

# > Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer

*Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe*



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU



# > Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer

*Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe*

### **Rechtlicher Stellenwert dieser Publikation**

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfen, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind. Das BAFU veröffentlicht solche Vollzugshilfen (bisher oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u.ä. bezeichnet) in seiner Reihe «Umwelt-Vollzug».

### **Impressum**

#### **Herausgeber**

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

#### **Autor**

Paul Liechti, Bundesamt für Umwelt (BAFU)

#### **Mitarbeit**

Jürg Zobrist, Eawag, Eidg. Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs  
Beat Mattmann, ONION Energie- und Umweltmanagement AG

#### **Begleitung**

Werner Goeggel und Adrian Jakob, Bundesamt für Umwelt (BAFU)  
Barbara Känel und Pius Niederhauser,  
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL), Kanton Zürich  
Simone Langhans und Christine Weber,  
Eawag, Eidg. Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs

#### **Zitiervorschlag**

Liechti Paul 2010: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe. Umwelt-Vollzug Nr. 1005. Bundesamt für Umwelt, Bern. 44 S.

#### **Gestaltung**

Ursula Nöthiger-Koch, 4813 Uerkheim

#### **Titelfoto**

BAFU

#### **Download PDF**

[www.umwelt-schweiz.ch/uv-1005-d](http://www.umwelt-schweiz.ch/uv-1005-d)

(eine gedruckte Fassung ist nicht erhältlich)

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache erhältlich

© BAFU 2010

# > Inhalt

<b>Abstracts</b>	<b>5</b>
<b>Vorwort</b>	<b>7</b>

---

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>8</b>
1.1	Das Modul-Stufen-Konzept	8
1.2	Rechtliche Grundlagen	9
1.3	Ziel dieser Publikation	10

---

<b>2</b>	<b>Erhebungen chemisch-physikalischer Parameter</b>	<b>11</b>
2.1	Strategie	11
2.2	Einzugsgebiet und Umfeld	11
2.3	Vorgehen	12
2.3.1	Fragestellung und Zielsetzung	12
2.3.2	Probenahmestellen	12

---

<b>3</b>	<b>Beurteilungsverfahren</b>	<b>14</b>
3.1	Generelles	14
3.2	Chemisch-physikalische Messgrößen	14
3.3	Auswertung und Beurteilung	16
3.3.1	Schätzwerte	16
3.3.2	Klassierung	17
3.4	Koordinierte Beobachtung der Oberflächengewässer	19

---

<b>Anhang</b>	<b>20</b>	
A1	Charakterisierung der Messgrößen	20
A2	Probenahme	32
A3	Umrechnungen für Ammonium und Nitrit, kart. Darstellung	38
A4	Screeningverfahren mit 4 bis 5 Messungen pro Jahr	41

---

<b>Verzeichnisse</b>	<b>44</b>
Abbildungen	44
Tabellen	44
Literatur	44



## > Abstracts

The Modular Stepwise Procedure for the analysis and assessment of watercourses includes survey methods in the areas of hydrodynamics and morphology, biology, and chemical or toxic effects. The present report describes how to assess watercourses using chemical and physical parameters. The water quality requirements are either those specified directly in numerical terms in Annex 2 of the Water Protection Ordinance or are obtained by converting the qualitative requirements specified in this Annex into quantitative terms (“target values”). Indicator values are obtained by aggregation of the chemical parameters measured for the water samples. They can be compared with the requirements and target values in an assessment based on a 5-point scale.

Im Rahmen des Modul-Stufen-Konzeptes (MSK) werden Methoden zur Untersuchung und Bewertung der Fließgewässer erarbeitet für die Bereiche Hydrodynamik und Morphologie, Biologie sowie chemische Inhaltsstoffe und toxikologische Effekte. Der vorliegende Bericht beschreibt die Methoden, mit welchen Fließgewässer anhand chemisch-physikalischer Kenngrößen beurteilt werden können. Die Beurteilung orientiert sich an den Anforderungen an die Wasserqualität, wie sie im Anhang 2 der Gewässerschutzverordnung beschrieben sind: Die numerischen Anforderungen werden direkt übernommen, die verbalen Anforderungen in numerische Größen umgesetzt und als Zielvorgaben verwendet. Aus den Resultaten der chemischen Untersuchung der Gewässerproben werden statistische Schätzwerte berechnet. Deren Vergleich mit den Anforderungen/Zielvorgaben führt zu einer Beurteilung in 5 Klassen.

Le système modulaire gradué (SMG) prévoit la mise au point de méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau dans les domaines «Hydrodynamique et morphologie», «Biologie» et «Effets chimiques et toxiques». Le présent guide décrit la manière d'apprécier les cours d'eau à l'aide de paramètres chimiques et physiques. Les exigences relatives à la qualité des eaux figurent à l'annexe 2 de l'ordonnance fédérale sur la protection des eaux, soit directement sous forme chiffrée, soit sous une forme descriptive, permettant une transposition en valeurs numériques, adoptées comme objectifs de qualité. Pour apprécier la qualité des échantillons d'eau, les résultats des analyses chimiques sont combinés en des indices statistiques, ceux-ci pouvant ensuite être comparés aux exigences et objectifs dans un système comprenant 5 classes d'état.

**Keywords:**

chemical and physical surveys, nutrients, requirements as to water quality, assessment on a 5-point scale

**Stichwörter:**

Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe, Anforderungen an die Wasserqualität, Beurteilung in 5 Klassen

**Mots-clés:**

analyses physico-chimiques, nutriments, exigences à la qualité des eaux, appréciation en cinq classes

Il sistema basato su moduli e livelli, adottato per l'analisi e la valutazione dei corsi d'acqua, prevede un sistema di rilevamento a due livelli di intensità nei settori «Idrodinamica e morfologia», «Biologia» ed «Effetti chimici e tossici». Il presente rapporto descrive il metodo in base ai quali i corsi d'acqua possono essere valutati applicando parametri chimici e fisici. Nell'allegato 2 dell'ordinanza sulla protezione delle acque le esigenze relative alla valutazione dei corsi d'acqua figurano direttamente in forma numerica oppure, sulla base di descrizioni, sono trasposte in valori numerici, qui denominati obiettivi prestabiliti. I risultati dell'analisi chimica dei prelievi d'acqua effettuati servono poi a calcolare dei valori di stima, che sulla base del loro confronto con le esigenze e gli obiettivi prestabiliti sono suddivisi in cinque classi.

**Parole chiave:**  
rilevamenti chimici e fisici,  
nutrienti, esigenze relative alla  
qualità dell'acqua, suddivisione  
in 5 classi

---

## > Vorwort

Das Leben hat sich im Wasser entwickelt und ist ohne Wasser nicht möglich. Durch die Verwitterung der Gesteine erhält das Wasser Mineralien, auf welche die Wasser- und Landlebewesen angewiesen sind. Problematisch sind Stoffe, deren Konzentrationen durch menschliches Zutun so stark erhöht werden, dass sie das Leben im Wasser beeinträchtigen.

Fliessgewässer und ihre Uferbereiche dienen als Lebensraum für Menschen, Tiere und Pflanzen. Für den Zustand der Fliessgewässer spielen neben der Belastung durch Abwasser verschiedene Nutzungen wie Wasserkraft, Siedlungsentwässerung und Hochwasserschutz eine wichtige Rolle. Nebst Morphologie und Hydrologie beeinflussen auch die Inhaltsstoffe den Gewässerlebensraum. Der chemische und physikalische Gewässerzustand ist für die in den Gewässern vorkommenden Arten bestimmend und muss deshalb bei umfassenden Gewässeruntersuchungen weiterhin erhoben werden. Die vorliegende Version des Moduls chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe, beinhaltet Beurteilungsmethoden für anorganische Inhaltsstoffe und Nährstoffe.

Das Gewässerschutzgesetz vom 24. Januar 1991 (GSchG) und die revidierte Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV) haben den umfassenden Schutz der Gewässer und ihrer vielfältigen Funktionen als Lebensräume für Pflanzen und Tiere sowie die nachhaltige Nutzung durch den Menschen zum Ziel. Das Modul-Stufen-Konzept will diesen Auftrag auch im Bereich der Gewässerüberwachung umsetzen, indem Teilmethoden (Module) erarbeitet werden, die den verschiedenen Aspekten der Fliessgewässer gerecht werden. Eine Gruppe von Fachleuten aus BAFU, Eawag und kantonalen Fachstellen hat die *Empfehlungen über die Untersuchung der Schweizerischen Oberflächengewässer* von 1982 soweit angepasst und weiterentwickelt, dass sie in den Rahmen des Modul-Stufen-Konzeptes eingefügt werden können.

Stephan Müller  
Abteilungsleiter Wasser  
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

# 1 > Einleitung

## 1.1 Das Modul-Stufen-Konzept

Durch Untersuchungen soll festgestellt werden, ob der Zustand der Gewässer den Zielen und Anforderungen des Gewässerschutzgesetzes vom 24. Januar 1991 und den zugehörigen Verordnungen entspricht. Gemäss Artikel 50 GSchG und Artikel 49 GSchV sind der Bund und die Kantone verpflichtet, die Öffentlichkeit über den Zustand der Gewässer zu informieren. Die sachkundige Interpretation der Resultate von Gewässeruntersuchungen liefert den Behörden die Entscheidungsgrundlage für allenfalls notwendige Gewässerschutzmassnahmen. Dies bedingt, dass sich die Untersuchung und Beurteilung nicht auf eine einzelne, sondern auf mehrere Methoden aus allen betroffenen Bereichen abstützen haben.

Überprüfung der gesetzlichen  
Ziele und Anforderungen

Seit mehreren Jahren wird auf Bundesebene an einem Vorgehen zur gesamtheitlichen Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer gearbeitet. Die Methode besteht aus verschiedenen Teilmethoden (Modulen), die aufeinander abgestimmt sind und die sich gegenseitig ergänzen. Mit Ausnahme des Moduls «Äusserer Aspekt» kann jedes Modul unabhängig von den übrigen Methoden angewandt werden. Durch das übergeordnete Konzept wird sichergestellt, dass sich die Erhebungen der verschiedenen Module ergänzen. Die Liste der zur Methode gehörenden Module ist offen. Im Rahmen dieses Konzeptes werden verschiedene Methoden bzw. Module zur Beurteilung von Schweizer Fliessgewässern in den drei Bereichen Hydrodynamik und Morphologie, Biologie sowie chemische und toxische Effekte vorgestellt.

Untersuchung und Beurteilung  
der Fliessgewässer

Ein wesentliches Element des Modul-Stufen-Konzeptes ist die Unterteilung in drei Stufen unterschiedlicher Bearbeitungsintensität, damit die Erhebungen je nach Bedarf und Zielsetzung verschieden detailliert durchgeführt werden können:

Erhebungsstufen

F: «Flächendeckend», d.h. alle Fliessgewässer mit den wichtigsten Zuflüssen, wenige Schlüsselparameter, angepasste Untersuchungstiefe; geringerer Aufwand pro Einzeluntersuchung.

Stufe F

Ziel: Flächendeckender Überblick über den ökologischen Gewässerzustand und die ökologischen Defizite.

S: «Systembezogen», d. h. ganze Fliessgewässer mit ihren Zuflüssen; grössere Anzahl an Parametern, mittlere Untersuchungstiefe; mittlerer Aufwand pro Einzeluntersuchung.

Stufe S

Ziel: Detaillierte Erfassung des Gewässerzustandes mit Defizitanalyse und Herleitung von Massnahmeplänen.

A: «Abschnittsbezogen», d.h. bestimmte Bereiche eines Fliessgewässers; angepasst an konkrete Fragestellungen; lokal aufwändige Erhebungen.

Stufe A

Ziel: Beantwortung von Detailfragen.

Im Basisbericht zum Modul-Stufen-Konzept, welcher in der Schriftenreihe «Umwelt-Vollzug, Mitteilungen zum Gewässerschutz, Nr. 26» des BUWAL publiziert wurde, werden das Prinzip der Module und Stufen sowie die gesetzlichen und ökologischen Grundlagen erläutert. Die verschiedenen Module sollen in einzelnen Teilpublikationen im Rahmen der gleichen Schriftenreihe vorgestellt werden, wie zum Beispiel Ökomorphologie – Stufe F (flächendeckend), Fische – Stufe F, Kieselalgen – Stufe F und die Methode Äusserer Aspekt. Weitere Methoden des Konzeptes erscheinen in loser Reihenfolge im Rahmen der Schriftenreihen des BAFU. Entwürfe zu den Modulen Ökomorphologie – Stufe S, Makroinvertebraten – Stufe F und Hydrologie, Stufe F sind im Internet unter der Adresse [www.modul-stufen-konzept.ch](http://www.modul-stufen-konzept.ch) abgelegt. Weitere Entwürfe werden folgen, sobald diese als Grundlage für eine Erprobungsphase genügen.

Weitere Methoden

## 1.2

### Rechtliche Grundlagen

Die vorliegende Publikation konkretisiert das Vorgehen bei der Erhebung chemisch-physikalischer Parameter an Gewässern und bei der Beurteilung, ob die Anforderungen an die Wasserqualität gemäss Gewässerschutzverordnung (GSchV), Anhang 2 Ziffern 11 und 12 eingehalten sind. Die Festlegung der Art und Weise der Erhebungen – soweit diese über Vorschriften in der Gewässerschutzverordnung nicht bereits vorgegeben sind – und die Bewertung der Resultate sind gemäss den Artikeln 47 GSchV und 48 GSchV Aufgabe der Kantonsbehörde:

Anforderungen nach Anhang 2  
der Gewässerschutzverordnung

#### **Art. 47 Vorgehen bei verunreinigten Gewässern**

<sup>1</sup> *Stellt die Behörde fest, dass ein Gewässer die Anforderungen an die Wasserqualität nach Anhang 2 nicht erfüllt oder dass die besondere Nutzung des Gewässers nicht gewährleistet ist, so:*

- a. *ermittelt und bewertet sie die Art und das Ausmass der Verunreinigung;*
- b. *ermittelt sie die Ursachen der Verunreinigung;*
- c. *beurteilt sie die Wirksamkeit der möglichen Massnahmen;*
- d. *sorgt sie dafür, dass gestützt auf die entsprechenden Vorschriften die erforderlichen Massnahmen getroffen werden.*

<sup>2</sup> *Sind mehrere Quellen an der Verunreinigung beteiligt, so sind die bei den Verursachern erforderlichen Massnahmen aufeinander abzustimmen.*

Artikel 47 der Gewässerschutz-  
verordnung

**Art. 48 Untersuchungen und Ermittlungen**

<sup>1</sup> Untersuchungen und Ermittlungen richten sich nach den anerkannten Regeln der Technik; als solche gelten insbesondere die entsprechenden Normen des CEN (Europäisches Komitee für Normung)<sup>1</sup> oder andere Normen, die gleichwertige Ergebnisse liefern.

<sup>2</sup> Soweit diese Verordnung keine Vorschriften über die Art und Häufigkeit der Probenahmen und die Ermittlung der Einhaltung der Anforderungen enthält, legt dies die Behörde im Einzelfall fest.

Artikel 48 der Gewässerschutzverordnung

### 1.3 Ziel dieser Publikation

Im Folgenden werden chemisch-physikalische Untersuchungen auf Stufe F behandelt – insbesondere die Nährstoffe. Die Aufnahme des äusseren Aspektes eines Fließgewässers gemäss GSchV, Anhang 2 Ziffer 11 wird gemäss einem separaten Modul erhoben. Deshalb wird der äussere Aspekt (Kolonien von Bakterien Pilzen oder Protozoen; unnatürliche Wucherungen von Algen oder höheren Wasserpflanzen; Schlamm; Trübung; Verfärbung; Schaum; Geruch; etc.) im Rahmen dieser Publikation nicht behandelt.

