

F&E-Vorhaben
Klimawandel am Bodensee (KLIMBO)

Messkampagnen zur Analyse langfristiger Wasseraustauschprozesse



Auftraggeber: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und
Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW)

Auftragnehmer: DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW)

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Michael Fleig, TZW
Dr. Roland Schick, BWV

IMPRESSUM

- Titel:** Messkampagnen zur Analyse langfristiger Wasseraustauschprozesse
- Herausgeber:** Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW)
Abteilung Wasser
Postfach 10 01 63
76231 Karlsruhe
- Koordination:** Institut für Seenforschung
Argenweg 50/1
88085 Langenargen
Leitung: Dr. Gerd Schröder, Projektbetreuung: Bernd Wahl
E-Mail: isf@lubw.bwl.de
Tel.-Nr.: 0049 (0)7543/304-0, Fax: 07543/304-299
- Bearbeitung:** DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW)
Karlsruher Straße 84
D-76139 Karlsruhe
- Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung (BWV)
Hauptstraße 163
70563 Stuttgart
- Autoren:** Dipl.-Ing. Michael Fleig (TZW), Dr.-Ing. Roland Schick (BWV)
- Stand:** Januar 2015
- ISSN / ISBN:** -
- Copyright:** Die Veröffentlichung, die Vervielfältigung und der Nachdruck, ist - auch auszugsweise - nur mit vorheriger Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.
- Haftung:** Sowohl der Herausgeber als auch der Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung und das DVGW-Technologiezentrum Wasser übernehmen keine Haftung für Schäden, die aufgrund von weiterführenden oder fehlerhaften Anwendungen der in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse und Sachverhalte entstehen.

Das vorliegende Teilprojekt wurde im Rahmen des F&E-Verbundforschungsvorhabens „Klimawandel am Bodensee, KlimBo“ durch die Europäische Union aus dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung sowie des INTERREG IV-Programms „Alpenrhein, Bodensee, Hochrhein“ gefördert.



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung



Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	4
2 Aufgabenstellung und Untersuchungsprogramm	5
3 Ergebnisse der Untersuchungen	7
3.1 Voruntersuchungen der AWBR	7
3.2 Zuflüsse und Ausfluss des Bodensee	8
3.3 Tiefenprofile in Bodensee und Überlinger See	14
3.4 Sonderprogramm Flachwasserzone	16
3.5 Hochwasserereignis	19
3.6 Vergleich mit Modellrechnungen	22
3.7 Bilanzierung über den Projektzeitraum	23
4 Zusammenfassung	24
5 Kurzbericht	25
Einfluss der Austausch- und Durchmischungsprozesse auf die Wasserbeschaffenheit	25
6.1 Untersuchungsprogramm zu Spurenstoffen im Bodensee und seinen Zuflüssen	25
6.2 Ergebnisse der Langzeitbeobachtung	25
6.3 Niedrigwasserperiode März 2012	28
6.4 Hochwasserereignis Juli 3013	29
6.5 DMS-Inhalt des Bodensee	30
6 Anhang	31
6.1 Leistungsbeschreibung (Auszug)	31
6.2 Karten der Untersuchungsstellen	32
6.2.1 Zuflussuntersuchungen und Tiefenprofile	32
6.2.2 Flachwasserzone Friedrichshafener Bucht	33
6.3 Untersuchungsergebnisse	35

1 Einleitung

Eine der großen Umweltfragen unserer Zeit ist der globale Klimawandel, der im Laufe dieses Jahrhunderts sichtbare Veränderungen in unseren klimatischen Randbedingungen mit sich bringen wird. Unbestritten ist sein Einfluss auf häufiger auftretende Wetteranomalien mit z. B. deutlich stärker ausgeprägten Extremereignissen sowie Veränderungen im jahreszeitlichen Verlauf der Wetterereignisse. Diese veränderten Randbedingungen betreffen auch das komplexe Ökosystem Bodensee. Bisher wenig bekannt sind die Auswirkungen des Klimawandels auf den Bodensee und die daraus resultierenden Folgen für die verschiedenen Nutzungen. Dabei geht es nicht vorrangig nur um Fragen zum Wasserdargebot. Vielmehr stellen sich Fragen zum zukünftigen Vorkommen von regelmäßigen jahreszeitlichen Umschichtungen (Durchmischung des Seeinhaltes, Sauerstoffhaushalt), verändertem Biomassevorkommen (Algenblüte mit Zeitpunkt und Menge, Tiefenverfrachtung abgestorbener Organismen) oder Veränderungen in Stoffhaushalt und Verhalten anthropogen bedingter Stoffe im Bodensee (Abbau, Remobilisierung, Austrag). Allen voran dürften insbesondere die qualitativen Veränderungen die Wasserversorger rund um den Bodensee betreffen.

Vor diesem Hintergrund wurde unter dem Titel „**Klimawandel am Bodensee (Klimbo)**“ ein F&E-Verbundprojekt initiiert, das sich mit Fragen zu aktuellen und zukünftigen klimabedingten Veränderungen für den gesamten Bodensee beschäftigt. Die Federführung für das Verbundprojekt lag beim Institut für Seenforschung (ISF) in Langenargen. Gefördert wurde dieses Projekt durch die Europäische Union aus dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung sowie des INTERREG IV-Programms „Alpenrhein, Bodensee, Hochrhein“, wofür wir uns an dieser Stelle bedanken.

An diesem Verbundprojekt ist die AWBR (Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein) an zwei Teilprojekten als Partner beteiligt. In diesen Teilprojekten geht es zum einen um eine Risikobewertung für die Wasserversorgungen (Bearbeitung durch die Bodenseewasserversorgung), zum anderen um die Erfassung langfristiger Veränderungen der Beschaffenheit des Bodenseewassers in Hinblick auf den Einfluss von Umweltereignissen (Bearbeitung durch das Technologiezentrum Wasser). Neben der Langzeitbeobachtung eines inerten Tracers stellt sich auch die Frage, in welchem Umfang sich Hochwasserereignisse und Niedrigwasserperioden auf den Stoffhaushalt des gesamten Sees und insbesondere die Flachwasserzonen auswirken. Ziel des Teilprojektes „**Messkampagnen zur Analyse langfristiger Wasseraustauschprozesse**“ war es, vor allem die mit den Stofftransportvorgängen verbundenen Wechselwirkungen empirisch zu erfassen und zu beurteilen.

2 Aufgabenstellung und Untersuchungsprogramm

Der Schwerpunkt der in TP 5 bearbeiteten sollte vor allem auf der Beobachtung von Stofftransport und -austauschprozessen liegen. Somit galt es, eine Leitsubstanz auszuwählen, die dafür geeignete Eigenschaften aufweist. Die Wahl fiel auf DMS (N,N-Dimethylsulfamid). Als Abbauprodukt des im März 2010 EU-weit (in Deutschland bereits im Februar 2007)) verbotenen PSM-Wirkstoffes Tolyfluanid konnte davon ausgegangen werden, dass es nahezu keine Neueinträge aus der Anwendung geben wird. Dieser Metabolit gilt darüber hinaus als inert, d.h. weder Sorptionsvorgänge noch mikrobieller Abbau beeinflussen die Stoffgehalte in Gewässern. Somit können die mit dem Tracer DMS ermittelten Konzentrationen und deren Unterschiede nahezu ausschließlich auf Transportvorgänge innerhalb des Bodensees sowie Zu- und Abströmungen über die an den See angebundenen Fließgewässer zurückgeführt werden. Zu erwarten war in Abhängigkeit von den Verhältnissen im Einzugsgebiet ein fortwährender Austrag von DMS und damit ein Rückgang der Gesamtmenge im Bodensee.

Aus der Aufgabenstellung zur Erfassung der Stoffbilanz von DMS ergab sich der Untersuchungsumfang für dieses Teilprojekt. Die langfristige Entwicklung der DMS-Gehalte sollte sowohl in Zuflüssen (Eintragsverhalten) als auch im See selbst (Verteilungsverhalten) bestimmt werden. Hinzu kommt der Ausfluss aus dem Bodensee bei Konstanz (Austragsverhalten). Ausgewählt wurden folgende Untersuchungsstellen:

- Tiefenprofile im Bodensee:
 - Seemitte des Bodensees (auf Höhe der Verbindungslinie Fischbach-Uttwil)
 - Seemitte des Überlingersees
 - Die Untersuchungen erfolgten über 7 (Obersee) bzw. 5 (Überlingersee) Tiefenstufen über die gesamte Seetiefe beginnend an der Oberfläche bis hin zur Probenahme wenige Meter über Seegrund. Bei den ersten Probenserien wurden die großen Tiefen noch nicht entnommen.
- Zuflüsse:
 - Ausgewählt wurden die abflussstärksten Zuflüsse rund um den Bodensee einschließlich zweier kleiner Bäche, die aus dem Hauptanwendungsgebiet entwässern. Der Ausfluss des Bodensees bei Konstanz wurde mitberücksichtigt. Somit konnten ein- und Austrag an DMS bilanziert werden.
- Sonderuntersuchung bei extremer Lage:
 - In Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt zur Modellierung wurde die Niedrigwasserperiode zu Jahresbeginn 2012 ausgewählt. Als Untersuchungsgebiet wurde der Zu-

strombereich von Rotach und Schussen gewählt und der Flachwasserbereich bis hin zur Abbruchkante untersucht. Ausreichende Vorkenntnisse in diesem Gebiet, die Lage im Haupteintragsbereich sowie die hier detailliert mögliche Modellierung gaben den Ausschlag für die Wahl dieses Bereichs.

Ergänzend zur Aufgabenstellung konnte ein Hochwasserereignis und dessen Auswirkungen beobachtet werden, das zufällig zeitgleich zur Routineprobennahme in Zuflüssen und Bodensee auftrat.

Die Entnahme der Wasserproben erfolgte in Kooperation mit der Bodensee-Wasserversorgung (BWV) in Sipplingen, die über die erforderlichen Gerätschaften, insbesondere für die Entnahme der Tiefenprofile, verfügt.

Bezüglich der Übereinstimmung der erhobenen Untersuchungsdaten mit dem computerunterstützten Simulationsmodell wird auf den Bericht des Projektpartners kup verwiesen, bei dem diese Berechnungen durchgeführt wurden.

3 Ergebnisse der Untersuchungen

3.1 Voruntersuchungen der AWBR

Von der AWBR wird der in diesem Projekt ausgewählte Tracer DMS bereits seit 2007 regelmäßig in den Rohwasserfassungen der Seewasserwerke an den Seen im Alpenraum bestimmt. Der Zeitpunkt der einmal im Jahr stattfindenden Probenahme liegt Ende Februar bis Anfang März. In dieser Zeit ist von einer vollständigen Durchmischung des Bodensees auszugehen. Die ermittelten Konzentrationen sind daher als repräsentativ für den See an der jeweiligen Stelle anzusehen.

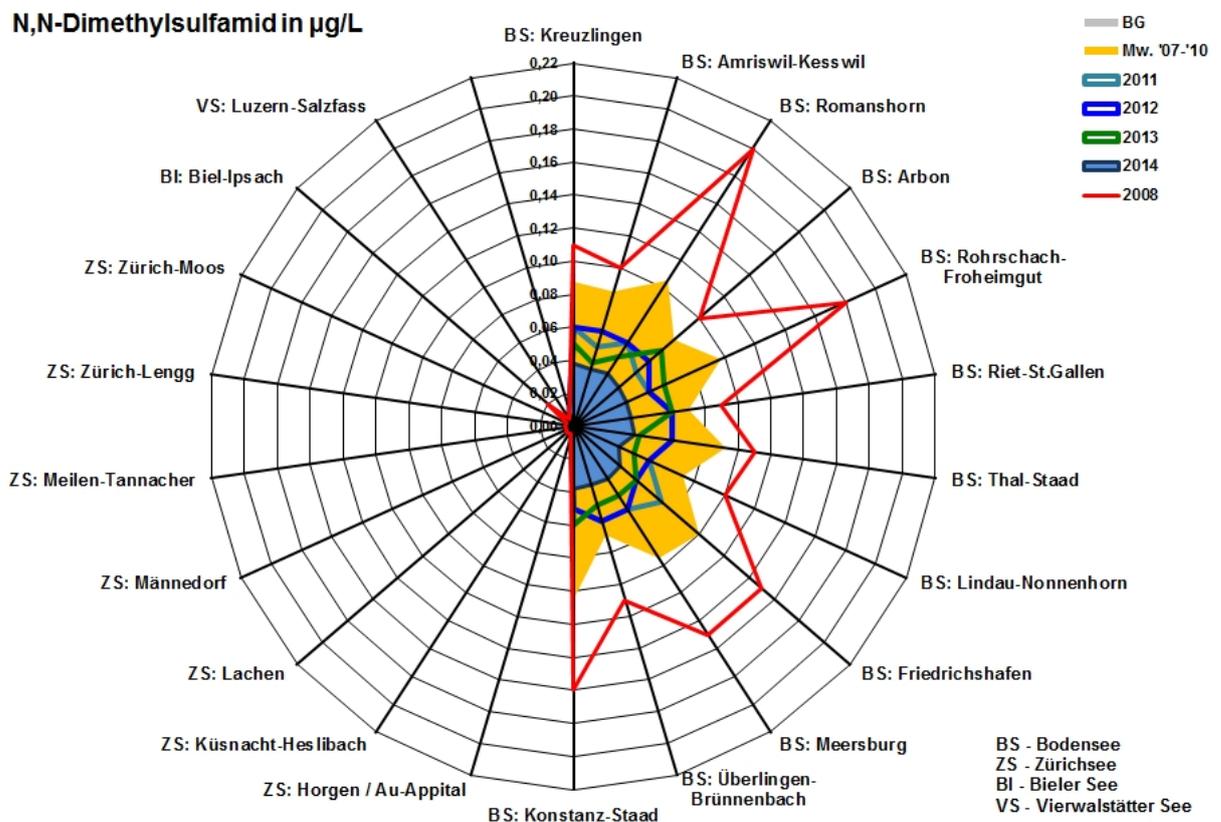


Bild 01: Untersuchungen der AWBR in den Jahren 2007 bis 2014

In Bild 01 sind die Ergebnisse der AWBR-Messungen in allen von der AWBR untersuchten Gewässer dargestellt. Es zeigt sich, dass die Belastung mit DMS typisch für den Bodensee ist und er sich hier von den anderen Seen in den Alpen grundsätzlich unterscheidet.

Eingezeichnet in die Netzgrafik sind der Mittelwert über die höher belasteten Untersuchungsjahre 2007-2010, die Einzelwerte der Jahre 2011-2014 (Laufzeit des KLIMBO-Projektes) sowie das Jahr 2008, in dem die höchsten Konzentrationen im Bodensee festgestellt wurden.

Aus den Untersuchungsergebnissen ist der kontinuierliche Rückgang der DMS-Konzentration im Bodensee bereits vor Projektbeginn deutlich zu erkennen. In den Jahren 2011-2013 scheint der Zustand zu stagnieren, um 2014 auf den derzeitigen nochmals deutlich reduzierten Zustand zu fallen. Aktuell liegen im gesamten Bodensee die DMS-Konzentrationen im Bereich von 0,03 µg/L bis 0,04 µg/L.

