



12. Oktober 2021

Aktenzeichen: BAFU-447.42-2747

**Konzentrationsverhältnis von Stickstoff (N) zu Phosphor (P)
in Schweizer Seen
im Kontext des Po. 15.3795 der UREK-N «Standortbestim-
mung zur Fischerei in Schweizer Seen und Fliessgewäs-
sern»**

Bericht zuhanden der UREK-N



1 Postulat 15.3795 der UREK-N «Standortbestimmung zur Fischerei in Schweizer Seen und Fliessgewässern» und nachgelagerter Auftrag der UREK-N

In Erfüllung des Postulats 15.3795 «Standortbestimmung zur Fischerei in Schweizer Seen und Fliessgewässern» der UREK-N wurde ein Bericht erarbeitet ([Bericht BR D.pdf \(parlament.ch\)](#)), im Januar 2019 vom Bundesrat genehmigt und vom Nationalrat im September 2020 abgeschrieben.

Der Bericht liefert eine Übersicht zum ökologischen Zustand der Schweizer Gewässer sowie zur sozio-ökonomischen Situation der Fischerei, wobei die Berufsfischerei und die von ihr genutzten Seen im Zentrum stehen. Er beinhaltet Massnahmen zur Aufwertung der Gewässer, zur fischereilichen Nutzung sowie Empfehlungen für die Berufsfischer.

Für die durch die Berufsfischerei genutzten Seen fasst der Bericht auch die Entwicklung der Nährstoffsituation seit Anfang des 20. Jahrhunderts zusammen: Nach einer Phase starker Belastungen hat sich seit den 1980er Jahren die Wasserqualität der Schweizer Seen bezüglich Phosphor (P) stark verbessert. Der Bericht weist aber bereits darauf hin, dass die Stickstoffkonzentrationen (N-Konzentrationen) in den Seen weiterhin hoch sind.

Die UREK-N hat den Bericht an ihrer Sitzung vom 31. August 2020 behandelt. Die Verwaltung wurde beauftragt, in einem zusätzlichen Bericht darzulegen, wie sich das Verhältnis der N-Konzentration zur P-Konzentration entwickelt hat und welche Auswirkungen diese Entwicklung auf den Zustand der Seen und die Fischerei hat.

Nachfolgend wird die Relevanz der Nährstoffverfügbarkeit für Seen erläutert. Für die Schweizer Seen wird die Entwicklung der Einträge und Konzentrationen von N und P sowie des Verhältnisses von N-Konzentration zu P-Konzentration (kurz N:P-Verhältnis) aufgezeigt (Kapitel 2). Zusammenfassung der Entwicklung: Im Zuge der Industrialisierung wurden die Gewässer zunächst immer stärker mit N und P belastet. Ab den 1980er Jahren wurden die Einträge reduziert, wobei der P-Eintrag deutlich stärker verringert wurde als der N-Eintrag. Aktuell ist in vielen Schweizer Seen das Verhältnis der N- und P-Konzentrationen weiterhin unnatürlich. Für die Seen ist es daher nun wichtig, dass die N-Einträge weiter zu reduziert werden (Kapitel 3).

2 Bedeutung und Entwicklung der Nährstoffkonzentrationen in Schweizer Seen

Nährstoffe sind massgebend für das Wachstum von Algen und Wasserpflanzen, die Sauerstoffkonzentration und daher für den ökologischen Zustand von Seen. Um das aktuelle N:P-Verhältnis einordnen zu können, ist ein Blick in die Vergangenheit unerlässlich.

Im Zuge der Industrialisierung erlebte die Schweiz rasches wirtschaftlichen Wachstums und die Landwirtschaft wurde intensiviert. Dadurch stiegen die Einträge der Nährstoffe in die Seen: Die häuslichen Abwässer gelangten ungeklärt in die Gewässer und auch in der Landwirtschaft fehlten Vorgaben für den Nährstoffeinsatz. Alle Seen, die im Einflussbereich der intensivierten Landwirtschaft liegen und/oder in welche grössere Mengen häuslicher Abwässer gelangen, wurden massiv mit Nährstoffen belastet. Aus natürlicherweise nährstoffarmen Seen wurden nährstoffreiche Seen (z.B. Zürichsee, Bodensee, Hallwilersee oder Murtensee). Die Konzentrationen von N und P in den Schweizer Seen haben seither unterschiedliche Entwicklungen durchlaufen. Diese werden nachfolgend erläutert.

