

# WIE STEHT ES UM DIE SCHWEIZER KLEINSEEN?

## ERFASSUNG DES TROPHISCHEN ZUSTANDS

**Der trophische Zustand zu 163 Kleinseen der Schweiz wurde nach den Richtlinien zur Gewässerbewertung der deutschen Länderarbeitsgemeinschaft (LAWA) bewertet und erstmals überblicksmässig dargestellt. Trotz vielerorts erfolgreich durchgeführter Sanierungen befinden sich immer noch über 50% der untersuchten Kleinseen in kolliner Höhenlage in einem ungenügenden trophischen Zustand. Weitere Anstrengungen zur Verminderung der Nährstoffbelastung sind insbesondere im Bereich Landwirtschaft erforderlich, um den Zustand der Kleinseen weiter zu verbessern.**

*Evi Binderheim\*, Sponsolim Umweltconsulting*

### RÉSUMÉ

#### ÉTAT DES PETITS LACS SUISSES

L'état trophique de 163 petits lacs suisses a été examiné d'après les directives pour l'évaluation des cours d'eau de la communauté de travail Eau des Länder allemands (LAWA) et présenté de manière récapitulative. Cette évaluation repose sur une comparaison entre la situation trophique actuelle et un état de référence à définir, spécifique au cours d'eau, dans lequel celui-ci devrait se trouver dans des conditions naturelles ou proches du naturel.

Plus de 50% des petits lacs naturels examinés à hauteur des collines se trouvent dans un état trophique insuffisant. Pour de nombreux lacs du Plateau, la cause principale vient des apports excessifs de l'agriculture intensive sur le bassin versant. Dans de rares cas, il s'agit également de déversements isolés ou de déversoirs de crues liés à l'évacuation des eaux urbaines. Par ailleurs, des désorptions de nutriments issues de sédiments pollués peuvent ralentir la régénération des lacs. Près d'un tiers des lacs subalpins sont dans un état insuffisant, une situation qui s'explique par les atteintes de l'agriculture et celles de l'évacuation des eaux urbaines. En général, l'état des petits lacs alpins est bon.

Les résultats des études à long terme des petits lacs naturels montrent que des mesures adéquates, prises à l'extérieur des lacs dans le domaine de l'agriculture et de l'évacuation des eaux urbaines, ont permis d'améliorer la situation également dans les bassins versants faisant l'objet d'une utilisation anthropogène

### EINLEITUNG

In der Schweiz gibt es rund 1600 Seen mit einer Mindestfläche von 0,5 Hektar. Rund 1500 dieser Seen sind kleiner als 50 Hektar. Diese im vorliegenden Bericht als Kleinseen bezeichneten Gewässer weisen eine hohe Vielfalt sowohl bezüglich ihrer Entstehung als auch ihrer Nutzung auf. Viele Kleinseen wie z. B. Tot-eisseen, Moränenstauseen und Dolinen sind natürlicherweise entstanden. Ebenso vielfältig sind die künstlich geschaffenen Kleinseen wie beispielsweise Torfstiche, Stauweiher oder Baggerseen. Die Kleinseen werden vom Menschen sehr unterschiedlich z. B. zwecks Erholungsraum, Fischerei, Hochwasserrückhaltebecken, Stromgewinnung genutzt. Alle diese Kleinseen bilden zudem einen wichtigen Lebensraum für z. T. bedrohte Tier- und Pflanzenarten. Obwohl die Wasserfläche aller Kleinseen nur ca. 3% der Wasserfläche aller Schweizer Seen beträgt, beherbergen sie rund 50% der in der Schweiz vorkommenden Arten von Wasserschnellen, Wasserkäfern, Wasserpflanzen und Libellen und rund 80% der in der Schweiz vorkommenden Amphibienarten [1] – sie sind ein absoluter Hotspot für die Biodiversität (Fig. 1). Die Kenntnis über den Zustand der Kleinseen ist wichtig, um diese wertvollen Lebensräume bewahren, gezielt schützen und die vielfältige Nutzung dieser Seen langfristig sicherstellen zu können. Jedoch gibt es bisher keinen schweizweiten Überblick

\* Kontakt: [evi.binderheim@sponsolim.ch](mailto:evi.binderheim@sponsolim.ch)

Titelbild: Inkwiliersee (© M. Zeh)



über deren Zustand, weil einheitliche Beurteilungsmethoden fehlen und die Datenlage aufgrund der unterschiedlichen Monitoring-Praktiken in den einzelnen Kantonen sehr heterogen ist.