Nährstoffe

Der Anhang 2 GSchV gibt Anforderungen vor für Stoffe, die in der Umwelt zu Problemen führen. Das vorliegende Modul «chemisch-physikalische Erhebungen» gibt Hinweise auf Auswahl, Probenahme und Beurteilung solcher Stoffe. Die Problematik der organischen Spurenstoffe (Mikroverunreinigungen) wird in einer zusätzlichen Methode behandelt werden, wenn die gesetzlichen Vorgaben (GSchV Anhang 2) angepasst sind. Im Rahmen der Strategie des BAFU zur Reduktion der organischen Spurenstoffe aus der Siedlungsentwässerung werden diese Anpassungen notwendig.

Die vorliegende Publikation macht zudem Vorschläge für die numerische Konkretisierung von Anforderungen, im Folgenden auch Zielvorgaben genannt, die in der GSchV nur verbal festgelegt sind. Diese zusätzlichen Zielvorgaben sind als Empfehlung gedacht. Falls die kantonale Fachbehörde nachweist, dass andere Werte für diese Zielvorgaben ebenfalls einem rechtskonformen Vollzug entsprechen, kann sie deshalb davon abweichen.

Zielvorgaben für verbale Anforderungen

<sup>1</sup> Bezugsquelle: Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV), Bürglistr. 29, 8400 Winterthur

## 2 > Erhebungen chemisch-physikalischer Parameter

---

### 2.1 Strategie

Erhebungen chemisch-physikalischer Parameter in Fließgewässern sind mit klaren Zielsetzungen zu planen. Nur so sind auch eindeutige Resultate zu erwarten. Erst wenn die für eine Fragestellung bestimmenden Parameter, Einflussgrößen und Anforderungen bekannt sind, kann eine den gegebenen Verhältnissen lokal, zeitlich und methodisch angepasste Gewässeruntersuchung durchgeführt werden.

Erhebungen, die Antworten auf solche Fragen geben, zu reproduzierbaren Resultaten führen und Handlungsbedarf aufzeigen, umfassen folgende Schritte:

- > Einzugsgebiet festlegen
- > Liste der mindestens zu messenden Parameter festlegen, mit Fokus auf Stoffe die auf anthropogenen Einfluss reagieren, beispielsweise Nährstoffe.
- > Messstellen auswählen, die gut zugänglich sind und bei denen die Wasserkörper gut gemischt sind (vgl. el. Leitfähigkeit). Bei der Auswahl sind bereits vorhandene Kenntnisse des chemischen Zustandes des Fließgewässers und der Standorte der Stoffquellen zu berücksichtigen.
- > Erhebungsfrequenz: Mindestens 12 Stichproben/Jahr.
- > Proben kühlen ( $<4\text{ °C}$ ), sonst können die labilen Stickstoffparameter nicht beurteilt werden
- > 90. Perzentil berechnen und Klassierung vornehmen nach Kapitel 3.3.2

### 2.2 Einzugsgebiet und Umfeld

Bevor chemische Untersuchungen aufgenommen werden, ist das Einzugsgebiet eines Gewässers zu analysieren. Bei eindeutig erkennbaren Problemfällen – beispielsweise an grösseren oder überlasteten Kläranlagen, insbesondere falls die Verdünnung in den Vorflutern zu klein ist – kann es sinnvoll sein, anstelle der Untersuchungen gemäss diesem Modul kampagnenmässig direkt vertiefte Erhebungen an kritischen Objekten durchzuführen.

Meist zeigen Defizite in den Bereichen Wasserchemie und Morphologie auch Auswirkungen in der Biologie. Im umgekehrten Fall, d.h. wenn Defizite in der Biologie ausgewiesen werden, nicht aber bei der Morphologie und der Chemie, kann es notwendig werden, die Parameterliste im Modul Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe, gezielt auszuweiten, die Probenahmeart anzupassen oder die Probenahme-

**Spezialuntersuchungen bei  
Problemfällen im Einzugsgebiet**

quenz zu erhöhen. Daher werden chemische Untersuchungen idealerweise in einem modulübergreifenden Erhebungsplan integriert. Die Beurteilung der Resultate muss dann entsprechend ebenfalls modulübergreifend erfolgen.

## 2.3 Vorgehen

### 2.3.1 Fragestellung und Zielsetzung

Die Planung der Untersuchungen soll von konkreten Fragen ausgehen:

- > Welches Ziel haben die vorgesehenen Untersuchungen? Gibt es offene Fragen?
- > Welche Parameter können auf die bestehenden Fragen Antwort geben?
- > Welche Belastungsquellen sind in den Einzugsgebieten dieser Gewässerabschnitte festzustellen? Welche weiteren Einflussgrößen könnten die Wasserinhaltsstoffe beeinflussen?
- > Falls Abwassereinleitungen vorhanden sind: Wie sind die hydraulischen Verhältnisse im Gewässerabschnitt; nach welcher Fließstrecke kann mit vollständiger Durchmischung gerechnet werden? siehe auch unter Anhang A1: *Elektrische Leitfähigkeit*.
- > Sind ober- oder unterhalb der möglichen Probenahmestelle bereits Daten erhoben worden? Welche Probleme und Defizite werden durch die Interpretation dieser Daten erkennbar?
- > Mit welchem Aufwand muss gerechnet werden für die Probenahme, das Erheben und das Auswerten der Daten?
- > Sind 12 Stichproben pro Jahr richtig oder müsste entsprechend der Problematik eine andere Probenahmeart oder -frequenz gewählt werden (siehe Anhang A2)?

Quellen im Einzugsgebiet

Frühere Untersuchungen ?

### 2.3.2 Probenahmestellen

Der Wahl der Probenahmestellen ist besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Die Festlegung der Probenahmestellen ist häufig erst nach dem Abschreiten der Gewässerabschnitte möglich. Für die Ermittlung der Veränderung innerhalb bestimmter Zeiträume, sollten Untersuchungen möglichst an denselben Orten durchgeführt werden, damit auch nach längerer Zeit entsprechende Vergleiche möglich bleiben. Werden Probenahmen über mehrere Jahre vorgesehen, sind deshalb dafür Stellen auszusuchen, deren unmittelbare Umgebung voraussichtlich möglichst wenig verändert wird, d. h. beispielsweise keine Probenahmestellen an Orten mit aktiver oder geplanter Bautätigkeit.

Stabiles Umfeld über längere Zeit

Der Aufwand bei der Probenahme muss in einem vernünftigen Verhältnis stehen zu den möglichen Aussagen bei einer Beurteilung der Messwerte; in diesem Zusammenhang ist auch die Zugänglichkeit der Probenahmestellen von entscheidender Bedeutung, d. h. diese sollten auch im Winter mit einem Fahrzeug erreichbar sein.

Zugänglichkeit der Probenahmestellen

---

Die Auswahl der Probenahmestellen richtet sich nach der Grösse eines Gewässers, nach der zu erwartenden Belastung und nach den Probenahmekonzepten der Fachstellen.

Bei lokalen Problemen an kleineren Gewässern kann sich ein engmaschiges Netz als notwendig erweisen. Chemisch-physikalische Erhebungen sind zweckmässigerweise vor dem Zusammenfluss mit grösseren Gewässern sowie ober- und unterhalb kritischer Belastungsquellen durchzuführen. Im Allgemeinen erübrigt sich bei grösseren Flüssen ein dichtes Messstellennetz, weil kleine Belastungsänderungen im Fluss wegen der grossen Verdünnung nicht nachgewiesen werden können.

Sinnvollerweise sind für unterschiedliche Module, die auf punktförmige Untersuchungen beruhen, die Stellen möglichst identisch oder in der Nähe zu wählen (Chemisch physikalische Erhebungen, Kieselalgen, Makrozoobenthos, Fische, ...).

**Identische Stellen für weitere Methoden?**

## 3 > Beurteilungsverfahren

### 3.1 Generelles

Die Bewertung erfolgt anhand eines Vergleichs der Anforderungen gemäss GSchV, Anhang 2 Ziffern 11 und 12 oder den Zielvorgaben, die im Kapitel 3.2 vorgestellt werden mit einem statistischen Schätzwert, der aufgrund der erhobenen Messwerte berechnet wird. Die Beurteilung der Bewertung und die Planung von Massnahmen zur Behebung der festgestellten Defizite erfolgt ebenfalls gemäss den Vorschriften der GSchV, beispielsweise Artikel 47.

Gewässerschutzverordnung  
Anhang 2 Ziffern 11 und 12

Die Aussagekraft der Messungen ist nicht nur abhängig von der Messfrequenz und der zeitlichen Verteilung der Probenahmezeiten, sondern auch von der Art der Probenahme. Weitere Angaben dazu sind im Anhang A2 dieser Publikation zu finden.

Frachtberechnungen für Parameter, die auch partikulär gebundene Komponenten enthalten, wie TOC, Gesamt-N und Gesamt-P, sind nicht möglich, falls vor allem bei Mittel- und Niedrigwasser gemessen worden ist. Falls die Frachtberechnung ein Ziel ist, muss die Probenahme deshalb vermehrt auch auf Hochwasserereignisse ausgedehnt werden.

Hochwasserereignisse und  
Frachtberechnungen

Als Grobscreening wird in Anhang A4 ein vereinfachtes Verfahren vorgestellt, für Stellen an wenig belasteten Gewässern, die noch nicht oder nur selten beprobt worden sind.

Grobscreening in Anhang A4

### 3.2 Chemisch-physikalische Messgrössen

Die vorliegende Methode macht keine Aussagen zur chemischen Analytik. Die Laboratorien der kantonalen Gewässerschutzfachstellen der Schweiz haben Analysevorschriften für alle nachfolgend erwähnten Parameter ausgearbeitet (<http://www.labeaux.ch/>).

Analysenvorschriften der kantonalen  
Gewässerschutzfachstellen

Speziell zu beachten ist der Unterschied zwischen den numerischen Anforderungen (GSchV Anhang 2 Ziffer 12 Absatz 5), die gesetzlich verbindlich sind, und zusätzlichen, nur in dieser Publikation erwähnten Zielvorgaben (Tab. 1 und Tab. 4) aufgrund verbal formulierter Anforderungen gemäss GSchV Anhang 2 Ziffer 11 und 12 Absatz 1 bis 3. Da es sich bei dieser Publikation um eine Vollzugshilfe handelt, sind diese Zielvorgaben als Empfehlung zu werten. Dies betrifft insbesondere Nitrit und Ammoniak<sup>2</sup> (GSchV Anhang 2 Ziffer 12 Absatz 1):

Zielvorgaben nur als Empfehlung

<sup>2</sup> Entsprechend der Abbildung 1 wurden die Anforderungen an Ammonium (GSchV Anhang 2 Ziffer 12 Absatz 5 Nr. 5 erweitert unter Berücksichtigung des pH-Wertes

«Die Wasserqualität muss so beschaffen sein, dass:

- a. sich in der Gewässersohle keine von bloßem Auge sichtbaren Eisensulfidflecken bilden; besondere natürliche Verhältnisse bleiben vorbehalten;
- b. die Nitrit- und Ammoniak-Konzentrationen die Fortpflanzung und Entwicklung empfindlicher Organismen, wie Salmoniden, nicht beeinträchtigen.»

Für stehende Gewässer wird die Nährstoffkonzentration festgelegt (GSchV Anhang 2 Ziffer 13 Absatz 2): «Der Nährstoffgehalt darf höchstens eine mittlere Produktion von Biomasse zulassen; ...». Gesamt-Phosphor und bioverfügbarer Phosphor sind im Einzugsgebiet belasteter Seen somit zu erheben und zu klassieren. Falls auch Frachtab-schätzungen oder -berechnungen vorgenommen werden sollen, dürfen Hochwasserereignisse nicht vernachlässigt werden, denn erhöhte Partikelfrachten und Entlastungen aus dem Kanalsystem sind bei schnell ansteigendem Abfluss zu erwarten. Die biologische Aktivität der Fließgewässer unterhalb der Seen ist in der Regel nicht phosphorlimitiert. Diese Fließgewässer werden durch höhere P-Gehalte kaum negativ beeinflusst, hier dient Phosphor primär als Indikator für anthropogene Belastungen. Eine Beurteilung der P-Verbindungen unterhalb der Seen ist somit auch nicht unbedingt notwendig.

Verbale Anforderung für Phosphor nur bei stehenden Gewässern

Die **Parameterliste** umfasst:

- > Gesamter Phosphor, unfiltriert (ev. Gesamter Phosphor, filtriert)
- > Ortho-Phosphat
- > Nitrat
- > Nitrit
- > Ammonium
- > Gelöster organischer Kohlenstoff, DOC
- > pH-Wert
- > Temperatur
- > Abflussmenge (ev. geschätzt), zur Charakterisierung der Messstelle (Abfluss im Mittel, bei Hochwasser und bei Trockenwetter)
- > Sauerstoff

Mögliche zusätzliche Parameter (je nach Fragestellung und Einflussfaktoren [siehe Kapitel 3.3.3]):

- > Elektrische Leitfähigkeit (Im Transekt zur Beurteilung der Durchmischung)
- > Chlorid
- > Gesamt-Stickstoff
- > Gesamter organischer Kohlenstoff, TOC
- > Biochemischer Sauerstoffbedarf, BSB<sub>5</sub>
- > Geochemische Parameter, Alkalinität oder Gesamthärte
- > Schwermetalle
- > (Pestizide; bevorzugt in Form von Messkampagnen)

Insbesondere bei geochemischen Parametern, die zwar in Abhängigkeit von Temperatur und Abfluss innerhalb eines Jahres deutlich ändern, über die Jahre aber recht stabil bleiben, darf die Probenahmefrequenz geringer sein als bei den übrigen Parametern. Analoges gilt für die Schwermetalle, da die numerischen Anforderungen – mit Ausnahme von Cu und Zn – in der Wasserphase unserer Gewässer meist eingehalten werden. Diese können somit alle 5 bis 10 Jahre in Form einer Kampagne überprüft werden. Die Untersuchung der Pestizide und anderer organischer Spurenstoffe (Mikroverunreinigungen) wird in Kapitel 1.3 erwähnt (Ergänzung in einer zusätzlichen Methode).

Probenahmefrequenz für geogene Stoffe und Schwermetalle

**Tab. 1 > Zusätzliche numerische Zielvorgaben<sup>3</sup>**

als Ergänzung der Anforderungen nach GSchV, Anhang 2, Ziffer 12, Absatz 5

Zielvorgaben

Inhaltsstoff	Ortho-P	Gesamt-Phosphor Filtr./Unfiltr.	Gesamt-N	Nitrit-N	TOC
[mg/L]	0,04	0,05 / 0,07	7,0	0,05	3,0–5,0

### 3.3 Auswertung und Beurteilung

#### 3.3.1 Schätzwerte

Um eine Bewertung einer Gewässerstelle vornehmen zu können, muss aus den ermittelten Werten auf Basis eines normierten statistischen Verfahrens ein «repräsentativer» Wert oder statistischer Schätzwert errechnet werden. Dieser wird dann in Bezug zur Anforderung gesetzt, wie sie beispielsweise in GSchV, Anhang 2 Ziffer 12 formuliert ist. Der Schätzwert ist eine kritische Grösse. Die Zustandsbeurteilung des Gewässers ist vom dabei angewendeten statistischen Verfahren direkt abhängig. Schätzwerte können sein: Arithmetischer Mittelwert, geometrischer Mittelwert, Median oder andere Perzentile.

