprogramm bis 1986 deutliche Absenkungen der Einträge von sauerstoffzehrenden Substanzen und des Pflanzennährstoffs Phosphor bewirkt hatte. In einer 1987 verfassten Denkschrift der IGKB [17] wurde aber festgestellt, dass für das Ziel der Eutrophierungsbekämpfung am Bodensee trotz dieses Erfolgs noch weitergehende Anstrengungen zum Rückhalt der Phosphor-Einträge erforderlich sind. Es wurden daraufhin die Bodenseerichtlinien u. a. mit verschärften Grenzwerten für die Ablaufkonzentrationen großer Kläranlagen überarbeitet (alter Wert: 1 mg P/l, neuer Wert 0,3 mg P/l). Damit verbunden war auch eine Aktualisierung des Bau- und Investitionsprogramms, die an vielen Kläranlagen zum weiteren Ausbau der P-Elimination über eine „vierte Reinigungsstufe“ verbunden war, wobei meist die Technologie der Flockungsfiltration eingesetzt wurde. Im Einzugsgebiet der Schussen erfolgte dies in den Kläranlagen Eriskirch (1990) und RV-Langwiese (1993)

Erfolg und verbleibender Handlungsbedarf

In der Denkschrift wurde weiterhin darauf hingewiesen, dass auch Anstrengungen zur Reduktion der diffusen Nährstoff-Belastungen unternommen werden müssen. Da zum damaligen Zeitpunkt aber der Kenntnisstand über Eintragswege und -mengen noch unzureichend war, wurden von der IGKB zunächst Studien zur Abschätzung dieser Eintragspfade veranlasst [25, 26] Schließlich zeigte sich, dass insbesondere im ländlichen Raum wegen der dort verbreiteten Streusiedlung der Anschlussgrad an zentrale Kläranlagen noch unterentwickelt war. So wurden beispielsweise im Rahmen von „Wasserschauen“ ab Frühjahr 1983 in der Schussen und ihren Nebenflüssen ca. 1 000 Einleitungen entdeckt. Von diesen möglichen Belastungsquellen

Studie zur Abschätzung diffuser Einträge

war ca. ein Drittel eher geringfügig, die anderen Einleitungen jedoch stärker belastet, so dass alsbaldige Sanierungen veranlasst werden mussten.

3.2.3 Erfolg nationaler Maßnahmen zwischen 1985 und 2000

Verbot von Phosphat in Waschmitteln und die Einführung von Phosphorersatzstoffen als entscheidende Weichenstellungen

Um die Änderungen der stofflichen Schussenbelastungen in den letzten Jahrzehnten bewerten zu können, muss berücksichtigt werden, dass die Belastungsentwicklung der Bodenseezuflüsse zwar maßgeblich durch die geschilderten regionalen Maßnahmenprogramme bestimmt war, darüber hinaus aber auch überregionale Gewässerschutzmaßnahmen die Entwicklung wesentlich mitbestimmten. Hierzu zählt zunächst das vom Gesetzgeber angeordnete Verbot des Einsatzes von Phosphat in Waschmitteln und die damit verbundene Einführung von Phosphor-Ersatzstoffen. Beide Maßnahmen hatten eine starke Absenkung der pro-Kopf-Einträge von Phosphor zur Folge. Da damit schon die Einlaufkonzentrationen der Kläranlagen auf ein Drittel der zuvor beobachteten Werte abgesenkt wurde, hatte dies sicher auch einen bedeutenden Anteil an der Reduktion der Phosphor-Frachten.

Stickstoffeliminierung vom Gesetzgeber vorgeschrieben

Darüber hinaus wurden vom Gesetzgeber - vor allem als Reaktion auf Anzeichen stickstoffbedingter Eutrophierung der Nordsee - in Deutschland die Stickstoffablaufwerte von Kläranlagen begrenzt. Zur Erreichung dieser Ablaufwerte musste Stickstoff über eine meist neu einzurichtende Denitrifikationsstufe eliminiert werden, die i. d. R. einen Wirkungsgrad von mindestens 70 % aufweist. Anders als beim Phosphor wirkte sich diese Belastungsreduktion weit weniger auf die Oberflächengewässer aus, da der Anteil des Siedlungsbereichs an der Gesamtbelastung mit Stickstoff weit geringer ist als beim Phosphor.

3.2.4 Erfassung von Mikroverunreinigungen

Mikroverunreinigungen: Pflanzenschutzmittel (PSM)

Veranlasst durch vermehrtes Auftreten von Pflanzenschutzmitteln im Grundwasser wurden nun auch Mikroverunreinigungen in Fließgewässern verstärkt wahrgenommen. In den Jahren 1990 bis 1993 wurde in einem Forschungs- und Untersuchungsvorhaben des Umweltministeriums Baden-Württemberg mehrere Bodenseezuflüsse auf Pflanzenschutzmittel untersucht.

Komplexbildner Arzneimittel

In den 80er Jahren wurde die Bedeutung von Komplexbildnern in Gewässern verstärkt thematisiert. Rund 10 Jahre später wurde auch die Belastung mit Arzneimitteln zunehmend in der Öffentlichkeit wahrgenommen und diskutiert. Auch nicht fachlich vorgebildeten Personen war klar, dass sich Arzneimittel und hormonaktive Substanzen, die beim Menschen starke Wirkungen hatten, auch auf die Lebewelt der Gewässer auswirken konnten. In den Jahren 1996 bis 1998 wurden hierzu orientierende Untersuchungen durchgeführt [31]. Neben bis dato bereits bekannten Stoffen wurden einige Antibiotika, verschiedene Antirheumatika und Röntgenkontrastmittel, das Antiepileptikum Carbamazepin und der Lipidsenker Clofibrinsäure nachgewiesen.

Bei den damals häufiger nachgewiesenen Mikroverunreinigungen waren die Konzentrationen in der Schussen oft deutlich höher als in anderen untersuchten Bodenseezuflüssen. [39, siehe auch Kap. 4.3.2 und Kapitel 5].

Schussen mit den höchsten Mikroverunreinigungen

3.2.5 Besonderer Stellenwert der Keimbelastung in der Schussen

Die Belastung von Fließgewässern und von Kläranlagenabläufen mit Fäkalkeimen war nie obligatorischer Teil der wasserwirtschaftlichen Gewässerüberwachung. Eine Überwachung erfolgt daher nur durch die Gesundheitsbehörden und ausschließlich an ausgewiesenen Badeplätzen. Deshalb wird normalerweise die Keimbelastung auch im Zusammenhang mit ökologischen Belastungen der Oberflächengewässer nicht betrachtet. Dennoch gelangt die Problematik der Keimbelastung immer wieder dann verstärkt in das Bewusstsein der Öffentlichkeit, wenn die von den Gesundheitsbehörden erhobenen Werte die Kriterien der Unbedenklichkeit nicht erfüllen. Das ist am Bodensee zuweilen auch bei den in der Nähe der Schussenmündung gelegenen Strandbäder Eriskirch und Langenargen der Fall.

Keimbelastungen sind für Badegewässer von zentraler Bedeutung

Wegen der Mündungsnähe ist die Wasserqualität des Strandbads Eriskirch und zuweilen auch des Strandbads Langenargen von derjenigen der Schussen abhängig (Abb. 3.4). Kommt es nach einer längeren Trockenperiode zu stärkeren Niederschlägen, so steigt die Keimbelastung sowohl in der Schussen als auch am Strandbad stark an; hört der Regen auf, nimmt auch die Belastung innerhalb weniger Tage wieder deutlich ab.

Strandbäder am Bodensee werden von der Wasserqualität der Schussen beeinflusst

Veranlasst durch Grenzwertüberschreitungen in den mündungsnahen Strandbädern und durch damit ausgelöste Badeverbote wurde 1992/93 ein vom Regierungspräsidium Tübingen koordiniertes einzugsgebietweites Untersuchungsprogramm zur Belastung der Schussen mit Nährstoffen und Keimen durchgeführt [29]. Damit sollten die noch bestehenden Defizite hinsichtlich Keim- und Nährstoffbelastung und deren Ursachen sichtbar gemacht und gezielte Maßnahmen zur Verbesserung in Angriff genommen werden.

Badeverbote als Anlass für umfangreiches Programm

Die damaligen Untersuchungen ergaben, dass die Kläranlagenausläufe die bedeutendste Eintragsquelle für die Grundbelastung der Schussen mit Fäkalkeimen (vor allem *E.coli*, daneben auch intestinale Enterokokken) darstellen. Obwohl die Kläranlagen nach dem Stand der Technik ausgerüstet sind und dort Eliminationsraten der im Rohabwasser enthaltenen Keimbelastung von über 99,9 % erreicht werden, sind die verbleibenden Restlasten von Keimen aus hygienischer Sicht noch relevant. Diese führen bei Trockenwetter aber für sich allein noch nicht zu einer Überschreitung der Grenzwerte in den mündungsnahen Badegewässern.

Gereinigtes Abwasser bleibt die entscheidende Keimquelle

Eine entscheidende Rolle bei der Verursachung von Spitzen bei der mikrobiologischen Belastung der Schussen spielen demgegenüber offensichtlich die Einträge von Fäkalkeimen aus den Regenentlastungen (Regenüberläufen) des Kanalnetzes. Darauf weisen bis zu 100-fach überhöhte Keimzahlen in den während Regenereignissen entnommenen Proben hin (vgl. Abb. 4.6). Gleichzeitig weisen extrem hohe Konzentrationswerte der Proben aus Regenüberläufen und die zeitlich sehr kurzfristige Dynamik der Belastungsspitzen in diese Richtung.

Hohe Werte aus den Regenentlastungen

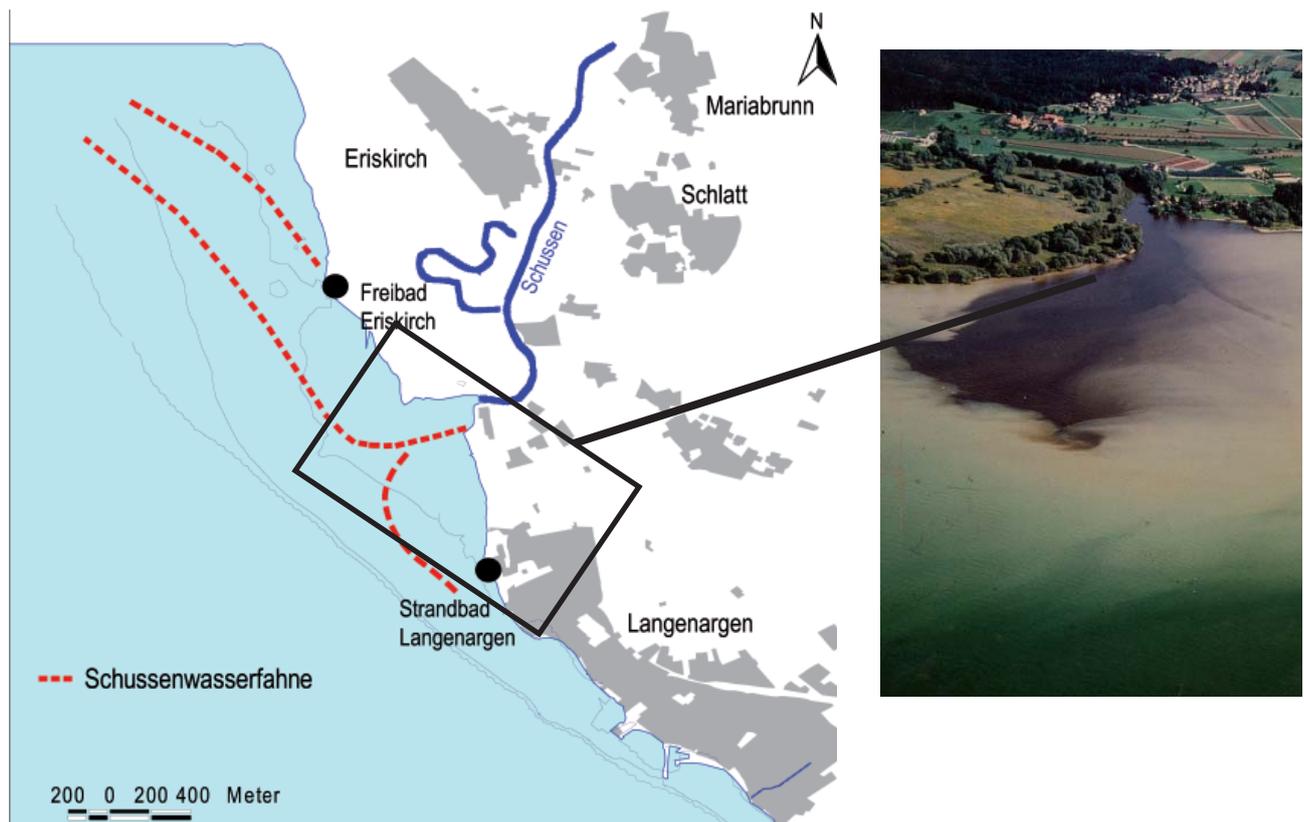


Abb. 3.4: Die Auswirkung der „Schussenwasserfahne“ auf den Flachwasserbereich des Bodensees und die Freibäder Eriskirch und Langenargen. Foto rechts: die Einschichtung des Schussenwassers in den Bodensee ist gut sichtbar während einer „Wysse“, der Aufwirbelung der Uferbanksedimente nach Sturm. (Quelle und Foto: ISF)

Diffuse Belastungsquellen aus dem Bereich der Landwirtschaft trugen ebenfalls zur mikrobiologischen Belastung der Schussen bei, insbesondere für die nach der neuen Badegewässerrichtlinie ebenfalls zu überwachende Keimgruppe der intestinalen Entero kokken; als Quelle werden vor allem die Einträge aus gewässernahen, landwirtschaftlich genutzten Flächen betrachtet. Ihr Anteil an der Gesamtbelastung in dicht besiedelten Einzugsgebieten war aber eher von untergeordneter Bedeutung.

3.3 Maßnahmenprogramme an der Schussen

3.3.1 Maßnahmenprogramm 1993 - 2003

Auch wenn die o. g. Keimbelastung der hauptsächliche Anlass für weitergehende Untersuchungen und anschließende Maßnahmen war, so sollten dennoch auch die gesamte Abwasserreinigung weiter verbessert und modernisiert werden. Deshalb wurde auf der Grundlage der damaligen Untersuchungsergebnisse ein Maßnahmenpaket als „Fortschreibung des Schussenprogramms“ auf den Weg gebracht, das zum Ziel hatte, die abwasserbürtige Grundbelastung der Schussen soweit wie möglich zu senken und die bei Regenereignissen auftretenden Zusatz-Belastungen zu reduzieren.

Hierzu gehörten folgende Inhalte zur Senkung der Grundbelastung [29]:

- den weitest möglichen Ausbau der vorhandenen Sammelkläranlagen;
- den möglichst weitgehenden Anschluss der noch nicht erfassten Siedlungsbereiche;
- die Optimierung der längerfristig verbleibenden dezentralen Abwasseranlagen und Sicherstellung deren ordnungsgemäßer Entsorgung;
- den weiteren Ausbau der Regenwasserbehandlung zur Reduzierung der bei Regen auftretenden Belastungsspitzen;
- die Verringerung des Oberflächenwasseranteils in den Kanalisationsnetzen, insbesondere in Neubaugebieten.

**Maßnahmen zur weiteren
Senkung der Grundbelastung**

Die Umsetzung dieser Maßnahmen sollte im Wesentlichen nach einem Prioritätenplan erfolgen, der für jede Gemeinde im Einzugsgebiet der Schussen die dort insgesamt erforderlichen Maßnahmen erfasst. Für diese Maßnahmen wurde ein Gesamtinvestitionsbedarf in Höhe von ca. 130 Mio. € ermittelt. Die vordringlichsten Maßnahmen sollten im Rahmen eines 5-Jahres-Programmes durchgeführt werden. Des Weiteren sollten folgende Punkte berücksichtigt werden [29]:

Prioritätenplan

- Durch die Ausweisung von Gewässerrandstreifen sollten die Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen weiter reduziert oder vermieden werden.
- Gewässerökologische Maßnahmen und Renaturierungsmaßnahmen an der Schussen und ihren Nebenflüssen sowie in der Flachwasserzone im Mündungsbereich sollten Voraussetzungen für verbesserte Selbstreinigungsprozesse schaffen.

3.3.2 Das neueste Schussen-Untersuchungsprogramm 2006-2007

Innerhalb der vergangenen 15 Jahre wurde das damals beschlossene Maßnahmenpaket nahezu vollständig umgesetzt, insbesondere durch Ausbau der zentralen Kläranlagen, weitgehende Entsorgung im dezentralen Abwasserbereich durch Erhöhung des Anschlussgrades und Verbesserung der verbleibenden dezentralen Abwasserreinigung. Schließlich wurde auch die Regenwasserbehandlung so weit vorangebracht, dass sie weitgehend dem Stand der Technik entspricht.

Im Hinblick auf diesen Sachstand bestand nun Anlass, den Erfolg dieser Maßnahmen durch intensive Untersuchungsserien zu überprüfen, wie sie bereits 1992/93 durchgeführt worden waren. In diesem Projekt sollten alle aktuellen Kenntnisse über den Zustand der Schussen gesammelt werden, um den verbleibenden und künftigen Handlungsbedarf in der Siedlungswasserwirtschaft gezielt abstecken zu können.

Handlungsbedarf künftiger Siedlungswasserwirtschaft soll abgesteckt werden

Die Studie sollte darüber hinaus als somit gut untersuchtes Fallbeispiel auch Anhaltspunkte zur aktuellen Bewertung der Belastungsentwicklung des Bodensees und seiner Zuflüsse geben. Damit sollte sie auch einen Beitrag leisten für die Fortschreibung laufender Zuflussuntersuchungen der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB).

Fallbeispiel zur Bewertung der Belastungsentwicklung des Bodensees

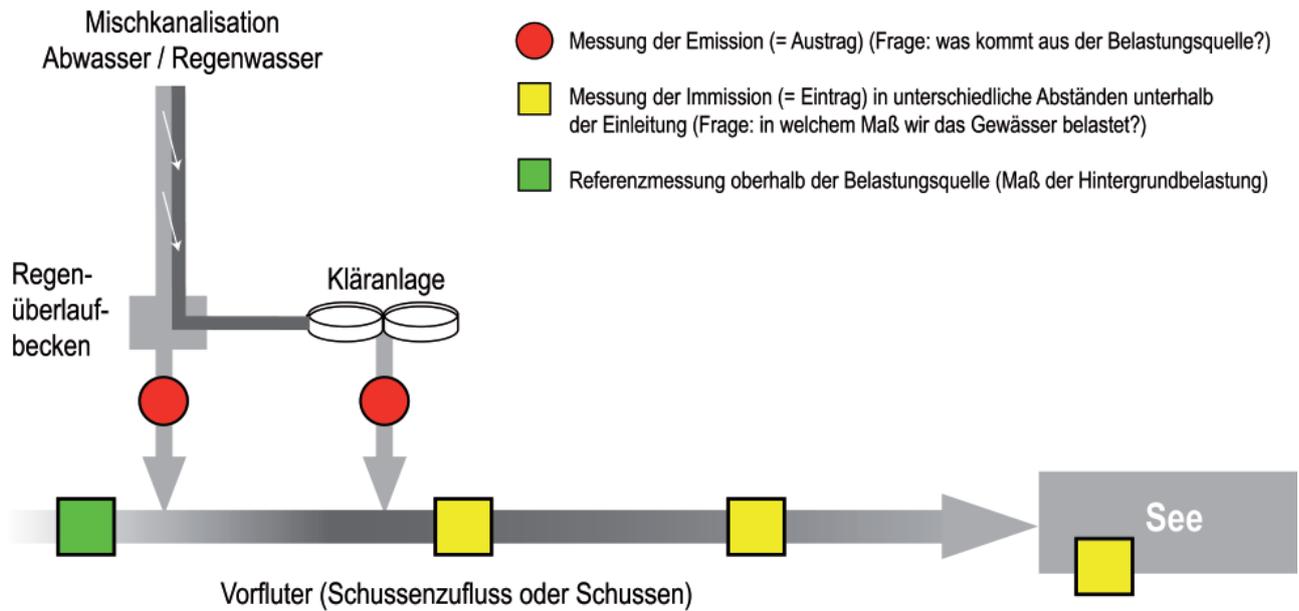


Abb. 3.5: Schematische Darstellung des Untersuchungskonzepts im Schussen-Einzugsgebiet

Untersuchungskonzept Das Untersuchungskonzept enthielt Untersuchungsinhalte, die geeignet waren, Belastungsstärken und Belastungsquellen zu erheben. Durch vergleichende Betrachtung von Emissionsmessungen (Welche Belastung kommt aus den Kläranlagen und anderen punktuellen Belastungsquellen?) und Immissionsmessungen (Wie wirken sich diese lokalisierbaren Belastungen im Gewässer aus?) sollte die Rolle unterschiedlicher Belastungsquellen an der Gesamtbelastung abgeschätzt werden.