Um dennoch einen Überblick zu verschaffen, wurde nach den Richtlinien «Gewässerbewertung – stehende Gewässer» der deutschen Länderarbeitsgemeinschaft (LAWA) [2-5] eine Bewertung der untersuchten Schweizer Kleinseen vorgenommen. Dazu wurden alle kantonal verfügbaren Daten zum trophischen Zustand der Kleinseen zusammengetragen, zusammenfassend dargestellt und bei genügender Datenlage unter Anwendung dieser Richtlinien ausgewertet [6].

## BEWERTUNGSANSATZ

Die Bewertung eines stehenden Gewässers nach dem LAWA-Ansatz stützt sich grundsätzlich auf die Ist-Trophie und die gewässerspezifisch zu definierende Referenz-Trophie, in der sich das Gewässer unter natürlichen oder naturnahen Gegebenheiten befinden würde. Die Referenz-Trophie berücksichtigt die individuellen Eigenschaften des Gewässers und seines Einzugsgebietes und lässt sich aus den morphometrischen Gegebenheiten oder dem potenziell natürlichen Nährstoffeintrag aus dem Einzugsgebiet für jeden See individuell ermitteln. Das Mass der Bewertung ist die Abweichung der Ist-Trophie von der Referenz-Trophie [2]. Unter Trophie versteht man die Intensität der organischen photoautotrophen Produktion, die stark vom vorhandenen Nährstoffangebot abhängt.

Mit diesem Ansatz kann die Erreichung der in der GSchV aufgeführten Qualitätsziele (keine unnatürlich hohe Produktion von Biomasse), welche die gesetzliche Grundlage zur Überwachung der Kleinseen darstellt, direkt überprüft werden. Es ist davon auszugehen, dass eine Abweichung der Ist-Trophie von der Referenz-Trophie das Vorkommen von empfindlichen Tieren und Pflanzen beeinflusst und damit weitreichende Konsequenzen fürs Funktionieren des Ökosystems hat. Deshalb kann mit diesem Ansatz indirekt auch die Einhaltung der Anforderungen der Gewässerschutzverordnung (keine Beeinträchtigung der Fortpflanzung, Entwicklung und Gesundheit empfindlicher Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen; natürliche Verhältnisse) überprüft werden.



Fig. 1 Der Seeweidsee befindet sich in einem Naturschutzgebiet und ist ein wertvoller Lebensraum für viele Pflanzen und Tiere.

(Foto: Awel)

### ERMITTLUNG DER IST-TROPHIE

Die Ermittlung des trophischen Ist-Zustandes erfolgt anhand eines nach definierten Vorgaben zu erhebenden Datensatzes, der Phosphorkonzentrationen, Chlorophyll-a-Gehalte (Chla) sowie Sichttiefen beinhaltet.

Die Ist-Trophie wurde aufgrund eines fehlenden einheitlichen Datensatzes der benötigten Parameter aus vorhandenen Studien und kantonalen Fachberichten entnommen. Die Einteilung der Ist-Trophie erfolgte 4-stufig:

<b>oligotroph</b>	schwach produktiv
<b>mesotroph</b>	mässig produktiv
<b>eutroph</b>	hoch produktiv
<b>hoch eutroph</b>	sehr hoch produktiv

### ERMITTLUNG DER REFERENZ-TROPHIE

Die Referenz-Trophie lässt sich einerseits aus den morphometrischen Gegebenheiten der Seen wie Beckengestalt und Tiefe bzw. dem Schichtungsverhalten und andererseits aus dem potenziell natürlichen Phosphoreintrag aus dem Einzugsgebiet bestimmen. Ein Vergleich der Resultate aus den beiden unabhängigen Referenzansätzen erlaubt eine Plausibilisierung der ermittelten Referenz-Trophien.

Die Ermittlung der Referenz-Trophie erfolgte in den vorliegenden Auswertungen aufgrund der fehlenden erforderlichen Datengrundlage lediglich anhand

der Morphometrie. Die Grundlage hierfür bildet ein statistischer Zusammenhang zwischen trophiebeschreibenden Kenngrössen wie Chla-Konzentrationen, Sichttiefe und Gesamtposphorkonzentration und die Beckenform eines Sees charakterisierenden Faktoren wie Volumen, Oberfläche, maximale Tiefe, Länge und Breite. Dieser statistische Zusammenhang basiert auf aktuellen Messdaten zu 108 glazial entstandenen Seen Deutschlands, der mit Daten zu 51 glazialen in natürlichem Zustand befindlichen Seen in Weissrussland geeicht wurde [2].