3.2 Zuflüsse und Ausfluss des Bodensee

Über den gesamten Projektzeitraum hinweg wurden alle größeren Bodenseezuflüsse regelmäßig auf N,N-Dimethylsulfamid hin untersucht. Hinzugenommen wurden am nördlichen Ufer die beiden kleinen Gewässer Brunnisach und Lipbach in der Nähe von Fischbach, da diese im Haupteintragsgebiet für DMS nördlich des Bodensees liegen (Bild 02).



Bild 02: Messstellen des Teilprojektes rund um den Bodensee

Dargestellt werden für Bodenseezuflüsse mit höheren Belastungen die gemessenen Konzentrationen und für die Zuflüsse Argen, Schussen und Rotach zusätzlich die Transporte. Vorab ist darauf hinzuweisen, dass die scheinbaren Unregelmäßigkeiten im Juli 2013 auf die Auswirkungen einer langanhaltenden Niederschlagsphase mit folgendem Hochwasser zurückzuführen sind.

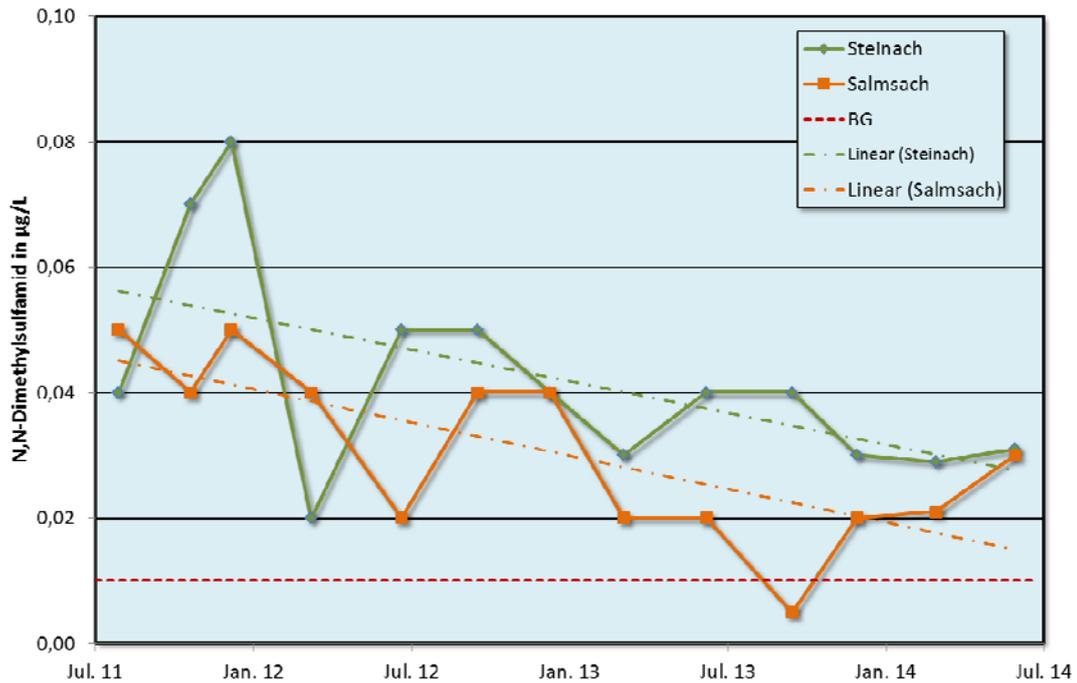


Bild 03: Konzentrationen in Steinach und Salmsach (2011-2014)

Die in den beiden am Schweizer Ufer in den See mündenden Zuflüsse Steinach und Salmsach ermittelten Konzentrationen sind in Bild 03 dargestellt. Für beide Gewässer ist ein stetiger Rückgang der Werte zu beobachten. Insbesondere in der von Abwasser stark beeinflussten Steinach nimmt dabei auch die Schwankungsbreite der Konzentrationen sichtlich ab. Im Herbst 2013 wurde in der Salmsach erstmals die Bestimmungsgrenze von DMS (0,01 µg/L) unterschritten. Zum Ende des Projektes lagen die Belastungen bei etwa 0,03 µg/L

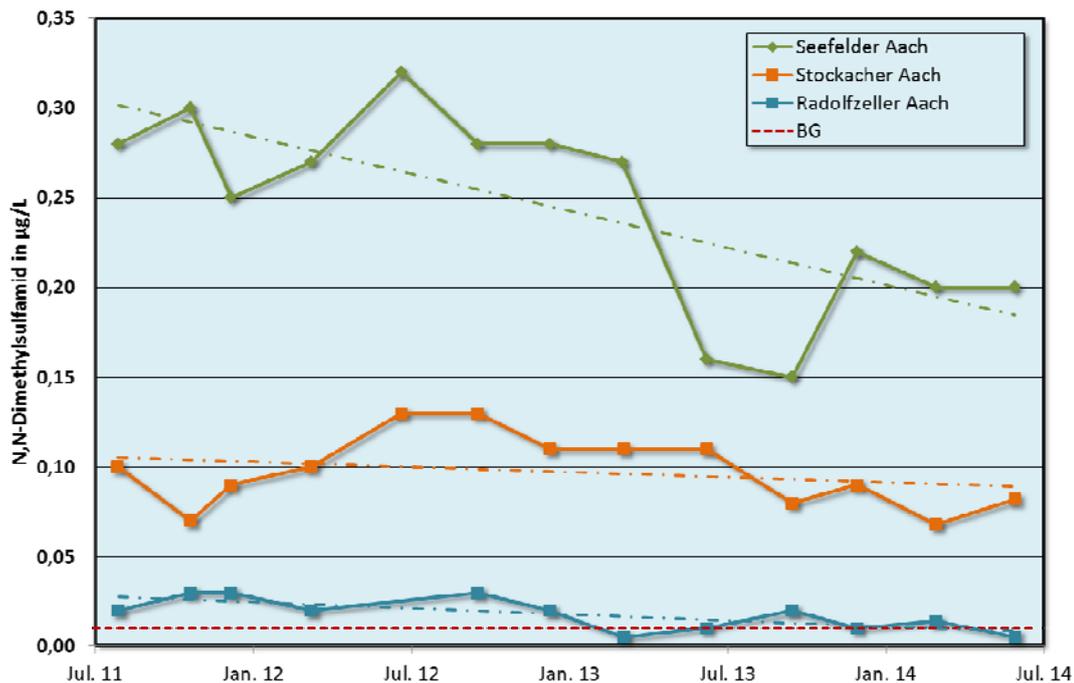


Bild 04: Konzentrationen in Seefelder Ach, Stockacher Ach und Radolfzeller Ach (2011-2014)

Ein sehr unterschiedliches Bild ergibt sich für die im westlichen Bereich mündenden Gewässer (Bild 04). Die niedrigsten Konzentrationen weist die in den Zellersee mündende Radolfzeller Ach auf. Hier ist nur ein geringfügiger Rückgang der Konzentrationen festzustellen. Die in den Überlingersee einmündende Stockacher Ach zeigt ebenfalls nur einen geringen Rückgang der Belastungen insbesondere gegen Ende des Untersuchungszeitraumes. Die Konzentrationen liegen dabei mit ca. 0,1 µg/L höher als in der Radolfzeller Ach.

Einen anderen Verlauf zeigt hingegen die Seefelder Ach, deren Belastungen deutlich höher liegen. Bei anfänglichen Konzentrationen von etwa 0,3 µg/L ist hier im Verlauf des Projektes ein Rückgang um ca. ein Drittel festzustellen.

Bei der Bewertung der Konzentrationsniveaus sind die sehr unterschiedlichen Wasserführungen zu beachten. Während die mittlere Wasserführung der Radolfzellerer Ach bei 9,9 m³/s (Mittelwert der Wasserführung an den Beprobungstagen) errechnet wurde, liegt diese bei Seefelder Ach mit 3,8 m³/s und Stockacher Ach mit 1,1 m³/s deutlich niedriger. Die mittleren Transporte während des Untersuchungszeitraumes können mit 0,86 g/s für die Seefelder Ach sowie 0,17 g/s für die Radolfzeller Ach und 0,11 g/s für die Stockacher Ach abgeschätzt werden.

Nachfolgend werden die Entwicklungen der Belastung mit DMS für die Gewässer aus dem am nördlichen Ufer gelegenen Haupteintragsgebiet wiedergegeben. Hierbei sind neben den Konzentrationen auch die Transporte an DMS für Argen, Schussen und Rotach dargestellt. Hinzu kommen die beiden kleinen Bäche Brunnisach und Lipbach in der Nähe von Fischbach, für keine Wasserführungsdaten und damit Transporte vorhanden sind.

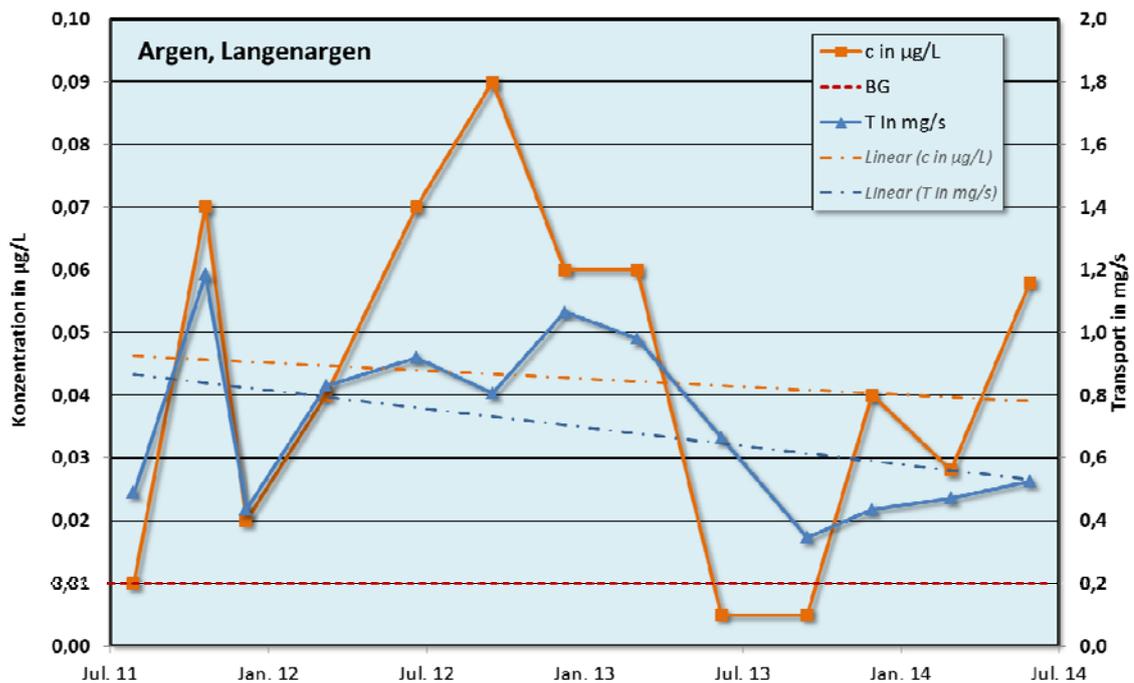


Bild 05: Konzentrationen und Transporte in der Argen (2011-2014)

Die Messwerte in der Argen (Bild 05) unterliegen sehr starken Schwankungen. Deutlich zu erkennen ist der Einfluss der Niederschlags- und Hochwassersituation im Sommer 2013 mit einem deutlichen Abfalls der ermittelten Konzentrationen. Dies wird insbesondere an den daraus errechneten Transporten sichtbar. Schwanken diese anfänglich stark um einen Wert von ca. 0,8 mg/s, so fallen sie mit der genannten Situation rasch ab und bewegen sich danach – bei einer gering wieder ansteigenden Tendenz – auf einem deutlich niedrigeren Niveau.

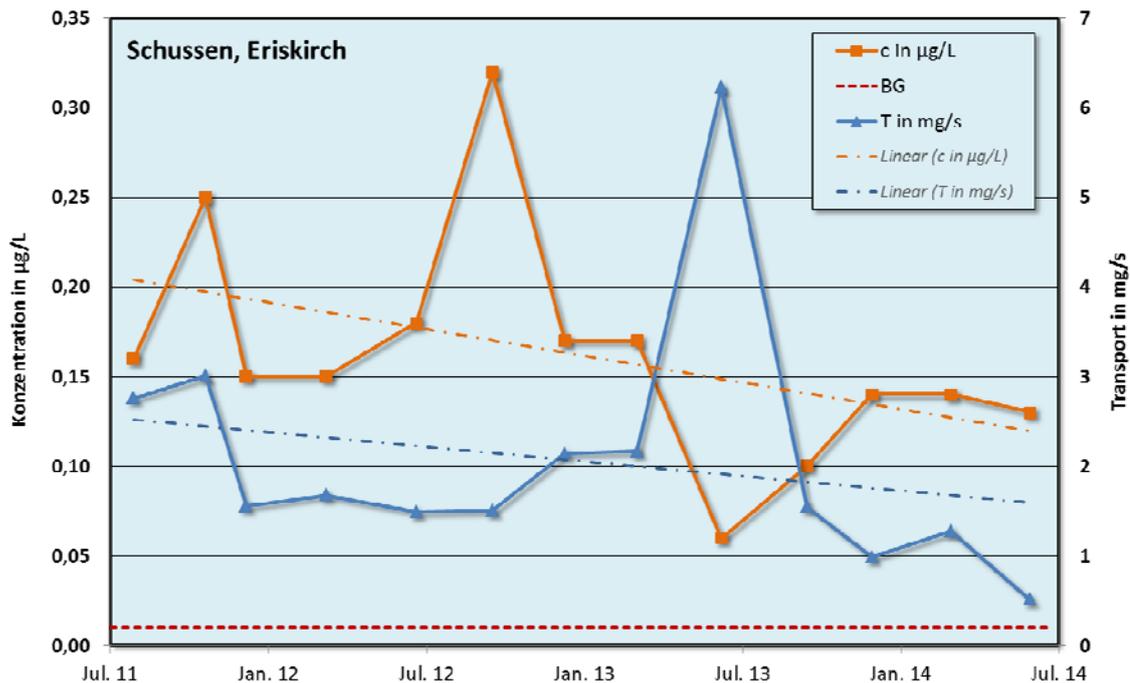


Bild 06: Konzentrationen und Transporte in der Schussen (2011-2014)

die Messwerte in der Schussen (Bild 06) liegen deutlich höher. Aus Untersuchungen der AWBR ist bekannt, dass 2007 die DMS-Konzentrationen noch nahe 1 µg/L lagen und binnen zwei Jahren bereits auf ca. 0,35 µg/L (20.05.2008) gefallen sind. Zu Beginn dieses Vorhabens werden Konzentrationen von 0,15 µg/L und darüber nachgewiesen. Erst mit dem Hochwasserereignis – bei dem ein Konzentrationsrückgang mit anschließendem Wiederanstieg zu beobachten ist – unterschreiten die Konzentrationen diesen Wert. Die Betrachtung der daraus berechneten Transporte zeigt für die Hochwassersituation einen deutlichen erhöhten Eintrag an DMS, in dessen Folge in der Schussen die Transporte bis zum Ende des Beobachtungszeitraumes niedriger liegen und eine fallende Tendenz aufweisen.