Zur Bewertung der Auswirkungen auf die Gewässergüte wurden zusätzlich von der LfU zeitnah erhobene Monitoringdaten herangezogen. Durch Auswertung so erhobener und zusätzlicher Messdaten von meteorologischen Stationen und Kläranlagenabläufen wurden flussweite und lokale Zustandsbewertungen und Eintragsbilanzierungen mit Schwerpunkt auf die Erfassung stofflicher Belastungen möglich. Durch im selben Zeitraum durchgeführte ergänzende Untersuchungen zur Bewertung der Belastung der Schussen durch Schadstoffe aus Papierfabriken (Baienfurt und Mochenwangen) wurden neben Komplexbildnern auch ausgewählte Schadstoffe erfasst.

Studie zu den Mikroverunreinigungen Im Rahmen einer Literaturstudie zu Mikroverunreinigungen der Schussen, der Argen und der Seefelder Aach wurden die Kenntnisse zu diesem Themenkreis auf den neuesten Stand gebracht [39]. Bisherige Ergebnisse wurden mit den Zielvorgaben verschiedener Qualitätsnormen verglichen. Dabei wurden auch mögliche Effekte auf die Gewässerbiozöosen diskutiert.

Emissions- und Immissionsmessungen

Bevor im Folgenden die aktuellen Belastungen der Schussen vorgestellt werden, soll kurz die grundsätzliche Problematik unterschiedlicher Belastungsmessungen angesprochen werden. Jede Belastung hat eine Quelle, aus der sie ins Gewässer gelangt. Diesem Belastungsaustrag (Emission) steht sein Pendant, der Belastungseintrag (Immission) gegenüber.

Punktquellen

Bei den später im Kap. 4.2.3 vorgestellten Belastungen aus Punktquellen können vergleichsweise präzise Angaben über die Höhe und Menge der Belastungen gemacht werden, weil sie aus einer Punktquelle ins Gewässer gelangen. Es kann also eine Emissionsmessung erfolgen. Mittels Immissionsmessung kann aber auch die Wirkung dieser Belastung festgestellt werden. Man bekommt – zumindest theoretisch – Auskunft darüber, welche Stofffrachten und Belastungskonzentrationen emittiert werden müssen, um im Gewässer zunächst nachweisbar und ab einer gewissen Grenze auch schädlich zu sein.

Diffuse Quellen

Der Charakter diffuser Belastungen besteht dagegen darin, dass ihre Quellen nicht lokalisierbar und damit praktisch auch nur schwer direkt quantifizierbar sind. Hier kann also nur indirekt die in das Gewässer gelangte Belastungsimmersion abgeschätzt werden. Im Gegensatz zur Erfassung von Punktquellen ist es also nicht möglich, Ort, Menge und Konzentration der erfolgten Belastung zurück zu verfolgen. Eine Kalibrierung an den Ergebnissen der Belastungsmessungen an Punktquellen kann jedoch zu einer ersten Näherung führen (vgl. 3.4.1). Hieraus können wiederum Belastungsmodelle für diffuse Belastungen erstellt werden, wie sie in Kap. 4.2.4 vorgestellt werden.



Abb. 3.6: Wasserprobe zur Emissionsmessung eines Regenüberlaufbeckens (Foto: Pietruske)



4. Der aktuelle Zustand der Schussen

4.1 Aktuelle Stoffausträge (Emissionen)

4.1.1 Stoffausträge aus dem Siedlungsbereich (Punktquellen)

Mit rund 200.000 Einwohnern und einer Siedlungsfläche von 11 % ist das Einzugsgebiet der Schussen heute dicht besiedelt. Die Siedlungsentwässerung erfolgt überwiegend im Mischkanalsystem mit Abwasserreinigung durch 20 kommunale Kläranlagen (Abb. 4.1), an die über 99 % der Einwohner angeschlossen sind. Zusätzlich reinigte bis 2008 die Kläranlage Baienfurt die Abwässer der Papierfabrik Baienfurt. Die Abwässer der Papierfabrik Mochenwangen werden zusammen mit kommunalen Abwässern von der Kläranlage Berg des Abwasserzweckverbandes mittleres Schussental gereinigt. Außer den Papierfabriken fallen im Einzugsgebiet heute nur noch wenige industriespezifische Abwässer an [2].

Anschlussgrad liegt bei 97 %

Die Stoffausträge aus dem Siedlungsbereich ergeben sich aus Kläranlagen, Regenentlastungen und Einleitungen aus dezentralen Kleinkläranlagen. Die im Rahmen des Untersuchungsprogramms erhobenen aktuellen Emissionen aus Kläranlagen sind über die Eigenkontrollen gut dokumentiert und liegen als Tagesmengen vor. Eine Abschätzung der Einträge aus Kleineinleitungen konnte über die bestehende, gute Anlagenerfassung der beiden Landratsämter vorgenommen werden. Schwieriger gestaltet sich die Abschätzung der Einträge aus Regenentlastungen, da über das tatsächliche Entlastungsverhalten

**Frachten aus
zentralen Kläranlagen**

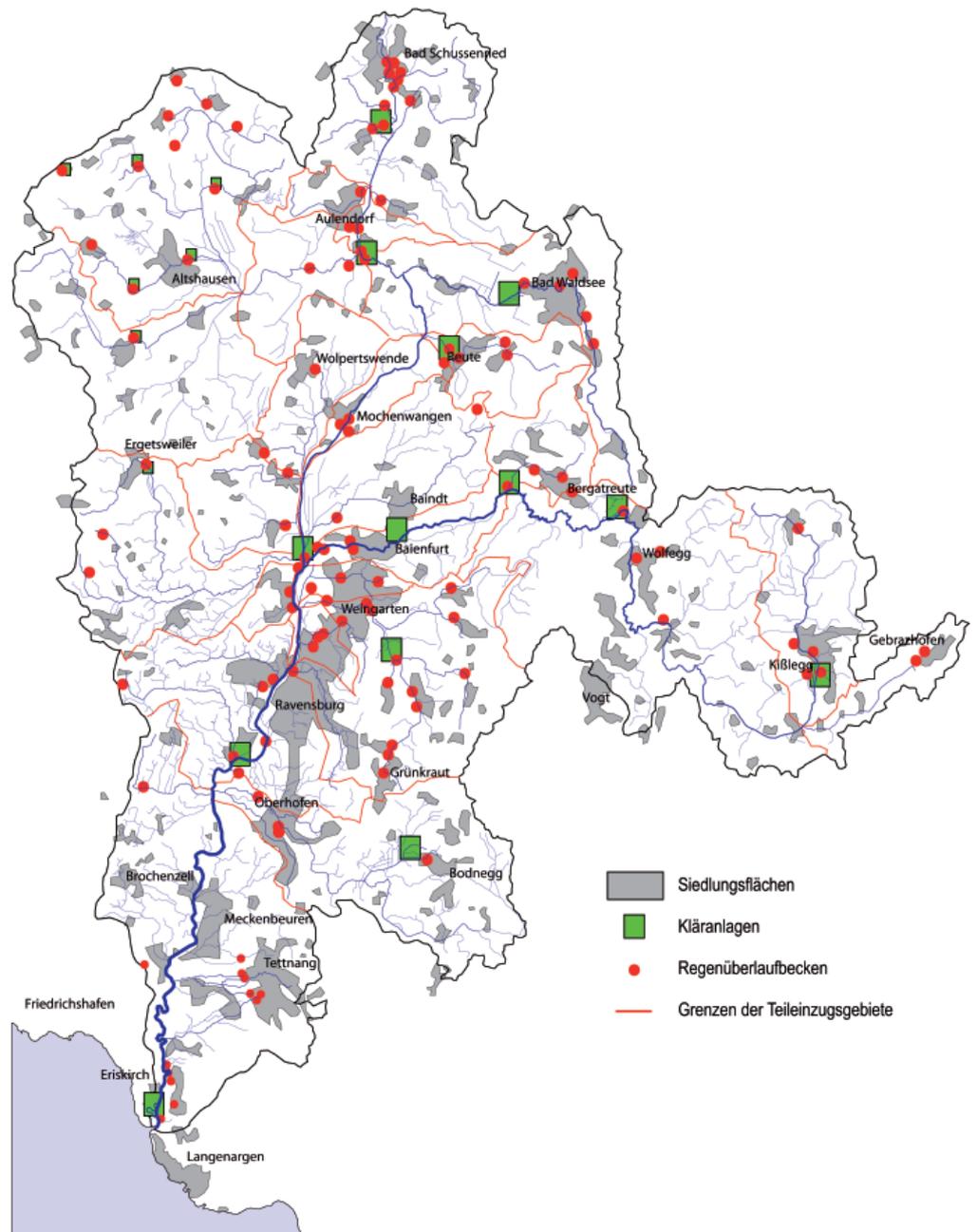


Abb. 4.1: Einrichtungen der Siedlungsentswässerung und Abwasserreinigung im Einzugsgebiet der Schussen (Stand 2008, Quelle ISF)

der Anlagen bisher allgemein wenig gesichertes Datenmaterial vorliegt. Es wurden hier Daten aus den Erhebungen des Untersuchungsprogramms verwendet. Das Ergebnis der Abschätzungen ist in Tab. 4.1 dargestellt.

Tab. 4.1: Übersicht über die aktuell aus dem Siedlungsbereich eingetragenen Stoffmengen für die Belastungen mit CSB, N, P; und Fäkalkeimen (*E.coli*). Quelle [1]

	CSB (t)	P (t)	N (t)	E.coli (Keime/100 ml x 10 ¹⁵)
Zentrale Kläranlagen	1 228	11	3,3	3,3
Dezentrale Kläranlagen	18	0,5	0,6	0,6
Regenüberlaufbecken	300	9	42	42

Diese Übersicht der Emissionen aus dem Siedlungsbereich unterstreicht, dass der relative Anteil der jeweiligen Belastungsquellen für die einzelnen Belastungsparameter sehr unterschiedlich ist. Generell ist dabei heute der Anteil der Belastungen aus nicht zentral angeschlossenen Siedlungsbereichen sehr niedrig. Demgegenüber zeigt der Belastungsanteil der Regenüberlaufbecken (RÜB) gegenüber dem der zentralen Kläranlagen sehr große Unterschiede bei den einzelnen Belastungsformen. Er ist bei Stickstoff mit rund 4 % am geringsten, bei *E.coli* mit über 90 % am höchsten. Demgegenüber weist er bei CSB (mit rund 20 %) und P (mit rund 40 %) geringere, jedoch durchaus auch zu Buche schlagende relative Anteile an den jeweiligen Gesamtemissionen aus dem Siedlungsbereich auf. Die Erklärung dafür liegt vor allem im Wirkungsgrad der Elimination des betreffenden Stoffes in Kläranlagen: je effizienter ein Stoff in Kläranlagen zurückgehalten werden kann, umso mehr wirken sich niederschlagsbedingte Regentlastungen mit ihren zwangsläufig verringerten Eliminationsleistungen aus.

**Relative Belastungsanteile
Kläranlagen - Regenüberläufe**

Da in den Regenüberläufen nur mechanisch absetzbare Stoffe entfernt werden können, werden die fein suspendierten Fäkalkeime dort nicht abgefangen. Somit wird dort die Keimbelastung zu den Ablaufwerten aus gut arbeitenden Kläranlagen besonders hoch sein. Die am Beispiel der Keimbelastung gemachten Befunde lassen sich deshalb auch auf andere Belastungsformen übertragen: So ist beispielsweise der Anteil der Mischwasserentlastung am Gesamteintrag des Wirkstoffs *Carbamazepin* nur gering. Dieser Wirkstoff wird nämlich nur mit geringer Effizienz in Kläranlagen zurückgehalten. Aus diesem Grund ist die Mehrbelastung aus RÜB auch relativ klein. Demgegenüber ist diese Mehrbelastung z. B. für das effizient in Kläranlagen eliminierbare Hormon *Östradiol* (Contraceptivum) deutlich höher [43].

**Suspendierte und gelöste Stoffe
können in Regenüberlaufbecken
nicht abgefangen werden**

4.1.2 Stoffausträge aus diffusen Quellen

Nach derzeitigem Kenntnisstand wird ein hoher Anteil der aktuellen Nährstoffbelastung der Oberflächengewässer diffus durch Austrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen eingetragen. Dabei unterscheiden sich die hauptsächlichen Eintragswege für Phosphor und Stickstoff deutlich: Stickstoffverbindungen gelangen - aufgrund ihrer hohen Wasserlöslichkeit - vorwiegend über Auswaschung ins Gewässer. Demgegenüber wird für Phosphorverbindungen - aufgrund ihrer ausgeprägten Tendenz zur Bindung an Bodenpartikel - vorwiegend Erosion als Haupteintragungspfad gesehen. Wichtig ist aber, dass hierbei undifferenziert Gesamt-Frachten betrachtet werden, ohne die jeweilige Bioverfügbarkeit der eingetragenen Nährstoff-Formen zu berücksichtigen.

**Unterschiedliche
Eintragsereignisse für Stickstoff
und Phosphor**

Zur Abschätzung der Austräge aus diffusen Quellen (= natürliche, geogene Hintergrundbelastung und flächenhafter Austrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen) liegen dank der Untersuchungsprogramme der IGKB [25, 26] schon vergleichsweise aktuelle Mengenbilanzen für das Einzugsgebiet der Schussen vor. Darüber hinaus wurden auch in einer LUBW-Studie die N- und P-Frachten baden-württembergischer Flüsse aus Punktquellen und diffusen Quellen - darunter auch der Schussen - auf der Grundlage des Modells MONERIS [4] bilanziert. Beide Ansätze berücksichtigen topographisch-hydrologische Randbedingungen und die aktuelle Landnutzung,

**Abschätzung der Nährstoff-
frachten aus diffusen Quellen**

unterscheiden sich aber in der räumlichen Auflösung und in den Annahmen über die Berechnung der Eintragswege.

Unterschiedliche Schätz-Modelle

Für die Betrachtung des Schussen-Einzugsgebietes wurde - obwohl älter - die Bilanzierung nach PRASUHN et al. [26] zugrunde gelegt, da diese bei Abschätzungen der gewässerrelevanten P-Belastung für realistischer gehalten wird. Die Ergebnisse des PRASUHN-Modells ergaben nämlich in Übereinstimmung mit den beobachteten Messwerten eine deutlich höhere Belastung für Flächen mit Grünlandnutzung als für ackerbaulich genutzte Flächen. Demgegenüber stimmten die nach dem MONERIS-Modell prognostizierten höheren Austräge aus ackerbaulich genutzten Flächen weniger gut mit den Beobachtungen zur raumzeitlichen Verteilung der Belastungen überein.

Flüssigmist wahrscheinlich Hauptquelle für diffusen Phosphoreintrag

Das ist gleichzeitig auch ein weiteres Indiz dafür, dass sich bei der vorherrschenden intensiven Grünlandbewirtschaftung mit mehrfacher Aufbringung von Flüssigmist ein Phosphor-Austrag in die Gewässer ergibt, der vor allem für den biologisch leicht verfügbaren Anteil an gelösten Phosphorverbindungen - aber auch insgesamt im Schusseneinzugsgebiet - den dominanten Anteil an der diffusen P-Gesamtbelastung darstellt.

Auch erosionsbedingte Phosphorausträge spielen eine wichtige Rolle

Zweifellos stellen auch durch Erosion bedingte P-Austräge in der Summe deutliche Anteile an der diffusen P-Gesamtbelastung dar. So sind auch nach dem PRASUHN-Modell Erosions-Einträge in die Schussen keineswegs vernachlässigbar. Davon ist jedoch die Hälfte natürlich und daher weitgehend mineralisch gebunden und nicht bioverfügbar. Dieser Sachverhalt unterstreicht somit zusätzlich, dass für die Beurteilung die Eutrophierungswirkung nicht vorrangig die Gesamtbelastung, sondern in erster Linie deren bioverfügbarer Anteil zu berücksichtigen ist.

Phosphorkonzentrationen sind an Stellen mit Siedlungseinfluss deutlich höher

Schließlich war aber beim Vergleich der Probenstellen auffällig, dass die Phosphor-Konzentrationen an Stellen ohne nennenswerten Siedlungseinfluss deutlich geringer waren als an den anderen Probenstellen mit mehr oder weniger starken Einträgen aus dem

Erläuterung: Die diffusen Anteile werden unterschieden in natürliche Hintergrundlast und anthropogenen Anteil (= Landwirtschaft). Der Frachtenvergleich ist emissionsbezogen, d. h. er bezieht sich auf die Einträge ins Gewässer, die nicht zwingend identisch sind mit der an der Mündung gemessenen Fracht, da eine unbekannte aber nicht vernachlässigbare Menge im Fluss zurückgehalten wird.

Quellen der Nährstoffeinträge in die Schussen

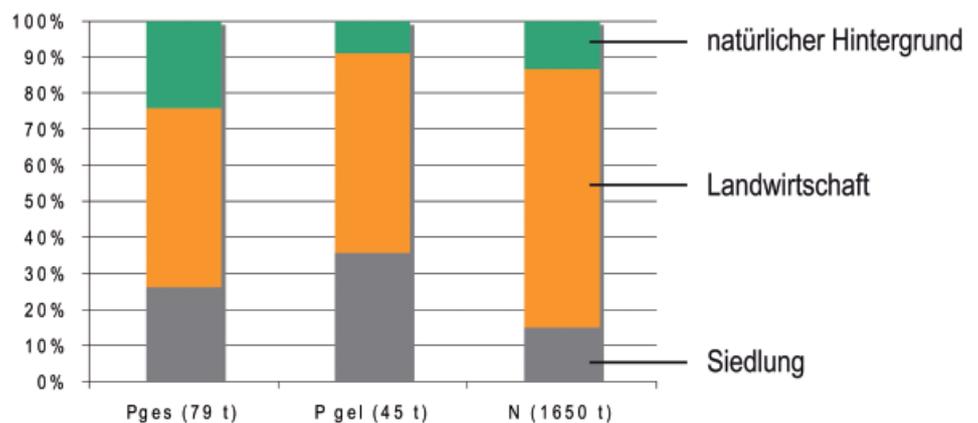


Abb. 4.2: Vergleich von prozentualen Belastungsanteilen von Siedlung und diffuse Quellen an der Gesamtbelastung. Quelle für die Siedlungsanteile: PRASUHN 1999 (6). P_{ges} = Phosphor gesamt; P_{gel} = gelöster Phosphor; N = Stickstoff

Siedlungsbereich (vgl. Abb. 4.4). Das ist zumindest ein Hinweis darauf, dass die P-Belastung der Schussen trotz erreichter P-Rückhalteeffizienz bei der Siedlungsentwässerung immer noch maßgeblich durch Einträge aus dem Siedlungsbereich mitbestimmt wird.