### BEWERTUNG

Das Mass für die Bewertung stellt die Abweichung des Ist-Zustandes vom Referenz-Zustand dar. Die Bewertung wird aufgrund der vorhandenen Datenlage in Abweichung zur LAWA-Richtlinie 3-stufig dargestellt:

<b>gut</b>	Ist-Trophie gleich oder besser als Referenz-Trophie
<b>mässig</b>	Ist-Trophie ist höchstens eine Stufe schlechter als Referenz-Trophie
<b>unbefriedigend</b>	Ist-Trophie ist mehr als eine Stufe schlechter als Referenz-Trophie

Kleinseen, bei denen die Referenz-Trophie aufgrund der ungenügenden morphometrischen Datenlage nicht ermittelt

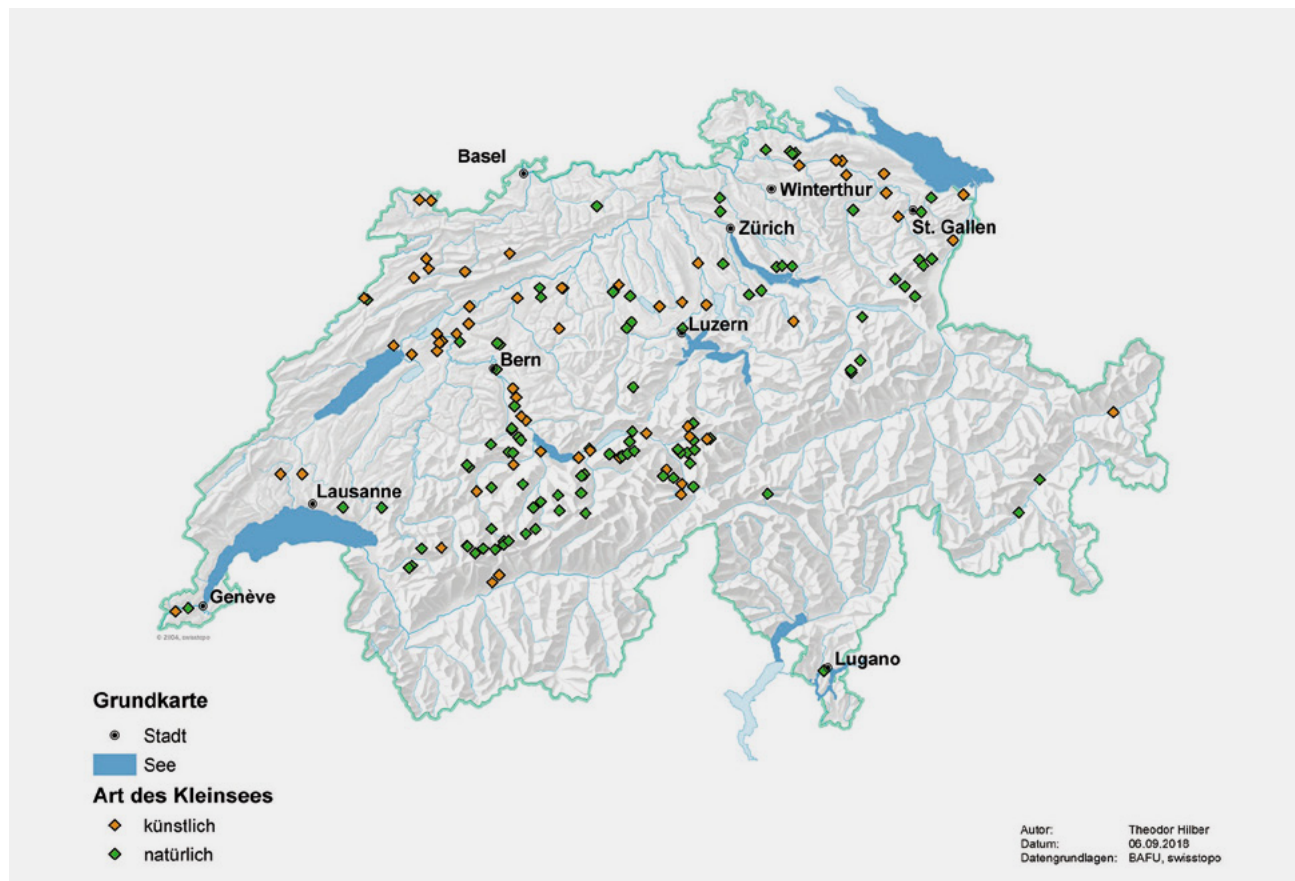


Fig. 2 Übersicht über die bislang erfassten natürlichen und künstlichen Kleinseen in der Schweiz

werden konnte, wurden nicht bewertet. Bei diesen Kleinseen liegt lediglich eine Trophieklassifikation vor. Dies betrifft alle künstlichen und einige alpine und subalpine Kleinseen.