Vergleich mit Anforderungen der Gewässerschutzverordnung

Bei der Bestimmung chemischer Parameter ist es häufig schwierig, Fehlmessungen von tatsächlichen Ereignissen zu unterscheiden. Auffällige hohe Werte können alleiniger Hinweis sein für Probleme im Einzugsgebiet. Der Bezug zusätzlicher chemischer und physikalischer Parameter kann bei der Entscheidung helfen, ob Werte verworfen werden sollen; oft ist dies aber trotz fundierter Kenntnis der Einflussfaktoren im Einzugsgebiet nicht eindeutig möglich. Die gebräuchlichen Verfahren zur Bestimmung der Schätzwerte (Mittelwerte, Perzentile) berücksichtigen sehr grosse Werte, «Extremwerte», aber unterschiedlich stark.

Fehlmessungen (Ausreisser)

<sup>3</sup> Da es sich bei dieser Publikation um eine Vollzugshilfe handelt, sind diese zusätzlichen Zielvorgaben als Empfehlung gedacht. Sie sind somit rechtlich nicht verbindlich.

GSchV Anhang 2 Ziffer 12 sieht folgende Ausnahmen vor: besondere natürliche Verhältnisse wie Wasserzufluss aus Mooregebieten, seltene Hochwasserspitzen oder seltene Niederwasserereignisse. Streng genommen sind Schätzwerte nur dann verordnungskonform, wenn die bei deren Berechnung nicht berücksichtigten Extremwerte mit den Ausnahmen nach Ziffer 12 in einen eindeutigen Zusammenhang gebracht werden können. Nur falls die Abflussmengen mit erhoben wurden, ist eine solche Zuordnung auch im Nachhinein möglich. GSchV Anhang 2 Ziffer 12 präzisiert den Begriff «seltene Hochwasserspitzen» nicht. Bei grösseren Regenereignissen, beispielsweise bei stärkeren Sommergewittern, werden Trübstoffe mobilisiert, was grosse Auswirkungen auf die Gehalte der Wasserinhaltsstoffe zur Folge hat. Ist der Trübstoffgehalt sehr gross, müssen solche Ereignisse bereits als Ausnahmesituationen gelten. Gerade sie sind aber bei der Beurteilung beispielsweise der Gesamtposphorfrachten besonders wichtig. «Seltene Niederwasserereignisse» gemäss GSchV sind nach Trockenperioden, die länger dauern als 1 bis 2 Monate (je nach Wasservorrat im Einzugsgebiet) häufig ebenfalls erreicht.

Seltene Hochwasserspitzen oder  
seltene Niederwasserereignisse

Wesentlich bei allen Überlegungen zur Ableitung von Schätzwerten ist die Verteilung der Messwerte, die zur Beurteilung am besten graphisch dargestellt wird, beispielsweise durch Auftragen der Werte in Form von Summenhäufigkeiten. Weitere Angaben über Schätzgrössen empirisch ermittelter Messdaten und Probleme bei deren Ermittlung gibt auch Kapitel 60 des schweizerischen Lebensmittelbuches (Bundesamt für Gesundheitswesen, BAG, 1989).

Perzentile geben an, ab welchem Wert ein bestimmter Prozentsatz der Ergebnisse erreicht oder überschritten wird. Der Median beispielsweise ist der 50. Perzentilwert, d. h. die Hälfte der erhobenen Messwerte sind kleiner oder gleich dem Median. Klar ersichtlich werden die Perzentile beim Auftragen der Summenhäufigkeitsverteilung. Sie eignen sich zur Ermittlung geeigneter Schätzwerte insbesondere bei nicht normal- oder logarithmisch normal verteilten Messwerten besser als die Mittelwerte. Mit den heute verfügbaren Tabellenkalkulationsprogrammen ist die Berechnung einfach möglich; eine Abschätzung der Streubreite der berechneten Werte ist allerdings nicht trivial.

Perzentile, Median

Um die Vergleichbarkeit der Resultate von Fliessgewässeruntersuchungen verschiedener Fachstellen zu verbessern, wird als statistischer Schätzwert generell das 90. Perzentil für mindestens 12 Stichproben vorgeschlagen.

### 3.3.2 Klassierung

In Anlehnung an die EU-Wasser-Rahmenrichtlinie (2000/60/EG) vom 23. Oktober 2000 wird im Modul-Stufen-Konzept eine Einteilung in *fünf Kategorien, resp. Zustandsklassen* vorgenommen:

5 Zustandsklassen

*sehr gut / gut / mässig / unbefriedigend / schlecht*

Die Kategorien, resp. Zustandsklassen werden gemäss Tabelle 2 festgelegt.

**Tab. 2 > Beurteilung der Messwerte, Einteilung in Klassen des chemischen Zustandes**

Beurteilung	Bedingung/Beschreibung		Einhaltung Zielvorgabe
 sehr gut	Der Schätzwert <sup>4</sup> (S) ist kleiner als die halbe Zielvorgabe (Z) <sup>5</sup>	$S < \frac{1}{2} Z$	Zielvorgabe eingehalten
 gut	der Schätzwert (S) ist kleiner als die Zielvorgabe (Z)	$\frac{1}{2} Z \leq S < Z$	
 mässig	der Schätzwert (S) ist kleiner als die eineinhalbfache Zielvorgabe (Z)	$Z \leq S < 1,5 * Z$	Zielvorgabe überschritten (nicht eingehalten)
 unbefriedigend	der Schätzwert (S) ist kleiner als die doppelte Zielvorgabe (Z)	$1,5 * Z \leq S < 2 * Z$	
 schlecht	der Schätzwert (S) ist gleich wie oder grösser als die doppelte Zielvorgabe (Z)	$S \geq 2 * Z$	

Klassierung generell

Im Folgenden werden die Werte für die einzelnen Parameter getrennt dargestellt. Wenn Abweichungen von dem in Tabelle 2 beschriebenen proportionalen Ansatz auftreten, werden diese in einer Fussnote erläutert.

**Tab. 3a > Klassierung des chemischen Zustandes**

Beurteilung	Ortho-P [mg/L P]	Gesamt-P unfiltriert <sup>6</sup> [mg/L P]	Gesamt-P filt. [mg/L P]
 sehr gut	bis < 0,02	Bis < 0,04	bis < 0,025
 gut	0,02 bis < 0,04	0,04 bis < 0,07	0,025 bis < 0,05
 mässig	0,04 bis < 0,06	0,07 bis < 0,10	0,05 bis < 0,075
 unbefriedigend	0,06 bis < 0,08	0,10 bis < 0,14	0,075 bis < 0,10
 schlecht	0,08 und mehr	0,14 und mehr	0,10 und mehr

Klassierung nach Parametern

**Tab. 3b > Klassierung des chemischen Zustandes**

Beurteilung	Nitrit [mg/L N] <sup>7</sup> (< 10 mg/L Cl <sup>-</sup> )	Nitrit [mg/L N] (10 bis 20 mg/L Cl <sup>-</sup> )	Nitrit [mg/L N] (> 20 mg/L Cl <sup>-</sup> )
 sehr gut	bis < 0,01	bis < 0,02	bis < 0,05
 gut	0,01 bis < 0,02	0,02 bis < 0,05	0,05 bis < 0,10
 mässig	0,02 bis < 0,03	0,05 bis < 0,075	0,10 bis < 0,15
 unbefriedigend	0,03 bis < 0,04	0,075 bis < 0,10	0,15 bis < 0,20
 schlecht	0,04 und mehr	0,10 und mehr	0,20 und mehr

<sup>4</sup> Die Wahl eines geeigneten Schätzwertes richtet sich nach der Verteilung der Werte und nach der Fragestellung. Das 90. Perzentil wird als Standard vorgeschlagen.

<sup>5</sup> Zielvorgaben sind hier die numerischen Anforderungen gemäss Anhang 2 GSchV und die zusätzlichen Zielvorgaben nach Tabellen 1 und 4

<sup>6</sup> Bei grossem Anteil an Apatit können die Klassengrenzen entsprechend angepasst werden.

<sup>7</sup> Als Zielvorgabe gelten jeweils die Werte aus Tabelle 4, Anhang 1. Das Kapitel «Parameterabhängige Zielvorgaben», Anhang 3, erläutert das mathematische Vorgehen.

Tab. 3c &gt; Klassierung des chemischen Zustandes

Beurteilung	Ammonium <sup>8</sup> [mg/L N] (> 10 °C oder pH > 9)	Ammonium [mg/L N] (< 10 °C)	Nitrat <sup>9</sup> [mg/L N]
sehr gut	bis < 0,04	bis < 0,08	bis < 1,5
gut	0,04 bis < 0,2	0,08 bis < 0,4	1,5 bis < 5,6
mässig	0,2 bis < 0,3	0,4 bis < 0,6	5,6 bis < 8,4
unbefriedigend	0,3 bis < 0,4	0,6 bis < 0,8	8,4 bis < 11,2
schlecht	0,4 und mehr	0,8 und mehr	11,2 und mehr

Tab. 3d &gt; Klassierung des chemischen Zustandes

Beurteilung	Gesamt-N [mg/L N]	BSB <sub>5</sub> <sup>10</sup> [mg/L O <sub>2</sub> ]	DOC <sup>11</sup> [mg/L C]	TOC <sup>15</sup> [mg/L C]
sehr gut	bis < 2,0	bis < 2,0	bis < 2,0	Bis < 2,5
gut	2,0 bis < 7,0	2,0 bis < 4,0	2,0 bis < 4,0	2,5 bis < 5,0
mässig	7,0 bis < 10,5	4,0 bis < 6,0	4,0 bis < 6,0	5,0 bis < 7,5
unbefriedigend	10,5 bis < 14,0	6,0 bis < 8,0	6,0 bis < 8,0	7,5 bis < 10,0
schlecht	14,0 und mehr	8,0 und mehr	8,0 und mehr	10,0 und mehr

### 3.4 Koordinierte Beobachtung der Oberflächengewässer

Das Projekt «Koordinierte Beobachtung der Oberflächengewässer» der KVV und des BAFU will die Vergleichbarkeit von Erhebungen über grössere Gebiete verbessern und antwortet daher auf bestimmte Fragestellungen mit koordinierten Konzepten. Für die Erhebungen der in Kapitel 3.2 beschriebenen chemischen Messgrössen werden 12 Stichproben pro Jahr als Erhebungsstandard vorgegeben, dies soll die Vergleichbarkeit über die Kantons Grenzen hinaus fördern. Falls nicht eine spezifische Fragestellung eine spezielle Probenahmezeit erfordert, soll soweit möglich auf eine zufällige zeitliche Verteilung der Probenahmen (Tageszeit, Wochentage) geachtet werden.

Vergleichbarkeit der Erhebungen  
verschiedener Fachstellen

<sup>8</sup> Ammonium umfasst die Summe von NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N und NH<sub>3</sub>-N. Bei Temperaturen über 10 °C oder pH-Werten über 9 werden wegen der Protolyse von NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N und der Erhöhung des Ammoniakanteiles deshalb verschärfte Kriterien angewendet. Längerfristige Ammoniak-Konzentrationen ab 0.008 mg/L N können für Eier und Brut von Edeffischen toxisch sein; 0.02 mg/L N sollten nicht überschritten werden. Das Kapitel «Parameterabhängige Zielvorgaben», Anhang 3, erläutert das mathematische Vorgehen. Wenn die Temperatur nicht bestimmt worden ist, gelten die verschärften Kriterien. Wenn der pH-Wert nicht bestimmt worden ist, wird nur die Temperatur berücksichtigt.

<sup>9</sup> Für Nitrat wurde die Klassengrenze zwischen «sehr gut» und «gut» aufgrund ökologischer Überlegungen gemäss GSchV Anhang 1 Ziffer 1 Absatz 3c auf 1.5 mg/L N reduziert und weicht somit von einem proportionalen Ansatz ab; die Anforderung GSchV, Anhang 2 Ziffer 12 von 5.6 mg/L N orientiert sich an der Trinkwassernutzung. Mit einem proportionalen Ansatz wäre die Klassengrenze für «sehr gut» 1 mg/L N. Die natürliche Hintergrundbelastung ist aber noch kleiner.

<sup>10</sup> In natürlicherweise wenig verschmutzten Gewässern kann auch strenger bewertet werden. Die Gewässerschutzverordnung trägt dem durch einen Anforderungsbereich von 2 bis 4 mg/L O<sub>2</sub> Rechnung. Bei günstigen Randbedingungen sind deshalb entsprechend kleinere Werte einzusetzen – für die einzelnen Beurteilungsklassen proportional.

<sup>11</sup> In Abflüssen von Mooren und Seen finden sich erhöhte DOC-Konzentrationen natürlichen Ursprungs. Im Herbst kann der DOC/TOC-Gehalt auch durch den Abbau des in die Gewässer gelangten Laubes erhöht sein. Die Gewässerschutzverordnung trägt dem durch einen Anforderungsbereich von 1 bis 4 mg/L DOC Rechnung. Deshalb wird für TOC ein Bereich von 2 bis 5 mg/L TOC vorgeschlagen. Bei günstigen Randbedingungen sind deshalb entsprechend kleinere Werte einzusetzen – für die einzelnen Beurteilungsklassen proportional.

## > Anhang

### A1 Charakterisierung der Messgrößen

#### A1-1 Bemerkungen zu den einzelnen Messgrößen

Phosphor gelangt diffus aus der Landwirtschaft und punktuell über Abwassereinleitungen und Regenüberläufe in die Gewässer. Der Ausbau der Abwasserreinigung und das 1986 in Kraft getretene Phosphatverbot in Textilwaschmitteln haben zu einer Reduktion des Phosphateintrages in die Oberflächengewässer geführt.

Gesamt-Phosphor ( $P_{\text{tot}}$ )

Phosphor ist essentieller Nährstoff für Wasserorganismen. Da er natürlicherweise nur in geringen Mengen in Gewässersysteme gelangt, ist die Zufuhr aus anthropogenen Quellen bestimmend für das Ausmass des aquatischen Pflanzenwachstums. Sollen für die Beurteilung Anhaltspunkte über die Herkunft des Phosphors gewonnen werden, ist der Gesamt-Phosphor in der filtrierten und unfiltrierten Probe zu bestimmen. Für Seen sind der Gesamtphosphor im Filtrat in den Zuflüssen und der Gesamtphosphor roh (unfiltriert) im Ablauf direkt einleitender Abwasserreinigungsanlagen massgebend. Im Filtrat finden sich anorganische und organische Phosphate: Orthophosphat, Polyphosphat (z. B. aus Reinigungsmitteln, Geschirrspülmitteln), organischer Phosphor pflanzlicher und tierischer Herkunft und organischer Phosphor aus Reinigungsmitteln (Phosphonate). Ungelöste Phosphorverbindungen im Filtrerrückstand stammen aus biologischem Material (z. B. Algen) oder es handelt sich um partikuläre Phosphorverbindungen aus der Erosion des Bodens oder der Verwitterung der Gesteine (z. B. Apatit, welches nicht direkt bioverfügbar ist).