Zu den Stoffen, für die ebenfalls ein erheblicher Anteil des Eintrags aus diffusen Quellen in die Gewässer angenommen wird, gehören auch die Pflanzenschutzmittel. Allerdings ist inzwischen durch mehrere Untersuchungen belegt, dass auch für diese Stoffe überraschend hohe Anteile über das Abwasser eingetragen werden. Das hängt damit zusammen, dass die Spritzbehälter und Fahrzeuge - nach Aufbringung - auf dem Hof gereinigt werden und das Reinigungswasser über die Hofablässe in die Kanalisation gelangt. Für die Schussen fehlen aber bislang noch Untersuchungen, die verlässlich Aufschluss über die relevanten Eintragswege geben können.

Erheblicher Anteil der Pflanzenschutzmittel aus diffusen Quellen

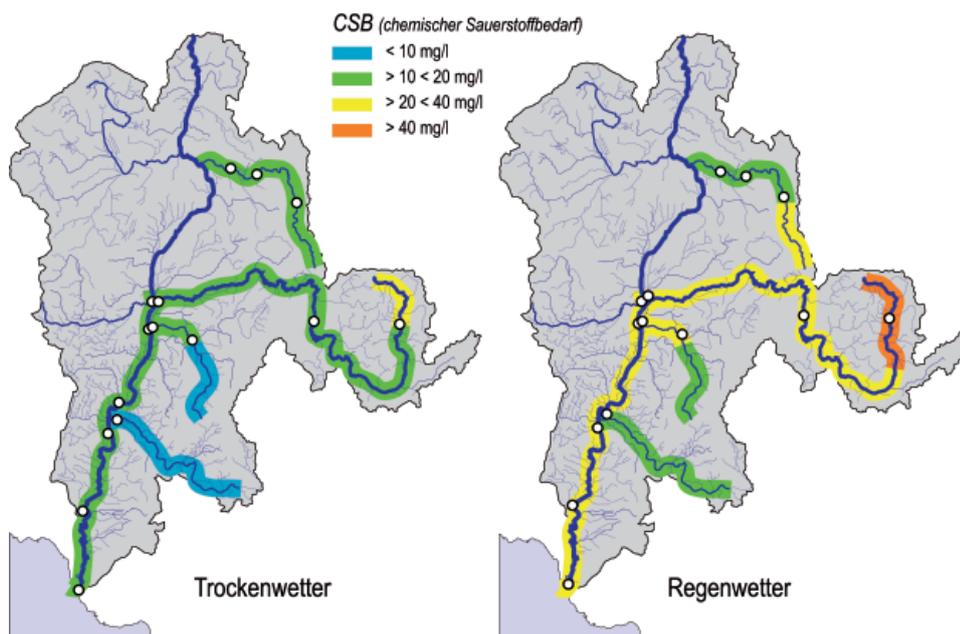
4.2 Aktuelle Belastung der Oberflächengewässer (Immissionen)

4.2.1 Vergleich der räumlichen Belastungen für CSB, P, N und Fäkalkeime

An den 15 Immissions-Messstellen zeigten die CSB-Konzentrationen nur mäßige Streubreiten für die Einzelstationen, jedoch deutliche Konzentrationsunterschiede zwischen verschiedenen Fließgewässern und Fließabschnitten. Erhöhte Werte zeigen die Wolfegger Ach und die Schussen, während die Nebenflüsse Steinach (unterhalb Bad Waldsee), Scherzach und Schwarzach geringere CSB-Belastungen aufweisen. Obwohl CSB eine im Abwasserbereich etablierte Bemessungsgröße für organische Belastungen ist, können erhöhte Werte in Flüssen nicht ohne weiteres den Abwasserbelastungen aus dem

CSB-Belastungen

(CSB = chemischer Sauerstoffbedarf, Maß für die natürliche und anthropogene organische Belastung)



Die in der Grafik dargestellten Wechsel unterschiedlicher Farben (Konzentrationen) repräsentieren jeweils die durch Messstellen repräsentierte Gewässerabschnitte. Sie stellen keine tatsächlichen Belastungsübergänge dar.

Abb. 4.3: Vereinfachte schematische Darstellung der CSB-Konzentrationen im Einzugsgebiet der Schussen; links: Situation bei Trockenwetter, rechts: Situation nach stärkeren Niederschlägen

Siedlungsbereich zugeschrieben werden. Es gibt einige Hinweise dafür, dass höhere CSB-Konzentrationen zu einem erheblichen Anteil auch aus diffusen Belastungsquellen stammen können. Diese können in diesen Fällen sowohl anthropogen (Landwirtschaft) als auch natürlich (mooriges Einzugsgebiet) sein.

Unterschiede Trockenwetter-Regenwetter Messungen nach einer Trockenwetterperiode und einer Periode stärkerer Niederschläge ließen deutliche Unterschiede in der CSB-Belastung erkennen (Abb. 4.3). Für CSB waren durchgängig Konzentrationsanstiege bei Regenproben zu beobachten, wobei die relativen Unterschiede an allen Stationen ähnlich waren. Die Befunde erlauben deshalb für sich allein noch keine Antwort auf die Frage ob die beobachteten Mehreinträge bei Regen eher aus dem Siedlungsbereich oder aus der Mobilisierung diffuser Quellen zurückzuführen ist.

Belastungen durch Phosphor Auch für die Gehalte an gelöstem Phosphor wurden vor allem bei den Nebenflüssen deutliche Unterschiede zwischen den Stationen erkennbar. Dabei wurde innerhalb eines Flusses regelmäßig ein ansteigender Trend vom Ober- zum Unterlauf beobachtet. Bei den Schussenstationen war dieser Trend allerdings kaum erkennbar, da alle Stationen erhöhte Werte aufwiesen. Überall sehr deutlich war dagegen der Zusammenhang zwischen Niederschlägen und einem darauffolgenden Anstieg der Phosphor-Belastung (Abb. 4.4). Die Lage der dann auftretenden Belastungsspitzen und die größere Grundbelastung der Schussen lassen darauf schließen, dass die Phosphor-Belastung stärker als beim CSB durch Belastungen aus dem Siedlungsbereich bestimmt ist.

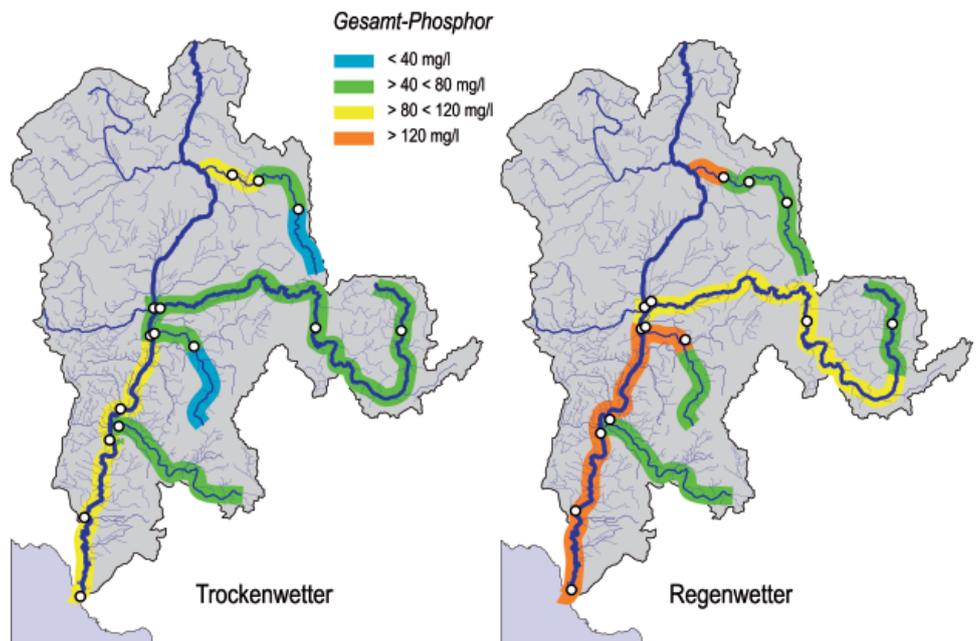


Abb. 4.4: Vereinfachte schematische Darstellung der Gesamt-Phosphorkonzentrationen im Einzugsgebiet der Schussen; links: Situation bei Trockenwetter, rechts: Situation nach stärkeren Niederschlägen

Die Ammoniumkonzentrationen zeigten insgesamt ein eher geringes Belastungsniveau und wiesen auch verhältnismäßig geringe Streubreiten auf [1]. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Mehrzahl der hier erfassten Werte (Mittelwert 0,029 mg/l) in der wärmeren Jahreszeit (bei Randbedingungen, die den bakteriellen Abbau des Ammoniums, die so genannte Nitrifikation, begünstigen) erhoben wurde. Da Ammonium im Gewässer rasch oxidiert wird, sind entsprechende Spitzen oft kleinräumig und kurzlebig. Aufgrund dieser Sachverhalte muss im Einzelfall kleinräumig noch mit ökologisch bedenklichen Ammonium-Konzentrationen gerechnet werden. Ihre räumliche Verteilung legt außerdem den Schluss nahe, dass Spitzenbelastungen im Zusammenhang mit Einträgen aus Regenüberläufen stehen.

Ammonium-Belastung

Im grünlandbewirtschafteten Einzugsgebiet (z. B. Oberlauf der Wolfegger Ach) waren die Nitratbelastungen sehr niedrig. In der Schwarzach, die Intensivanbaugebiete mit Hopfenkulturen entwässert, war sie dagegen hoch. Auch die Unterläufe der Zuflüsse und die Schussen selbst wiesen regelmäßig erhöhte Werte auf [1]. Einige weitere Indizien bestätigen die Einschätzung, dass die Nitratbelastung der Gewässer zu einem hohen Anteil auf diffuse Einträge aus der ackerbaulichen Bodennutzung zurückzuführen ist.

Nitratbelastung

Für fäkale Kolibakterien (*Escherichia coli*) ließen sich deutliche räumliche Belastungsunterschiede im Einzugsgebiet der Schussen feststellen. An allen Schussenstationen zeigen sich erhöhte Werte. Zudem war - wie beim Phosphor - generell ein Belastungsanstieg von Ober- zu Unterlauf erkennbar. Die Belastungsunterschiede ober- und unterhalb von Kläranlagen sowie ein sehr starker Anstieg bei Regenwetter (Abb. 4.5) sind deutliche Indizien dafür, dass die Quelle der *E.coli*-Belastung zu einem ganz entscheidenden Teil in der Siedlungsentwässerung zu suchen ist.

Belastung durch fäkale Keime:

E.coli

Vor allem aus den Regenüberlaufbecken werden im Entlastungsfall offensichtlich immense Mengen an *E.coli*-Keimen ins Gewässer eingetragen. Daneben gibt es Indizien dafür, dass sich nach Eintrag aus diesen Punktquellen *E.coli*-Bakterien in den Sedimenten der Gewässer längere Zeit halten, sich dort möglicherweise sogar vermehren. Diese in den Sedimenten lagernde Fäkalkeime können bei höheren Abflüssen durch Resuspension der Sedimente mobilisiert werden und so zu einem weiteren Anstieg der Keimbelastung beitragen. Beide Sachverhalte konnten bisher in dieser Deutlichkeit noch nicht beobachtet werden und sind deshalb wichtige neue Erkenntnisse für die Quelle und den weiteren Verbleib von Fäkalkeim-Belastungen in Oberflächengewässern.

Wichtige Erkenntnisse für die

Quelle der Keimbelastungen

Viele der an den Schussenstationen gemessenen *E.coli*-Belastungen liegen deutlich über den Grenzwerten der EG-Badegewässerrichtlinie (1 800 Keime/100 ml). Diese Befunde unterstreichen somit, dass die Bodensee-Schwimmbäder im Bereich der Schussenmündung immer noch mit einem erhöhten Risiko von hygienischen Belastungen rechnen müssen - vor allem nach stärkeren Niederschlägen.

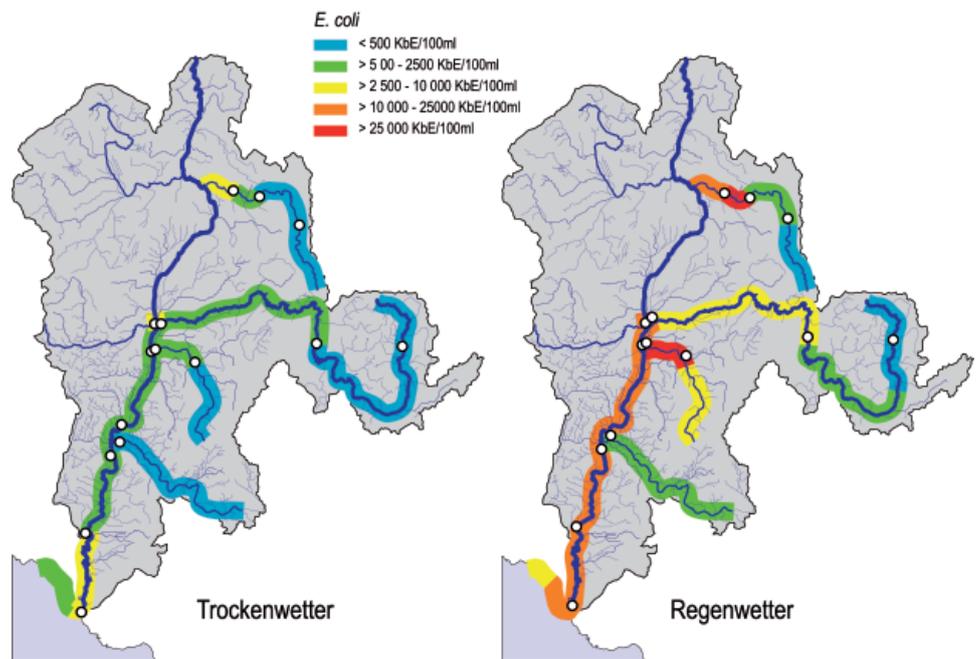


Abb. 4.5: Vereinfachte schematische Darstellung der Konzentrationen von *E.coli*-Keimen im Einzugsgebiet der Schussen; links: Situation bei Trockenwetter, rechts: Situation nach stärkeren Niederschlägen

Belastung durch fäkale Keime:

Intestinale Enterokokken

Die seit Einführung der neuen EU-Badegewässer-Richtlinien an ausgewiesenen Badestellen ebenfalls zu erhebenden Konzentrationen von Fäkalkeimen aus der Gruppe der *Intestinalen Enterokokken* zeigen ein gegenüber *E.coli* deutlich anderes räumliches Belastungsbild. Auffällig sind ähnliche Belastungen an fast allen Probestellen. Auch ist der Schwankungsbereich verschiedener Messergebnisse einer Station deutlich geringer als bei *E.coli*. [1]. Die bisherigen Befunde sprechen dafür, dass die beiden Keimgruppen Zeiger für unterschiedliche Belastungsquellen sind. Dabei können die intestinalen Enterokokken mehr mit diffusen Belastungen aus der Fläche in Verbindung gebracht werden, während die *E.coli*-Belastung, wie oben erwähnt, viel mehr mit der Lage von Punktquellen aus dem Siedlungsbereich - vor allem von Regenüberläufen - korreliert.

Unabhängig von der Quellenlage bleibt auch für die intestinalen Enterokokken festzuhalten, dass die gemessenen Werte, sogar zu einem noch höheren Anteil als bei *E.coli*, über dem dafür festgelegten Badegewässer-Grenzwert von 700 Keimen/100 ml liegen, was das Risiko einer Beanstandung der hygienischen Wasserqualität noch verschärft.

4.2.2 Mikroverunreinigungen

Nach den Kriterien der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ist heute sowohl die chemische als auch die biologische Gewässergüte der Schussen als gut einzustufen und auch Mikroverunreinigungen (u. a. Pestizide, Komplexbildner, Arzneimittel) geben keinen Grund zur Sorge. Dieser letzte Eindruck könnte jedoch täuschen, wenn man berücksichtigt, dass bisher überhaupt nur wenige Stoffe aus dem Bereich der Mikroverunreinigungen in der Liste der prioritären Stoffe nach WRRL stehen und dass noch vergleichsweise wenig über die Wirkungen solcher Stoffe bekannt ist.

Aus der Fachliteratur lassen sich jedoch für mehrere Substanzen dieser Stoffgruppe sogenannte ökologische Wirkgrenzen entnehmen, die vorerst als Zielvorgaben für Belastungsgrenzen nach dem Vorsorgeprinzip herangezogen werden können (Abb. 4.6).

Unter den baden-württembergischen Bodenseezuflüssen weist die Schussen die vergleichsweise umfangreichste Palette an Mikroverunreinigungen auf. Diese schon aus früheren Untersuchungen [10, 12, 20, 21, 22] bekannte Tatsache wurde im Rahmen einer neuen Literaturstudie zur aktuellen Belastung der Schussen durch Mikroverunreinigungen bestätigt [31].

Ein großer Teil der Mikroverunreinigungen gelangt über das Abwasser in die Gewässer. In der Schussen wurden bisher 70 Substanzen nachgewiesen, die unter den Begriff der Mikroverunreinigungen fallen. 45 dieser Stoffe lagen in Konzentrationsbereichen weit unterhalb bisher formulierter Richtwerte, 24 Substanzen lagen dagegen um oder über solchen Werten (Abb. 4.6). Insgesamt ist die Schussen deutlich stärker durch Mikroverunreinigungen belastet als z. B. die Argen oder die Seefelder Ach, da sie auch die meisten Kläranlageneinleitungen und die größte Einwohnerzahl aufweist. Alle drei Fließgewässer belegen aber – stellvertretend für andere Bodenseezuflüsse - die anhaltende Belastung mit solchen Mikroverunreinigungen im Einzugsgebiet des Bodensees.

Für 31 der in der Schussen nachgewiesenen Stoffe wurde eine ökotoxikologische Relevanz festgestellt (vgl. Abb. 4.6). Hervorzuheben ist dabei, dass die Wechselwirkung dieser Stoffe mit anderen Stoffen wahrscheinlich ist, aber noch weitgehend unbekannt.