### ZUSTAND DER KLEINSEEN

Zu 163 Kleinseen liegen Informationen zur trophischen Situation vor. Eine Übersicht über die bislang erfassten natürlichen und künstlichen Kleinseen in der Schweiz ist in *Figur 2* dargestellt. Die untersuchten Kleinseen verteilen sich auf alle Höhenstufen von kollin bis alpin. Der Anteil untersuchter Seen mit Informationen zur trophischen Situation liegt in der kollinen, montanen und subalpinen Höhenstufe zwischen 14 und 18%, in der alpinen Höhenstufe bei 6%. Alpine Seen sind in der untersuchten Stichprobe relativ untervertreten, aber insgesamt wird in allen Höhenstufen eine gute Stichprobengrösse erreicht (*Fig. 3*).

Um den Zustand der Schweizer Kleinseen überblicksmässig darstellen und die Resultate im Kontext diskutieren zu können, wurden die Seen in verschiedene Kategorien eingeteilt. Bei der Gruppierung wurden die trophische Situation beein-

flussende Gegebenheiten wie Entstehung, Höhenlage und das Schichtungsverhalten der Kleinseen berücksichtigt.

Als Erstes erfolgte eine Gruppierung aufgrund der Entstehung in natürliche und künstliche Seen. Dies erscheint zweckmässig, da der Bewertungsansatz nach LAWA-Richtlinie auf einem Vergleich des Ist-Zustandes mit einem naturnahen Referenz-Zustand basiert, der bei künstlichen Kleinseen erst noch definiert werden

muss. Deshalb wurde bei den künstlichen Seen lediglich eine Trophieklassifikation, aber keine eigentliche Bewertung nach LAWA-Richtlinie vorgenommen. Der Zustand der Kleinseen wird deshalb im Folgenden gesondert nach natürlichen und künstlichen Kleinseen dargelegt.

Als zweites Kriterium wurde die Höhenlage zur Gruppierung verwendet. Diese gilt einerseits als Anhaltspunkt für die anthropogene Belastung aus dem Ein-

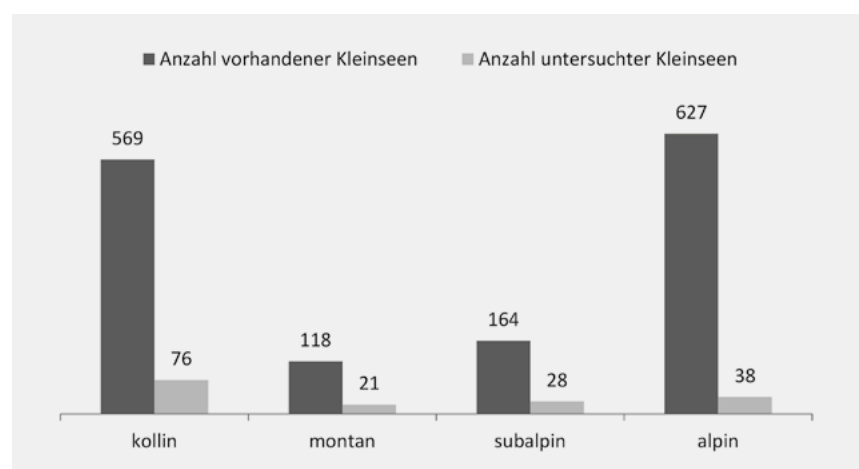


Fig. 3 Anzahl vorhandener und untersuchter Schweizer Kleinseen nach Höhenstufe aufgeschlüsselt. Die Anzahl vorhandener Schweizer Kleinseen wurde im Rahmen einer BAFU-internen GIS-Analyse ermittelt.