Phosphor als limitierender Wachstumsfaktor

Es gibt in der GSchV nur verbale Anforderungen an stehende Gewässer und numerische Anforderungen an Emissionen. Der Vorschlag einer Zielvorgabe<sup>12</sup> macht deshalb oberhalb von Seen Sinn. Fließgewässer unterhalb der Seen werden durch höhere P-Gehalte kaum negativ beeinflusst, hier dient Phosphor primär als Indikator für anthropogene Belastungen: 0,07 mg/L P unfiltriert; bei grossem Apatitanteil kann dieser Wert entsprechend höher angesetzt werden und muss dann aber durch Messungen des gesamten, gelösten Phosphors in der filtrierten Probe (Zielvorgabe: 0,05 mg/L P) ergänzt werden.

Keine gesetzlichen Anforderungen für Fließgewässer

Gesamt-P (unfiltriert) ist wichtig für Frachtberechnungen. Dabei sind vermehrt auch Gehalte bei hohen Abflusswerten zu berücksichtigen (siehe Anhang A2).

Die biologische Aktivität der Fließgewässer unterhalb der Seen ist in der Regel nicht phosphorlimitiert. Diese Fließgewässer werden durch höhere P-Gehalte kaum oder allenfalls in sehr langsam fließenden Flussabschnitten negativ beeinflusst; hier dient

<sup>12</sup> Da es sich bei dieser Publikation um eine Vollzugshilfe handelt, sind diese Zielvorgaben als Empfehlung gedacht; sie sind in den Anforderungen an die Wasserqualität gemäss GSchV Anhang 2 Ziffer 12 in dieser Form nicht enthalten.

Phosphor somit primär als Indikator für anthropogene Belastungen. Somit liegt es im Ermessensspielraum der kantonalen Gewässerschutzfachstellen, unterhalb der Seen die Zielvorgaben bezüglich Phosphor und Orthophosphat anzupassen oder auf eine Beurteilung zu verzichten.

Orthophosphat stellt die für Pflanzen physiologisch direkt wirksame Phosphorkomponente dar und ist ein Indikator für die anthropogene Belastung eines Gewässers. (Keine Anforderung in GSchV; Vorschlag einer Zielvorgabe: 0,04 mg/L P).

Orthophosphat (PO<sub>4</sub>-P)

Für Abwasserreinigungsanlagen, unterhalb der Seen, welche nicht im Einzugsgebiet des Rheins liegen oder unter 10000 EW belastet sind, gibt es keine Anforderungen für Phosphor. Nach guter Nachklärung liegt Phosphor im ARA-Auslauf vor allem als gelöste Fraktion vor. Wenn das Verdünnungsverhältnis in einem Vorfluter nur 1:10 beträgt, kann es vorkommen, dass die Konzentration an Orthophosphat grösser wird als die obengenannte Zielvorgabe, obwohl die betreffende Abwasserreinigungsanlage die Anforderungen der Gewässerschutzverordnung einhält. Die Zielvorgaben dieser Publikation sind, soweit sie mit den Anforderungen gemäss GSchV Anhang 2 Ziffer 12 nicht übereinstimmen, gesetzlich nicht verbindlich.

Gesamt-Stickstoff als Summe aller Stickstoffparameter wird immer öfters als Ergänzung oder auch als Ersatz für Nitrat gemessen. Durch die Erfassung von Gesamt-Stickstoff werden organische und partikuläre Stickstoffanteile erfasst. Partikulärer Stickstoff umfasst im wesentlichen organisches Material.

Gesamt-Stickstoff (N<sub>tot</sub>)

Wenn Gesamt-Stickstoff direkt ermittelt wird, kann auf die kompliziertere Messung des Kjeldahl-Stickstoffes verzichtet werden, der bisher zusammen mit den Nitrat- und Nitritgehalten die rechnerische Ermittlung des Gesamt-Stickstoffes ermöglichte. (Keine Anforderung in GSchV; Vorschlag einer Zielvorgabe: 7 mg/L N. Ein ökologisch begründeter Wert würde bei 3 bis 4 mg/L N liegen. Die Anforderung für Nitrat gemäss GSchV Anhang 2 Ziffer 12 verhindert dies.)

Stickstoff ist essentieller Nährstoff für Wasserorganismen und wird von den Pflanzen insbesondere über Nitrat aufgenommen. Der grösste Teil des anorganischen Stickstoffs liegt in Gewässern in Form von Nitrat vor. Eine Limitierung des Algen- und Pflanzenwachstums wegen geringen Nitratkonzentrationen ist für schweizerische Fliessgewässer die Ausnahme. Negative Auswirkungen auf die Lebensgemeinschaften in Oberflächengewässern durch Nitratgehalte unter 10 mg/L N werden nicht beobachtet. Nur falls Nitrat unter Sauerstoffmangel als Elektronenakzeptor (Oxidationsmittel) dient, können reduzierte Stickstoffverbindungen gebildet werden, die ihrerseits toxisch sind: Nitrit und Ammonium. Nitratgehalte über 1,5 mg/L N lassen meist auf Abschwemmung und Auswaschung von landwirtschaftlich genutzten Flächen und auch auf die Einleitung von kommunalen Abwässern schliessen. Die Anforderungen in der GSchV Anhang 2 Ziffer 12 an Gewässer, die der Trinkwassernutzung dienen, beträgt 5,6 mg/L N. Eine rein ökologisch orientierte Zielvorgabe (Nitrat als Indikator für Belastungen) gemäss GSchV Anhang 1 Ziffer 1 Absatz 3c müsste tiefer angesetzt werden, beispielsweise auf 2 mg/L N. Deshalb wurde die Klassengrenze zwischen «sehr gut» und «gut» in Abweichung von einem proportionalen Ansatz auf 1,5 mg/L N reduziert. Der Nitratgehalt des

Nitrat (NO<sub>3</sub>-N)

Wassers, welches aus den Wäldern des Mittellandes exfiltriert, liegt bei 1 mg/L N und wird beeinflusst durch die Deposition von Stickstoffverbindungen aus der Atmosphäre. Die Gehalte in Seen und Seeausflüssen sind wegen den Denitrifikationsprozessen in Seen häufig nur etwa halb so gross. Die natürliche Hintergrundbelastung läge aber noch einmal deutlich tiefer, bei etwa 0,5 mg/l N im Mittelland und 0,2 mg/l N in alpinen Gebieten.

Nitrit ist biochemisch labil. Werden Proben in Flaschen abgefüllt und in einem Labor analysiert, ist mit einem substanziellen biologischen Abbau während des Transportes ins Labor zu rechnen. Bei hohen Ammonium-Werten in der Flasche kann über die Nitrifikation auch Nitrit erzeugt werden. Die Proben sollten deshalb kurze Zeit nach der Probenahme analysiert oder zumindest filtriert werden. Auf eine angemessene Kühlung (<4 °C) nach der Probenahme und dem Transport ist zu achten. Die GSchV beschreibt nur verbale Anforderungen an den Nitritgehalt.

Nitrit (NO<sub>2</sub>-N)

Nitrite sind stark fischgiftig, insbesondere für Salmoniden. Erhöhte Nitritkonzentrationen können bei der biologischen Umsetzung von Ammonium zu Nitrat entstehen oder unter anaeroben Bedingungen bei der Denitrifikation von Nitrat zu gasförmigen N<sub>2</sub>O oder N<sub>2</sub>.

Fischtoxisches Nitrit

Die Messung des Nitrits ist angezeigt in Fischgewässern (Salmoniden- oder Laichgewässern) bei Ammoniumkonzentrationen über 0,2 mg/L. Da die Toxizität des Nitrits von der Chloridkonzentration abhängig ist, sollte diese ebenfalls bestimmt werden. Vorschlag für die Beurteilung der Nitritgehalte in Abhängigkeit des Chloridgehaltes:

**Tab. 4 > Zielvorgaben für Nitrit in Salmonidengewässern<sup>13</sup>**

Chloridgehalt [mg/L Cl <sup>-</sup> ]	Zielvorgabe [mg/L NO <sub>2</sub> -N]
< 10	0,02
10–20	0,05
> 20	0,10

Das rechnerische Vorgehen zur Herleitung eines Schätzwertes unter Berücksichtigung wechselnder Zielvorgaben wird in «Parameterabhängige Zielvorgaben», Anhang A3 erläutert.

Die Ammoniumkonzentrationen geben Aufschluss über die Belastung eines Gewässers durch kommunale Abwässer und durch Einträge aus Abschwemmung und Auswaschung landwirtschaftlich genutzter Gebiete.

Ammoniak/Ammonium  
(NH<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N)

Ammonium ist chemisch nicht sehr stabil. Werden Proben in Flaschen abgefüllt und in einem Labor analysiert, ist über die Nitrifikation insbesondere bei kleineren Ammonium-Gehalten mit einem substantiellen biologischen Abbau während des Transportes ins Labor zu rechnen. Auf eine angemessene Kühlung (<4 °C) bei der Probenahme und dem Transport ist zu achten.

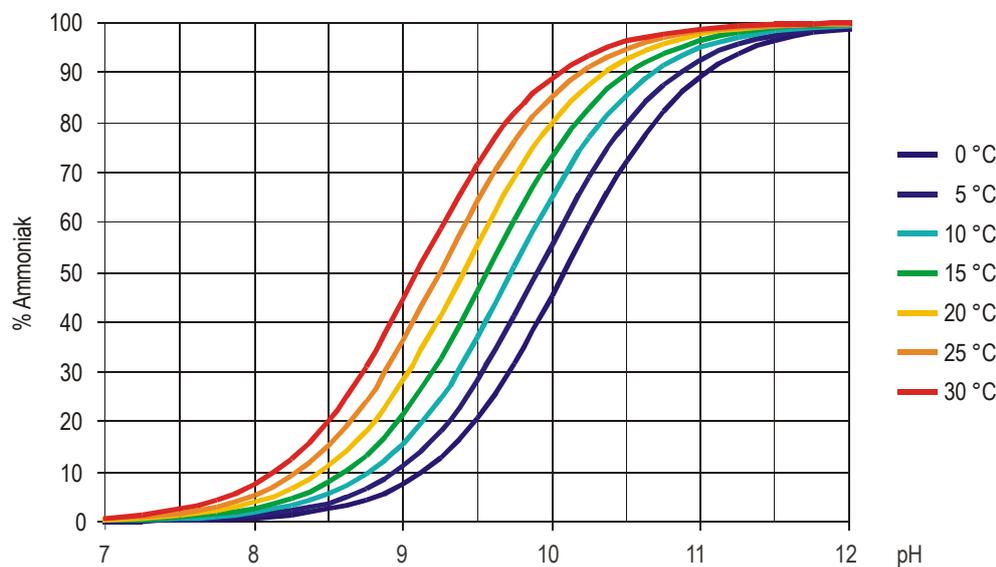
Die analytische Bestimmung von Ammonium und die rechnerische Ermittlung von Ammoniak sollte bei pH-Werten über 9 oder Temperaturen über 10 °C routinemässig durchgeführt werden. Bei diesen Bedingungen wird das Ammoniak/Ammonium-Gleichgewicht zugunsten des fischtoxischen Ammoniaks verschoben<sup>13,14</sup>. Sind beide Bedingungen erfüllt, liegt der Ammoniak-Anteil bereits über 15 % (siehe Abb. 1). Das rechnerische Vorgehen zur Herleitung eines Schätzwertes unter Berücksichtigung wechselnder Zielvorgaben wird in «Parameterabhängige Zielvorgaben», Anhang A3 erläutert.

Fischtoxischer Ammoniak

Bei kleinen, stark belasteten Gewässern können gelegentlich unzulässig grosse Ammonium- bzw. Ammoniakkonzentrationen festgestellt werden. Besonders gefährdet sind auch langsam fliessende Gewässerabschnitte, deren Ufer keinen Schutz vor Sonneneinstrahlung bieten und die eine grössere Primärproduktion aufweisen (Algenrasen, dichte Makrophytenbestände). Eine grosse Photosyntheserate und der dadurch bedingte grössere Entzug von Kohlendioxid und Hydrogenkarbonat erhöht die Hydroxidkonzentration (OH<sup>-</sup>) und kann lokal zu pH-Werten über 9 führen.

Photosynthese und Ammoniak-Konzentrationen

**Abb. 1 > Prozentuale Verteilung von Ammoniak/Ammonium abhängig vom pH-Wert; bei verschiedenen Temperaturen**



Die Anforderungen in der GSchV sind abhängig von der Temperatur. Wenn die Temperatur nicht bekannt ist, ist der strengere Wert zu nehmen.

Wegen des grossen Dynamikumfangs wurde die Klassengrenze zwischen «sehr gut» und «gut» in Abweichung von einem proportionalen Ansatz auf 0,04 resp. auf 0,08 mg/L N reduziert.

<sup>13</sup>  $NH_3[\%] = 100 / (10^{pKa - pH} + 1)$  wobei  $pKa = 0.09018 + 2729.92 / T[K]$  (EMERSON et al., 1975)

<sup>14</sup> Längerfristige Ammoniak-Konzentrationen ab 0.008 mg/L N können für Eier und Brut von Edelfischen toxisch sein; 0.02 mg/L N sollten nicht überschritten werden.

Der gelöste organische Kohlenstoff (DOC = dissolved organic carbon) kann ein Indikator für die zivilisatorische Belastung eines Gewässers sein. Eine Temperatur- oder Abflussabhängigkeit ist beim DOC nur selten ersichtlich. Es ist zu beachten, dass sich der DOC aus einem natürlicherweise vorhandenen und einem zivilisatorisch bedingten Anteil zusammensetzt. Flüsse aus alpinen Gebieten weisen meistens niedrige DOC Werte auf ( $< 1 \text{ mg/l C}$ ). DOC kommt in Fliessgewässern natürlicherweise als Folge des Abbaus von organischem Material und der Auswaschung aus Böden im Einzugsgebiet vor. Erhöhte DOC-Konzentrationen finden sich auch in Abflüssen von eutrophierten Seen oder von Mooren. Im Herbst kann der DOC-Gehalt auch durch den Abbau des in die Gewässer gelangten Laubes erhöht sein. Grössere DOC-Gehalte können somit rein natürliche Ursachen haben. Die Gewässerschutzverordnung versucht dem durch einen Anforderungsbereich an den DOC von 1 bis 4 mg/L C Rechnung zu tragen. Schlecht abbaubare DOC-Gehalte natürlichen Ursprungs können aber auch wesentlich höhere Werte erreichen ohne dabei den Gewässerzustand negativ zu beeinflussen. Zwischen der Zusammensetzung der Biozönose und der leicht abbaubaren – meist anthropogen bedingten – Fraktion des DOC besteht häufig ein Zusammenhang: Bereits 1,0 mg/l C des leicht abbaubaren DOC reichen beispielsweise aus für eine Zunahme des Bewuchses mit Sphaerotilus. Entscheidend für eine Beurteilung ist somit der häufig viel kleinere Anteil der abbaubaren, anthropogen bedingten Fraktion. Wenn der natürliche Anteil gross oder weitgehend unbekannt ist, wird somit die Einteilung in eine Beurteilungsklasse problematisch.

**Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)**

Der gesamte organische Kohlenstoff (TOC = total organic carbon) umfasst nebst dem DOC auch partikulär gebundene, organische Kohlenstoffanteile, die insbesondere bei Regenereignissen durch das Ansprechen der Regenentlastungen bei Abwasserreinigungsanlagen, durch Abschwemmung von organischen Düngemitteln und durch die Erosion des Bodens in die Gewässer gelangen. Bei Hochwasser werden zudem vermehrt auch die in den Gewässern selbst produzierten Aufwuchsorganismen abgeschwemmt und tragen zur TOC-Fracht bei. Bei Frachtberechnungen müssen deshalb auch Gehalte bei hohen Abflusswerten bestimmt werden. Anforderungen an den TOC-Gehalt müssen ebenso flexibel formuliert werden wie beim DOC. Keine Anforderung in GSchV; Vorschlag einer Zielvorgabe<sup>13</sup>: 3 bis 5 mg/L C. Die unter DOC erwähnten Probleme und Einschränkungen gelten noch deutlicher auch für den TOC.

**Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)**

Der biochemische Sauerstoffbedarf ist ein Mass für den Sauerstoffverbrauch durch biologische Abbauvorgänge innerhalb einer festgelegten Zeit, beispielsweise innerhalb von 5 Tagen (BSB<sub>5</sub>). Sauerstoffzehrende Substanzen umfassen u.a.: Organischer Kohlenstoff, Ammoniak, Nitrit, Schwefelwasserstoff und andere reduzierte Substanzen. Es werden vor allem leicht abbaubare Stoffe erfasst.

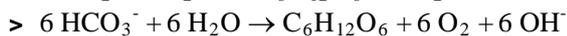
**Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB<sub>5</sub>)**

Innerhalb der Gewässer ist der Abbau sauerstoffzehrender Substanzen stark von deren Morphologie, der Hydrologie und von der Wassertemperatur abhängig. Empfindlich sind langsam fliessende oder tiefe Gewässer (Flussstau). Bleibt abgelagertes organisches Material liegen, kann die Sauerstoffzehrung in Sohlennähe und in der Sohle so gross werden, dass anaerobe Verhältnisse auftreten und reduzierte Substanzen entstehen, wie Nitrit oder eventuell sogar Ammonium, Methan und Schwefelwasserstoff. (Anforderung gemäss GSchV: 2 bis 4 mg/L O<sub>2</sub>).

Bei kalten Gewässern kann der Abbau natürlicher Substanzen (Abschwemmungen von Aufwuchsorganismen oder Einträge von Fallaub) ebenfalls vermindert sein.

Der pH-Wert eines Gewässers wird hauptsächlich durch die Kalk-Kohlensäuregleichgewichte und die geochemischen Verhältnisse im Einzugsgebiet bestimmt. In kalkreichen Einzugsgebieten ist die Pufferkapazität des Wassers hoch und der pH liegt bei ca. 8,3. Weitere Einflussfaktoren des pH-Wertes sind die Temperatur und biologische Prozesse wie beispielsweise die Photosynthese und der Abbau von organischem Material. Mit zunehmender Temperatur nimmt die Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  ab, wodurch sich der pH-Wert erhöht. Umgekehrt nimmt bei tiefen Temperaturen die Löslichkeit des  $\text{CO}_2$  zu, was zu einer Erniedrigung des pH-Wertes führt. Bei der Photosynthese wird dem Wasser  $\text{CO}_2$  und  $\text{HCO}_3^-$  entzogen, wodurch der pH-Wert steigt.

pH-Wert



Beim aeroben Abbau von organischem Material wird  $\text{CO}_2$  freigesetzt, was zu einem Absinken des pH-Wertes führt. Die unterschiedliche Herkunft des Wassers hat ebenfalls einen Einfluss auf den pH-Wert. Beispielsweise enthält Grundwasser meistens mehr gelöstes  $\text{CO}_2$  als Oberflächenwasser und weist dadurch tiefere pH-Werte auf.

Die Jahresganglinie des pH-Wertes (Tagesmittel) in Fließgewässern verläuft sinusähnlich, was auf die Temperaturabhängigkeit des pH-Wertes und auf die biologischen Prozesse zurückzuführen ist. Wie bei der Temperatur ist auch beim pH-Wert ein Tagesgang überlagert. Bei Fließgewässern, denen eutrophe Seen vorgelagert sind, sind diese Ganglinien besonders ausgeprägt, weil die im See ablaufenden biologischen Prozesse (Photosynthese, Respiration) diejenigen der Fließgewässer zusätzlich verstärken.

Abwassereinleitungen bewirken meist auch eine Erniedrigung des pH-Wertes, weil durch das im Abwasser vorhandene organische Material eine erhöhte mikrobielle Abbautätigkeit ausgelöst wird. Dadurch steigt die  $\text{CO}_2$ -Produktion, was wiederum ein Absinken des pH-Wertes zur Folge hat. Andererseits senken Säureinträge aus Industrie und Gewerbe den pH-Wert in einem Vorfluter. Ebenfalls bewirkt das zur Phosphatfällung eingesetzte Eisenchlorid ( $\text{FeCl}_3$ ) und die Nitrifikation des Ammoniums eine Erniedrigung des pH-Wertes. Sowohl der Jahresgang wie auch der Tagesgang der pH-Werte kann durch periodisch anfallendes Abwasser dermassen beeinflusst werden, dass der sinusähnliche Verlauf nur noch schwach oder gar nicht mehr erkennbar ist.

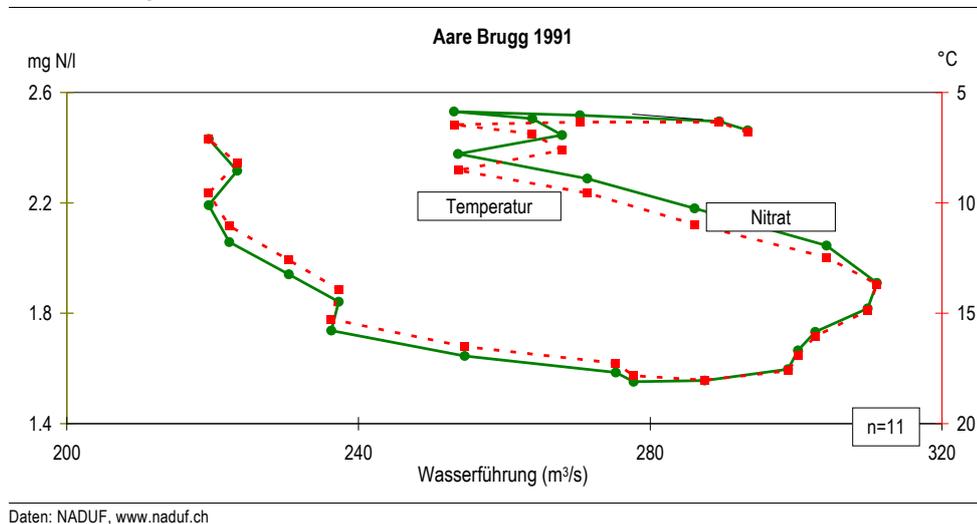
Als Folge von Abwassereinleitungen ergeben sich, vor allem auf der Alpennordseite mit genügend grossen Wasserhärten, in der Regel keine nachteiligen pH-Werte. Werte unter 5 begünstigen die Verwitterung beispielsweise von Tonmineralien und können zu erhöhten Gehalten an toxischen Aluminiumverbindungen führen. Werte über 9 begünstigen die Dissoziation von Ammonium und somit die Bildung von Ammoniak. Die pH-Werte sollten deshalb im Bereich von 6,5 bis 8,5 liegen. Kritisch kann der pH-Wert bei erhöhter pflanzlicher Produktion werden, insbesondere in langsam fließenden Gewässerschnitten, deren Ufer keinen Schutz vor Sonneneinstrahlung bieten. Der pH-Wert

ist ein logarithmisches Mass und kann nicht gemäss dem in Kapitel 3.3.3 geschilderten Vorgehen beurteilt und klassiert werden. In der Gewässerschutzverordnung wird der pH-Wert in Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 2d verbal geregelt.

Die Temperatur ist einer der physikalischen Schlüsselparameter, welche die chemischen und vor allem die biologischen Prozesse in einem Fließgewässer mitbestimmen. Dies zeigt sich beispielsweise beim Nitrat, welches offenbar von der biologischen Aktivität der Böden (Denitrifikation) stark beeinflusst wird (siehe Abb. 2).

Temperatur (T)

Abb. 2 > Temperatur und Nitrat und Abfluss



Das Jahres-Temperaturregime (Tagesmitteltemperaturen) eines Fließgewässers weist einen asymmetrischen sinusähnlichen Verlauf auf, welcher um einige Wochen verzögert der Kurve der mittleren Lufttemperatur folgt, wobei der Temperaturanstieg meist langsamer ist als der Temperaturabfall. Ein grosser Grundwasseranteil kann dabei eine zeitliche Verschiebung und Verzerrung der Kurve bewirken. Diesem Jahresgang ist ein Tagestemperaturgang überlagert, welcher von der Distanz zur Quelle abhängt. Im Quellbereich sind die Variationen klein und weitgehend parallel zur Temperaturentwicklung der Umgebung. Im Mittellauf sind die zeitlichen Schwankungen maximal und ziemlich asymmetrisch. Das Tagesminimum wird zwischen 6 und 8 Uhr morgens, das Tagesmaximum zwischen 15 und 18 Uhr gemessen. Im Unterlauf werden die Temperaturverhältnisse wieder ausgeglichener. Es empfiehlt sich, bei der Entnahme von 24-stündigen Sammelpunkten die Minimal- und Maximaltemperaturen zu erfassen. Der Einsatz von kostengünstigen Datenloggern mit integrierten Temperaturfühlern ist zu erwägen. Erhebungen mit 12 Stichproben pro Jahr dienen vor allem der Beurteilung des Ammoniums und liefern in Gewässern mit starkem Tagesgang aus statistischen Gründen keine solide Grundlage für die Beurteilung ökologischer Effekte.

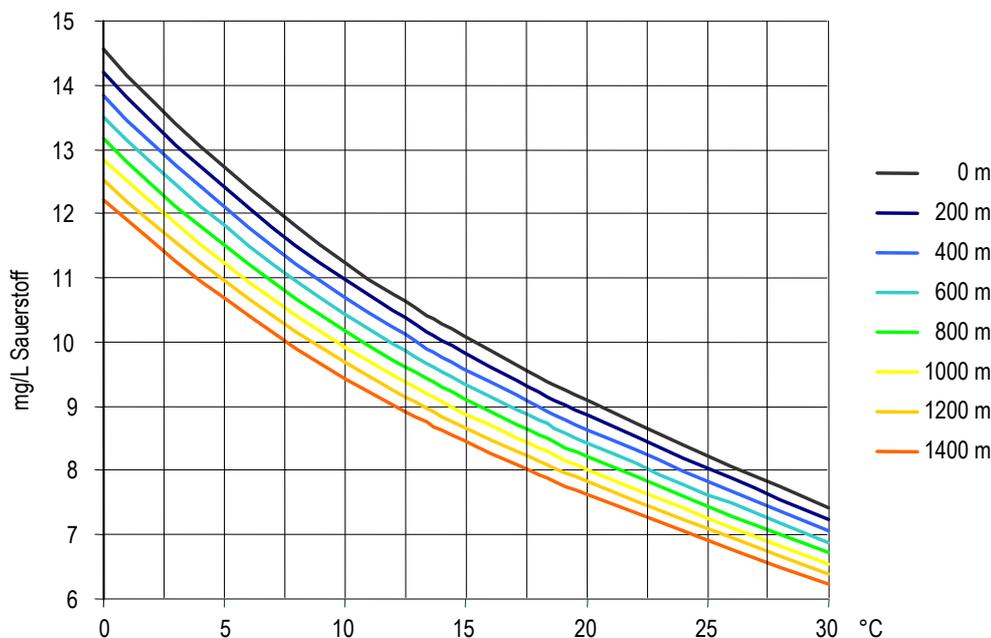
Jede gravierende Änderung eines der Aspekte des Temperaturregimes beeinflusst die standorttypische Artenverteilung deutlich. Als Folge von Eingriffen soll die Grösse der Temperaturamplituden und die zeitliche Lage der Minima und Maxima deshalb nicht wesentlich verändert werden. Gemäss GSchV darf eine künstliche Veränderung der Temperaturen 3 °C (1,5 °C in der Forellenregion) nicht übersteigen und maximal 25 °C dürfen nicht überschritten werden. Diese Anforderungen werden in den meisten Fällen eingehalten. In den letzten 40 Jahren haben nun aber die Jahresmittel der durchschnittlichen Temperatur in den Mittellandgewässern – abhängig vom Vergletscherungsanteil im Einzugsgebiet – um 1 bis 2,5 °C zugenommen. Wenn die mittlere Julitemperatur über 22 °C liegt, kann es Salmoniden, wie den Bachforellen und Äschen, bereits zu warm werden, und sie meiden solche Gewässer; die Temperaturgrenze für das Überleben der Fischeier von Salmoniden liegt aber mit max. 15 °C tiefer. Die Fischsterben im August 2003 haben deutlich gemacht, wie eng die Temperaturgrenzen für Fische sind. Die Temperatur wird deshalb für die Charakterisierung der Gewässer zunehmend wichtig, sie ist aber von vielen Einflussfaktoren abhängig. Die Charakterisierung und Beurteilung der Gewässer anhand der Temperatur sprengt den Rahmen dieses Moduls. Es wird diskutiert, ob dafür ein eigenständiges Modul erarbeitet werden soll.

Das in Kapitel 3.3.3 geschilderte Vorgehen zur Beurteilung und Klassierung ist auf chemische Parameter ausgerichtet. Physikalische Parameter werden zwar miteingefasst, da sie für das Gesamtverständnis der Vorgänge in einem Gewässer und für die Klassierung des Ammoniums wichtig sind, sie werden aber nicht klassiert.

Die Sauerstoffkonzentration in einem Fliessgewässer wird durch die temperaturabhängige Löslichkeit des Sauerstoffes, den Gasaustausch zwischen Wasser und Atmosphäre sowie durch die Photosynthese, Respiration und Mineralisation organischer Stoffe bestimmt. Dabei nimmt die Löslichkeit von Sauerstoff mit zunehmender Temperatur ab (siehe Abb. 3). Der Gasaustausch zwischen Wasser und Atmosphäre ist einerseits abhängig von der Wiederbelüftungsrate, welche zunimmt, je turbulenter die Wasserbewegung ist. Andererseits wird der Gasaustausch umso grösser, je grösser die Differenz zwischen der Konzentration im Wasser und der Sättigungskonzentration ist. Die Photosyntheseaktivität nimmt mit zunehmenden Nährstoffeinträgen infolge von Abwassereinleitungen und Abschwemmungen aus landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten zu, weil damit leicht verfügbare Nährstoffe in die Gewässer gelangen. Dies führt dazu, dass die Primärproduktion und Respiration erhöht werden kann und dadurch die Tagesschwankungen der Sauerstoffkonzentrationen ebenfalls grösser werden. Die Mineralisation nimmt zu, je grösser die Zufuhr organischer Stoffe wird.

Sauerstoff (O<sub>2</sub>)

**Abb. 3** > Konzentrationswert [mg/L O<sub>2</sub>] für die Sauerstoffsättigung (100%) als Funktion der Temperatur und der Höhe ü.M.



Wegen der temperaturabhängigen Löslichkeit des Sauerstoffes verläuft die Jahresganglinie der Sauerstoffkonzentrationen sinusähnlich mit tieferen Konzentrationen im Sommer und höheren Konzentrationen im Winter. Die Tagesganglinien, welche dieser Jahresganglinie überlagert sind werden stark von den biologischen Prozessen beeinflusst und sind umso ausgeprägter, je grösser die biologische Aktivität in einem Gewässer ist. Das Sauerstoffminimum wird in der Regel am Ende der Nacht beobachtet. In stark belasteten Gewässern nimmt die Ausprägung der Tagesganglinien als Folge der Selbstreinigung der Fließgewässer mit zunehmender Fließstrecke ab.