2.1 Phosphor (P)

P fördert das Algenwachstum stark. Abgestorbene Algen sinken auf den Seegrund und werden dort von Mikroorganismen abgebaut. Dabei wird der im Wasser gelöste Sauerstoff verbraucht. Werden in Folge hoher P-Einträge grosse Algenmengen produziert, verbraucht ihr Abbau entsprechend viel Sauerstoff. Ist der Sauerstoff in der Tiefe eines Sees aufgebraucht, ist dort höheres Leben unmöglich.

Die P-Einträge zu reduzieren war somit zentral, um die Sauerstoffkonzentration in den Seen so rasch als möglich zu verbessern und damit das natürliche Fortbestehen der Fische zu ermöglichen. Daher fokussierten Seesanieeringsmassnahmen in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts primär darauf, die P-Konzentrationen zu senken. Die wichtigsten Massnahmen waren die gezielte P-Elimination in den Abwasserreinigungsanlagen (ARA) ab 1971, das P-Verbot in Textilwaschmitteln seit 1986 und der

1999 eingeführte Ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN) in der Landwirtschaft. Mit dem ÖLN konnten die P-Überschüsse aus der Düngung und damit die P-Einträge in die Gewässer deutlich gesenkt werden.

Wie Abbildung 1 am Beispiel des Bodensees illustriert, war die P-Reduktion z.T. sehr erfolgreich.

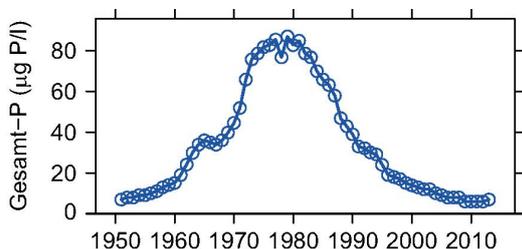


Abbildung 1 Jahresmittelwerte der P-Konzentrationen im Bodensee-Obersee. Grafik: www.bafu.admin.ch.

Infolge der zunehmenden Nährstoffbelastung in den 1950er- bis 1970er-Jahre durch ungereinigte Abwässer stiegen die P-Konzentrationen im Bodensee-Obersee bis Ende der 1970er-Jahre auf 87 µg/l (Mikrogramm pro Liter) an. Dies entspricht einer 13-fach höheren Konzentration gegenüber 1951. Insbesondere dank dem Bau von ARA mit einer Phosphatfällung und dem Phosphatverbot in Waschmitteln sind die P-Konzentrationen seit Ende der 1970er Jahre deutlich gesunken. Sie haben sich heute bei Jahresmittelwerten von rund 6 bis 8 µg/l eingependelt und liegen in einem Bereich wie in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts und damit nahe dem naturnahen Zustand.

Für etliche Fischarten kam die Reduktion der P-Einträge in die Seen jedoch zu spät. Vor allem jene Fische sind ausgestorben, die in grossen Tiefen lebten. In den 17 grösseren Schweizer Seen sind 38% von ursprünglich 41 Felchenarten unwiederbringlich verloren.

Während der nährstoffreichen Zeitspanne konnte die (Berufs-) Fischerei von einer hohen Produktivität im oberflächennahen Bereich der Seen profitieren. Je nach Ausmass des Nährstoffreichtums erhöhten sich in manchen Seen v.a. die Bestände bei gewissen Fischarten (Karpfenartige und Barsche) und in anderen Seen wuchsen gewisse Felchenarten wegen des hohen Futterangebots besser. Das führte insgesamt zu höheren, jedoch auch schwankenden Erträgen der Fischer. In einigen Seen konnte die Felchenfischerei jedoch nur durch die künstliche Aufzucht und Besatz aufrechterhalten werden. Dies weil die natürliche Fortpflanzung als Folge des fehlenden Sauerstoffes in den Seen nicht mehr funktionierte. Die Fischereierträge sind heute verglichen mit der nährstoffreichen Phase in vielen Seen markant geringer. In den letzten Jahren sind sie in manchen Seen bei gleichbleibender, niedriger P-Konzentration wegen der Ausbreitung invasiver Arten, in Folge des Klimawandels und weiterer Faktoren nochmals zurückgegangen.

