

Messmethoden

Im Rahmen der Akkreditierung als Umweltlabor nach ISO 17025 sind die Methoden – von der Probenahme auf dem See über die Probeaufbereitung, Messung und Auswertung der chemischen und physikalischen Parametern in Standard-Arbeitsanweisungen detailliert beschrieben. Die verwendeten Mess- und Analysemethoden werden im Folgenden kurz dargestellt.

Physikalische Parameter

An der tiefsten Stelle des Sees werden verschiedene physikalische Parameter in unterschiedlichen Seetiefen erfasst. Der Sauerstoffgehalt, die Temperatur, der pH-Wert, die Leitfähigkeit und die Trübung werden mit einer Multi-Parameter-Sonde gemessen. Die Secchi-Tiefe wird ebenfalls direkt auf dem See erfasst.



Chemische Parameter

An der tiefsten Stelle des Sees werden mit einer Schöpfflasche Proben für die chemischen Untersuchungen aus verschiedenen Seetiefen entnommen und gekühlt zur Analyse ins Labor transportiert.



Zooplankton

Die Probenahme erfolgt mit vertikalen Netzzügen (Doppelnetz: 95 µm Maschenweite, Netzöffnung je 12 cm Durchmesser) vom Grund des Sees bis zur Oberfläche. Die Probe wird gekühlt ins Labor transportiert, filtriert (80 µm) und der Filtrerrückstand zur Bestimmung des Trockengewichtes bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Sehr grosse Algenkolonien bleiben ebenfalls im Zooplanktonnetz hängen und können dadurch das Trockengewicht des Zooplanktons verfälschen. Ein Aliquot der Probe wird deshalb unter dem Binokular betrachtet. Werden hohe Dichten von Algen im Verhältnis zum vorhandenen Zooplankton festgestellt, wird der ermittelte Wert für das Trockengewicht verworfen. Der Zürichsee wird von der Wasserversorgung Zürich (WVZ) untersucht. Als Mass für die Zooplanktonbiomasse verwendet die WVZ das Zooplankton-Frischgewicht, das analog dem Algenfrischgewicht bestimmt wird.



Mess- und Beurteilungsmethoden Seen

Phytoplankton

Die Algenmenge im See wurde bis Ende 2002 aufgrund des mittleren Algenfrischgewichtes bestimmt. Gleichzeitig wurde auch die Chlorophyllkonzentration gemessen. Ein Vergleich der Chlorophyllwerte und der Algenfrischgewichte vom Pfäffiker-, Türlener- und Hüttenersee bestätigte Erkenntnisse aus der Literatur: die Chlorophyllkonzentration kann näherungsweise als Mass für die Algenmenge im See verwendet werden. Von 2003 bis 2020 wurde als quantitatives Mass für die Algenmenge nur noch die Chlorophyllkonzentration gemessen. Da in den letzten Jahren in einigen Seen Veränderungen in der Planktonzusammensetzung festgestellt wurden, wird seit 2021 zusätzlich wieder das Algenfrischgewicht nach einem vereinfachten Verfahren bestimmt.

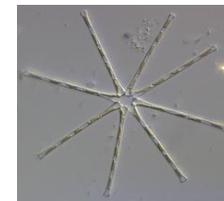
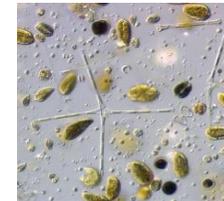
Zur Bestimmung der Chlorophyllkonzentration (Chlorophyll a) wird ein Teil der unbehandelten Mischprobe filtriert und die Chlorophyllkonzentration nach Extraktion des Filtrerrückstandes photometrisch bestimmt. Die Chlorophyllkonzentration gibt Auskunft über die Algenmenge im See, nicht aber über die Artenzusammensetzung. Um dennoch einen Überblick über die im See vorhandenen Taxa zu haben, wird seit dem Jahr 2003 ein Teil der Mischprobe unter dem Mikroskop betrachtet und die Häufigkeit der verschiedenen Taxa mittels einer fünfstufigen Skala abgeschätzt.

Für die Bestimmung des Algenfrischgewichtes werden mit der Schröderflasche jeweils 3 Mischproben aus je nach See unterschiedlichen Wassertiefen entnommen. Nach guter Mischung werden 250 ml Probe noch auf dem See mittels Lugol'scher Lösung fixiert und bis zur weiteren Analyse kühl und dunkel gelagert. Für die Auszählung der Proben lässt man ein definiertes Probevolumen während 24 Stunden in der Verbundkammer absetzen. Anschliessend wird nach einem vorgegebenen Schema ausgezählt. Aufgrund der jeweiligen Anzahl der verschiedenen Taxa und dem bekannten Zellvolumen der einzelnen Taxa kann das Algenfrischgewicht im See berechnet werden. Die Probe liefert zudem Angaben zur Artenzusammensetzung im See.

Der Zürichsee wird von der Wasserversorgung Zürich (WVZ) untersucht. Als Mass für die Algenbiomasse verwendet die WVZ das Algenfrischgewicht. Seit 2006 wird zusätzlich auch die Chlorophyllkonzentration im See erfasst.