Höhenstufe	Höhenlage [m ü.M.]	Anteil Landwirtschaftsfläche %	Anteil Siedlungsfläche %
kollin	< 700	49	18
montan	700-1200	44	4
subalpin	1200-1900	18	1
alpin	> 1900	1	0

Tab. 1 Kriterien für die Gruppierung der Kleinseen nach Höhenlage. Die Flächenanteile wurden mittels einer BAFU-internen GIS-Analyse ermittelt.

zugsgebiet der Seen, da die Siedlungsdichte und der Anteil sowie die Intensität der Landwirtschaft mit steigender Höhe abnehmen (Tab. 1). Andererseits wird durch diese Einteilung den klimatischen Bedingungen, die für die Primärproduktion relevant sind, auch Rechnung getragen. Die Höheneinstufung wurde nach geobotanischen Kriterien in vier Höhenstufen vorgenommen (Tab. 1). Die Einteilung in Höhenstufen erlaubt es, Aussagen zu Seen mit vergleichbarer Belastungssituation machen zu können.

Als drittes Kriterium für die Gruppierung diene das Schichtungsverhalten. Es wurde zwischen ungeschichteten und geschichteten Kleinseen unterschieden. Im Gegensatz zu geschichteten Seen stehen in flachen ungeschichteten Seen die Nährstoffe, die im Wasser oder Sediment nach der Zersetzung der Biomasse wieder freigesetzt werden, dem Algenwachstum unmittelbar wieder zur Verfügung. Die trophische Situation der Seen wird dadurch massgeblich beeinflusst und ist auch nach LAWA-Richtlinie ein wichtiger Parameter zur Bestimmung der Ist- und Referenz-Trophie.

**NATÜRLICHE KLEINSEEN**

**Ist-Zustand**

In der Regel sind Kleinseen in tieferen Lagen nährstoffreicher und befinden sich eher in einem ungenügenden trophischen Zustand als Kleinseen in höheren Lagen. So befinden sich 21 von 36 untersuchten kollinen Kleinseen (60%) in einem ungenügenden Zustand (Tab. 2). In allen Höhenlagen werden ungeschichtete Kleinseen im Allgemeinen besser bewertet als geschichtete, da sie aufgrund ihrer Morphometrie (Polymixie, hohe Eigendüngung) eher natürlicherweise einen höheren Trophiegrad aufweisen als geschichtete.

Der ungenügende Zustand kolliner Kleinseen kann auf eine oder mehrere Ursachen zurückgeführt werden. 80% der Kleinseen in mässigem und unbefriedigendem Zustand befinden sich in Einzugsgebieten

mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung. Beeinträchtigungen aufgrund dieser intensiven landwirtschaftlichen Nutzung im Einzugsgebiet dürften für deren ungenügenden Zustand die wesentliche Rolle spielen. Nährstoffe gelangen einerseits

durch die Düngung der z. T. unmittelbar ans Ufer angrenzenden Landwirtschaftsflächen und daraus resultierenden oberflächlichen Nährstoffabschwemmungen und andererseits via Drainageeinleitungen in die Gewässer. Viele Kleinseen wurden während des 2. Weltkriegs abgesenkt, die umgebenden moorigen Flächen wurden entwässert und für die Landwirtschaft nutzbar gemacht. Durch die Luftzufuhr wird der Torf zersetzt. Die freigesetzten Nährstoffe werden ebenfalls via Drainagen in die Seen transportiert. In manche Kleinseen gelangen Nährstoffe immer noch über die Siedlungsentwässerung wie z.B. durch Einleitungen von

Gewässergruppe	Ist-Trophie	Bewertung
kollin geschichtet (21)		
kollin ungeschichtet (15)		
montan geschichtet (6)		
montan ungeschichtet (4)		
subalpin (23)		
alpin (33)		

Tab. 2 Trophischer Ist-Zustand und Bewertung der untersuchten natürlichen Kleinseen der Schweiz. 5 subalpine und 19 alpine Kleinseen konnten aufgrund fehlender Daten zur Ermittlung der Referenz-Trophie nicht bewertet werden.



Hochwasserentlastungen oder Meteorwasser oder in Einzelfällen von nicht an eine ARA angeschlossene Haushaltungen. Untersuchungen an neun kollinen Kleinseen des Kantons Bern weisen sowohl auf Nährstoffbelastungen aus der Landwirtschaft als auch auf Einträge von häuslichem Abwasser hin, die als Gründe für deren ungenügenden Zustand genannt werden [7].