Für die Rotach (Bild 07) ist ein kontinuierlicher Rückgang der Konzentrationen zu beobachten. Auch hier ist das Hochwasserereignis an den verminderten Konzentrationen gut zu erkennen. Im Nachgang zu diesem Ereignis liegen auch die Transporte unter den vorher festgestellten Werten und weisen ebenfalls eine fallende Tendenz auf.

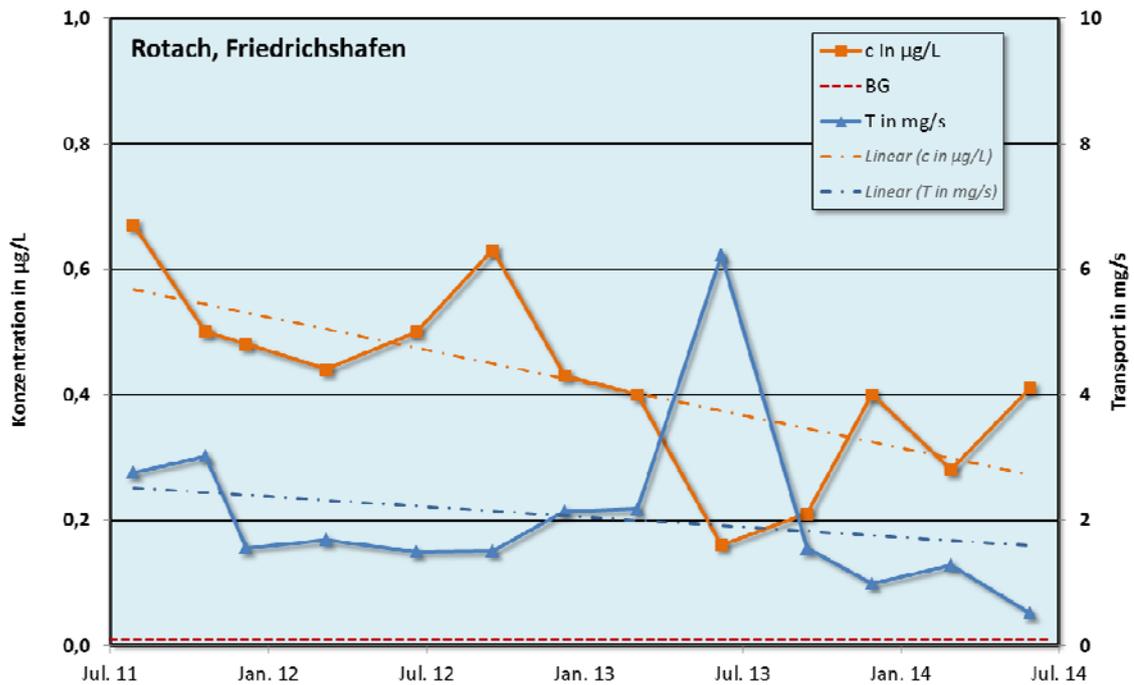


Bild 07: Konzentrationen und Transporte in der Rotach (2011-2014)

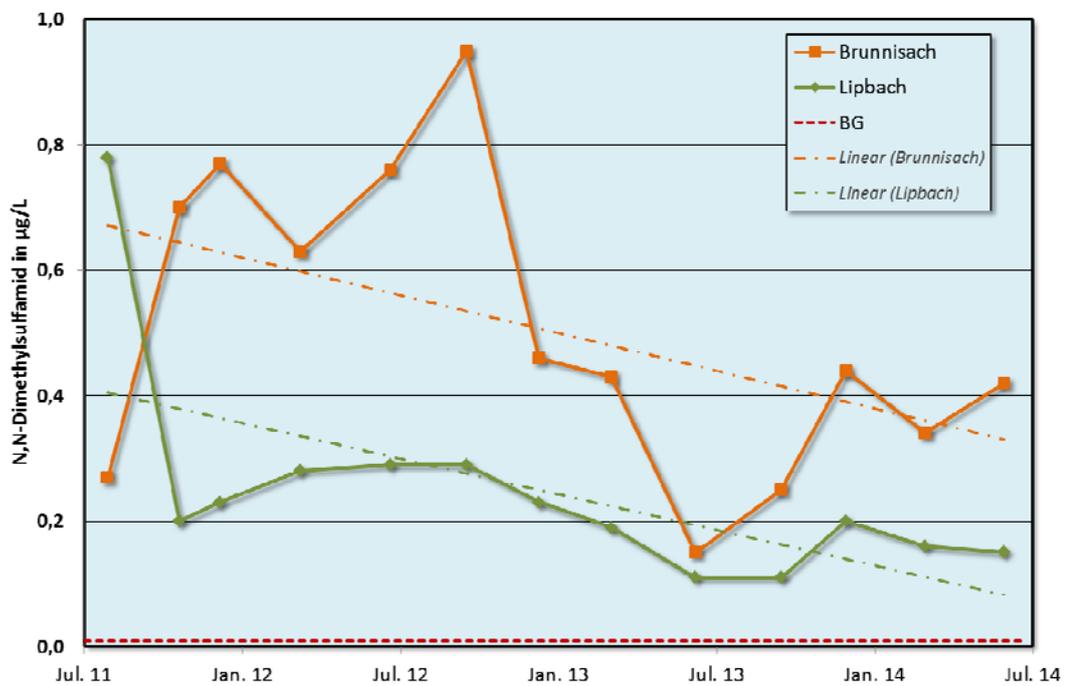


Bild 08: Konzentrationen in Brunnisach und Lipbach (2011-2014)

Die beiden kleinen Bäche Brunnisach und Lipbach in der Nähe von Fischbach (Bild 08) leisten vermutlich keinen nennswerten Beitrag zur Gesamtbelastung des Bodensees. Allerdings entwässern sie ebenfalls aus dem Haupteintragsgebiet. Beide Bäche weisen

ebenfalls eine stetig fallende Tendenz bezüglich der Konzentrationen auf. Der Einfluß des hochwasserereignisses ist in der Brunnisach deutlicher ausgeprägt als in dem Lipbach.

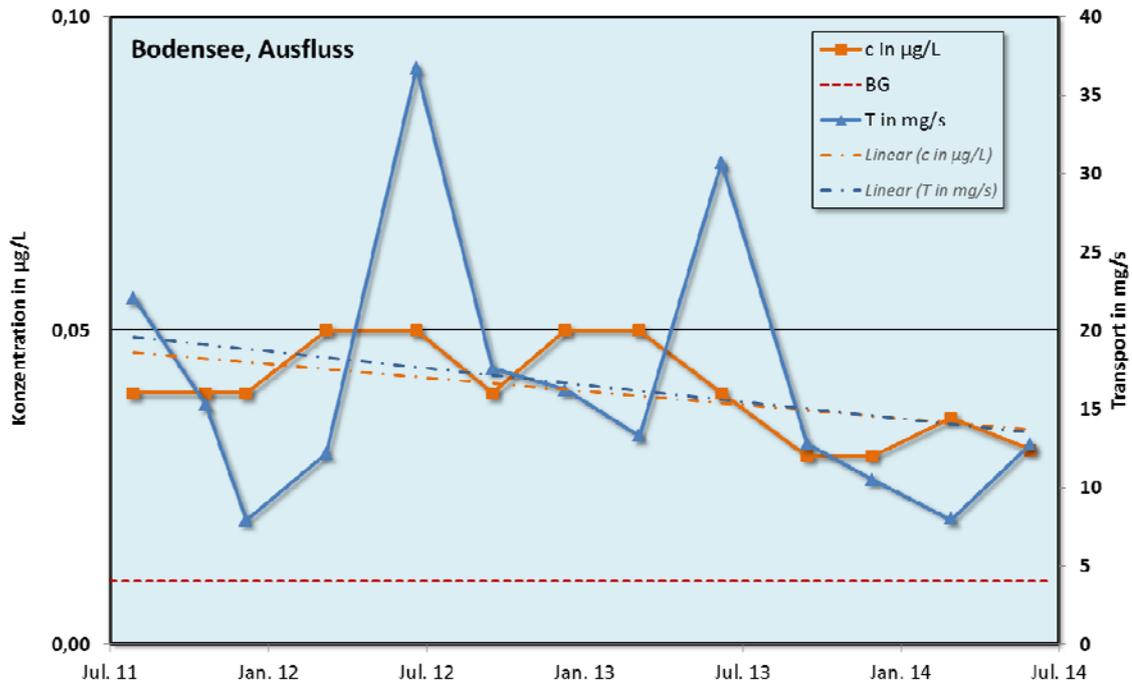


Bild 09: Konzentrationen im Ausfluss aus dem Bodensee (2011-2014)

Abschließend sind in Bild 09 die Konzentrationen und Transporte von DMS für den Ausfluss aus dem Bodensee bei Konstanz dargestellt. Hier zeigen sich – insbesondere für die Transporte – deutlichere Unregelmäßigkeiten im Verlauf. Tendenziell ist an beiden Größen ein stetiger Rückgang zu beobachten. Dieser geht mit den Beobachtungen in den Zuflüssen einher.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass es in alle Bodenseezuflüssen während des Projektzeitraumes zu einem Rückgang der Konzentrationen gekommen ist. Somit ist ebenso der Eintrag an DMS in den Bodensee in den letzten Jahren deutlich verringert worden.

3.3 Tiefenprofile in Bodensee und Überlinger See

An zwei Stellen im Bodensee – der Seemitte des Obersees zwischen Fischbach und Uttwill (7 Tiefenstufen) sowie des Überlingersees (5 Tiefenstufen) - konnten regelmäßig Tiefenprofile entnommen werden. Die Probenahme erfolgte dabei bis knapp über Seegrund, wobei bei den ersten Probenahmen noch nicht alle Tiefen entnommen werden konnten. In den nachfolgenden Darstellungen (Bild 10) sind die Ergebnisse der ersten drei Untersuchungen mit vollständigem Tiefenprofil denen der letzten drei Untersuchungen gegenübergestellt.

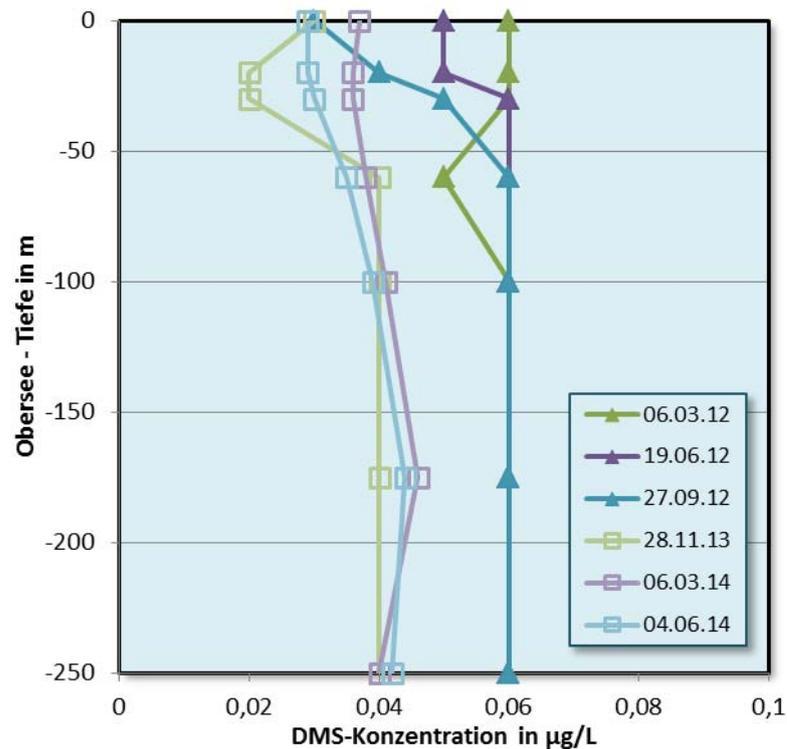


Bild 10: Tiefenprofile im Obersee in der Seemitte zwischen Fischbach und Uttwil
Gegenüberstellung der ersten und der letzten drei Tiefenprofile

2012 lagen die DMS-Konzentrationen fast durchweg bei 0,06 µg/L und weichen nur im obeflächennahen Bereich von den restlichen Werten ab. Gut erkennbar ist im September 2012 die Ausbildung des Tiefenprofils mit deutlich geringeren Konzentrationen in den oberen Schichten. Zum Projektende lagen die DMS-Werte dann mit ca. 0,04 µg/L rund ein Drittel niedriger.

Ebenso zeigt sich im Überlingersee eine Veränderung der DMS-Konzentrationen zu niedrigeren Werten. Für März 2012 ist gut die vollständige Durchmischung (durchweg gleiche Konzentrationen) zu erkennen. Dies gilt ähnlich für die Probe vom März 2014. Die anderen Proben zeigen die Ausbildung eines Konzentrationsprofils. Auch an dieser Stelle liegen zu Projektende 2013/2014 die DMS-Konzentrationen im Bereich von 0,04 µg/L

Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, dass es über den Projektzeitraum in beiden Seeteilen zu einer Reduzierung der Belastung an DMS um rund ein Drittel der Ausgangswerte gekommen ist.

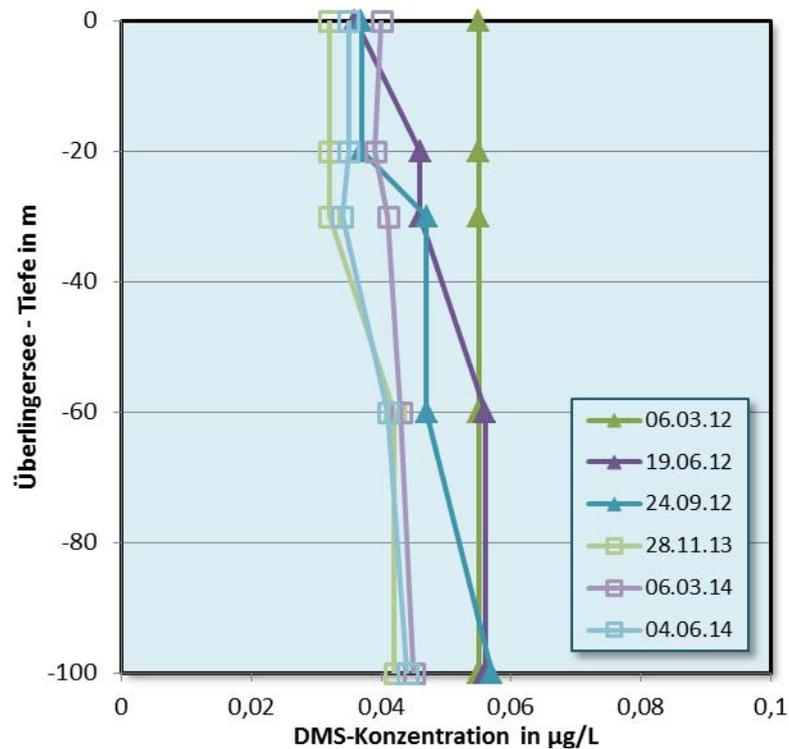


Bild 11: Tiefenprofile im Überlingersee in der Seemitte - Gegenüberstellung der ersten vollständigen und der letzten drei Tiefenprofile

3.4 Sonderprogramm Flachwasserzone

In Absprache der Projektbeteiligten wurde entschieden, im März 2012 während der Niedrigwasserperiode die Flachwasserzone der Schussen und der Rotach in der Friedrichshafener Bucht (Bild 12) über mehrere Wochen hinweg intensiv zu untersuchen. Dabei wurde in der ersten Woche täglich, danach in größeren Abständen beprobt. Unmittelbar vor der Intensivbeprobung fand die jährliche Seeuntersuchung der AWBR sowie die Routinebeprobung im Rahmen dieses Projektes statt. Damit war die Ausgangssituation für den gesamten Bodensee ausreichend dokumentiert.