Schussen mit großer Palette an Mikroverunreinigungen

Literaturstudie

Wechselwirkungen zwischen Stoffen müssen weiter erforscht werden

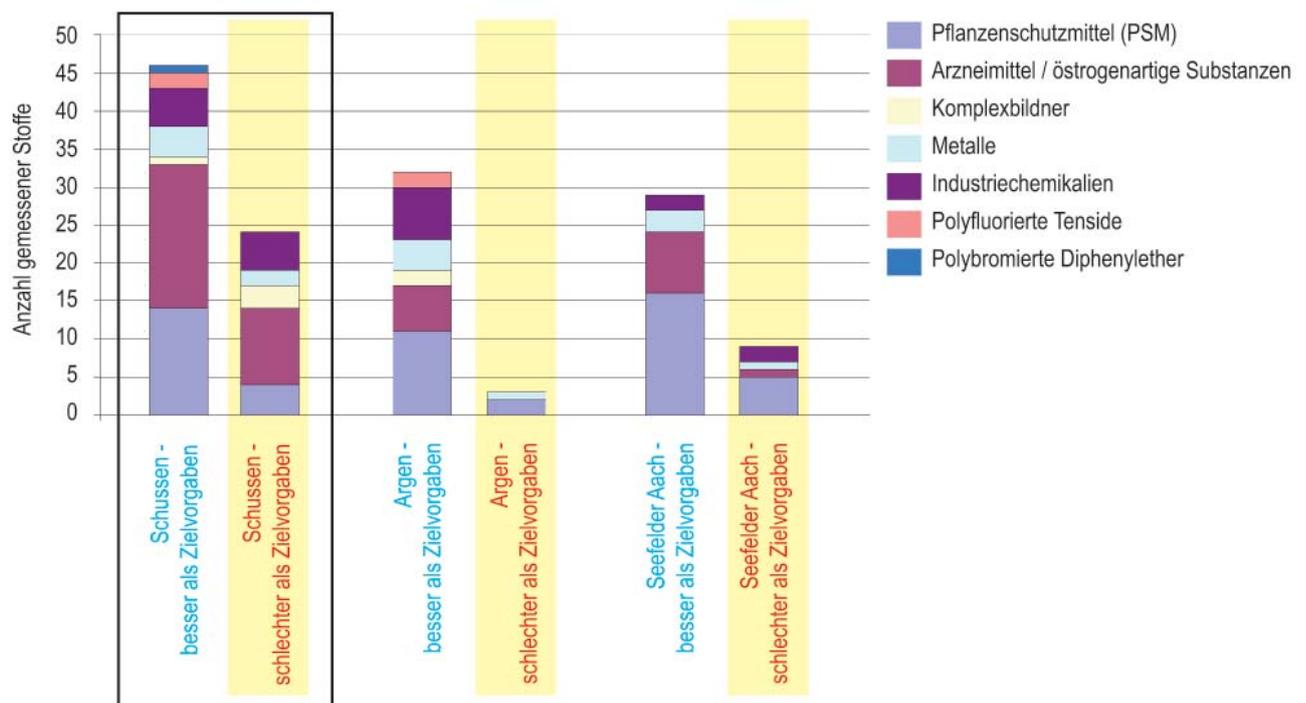


Abb. 4.6: Mikroverunreinigungen in der Schussen, der Argen und der Seefelder Ach. Anzahl der nachgewiesenen Schadstoffe in den drei Flüssen, jeweils oberhalb und unterhalb formulierter Zielvorgaben, aufgeschlüsselt nach Substanzgruppen. Nach [38], ergänzt

In der Schussen sind 18 verschiedenen Pflanzenschutzmittel nachgewiesen	In der Schussen wurden bisher insgesamt 18 verschiedene Pflanzenschutzmittel gefunden, darunter elf zugelassene sowie sieben nicht mehr zugelassene Substanzen wie z. B. <i>Atrazin</i> . Die unterschiedlichen Pestizidkonzentrationen in den Wasserproben aus der Argen, der Schussen und der Seefelder Aach spiegeln in etwa die unterschiedlichen Anteile der Obstanbauflächen im jeweiligen Einzugsgebiet wieder: Die Pestizidbelastung der Schussen bleibt deshalb zwar erheblich über derjenigen in der Argen, aber auch stets unter derjenigen der Seefelder Aach.
Ökotoxizität der PSM	Bezüglich ihrer Ökotoxizität können auch zu den erlaubten Stoffen der neuen Pestizidgeneration keine eindeutigen Aussagen gemacht werden. Für die in größerer Konzentration nachgewiesenen Stoffe ist aufgrund ihrer Persistenz aber weder die Karzinogenität, ein Einfluss auf Hormonhaushalt oder die Reproduktionsbiologie von Gewässerorganismen, noch die Kontamination des Grundwassers auszuschließen.
Arzneimittel: hohe Konzentration hormonaktiver Substanzen	In der Schussen wurden insgesamt 29 verschiedene Arzneimittel nachgewiesen. Vor allem die Konzentrationen an hormonaktiven Substanzen (Östrogene) sind sehr hoch, auffällig auch diejenigen des entzündungshemmenden Schmerzmittels <i>Diclofenac</i> , des Antiepileptikums <i>Carbamazepin</i> und verschiedener Röntgenkontrastmittel. Wie zu erwarten sind mit wenigen Ausnahmen (z. B. <i>Ibuprofen-OH</i>) die Konzentrationen in den Kläranlagenausläufen stets um ein Mehrfaches höher als in der Schussen und sie nehmen durch weitere Verdünnung nach Einmündung in den Bodensee noch mehr ab. Die Konzentrationen der restlichen Arzneimittel liegen eher in der Größenordnung üblicher Werte in mitteleuropäischen Oberflächengewässern.
Herkunft von Phytohormonen in der Schussen noch ungewiss	Auch das Phytohormon β - <i>Sitosterol</i> findet man in der Schussen in vergleichsweise hohen Konzentrationen. Dies könnte aber auch natürliche Ursachen haben. Das Phytohormon kann bei der Bearbeitung von Holz (Papierfabriken!), aber auch aus Ernterückständen (Hopfen- und Maisanbau im Einzugsgebiet) ausgelöst werden und ins Gewässer gelangen.
Industriechemikalien	Insgesamt zehn Industriechemikalien lagen in der Schussen über der Nachweisgrenze, darunter fünf (u. a. <i>Bisphenol A</i> , <i>Nonylphenolderivate</i> und <i>4-Octylphenol</i>) in Konzentrationen deutlich über den formulierten Zielvorgaben.
Komplexbildner	Als Hauptquellen der Belastung durch den Komplexbildner EDTA erwiesen sich an der Schussen Milchwerke, Papierindustrie und Textilausrüster. DTPA, ein anderer Stoff dieser Gruppe, wurde bis 2008 fast ausschließlich von zwei Betrieben der Papier- und Zellstoffindustrie eingetragen. Die Zielvorgabe für solche schwer abbaubaren Stoffe wie EDTA und DTPA sind in der Schussen deutlich überschritten. Dies gilt auch für ein mögliches Abbauprodukt dieser Stoffklasse, das KPDA.
Umweltrelevanz der Komplexbildner ist noch ungewiss	Bei Komplexbildnern ist es besonders schwer, eine ökologische Relevanz nachzuweisen. Sie sind aber gut wasserlöslich und stabil und daher eine potenzielle Gefahr für Gewässerorganismen. Bis mehr über sie bekannt ist, sollten sie als Fremdstoffe nach dem Vorsorgeprinzip behandelt und ihr Eintrag in die Gewässer verhindert oder zumindest

minimiert werden. Falls in Papierfabriken tatsächlich künftig auf den Einsatz von DTPA verzichtet werden kann, sollte – insbesondere auch nach der Schließung der Papierfabrik in Baienfurt - zumindest die Konzentration an DTPA in der Schussen deutlich sinken. Das ist durch jüngste Messungen auch bestätigt worden (ISF, unveröffentlicht).

Bei den Schwermetallen liegen lediglich die Konzentrationen von Kupfer und Zink in der Schussen über der niedrigsten der Literatur entnommenen Zielvorgabe. Die Messwerte für Nickel und Cadmium liegen knapp unter diesen Vorgaben.

Metalle, Schwermetalle

Perfluorierte Tenside (PFT) konnten in der Schussen bisher nur in sehr geringen Konzentrationen nachgewiesen werden, die aller Wahrscheinlichkeit nach weit unterhalb von Effektkonzentrationen liegen.

Perfluorierte Tenside

4.2.3 Herkunft und zeitliches Auftreten der Belastungen in der Schussen

Die in den vorhergehenden Kapiteln vorgestellten Untersuchungsergebnisse machen deutlich, dass selbst bei einem zeitlich und räumlich dicht gerasterten Untersuchungsprogramm nicht immer eindeutige Aussagen bezüglich der Belastungsquellen zu treffen sind. Diffuse Quellen lassen sich gar nur durch Modelle quantifizieren, aber kaum lokalisieren. Einen ersten Anhaltspunkt für den Ursprung der verschiedenen Belastungskomponenten liefern dagegen die vergleichenden Messungen bei Trockenwetter und Regenwetter.

Tabelle 4.2 zeigt eine Beziehungsmatrix, welche die Bedeutung der unterschiedlichen Belastungsquellen und Ereignisse (Regenwetter) für die im Gewässer gemessenen Belastungskomponenten (Immissionsmessungen) abschätzt.

Tab. 4.2: Beziehungsmatrix zwischen Belastungsindikatoren und -quellen im Schussen-Einzugsgebiet

Belastungsquelle	geogen			Siedlungsentwässerung		Diffuse Quellen		Anstieg bei Regenwetter
	Natürliche Hintergrund-Quellen	Kläranlagen	Regenüberlaufbecken	Dezentrale Abwasseranlagen	Diffuse Quellen Ackerbau und Sonderkulturen	Diffuse Quellen Grünland		
Indikator/Parameter								
CSB								
Phosphor gesamt								
Phosphor gelöst								
Ammonium								
Nitrat								
Sulfat								Abnahme
Chlorid								Abnahme
Intestinale Enterokokken								
E.coli								
Pflanzenschutzmittel								
Arzneimittelrückstände								
Komplexbildner								

Legende: Zusammenhang zwischen Quelle/Wetterereignis und Belastung ist:

nicht nachgewiesen	vermutet	nachweislich	deutlich	stark
--------------------	----------	--------------	----------	-------

4.3 Erfolgsbilanz

4.3.1 Erfolgskontrolle Emissionen

Umsetzung der Maßnahmen aus dem Schussenprogramm 1993 Zwei Hauptpunkte der im Schussenprogramm 1993 beschlossenen Maßnahmen zur Siedlungsentwässerung konnten weitgehend umgesetzt werden,

- die Erhöhung des Anschlussgrades im ländlichen Siedlungsbereich
- und der Ausbau des Rückhaltevolumens bei der Regenwasserbehandlung.

Kläranlagenausbau Zusätzlich wurden viele Kläranlagen auf Nitrifikation und Denitrifikation ausgebaut. In der Kläranlage Langwiese (Ravensburg) wurde nach der KA Eriskirch eine zweite Anlage mit Flockungsfiltration in Betrieb genommen. Auch der technische Stand anderer Kläranlagen im Einzugsgebiet der Schussen hat sich seit 1990 noch einmal verbessert.

Ausbau des Regenbeckenvolumens Auch der Ausbau des Regenbeckenvolumens hat in den vergangenen Jahren große Fortschritte gemacht, so dass mittlerweile praktisch 100 % des nach den Richtlinien der Wasser- und Abwasserwirtschaft (WBA) erforderlichen Beckenvolumens verfügbar ist. Mit einer Verdoppelung des Regenbeckenvolumens gegenüber 1992 ergab sich rechnerisch das Potenzial für eine CSB-Frachtreduktion von über 30 %.

Stoffausttrag aus Kläranlagen reduziert Der zusammenfassende Vergleich der Belastungen 1990 und 2006 zeigt (Abb. 4.7), dass die Eintragungsmengen für alle untersuchten Belastungen und für die drei Eintragungspfade aus

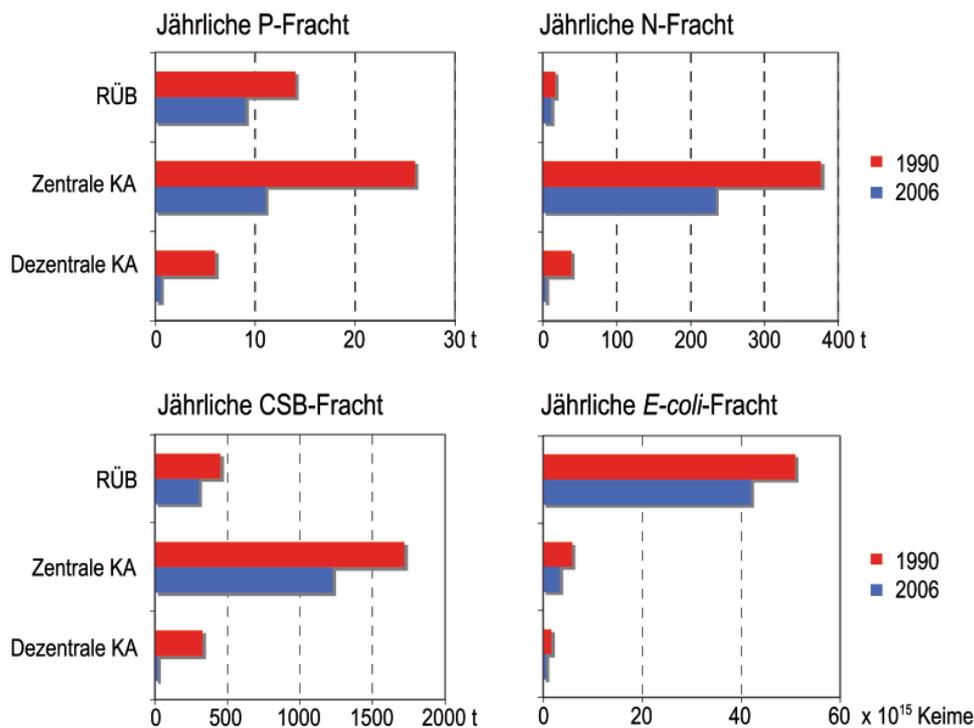


Abb. 4.7: Überschlägige Abschätzung der Emissionen aus verschiedenen Punktquellen des Siedlungsbereiches (Vergleich der Jahre 1990 und 2006, KA = Kläranlage; RÜB = Regenüberlaufbecken, Quelle [1])

dem Siedlungsbereich in diesem Zeitraum weiter reduziert werden konnten. Dabei lassen sich die Abnahmen bei zentralen und dezentralen Kläranlagen gut mit der Umsetzung des oben beschriebenen Ausbaus der Kläranlagen sowie mit der Erhöhung des Anschlussgrades im ländlichen Raum begründen. Die im Bereich der Regenüberläufe errechneten Belastungsminderungen beruhen vor allem auf dem Ausbau des Rückhaltevolumens. Allerdings ist die Abschätzung der Auswirkungen dieses Ausbaus auf die Einträge aus Regenentlastungen vergleichsweise ungenau, da die hierzu erforderliche Datengrundlage bisher noch unzureichend ist.

4.3.2 Erfolgskontrolle Gewässerbelastungen (Immission)

Um zu überprüfen, ob sich die im Bereich der Siedlungsentwässerung umgesetzten Maßnahmen nun auch in geringeren Konzentrationen belastender Stoffe in der Schussen niedergeschlagen haben (Immissionsmessungen, vgl. Abb. 4.3), wurden Werte aus den Jahren 1977 (IGKB Untersuchungen), 1993 [29] und 2006 [1] für ausgewählte Schussen-Stationen verglichen. Diese Zeitvergleiche müssen für endgültige Aussagen allerdings noch auf einer breiteren statistischen Grundlage (z. B. IGKB-Daten) überprüft werden.

Nach diesen Daten hat die Konzentration von Phosphor und Ammonium im Vergleich zu 1977 deutlich abgenommen. Beim Ammonium hat sich diese Abnahme bis 2006 fortgesetzt, wobei nochmals an das verbliebene Risiko kleinräumiger Belastungen erinnert wird. Bei Phosphor ist gegenüber 1993 dagegen keine weitere Abnahme erkennbar, was auch bei Berücksichtigung der dichtereren aus den IGKB-Daten verfügbaren Zeitreihen bestätigt wird. Beim Nitrat zeichnet sich demgegenüber sogar ein Belastungs-Anstieg zwischen den 1970er- und 1990er-Jahren ab, dem danach allerdings wieder ein leichter Abfall folgt. Für *E.coli* existieren keine älteren Vergleichsdaten; aus den Datensätzen der Untersuchungsjahre 1993 und 2006 ist jedoch kein Unterschied abzulesen. Für CSB war ein Vergleich mangels Daten nicht möglich.

Abnahme der Phosphor- und Ammoniumbelastung

Ergänzend zu diesen auf Einzeljahren beruhenden Vergleichen bot sich dank der langjährigen Zuflussüberwachungsdaten der IGKB auch die Möglichkeit, die Frachtentwicklung seit 1996 (ab diesem Jahr standen die Messwerte in immer gleicher Dichte zur Verfügung) kontinuierlich zu verfolgen. Hierzu wurden auf der Grundlage der Messdaten der Schussen-Station Lochbrücke Frachten mit Näherungsformeln berechnet.

Die Fracht des gelösten Phosphors (blaue Linie in Abb. 4.8) ist in hohem Maße abflussabhängig (Parallelverlauf zur roten Linie). Frachten und Konzentrationen zeigen jedoch in den zwölf Jahren von 1996 - 2007 keinen Trend. Hier sind nur die für die P-Konzentrationen im Bodensee maßgeblichen Frachten von gelöstem Phosphor zwischen 15 und 20 Tonnen pro Jahr dargestellt. Für den Gesamt-Phosphor sind die Frachten in der Schussen mit zwischen 100 und 500 Tonnen pro Jahr um ein Vielfaches höher.

Entwicklung der Phosphorfrachten in der Schussen

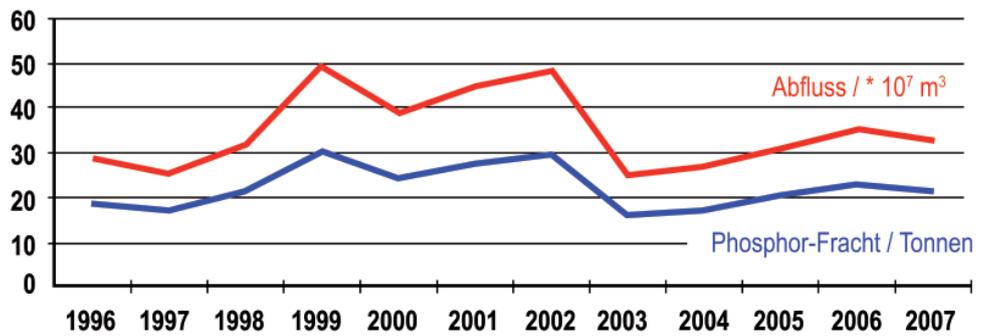


Abb. 4.8: Vergleich der Jahres-Frachten von gelöstem Phosphor der Jahre 1996 – 2007 und der jeweiligen Jahres-Abflüsse (Quelle: Hetzenauer, verändert)

**Entwicklung der Stickstofffracht
in der Schussen**

Fast identisch verhalten sich die Jahresfrachten der Stickstoffkomponenten in der Schussen. Auch diese sind generell stark abflussabhängig und lassen wie der Gesamt-Phosphor keine eindeutigen Trends einer Zu- oder Abnahme der Belastung erkennen. Die Gesamt-Stickstofffracht in der Schussen beträgt in diesem Zeitraum rund 1 500 Tonnen.

Interessanterweise finden sich auch sonst keine Hinweise auf eine weitere Abnahme der Nährstofffrachten seit Mitte der 1990er Jahre. Diese Feststellung gilt übrigens weitgehend auch für alle anderen baden-württembergische Bodenseezuflüsse (HETZENAUER, mündl. Mitteilung). Bei einer statistischen Analyse der Daten zum gelösten Phosphor ergeben sich dagegen Hinweise auf eine allmähliche Änderung im Verhältnis Konzentrations- / Abflussverlauf in den letzten zwölf Jahren. Die Beiträge der punktuellen Quellen nahmen ab, womit sich der auch bei den Kläranlagen gefundene Trend bestätigt. Wohl wegen der großen Variation der P-Gesamt-Frachten, entsprechend den jeweiligen Abflussverhältnissen, schlägt sich dieser Rückgang der Konzentrationswerte noch nicht in den berechneten Jahresfrachten nieder.

**Die Veränderung der Gewässergüte in der Schussen
von 1968 bis 2000.**

Im Rahmen der Erfolgskontrollen zum Schussenprogramm wurden auch Bewertungen der biologischen Gewässergüte vorgenommen. Die Gütedaten des langjährigen Vergleichs von 1968 - 2000 beruhen im Wesentlichen auf dem Kriterium der Saprobie, also der Belastung mit sauerstoffzehrenden Substanzen. Hierzu wird die Zusammensetzung der Biozöosen bestimmter bodenlebender Kleinlebewesen (Saprobier) untersucht.