Diese aus punktuellen Quellen stammenden Nährstoffeinträge sind aber meist von untergeordneter Bedeutung. In den meisten Fällen handelt es sich um diffuse Einträge aus der Landwirtschaft. Dies konnte mittels einer Stoffflussanalyse zum Beispiel am Inkwilensee (BE/SO) gezeigt werden [8]. Die diffusen Einträge lagen mit einem Anteil von 91 bis 98% bei Phosphor bzw. Stickstoff weit über den Einträgen aus Punktquellen (Regenwasserentlastungen, Meteorwassereinleitungen). Einträge aus dem Ackerbau wurden dabei als bedeutendste Nährstoffquellen befunden.

Eine Dominanz der Nährstoffeinträge durch die Landwirtschaft dürfte bei vielen Kleinseen des Mittellandes auftreten, die einen hohen Anteil intensiver Landwirtschaft aufweisen (s. zum Beispiel Titelbild). Bedeutende Nährstoffeinträge aus Punktquellen der Siedlungsentwässerung sind gemäss Einschätzung kantonaler Fachstellen meist von untergeordneter Bedeutung.

Auffällig ist der beträchtliche Anteil von 40% der Kleinseen im subalpinen Bereich, die sich in ungenügendem Zustand befinden. Wahrscheinlich ist die Alpwirtschaft, die bei manchen Seen bis zu 60% der Einzugsgebietsnutzung ausmacht, für deren ungenügenden trophischen Zustand von grosser Bedeutung. Die Nähe von Alpweiden zum Gewässer oder die Nutzung als Viehtränke dürften ebenfalls eine wesentliche Eutrophierung insbesondere von kleinen subalpinen Seen bewirken. Ferner können Einleitungen aus einzelnen Höfen oder Betrieben, die abwassertechnisch nicht oder nur ungenügend behandelt werden, die trophischen Verhältnisse im See beeinträchtigen. Praktisch alle untersuchten subalpinen Kleinseen in ungenügendem Zustand liegen in Karstgebieten. Aufgrund der speziellen hydrologischen Gegebenheiten können auch geringe Nährstoffbelastungen eine grosse negative Auswirkung auf deren trophische Situation haben. Inwieweit

hohe Seespiegelschwankungen einiger subalpiner Seen, die zwecks Energieproduktion genutzt werden, den Trophiegrad beeinträchtigen, bleibt zu untersuchen. Die genauen Ursachen der Beeinträchtigungen müssen im Einzelfall und seespezifisch ermittelt werden.

Die bewerteten alpinen Kleinseen befinden sich in einem guten Zustand.

#### Zustandsentwicklung

Langzeituntersuchungen an 27 Kleinseen, an denen Sanierungsmassnahmen durchgeführt wurden, zeigen, dass mit gezielten seeexternen (Sanierung Siedlungsentwässerung, Extensivierung der Landwirtschaft, Erstellen von Pufferzonen) und seeinternen (Tiefenwasserableitung, Zirkulationsunterstützung) Massnahmen rund ein Drittel der Seen in ihren natürlichen Zustand zurückgeführt werden konnten und aktuell einen guten Zustand aufweisen (Tab. 3).

Erfolgreiche seeexterne Sanierungsmassnahmen waren die Sanierung der Siedlungsentwässerung, die Extensivierung von Landwirtschaftsflächen v.a. auf gewässernahen Flächen, das Erstellen von Pufferzonen insbesondere in Hanglagen und angepasste Düngepraxis. Seeinterne Massnahmen wie z.B. Tiefenwasserableitung und Zirkulationsunterstützung waren insbesondere in Kombination mit seeexternen Massnahmen erfolgreich. Es hat sich gezeigt, dass die Massnahmen auf jedes Gewässer individuell abgestimmt und angewendet werden müssen, damit Sanierungserfolge erzielt werden können.

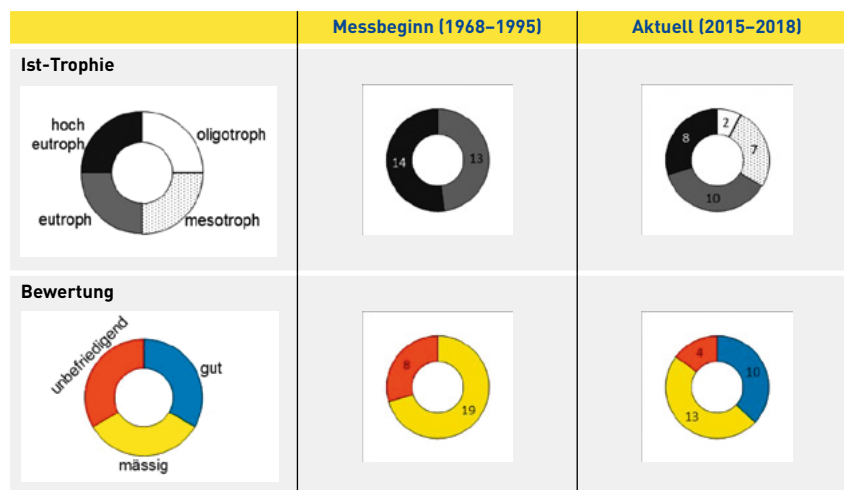
Jedoch befinden sich rund zwei Drittel der Kleinseen trotz Sanierungsmassnahmen immer noch in einem ungenügenden Zu-