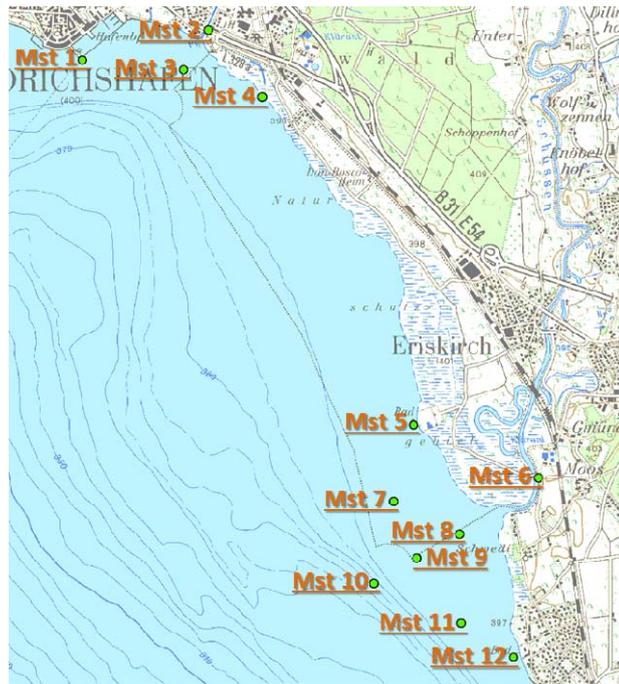


Bild 12: Messstellen in der Flachwasserzone vor Schussen und Rotach

Um die Messwerte im Bereich der Schussen übersichtlicher darzustellen (Bild 13), wurden in der Grafik die Messwerte der verschiedenen Messpunkte im direkten Zustrombereich vor der Schussen sowie östlich und westlich davon als rechnerische Mittelwerte dargestellt. In die von kup durchgeführten Modellrechnung flossen die Originalwerte ein.

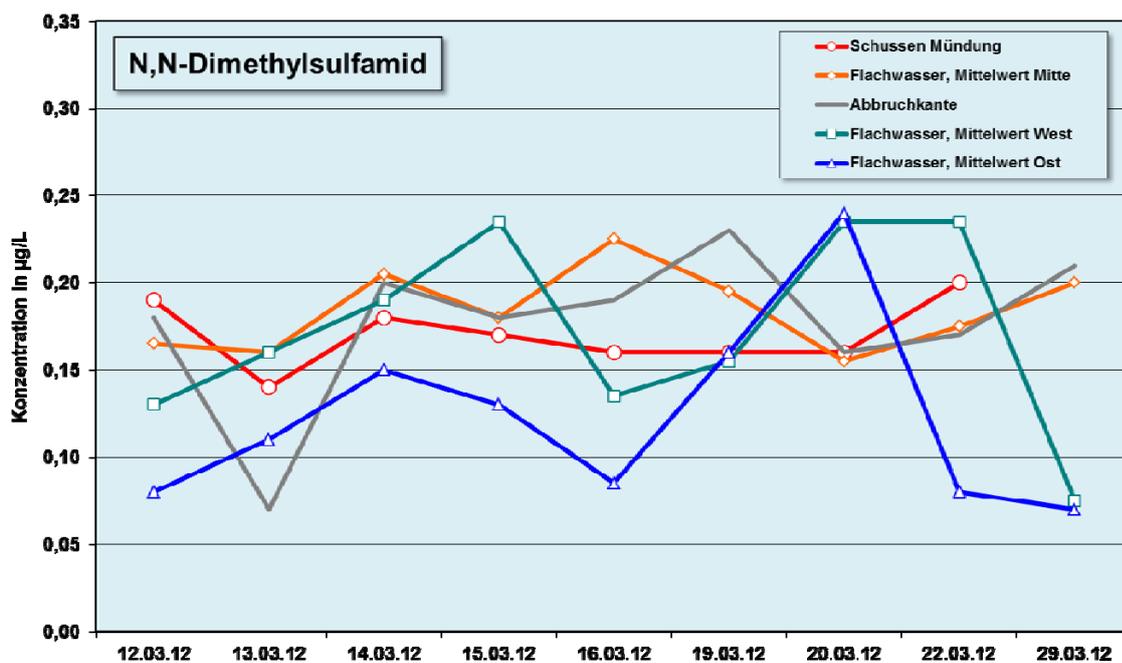


Bild 13: Konzentrationen im Zustrombereich der Schussen (März 2012)

Wie aus Bild 12 ersichtlich ist, lagen die Konzentrationen in der Schussen-Mündung im Bereich von 0,14 µg/L bis 0,20 µg/L. Die Befunde in der unmittelbar vorgelagerten Flachwasserzone bis hin zur Abbruchkante lagen in etwa der gleichen Größe. Die Mittelwerte der westlich gelegenen Messpunkte sind anfänglich ähnlich, zeigen dann jedoch am 20. und 22. März 2012 deutlich höhere Befunde um mit der letzten Probe am 29.03.2012 deutlich abzufallen. Die Mittelwerte der östlich entnommenen Proben lagen signifikant tiefer als die anderen Befunde. Lediglich die Probe vom 20.03.2012 zeigt einen deutlichen Anstieg der DMS-Werte. Einzig aus den Untersuchungsbefunden heraus können diese Schwankungen nicht erklärt werden. Dies ist erst mit der Modellierung und damit der Hinzunahme meteorologischer und weiterer Gewässerdaten möglich (s. Teilprojekt 4, Modellrechnungen). Für den Anstieg der Konzentrationen am 20.03.2012 über die Konzentration im Zufluss hinaus ist keine Ursache bekannt ist. Die Befunde sind jedoch labortechnisch abgesichert und gehen mit Befunden anderer Stoffe zu diesem Zeitpunkt einher (AWBR-Untersuchungen).

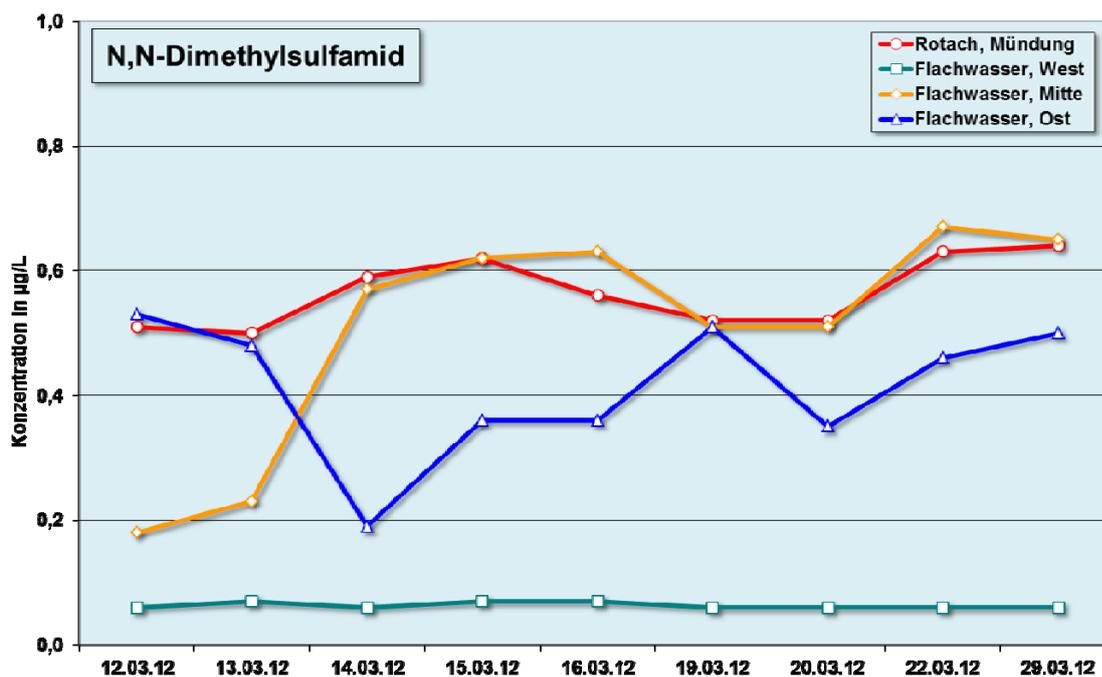


Bild 14: Konzentrationen im Zustrombereich der Rotach (März 2012)

Wie in Bild 14 gut zu erkennen ist, liegen die Konzentrationen in der Rotach im Bereich von 0,5 µg/L bis 0,65 µg/L und verändern sich nur verhältnismäßig wenig. Die Flachwasserzone in westlicher Richtung nahe beim Hafenturm von Friedrichshafen weist deutlich geringere Konzentrationen im Bereich von 0,06 µg/L bis 0,07 µg/L auf und scheint damit von dem seitens der Rotach zugeführten Wasser kaum beeinflusst zu sein. Interessant erscheinen die Veränderungen zu Beginn der Untersuchungen. Liegen an den ersten bei-

den Tagen die Konzentrationen in östlicher Richtung nahezu gleichauf mit denen des Zuflusses, so gilt dies ab dem dritten Untersuchungstag für den geradlinig vor der Mündung liegenden mittigen Flachwasserbereich. Genau eine Woche nach Beginn der Beprobung liegen beide benannten Gebiete kurzzeitig im gleichen Konzentrationsbereich wie die Rotach. Alleine aus den DMS-Konzentrationen kann vermutet werden, dass die Rotach an den ersten beiden Tagen in östlicher Richtung abdriftet. Ob hierfür z. B. Windströmungen in östlicher Richtung als Ursache in Frage kommen, ist über die Modellierung unter Einbezug der meteorologischen Daten zu klären. Für die Probe vom 19.03.2012 kämen hingegen Winde aus südlicher Richtung in Frage, die das von der Rotach zugeführte Wasser in der Bucht stauen und verteilen.

3.5 Hochwasserereignis

Während des Projektzeitraumes konnte am 11. Juni 2013 mit den Routineproben ein Hochwasserereignis und dessen Auswirkungen auf die Zuflüsse beobachtet werden.

In den Monaten Mai und Juni 2013 fielen auch in der Bodenseeregion langanhaltende und ausgiebige Niederschläge, die zu einer Sättigung der Böden führten. Die Regenereignisse in den Tagen unmittelbar vor der Probenahme im Juni 2013 wurden daher direkt in die Gewässer und damit in den Bodensee abgeleitet. Zum Zeitpunkt der Probenahme war in den Gewässern der Hochwasserscheitel erreicht.

Aus den bekannten Abflussdaten dieses Zeitraums lässt sich ableiten, dass in den Monaten Mai und Juni 2013 über die Zuflüsse ca. 0,9 Mrd. m³ zusätzlich dem Bodensee zugeführt wurden. Dies entspricht in etwa 8 % der normalerweise den Bodensee durchfließenden Jahreswassermenge. Es war daher davon auszugehen, dass dies zu einem zusätzlichen Austrag von DMS aus dem Bodensee führen wird.

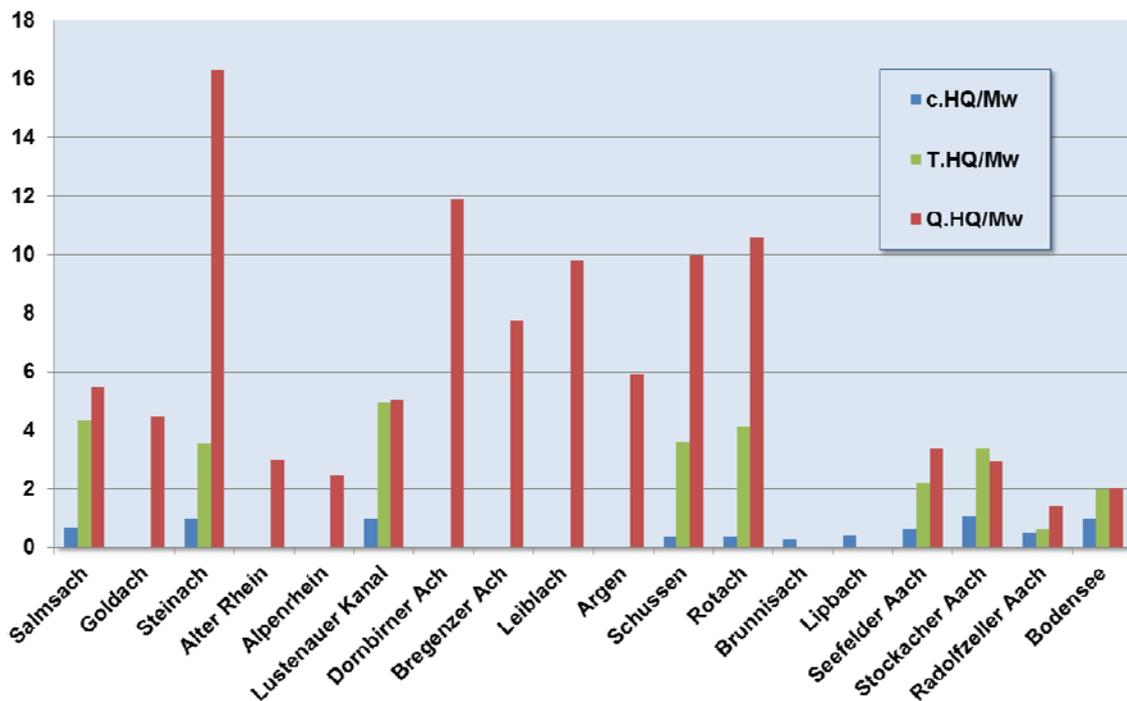


Bild 15: *Verhältnisse von Konzentration, Transport und Wasserführung am 11.06.2013 im Verhältnis zum Mittelwert der während des Projektes entnommenen Proben*

Die Verhältnisse von Hochwasserwert (11.06.2013) zum Mittelwert über die im Projekt untersuchten Proben in Bild 15 können nicht für alle Gewässer und Größen ausgewertet werden. Für die Gewässer Brunnisach und Lipbach sind keine Abflußdaten vorhanden. Für Alpenrhein, alten Rhein und Bregenzer Ach liegen die Mittelwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze. In Goldach, Dornbirner Ach, Leiblach und Argen wird während des Hochwassers die Bestimmungsgrenze unterschritten; die Ausgangskonzentrationen lagen dabei meist bereits knapp oberhalb der Bestimmungsgrenze.