Die Ergebnisse belegen zweifelsfrei, dass die Fließgewässer im Schussengebiet inzwischen in einem biologisch so günstigen Zustand sind, dass diese Belastungsform zumindest keine chronischen Ausmaße mehr hat und somit ein früher gravierendes Problem in der Schussen behoben werden konnte. Die Daten legen weiterhin nahe, dass auch in diesem Fall die größten Verbesserungen bis 1990 erreicht wurden. In Abb. 4.9 nicht aufgeführt sind die deutlichen Verbesserungen, die auch noch nach dem Jahr 2000 im Schussen-Unterlauf eingetreten sind [1].

Da bei dieser Darstellung der biologischen Gewässergüte vorrangig das Kriterium der Saprobie (Belastung mit sauerstoffzehrenden Substanzen) erfasst wird, sind daraus jedoch nur bedingt Aussagen möglich, ob und in welchem Umfang sich andere stoff-

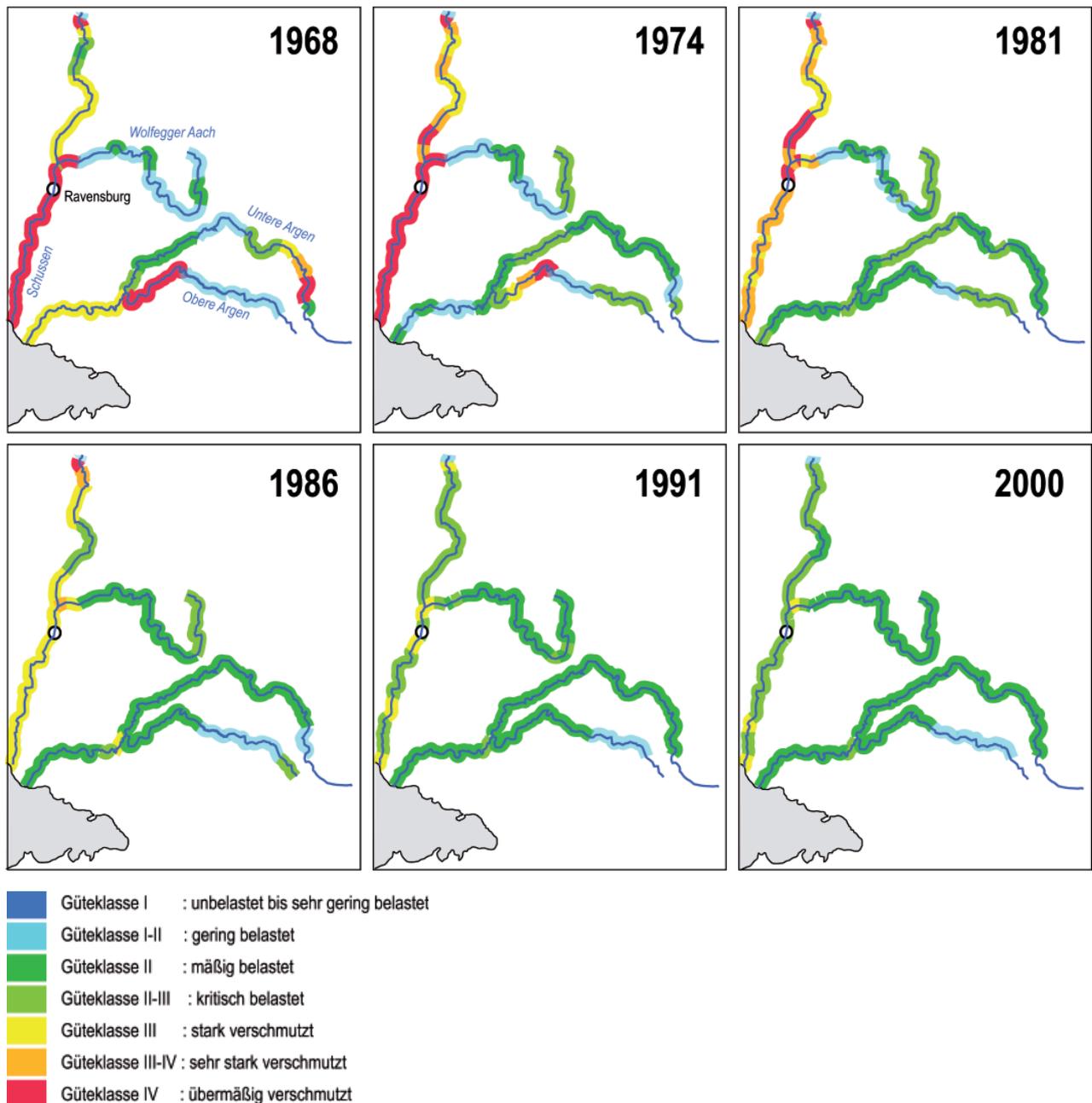


Abb. 4.9: Die Veränderung der biologischen Gewässergüte (SI) in der Schussen, der Wolfegger Aach und im Argen-Einzugsgebiet. (Siessegger 2000)

liche Belastungsformen wie Nährstoffe oder toxische Substanzen auf die Lebensgemeinschaften der Schussen niedergeschlagen haben. Hierzu fehlen aber auch entsprechende Zeitreihen von Untersuchungen, wie sie für die Saprobie dank der langjährigen Überwachungsuntersuchungen vorliegen. Zumindest ergaben sich aber bei jüngst im Zuge des neuen Überwachungskonzepts nach EU-Wasserrahmenrichtlinien erhobenen biologischen Qualitätselementen der Makrophyten und des Aufwuchses keine Hinweise auf übermäßige Nährstoffbelastungen (HOPPE, mündliche Mitteilung). Gegenüber der somit offensichtlich insgesamt verringerten stofflichen Belastung verbleiben allerdings immer noch teilweise gravierende strukturelle Defizite, worauf bereits in Abschnitt 2.4.3 hingewiesen wurde.



5. Erkenntnisse und Perspektiven

In den vorangehenden Kapiteln wurde am Fallbeispiel der Schussen versucht, die Entwicklung der stofflichen Belastungen und ihrer Eintragsquellen darzustellen und den heute erreichten Zustand in einer Bilanz zusammenzufassen. Trotz zweifellos zahlreicher für die Schussen spezifischer Aspekte darf man annehmen, dass die an diesem Fluss gezeigte Entwicklung auch an anderen Bodenseezuflüssen bei jeweils unterschiedlichen absoluten Belastungswerten zumindest in ihrem zeitlichen Belastungsmuster ähnlich verlaufen ist. Daher sollten viele der hier gewonnenen Erkenntnisse auch auf andere Bodenseezuflüsse übertragbar sein. Hierfür sprechen beispielsweise auch die jüngsten im Auftrag der IGKB erfolgten Bilanzierungen der Bodenseezuflüsse (unveröffentlicht).

5.1 Die Schussen im Jahr 2010

Insgesamt kann am Fallbeispiel der Schussen eindrucksvoll gezeigt werden, wie viel für die stoffliche Entlastung der Gewässer inzwischen erreicht worden ist. Im vorliegenden Fall wurde durch geeignete Maßnahmen nicht nur eine bemerkenswerte Entlastung für den Bodensee erreicht, sondern auch der ökologische Zustand des Fließgewässers selbst - zumindest hinsichtlich der stofflichen Belastung mit sauerstoffzehrenden organischen Stoffen und Nährstoffen (vor allem Phosphor) - erfolgreich verbessert.

5.1.1 Erkenntnisse aus den bisherigen Maßnahmenprogrammen

Stellenwert punktueller Belastungsquellen Dieser Erfolg legt nahe, dass zumindest für diese genannten Belastungsarten der Hauptanteil der Belastungen aus der Siedlungsentwässerung gekommen sein muss [15]. Schließlich waren die Maßnahmen zur Stoffrückhaltung von Phosphor und sauerstoffzehrenden Substanzen weitestgehend auf den Siedlungsbereich beschränkt.

Auch an der Schussen wurde jedoch deutlich, dass zur Beurteilung der Belastungen aus dem Siedlungsbereich die Betrachtung der Kläranlagen alleine nicht ausreicht. Die bei der Bevölkerung weniger bekannten Belastungen durch Einträge aus den Regenentlastungen, die nur temporär stattfinden, sind im Hinblick auf die Gesamtfracht bei vielen Stoffen relevant. Sie verursachen zudem bei Regenwetter Spitzenbelastungen, die insbesondere bei Ammonium und den Keimen örtlich bzw. für die Strandbäder von Bedeutung sein können.

Die nähere Betrachtung der Entlastungstätigkeit der Regenentlastungen ist daher sowohl zur weiteren Optimierung als auch zur Erstellung von Gesamtbilanzen von Bedeutung. Die Kosten für die hierzu erforderlich Installation der Meßgeräte und die jährliche Ermittlung von Entlastungsdauer- und Häufigkeit ist im Vergleich zu den Investitions- und Jahreskosten von Regenüberlaufbecken geringfügig.

Belastungsformen für die Anwendung des Vorsorgeprinzips Darüber hinaus zeigte sich, dass trotz offensichtlicher Erfolge in der Stoffreduktion noch deutliche Restbelastungen für manche Belastungsformen wie Mikroverunreinigungen und Keime bestehen. Für diese sind insbesondere wegen des in den Bodenseerichtlinien der IGKB verankerten Vorsorgeprinzips Optionen für mögliche weitere Maßnahmen zu prüfen, auch wenn bislang die entsprechenden Rechtsgrundlagen noch nicht vorliegen. Solche Optionen und die ihnen zugrunde liegenden Prinzipien sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden. Dabei werden die vielfach noch bestehenden Kenntnisdefizite benannt und Überlegungen zur möglichen Effizienz dieser Optionen berücksichtigt.

Die Erfahrungen an der Schussen zeigen, dass bei der Reduzierung von Belastungen aus der Siedlungsentwässerung verschiedene Phasen der Effizienz durchlaufen werden:

Phasen der Belastungsreduzierung von unterschiedlicher Effizienz **Phase 1:** Grundsätzliche Maßnahmen zur Abwasserreinigung in einem zuvor vernachlässigten System zeigen die bei weitem stärksten Effekte. Die Biologie der Gewässer beginnt sich wieder zu erholen, Belastungen treffen nicht mehr das gesamte System, Restbelastungen sind lokalisierbar. Der Aufwand steht in besonders günstigem Verhältnis zum Nutzen.

Phase 2: Die Sanierung von Restbelastungen oder spezifischen Belastungen erfordert einen erheblichen Aufwand, wirkt sich aber noch immer auf die Wasserqualität des gesamten Systems aus. Auch um das Niveau des bisher erreichten Standards zu halten, muss ein erheblicher Aufwand betrieben und viel Geld investiert werden.

Phase 3: Eine Sanierung nach dem Stand der Technik wurde erreicht, so dass hohe ökologische und wasserwirtschaftliche Qualitätsstandards eingehalten werden. Relevante Restbelastungen bestehen weiterhin, ihre Reduzierung erfordert jedoch einen sehr hohen Aufwand. Die Priorisierung weiter gehender Maßnahmen erhält einen besonderen Stellenwert. Auch steigen die laufenden Kosten, um den nun weiter verbesserten Zustand nachhaltig zu sichern. Eine technisch und möglicherweise auch politisch „unvermeidbare“ Restlast muss definiert werden.

An den Bodenseezuflüssen ist zwar Phase 2 zwar noch nicht ganz abgeschlossen, da bei der Regenwasserbehandlung, insbesondere bei der Bewirtschaftung der Regenüberlaufbecken, durchaus noch Optimierungspotenziale bestehen [1]. Dennoch ist inzwischen wohl weitgehend eine Sanierung nach Stand der Technik erreicht. Die gegenwärtige Debatte geht daher vor allem darum, ob und wie eine Phase 3 besritten werden soll. Anhand von drei Beispielen verbliebener Restbelastungen soll nun abschließend versucht werden, die hierzu relevanten Aspekte darzustellen. Sinnvollerweise darf diese Betrachtung nicht auf Maßnahmen im Abwasserbereich beschränkt sein.

EXKURS

Haben wir den See „kaputtsaniert“?

In den vergangenen Jahren haben Bodenseefischer starke Rückgänge bei den Fangerträgen beklagt. Als Hauptursache dafür wurde öffentlichkeitswirksam eine „Phosphor-Unterversorgung“ angeführt, der zufolge zu wenig Plankton im See wachse und die Fische deshalb „verhungerten“. Deshalb sei man mit den Sanierungsmaßnahmen über das Ziel hinausgeschossen. Vereinzelt wird deshalb sogar eine aktive oder indirekte Erhöhung des Phosphatgehalts für den Bodensee als Gegenmaßnahme gefordert.

Forderungen stehen im Widerspruch zu Gewässerschutzzielen

Neben erheblichen Zweifeln an der praktischen Umsetzbarkeit ist eine auf Ertrags-Maximierung ausgerichtete „Steuerung“ des Trophiezustands mit modernem Umweltbewusstsein nicht vereinbar. Außerdem stände es in klarem Widerspruch zu den Zielen des Gewässerschutzes und der Umweltgesetzgebung; hier besitzt die Erhaltung bzw. Wiederherstellung eines naturnahen Trophiezustands oberste Priorität.

Hauptziele sind erreicht

Das Risiko für ökologische und ökonomische Schäden konnte gesenkt werden. Heute hat sich mit 6 – 8 mg Phosphor pro Kubikmeter Wasser weitgehend schon ein neues Gleichgewichts-Niveau eingestellt. Das bedeutet einerseits, dass die Phosphorkonzentration im Bodensee noch immer etwa doppelt so hoch ist wie zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Andererseits können die Hauptziele des Gewässerschutzes damit dennoch als erreicht gelten: naturnahe Trophieverhältnisse sowie Sicherung der Stabilität des Ökosystems Bodensee. Ein solch naturnaher Seezustand ist langfristig natürlich auch die Voraussetzung für den Fortbestand der Fischerei am See. Das Risiko ökologischer (v. a. die Sauerstoffversorgung) und letztlich auch ökonomischer Schäden (an der Trinkwasserqualität, am Tourismus, am Fischfang), die durch nährstoffbedingte Gewässerverschmutzung drohten oder bereits entstanden waren, konnte nachhaltig gesenkt werden.

Wie die Fischereigeschichte des Bodensees zeigt, gab es in der Vergangenheit auch unabhängig vom Trophiezustand immer wieder Ertragseinbrüche. Es kann daher keinesfalls zwingend davon ausgegangen werden, dass die aktuellen Ertragsrückgänge allein auf die verminderte Phosphor-Belastung zurückzuführen sind.

Perspektiven

Natürlich werden im nährstoffärmeren See die Fische langsamer an Gewicht zulegen als dies zwischen 1960 und 2000 der Fall war. Die Fischbestände selbst sind jedoch nicht gefährdet. Auch künftig werden bei einer auf Nachhaltigkeit

und nicht auf Ertragsmaximierung ausgerichteten fischereilichen Bewirtschaftung und dem nun erreichten neuen Gleichgewichtsniveau noch immer Fischerträge möglich sein, die deutlich über denjenigen aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts liegen.

Fischer beklagen Rückgang der Erträge

Delegierten-Versammlung des Internationalen Bodensee-Fischereiverbandes in Friedrichshafen

EDRICHSHAFEN. Für 1981 liegen zwar noch keine Zahlen vor, doch sind die Bescher am Bodensee, ganz im Gegensatz zu den Sportfischern, mit ihren Fängen nicht den. Vor allem bei den Blaufelchen und auch beim Barsch ist seit dem Rekordfang-1977 ein ständiger Rückgang der Erträge zu verzeichnen. Dies wurde in der Delegiertenversammlung 1981 des Internationalen Bodensee-Fischereiverbandes (IBF) deutlich im Hafenbahnhof in Friedrichshafen stattfand. Im Verband sind die Berufs- und Fischer rund um den See zusammengeschlossen, ausgenommen die Schweizer Bescher, die in diesem Jahr aus Protest gegen die Reduzierung der Feichennetze von auf vier ausgetreten sind. Ihre Delegierten waren allerdings anwesend.

fischer, um ihre berufliche Existenz zu sichern. Die Netzzahlreduzierung von sechs auf vier habe man schweren Herzens hingenommen. Das Ziel sei, den Fischfang ganzjährig wirtschaftlich zu gestalten.

Die Berufsfischer seien nicht darauf aus, den See leerzufischen. Rätsel gebe der Barsch auf, von dem jede Menge Jungfische vorhanden seien, aber keine großen.

Schwäbische Zeitung: oben: 1981, unten: 2000

Fischbestand „hervorragend“

LANGENARGEN (Isar) - Der Fischbestand im Bodensee ist nach Meinung von Experten trotz geringerer Fänge in diesem Jahr immer noch „hervorragend“. Der Leiter der Fischerei-Forschungsstelle in Langenargen, Rainer Berg, führt den Rückgang der Fangträge auf die „normale Fluktuation“ und die kalten Sommermonate zurück.

Rainer Berg wies darauf hin, dass auch die zunehmende Sauberkeit des Bodensees die Fang-Erträge schrumpfen lasse. Vor allem die Barsche fänden wegen des Rückgangs des Phosphors und damit der Algen und Wasserflöhe weniger Nahrung. „Die Fischer müssen sich langfristig darauf einstellen, dass der See aus verschiedenen Gründen einfach nicht mehr hergibt“, erläuterte der Fischerereixperte. Die

Dabei ist auch zu erwarten, dass ursprüngliche Fischarten, wie der an oligotrophe Bedingungen angepasste „Blaufelchen“, weiterhin Hauptbestandteil des Fangs bleiben werden.

5.1.2 Restbelastung 1: Diffuse Einträge

Restbelastungen durch Nährstoffe Die heute noch verbliebene Nährstoffbelastung der Schussen stammt beim Phosphor zum größeren Teil und beim Stickstoff sogar zum überwiegenden Teil aus diffusen Quellen (siehe Abb. 4.6). Zu diesen zählen alle flächenhaften Stoffeinträge, die sich aus den Belastungen aus landwirtschaftlichen Nutzflächen und der natürlichen Hintergrundbelastung zusammensetzen.

Sollen und können diffuse Belastungsquellen eliminiert werden? Aus dieser Überlegung heraus wird nun häufig ein dringender Handlungsbedarf für Sanierungen im landwirtschaftlichen Bereich abgeleitet. Mit Nachdruck muss daher darauf hingewiesen werden, dass sich die heutige scheinbare Dominanz der diffusen Einträge - zumindest was den Phosphor angeht - erst daraus ergeben hat, dass die zuvor weitaus dominanteren Einträge aus dem Siedlungsbereich so erfolgreich reduziert werden konnten. Natürlich muss auch für die Restbelastungen aus diffusen Quellen geprüft werden, ob und in welcher Weise damit noch ökologische Beeinträchtigungen von Oberflächengewässern verbunden sind. Ist dies der Fall, so sind natürlich weitere Möglichkeiten zur Stoffreduktion zu erkunden. Sinnvoll wird es dann sein, Phosphor- und Stickstoffbelastung getrennt zu betrachten.

Phosphor

Sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht fällt es zumindest für den Bodensee schwer, auf eine weitere Reduktion der Phosphorbelastung zu drängen. Aus Sicht des Gewässerschutzes kann mit der inzwischen erreichten und mittlerweile offensichtlich auf niedrigem Niveau stabilisierten Phosphorbelastung eine Gefährdung des angestrebten „ökologisch stabilen Zustands“ weitgehend ausgeschlossen werden. Auch beim Trophiezustand der Fließgewässer (nach EU-WRRL) wurde trotz verbleibender Restbelastungen mehrheitlich ein „guter“ Zustand erreicht. Hier ist daher zunächst die nachhaltige Sicherung des Erreichten vorrangig und es besteht allenfalls noch lokaler Handlungsbedarf für eine weitere Phosphor-Reduktion.