Sauerstoff ist in grösseren Fließgewässern in der Regel kein Problemparameter. Die Bestimmung von Sauerstoff bei Stichproben ist nicht trivial. Insbesondere bei der Erhebung von Sammelproben ist das Aufstellen einer Sauerstoffsonde mit Datenlogger zu erwägen, denn damit würden die Sauerstoffminima korrekt erfasst. In der Gewässerschutzverordnung wird der Sauerstoffgehalt in Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 2d verbal geregelt.

Die elektrische Leitfähigkeit als Indikator für den Gehalt an gelösten Salzen ist ohne grossen Aufwand messbar. Bestimmend sind insbesondere die geogenen Salze, zu welchen man alle jene gelösten Substanzen zählt, die aus der Gesteinsverwitterung stammen. In erster Linie ist es die Wasserhärte (Calcium, Magnesium, Bikarbonat), welche die elektrische Leitfähigkeit beeinflusst. Zu den anthropogenen Parametern, welche die el. Leitfähigkeit mitbestimmen, zählen v. a. die klassischen Nährstoffparameter wie Nitrat, Nitrit, Ammonium und Phosphat wie auch Salze aus Ionenaus-

Elektrische Leitfähigkeit (κ<sub>25</sub>)

tauschern, Strassenunterhalt im Winter und Fällungsmittel in Abwasserreinigungsanlagen (Natrium, Chlorid, usw.).

Weil die elektrische Leitfähigkeit, wie der pH, vom Kalk-Kohlensäuregleichgewicht beeinflusst wird, ist sie sowohl von der Temperatur als auch von den biologischen Prozessen abhängig. Die Jahresganglinie der elektrischen Leitfähigkeit verläuft deshalb ebenfalls weitgehend sinusförmig, wobei die Werte im Sommer aufgrund der geringeren Löslichkeit der Ionen und der höheren Bioaktivität tiefer sind als im Winter. Bei Seeausflüssen wird dieser Effekt durch die Primärproduktion im See und der dabei induzierten biogenen Kalzitfällung zusätzlich verstärkt, was zu noch ausgeprägteren täglichen Schwankungen führt.

Für die Messung sind auch tragbare, batteriebetriebene Geräte mit eingebauter Temperaturkompensation erhältlich. Sprunghafte Leitfähigkeitsänderungen sind im Längsverlauf häufig Hinweis auf punktförmige Belastungsquellen oder Einleitungen, im Querverlauf Hinweis auf Abwasserfahnen oder auf unvollständige Durchmischung. Die elektrische Leitfähigkeit ist nicht direkt proportional zum Salzgehalt, da neben der Zusammensetzung auch die Ionenbeweglichkeit und die Komplexbildung eine Rolle spielen; sie kann somit nicht gemäss dem in Kapitel 3.3.2 geschilderten Vorgehen klassiert werden.

Chlorid kommt als geogener Parameter in kleineren Konzentrationen (2 bis 4 mg/L Cl<sup>-</sup>) natürlicherweise in den Gewässern vor. Im Mittelland liegt der geogene Anteil der Chloridfrachten unter 10%. Der Rest ist zivilisatorischen Ursprungs (z. B. Strassensalzung, Ionenaustauscher, Hofdünger, Fällungsmittel in Abwasserreinigungsanlagen, ...). Bei der Beurteilung der fischtoxischen Wirkung der Nitrite muss der Chloridgehalt ebenfalls mitberücksichtigt werden. Chlorid ist in grösseren Konzentrationen (>200 mg/L Cl<sup>-</sup>) toxisch für Pflanzen, insbesondere Algen (Keine Anforderung in GSchV, kein Vorschlag für eine Zielvorgabe).

Chlorid (Cl)

Zu den geochemischen Parametern gehören Calcium, Magnesium und Karbonate (aus der Verwitterung von Kalkgesteinen), Kieselsäure (aus Granit, Feldspat und Tonmineralien), Sulfat (aus gipshaltigem Gestein), Natrium und Chlorid (aus der Verwitterung von Steinsalzen) und Kalium (aus Granit und Tonmineralien). Bei Einzugsgebieten mit mehrheitlich kristallinen Gesteinen (vor allem Aluminiumsilikate und Silikate) ist die Pufferkapazität des abfliessenden Wassers wegen der geringen Karbonat-Härte häufig ungenügend. Insbesondere bei der Schneeschmelze, wenn grössere Mengen an sauren Niederschlägen anfallen, die im Winter in der Schneedecke angehäuft wurden, kann dies in den Gewässern zu niederen pH-Werten führen. Im Industrie-, Gewerbe- und Haushaltsabwasser können erhöhte Konzentrationen geochemischer Parameter insbesondere von Sulfat, Natrium und Chlorid auftreten. Kalium wird zusätzlich über diffuse Quellen infolge von Düngerauswaschung aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Gewässer eingetragen. Bei Natrium, Chlorid und Kalium können diese anthropogen bedingten Einträge gegenüber den geogenen dominieren.

Geochemische Parameter

Da die geochemischen Parameter weitgehend aus der Verwitterung der Gesteine stammen, sind sie für die Beurteilung der zivilisatorischen Belastung der Gewässer weniger geeignet. Anthropogene Einflüsse zeigen sich meist erst in der Analyse sehr langer Zeitreihen (beispielsweise durch die Änderung der Verwitterung durch Stoffe, welche über die Atmosphäre transportiert wurden [Säureeintrag], oder durch die Erhöhung der Temperaturen). Es ist deshalb auch nicht vorgesehen, diese Parameter einem Beurteilungsschema gemäss dem in Kapitel 3.3.2 geschilderten Vorgehen zu unterziehen.

Geochemische Parameter und dadurch beeinflusste Grössen zeigen normalerweise innerhalb eines Jahres ein zyklisches Verhalten, primär abhängig von der Wassertemperatur und in geringerem Ausmass auch von der Wassermenge. Sie verändern sich aber von Jahr zu Jahr nur wenig und müssen deshalb nicht mit der gleichen Häufigkeit gemessen werden wie mehrheitlich anthropogen beeinflusste Parameter.

Wegen den Vorschriften für Import, Verwendung und Entsorgung von Quecksilber und Cadmium sind diese beiden Schwermetalle in den Oberflächengewässern heute kaum mehr problematisch. Das gleiche gilt wegen der rückläufigen Verwendung verbleiten Benzins auch für Blei. Kupfer und Zink gelangen aus der Dachentwässerung und aus der Verwendung entsprechender Rohre bei der Trinkwasserverteilung in Gebäuden in grösseren Konzentrationen in die Gewässer. Weitere mögliche Quellen sind Abrieb von Reifen, Bremsen und für Kupfer auch von Stromleitungen der Bahn oder städtischer Verkehrsbetriebe. Kupfer wird ebenfalls als Fungizid im Weinbau, im biologischen Anbau und als Futterzusatz bei der Schweinemast eingesetzt.

Schwermetalle  
(Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn)

Ökotoxikologisch relevant sind die freien, d.h. ungebundenen und unkomplexierten Komponenten. Da diese nicht direkt analytisch erfassbar sind, beschränkt man sich meist auf die Bestimmung der gelösten Fraktion. In welcher Form die Schwermetalle vorliegen – ob gelöst oder an Partikel adsorbiert – hängt von der Schwebstoffkonzentration im Wasser und von den pH-Bedingungen ab. Je geringer die Schwebstoffkonzentrationen und je tiefer der pH-Wert, desto wasserlöslicher sind die Schwermetalle. Die gemessenen Gesamtkonzentrationen sind demnach als obere Grenze für die gelösten Konzentrationen zu verstehen und bezüglich ihrer ökologischen Relevanz zu beurteilen.

Die Konzentration der Schwermetalle ist weitgehend unabhängig von der Jahreszeit und wird von der Intensität industrieller Abwassereinleitungen beeinflusst. Auch zeigen die Schwermetalle in ihren Konzentrationsverläufen – wie die Schwebstoffe – eine deutliche Abhängigkeit vom Abfluss bzw. von einzelnen Regenereignissen, weil sie eine grosse Affinität zur Bindung mit Partikeln besitzen. In der Gewässerschutzverordnung sind Anforderungen für Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg und Zn festgelegt.

Um ein Bild der Belastungsverteilung zu erhalten werden häufig auch die Sedimente auf Schwermetalle untersucht. Solche Untersuchungen erfassen die Belastung integrativ, sie sind repräsentativ für einen längeren Zeitraum.

---

Die GSchV Anhang 1 Ziffer 1 legt ökologische Ziele für oberirdische Gewässer fest. Ziffer 1 Absatz 3 schreibt vor, dass Stoffe, welche die Gewässer verunreinigen und durch menschliche Aktivitäten ins Wasser gelangen können, keine nachteiligen Einwirkungen auf die Lebensgemeinschaften von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen haben dürfen. Dies umfasst auch Beeinträchtigungen der Gewässerökologie durch künstliche organische Verbindungen. Für die Untersuchung der Pestizide und organischen Spurenstoffe werden Konzepte erarbeitet. Die entsprechende Beurteilungsmethoden werden in einem separaten Modul publiziert.

**Pestizide**  
**organische Spurenstoffe**

## A2 Probenahme

### A2-1 Probenahmetechnik

Wegen der talabwärts gerichteten Strömung der Fließgewässer werden Ufer und Boden von ständig neuem Wasser gespült. Werden an einer festen Stelle kontinuierliche Messungen der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Wassers durchgeführt, so werden im zeitlichen Ablauf immer wieder neue Wasserpakete beobachtet. Wegen der kurzfristigen Änderungen im Einzugsgebiet weisen sie häufig andere Eigenschaften auf als die vorangegangenen, die bereits weiter talwärts verfrachtet worden sind. Im Gegensatz zu stehenden Gewässern ist die Dynamik im Wärme- und Stoffhaushalt gross. Probenahmen in einem fließenden Gewässer müssen diese Dynamik je nach Fragestellung angemessen berücksichtigen. Die Erfahrung zeigt, dass Bäche mit einem kleinen Abfluss oder Flüsse ohne Seen im Einzugsgebiet eine höhere Variation in den Konzentrationen der meisten Wasserinhaltsstoffe zeigen als die grossen Mittellandflüsse.

Probenahmezeit,  
-häufigkeit und -art

Die Hauptmenge der Wasserinhaltsstoffe stammt aus der Verwitterung der Gesteine. Natürliche geochemische Prozesse bestimmen weitgehend die Stofffrachten in den Gewässern. Sie variieren abhängig von der je nach Jahreszeit unterschiedlichen Herkunft des Wassers (Schmelzwasser, Regenwasser, Seeabfluss, austretendes Grundwasser, etc.).

Geogene Quellen

Aus- und Abschwemmungen landwirtschaftlich genutzter Böden tragen zur Belastung mit den Nährstoffen Phosphor und organischem Kohlenstoff bei; sie sind abhängig von Regenereignissen und nehmen mit deren Intensität zu. Einige wenige sommerliche Gewitterregen können beispielsweise beim Phosphor bis zu 50 % der Jahresfracht bringen. Die Gehalte und die Verteilung der Inhaltsstoffe werden auch durch intensive Kontakte der Fließgewässer mit der Umlandvegetation beeinflusst (z. B. über den Eintrag von Fallaub). Mit Abwassereinleitungen gelangen ebenfalls organische Stoffe sowie stickstoff- und phosphorhaltige Verbindungen in die Gewässer. Daneben führen Abwässer Spuren toxischer Stoffe, wie Schwermetalle, Biozide und Organochlorverbindungen und schlecht abbaubare, organische Verbindungen mit sich. Bei den Einleitungen in die Kanalisation sind tägliche, wöchentliche und saisonale Schwankungen zu beobachten. Bei grösseren Niederschlägen können die Hochwasserentlastungen der Kanalisation ansprechen und Abwasser direkt und ungereinigt in die Gewässer führen.

Nährstoffe aus der Landwirtschaft

Von grosser Bedeutung für die Konzentrationen an Nährstoffen oder abbaubaren Substanzen und für deren zeitliche Veränderungen sind jedoch die im Gewässer selbst ablaufenden biochemischen und biologischen Prozesse. So wird beim Aufbau pflanzlichen Materials dem Wasser nicht nur Kohlendioxid entzogen und gleichzeitig die Karbonathärte verändert, es werden auch Nährstoffe, wie Phosphor und Stickstoff, aufgenommen und somit der Wasserphase entzogen. Da die biologischen Prozesse naturgemäss stark von Temperatur und Belichtung abhängen, zeigen sich hier ausgeprägte tägliche und saisonale Unterschiede.

Biologische Umsetzungen

Die jahreszeitlichen und täglichen Abfluss- und Temperaturschwankungen, die Änderungen in der Sonneneinstrahlung und die Variationen auch in der Belastung durch den Menschen führen deshalb zu mehr oder weniger grossen Fluktuationen der Wasserinhaltsstoffe. Beim Ammonium kann die Konzentration schon nur während eines Tages um mehrere Hundert Prozent ändern.

Zeit und Dauer der Probenahme – Stichprobe oder Sammelprobe – beeinflussen deshalb die Zusammensetzung der chemischen Parameter in einer Probe wesentlich. Jede Beurteilung chemischer Parameter muss diesem Umstand Rechnung tragen. Insbesondere ist die Genauigkeit, beispielsweise bei der Mittelwertbildung oder bei der Berechnung von Perzentilen, in jedem Fall kritisch zu hinterfragen. Ohne Kenntnis der üblichen Fluktuationen im Gehalt der betroffenen Stoffe kann das Einhalten von Anforderungen gemäss Anhang 2 GSchV nicht korrekt beurteilt werden. Die meisten Inhaltsstoffe mit partikulärem Anteil, insbesondere solche mit Komponenten anthropogenen Ursprungs sind in der Regel logarithmisch-normal verteilt.

**Einfluss der Probenahmeart**

Gewisse Mindestanforderungen bezüglich Probenahmeart und -frequenz müssen für eine sinnvolle Beurteilung erfüllt sein. Die Irrtumswahrscheinlichkeit einer Beurteilung ist u.a. abhängig von der Anzahl Messungen und der zeitlichen Verteilung der Probenahme. Im Folgenden werden die verschiedenen Möglichkeiten diskutiert.

*Stichproben* sind Momentanaufnahmen, welche die Situation im Gewässer zu einem bestimmten Zeitpunkt (oder während eines vernachlässigbar kurzen Intervalls) darstellen. Zeitliche Veränderungen lassen sich durch eine Serie von Stichproben darstellen, wenn die Frequenz der Stichproben die zeitlichen Veränderungen der Konzentration des Parameters deutlich übertrifft. Um z. B. einen Tagesgang eines Gewässers einigermaßen genau zu erfassen, sind mindestens 6 Probenahmen nötig. Es gilt: Je höher die Probenahmefrequenz, desto höher ist auch die zeitliche Auflösung der Ergebnisse.

**Stichproben**

Bezüglich der möglichen Aussagen lassen sich vier Kategorien unterscheiden (Tab. 5):

- > Einzelne Stichproben
- > Saisonale Stichproben (4 pro Jahr)
- > Periodische Stichproben (> 4 pro Jahr bis wöchentlich)
- > Quasi-Kontinuierliche Probenahme (z. B. 12–24 pro Tag)

Im Unterschied zu Stichproben wird bei *Sammelproben* der chemische Zustand des Gewässers für eine gewisse Periode (mehrere Stunden bis Tage) gemittelt. Die Mittelung kann zeit-, pegel- oder abflussproportional erfolgen. Als statistische Vergleichsgrösse wird ebenfalls das 90. Perzentil vorgeschlagen, obwohl abhängig von der Sammelperiode Konzentrationsspitzen und Tagesschwankungen mehr oder weniger stark gedämpft werden.