Die dimensionslosen Verhältnisse für die Wasserführung (Q.HQ/Mw) veranschaulichen gut das Ausmaß dieser Hochwassersituation. Die normalen Wasserführungen wurden um ein Mehrfaches überschritten. Die damit einhergehende Verdünnung (siehe Konzentrationsverhältnis c.HQ/Mw) fällt jedoch geringer aus, als dies erwartet werden konnte. Beispielsweise fällt die Konzentration der Schussen auf ca. ein Drittel des Mittelwertes, obwohl eine zehnfache Verdünnung rechnerisch erwartet werden konnte. Eine Aussage ist allerdings anhand ermittelten Transportwerte (T.HQ/Mw) möglich. Dort wo eine Bestimmung möglich war, wurden durchweg erheblich größere Mengen an DMS transportiert als bei normaler Wasserführung. Somit wurden dem Bodensee zusätzlich Mengen an DMS zugeführt. Der DMS-Austrag am Ausfluss bei Konstanz lag zum gleichen Zeitpunkt bei ca.

dem dreifachen der zugeführten Menge, so dass in der Gesamtbilanz von einer Reduzierung der Gesamtmenge auszugehen ist.

Die Auswirkungen des Hochwassers auf die Zuflüsse des Bodensees werden beispielhaft an den Ganglinien der Schussen veranschaulicht (Bild 16). Die Ergebnisse zeigen, dass die DMS-Transporte mit der Wasserführung einhergehen.

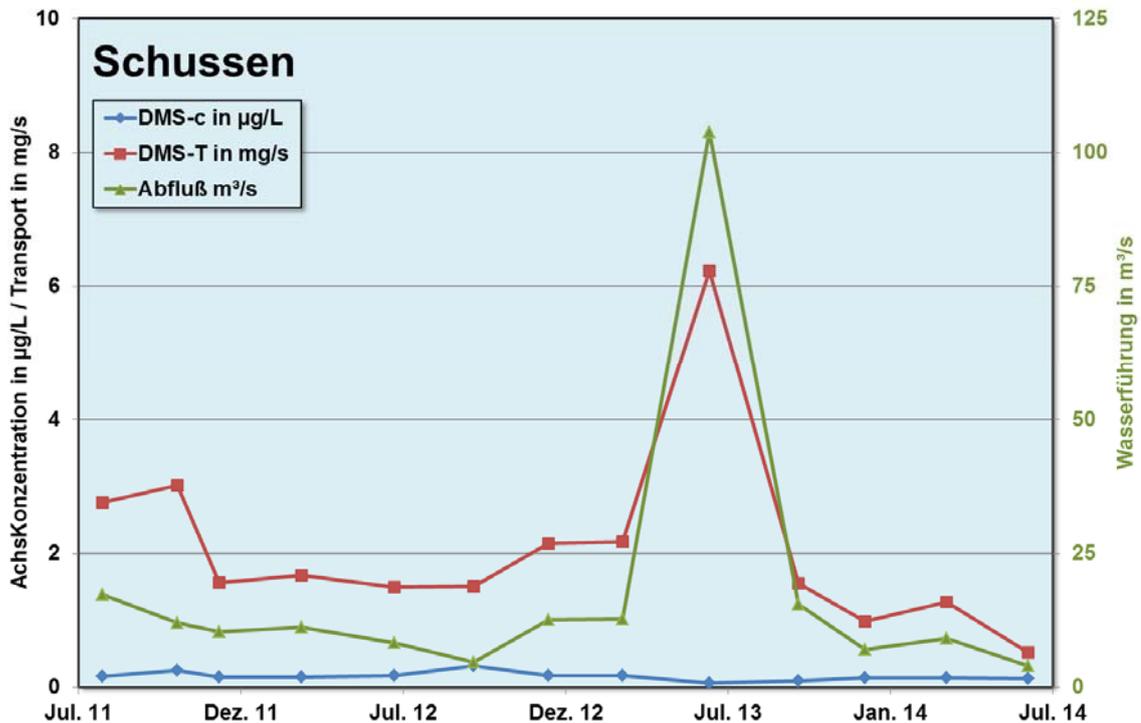


Bild 16: Ganglinien für Konzentration, Transport und Wasserführung der Schussen

Aus den Beobachtungen an den anderen Zuflüssen lassen sich ähnliche Aussagen ableiten. Ebenso interessant sind die Ergebnisse der Tiefenprofile in Obersee und Überlingersee, die in Bild 17 im Kontext der Langzeituntersuchung dargestellt sind.

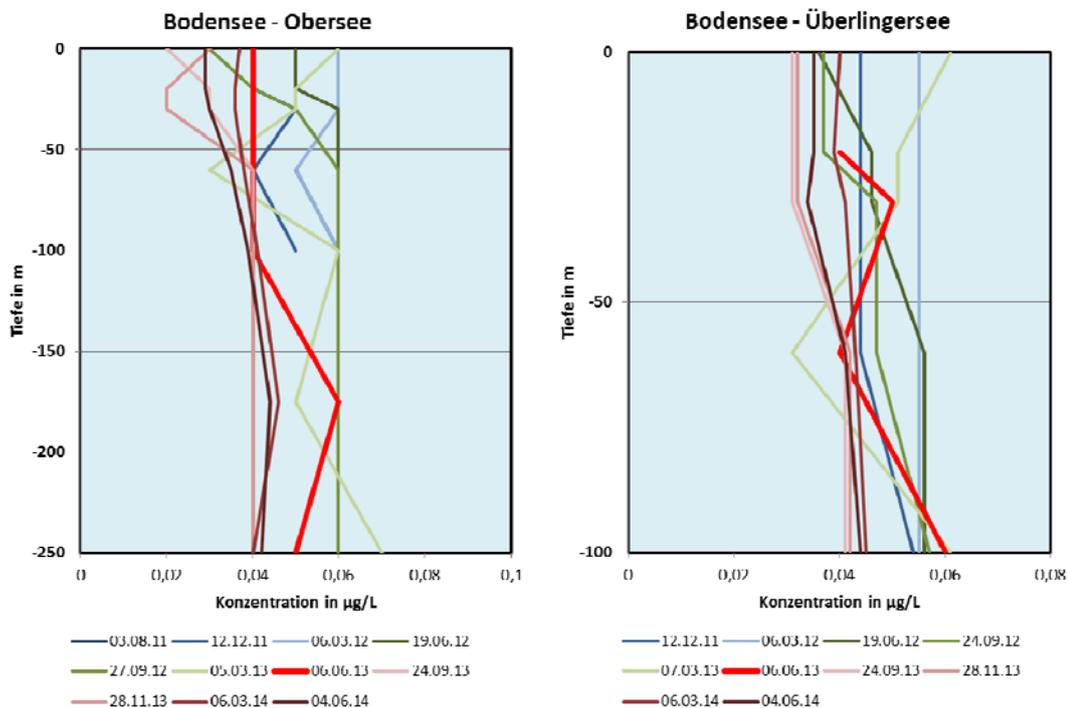


Bild 17: *Ergebnisse der Tiefenprofiluntersuchungen vom 06.06.2013 im Kontext der Langzeitbeobachtung für Obersee und Überlingersee (Zur besseren Unterscheidung der Tiefenprofile sind die Tiefenprofile für den Überlingersee in Stufen von 0,001 µg/L erhöht/erniedrigt dargestellt. Die analytische Auflösung liegt bei 0,01 µg/L)*

Hervorgehoben sind die Ergebnisse der Proben während der regenreichen Phase mit daraus resultierendem Hochwasser (rote Linie). Alle später entnommenen Proben weisen deutlich geringere Konzentrationen auf und stützen somit die Annahme des zusätzlichen Stoffaustrages während der Periode erhöhter Seedurchströmung. Dies wird insbesondere bei den größeren Tiefenstufen deutlich. Eine weitergehende Interpretation der Ergebnisse – z. B. in Hinblick auf den Einfluss möglicherweise in der Tiefe eingeschichteter Zuflüsse – wäre nur mit entsprechender Modellierung möglich.

3.6 Vergleich mit Modellrechnungen

Die Modellrechnungen mit den in diesem Teilprojekt ermittelten Daten im Bodensee und seinen Zuflüssen sowie bei der Sonderuntersuchung in der Flachwasserzone wurden im Rahmen der Teilprojekte der Ingenieurgesellschaft Kobus und Partner (kup) durchgeführt. Die Ergebnisse sind dort nachzulesen.

3.7 Bilanzierung über den Projektzeitraum

Wesentlicher Aspekt dieses Teilprojektes war neben der praktischen Tätigkeit der Probenahme und Untersuchung die Bilanzierung des Austrags an N,N-Dimethylsulfamid (DMS) während des Projektzeitraumes sowie die Dokumentation der Veränderungen im Bodensee.

Tabelle 01: Vergleich der Konzentrationen und Transporte an DMS zu Beginn der Beobachtung (AWBR-Daten) und zum Projektende in ausgewählten Zuflüssen

	Schussen		Rotach		Brunnisach		Lipbach		Seefelder Ach	
	c [µg/L]	T [mg/s]	c [µg/L]	T [mg/s]	c [µg/L]	T [mg/s]	c [µg/L]	T [mg/s]	c [µg/L]	T [mg/s]
2007/08	0,80	8,96	1,90	4,04	2,35	-	0,90	-	0,76	2,56
2013/14	0,13	1,08	0,33	0,47	0,36	-	0,16	-	0,19	0,63
Restgehalt	16 %	12 %	17 %	12 %	15 %	-	17 %	-	25 %	24 %

Für einige ausgewählte Zuflüsse am nördlichen Bodenseeufer sind in Tabelle 01 die Veränderungen in der DMS-Belastung aufgeführt. Als Ausgangspunkt wurden dabei Daten der AWBR verwendet, da diese Untersuchungen den Ursprungszustand beim Bekanntwerden der Thematik wiedergeben und in etwa zum Zeitpunkt des Verbotes in Deutschland erhoben wurden. Als Endpunkt sind die Ergebnisse aus dem letzten Projektjahr aufgeführt. Sowohl Konzentrationen als auch die Transporte (soweit ermittelbar) liegen mittlerweile deutlich unter 20% der Ausgangswerte. Einzig für die Seefelder Ach liegen diese – bei geringerer Anfangsbelastung – bei ca. 25 %.

Die Bilanzierung mittels der Ergebnisse aus den Tiefenprofilen erfolgte unter der vereinfachenden Annahme, dass der Mittelwert dieser Konzentrationen repräsentativ für den gesamten See ist. Eine Bilanzierung zu. B. nach Teilwasserkörpern erscheint aufgrund der wenigen Untersuchungsstellen nicht sinnvoll.

Festgestellt werden konnte eine Ausgangsbelastung von im Mittel 0,054 µg/L, die bis zum Projektende auf 0,35 µg/L abgesunken ist. Bei der Annahme des Seeinhaltes mit ca. 50 Mrd. m³ ergibt sich somit eine Reduzierung der im See vorhandenen Menge von anfänglich 2,74 t DMS auf 1,75 t DMS zum Projektende. Dies entspricht einem Rückgang um ca. 36 %. Aus allen Ergebnissen des KLIMBO-Projektes alleine lässt sich für den beobachteten Zeitraum eine Verringerung der DMS-Menge im Bodensee mit jährlich ca. 250 kg abschätzen, wobei hier mit einer stetigen Abnahme aufgrund der geringeren Belastung zu rechnen ist.

4 Zusammenfassung

Im Rahmen des Teilprojektes 5 „Messkampagnen zur Analyse langfristiger Wasseraustauschprozesse“ des Vorhabens „Klimawandel am Bodensee (KLIMBO)“ sollte das Austragsverhalten eines Tracers aus dem Bodensee mittels Untersuchungen im Gewässer ermittelt werden. Der als Tracer ausgewählte Stoff N,N-Dimethylsulfamid (DMS), ein Abbauprodukt des PSM-Wirkstoffes Tolyfluanid, erfüllte die dafür gewählten Voraussetzungen. Nach dem Verbot dieses Wirkstoffes war nicht mit neuen Einträgen aus der Anwendung in der Landwirtschaft zu rechnen. Des Weiteren gilt dieser Stoff weder als mikrobiell abbaubar noch weist er sorpitve Eigenschaften auf.

Der Umfang der Untersuchungen erstreckte sich auf die Erfassung der Entwicklung in allen für die Fragestellung wichtigen Zuflüssen des Bodensees einschließlich des Ausflusses bei Konstanz. Über Tiefenprofile wurde die Verteilung im See erfasst. Mit einer Intensivbeprobung während Niedrigwasser konnte das Verteilungsverhalten von DMS in der Flachwasserzone der Zuflüsse Schussen und Rotach erfasst werden. Im Rahmen der Routinebeprobung gelang die Erfassung einer Hochwassersituation und deren Auswirkungen auf das Gesamtsystem.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass in allen erfassten Probenahmestellen ein kontinuierlicher Rückgang an DMS erfolgte. Insbesondere das Hochwasserereignis im Sommer 2013 hat hierbei zu einer deutlichen Entlastung des Gesamtsystems geführt. Aus der Bilanzierung der vorliegenden Untersuchungsergebnisse ergibt sich ein Austrag von ca. 1 t an DMS aus dem Bodensee. Dessen Restbelastung lag nach Abschluss der Untersuchungen bei ca. 1,75 t an DMS. Insgesamt ist zukünftig mit einem weiteren Rückgang der DMS-Menge zu rechnen, wobei sich die zeitbezogene Austragsrate sich jedoch verringern wird.

5 Kurzbericht

Der hier wiedergegebene Kurzbericht fasst die wesentlichen Ergebnisse dieses Teilprojektes zusammen. Der Text erscheint – integriert in die Modellrechnungen – im Rahmen der „blauen Reihe“ des Instituts für Seenforschung der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.

Einfluss der Austausch- und Durchmischungsprozesse auf die Wasserbeschaffenheit

Die Austausch- und Durchmischungsprozesse im See weisen in Folge von klimatischen Veränderungen einen großen Einfluss auf die Wasserbeschaffenheit auf. Sie beeinflussen somit Wasserqualität und ökologische Prozesse im See. Im Folgenden wird über Ergebnisse von Messungen und Simulationen berichtet.

Für die Überprüfung der Modellierung ist die Erfassung der Prozesse im Bodensee mittels mehrjähriger Untersuchungsreihen von Wasserproben unerlässlich. Insbesondere die Entwicklung der Konzentrationen von geeigneten Parametern war über einen längeren Zeitraum und in seiner Tiefenverteilung im Bodensee zu verfolgen.

6.1 Untersuchungsprogramm zu Spurenstoffen im Bodensee und seinen Zuflüssen

Als geeigneter Tracer wurde N,N-Dimethylsulfamid (DMS) ausgewählt. Dieser Stoff ist das persistente und mobile Abbauprodukt (Metabolit) des Fungizids Tolyfluanid, das im Obst-, Wein- und Hopfenanbau eingesetzt wurde. DMS ist im Wasser stabil und sorbiert nicht an Feststoffpartikeln; die Konzentrationen im Bodensee und seinen Zuflüssen sind analytisch gut erfassbar. Inzwischen wurde der Einsatz von Tolyfluanid seit 30.11.2010 EU-weit verboten. Nach dem Verbot ist mit einem stetigen Rückgang der Konzentrationen zu rechnen. Der Metabolit DMS erfüllt somit die Voraussetzungen für einen Tracer in diesem Projekt.