Auch heute sind einzelne grössere Seen noch immer zu stark mit P belastet. Sie liegen in Gebieten mit intensiver Viehhaltung (z.B. Baldeggersee) und/oder in dicht besiedelten Regionen (z.B. Greifensee). Zudem löst sich auch P, der während der Überdüngungsphase am Seegrund gespeichert wurde, aus dem Sediment und trägt so zur kontinuierlichen Belastung bei. In etwa der Hälfte der 20 grössten Schweizer Seen wird die Anforderung der Gewässerschutzverordnung (GSchV) zur minimalen Sauerstoffkonzentration nicht (z.B. Greifensee) oder nur dank künstlicher Belüftung (z. B. Sempachersee) erreicht. Damit ist das Überleben und/oder die Fortpflanzung gewisser Fische weiterhin nicht gewährleistet.

2.2 Stickstoff (N)

Nachdem die P-Konzentrationen in vielen See gesenkt werden konnten, kam in den letzten Jahren die Reduktion der N-Konzentrationen in den Fokus.

In den letzten Jahrzehnten gingen die N-Einträge viel weniger stark zurück und daher sind die N-Konzentrationen weiterhin unnatürlich hoch. Dies kann am Beispiel Zürichsee illustriert werden:

- Die Datenreihe von Gesamt-N ab den 1980er Jahren zeigt, dass die N-Konzentration im Zürichsee wenig gesunken ist (Abbildung 2 links). Vor 1980 sind leider keine Messungen vorhanden.

- Im Vergleich dazu ist die P-Konzentration stark zurückgegangen (Abbildung 2 rechts).

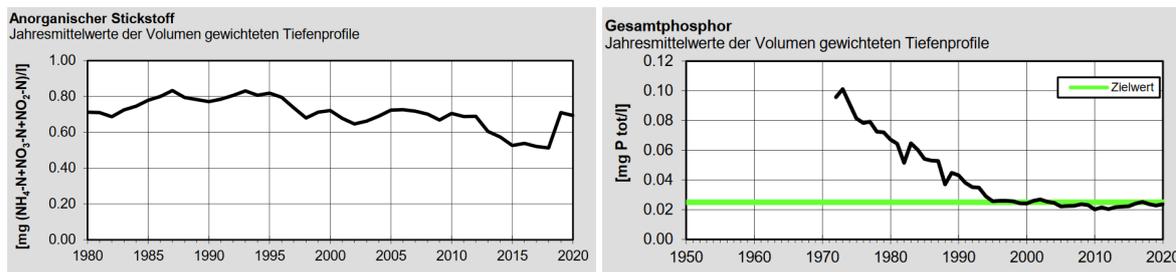


Abbildung 2 Entwicklung der Konzentrationen von N (links) und P (rechts) im Zürichsee. Grafik Kanton Zürich: http://www.hw.zh.ch/chemie/see/01_Be.pdf.

Diese Entwicklung verdeutlicht die Auswirkungen der getroffenen Massnahmen auf die Schweizer Gewässer: In den ARA wurde v.a. P eliminiert und in weit geringerem Ausmass N. Auch die umgesetzten Massnahmen in der Landwirtschaft führten v.a. zur P-Reduktion. So sanken die P-Überschüsse zwischen 1990 bis 2010 um rund 75% und die N-Überschüsse lediglich um rund 15%.

2.3 N:P-Konzentrationsverhältnis: Auswirkungen auf die Ökologie und aktuelle Situation

Ein unnatürliches N:P-Konzentrationsverhältnis in den Seen kann die Trinkwassernutzung oder die Badewasserqualität beeinträchtigen. Es beeinflusst die Zusammensetzung der Algenarten in den Seen und wirkt sich bis hin zu den Fischen auf die gesamte Nahrungskette aus. Inwiefern und wie stark das N:P-Verhältnis den ökologischen Zustand von Gewässern beeinflusst und wie gross das natürliche N:P-Verhältnis der einzelnen Seen war, wird jedoch erst erforscht. Das BAFU trägt zurzeit das vorhandene Wissen über die ökologischen Konsequenzen von unnatürlich hohen N:P-Verhältnissen in Seen zusammen und erstellt einen Überblick über die Situation in der Schweiz¹. Diese Ergebnisse werden im Frühjahr 2022 vorliegen und müssen anschliessend bewertet werden.

Es gilt zu beachten, dass veränderte Nährstoffsituationen in einem See stets im komplexen Zusammenspiel mit anderen Umweltfaktoren und deren Entwicklungen betrachtet werden müssen (z.B. Wassertemperatur in Folge des Klimawandels). So kann hier das in gewissen Jahren beobachtete Massenaufreten der Burgunderblutalge im Zürich- oder Bodensee erwähnt werden, das durch ein Zusammenspiel von Nährstoffverfügbarkeit und klimabedingter Erwärmung des Sees entsteht.