**Sammelproben**

Es gibt keine «beste» Probenahmetechnik. Jedes Verfahren hat Stärken und Schwächen. Welches Verfahren für eine spezifische Fragestellung optimal ist, ergibt sich aus einer Gegenüberstellung der Anforderungen (welche Aussagen sollen gemacht werden?) mit den spezifischen Vor- und Nachteilen der zur Auswahl stehenden Verfahren.

**Beurteilung der verschiedenen Probenahmearten**

In der Tabelle 5 sind die verschiedenen Probenahme-Verfahren zusammengestellt. Die Tabelle 6 enthält eine Empfehlung, welches Verfahren für welche Fragestellung zum Einsatz kommen soll.

**Tab. 5 > Überblick über die verschiedenen Probenahmefrequenzen**

Bezeichnung	Prinzip	Vorteile	Nachteile	geeignet für	Bemerkungen
Einzelne StP	Reaktion bei Ereignissen	<ul style="list-style-type: none"> <li>präzise Momentanaufnahme</li> </ul>		Erfassen einer Momentansituation	
Saisonale StP	4 StP pro Jahr		Jahresgang und kurzfristige Ereignisse werden nicht erfasst	Grob-Screening gemäss Anhang A4	<ul style="list-style-type: none"> <li>sollte alle 5 bis 10 Jahre wiederholt werden</li> <li>aufeinanderfolgende Erhebungen während mehrerer Jahre machen wenig Sinn</li> </ul>
Periodische StP	5–52 StP pro Jahr		kurzfristige Ereignisse werden nicht erfasst	Überwachung des chem. Gew.-Zustandes gemäss GSchG	Gleichmässige Verteilung der Proben auf alle Wochen- und Ferientage!
Qualifizierte StP	gepoolte StP von mehreren Stunden	kurzzeitige Fluktuationen geglättet	vergleichsweise aufwändig	Erfassen von Parametern mit grosser Dynamik	gemäss DIN 38402
Quasi-kontinuierliche StP	12–24 StP pro Tag	<ul style="list-style-type: none"> <li>kaum Beschränkungen bezüglich Parameter</li> <li>hohe Empfindlichkeit möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>bei längeren Mess-Serien grosse Anzahl von Einzelproben</li> <li>Aufwand auch bei der Analytik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ereignisse mit hoher Dynamik und anspruchsvoller Analytik</li> <li>Tagesdynamik</li> <li>Wichtige Probenahmestellen</li> </ul>	
Passive Tages-SaP	QS-Sampler, füllt sich kontinuierlich, druckabhängig	<ul style="list-style-type: none"> <li>kostengünstige Probenahmeverrichtung</li> <li>unabhängig von Stromversorgung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kunststoffgehäuse (PVC), nicht geeignet für Spurenstoffe und org. Verbindungen</li> <li>Heikel in Betrieb und Einsatz (sehr sorgfältige Wartung und qualifizierter Einsatz nötig!)</li> <li>Partikel können angereichert werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nährstoffkonzentrationen und Frachten bei Zufluss-Untersuchungen</li> <li>Beprobung von HW-Ereignissen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>für HW-Beprobung wird auch Information über Wetter und Niederschlag benötigt</li> <li>für Frachtab-schätzungen wird PQ-Beziehung benötigt (&gt;100 Einzelwerte nötig)</li> </ul>
Aktive Tages-SaP	Summe vieler kleiner Teilproben während 24h	<ul style="list-style-type: none"> <li>definierte und steuerbare Zeitabhängigkeit der integralen Probe</li> <li>präventive Wirkung durch lückenlose Erhebung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Information über Tagesgang</li> <li>komplexe Infrastruktur und Installation</li> <li>abhängig von Stromversorgung</li> <li>offene Proben, Verunreinigung aus der Luft möglich</li> <li>chemische Veränderungen in den Zuleitungen möglich</li> </ul>	kontinuierliche Überwachung wichtiger Gewässerstellen	
Online-Messung	quasi-kontinuierliche Erfassung mit Sonden	<ul style="list-style-type: none"> <li>hohe zeitliche Auflösung</li> <li>Resultate ohne nachfolgende Analytik verfügbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>aufwändige Installation und Unterhalt</li> <li>eingeschränkte Parameterauswahl</li> <li>beschränkte Empfindlichkeit</li> <li>abhängig von Stromversorgung</li> </ul>	Überwachung wichtiger Gewässerstellen mit hoher zeitlicher Auflösung	

StP = Stichproben, SaP = Sammelproben

**Tab. 6 > Zusammenstellung der Eignung der verschiedenen Probenahmetechniken**

Fragestellung	Probenahmetechnik	Bemerkung
Überwachung des Gewässerzustandes gem. GSchV (Dauerüberwachung, Stufe S)	periodische StP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 12 StP pro Jahr</li> <li>• während mehrerer Jahre</li> <li>• Bilanzierung von Frachten ist schwierig</li> </ul>
Flächendeckende Grob-, bzw. Voruntersuchung nach Anh. 3	Periodische StP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sollte alle 5–10 Jahre wiederholt werden</li> <li>• Untersuchungen auf Gewässer (Stellen) beschränken, bei denen aufgrund der Situation im Einzugsgebiet Probleme zu erwarten sind (d. h. sicher unkritische Gewässer bei der Stellenauswahl ausscheiden)</li> </ul>
Zufluss-Untersuchungen bei Seen (Nährstoff-Bilanzen, Stufe A)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• passive Tages-SaP &amp; Beprobung von HW-Ereignissen</li> <li>• aktive Tages-SaP &amp; Beprobung von HW-Ereignissen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Information über Abfluss wird ebenfalls benötigt</li> <li>• relativ grosse Unsicherheiten, Resultate sind eine Abschätzung</li> </ul>
Untersuchung von Spezialfällen mit hoher Dynamik (z. B. im Zusammenhang mit Regenereignissen, Stufe A)	Quasi-kontinuierliche StP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aufwändige Logistik (Alarmier-System!)</li> <li>• anspruchsvolle Planung</li> </ul>
permanente Überwachung wichtiger Gewässerstellen (Stufe A)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Online-Messung</li> <li>• aktive Tages-SaP</li> </ul>	

**A2-2 Konzentrationen und Frachten**

Durch Untersuchungen soll festgestellt werden, ob der Zustand der Gewässer den Zielen und Anforderungen des Gewässerschutzgesetzes und den zugehörigen Verordnungen entspricht. Dies wird erreicht, indem *Konzentrationen* der Wasserinhaltsstoffe ermittelt werden. Einige spezifische Fragestellungen erfordern die Berechnung der zugehörigen *Frachten*.

*Konzentrationen* werden üblicherweise als *Mengen* (eines Wasserinhaltsstoffes) *pro Volumen Wasser* (z. B. [mg/L PO<sub>4</sub>-P]) oder als «Menge pro Menge» (z. B. ppm: parts per million) bestimmt. Zur Beschreibung des Zustandes eines Gewässers werden v. a. repräsentative Durchschnittswerte und ev. Extremwerte (Minima, Maxima) verwendet.

Die biologische Wirksamkeit von Stoffen ist abhängig von deren Konzentration und Einflussdauer. Dabei sind vor allem die gelösten oder bei einigen Substanzen (Metallen) sogar nur die freien, d. h. ungebundenen und unkomplexierten Komponenten massgebend. Für eine chemische Zustandsbeschreibung der Gewässer sind somit die Stoffkonzentrationen relevant.

*Frachten* sind *Mengen* (eines Wasserinhaltsstoffes) *pro Zeiteinheit* (z. B. kg PO<sub>4</sub>-P/Jahr). Sie werden bestimmt, um Bilanzen errechnen zu können. Typische Fragestellungen sind:

- > Nährstoffeintrag aus einem See-Einzugsgebiet in einen See; woher stammt welcher Anteil der Nährstoffe?
- > Nährstoffexport über ein Fliessgewässer.
- > Nährstoff- ev. Schadstoffeintrag aus einer ARA oder anderen Punktquellen in ein Fliessgewässer (Vorfluter)

Ohne Kenntnis der Abflüsse ist die Ermittlung von Stofffrachten in Fließgewässern nicht möglich. Eindeutige Frachtberechnungen über längere Zeitperioden bedingen nahtlos aufeinanderfolgende Sammelproben unter Berücksichtigung der jeweiligen Abflussmenge. Ideal sind abflussproportional erhobene Sammelproben. Die Stofffrachten berechnen sich als Produkt aus Konzentration und zugehöriger Abflussmenge. Problematisch bei Sammelproben über längere Zeiträume sind allerdings die biologischen und chemisch-physikalischen Veränderungen in der Flasche. Auch das Kühlen der Proben verhindert solche Prozesse nicht oder nur teilweise. Die Konzentration der einzelnen Stoffe in den Gewässern ist weiter vom biochemischen Gleichgewicht entfernt als in den Probenahmeflaschen, insbesondere bei Anwesenheit einer Feststoffphase und nach längeren Standzeiten der Proben in der Flasche. Dies betrifft vor allem labile Parameter (Ammonium, Nitrit) und solche, die Adsorptions- und Desorptionsprozessen unterliegen (Phosphor und organischer Kohlenstoff).

Ermittlung von Frachten bei  
Sammelproben

Es ist nicht notwendig, die Wassermenge direkt am Ort der Probenahme zu bestimmen, doch sollten Pegelmessgeräte (mit Abflussbeziehung) oder andere registrierende Geräte (z. B. Ultraschall), behelfsmässige Messungen oder rechnerische Modellrechnungen die Bestimmung der Abflussmengen erlauben. Wenn nur Stichproben vorliegen, oder wenn die Sammelproben nur mit Unterbrüchen erhoben wurden, ist eine rechnerische Annäherung an die tatsächliche Stofffracht möglich; dabei müssen aber mindestens die Abflussmengen kontinuierlich gemessen sein. Die analytisch bestimmten Konzentrationen werden als Funktion der zugehörigen Abflussmengen rechnerisch dargestellt. Es kann auch sinnvoll sein, die Konzentrationen als Funktion zweier Variablen, beispielsweise Abflussmenge und Temperatur oder Probenahmedatum auszudrücken. Dabei sind längere Zeitperioden zu berücksichtigen: Ein bis mehrere Jahre. Die so ermittelten Funktionen erlauben mit den vorliegenden Abflussmengen die rechnerische Ermittlung der Stoffkonzentrationen oder -frachten. Da oft bei hohen Abflüssen die grössten Konzentrationen gemessen werden, vor allem bei Stoffen, die auch an Partikel gebunden transportiert werden, ist das rechnerische Verfahren nur sinnvoll, wenn genügend Konzentrationsdaten vorliegen, insbesondere auch bei hohen Abflüssen! Auch unter idealen Randbedingungen sind die Fehler aber recht gross; bei der Bestimmung von Jahresfrachten für Gesamtphosphor in kleineren Fließgewässern liegen sie bei 30 %.

Rechnerische Verfahren zur  
Ermittlung von Frachten bei  
Stichproben

## A2-3 Qualitätssicherung

Eines der wichtigsten aber noch immer vernachlässigten Elemente für eine zielgerechte chemische Beurteilung der Fließgewässer ist die Probenahme. Denn eine schlecht geplante oder unsorgfältig durchgeführte Probenahme lässt sich auch mit einer qualitativ hochstehenden Bestimmung im Labor nicht mehr korrigieren. Probenahme und Analytik erfordern deshalb die gleiche Aufmerksamkeit und Sorgfalt.

Einfluss der Probenahme

Das Ziel aller Proben-Auswahlverfahren besteht darin, eine Teilprobe auszuwählen, deren Zusammensetzung derjenigen des gesamten Wasserpaketes entspricht, das in der untersuchten Zeiteinheit bei der Probenahmestelle durchfließt.

---

Durch folgende Massnahmen können Fehlerquellen minimiert werden:

- > Jeder Arbeitsschritt, auch scheinbar simple Arbeiten wie z.B. das Abfüllen der Probe (Probenahme), muss von einer entsprechend qualifizierten Fachperson durchgeführt werden. Im Idealfall wird die Probenahme durch dasselbe Personal durchgeführt, welches anschliessend die Proben analysiert. Mindestens ist eine enge Zusammenarbeit und gute Kommunikation zwischen den involvierten Personen sicherzustellen.
- > Im Hinblick auf die Qualitätssicherung sind alle Arbeitsschritte in Form von Arbeitsvorschriften zu normieren (siehe: <http://www.labeaux.ch/>).
- > Die Probenahmegefässe werden vom Labor zur Verfügung gestellt (gereinigt und beschriftet).
- > Die Ergebnisse sind durch den Projektverantwortlichen auf ihre Plausibilität hin zu prüfen. Dabei ist ev. wichtig, dass Informationen über die Probenahme (z. B. Wetter, Wasserstand, ungewöhnliche Umstände) vorhanden sind.
- > Die Qualität der Analytik (bzw. des analytischen Labors) ist durch regelmässige Ringversuche mit effektiv in der Umwelt erhobenen Proben, Fluss- und Seewasser, ev. Trinkwasser, abzuschätzen.

**Minimieren der Fehler bei der Probenahme, der Probenbehandlung und der Analytik**

## A3 Umrechnungen für Ammonium und Nitrit, kart. Darstellung

### A3-1 Parameterabhängige Zielvorgaben

Die numerischen Anforderungen bzw. Zielvorgaben und Klassengrenzen für die Ammonium- und Nitritbelastung sind parameterabhängig: Ammonium von der Wassertemperatur und vom pH-Wert, Nitrit in Salmonidengewässern vom Chloridgehalt. Entsprechend den Zielvorgaben hängen auch die Grenzen für die Zustandsklassen von der Temperatur, dem pH-Wert oder dem Chloridgehalt der Gewässer ab (Tab. 3b, c).

Ammonium (T, pH)  
Nitrit (Cl)

Wie kann der Perzentilwert unter Berücksichtigung der parameterabhängigen Zielvorgaben ermittelt werden? Ein Aufteilen der Messwerte aufgrund der Temperatur, des pH-Wertes oder der Chloridkonzentration führt nicht zum Ziel. Der Stichprobenumfang für jede einzelne Gruppe würde zu klein, um damit Perzentile schätzen zu können. Auch bleibt offen, wie die gruppenweisen Maximal- und Perzentilwerte in ein Klassierungsschema eingebunden werden könnten. Werden die Messwerte aber entsprechend den jeweiligen Zielvorgaben normiert, kann die notwendige Statistik mit dem gesamten Stichprobenumfang durchgeführt werden.

Falls der Chloridgehalt nicht sehr stark schwankt, ist es eventuell möglich, das Verfahren für die Beurteilung des Nitritgehaltes zu vereinfachen, indem für die Ermittlung der geltenden Zielvorgabe der Jahresmittelwert der Chloridkonzentrationen beigezogen wird. Andernfalls ist für jede einzelne Messung zu prüfen, ob die spezifische, parameterabhängige Zielvorgabe eingehalten wird.