Grundlage der Untersuchungen im Bodensee bildete die Langzeitbeobachtung 2011-2014. Damit konnte der Rückgang der Belastung mit DMS in Tiefenprofilen des Bodensees ermittelt werden. Zeitgleich wurden der Zustrom an DMS in den Zuflüssen sowie der Abstrom am Bodensee-Ausfluss bei Konstanz gemessen.

Daneben sollte das Verhalten von DMS bei einem Extremereignis erfasst werden. In der Phase mit Niedrigwasser im März 2012 wurden über einen Monat intensive Untersuchungen in der Flachwasserzone der Friedrichshafener Bucht einschließlich der Zuströme Schussen und Rotach durchgeführt. Im Juli 2013 wurde zudem bei den Langzeituntersuchungen ein Hochwasserereignis erfasst.

6.2 Ergebnisse der Langzeitbeobachtung

Die Langzeituntersuchungen wurden an sechzehn Zuflüssen (Alpenrhein, Alter Rhein, Argen, Bregenzer Ach, Brunnisach, Dornbirner Ach, Goldach, Leiblach, Lippbach, Lustenauer Kanal, Radolfzeller Ach, Rotach, Seefelder Ach, Steinach, Stockacher Ach, Schussen) sowie dem Ausfluss bei Konstanz von Juli 2011 bis Juni 2014 in etwa quartalsweise durchgeführt. Zeitgleich wurden Tiefenprofile in der Mitte von Bodensee und Überlinger See sowie im Nahbereich der Schussen entnommen.

Die Ergebnisse zeigten, dass trotz des Anwendungsverbotes von Tolyfluorid weiterhin DMS über die Zuflüsse am nördlichen Ufer eingetragen wird. Die Zuflüsse Schussen, Rotach und Seefeldler Ach konnten bilanziert werden; für Lipbach und Brunnisach fehlen die zugehörigen Abflüsse.

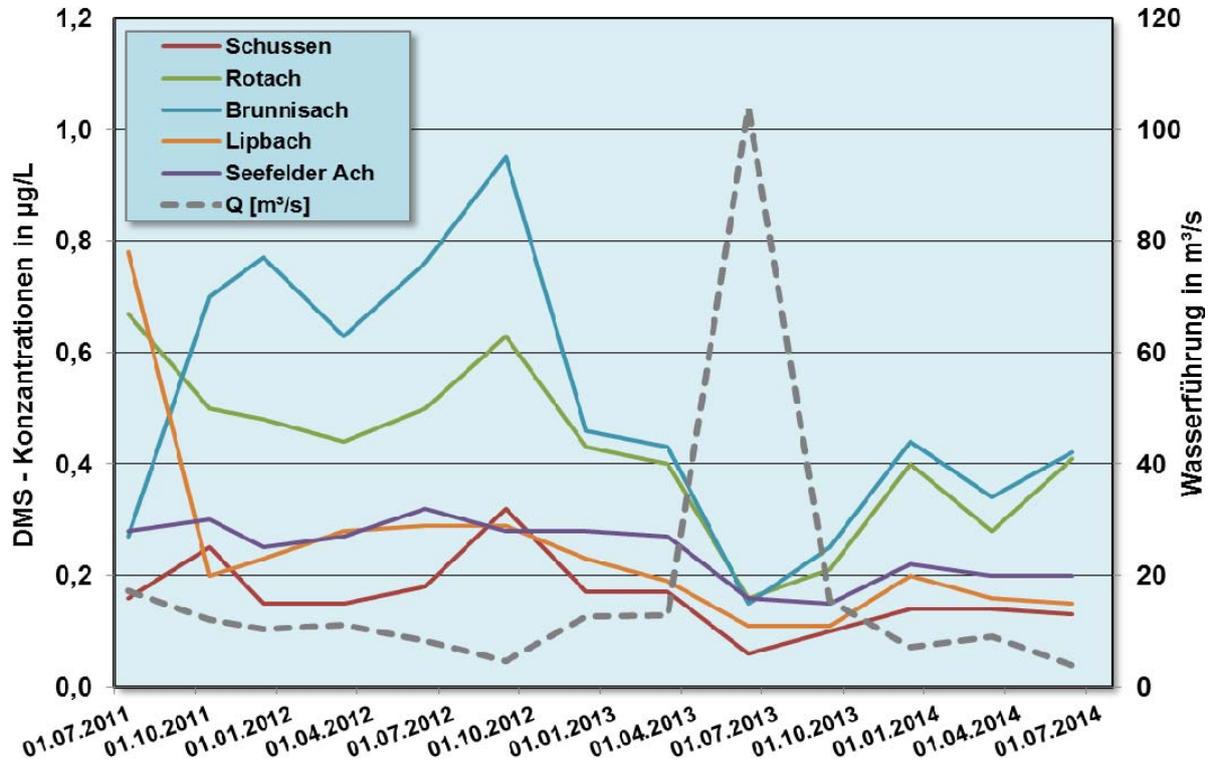


Bild 1:

DMS-Konzentrationen und Abfluss in den stärker belasteten Zuflüssen am Nordufer des Bodensees

Deutlich erkennbar ist der Einfluss des Hochwassers 2013 auf die DMS-Konzentrationen in den Zuflüssen mit deutlich niedrigeren Konzentrationen. Tendenziell ist in allen Gewässern ein Rückgang der DMS-Konzentrationen über die Projektlaufzeit zu beobachten.

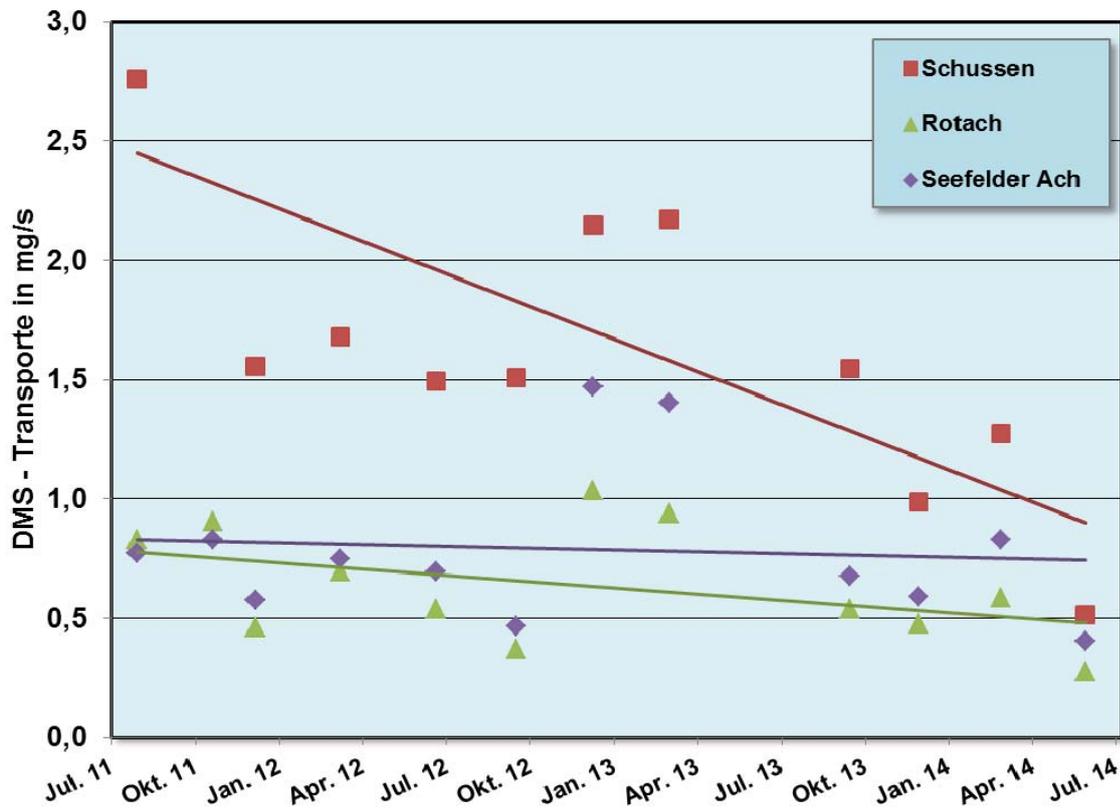


Bild 2:

DMS-Transporte und Abfluss in den stärker belasteten Zuflüssen am Nordufer des Bodensees

Die Transporte von Schussen und Rotach zeigen ebenfalls einen Rückgang der DMS-Belastungen an (Darstellung ohne hochwasserbeeinflusste Werte vom 11.06.13). Für die Seefelder Ach ist ein Rückgang aus den bisherigen Daten nicht abzuleiten.

Dieser lässt sich im Vergleich der Messdaten von AWBR aus den Jahren 2007/2008 (04.04.07; 10.03.08) und dem letzten Jahr des KLIMBO-Projekts (19.09.13; 03.12.13; 05.03.14; 05.06.14) für die DMS-Konzentrationen und Transporte an den Mündungen gem. Tabelle 1 bilanzieren:

Tabelle 1:

Mittelwerte der DMS-Konzentrationen und DMS-Transporte zu Beginn und Ende der Projektlaufzeit in den stärker belasteten Zuflüssen am Nordufer des Bodensees

	Schussen		Rotach		Brunnisach		Lipbach		Seefelder Ach	
	c [µg/L]	T [mg/s]	c [µg/L]	T [mg/s]	c [µg/L]	T [mg/s]	c [µg/L]	T [mg/s]	c [µg/L]	T [mg/s]
2007/08	0,80	8,96	1,90	4,04	2,35	-	0,90	-	0,76	2,56
2013/14	0,13	1,08	0,33	0,47	0,36	-	0,16	-	0,19	0,63
Restgehalt	16 %	12 %	17 %	12 %	15 %	-	17 %	-	25 %	24 %

In Obersee und Überlingersee wurden Tiefenprofile von der Oberfläche bis in Nähe des Seegrundes entnommen. Exemplarisch sind die Befunde für zwei Zeiträume zu Beginn und Ende der Untersuchungen in jeweils drei Proben wiedergegeben.

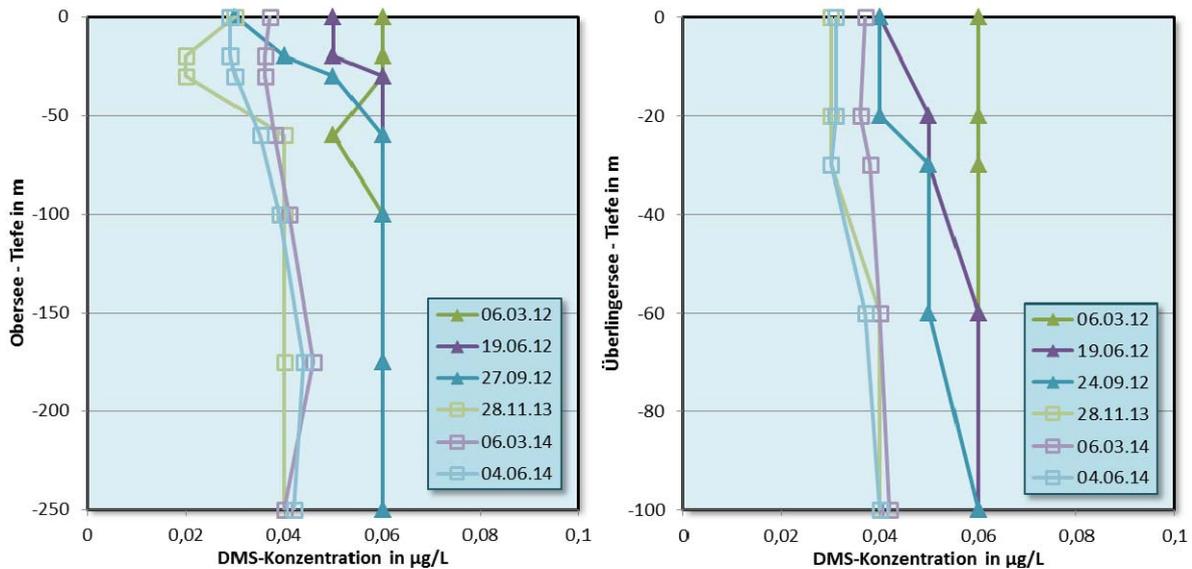


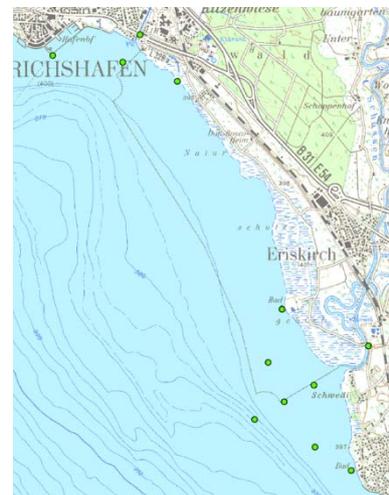
Bild 3:
DMS-Konzentrationen in den Tiefenprofilen von Obersee und Überlingersee (jeweils in Seemitte)

Gut erkennbar ist der Rückgang der DMS-Konzentrationen in beiden Tiefenprofilen, der mit etwa einem Drittel der Belastung abgeschätzt werden kann. Die Schichtungsverhältnisse in Obersee spiegeln sich – auf Basis einer Messwertgenauigkeit von 0,01 µg/L – erkennbar in den Ergebnissen wider.

6.3 Niedrigwasserperiode März 2012

Vom 12. bis 29. März 2012 wurde in der Friedrichshafener Bucht eine große Untersuchungsreihe zur Verlagerung der DMS-haltigen Zuströme von Schussen und Rotach in der Flachwasserzone durchgeführt. Proben wurden sowohl entlang der Flachwasserzone als auch vom Zustrom in Richtung Abbruchkante entnommen.

Für die Rotach ist aus den Messergebnissen (gleich hohe Konzentrationen) gut zu erkennen, dass sie anfänglich in östlicher Richtung abfließt und die Strömung sich dann Richtung Seemitte wendet.