3 Stickstoffeinträge in Schweizer Seen sowie Ziele und Massnahmen zur Reduktion

Im OSPAR-Abkommen zum Schutz der Nordsee und im Übereinkommen zum Schutz des Rheins hat sich die Schweiz verpflichtet, die N-Einträge in die Gewässer zu senken (50%-Reduktionsziel gegenüber 1985). Darauf basiert auch das Umweltziel für die Landwirtschaft (UZL), den N-Eintrag in die Gewässer um 50% zu senken². Seit 1985 wurden die N-Einträge in die Gewässer aus den ARA um rund 50%, jene aus der Landwirtschaft aber um rund 25% verringert. Der Zielwert für N-Einträge aus der Landwirtschaft wurde damit um die Hälfte verfehlt. Die N-Überschüsse der Landwirtschaft sind zwar von 1990 bis zur Einführung des ÖLN (1997) um rund 15% zurückgegangen, haben aber bis 2018 nur noch um weniger als 1% abgenommen³.

¹ Limnologische Station der Universität Zürich (unter Leitung von Prof. Dr. Thomas Posch und im Austausch mit anderen Akteuren wie Eawag)

² BAFU und BLW (2016): Umweltziele Landwirtschaft. Statusbericht 2016. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1633: 114 S.

³ Zahlen gemäss Agrarbericht 2020: www.agrarbericht.ch/download/documents/18/38xq2uc73ibw6adu1nkp0kqefg6vx/ab20_agrarumweltindikatoren_und_kennzahlen_auf_nationaler_ebene_datenreihe_korr_d.xlsx. Jeweils Mittelwerte über 3 Jahre (1990-92, 1996-98, 2016-2018), um den Effekt einzelner Jahresschwankungen zu mindern.

Tabelle 1: N-Einträge in die Schweizer Gewässer insgesamt (Stand 2010).

| Quelle ⁴ | Tonnen/Jahr | Anteil |
|--|-------------|--------|
| Indirekter Eintrag aus Siedlung und Verkehr ⁵ | 3'000 | 4% |
| Natürliche Quellen ^{5,6} | 12'000 | 16% |
| Eintrag aus ARA und Regenüberläufen ⁶ | 24'000 | 32% |
| Eintrag aus der Landwirtschaft ⁷ | 36'000 | 48% |

Die N-Einträge in die Gewässer verteilen sich gegenwärtig auf indirekte Einträge aus Siedlung und Verkehr, natürliche Quellen, Abwassereinträge sowie Landwirtschaft (Tabelle 1). Der Eintrag aus Siedlung und Verkehr ist gering und die natürlichen Einträge können nicht beeinflusst werden. Um den N-Eintrag in die Gewässer zu senken, besteht bei der Landwirtschaft und den ARA das grösste Reduktionspotential. Diese beiden Quellen zusammen steuern 80% bzw. 60'000 Tonnen N pro Jahr bei.

Um den Eintrag in die Seen abzuschätzen, muss man die Gesamteinträge in die Gewässer nach Einträgen ober- und unterhalb der Seen trennen. Die N-Einträge aus den ARA sind unterhalb und oberhalb der Seen etwa gleich gross: 12'600 resp. 11'400 Tonnen/Jahr. Demgegenüber gelangt jährlich aus der Landwirtschaft und anderen indirekten Quellen⁵ ein viel grösserer Anteil in die Seen (32'800 Tonnen) verglichen mit dem Eintrag unterhalb der Seen (18'200 Tonnen). Dies unterstreicht das grosse Reduktionspotential bei den landwirtschaftlichen N-Einträgen in die Seen.

Zur Verringerung der N-Einträge in die Schweizer Gewässer sind kürzlich folgende politische Beschlüsse gefasst worden:

- **N-Elimination in Abwasserreinigungsanlagen**

Beide Räte haben die Motion 20.4261 «Reduktion der N-Einträge» angenommen (der Ständerat als Zweitrat im Juni 2021). Der Bundesrat wird damit eine Gesetzesrevision zur Reduktion der N-Einträge aus ARA in die Gewässer ausarbeiten. Aktuell eliminieren Schweizer ARA rund 50% des N im Rohabwasser⁸. Die Reinigungsleistung könnte auf ca. 80% N-Elimination gesteigert werden, was den ARA-N-Eintrag in die Gewässer um ca. 6'800 Tonnen senken würde. Der Anteil der ARA an den N-Einträgen in die Gewässer beträgt jedoch weniger als ein Drittel des Gesamteintrags (Tabelle 1). Daher braucht es zusätzliche Massnahmen, um ein möglichst naturnahes N:P-Verhältnis in den Seen zu erreichen.