stand. Die Phosphorrücklösung aus den Sedimenten bei sauerstofflosen Bedingungen, die eine hohe Eigendüngung aus den über Jahrzehnte belasteten Sedimenten bewirkt, ist ein Grund für diese Situation. Dies ist v.a. bei ungeschichteten Kleinseen von grosser Bedeutung. Nur einer von fünf ungeschichteten Kleinseen hat dank erfolgter Sanierungsmassnahmen einen guten Zustand erreicht. Bei den geschichteten Kleinseen ist dieser Anteil doppelt so gross.

Die Langzeituntersuchungen zeigen zudem, dass Sanierungsmassnahmen über einen langen Zeitraum durchgeführt werden müssen, bis sich ein Gleichgewicht und ein stabiler neuer verbesserter Zustand einstellen. Die Algenmenge in einem See reagiert aufgrund der Phosphorrücklösung aus den Sedimenten bzw. seeinterner Eigendüngung verzögert auf den externen Nährstoffrückgang.

Ein weiterer Grund für den immer noch ungenügenden Zustand der langjährig untersuchten Kleinseen ist immer noch die zu hohe externe Nährstoffbelastung aus dem Einzugsgebiet hauptsächlich durch Landwirtschaft und teilweise durch Siedlungsentwässerung.

Um den Zustand der Kleinseen in der Schweiz weiter zu verbessern, müssen Massnahmen in erster Linie im Bereich Landwirtschaft durch Extensivierungen, Reduktion des Tierbestandes, Erstellen von Pufferstreifen und Erosionsschutzmassnahmen umgesetzt werden. In Einzelfällen dürften Massnahmen im Bereich Siedlungsentwässerung, z.B. Fernhalten von Hochwasserentlastungen, notwendig sein. Zudem müssen bereits getroffene Massnahmen auch bei noch



Tab. 3 Zustandsentwicklung von 27 langjährig untersuchten Kleinseen.

nicht ersichtlichen Verbesserungen weiterhin aufrechterhalten werden.

### KÜNSTLICHE KLEINSEEN

Die 61 untersuchten künstlichen Kleinseen weisen eine grosse Vielfalt an Trophiegraden auf, die sowohl von ihrer Entstehungsgeschichte als auch von der Art und Intensität der Nutzung abhängt. Die Kleinseen in tieferen Lagen sind dabei im Vergleich zu denjenigen in höheren Lagen häufiger nährstoffreich, was wahrscheinlich auf die grössere anthropogene Belastung aus intensiver Landwirtschaft und Siedlungsentwässerung in tiefen Lagen zurückzuführen ist [6].

Die meisten der 61 untersuchten künstlichen Kleinseen konnten aufgrund einer nicht zu bestimmenden Referenz-Trophie nicht nach den LAWA-Richtlinien bewertet werden, weshalb im vorliegenden Artikel nicht näher auf den Zustand der künstlichen Kleinseen eingegangen wird.

### FAZIT UND AUSBLICK

Von den rund 1500 Kleinseen in der Schweiz sind bislang 163 auf ihren trophischen Zustand hin untersucht worden. Der Vergleich von gewässertypspezifischem trophischem Ist-Zustand und trophischem Referenz-Zustand wurde als geeigneter Ansatz für eine gesamtschweizerisch einheitliche Bewertung von natürlichen Kleinseen erachtet, da damit die Erreichung der gesetzlichen Ziele und die Einhaltung der Anforderungen überprüft werden kann.