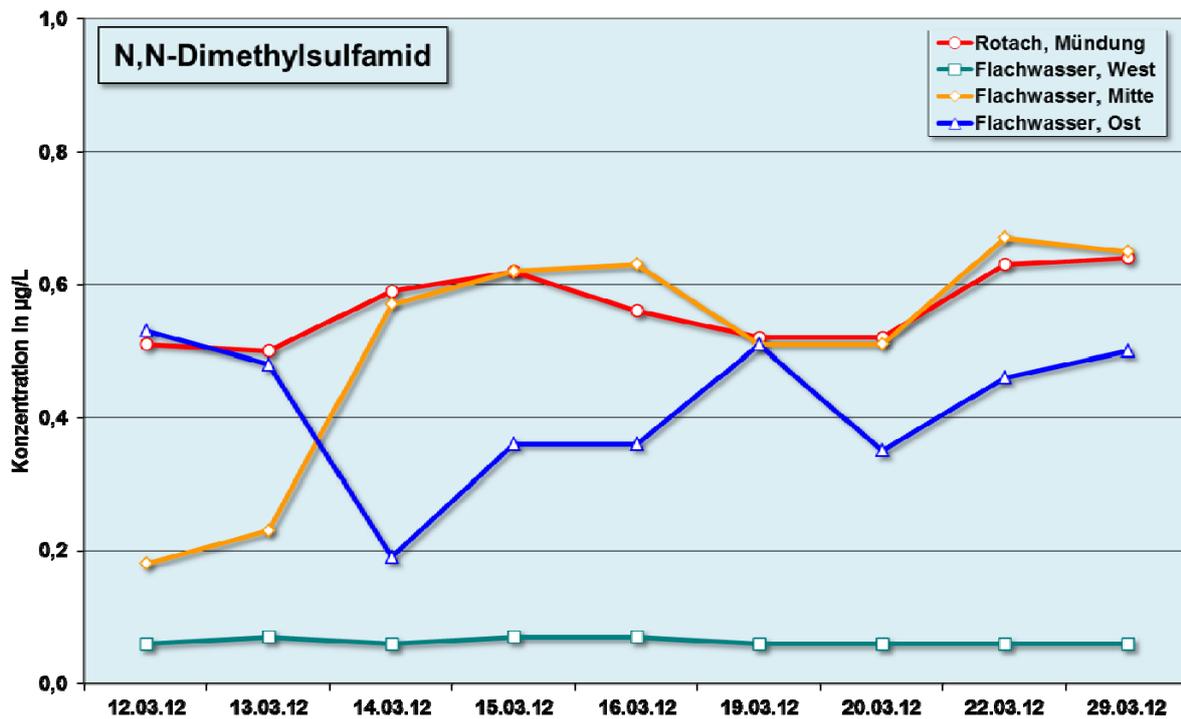


Bild 4:
DMS-Konzentrationen in Rotach und vorgelagerter Flachwasserzone

Für die Schussen ist dies aus den Messdaten nicht unmittelbar ablesbar. Im östlichen Bereich der Flachwasserzone scheinen weniger belastete Wässer zuzufließen. Um den 19./20.03.12 steigen hier allerdings die DMS-Werte deutlich an, was eine Verlagerung des Zustroms nahelegt.

Der Einfluss der meteorologischen Verhältnisse ist zu beachten, was im Zusammenhang mit der Modellierung durch das Ingenieurbüro Kobus und Partner (kup) erfolgte.

6.4 Hochwasserereignis Juli 2013

Die Routineprobe vom 11.06.2013 fiel in die Phase eines stark ansteigenden Hochwassers unmittelbar vor dem Scheitelpunkt. Hiermit vergleichbar ist die AWBR-Probenserie vom 04.04.2007 am Scheitelpunkt eines Hochwassers. In beiden Fällen wurden stark erhöhte Transporte sowie 2013 ein leichter Rückgang der Konzentrationen beobachtet.

Tabelle 2:

DMS-Transporte in ausgewählten Zuflüssen während der beobachteten Hochwasserereignisse im Vergleich zu den Transporten am Projektende

T [mg/s]	04.07.2007	11.06.2013	Projektende
Steinach	0,08	0,11	0,04
Salmsach	0,16	0,08	0,01
Argen	5,67	<	0,44
Schussen	13,44	6,23	1,08
Rotach	6,53	2,62	0,47
Seefelder Ach	3,9	1,73	0,63

Stockacher Ach	0,48	0,32	0,36
Radolfzeller Ach	0,29	0,13	0,16

Für den Transport wird ,<' angegeben, wenn eine Transportberechnung nicht möglich ist. Mehr als die Hälfte der bestimmten Konzentrationen liegen unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Die Wassermengen, die in den regenreichen Monaten Mai und Juni zusätzlich dem See zu- und abgeführt wurden, kann mit ca. 0,91 Mrd. m³ abgeschätzt werden. Dies entspricht in etwa 8 % des Jahresdurchflusses. Die Messdaten der Tiefenprofile zeigen, dass dieser „Spülprozess“ zu einer entsprechenden Reduzierung des DMS-Gehaltes im gesamten See beigetragen hat. In Obersee und Übersee gingen die gemittelten Konzentrationen um ca. 0,01 µg/L längerfristig zurück.

6.5 DMS-Inhalt des Bodensees

Ausgehend von den Befunden der Tiefenprofile in Obersee und Überlingersee und unter der vereinfachenden Annahme einer näherungsweise Gleichverteilung der DMS-Gehalte erfolgt die Abschätzung. Diese Annahme ist aufgrund der ermittelten Tiefenprofile für eine grobe Abschätzung vertretbar.

Zugrunde gelegt wurde das Wasservolumen des Bodensees mit ca. 50 Mrd. m³. Die mittlere Konzentration kann für Projektbeginn mit ca. 0,054 µg/L angenommen werden und verringert sich zum Projektende auf 0,035 µg/L. Somit reduziert sich der DMS-Gehalt des Bodensees von anfänglich ca. 2,74 t um ca. ein Drittel auf mittlerweile ca. 1,75 t.

Bei der Bilanzierung der Zu-/Abflüsse fällt die recht gute Korrelation der Transporte mit den Wasserführungen auf. Zum Zeitpunkt der AWBR-Untersuchungen 2007/2008 wurden über die ausgewählten Zuflüsse (Summe: 10,4 mg/s) drei Viertel des Ausstroms (13,7 mg/s) erfasst, so dass nur ein geringer Austrag aus dem See anzunehmen ist. Zum Ende der KLIMBO-Untersuchungen beträgt der Zustrom-Anteil (Summe: 2,8 mg/s) nur noch ca. ein Viertel des Ausstromes (11 mg/s) und belegt den weiteren Austrag von DMS aus dem See.

6 Anhang

6.1 Leistungsbeschreibung (Auszug)

Messkampagnen zur Analyse langfristiger Wasseraustauschprozesse

Am langfristigen Verhalten von anthropogenen Spurenstoffen lassen sich Wasseraustauschprozesse und -aufenthaltszeiten nachvollziehen. Aufgrund seiner Eigenschaften (u.a. persistent, hohe Mobilität in Boden und Grundwasser, ...) ist das Abbauprodukt des mittlerweile nicht mehr zugelassenen Fungizid-Wirkstoffes Tolyfluamid: "N,N-Dimethylsulfamid, (DMS)" als Leitsubstanz (Tracer) geeignet.

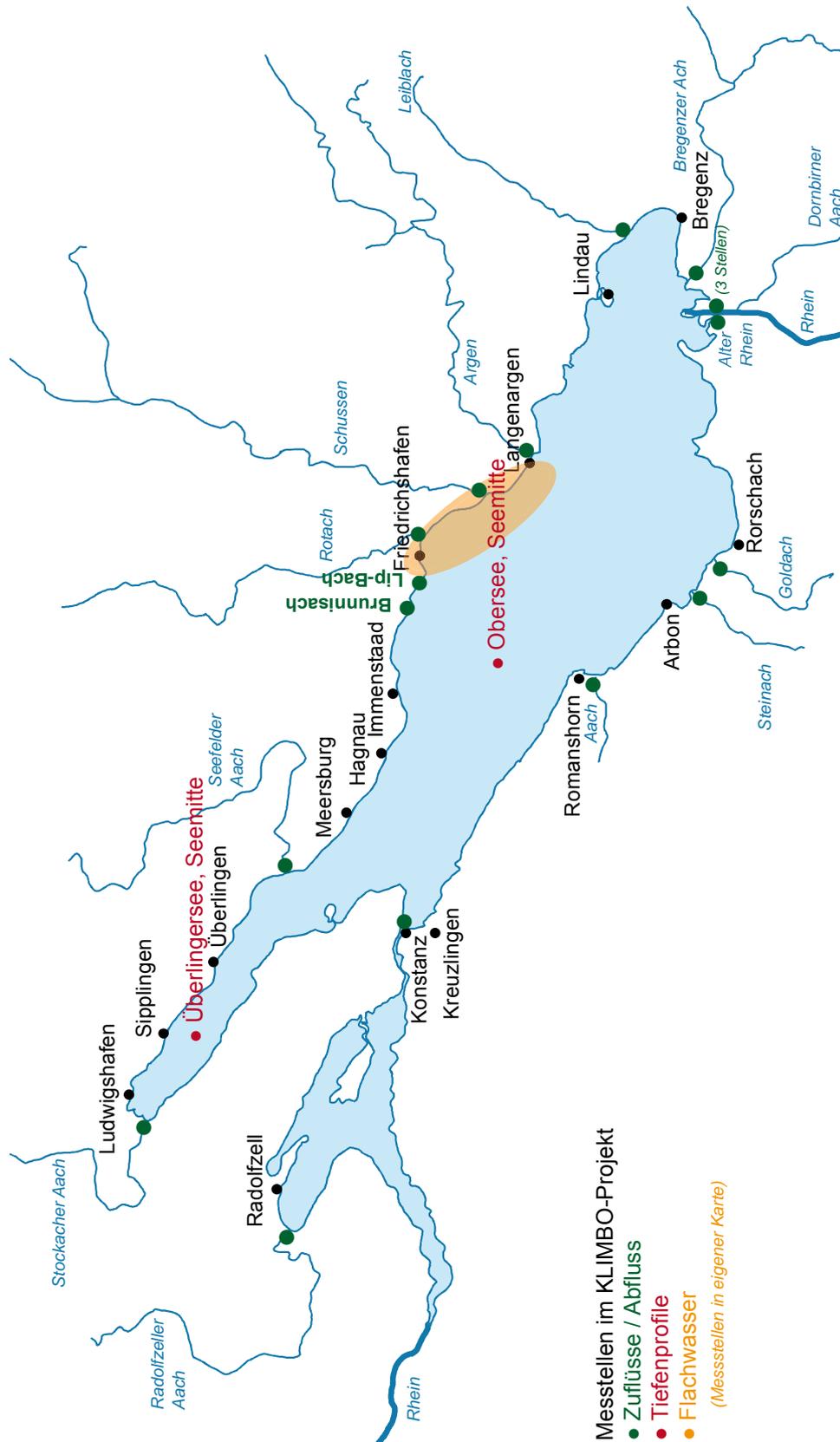
Die Untersuchungen umfassen folgende Arbeitsinhalte:

- *Systematische Erfassung der in den Zuflüssen bzw. im Bodensee vorkommenden DMS-Konzentrationen.*
- *Detailuntersuchungen im Mündungsbereich von ausgesuchten Zuflüssen bzw. dem Seerhein (Abfluss), an repräsentativen Stellen im Bodensee (z.B. in der Seemitte des Obersees bzw. Überlingersees) in verschiedenen Tiefenstufen sowie im Rohwasserverschiedener Seewasserwerke (insgesamt ca. 400 Proben über 3 Jahre verteilt).*
- *Sondermesskampagnen (ca. 100 Proben) zur Beschreibung und Beurteilung meteorologischer Einflüsse auf die Wasseraustauschprozesse (z.B. Starkregen- und Hochwasserereignisse, Föhnstürme).*
- *Vergleich der Messergebnisse mit entsprechend durchgeführten Simulationsrechnungen. Die Ergebnisse sind in digitaler und gedruckter Form als umfassender Abschlussbericht vorzulegen. Die dafür erforderlichen Layout- und Formatvorgaben müssen berücksichtigt werden (Beispiel "Blauer Bericht" unter www.igkb.de).*

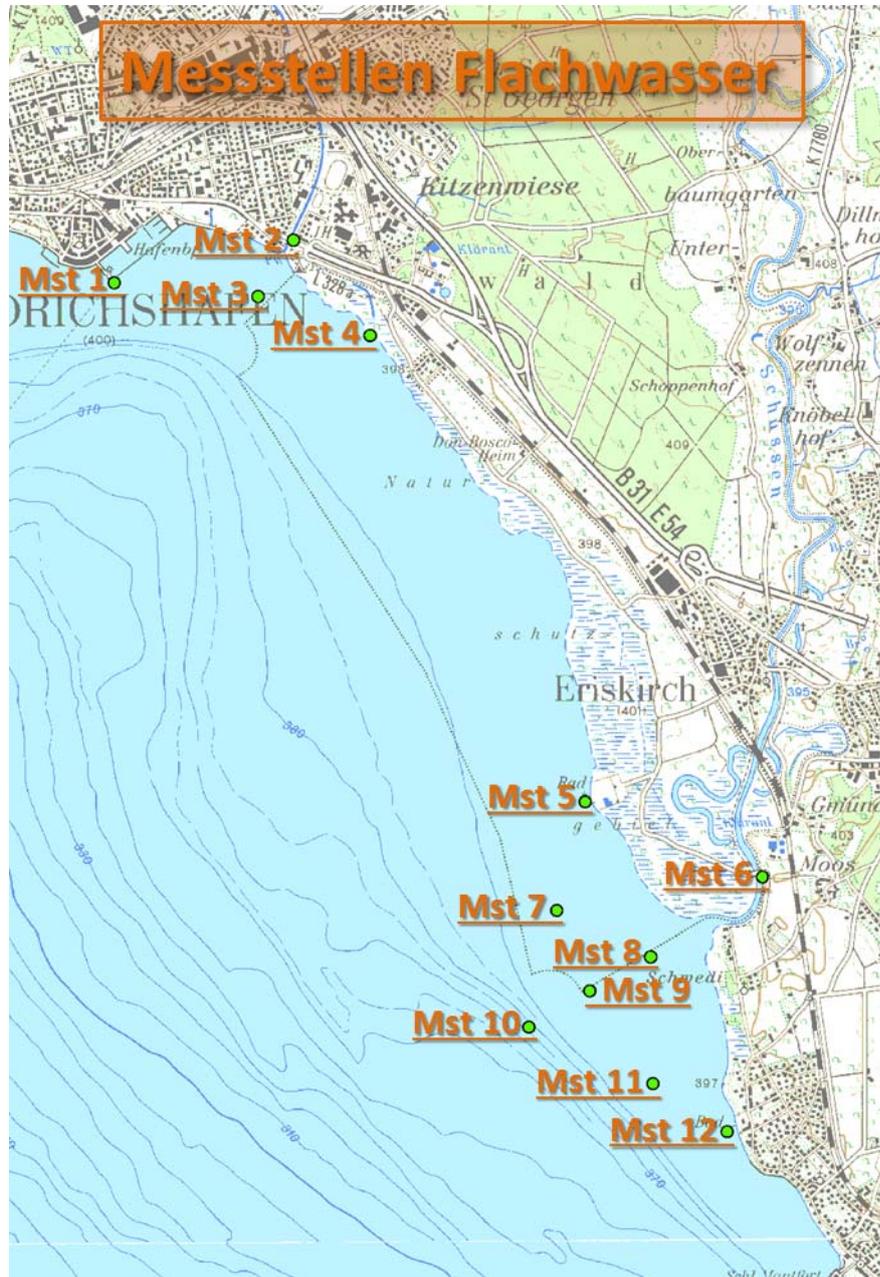
Mit dem Angebot hat der Bieter in geeigneter Form nachzuweisen, dass er über die notwendigen fachlichen und technischen Qualifikationen zur Erstellung dieses Werkes verfügt.

6.2 Karten der Untersuchungsstellen

6.2.1 Zuflussuntersuchungen und Tiefenprofile



6.2.2 Flachwasserzone Friedrichshafener Bucht



Tabellarische Angabe der Messstellen und ihrer Koordinaten.