- **Reduktion der Einträge aus der Landwirtschaft**

Der Bundesrat schlug im Rahmen der Vernehmlassung zum Verordnungspaket Parlamentarische Initiative 19.475 «Das Risiko beim Einsatz von Pestiziden reduzieren» vor, die N- und P-Verluste der Landwirtschaft bis 2030 um 20% zu verringern⁹. Der Bundesrat wird das Verordnungspaket voraussichtlich im 2. Quartal 2022 verabschieden. Damit soll der neue Art. 6a Abs. 1 Bundesgesetz über die Landwirtschaft (LwG) konkretisiert werden. Die von ihm in der Vernehmlassung zur Änderung der Direktzahlungsverordnung (DZV) vorgeschlagenen Massnahmen führen zu einer Verminderung der N-Überschüsse um rund 7%, während beim P mit einem Rückgang von rund 18% gerechnet wird. Um die erwähnte 20%-Verringerung der N-Überschüsse zu erreichen, müssten die betroffenen Branchen- und Produzentenorganisationen sowie weitere Organisationen – so sieht es das neue Gesetz vor – für

⁴ Die präsentierten Zahlen beziehen sich auf das Jahr 2010, da nur für dieses Jahr Daten für die verschiedenen N-Einträge zur Verfügung stehen. Zurzeit laufen Studien, die diese Datengrundlage für 2020 aktualisieren; Resultate werden anfangs 2022 vorliegen. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass sich die N-Einträge seit 2010 nicht wesentlich verändert haben, weil auch die exportierte N-Fracht im Rhein bei Basel seither praktisch konstant geblieben ist (Indikator Wasser (bafu.admin.ch)).

⁵ Umfassen Einträge aus naturnahen Flächen wie die N-Fixierung durch Algen und Wasserpflanzen oder den Abbau von N-haltigem Pflanzenmaterial auf naturnahen Flächen (z.B. Wälder) durch Bakterien.

⁶ Jens Hürdler, Volker Prasuhn, Ernst Spiess (2015): Abschätzung diffuser Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Gewässer der Schweiz, MODIFFUS 3.0: Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

⁷ Volker Prasuhn (2016): Abklärungen zum Umweltziel Landwirtschaft: Reduktion der landwirtschaftsbedingten Stickstoffeinträge in die Gewässer um 50% gegenüber 1985. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

⁸ VSA und KI (2011): Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung. Fachverband Kommunale Infrastruktur, Bern und Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Zürich.

⁹ Art. 10a der Verordnung vom 7. Dezember 1998 über die Beurteilung der Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft (SR 919.118), Stand Vernehmlassung

die verbleibenden 13% weitere Massnahmen ergreifen. Da die vorgesehenen Massnahmen sowohl die N- als auch die P-Überschüsse reduzieren, beeinflussen diese Massnahmen das N:P-Verhältnis weniger stark.

4 Fazit

Mit Massnahmen in der Siedlungsentwässerung (insbesondere Phosphatverbot in Textilwaschmitteln und ausgebaute P-Elimination in den ARA) sowie in der Landwirtschaft (Einführung ÖLN) konnte der P-Eintrag in die Gewässer in den letzten Jahrzehnten signifikant reduziert werden. Die P-Konzentration hat in den meisten grösseren Schweizer Seen wieder ein naturnahes Niveau erreicht. Bei verschiedenen der grösseren Seen sind die P-Einträge durch die ungenügende Berücksichtigung der P-Vorräte im Boden bei der Düngung jedoch immer noch zu hoch.

Der N-Eintrag in die Gewässer ist weiterhin zu hoch. Wichtigste Ursache dafür sind die N-Überschüsse in der Landwirtschaft, die in den letzten 30 Jahren lediglich um rund 15% gesenkt wurden.

Um ein naturnahes Verhältnis der N- und P-Konzentrationen in den Seen zu erreichen, sollte der Fokus auf die Reduktion der N-Einträge aus der Landwirtschaft und der ARA gelegt werden. Die Politik hat bereits verschiedene Massnahmen zur N-Reduktion in ARA entschieden. Die politischen Entscheide zur 20%-Verringerung der N-Überschüsse bis 2030 in der Landwirtschaft stehen noch aus.

Welches die genauen Auswirkungen eines unnatürlichen N:P-Verhältnisses auf die Arten in den Gewässern sind, ist Gegenstand laufender Forschung.