Die Hälfte der natürlichen Kleinseen im Mittelland befindet sich in einem ungenügenden Zustand. Ursache für den ungenügenden Zustand vieler Mittellandseen ist die zu hohe seeexterne Nährstoffbelastung aus der intensiven Landwirtschaft. Bei den subalpinen Seen befinden sich rund ein Drittel der Seen in einem ungenügenden Zustand, wobei dies mit Beeinträchtigungen sowohl aus der Landwirtschaft im Einzugsgebiet als auch mit Einleitungen aus einzelnen Höfen und Betrieben begründet werden kann. Alpine Kleinseen befinden sich in der Regel in einem guten Zustand.

Ergebnisse aus Langzeituntersuchungen an natürlichen Kleinseen zeigen, dass mit geeigneten seeexternen Massnahmen im

Bereich Landwirtschaft und Siedlungsentwässerung Verbesserungen auch in stark anthropogen genutzten Einzugsgebieten erzielt werden konnten und das Erreichen eines naturnahen Zustands möglich ist. Die Kombination von seeexternen und seeinternen Massnahmen zur Erreichung eines guten Zustandes hat sich in der Praxis bewährt. Jedoch zeigen die Langzeituntersuchungen auch, dass sich viele Kleinseen trotz erfolgter Sanierungsmassnahmen immer noch in einem ungenügenden Zustand befinden.

Weitere Massnahmen zur Reduktion der Nährstoffbelastung insbesondere im Bereich Landwirtschaft sind nötig, um den Zustand der Kleinseen weiter zu verbessern und damit ihre Funktion als wertvolle Lebensräume und Erholungsräume langfristig sicherstellen zu können.

### BIBLIOGRAPHIE

- [1] Oertli, B. (2000): *Diversité biologique et typologie écologique des étangs et petits lacs de Suisse*. Bundesamt für Umwelt, Bern et Laboratoire d'Écologie et de Biologie Aquatique, Université de Genève
- [2] LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (1998): *Gewässerbewertung – stehende Gewässer. Vorläufige Richtlinie für eine Erstbewertung von natürlich entstandenen Seen nach trophischen Kriterien*, Berlin
- [3] LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (2001): *Vorläufige Richtlinie für die Trophieklassi-*

### VERDANKUNGEN

Das Projekt wurde durch das Bundesamt für Umwelt finanziert. Ein grosser Dank geht an *Bänz Lundsgaard-Hansen* und *Manuel Kunz* (beide BAFU) für ihre wertvollen inhaltlichen und redaktionellen Anregungen zum Manuskript. Ein weiterer Dank geht an *Theo Hilber* (BAFU) für die Durchführung und Zurverfügungstellung informativer GIS-Analysen. Ein Dankeschön gilt allen kantonalen Gewässerschutzfachstellen für die Bereitstellung vorhandener Daten und Auskünften zu kantonalen Untersuchungsprogrammen.

*fikation von Talsperren*, Berlin

- [4] LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (2003): *Vorläufige Richtlinie für eine Erstbewertung von Baggerseen nach trophischen Kriterien*, Berlin
- [5] LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (2014): *Richtlinie zur Ermittlung des Trophie-Index nach LAWA für natürliche Seen, Baggerseen, Talsperren und Speicherseen*, Berlin
- [6] Binderheim, E. (2018): *Zustandsbericht Schweizer Kleinseen. Bericht z. Hd. des Bundesamtes für Umwelt*, Bern
- [7] Guthruf-Seiler, K. et al. (2015): *Zustand der Kleinseen. Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern*, Bern
- [8] Fankhauser, R. (2018): *Nährstoffeinträge über das Einzugsgebiet des Inkwilsersees. Bericht z. Hd. des Amtes für Umwelt, Kanton Solothurn*

### > SUITE DU RÉSUMÉ

intensive et qu'il était possible de retrouver un état proche du naturel. La combinaison de mesures externes et internes au lac pour rétablir le bon état des plans d'eau a fait ses preuves dans la pratique. Les études à long terme montrent toutefois aussi que de nombreux petits lacs sont toujours dans un état insuffisant, malgré des mesures d'assainissement et la réduction de l'apport en nutriments de l'extérieur. Cette situation s'explique par la persistance de l'auto-fertilisation en phosphore des sédiments pollués pendant des décennies dans des conditions d'absence d'oxygène. Cette situation retarde la réaction de la production d'algues à un apport en nutriments externe réduit.

D'autres mesures visant à réduire l'apport en nutriments dans le domaine agricole et dans celui de l'évacuation des eaux urbaines sont nécessaires pour continuer d'améliorer l'état des petits lacs et, ainsi, être en mesure d'assurer durablement leur fonction d'habitat précieux et d'espace de détente.