**Überlegungen zur
Verhältnismäßigkeit
der Maßnahmen**

Völlig anders stellt sich die Situation in vielen kleineren Seen des Alpenvorlands dar, deren Trophiezustand aufgrund hoher Phosphor-Konzentrationen in vielen Fällen noch immer unzureichend ist. Es ist gut belegt, dass die Eutrophierungen dieser kleineren Seen tatsächlich auf erhöhte Phosphor-Einträge aus der dort vorherrschenden Grünlandbewirtschaftung (Gülleaufbringung) zurückzuführen ist [37]. Von daher sind auch Überlegungen zur weiteren Reduktion der diffusen Phosphor-Einträge vor allem in den Einzugsgebieten solcher Seen notwendig und sinnvoll. Hier besteht also noch erheblicher Handlungsbedarf. Dieser Sachverhalt war auch ausschlaggebend für die Etablierung des Programms zur Sanierung oberschwäbischer Seen und Weiher (SOS) (www.seenprogramm.de).

**Kleinere Seen leiden noch
immer unter Eutrophierung**

Erheblicher Handlungsbedarf



Abb. 5.1: Eine der Ursachen diffuser Einträge: Gülleaufbringung in direkter Nähe des Gewässers (Foto: ISF)

Allerdings sind bekanntlich die Handlungsmöglichkeiten zur Reduktion diffuser Phosphor-Belastungen weitaus eingeschränkter als diejenigen bei Punktquellen, da technologische Lösungen zum Stoffrückhalt - wie sie im Abwasserbereich schon lange existieren - bislang nicht praxisreif verfügbar sind. Insofern kommen hier vorrangig nur Möglichkeiten in Frage, die den Flächen-Auftrag verringern. Diese bestehen vor allem darin,

**Probleme bei der Reduktion
diffuser Einträge**

- die „gute landwirtschaftliche Praxis“ (GLP) einzuhalten und zu kontrollieren;
- den Düngerauftrag bedarfsgerecht auf „das für das Pflanzenwachstum nötige Maß“ zu beschränken (siehe auch Empfehlungen aus dem Seefelder Ach-Projekt);
- witterungsmäßig ungünstiger Zeitpunkt für die Aufbringung zu vermeiden.

Bedeutung der „guten landwirtschaftlichen Praxis“

Mit der Einführung und Überwachung der GLP wurde inzwischen erreicht, dass der mit der Intensivierung der Landwirtschaft einher gehende Anstieg der Nährstoffausträge zum Stillstand kam. Allerdings geben die vorliegenden Zahlen kaum Hinweise dafür, ob die Flächenbelastung aus der Landwirtschaft tatsächlich signifikant abgenommen hat. Zumindest für die Einzugsgebiete belasteter kleiner Seen ist die Einhaltung der GLP wohl vielfach nicht ausreichend und weitergehende Maßnahmen müssen ins Auge gefasst werden. Zu diesen zählt, die Flächennutzung zu extensivieren und damit die Phosphor-Aufträge auf „kritische“, d. h. besonders austragsgefährdete Flächen drastisch zu verringern. Diese Vorgehensweise wurde im SOS-Programm bereits erfolgreich praktiziert, sie ist aber nicht überall im erforderlichen Ausmaß umsetzbar.

Ansätze zur Verringerung des Phosphor-Eintrags

Im Rahmen von Fallstudien wurde gezeigt, dass auch technologische Ansätze zur Verminderung der P-Austräge genutzt werden können, wie z. B. das direkte Injizieren von Gülle. [8, 34] Erwähnenswert sind in diesem Zusammenhang auch Überlegungen, das Phosphor-Rückhaltevermögen der Böden durch Zugabe von Eisenverbindungen zu erhöhen. Gegenüber einem solchen Verfahren erscheint es allerdings praxisnäher, technische Möglichkeiten zur Senkung des P-Gehalts in der Gülle vor Ausbringung einzusetzen. Obwohl man dafür auf verfahrenstechnische Lösungen aus der Abwasserreinigung zurückgreifen könnte, wurde diese Option bisher kaum ernsthaft in Erwägung gezogen.

Stickstoff

Hauptanteil der Stickstofffrachten stammt aus diffusen Einträgen

Die Nitratkonzentrationen in Seen und Fließgewässern sind zwar im Vergleich zu früher heute doppelt so hoch, liegen aber noch immer weit unterhalb der für Trinkwasser festgelegten Grenzwerte. Stickstoff wird in weitaus größeren Mengen als Phosphor aus landwirtschaftlichen Flächen diffus aus- und ins Gewässer eingetragen. Auch hier konnte jedoch der mit der Intensivierung der Landwirtschaft verbundene Anstieg des Stickstoffaustrags durch die GLP zumindest zum Stillstand gebracht werden. Aufgrund der Dominanz diffuser Austräge war beim Stickstoff der Beitrag der Punktquellen aus dem Siedlungsbereich auch vor den Rückhaltemaßnahmen in Kläranlagen schon vergleichsweise gering. Deshalb hat sich auch die Reduzierung der Stickstoffeinträge aus dem Siedlungsbereich (durch Einführung der Denitrifikation in den Kläranlagen) auch kaum auf die Stickstofffracht ausgewirkt, die über Zuflüsse den Bodensee erreicht.

Unsichere Berechnungsgrundlagen und Modelle

Bei der Betrachtung der diffusen Belastungen muss aber mit Nachdruck auf die noch bestehende Wissensdefizite hingewiesen werden, die sich keinesfalls auf akademische Feinheiten beschränken. Bei den bisher vorgelegten Zahlen handelt es sich nur scheinbar um „harte Fakten“. Sie suggerieren, dass eine Bilanzierung der Einträge aus diffusen Quellen auf vergleichbaren Berechnungsgrundlagen beruht wie die aus Punktquellen; dies ist ganz sicher nicht der Fall. Anders als bei Punktquellen ist eine Direktmessung

der Einträge aus diffusen Quellen nicht oder kaum möglich. Ihr Anteil an der Gesamtbelastung kann deshalb nur indirekt - über Modellrechnungen - abgeschätzt werden. Diese müssen zwangsläufig mit vielen, nicht in jedem Fall überprüfbar Annahmen operieren. Zwar kommen die mittlerweile verfügbaren Modelle zumindest beim Stickstoffaustrag noch zu vergleichbaren Ergebnissen, beim Phosphor weichen die Austragsschätzungen jedoch noch immer erheblich voneinander ab, wie sich an einem Projekt an der Seefelder Ach erwies [6]. Die für die Modellannahmen relevanten Prozesse und Randbedingungen sind demnach - zumindest im Fall der Phosphorbelastung - noch nicht hinreichend verstanden.

EXKURS

Wie sehr entlastet Stickstoffelimination in Kläranlagen die Gewässer?

Wegen der erwähnten möglichen toxischen Wirkungen der reduzierten Stickstoffverbindungen Ammonium und Nitrit war für den Schutz der Binnengewässer die vollständige Stickstoffoxidation (Nitrifikation) bei der Abwasserreinigung zunächst das bei weitem vorrangige Ziel gegenüber dem der Verminderung der Gesamt-N-austräge durch Denitrifikation. Im Gegensatz zu Binnengewässern ist für Meeresgewässer eine Wachstumssteuerung durch Stickstoff viel wahrscheinlicher. Deshalb ist dort eine erhöhte N-Zufuhr auch mit einem deutlich erhöhten Eutrophierungsrisiko verbunden. So wird beispielsweise die in den letzten Jahren gehäuft beobachtete Maßentwicklung von Grünalgen an der französischen Atlantikküste vor allem mit erhöhter Stickstoffzufuhr begründet. Von daher sind Maßnahmen zur Verminderung der N-Belastung von Gewässern auch vorrangig ein Instrument zur Eutrophierungsbekämpfung in Meeresgewässern. Da über Denitrifikation der N-Austrag von Kläranlagen bis zu 70 % gesenkt werden kann, können damit auf jeden Fall zumindest die aus dem Siedlungsbereich stammenden N-Belastungen der Gewässer deutlich gesenkt werden.

Der überwiegende Teil der Stickstoffbelastung der Gewässer stammt aber – wie bereits ausgeführt wurde – nicht aus dem Siedlungsbereich. Somit ist der ökologische Wirkungsgrad, der für die Elimination von Gesamtstickstoff aus Kläranlagen erreicht werden kann, deutlich geringer als derjenige beim Phosphor. Zweifellos ist die Denitrifikation in Kläranlagen dennoch ein insgesamt sinnvoller Beitrag zum Gewässerschutz. Fachlich zu hinterfragen ist allerdings die verbreitete Praxis, dass beim Betrieb und der Überwachung der Kläranlagen die Prioritäten wegen entsprechender gesetzlicher Vorgaben fast zwangsläufig auf die Einhaltung der Richtwerte für Gesamtstickstoff gelegt werden. Dies kann häufig nur erreicht werden, indem die Denitrifikation weiter intensiviert wird. Verfahrenstechnisch bedingt führt dies aber nicht selten zu einer Erhöhung der Ammonium-Emissionen. Damit wird – zumindest lokal – auch das Risiko ökologischer Schäden in den Gewässern deutlich erhöht, ohne dass zugleich das Eutrophierungsrisiko für die Meere merklich vermindert werden könnte. Die aktuelle Prioritätensetzung erscheint aus gewässerökologischer Sicht daher nicht zielführend und sollte ernsthaft überdacht werden.

Auf noch bestehende generelle Unsicherheiten der Bilanzierungen weisen auch die auffälligen Diskrepanzen zwischen emissions- und immissionsbasierten Berechnungsansätzen hin. So werden beispielsweise an der Schussenmündung teils deutlich geringere (z. B. gelöstes P), teils deutlich höhere Frachten (z. B. partikuläres P) gemessen als aus den jeweils abgeschätzten Einträgen zu erwarten wären. Als Erklärung für diese Diskrepanzen wären hier vor allem der Rückhalt in bzw. die Remobilisierung dieser Belastungsstoffe

**Flusssedimente als mögliche
Schadstoffquelle**

aus Flusssedimenten zu nennen. Diese Prozesse sind bislang aber nur sehr unzureichend verstanden und müssen daher in Zukunft für die Bewertung der Stoffimmissionen (nicht nur bei Nährstoffen) verstärkt berücksichtigt werden. Auf jeden Fall zeigt dieses Beispiel, dass das oben genannte Problem der Berechnungsmodelle nicht einfach zu lösen ist. Man kann die Dimension diffuser Belastungen leider nicht einfach dadurch abschätzen, dass man sie aus der Differenz zwischen der an der Mündung erfassten Immissionen und den gemessenen Emissionen aus dem Siedlungsbereich errechnet.

**Anteil des gelösten Phosphors:
Gemeinsamkeiten in der Schus-
sen und im Bodensee**

Einen letzten interessanten Aspekt liefert der Vergleich der Nährstofffrachten in der Schussen, betrachtet man den dabei jeweils gelösten bzw. den an Feststoffe (Partikel) gebundenen Anteil. Während der Anteil des partikulär gebundenen Phosphors weit über dem des gelösten liegt, ist es beim Stickstoff gerade umgekehrt – hier dominieren die gelösten Einträge immer und überall. Beim Phosphor zeigen die gelösten Frachanteile einen guten Zusammenhang mit der Phosphor-Konzentrationskurve im Bodensee, während die partikulären Phosphor-Frachten sehr große Schwankungen auf hohem Niveau ohne klaren zeitlichen Trend zeigen. Diese Befunde legen nahe, dass sich die diffusen Einträge, aus denen größtenteils die partikulären Frachten stammen, nicht in gleicher Weise auf die Phosphorkonzentration im Bodensee und damit auf dessen trophischen Zustand auswirkten wie die Zufuhr gelöster Phosphor-Verbindungen.

**Die Bioverfügbarkeit von
Phosphor muss künftig mehr
berücksichtigt werden**

Da sich die gelösten und partikulären P-Frachten somit unterschiedlich auf die Trophieentwicklung auswirken, reicht die bislang vielfach praktizierte undifferenzierte Betrachtung der Phosphor-Gesamtfrachten nicht aus, um ökologisch relevante Stoffeinträge bilanzieren zu können und daraus Prioritäten für Maßnahmen abzuleiten. In Zukunft und mit einem besseren Kenntnisstand wird es unerlässlich sein, die Bioverfügbarkeit beim Phosphor vermehrt zu berücksichtigen [2]

5.1.3 Restbelastung 2: Mikroverunreinigungen

Mikroverunreinigungen sind für die Schussen eines der noch größten verbliebenen Belastungsprobleme (vgl. Kap. 4.2.2). Vor allem die Tatsache, dass ihre Umweltrelevanz noch weitgehend im Dunklen liegt und sich auf Grundlage geltender Richtlinien und Grenzwerte nur vereinzelt unmittelbarer Handlungsbedarf ableiten lässt, erschwert Maßnahmen zur Reduktion dieser Belastungsart.

**Kläranlagen als Eintragsquelle

Unterschiedliche Eliminierbarkeit**

Da kommunale Kläranlagen als wichtige Belastungsquelle für den Eintrag von Pflanzenschutzmitteln und Arzneimitteln in Oberflächengewässer gelten, ist es besonders wichtig, das Verhalten dieser Stoffe im Prozess der Abwasserreinigung zu betrachten. Für bestimmte Arzneimittel, wie z. B. *Carbamazepin* oder Röntgenkontrastmittel, ist mittlerweile bekannt, dass diese vom Klärprozess fast vollständig unbeeinflusst bleiben und deshalb im Kläranlagenablauf wiedergefunden werden. Andere Substanzen, wie der Blutfettsenker *Bezafibrat* oder die Schmerzmittel *Paracetamol* oder *Acetylsalicylsäure* können dagegen bei der Abwasserreinigung sehr gut eliminiert werden. Mittlerweile konnte für zahlreiche Stoffgruppen nachgewiesen werden, zu welchen Prozentsätzen sie aus dem Abwasser durch konventionelle Techniken eliminiert werden können.



Abb. 5.2: Im Labor einer Kläranlage (Foto: ISF)

Dabei hat sich u. a. gezeigt, dass die Reinigungswirkung für viele Wirkstoffe in der Tat relativ hoch ist (Tab. 5.1).

Wie bereits oben erwähnt (Kap. 4.2.2. und Abb. 4.2) werden für die in der Schussen gefundenen Stoffe – unabhängig von ihrer Eliminierbarkeit in Kläranlagen – die Grenzwerte aus der Liste der wassergefährdenden Stoffe nach EG-WRRL i. d. R. eingehalten. Die Restmengen dieser Stoffe im Abwasser und später in den Oberflächengewässern liegen in vielen Fällen aber noch über den so genannten "No-effect"-Konzentrationen (NEC) für aquatische Organismen. Dies bedeutet, dass eine Gefährdung für Gewässerökosysteme nicht ausgeschlossen werden kann. Diese Einschätzung gilt neben der Schussen im Übrigen auch für die Seefelder Aach.

**Gefahr für Organismen
ist nicht auszuschließen**

Diese Befunde verweisen auf ein wesentliches und generelles Defizit bei der ökotoxikologischen Bewertung von Mikroverunreinigungen. Auch wenn mittlerweile die analytischen Voraussetzungen für die Erfassung einzelner Stoffe erheblich verbessert wurden, so fehlen meist verlässliche Informationen über ihre ökologischen Effekte. Sicher ist auch, dass die bislang etablierten Biotests zur Bewertung von ökotoxischen Auswirkungen (z. B. Fisch-, Daphnien-, oder Algentest) sich zwar eignen, um unmittelbar toxische - letale oder subletale - Wirkungen abzuschätzen, aber nicht empfindlich genug sind, um komplexere und chronische Schadwirkungen auf Organismen- oder Lebensgemeinschaften zu erkennen. Dementsprechend kann nicht nachdrücklich genug auf die Notwendigkeit entsprechender Forschungsarbeiten hingewiesen werden, die u. a. auch zur Entwicklung weiterer hinreichend empfindlicher und aussagekräftiger Testsysteme beitragen kann.

Defizit bei der ökotoxikologischen Bewertung

Unzureichende Aussagekraft von Biotests

Auf dieses Manko wurde im Rahmen der Gewässerschutzarbeit der IGKB bereits hingewiesen.

Tab. 5.1: Für die Schussen besonders relevante Mikroverunreinigungen, ihre Zugehörigkeit zu Stoffklassen und der ihnen zugeordnete Abklärungsbedarf; nach [31], ergänzt

Stoffklasse	Zahl der nachgewiesenen umweltrelevanten Stoffe	davon Stoffe gleich oder oberhalb der Zielvorgaben	Für die Schussen besonders relevante Konzentrationen von	Forschungs- und Überwachungsbedarf Anmerkungen
Pflanzenschutzmittel	18	4	Mecoprop, Propiconazol (beide zugelassen), Atrazin, Diuron (beide nicht mehr zugelassen)	Regelmäßige Kontrollen
Arzneimittel und hormonaktive Stoffe	29	10	Erythromycin, Clarithromycin, 17- β -Östradiol, Östron, EE2, β -Sisterol Herkunft ungewiss), Diclofenac, Carbamazepin, Chloramphenicol, Sulfamethoxazol. Verschiedene Röntgenkontrastmittel.	Hoher Forschungsbedarf, ökotoxikologische und synergistische Wirkungen weitgehend unbekannt. Auswirkungen hormonaktiver Stoffe weitgehend unbekannt
Komplexbildner	4	3	EDTA, DTPA, KPDA	Ökotoxikologische Wirkung weitgehend unbekannt
Metalle	4	2	Zink und Kupfer über, Nickel und Cadmium im Bereich formulierter Grenzwerte	Regelmäßige Kontrollen
Industriechemikalien	10	5	Bisphenol A, 4-Nonylphenol, 4-Nonylphenol-diethoxylat, 4-Nonylphenol-Essigsäure, 4-Octylphenol (Bromdichlormethan)	Regelmäßige Kontrollen. Anmerkung: Wirkungsgrade der Elimination von Nonylphenol fast 99 %, für Bisphenol A 75 % - 92 %.
Perfluorierte Tenside	2	0	Keine	Beobachtung der Entwicklung
Flammschutzmittel	1	0	? (es liegen noch keine Untersuchungen vor)	Beobachtung der Entwicklung
Mikroverunreinigungen gesamt nachgewiesen	63	24	Komplexbildner und Arzneimittelrückstände	Beobachtung der teilweise zunehmenden Belastungen. Forschungsbedarf bezüglich synergistischer Wirkungen

Effektkonzentrationen werden vielfach überschritten. Handeln nach dem Vorsorgeprinzip

wiesen [23]. In den Richtlinien zur Reinhaltung des Bodensees wird gefordert, bezüglich Fremdstoffen nach dem Vorsorgeprinzip zu handeln und ihren Eintrag in den See zu verhindern oder zumindest zu reduzieren, solange ihre jeweilige „Ungefährlichkeit“ oder unbedenkliche Konzentrationen nicht unzweifelhaft nachgewiesen sind.

Weitergehende Eliminierung in Kläranlagen?