Sei  $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  eine Messreihe mit  $n$  Messungen und  $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$  die parallel dazu gemessenen Parameter. Im Falle von Ammonium sind die  $Y_i$ 's 2-Tupel mit Wassertemperatur und pH-Wert, im Falle von Nitrit sind es die Werte für den Chloridgehalt. Zu jeder Messung  $X_i$  gibt es aus Tabelle 1, resp. 4 eine parameterabhängige Zielvorgabe  $Z(Y_i)$ . Die mit den Zielvorgaben normierten Messungen bezeichnen wir als  $\tilde{X}_i$ :

$$\tilde{X}_i = X_i / Z(Y_i) \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

Für die so normierten Messungen gilt für alle Parameter eine Zielvorgabe mit dem Wert 1. Die chemisch-physikalischen Anforderungen an ein Gewässer sind genau dann erfüllt, wenn für die normierten Messreihen  $\{\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \dots, \tilde{X}_n\}$  der entsprechende Perzentilwert kleiner als 1 ist.

$Z_{-2}, Z_{-1}, Z_0, Z_1$  sind die im Modul-Stufen-Konzept festgelegten parameterabhängigen Klassengrenzen des «ökologischen» Zustandes:

$Z_{-2}(Y_i)$ : Grenze zwischen schlecht und unbefriedigend

$Z_{-1}(Y_i)$ : Grenze zwischen unbefriedigend und mässig

$Z_0(Y_i)$ : Grenze zwischen mässig und gut

$Z_1(Y_i)$ : Grenze zwischen gut und sehr gut

Dabei entspricht  $Z_0(Y_i)$  der Zielvorgabe oder Anforderung  $Z(Y_i)$ . Wären die  $Z_k$  linear von  $Z$  abhängig, dann könnten die normierten Klassengrenzen

$$\tilde{Z}_k = Z_k/Z \quad (k = -2, -1, 0, 1)$$

auf die mit  $Z$  normierte Messreihe angewendet und damit die Zustandsklasse ermittelt werden. Der lineare Zusammenhang ist jedoch nicht in jedem Fall gegeben (Beispiele Nitrat, Nitrit und Ammonium). Für die Einordnung des Gewässers in eine Zustandsklasse muss in solchen Fällen die Messreihe mit jeder Zustandsklassengrenze einzeln normiert und das Perzentil der so normierten Messreihe jedesmal mit 1 verglichen werden.

Da das oben beschriebene Verfahren komplex und nur durchführbar ist, wenn die zusätzlichen benötigten Parameter auch gemessen worden sind, kann in Ausnahmefällen auch darauf verzichtet werden. Auf Grund einer Beurteilung der statistischen Verteilung dieser zusätzlichen Parameter in der Schweiz können folgende vereinfachte Annahmen gemacht werden. Für Ammonium wird der strengere Wert angenommen (0,2 mg/L N) und für Nitrit der mittlere Wert (0,05 mg/L N).

### A3-2 Kartographische Darstellungen

Um die Resultate von Gewässeruntersuchungen in einfacher, rasch lesbarer Form darzustellen und damit einem breiteren Publikum verständlich zu machen, empfiehlt sich eine farbige kartographische Darstellung. Die Kategorien des Zustandes «*sehr gut*», «*gut*», «*mässig*», «*unbefriedigend*» und «*schlecht*» können durch die fünf Farben blau, grün, gelb, orange und rot dargestellt werden.

Eine Gesamtbeurteilung der chemischen Parameter ist nur möglich, wenn die Beurteilungen der einzelnen Parameter kaum differieren. Andernfalls muss jeder Parameter einzeln dargestellt werden. Eine Gewichtung der chemischen Parameter und die Verrechnung zu einem integralen Gesamtwert sind problematisch, insbesondere wenn dafür keine plausible Begründung vorliegt. Deshalb kann nur das Prinzip «Worst Case» eine integrale Darstellung ermöglichen: Der am schlechtesten klassierte Parameter definiert den Gesamtwert.

Gesamtbeurteilung

Eine in Europa häufig verwendete Darstellung verwendet farbige Bänder entlang des Gewässers oder färbt den Flusslauf ein, entsprechend der Klassierung nach einem Gesamtwert. Da aber nicht für jeden Fliessgewässerabschnitt, der ökomorphologisch erfasst wurde, auch eine chemische Probenahme durchgeführt werden kann, wird auch die Abgrenzung der Farbstreifen in der Längsrichtung nicht einfach. Nur die genaue Kenntnis der Rahmenbedingungen, wie Einleitungen von gereinigtem oder ungereinigtem Abwasser, Zusammenflüsse mit stärker belasteten Seitengewässern, grössere Infiltrationen von Grundwasser, etc. erlaubt eine sachgerechte Darstellung.

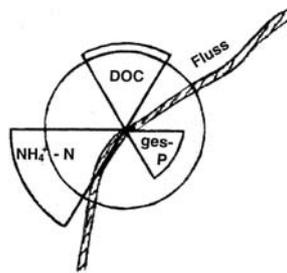
Diese Probleme können umgangen werden durch eine punktuelle Darstellung in Form von konzentrisch um die Messstellen angeordneten Kreissektoren, deren Flächen sich direkt proportional zum Schätzwert der einzelnen Parameter verhalten.

Darstellung als Kreissektoren

Als quantitative Orientierungshilfe dient der Einheitskreis, dessen Fläche der Konzentration der Zielvorgabe entspricht.

Die Sektorradien werden wie folgt berechnet:

$$R = a * \sqrt{\frac{\text{Schätzwert}}{\text{Zielvorgabe}}}$$



R = Sektorradius; a = frei wählbarer Faktor; definiert den Radius des Einheitskreises in cm

Eine weitere geeignete Präsentation, die grob auch die zeitliche Entwicklung berücksichtigt, ist die Balkendarstellung. Für jede Messstelle und jeden Parameter wird ein farbiger Balken dargestellt, der sich aus einzelnen Rechtecken zusammensetzt. Jedem Rechteck entspricht eine fixe Zeiteinheit (Quartal, Jahr oder mehrere Jahre); es wird entsprechend der Beurteilung über diese Zeiteinheit von «sehr gut», bis «schlecht» mit den Farben blau, grün, gelb, orange oder rot eingefärbt.

Darstellung in Balkenform

Mehrere Parameter lassen sich zusammenfassen durch Stapeln verschiedener Balken, die so übereinander angeordnet werden, dass Rechtecke entstehen.

Tab. 7 > Darstellung in Balkenform

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Ammonium	rot	rot	rot	orange	gelb	gelb	grün
Nitrit	orange	rot	gelb	gelb	grün	grün	grün
Ortho-P	grün	grün	grün	blau	blau	blau	blau
DOC	rot	rot	orange	orange	gelb	gelb	grün

Auch Balkendiagramme können soweit verkleinert werden, dass sie der Darstellung einer zeitlichen Entwicklung dienen können. Die Präsentation mehrerer Parameter auf derselben Karte ist damit aber kaum mehr möglich.

**A4 Screeningverfahren mit 4 bis 5 Messungen pro Jahr**

**A4-1 Generelles**

*Bei kleineren Fliessgewässern, die noch nie oder kaum je untersucht worden sind, kann das Folgende grobe Screeningverfahren angewendet werden. Dieses sollte aber nicht auf Gewässerabschnitte angewendet werden, die bereits regelmässig beprobt werden; denn es ist kein Ersatz bisher routinemässig durchgeführter Untersuchungsprogramme entsprechend Kapitel 3. Es kann ebenfalls nicht angewendet werden auf Messstellen, die im Rahmen des Projektes «Koordinierte Beobachtung der Oberflächengewässer» (siehe Kapitel 3.4) bestimmt worden sind.*

Für bisher kaum untersuchte, kleinere Fliessgewässer

Es sollen mindestens vier Messungen pro Jahr durchgeführt werden. Die Untersuchungen sind gleichmässig verteilt über das Jahr durchzuführen. Eine statistische Auswertung mit wenigen Werten macht keinen Sinn. Deshalb wird für die Beurteilung nur der Maximalwert beachtet.

Mindestens 4 Messungen pro Jahr

**A4-2 Chemisch-physikalische Messgrössen**

Die Auswahl beschränkt sich auf die wichtigsten Messgrössen, die als Indikator für anthropogene Belastungen dienen und mit geringem Aufwand erfasst werden können.

Teilmenge der Messgrössen aus Kapitel 3.2

**Orthophosphat** stellt die für Pflanzen physiologisch direkt wirksame Phosphorkomponente dar und stammt aus der Abwasserreinigung, aus Entlastungen der Kanalisation, aus Abschwemmung und Auswaschung landwirtschaftlich genutzter Flächen oder aus biochemischem Abbau organischen Materials.

Orthophosphat

Erhöhte **Nitrat**werte (> 1,0 mg/L N) sind Hinweis auf intensive landwirtschaftliche Bewirtschaftung oder auf unsachgemässen Austrag von Düngemitteln oder auf einen grösseren Abwasseranteil. Die Anforderung GSchV Anhang 2 Ziffer 12 orientiert sich an der Trinkwassernutzung. Aufgrund rein ökologischer Überlegungen gemäss GSchV Anhang 1 Ziffer 1 Absatz 3c müsste für Nitrat ein strengerer Zielwert festgelegt werden.

Nitrat

**Nitrit** ist ein Übergangsprodukt bei der Nitrifizierung, d. h. der oxidativen biologischen Umwandlung von Ammonium in Nitrat. In sauerstoffarmen Flusstauen kann Nitrit auch als Folge einer unvollständigen Denitrifizierung (biologische Umwandlung von Nitrat in Lachgas oder elementaren Stickstoff) auftreten.

Nitrit

Durch die Protolyse von **Ammonium** kann sich fischtoxisches Ammoniak bilden. Die Ammoniak-Konzentration ist eine Funktion des Gehaltes an Ammonium, der Temperatur und des pH-Wertes. Im Abfluss von stehenden Gewässern mit erhöhter Bioproduktion

Ammonium

tion und bei Verkräutungen an besonnten Stellen ist deshalb ausser der Temperatur auch der pH-Wert zu bestimmen<sup>15</sup>.

Temperatur, pH-Wert

Zwischen der Zusammensetzung der im Lebensraum Gewässer vorkommenden Organismen und der **DOC**-Konzentration besteht häufig ein Zusammenhang. Es ist zu beachten, dass sich der DOC aus einem natürlicherweise vorhandenen und einem zivilisatorisch bedingten Anteil zusammensetzt.

DOC

Eine minimale *Parameterliste* umfasst somit:

- > Ortho-Phosphat (und/oder Gesamt-P unfiltriert)
- > Nitrat
- > Nitrit
- > Ammonium
- > DOC (gelöster organischer Kohlenstoff)
- > pH-Wert
- > Temperatur
- > Abflussmenge (ev. geschätzt)

Mögliche zusätzliche Parameter (je nach Fragestellung und Einflussfaktoren; siehe auch Anhang A1 *Bemerkungen zu den einzelnen Messgrössen*):

- > Sauerstoff
- > Elektrische Leitfähigkeit
- > Chlorid

Auf dem Niveau dieses Grob-Screenings werden Stofffrachten nicht berücksichtigt. Bei geringer Probenanzahl ist eine sinnvolle Abschätzung von Frachten nicht möglich! Allerdings ist es durchaus sinnvoll für die Charakterisierung des Gewässers die Abflussmenge – auch als grobe Schätzung – mit einzubeziehen, denn es ist für die Gesamtbeurteilung relevant ob 500 l/s anfallen oder 5 m<sup>3</sup>/s.

Stofffrachten werden nicht berücksichtigt

Bei gut ausgerüsteten Laboratorien mit automatisierten Analysensystemen ist nicht die Anzahl der zu messenden Parameter, sondern die Probenahme der zeitkritische Schritt, der Aufwand verursacht. Falls zusätzliche Parameter die Gesamtbeurteilung sinnvoll ergänzen, kann das Parameterspektrum gemäss Kapitel 3 vergrössert werden; dabei ist zu beachten, dass die Anforderungen der GschV oder die Zielvorgaben des Kapitels 3 die Grenze vorgeben zwischen den ökologischen Zuständen «*gut*» und «*mässig*».

<sup>15</sup> Längerfristige Ammoniak-Konzentrationen ab 0.008 mg/L N können für Eier und Brut von Edelfischen toxisch sein; 0.02 mg/L N sollten nicht überschritten werden (siehe Anhang 1 unter Ammonium/Ammoniak).

**A4-3 Auswertung und Beurteilung**

Anhand der gemessenen Werte wird eine Einteilung in eine der fünf folgenden Qualitäts- oder Zustandsklassen vorgenommen:

*sehr gut / gut / mässig / unbefriedigend / schlecht*

Für die Beurteilung wird nur der Maximalwert und nicht das 90. Perzentil verwendet. Die Klassierung erfolgt ebenfalls nach den Klassierungsbereichen gemäss Tabelle 3 in Kapitel 3. Falls die Klassierung «*mässig*» bis «*schlecht*» ergibt, müssen ergänzende Erhebungen gemäss Kapitel 3 mit einer erneuten Beurteilung durchgeführt werden, bevor Massnahmen nach Anwendung von Artikel 47 GschV geprüft werden können.

**5 Zustandsklassen**

**Keine abschliessende Beurteilung  
mit diesem Screeningverfahren**

## > Verzeichnisse

### Abbildungen

<b>Abb. 1</b> Prozentuale Verteilung von Ammonium/Ammoniak abhängig vom pH-Wert; bei verschiedenen Temperaturen	23
<b>Abb. 2</b> Temperatur und Nitrat und Abfluss	26
<b>Abb. 3</b> Konzentrationswert [mg/L O <sub>2</sub> ] für die Sauerstoffsättigung als Funktion der Temperatur und der Höhe ü.M.	28

### Tabellen

<b>Tab. 1</b> Zusätzliche numerische Zielvorgaben	16
<b>Tab. 2</b> Beurteilung der Messwerte, Einteilung in Klassen des chemischen Zustandes	18
<b>Tab. 3a</b> Klassierung des chemischen Zustandes	18
<b>Tab. 3b</b> Klassierung des chemischen Zustandes	18
<b>Tab. 3c</b> Klassierung des chemischen Zustandes	19
<b>Tab. 3d</b> Klassierung des chemischen Zustandes	19
<b>Tab. 4</b> Zielvorgaben für Nitrit in Salmonidengewässern <sup>13</sup>	22
<b>Tab. 5</b> Überblick über die verschiedenen Probenahmefrequenzen	34
<b>Tab. 6</b> Zusammenstellung der Eignung der verschiedenen Probenahmetechniken	35
<b>Tab. 7</b> Darstellung in Balkenform	40

### Literatur

- Emerson K., Russo R.C., Thurston R.E., Lund R.V. 1975: Aqueous ammonia equilibrium calculations: Effect of pH and temperature. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 32: 2379–2383.
- Bührer H., Wagner H. 1979: Die Berechnung der totalen Menge gelöster Stoffe in Seen. *Schweiz. Z. Hydrol.* 41: 418–420.
- Eidg. Departement des Innern 1982: Empfehlungen über die Untersuchung der schweizerischen Oberflächengewässer.
- Keleher C.J., Rahel F.J. 1996: Thermal Limits to Salmonid Distribution in the Rocky Mountain Region and Potential Habitat Loss due to Global Warming. *Trans. Am. Fish. Soc.* 125: 1–13.
- Karr J.R., Chu E.W. 1999: *Restoring Life in Running Waters: Better Biological Monitoring*, Island Press, Washington D.C. and Covelo California; ISBN 1-55963-674-2.
- Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Massnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.
- Moosmann L., et al, (2005), Trend-oriented sampling strategy and estimation of soluble reactive phosphorus loads in streams, *Water Resour. Res.* 41, W01020.

[www.naduf.ch](http://www.naduf.ch)