MESSSTELLE	KOORDINATEN
Salmsach	47.556169,9.378505
Steinach	47.502388,9.446182
Goldach	47.488441,9.474120
Alter Rhein	47.463989,9.594669
Alpenrhein ¹	47.463989,9.594669
Lustenauer Kanal ¹	47.477681,9.673290
Dornbirner Ach ¹	47.477623,9.674449
Bregenzer Ach	47.492588,9.709468
Leiblach	47.536848,9.736376
Argen	47.595890,9.561925
Schussen, Eriskirch	47.628380,9.531884
Rotach, Friedrichshafen	47.650530,9.495621
Brunnisach, Fischbach	²
Lip-Bach, Fischbach-Grenzhof	³
Seelfeder Ach	47.732396,9.241347
Stockacher Ach	47.818572,9.009647
Radolfzeller Ach	47.734215,8.938966
Konstanz, Ausfluss Bodensee	47.666673,9.178927 ²

¹ Messstellen unmittelbar benachbart, von einem Standort aus zu beproben.

² Entnahme unterhalb Kläranlage und oberhalb B31

³ Entnahme oberhalb B31 wegen Hafens

6.3 Untersuchungsergebnisse

Klimawandel am Bodensee

TP 5: Messkampagnen zur Analyse langfristiger Wasseraustauschprozesse

Teilbereich: Zuflüsse

Gewässer Ort Datum	Steinach		Goldach-Riet		Salmstach Romanshorn		Lustenauer Kanal Fußach		Alpenrhein Fußach	
	Q in m³/s	DMS in µg/L	Q in m³/s	DMS in µg/L	Q in m³/s	DMS in µg/L	Q in m³/s	DMS in µg/L	Q in m³/s	DMS in µg/L
28.07.2011	0,49	0,04	0,87	0,02	0,62	0,05	1,84	0,02	228	<0,01
20.10.2011	0,51	0,07	1,85	0,03	0,49	0,04	2,63	0,02	108	<0,01
06.12.2011	0,58	0,08	0,69	0,03	0,78	0,05	0,95	0,02	294	<0,01
08.03.2012	0,62	0,02	1,15	0,01	0,38	0,04	1,18	0,02	148	<0,01
21.06.2012	0,39	0,05	0,59	0,02	0,38	0,02	1,35	0,02	646	<0,01
18.09.2012	0,45	0,05	0,53	0,04	0,20	0,04	1,78	0,02	209	<0,01
11.12.2012	0,82	0,04	1,28	0,02	0,82	0,04	1,35	0,03	183	<0,01
05.03.2013	1,34	0,03	6,12	0,02	0,67	0,02	1,09	0,02	144	<0,01
11.06.2013	2,76	0,04	8,71	<0,01	4,16	0,02	6,95	0,02	611	<0,01
19.09.2013	2,75	0,04	8,14	<0,01	2,89	<0,01	1,95	0,02	402	<0,01
03.12.2013	0,46	0,03	0,63	0,01	0,65	0,02	0,52	0,02	187	<0,01
05.03.2014	0,64	0,03	0,76	0,01	0,82	0,02	0,84	0,02	130	<0,01
05.06.2014	0,18	0,03	0,61	0,02	0,30	0,03	1,11	0,02	298	<0,01

Klimawandel am Bodensee

TP 5: Messkampagnen zur Analyse langfristiger Wasseraustauschprozesse

Teilbereich: Zuflüsse

Gewässer Ort Datum	Alter Rhein Gaißau		Dornbirner Ach Fußach		Bregenzer Ach Bregenz/Hard		Leiblach Hörbranz		Argen Langenargen	
	Q in m³/s	DMS in µg/L	Q in m³/s	DMS in µg/L	Q in m³/s	DMS in µg/L	Q in m³/s	DMS in µg/L	Q in m³/s	DMS in µg/L
28.07.2011	12,2	<0,01	5,41	0,02	96,4	<0,01	4,53	<0,01	48,9	0,01
20.10.2011	17,4	0,01	6,27	0,02	28,9	<0,01	2,79	0,01	16,9	0,07
06.12.2011	5,64	0,02	2,34	0,02	18,9	<0,01	3,42	<0,01	21,8	0,02
08.03.2012	7,4	<0,01	4,74	0,01	59,0	<0,01	2,70	0,01	20,7	0,04
21.06.2012	14,7	<0,01	7,13	0,03	42,8	<0,01	1,16	0,05	13,1	0,07
18.09.2012	8,8	<0,01	1,81	0,03	14,9	<0,01	0,94	0,02	9,0	0,09
11.12.2012	9,89	<0,01	2,53	0,02	20,2	<0,01	2,98	0,01	17,8	0,06
05.03.2013	15,1	<0,01	5,13	0,01	23,8	<0,01	2,68	<0,01	16,4	0,06
11.06.2013	36,6	<0,01	88,2	<0,01	447	<0,01	39,9	<0,01	133	<0,01
19.09.2013	31,0	<0,01	43,97	<0,01	314,9	<0,01	23,33	<0,01	69,3	<0,01
03.12.2013	8,41	<0,01	2,68	0,02	15,1	<0,01	1,30	0,01	10,9	0,04
05.03.2014	6,5	<0,01	3,25	0,02	19,5	<0,01	2,32	<0,01	16,8	0,03
05.06.2014	9,86	<0,01	3,62	0,02	34,9	<0,01	1,02	0,01	9,06	0,06

Klimawandel am Bodensee

TP 5: Messkampagnen zur Analyse langfristiger Wasseraustauschprozesse

Teilbereich: Zufüsse

Gewässer Ort Datum	Schussen Eriskirch, Holzbrücke		Rotach Friedrichshafen (B31)		Lipbach Fischbach		Brunnisach Fischbach		Seefeld der Aach Oberuhldingen (B31)	
	Q in m³/s	DMS in µg/L	Q in m³/s	DMS in µg/L	Q in m³/s	DMS in µg/L	Q in m³/s	DMS in µg/L	Q in m³/s	DMS in µg/L
28.07.2011	17,3	0,16	1,24	0,67	-	0,78	-	0,27	2,76	0,28
20.10.2011	12,0	0,25	1,81	0,50	-	0,20	-	0,70	2,76	0,30
06.12.2011	10,4	0,15	0,96	0,48	-	0,23	-	0,77	2,31	0,25
08.03.2012	11,2	0,15	1,58	0,44	-	0,28	-	0,63	2,77	0,27
21.06.2012	8,3	0,18	1,08	0,50	-	0,29	-	0,76	2,18	0,32
18.09.2012	4,7	0,32	0,59	0,63	-	0,29	-	0,95	1,67	0,28
11.12.2012	12,6	0,17	2,41	0,43	-	0,23	-	0,46	5,25	0,28
05.03.2013	12,8	0,17	2,35	0,40	-	0,19	-	0,43	5,20	0,27
11.06.2013	104	0,06	16,4	0,16	-	0,11	-	0,15	10,8	0,16
19.09.2013	15,5	0,10	2,57	0,21	-	0,11	-	0,25	4,51	0,15
03.12.2013	7,05	0,14	1,19	0,40	-	0,20	-	0,44	2,69	0,22
05.03.2014	9,1	0,14	2,09	0,28	-	0,16	-	0,34	4,15	0,20
05.06.2014	3,97	0,13	0,67	0,41	-	0,15	-	0,42	2,03	0,20

Klimawandel am Bodensee

TP 5: Messkampagnen zur Analyse langfristiger Wasseraustauschprozesse

Teilbereich: Zuflüsse

Gewässer Ort Datum	Stockacher Aach Espasingen (B34)		Radolfzeller Aach Mündung (L192)		Bodensee Konstanz (Ausfluss)	
	Q in m ³ /s	DMS in µg/L	Q in m ³ /s	DMS in µg/L	Q in m ³ /s	DMS in µg/L
28.07.2011	0,42	0,10	9,77	0,02	552	0,04
20.10.2011	0,55	0,07	5,90	0,03	382	0,04
06.12.2011	0,54	0,09	9,49	0,03	198	0,04
08.03.2012	0,86	0,10	7,42	0,02	243	0,05
21.06.2012	0,62	0,13	9,11	-	735	0,05
18.09.2012	0,47	0,13	5,89	0,03	439	0,04
11.12.2012	2,01	0,11	11,3	0,02	325	0,05
05.03.2013	1,75	0,11	8,71	<0,01	265	0,05
11.06.2013	2,91	0,11	13,1	0,01	768	0,04
19.09.2013	1,13	0,08	14,71	0,02	426	0,03
03.12.2013	1,01	0,09	11,0	0,01	350	0,03
05.03.2014	1,90	0,07	14,64	0,01	222	0,04
05.06.2014	0,56	0,08	7,19	<0,01	411	0,03

Klimawandel am Bodensee

TP 5: Messkampagnen zur Analyse langfristiger Wasseraustauschprozesse

Teilbereich: Tiefenprofile Obersee an tiefster Stelle

Gewässer DMS in µg/L	Obersee 0 m	-20 m	-30 m	-60 m	-100 m	-175 m	-250 m
03.08.2011	-	0,04	-	0,05	0,06	-	-
13.10.2011	-	-	-	-	-	-	-
12.12.2011	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	-	-
06.03.2012	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	-
19.06.2012	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
27.09.2012	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06
13.12.2012	-	-	-	-	-	-	-
05.03.2013	0,06	0,05	0,05	0,03	0,06	0,05	0,07
06.06.2013	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05
24.09.2013	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
28.11.2013	0,03	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04
06.03.2014	0,04	0,036	0,036	0,038	0,041	0,046	0,04
04.06.2014	0,03	0,029	0,03	0,035	0,039	0,044	0,04

Klimawandel am Bodensee

TP 5: Messkampagnen zur Analyse langfristiger Wasseraustauschprozesse

Teilbereich: Tiefenprofile Überlingersee an tiefster Stelle

Gewässer DMS in µg/L	Überlingersee				
	0 m	-20 m	-30 m	-60 m	-100 m
03.08.2011	-	-	-	-	-
13.10.2011	-	0,06	0,05	0,06	-
12.12.2011	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06
06.03.2012	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
19.06.2012	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06
24.09.2012	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06
13.12.2012	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06
07.03.2013	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05
06.06.2013	-	0,04	0,05	0,04	0,06
24.09.2013	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04
26.11.2013	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04
06.03.2014	0,04	0,036	0,038	0,04	0,04
04.06.2014	0,03	0,031	0,03	0,037	0,04

Klimawandel am Bodensee

TP 5: Messkampagnen zur Analyse langfristiger Wasseraustauschprozesse

Teilbereich: Tiefenprofile Zustrombereich der Schussen

Gewässer DMS in µg/L	Schussen 0 m	-3 m	-15 m
03.08.2011	*	0,07	0,03
13.10.2011	*	0,04	0,05
12.12.2011	*	0,04	0,06
06.03.2012	*	0,06	0,03
19.06.2012	*	0,05	0,04
24.09.2012	*	<0,1	-
13.12.2012	-	-	-
05.03.2013	*	0,03	0,03
06.06.2013	*	0,06	0,05
24.09.2013	*	0,03	0,02
28.11.2013	*	0,03	0,02
06.03.2014	*	0,049	0,028
04.06.2014	*	0,026	0,02

* Werte für 'Schussen, Mündung' (Zuflussuntersuchungen)

Klimawandel am Bodensee

TP 5: Messkampagnen zur Analyse langfristiger Wasseraustauschprozesse

Teilbereich: Flachwasserzone bei Niedrigwasser Zustrombereich der Rotach

Gewässer	Rotach			
	MST 1	MST 2	MST 3	MST 4
12.03.2012	0,51	0,06	0,18	0,53
13.03.2012	0,50	0,07	0,23	0,48
14.03.2012	0,59	0,06	0,57	0,19
15.03.2012	0,62	0,07	0,62	0,36
16.03.2012	0,56	0,07	0,63	0,36
19.03.2012	0,52	0,06	0,51	0,51
20.03.2012	0,52	0,06	0,51	0,35
22.03.2012	0,63	0,06	0,67	0,46
29.03.2012	0,64	0,06	0,65	0,50

**Die Bezeichnungen 'MST x' entsprechen den Bezeichnungen in der Karte*

Klimawandel am Bodensee

TP 5: Messkampagnen zur Analyse langfristiger Wasseraustauschprozesse

Teilbereich: Flachwasserzone bei Niedrigwasser Zustrombereich der Schussen

Gewässer	Schussen											
	DMS in µg/L	MST 5	MST 6	MST 7	MST 8	MST 9	MST 10	MST 11	MST 12	MST 13	MST 14	MST 15
12.03.2012	0,09	0,19	0,17	0,16	0,17	0,15	0,07	0,09	0,07	0,13	0,12	0,12
13.03.2012	0,15	0,14	0,17	0,17	0,20	0,20	0,20	0,18	0,14	0,09	0,08	0,20
14.03.2012	0,17	0,18	0,21	0,21	0,18	0,22	0,19	0,12	0,25	0,10	0,06	0,07
15.03.2012	0,25	0,17	0,22	0,18	0,18	0,22	0,23	0,19	0,16	0,17	0,21	0,23
16.03.2012	0,07	0,16	0,20	0,23	0,19	0,20	0,23	0,12	0,16	0,17	0,21	0,23
19.03.2012	0,19	0,16	0,12	0,19	0,20	0,20	0,23	0,12	0,16	0,17	0,21	0,23
20.03.2012	0,23	0,16	0,24	0,16	0,16	0,15	0,16	0,25	0,16	0,17	0,21	0,23
22.03.2012	0,24	0,20	0,23	0,17	0,18	0,18	0,17	0,10	0,17	0,10	0,06	0,06
29.03.2012	0,07	1,60	0,08	0,20	0,20	0,20	0,21	0,07	0,21	0,07	0,07	0,07

**Die Bezeichnungen 'MST x' entsprechen den Bezeichnungen in der Karte*

Klimawandel am Bodensee

TP 5: Messkampagnen zur Analyse langfristiger Wasseraustauschprozesse

AWBR Seeuntersuchungen Rohwasserentnahmestellen (1 x jährlich bei Vollzirkulation)

DMS in µg/L	06.03.2007	05.03.2008	04.03.2009	02.03.2010	23.02.2011	07.03.2012	06.03.2013	26.02.2014
Kreuzlingen	0,09	0,11	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04
Amriswil-Kesswil	0,08	0,10	0,09	0,07	0,05	0,06	0,04	0,04
Romanshorn (BS)	0,07	0,20	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04
Arbon	0,07	0,10	0,08	0,07	0,06	0,06	0,07	0,04
Rohrschach-Froheimgut	0,07	0,18	0,07	0,07	0,05	0,05	0,06	0,04
Riet-St.Gallen	0,06	0,09	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04
Thal-Staad	0,12	0,11	0,08	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04
Lindau-Nonnenhorn	0,05	0,10	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03
Friedrichshafen	0,09	0,15	0,09	0,07	0,07	0,05	0,05	0,04
Meersburg	0,07	0,15	0,08	0,08	0,06	0,06	0,05	0,04
Überlingen-Brünnenbach	0,08	0,11	0,08	<0,01	0,06	0,06	0,05	0,04
Konstanz-Staad	0,11	0,16	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,04