Gleichwohl stellt sich die Frage, ob neben einer Strategie zur Belastungsvermeidung künftig nicht auch die Abwasserreinigung zur Eliminierung von der Mikroverunreinigungen weiter ausgebaut werden sollte bzw. überhaupt entsprechend ausgebaut werden kann. Als wirksame Technologie wird derzeit vorrangig die Aktivkohlefiltration nach vorangehender konventioneller Reinigung - inklusive Flockungsfiltration - in Betracht gezogen [22] Solche Anlagen existierten in Baden-Württemberg bereits seit längerem in Albstadt, Lautlingen und Hechingen. Obwohl gesetzliche Vorgaben bislang noch fehlen, hat nun Baden-Württemberg Fördermittel bereit gestellt, um vier Kläranlagen im Bodenseeeinzugsgebiet mit Aktivkohlefiltration auszurüsten. Dazu zählt - unter freiwilliger Beteiligung der Betreiber - auch die große Kläranlage Ravensburg Langwiese. Auch in der Schweiz wird in einer Studie des Bundesamts für Umweltschutz (BAFU) dafür plädiert, die Aufrüstung im Zuge ohnehin anstehender Renovation im Laufe der nächsten drei Jahrzehnte an Großkläranlagen vorzunehmen [12].

Aktivkohlefiltration

Allerdings dürfen solche Ansätze die Strategien zur Vermeidung bzw. Minimierung der Belastung mit solchen Stoffen in Frage stellen. Im Sinne des nachhaltigen Schutzes aquatischer Ökosysteme ist es vielmehr erforderlich, alle Möglichkeiten zur Belastungsreduktion im Auge zu behalten, indem

- durch entsprechende Maßnahmen alle Anstrengungen forciert werden, um Emissionen von Mikroverunreinigungen an der Quelle zu vermeiden;
- alle Möglichkeiten zur Optimierung der Reinigungseffizienz in Kläranlagen in wirtschaftlich vertretbarem Umfang wahrgenommen werden.

Gemeinsames Ziel muss es sein, die Konzentrationen von Mikroverunreinigungen in den Oberflächengewässern nachhaltig unter den ökologischen Wirkschwellen zu halten.

5.1.4 Restbelastung 3: Fäkalkeime

Die Überwachung der Belastung von Badeplätzen mit Fäkalkeimen obliegt den Gesundheitsbehörden und gehört daher nicht zu den vorrangigen Aufgaben eines ökologisch begründeten Gewässerschutzes. Dementsprechend stehen Keimbelastungen von Oberflächengewässern eher am Rande des Aufgabenspektrums der Wasserwirtschaft. Vor allem die Keimbelastungen von Seen stoßen aber in der Öffentlichkeit - wegen ihrer Bedeutung für die Badegewässerqualität und ggf. auch für die Trinkwassernutzung - auf allgemein großes Interesse und werden dort fälschlicherweise vielfach als Maß für die Gewässergüte insgesamt verstanden.

Keimbelastungen sind ein wichtiger Aspekt der Gewässernutzung

Obwohl sich die Badegewässerqualität in Europa in den letzten Jahren tendenziell verbessert hat, kommt es am Bodensee noch immer jeden Sommer zu lokalen Verunreinigungen von Badegewässern mit Fäkalbakterien, insbesondere wenn sich die entsprechenden Badestellen in der Nähe von Flussmündungen befinden. Solche Ereignisse finden dann auch vergleichsweise große Beachtung. Auch wird wegen der Auswirkungen auf den Fremdenverkehr seitens der betroffenen Kommunen verständlicherweise und mit Nachdruck die Beseitigung dieser Missstände gefordert. Wie bereits erwähnt waren die Belastungen an den Strandbädern Langenargen und Eriskirch - beide nahe der Schussenmündung gelegen - immer besonders auffällig und mit ausschlaggebend für die entsprechenden Untersuchungsprogramme.

Badegewässerqualität

Alle an der Schussen und an mehreren anderen Bodenseezuflüssen gewonnenen Ergebnisse belegen, dass die Regenentlastungen des Kanalnetzes im Siedlungsbereich heute die mit Abstand bedeutendste Eintragsquellen von Kolibakterien (*E.coli*) darstellen [14]. Normalerweise werden diese Keime in den Kläranlagen hoch effizient (> 99 %) zurückgehalten. Bei starken Niederschlägen kommt es trotz dieser guten Elimination in Kläranlagen zu einer hohen Keimfracht in der Schussen, da über die Regenentlastung um Größenordnungen höhere Keimmengen in das Gewässer eingetragen werden.

Hauptquelle der Keimbelastung: Regenentlastung des Kanalnetzes

Diese Überlegungen und weitere Ergebnisse haben gezeigt, dass der jetzige Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung offensichtlich noch nicht ausreicht, um das Risiko von

Unzureichender Ausbaugrad der Regenentlastung

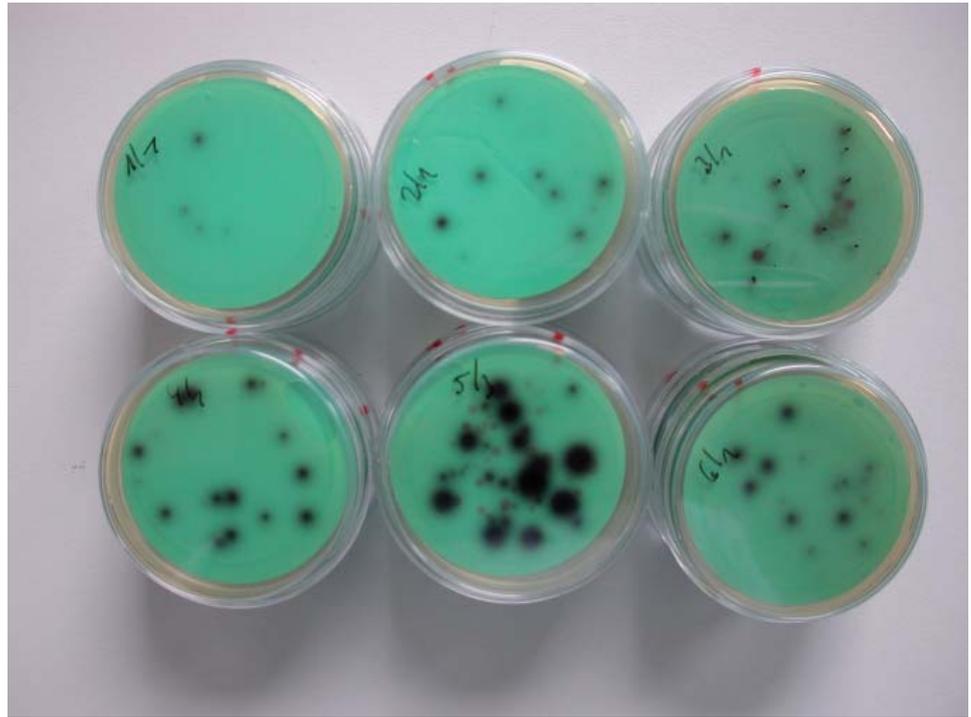


Abb. 5.3: Ermittlung der Bakterienbelastung unterschiedlicher Wasserproben durch Bebrütung auf Nährplatten (Foto: ISF)

Überschreitungen kritischer Fäkalkeimkonzentrationen in mündungsnahen Strandbädern nachhaltig zu senken. Dieses Ziel ist – wenn überhaupt – wohl nur erreichbar, wenn über den jetzigen Stand der Technik hinausgehende Maßnahmen ernsthaft ins Auge gefasst werden. Hierzu zählen vor allem

- Konsequente Umsetzung der oben schon geforderten Messungen der Entlastungstätigkeit und darauf aufbauend Optimierung von Steuerung und Überwachung des Zusammenspiels zwischen Kläranlagen und Kanalnetzes;
- Reduktion des Zuwachses von hydraulischer Belastung der Kanalisation durch Ausbau modifizierter Entwässerung;
- Wo räumlich möglich, eine Nachbehandlung des Mischwassers. Insbesondere über so genannte Retentionsbodenfilter, für die speziell bei der Keimreduktion ein hoher Wirkungsgrad festgestellt wurde, aber auch über Fällung/Flockung des Mischwassers [1].

Bei der Betrachtung der Fäkalkeimbelastung darf aber nicht übersehen werden, dass trotz der hoch effizienten Keimelimination in Kläranlagen die verbleibenden Restbelastungen immer noch sehr hoch sind. Zumindest in Fließgewässern mit dicht besiedeltem Einzugsgebiet - z. B. in der Schussen - werden auch bei Trockenwetter Keimkonzentrationen erreicht, die im Bereich oder sogar über den Grenzwerten nach EG-Badegewässerrichtlinie liegen. Auch deshalb stellt sich die Frage nach den Möglichkeiten weitergehender Abwasserreinigungsverfahren. Hierzu zählen neben der Membrantechnologie vor allem die Ozonierung und UV-Behandlung. Wie Erfahrungen an der Isar [35] gezeigt haben, kann mit solchen Methoden die Konzentration von Fäkalkeimen in Kläranlagenabläufen und damit auch die Keimbelastung im Oberflächengewässer (zumindest bei Trockenwetter) offenbar effizient gesenkt werden.

Bei dem Versuch, die Keimbelastung in den Bodenseezuflüssen zu bilanzieren, wurden jedoch auch noch bestehende Wissenslücken offensichtlich. Im Gegensatz zu Schadstoffen sind Bakterien lebende Organismen, die zwar irgendwann absterben, sich aber auch vermehren können. Bisher weiß man nur wenig über den weiteren Verbleib von Keimen, die ins Gewässer eingetragen wurden. Zwar konnte gezeigt werden, dass Fäkalkeime im freien Wasserkörper rasch absterben, andererseits steigen ihre Überlebenschancen jedoch in geeigneten Gewässersedimenten. Dabei ist es nicht ausgeschlossen, dass sie sich dort sogar vermehren können. Dementsprechend wurden in den Sedimenten belasteter Gewässerabschnitten auch stets erhöhte Keimkonzentrationen gegenüber unbelasteten Abschnitten beobachtet [16]. Dies bedeutet aber auch, dass mit der Aufwirbelung der Sedimente, wie es bei fast jeder Abflusserhöhungen nach Regenwetter geschieht, auch Keime remobilisiert werden, die sich in diesen Sedimenten aufgehalten haben. Bestätigt sich diese Vermutung, dann könnte in den Sedimenten gefällearmer Flussabschnitte wie im Unterlauf der Schussen ein erhebliches zusätzliches Potenzial an bakterieller Belastung schlummern. Bis jetzt war es nicht möglich, den Anteil dieses Beitrags an der Gesamtbelastung zu quantifizieren. Auch dieser Belastungspfad dürfte aber an Bedeutung verlieren, wenn es gelingt, den Eintrag von Keimen aus Kläranlagen und Regenentlastungen durch o. g. Maßnahmen nachhaltig zu reduzieren, da dann ja auch die Beladung der Sedimente verringert würde.

Wissenslücken

Keime in Gewässersedimenten

5.2 Fazit und Ausblick

Am hier betrachteten Fallbeispiel des Bodenseezuflusses Schussen wurde vor Augen geführt, welche vielfältigen Belastungsformen auf dieses Fließgewässer in unterschiedlichen Zeitabschnitten, jedoch vor allem seit der Mitte des vergangenen Jahrhunderts eingewirkt haben. Das Beispiel zeigt aber auch eindrucksvoll, in welchem Ausmaß selbst in einem vergleichsweise dicht besiedelten Einzugsgebiet stoffliche Belastungen von Fließgewässern durch konsequente Umsetzung ursachenorientierter Gewässerschutzmaßnahmen verringert werden können.

Die somit erreichten Erfolge berechtigen allerdings keineswegs zur Schlussfolgerung, dass nun für den Gewässerschutz an den Bodenseezuflüssen kein weiterer Handlungsbedarf mehr bestehe. Auf die noch immer unzureichende Strukturgüte wurde ja schon deutlich hingewiesen (siehe Abschnitt 2.8). Aber auch bei stofflichen Belastungen besteht Handlungsbedarf allein schon in der Sicherung des Erreichten. Darüber hinaus ergibt er sich durch die auch hier aufgezeigten verbleibenden Defizite. Schließlich müssen im Zuge sich ändernder Umweltbedingungen auch mögliche neue Belastungsformen im Auge behalten werden. Deshalb soll abschließend ein Ausblick auf künftige Aufgabenfelder für den Gewässerschutz versucht werden.

5.2.1 Zukunftsaufgaben des Gewässerschutzes an Bodenseezuflüssen

Sicherung des Erreichten

Der bislang erreichte Grad der Entlastung ist soweit fortgeschritten, dass der Zustand der Fließgewässer wie auch des Bodensees bezüglich stofflicher Belastungen weitgehend den Qualitätsnormen der EU-WRRL entspricht. Vorrangiges Ziel des Gewässerschutzes muss daher zunächst die Sicherung des Erreichten sein. Allein die Verfolgung dieses Ziels erfordert schon einen sehr hohen technischen und finanziellen Aufwand und steht daher angesichts knapper Mittel und teilweise konkurrierender Zielsetzungen (z. B. Energieeinsparungen) immer in Gefahr, durch Lockerung von Bestimmungen aufgeweicht zu werden. Konkrete Anforderungen für dieses Aufgabenfeld sind u. a.:

- Aufrechterhaltung der ständigen Qualitätskontrolle in Kläranlagen und bei der Regenwasserbehandlung;
- Bereitstellung ausreichender Mittel zur Erhaltung der personellen und strukturellen Ressourcen im Abwasserbereich;
- Sorgfältige Prüfung der Auswirkung möglicher Kosten- oder Energieeinsparungen auf die Ablaufqualität von Kläranlagen oder der Regenwasserbehandlung;

Ausschöpfung von Optimierungspotenzialen bei bestehenden Einrichtungen

Im Rahmen der Schussenstudie zeigte sich auch, dass zwar die geltenden Qualitätsnormen bei der Abwasserbehandlung und Siedlungsentwässerung im gesamten Einzugsgebiet in der Regel mehrheitlich eingehalten werden, dass aber vorhandenen Möglichkeiten zur Belastungsminderung in den einzelnen Anlagen nicht immer gleich gut ausgeschöpft werden. Insbesondere bei kleineren Anlagen sind Instabilitäten der Ablaufqualität zu beobachten, und damit besteht zumindest ein Risiko lokaler Beeinträchtigungen der Gewässerqualität. Eine sich so weitgehend auf der Grundlage schon vorhandener Einrichtungen ergebende Optimierungsstrategie könnte u. a. folgende Punkte beinhalten:

- Im Bereich der Regenwasserbehandlung:
 - dauerhafte und flächendeckende Überwachung der Entlastungstätigkeit von Regenüberlaufbecken;
 - Entsiegelung von großen Flächen (mit hohem Potenzial), und Schaffung von wirtschaftlichen Anreizen zur Entsiegelung durch gesplittete Abwassergebühr;
 - Konsequente Umsetzung der modifizierten Entwässerung in Neubaugebieten.
- Im Bereich von Kläranlagen und Kanalnetzen:
 - Priorisierung der Minimierung von Ammonium-Belastungen durch Betriebsführung und messtechnische („online“) Überwachung;
 - Prüfung des Anschlusses kleinerer an große Anlagen bzw. Schaffung von Betriebsverbänden von mehreren kleinen Anlagen;

- Minimierung von Fremdwasser im Kanalnetz;
- Spülung ablagerungsträchtiger Sammler nach längeren Trockenperioden.

Verringerung diffuser Belastungen

Auch wenn die Schussenstudie belegt, dass der Großteil der Belastungen der Schussen durch Punktquellen aus dem Siedlungsbereich stammte, sind die Einträge aus diffusen Quellen, also insbesondere durch die landwirtschaftliche Nutzung, keineswegs vernachlässigbar. Sie beinhalten heute – nach der erfolgreichen Reduktion der Belastung aus Punktquellen – sogar den Hauptteil der verbleibenden Restlast (siehe Abb. 4.3.). Die Reduktion diffuser Belastungen erscheint zwar für den Bodensee nicht mehr vordringlich, jedoch sollte sie wegen des schon erwähnten Risikos lokaler Gewässer-Belastungen im Einzugsgebiet nach wie vor im Auge behalten werden. Obwohl die Palette möglicher Maßnahmen hierfür sehr begrenzt ist, ergeben sich für dieses Aufgabenfeld u. a. folgende Anforderungen:

- Beseitigung von bestehenden Kenntnislücken zu Eintragswegen- und -mechanismen;
- auf dieser Grundlage Verbesserung der Modelle zur flächenspezifischen Austragsbilanzierung;
- verbesserte Ansätze zur Optimierung und Überwachung der GLP (guten landwirtschaftlichen Praxis); (Modell: Empfehlungen Seefeldler Aach-Projekt [34]);
- Verstärkung des „Hot-Spot“-Ansatzes; Fokussierung auf Areale mit hohem Austragsrisiko (Modell: Sanierungs-Programm "Oberschwäbische Seen" [37]);
- über Erstellung von Gesamtbilanzen hinaus verstärkte Berücksichtigung der jeweiligen Wirkung diffuser Belastungen auf Oberflächengewässer und Grundwasser.

Früherkennung und Vorsorge

Es wäre sicher gefährlich, den Gewässerschutz mit Verweis auf die Erfüllung geltender Qualitätsnormen allein auf die Sicherung der bisher erreichten Prozess- und Gewässerqualitäten zu beschränken. Dies gilt vor allem auch für viele umweltrelevante Mikroverunreinigungen und Stoffe mit bisher unbekannter Wirkung, für die bisher noch keine Qualitätsziele formuliert wurden. Darüber hinaus sind auch Änderungen der äußeren Bedingungen, wie z. B. die des Klimas, der Bevölkerungs- oder Wirtschaftsentwicklung zu erwarten, die wahrscheinlich auch Änderungen der Problemfelder und Anpassungen von Maßnahmenplanung mit sich bringen. Schließlich erfordern auch neue Erkenntnisse aus der Forschung eine ständige Fortschreibung und Anpassung der geltenden Prioritäten. Für das sich daraus ergebende wichtige Aufgabenfeld der Früherkennung und Vorsorge ist daher u. a. zu fordern:

- Fortsetzung der regelmäßigen Gewässerüberwachung - gegebenenfalls mit Anpassung und inhaltlicher Erweiterung;
- frühzeitige Wahrnehmung von neuen Belastungsformen durch geeignete Indikatoren und Messmethoden (richtige Parameterauswahl, sensiblere Messtechnik);

- Beseitigung von Wissenslücken für die Bewertung der ökotoxikologischen Wirkung von Mikroverunreinigungen durch entsprechende Forschungsprogramme;
- Fortschreibung und Erweiterung der Qualitätsnormen auf der Grundlage der Erkenntnisse aus der Forschung.

Wahrnehmung und Erprobung neuer Technologien

Nach dem Vorsorgeprinzip sollen zwar Restbelastungen und Mikroverunreinigungen am Bodensee und seinen Zuflüssen vermehrt wahrgenommen und minimiert werden. Dennoch besteht derzeit kein unmittelbarer Handlungsbedarf. Bei der Fortschreibung von Gewässerschutzstrategien und -inhalten müssen auf jeden Fall zuerst neue technologische Möglichkeiten mitbedacht werden. Die Fortschreibung von Kontrollen und Maßnahmen darf auch nicht sprunghaft, sondern muss mit Augenmaß erfolgen, wobei angemessene Zeiträume dafür vorzusehen sind. So ist es unverzichtbar, zunächst die Wirksamkeit neuer Technologien in Pilotverfahren zu überprüfen, wie es z. B. derzeit mit der Aktivkohlefiltration an vier Anlagen im Bodenseeeinzugsgebiet geschieht. In vielen Fällen kann sicher die Einführung so erprobter Technologien auch mit ohnehin anstehenden Erneuerungsvorhaben verbunden und damit wirtschaftlich umgesetzt werden (12). Zurzeit können hierzu u. a. folgende Verfahren genannt werden:

- Entfernung von Mikroverunreinigungen durch Aktivkohlefiltration bzw. Ozonierung;
- stärkere Entkeimung durch UV-Behandlung bzw. Membranverfahren;
- Nachschalten von Bodenfiltern an Regenüberlaufbecken;
- Verbesserung der Regenentlastung (z. B. Fällungsverfahren in Regenüberlaufbecken);
- Modellgestützte Bewirtschaftung von Kanalnetzen bei Regenwetter

Intensivierung des integrierten Gewässerschutzes

Am hier betrachteten Fallbeispiel Schussen wird nicht zuletzt auch deutlich, dass Gewässerschutz über *End-of-the-Pipe* Lösungen hinausgehen kann und muss: So war das Ziel der bisherigen Maßnahmen zwar zunächst vorrangig die Entlastung des Bodensees, jedoch rückte mit der Zeit zunehmend auch die Erhaltung der Funktion der Fließgewässerökosysteme in den Vordergrund. Zudem wurde am Beispiel der Phosphorersatzstoffe in Waschmitteln oder der Verfahrensumstellungen in der Zellstoff- und Papierindustrie gezeigt, dass Belastungsminderungen unter geeigneten Voraussetzungen auch ohne Abwasserreinigung erreicht werden können. Daraus ist die Forderung abzuleiten, dass in der Praxis des Gewässerschutzes „integrierte“ Ansätze wie z. B. die „Eyachstudie“ (44) gegenüber den lange Zeit vorherrschenden sektoralen Herangehensweisen zunehmend Fuß fassen sollten. Eine künftige Strategie sollte dementsprechend auch sein, das Zusammenwirken aller geeigneten Maßnahmen (Abwasserreinigung, Regenwassermanagement, Flächenbewirtschaftung, gesetzliche Regelungen, ökonomische Anreize etc.) zu optimieren (Abb. 5.4).

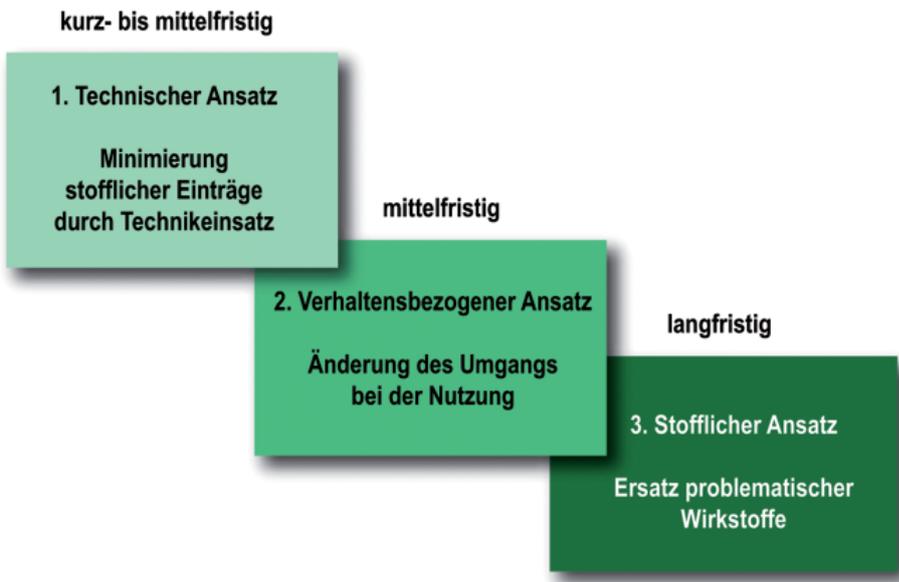


Abb. 5.4: Handlungsperspektiven zur Verminderung stofflicher Einträge (Quelle: K. Kümmerer; 2006)



6. Zusammenfassung

Die Schussen (Einzugsgebiet 815 km², mittl. Abfluss 11,8 m³ /sec) ist der zweitgrößte baden-württembergische Bodenseefluss. Sie entspringt rund 60 km nördlich des Bodensees, in den sie nach einer vor allem im Mittel- und Unterlauf gefällearmen Fließstrecke mündet. Ihr Einzugsgebiet umfasst neben Wald-, Acker- und Wiesenflächen auch größere Moorgebiete, so dass ihr Wasser schon natürlicherweise eine leichte Braunfärbung aufweist. Trotz dieser und anderer Besonderheiten ist die hier dargestellte Belastungsgeschichte der Schussen in vieler Hinsicht auch auf andere Bodenseezuflüsse übertragbar.

Seit der Jungsteinzeit ist der Fluss Lebensader einer Region, die sich danach immer mehr zu einem intensiv genutzten Landwirtschafts- und Siedlungsraum entwickelt hat. Obwohl somit sicher auch schon früher Gewässerbelastungen auf den Fluss eingewirkt haben, nahmen diese vor allem seit Beginn des 20. Jahrhunderts besonders stark zu. Ursache dafür war zum einen ein hohes Bevölkerungswachstum, verbunden mit Änderungen der Lebensgewohnheiten: Mit rund 200.000 Einwohnern hat die Schussen eines der dichtest besiedelten Einzugsgebiete am Bodensee. Zusätzlich erfolgten lange Zeit erhebliche Belastungen durch Abwässer aus Zellstoff- und Papierfabriken. Am Ende dieser Entwicklung (in den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts) war nicht nur die Gewässergüte der Schussen überwiegend kritisch belastet, sondern der Fluss trug auch überproportional zur sich damals ebenfalls immer deutlicher abzeichnenden Verschlechterung der Wasserqualität des Bodensees bei.

Dieses war sicher auch ausschlaggebend für die danach erfolgte Einleitung von Sanierungsmaßnahmen. Entsprechend dem Bau und Investitionsprogramm der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) wurden im ganzen Einzugsgebiet dreistufige Kläranlagen mit Phosphor-Fällung errichtet. Ab 1990 erfolgte an zwei großen Kläranlagen noch der Ausbau auf eine vierte Reinigungsstufe mit Flockungsfiltration. Darüber hinaus trugen bundesweite Regelungen wie das Phosphat-Verbot in Waschmitteln und die Einführung der Stickstoffelimination zu weiteren Entlastungen bei. 1993 startete ein weiteres Sanierungsprogramm mit den zwei Haupt-Zielen, die Abwasserentsorgung im ländlichen Raum zu verbessern und die Belastung mit Fäkalkeimen zu reduzieren. Letzteres Ziel war insbesondere im Hinblick auf die Einhaltung guter Badewasserqualität in mündungsnahen Bodenseebädern vorgegeben.

Im Rahmen einer aktuellen Bestandsaufnahme wurde der jetzige Ist-Zustand neu erhoben. Zusätzlich wurde versucht, die sich nach Vollzug der Maßnahmen nun ergebenden Anteile der Belastungsquellen für verschiedene stoffliche Belastungen neu zu bilanzieren. Es zeigte sich, dass bei den verbleibenden Belastungen bezüglich Nährstoffeinträgen die diffusen Belastungen dominieren, während bei Keimen und Mikroverunreinigungen die Haupteinträge aus dem Siedlungsbereich erfolgen. Dabei erwiesen sich Belastungen über Regenüberläufe als wichtiger Eintragspfad. Diese können neben diffusen Einträgen und Resuspension von Flusssedimenten fallweise wesentlich zu der bekannten Mehrbelastung der Flüsse bei Regenwetter beitragen. Insgesamt belegte die Bestandsaufnahme aber, dass die Wasserqualität der Schussen und der Zustand ihrer Lebensräume inzwischen ein Niveau erreicht hat, das weitgehend den aktuellen europäischen und nationalen Qualitätsnormen genügt.

Trotz der somit erreichten eindrucksvollen Erfolge, sollte nicht übersehen werden, dass noch Restbelastungen verbleiben, für die bislang eine vergleichsweise erfolgreiche Verringerung nicht erreicht werden konnte. Hierzu zählen insbesondere die diffusen Nährstoffeinträge, die Mikroverunreinigungen und die Belastungen mit Fäkalkeimen. Unabhängig davon, welches Gewicht diesen verbleibenden Belastungen beigemessen wird und welche weitergehenden Maßnahmen hierzu als nötig erachtet werden, ergeben sich in jedem Fall auch in Zukunft für die Wasserwirtschaft wichtige Aufgabenfelder:

- 1) Sicherung des Erreichten
- 2) Optimierung vorhandener Einrichtungen
- 3) Reduzierung diffuser Einträge
- 4) Früherkennung und Vorsorge
- 5) Wahrnehmung und Erprobung neuer Technologien.

Für diese Aufgabenfelder muss gemeinsamer Grundsatz sein, dass sie noch stärker als bisher vom Gedanken des ganzheitlichen Gewässerschutzes getragen sind. Daraus erwächst die Verpflichtung, dass alle jeweils denkbaren Ansätze – also nicht nur die bislang vorherrschenden „*end of the pipe*“ – Lösungen - miteinander abgewogen und ernsthaft geprüft werden.



7. Literatur

1. AUERBACH, B.; GÜDE, H.; MILLER, G.; WURM, K.; VOGEL, H.-J. (2008): Schussenprogramm 2008 – Erfolgskontrolle und Maßnahmenoptimierung, Abschlussbericht; 2008, 88 S. Download unter: (<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/11158/>)
2. BACH, M. (2009): Landwirtschaft und Gewässerschutz - Anmerkungen aus 'wissenschaftlicher' Sicht dvs-Tagung "Landwirtschaft und WRRL", 25./26.03.2009, Bad Kissingen
3. BAUER, K. (1997): Stora: Geschichte der Papierfabrik Baienfurt. Festschrift zum 125-jährigen Betriebsjubiläum. Bad Waldsee. 90 S.
4. BEHRENDT, H.; OPITZ, D. & PAGENKOPF, W.-G. (2001): Analyse der Nährstoffeinträge und -frachten in den Flüssen von Baden-Württemberg; Forschungsbericht des IGB, Berlin
5. BERAN, F. & SIESSEGGER, B. (1987): Ein Fluss im Schatten – Die Schussen in Entwicklung und Gegenwart. – Leben am See; Heimatjahrbuch des Bodenseekreises, Band 5, 78-92
6. BORCHARDT, D.; GEFFERS, K. & FUNKE, M. (2001): Modellprojekt Gewässerbewirtschaftung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach. Grundlagen für die Aufstellung eines Maßnahmenplans. Endbericht im Auftrag des UVM Stuttgart
7. BÜHRER, H.; KIRNER, P. & WAGNER, G. (2000): Dem Bodensees in den Abflußjahren 1996 und 1997 zugeführte Frachten Ber.Int.Gewässerschutzkomm. Bodensee 53
8. DIEPOLDER, M.; RASCHBACHER, S. & EBERTSEDER, T. (2005): P-Austrag aus Drainagen unter Wirtschaftsgrünland: SuB Heft 12, S. 6 -11
9. EINSELE, W.; HELLEMANN, G. & VETTER, H. (1937): Hydrographische und hydrochemische Untersuchungen an einer Altwasserschlinge (Schussen bei Eriskirch) und an einem Weiher (Bühelweiher bei Wasserburg).- Limnologische Produktionsstudien 6a, Aus dem Institut für Seenforschung und Seebewirtschaftung der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, Langenargen am Bodensee. Sonderdruck aus den Schriften für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung. 64. Heft. 29 S.

10. EITEL, P. (Hrsg.) (1977): Ravensburg und das Schussental in Ansichten und Schilderungen aus fünf Jahrhunderten. Sigmaringen 1977, ISBN 3-7995-2008-2, S. 23–25. Originalherkunft: Handschrift in der Württembergischen Landesbibliothek Stuttgart, Cod. hist. fol. 250, Blatt 61–64
11. FURRER, G. (1991): 25 000 Jahre Gletschergeschichte – Neujahrsblatt Naturforschende Gesellschaft Zürich
12. GÄLLI, R.; ORT, C.; SCHÄRER, M. (2009): Mikroverunreinigungen in den Gewässern. Bewertung und Reduktion der Schadstoffbelastung aus der Siedlungs-entwässerung. Umwelt-Wissen Nr. 0917. Bundesamt für Umwelt, Bern. 103 S.
13. GÜDE, H. (1999): Entwarnung für den See? Wie sauber ist der Bodensee wirklich? Natur und Mensch 2/1999, S. 2 -8
14. GÜDE, H.; MILLER, G.; & VOGEL, H.-J. (2003): Maßnahmenkonzepte zur Reduzierung der Belastung mit Fäkalkeimen am Bodensee. Aus: Hygienische Aspekte von Oberflächengewässern aus wasserwirtschaftlicher Sicht. Münchener Beiträge Wasser-Abwasser-Fischereibiologie; Bd 99, S. 205 - 225
15. GÜDE, H.; ROSSKNECHT, H. & G. WAGNER (2000): Prozesse der Reoligotrophierung – Fallbeispiel Bodensee. – in: Seen – Gewässerschutz, Nutzungen und Zielkonflikte. Oldenbourg Verlag München Wien, S. 323 – 345
16. GÜDE, H.; ECKENFELSS, S.; MCTAGGART T.; K. & PALMER, A. (2000): Eintragswege und Verbleib von Fäkalkeimen im Einzugsgebiet der Seefelder Aach Statusberichtsreihe der bwplus Projekte (Hrsg. Horsch et al.) Internet homepage:<http://bwplus.fzk.de>
17. INTERNATIONALE GEWÄSSERSCHUTZKOMMISSION FÜR DEN BODENSEE (1987): Die Zukunft der Reinhaltung des Bodensees – Weitergehende und vorbeugende Maßnahmen – Denkschrift. Bericht Nr. 34 der Internationalen Gewässerschutzkommission Bodensee
18. KRIEGER, H.; LAMPERTSDÖRFER, T. & D. R. DIETRICH (2002): Status- und Strategiebericht Schadstoffe und ihre ökotoxikologische Relevanz für den Bodensee im Auftrag der IGKB. Internes Papier
19. KUNZ, D. (1976): Wirtschaftsgeschichte des Kreises Ravensburg im 19. Jahrhundert. In: Der Kreis Ravensburg, Konrad Theis Verlag, Stuttgart und Aalen, S. 137-147
20. LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (2005): Gewässerstrukturkarte Baden-Württemberg 2004, 21 Seiten, 1 Karte, 1 CD-ROM; Karlsruhe 2004
21. LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (2005): "Biologische Gewässergüte der Fließgewässer Baden-Württemberg", 34 Seiten, 1 Karte, 1 CD-ROM, Karlsruhe 2005
22. MEYER, H. (2008): Abwasserreinigung – quo vadis? Wasser-Abwasser 149: 349 -354
23. MÜRLE, U.; ORTLEPP, J. & REY, P. (2004): Der Bodensee: Zustand - Fakten - Perspektiven; Herausgeber: Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Bregenz 176 S.
24. NÜMANN, W. (1968): Das Verhalten von organischer Fracht, Phosphor- und Stickstoffverbindungen in einem Flusslauf nach Eintrag durch häusliche und industrielle Abwässer sowie durch landwirtschaftliche Düngung. Arch. Hydrobiol. 64, 4 377-399
25. PRASUHN, V. (1999): Phosphor und Stickstoff aus diffusen Quellen im Einzugsgebiet des Bodensees
26. PRASUHN, V.; SPIESS, E. & BRAUN, M. (1999): Methoden zur Abschätzung der Phosphor und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den Bodensee 1996/97; IGKB Bericht Nr. 45
27. PREGER, M. (1993): Ravensburg und die Schussen. ISBN 3-926891-10-6. Oberschwäbische Verlagsanstalt Drexler & Co., Ravensburg, 63 S.

28. PREGER, M.: Die Ravensburger Papiermacher; Ravensburger Stadtgeschichte; Heft 9, 1980
29. REGIERUNGSPRÄSIDIUM TÜBINGEN (1994): Belastung der Schussen und ihres Mündungsbereiches in den Bodensee sowie mögliche Maßnahmen zu deren Reduzierung; Interner Bericht; 133 S. & Anhang
30. REGIERUNGSPRÄSIDIUM TÜBINGEN (2001): Neue Wege für die Seefelder Aach; Abwasserbehandlung. Broschüre, 12 S.
31. ROSSKNECHT, H.; HETZENAUER, H. (2000): Zum Vorkommen von Arzneimittel-Rückständen im Bodensee-Obersee und in einigen baden-württembergischen Bodensee-Zuflüssen. Institut für Seenforschung in der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. ISSN 1437-0166 (Bd. 1, 2000)
32. ROSSKNECHT, H.; HETZENAUER, H. (2001): Arzneimittel im Bodensee? Nachrichten aus der Chemie; 49, S. 145 – 149
33. ROTT, U.; SCHLICHTIG, B. (2003): Eintrag von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in Oberflächengewässer am Beispiel des Bodensee-Zuflusses Seefelder Aach. Untersuchungsprogramm 2002. Studie zuhanden der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für Seenforschung, Langenargen; 32 S.
34. SCHLECKER, E. & KONOLD, W. (2002): Leitfaden zur Beratung landwirtschaftlicher Betriebe mit dem Ziel, Nährstoffeinträge in Gewässer zu vermindern, auf Grundlage der guten fachlichen Praxis am Beispiel des Einzugsgebietes der Seefelder Aach; Abschlussbericht; Download unter <http://www.seefelder-aach.de>
35. SCHLEYPEN, P. & GRÄGEL, W. (2000): Abwasserdesinfektion auf der Kläranlage der Stadt Bad Tölz. GWF Wasser-Abwasser 141, 849 -853
36. SCHNEIDER, E. (1976): Bevölkerungsentwicklung und strukturelle Veränderungen; In: Der Kreis Ravensburg, Konrad Theis Verlag, Stuttgart und Aalen, S. 224-227
37. SCHUA, L. (1981): Wasser - Lebenselement und Umwelt; Verlag Karl Alber Freiburg / München, 358 S.
38. TRAUTMANN, A.; GELBRECHT, J.; BEHRENDT, H.; GÜDE, H. & LENGSELD, H. (2002): Möglichkeiten der Senkung von Phosphoreinträgen aus Einzugsgebieten von Seen; Wasser und Boden 54: 32-37
39. TRIEBSKORN, R. (2008): Literaturstudie zu Mikroverunreinigungen und deren Effekte auf die Gewässerbiozönosen im Bodensee-Einzugsgebiet: Nährstoff- und Schadstoffgehalte, ökotoxikologische und fischereibiologische Untersuchungen in den Fließgewässersystemen Argen, Schussen und Seefelder Aach; Im Auftrag der LUBW; Karlsruhe; 120 S.
40. WAGNER, G.; BÜHRER, H. & AMBÜHL, H. (1976): Die Belastung des Bodensees mit Phosphor- und Stickstoff und organischen Verbindungen im Abflußjahr 1971/72. - Bericht Internationale Gewässerschutzkommission Bodensee 17
41. WAGNER, G. & BÜHRER, H. (1982). Die Belastung des Bodensees mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen, organisch gebundenem Kohlenstoff und Borat im Abflussjahr 1985/86. - Bericht Internationale Gewässerschutzkommission Bodensee 28
42. WAGNER, G. & BÜHRER, H. (1989) . Die Belastung des Bodensees mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen, organisch gebundenem Kohlenstoff und Borat im Abflußjahr 1985/86. - Bericht Internationale Gewässerschutzkommission Bodensee 40
43. WELKER, A. (2007): Assessment of organic pollutants with respect to occurrence and fate in combined sewer systems and possible impacts on receiving waters; Water, Science & Technology, Vol. 56, 141-148
44. WETZEL, A. (1951): Ein Fluß Nach 20 Jahren. Aus dem Institut für Seenforschung, Langenargen am Bodensee, Forschungsabt. Für Reinhaltung der Gewässer. „Gesundheits-Ingenieur“, Heft 13/15 (72. Jahrg.); Verlag R. Oldenbourg; München, 5 S.

45. WURM, K. & HÖLLE, J. (2005): Pilotprojekt „Integrierter Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Eyach“; 1996/97; CD-Rom im Auftrag des Zweckverbandes Abwasserreinigung Balingen und des Landratsamtes Balingen