Beurteilung Seen

Bei der Beurteilung des Gewässerzustandes stehen die Anforderungen der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV), Anhang 2 im Vordergrund. Die GSchV stellt jedoch für stehende Gewässer mit Ausnahme der minimalen Sauerstoffkonzentration nur qualitative und keine numerischen Anforderungen. Für eine besser nachvollziehbare Beurteilung des Seezustandes wurden deshalb die qualitativen Anforderungen präzisiert. Insbesondere der Methodenbeschrieb: «Trophieklassifikation von Seen: Richtlinie zur Ermittlung des Trophie-Index nach LAWA für natürliche Seen, Baggerseen, Talsperren und Speicherseen, LAWA 2014» diente neben der Arbeit von Vollenweider (1982, Synthesis Report OECD, Paris) als wichtige Grundlage zur Präzisierung der Beurteilungsgrössen.



Mess- und Beurteilungsmethoden Seen

Beurteilungskriterien

Als Beurteilungskriterien dienen die Sauerstoffkonzentration, der Gesamtphosphorgehalt sowie der Chlorophyll-Gehalt, respektive das Algenfrischgewicht. Die Beurteilung erfolgt durch den Vergleich des Ist-Zustandes mit dem Zustand, in dem sich das Gewässer unter unbelasteten, naturnahen Bedingungen befinden würde (Referenzzustand).

Referenzzustand

Es ist seit langem bekannt, dass ein Zusammenhang besteht zwischen der biologischen Produktivität eines Sees (Trophie) und der Geometrie des Seebeckens sowie dem potenziell natürlichen Nährstoffeintrag aus dem Einzugsgebiet. Alle drei Trophiestufen des international verwendeten Trophiesystems können unter natürlichen oder naturnahen Bedingungen vorkommen: oligotroph = geringe Produktion, mesotroph = mittlere Produktion, eutroph = hohe Produktion. Aufgrund der Geometrie des Seebeckens oder dem potenziell natürlichen Nährstoffeintrag aus dem Einzugsgebiet lässt sich auf den zu erwartenden Trophiezustand eines Gewässers unter Referenzbedingungen schliessen. Der Referenzzustand ist deshalb für jeden See individuell zu ermitteln. Die Bewertung erfolgt je nach zu erwartendem Referenzzustand nach unterschiedlichen Bewertungsschlüsseln.

Gesamtphosphorgehalt

Gemäss Anhang 2 Ziffer 13 GSchV darf der Nährstoffgehalt in stehenden Gewässern höchstens eine mittlere Produktion von Biomasse zulassen. Besondere natürliche Verhältnisse bleiben vorbehalten. In unseren Seen ist Phosphor der wachstumslimitierende Nährstoff. Für natürlicherweise oligo- und mesotrophe Seen wurde ein Zielwert von 0.025 mg P/l festgelegt. Bei dieser mittleren jährlichen Phosphorkonzentration kommt es zu keiner übermässigen Algenproduktion. Natürlicherweise eutrophe Seen lassen eine höhere Algenproduktion zu. Für natürlicherweise eutrophe Seen wurde ein Zielwert von 0.040 mg P/l festgelegt.

Bewertungsschlüssel für natürlicherweise oligo- und mesotrophe Seen	
Konzentration	Bewertung
0 - 10 µg P _{tot} /l	sehr gut
10 - 25 µg P _{tot} /l	gut
25 - 50 µg P _{tot} /l	mässig
50 - 75 µg P _{tot} /l	unbefriedigend
> 75 µg P _{tot} /l	schlecht

Bewertungsschlüssel für natürlicherweise eutrophe Seen	
Konzentration	Bewertung
0 - 20 µg P _{tot} /l	sehr gut
20 - 40 µg P _{tot} /l	gut
40 - 60 µg P _{tot} /l	mässig
60 - 80 µg P _{tot} /l	unbefriedigend
> 80 µg P _{tot} /l	schlecht

Mess- und Beurteilungsmethoden Seen

Algenfrischgewicht und Chlorophyll

Für die Bestimmung des Algenfrischgewichtes werden die Algenarten unter dem Mikroskop gezählt. Jeder Art ist ein spezifisches Volumen und damit Gewicht zugeordnet. Durch Multiplikation mit der gefundenen Anzahl der Vertreter der jeweiligen Art und der anschliessenden Summierung der Teilgewichte erhält man das Algenfrischgewicht. Diese sehr aufwändigen Bestimmungen wurden durch Messungen der Chlorophyllkonzentration ersetzt. Vergleichsmessungen mit Plankton aus verschiedenen Seen zeigen, dass die Chlorophyllkonzentration näherungsweise als Mass für die Algenmenge in einem See verwendet werden kann.

Zur Abschätzung der Biomasseproduktion im See wird die mittlere jährliche Chlorophyllkonzentration verwendet. In natürlicherweise oligo- und mesotrophen Seen gilt ein Zielwert von 6 µg Chlorophyll (Chl a/l). Diese mittlere jährliche Chlorophyllkonzentration entspricht einer mittleren Algenproduktion im See.

Natürlicherweise eutrophen Seen weisen eine höhere Algenproduktion auf. Für natürlicherweise eutrophe Seen gilt deshalb ein Zielwert von 15 µg Chlorophyll (Chl a/l).

Bewertungsschlüssel für natürlicherweise oligo- und mesotrophe Seen	
Konzentration	Bewertung
0 - 3 µg Chl a/l	sehr gut
3 - 6 µg Chl a/l	gut
6 - 9 µg Chl a/l	mässig
9 - 12 µg Chl a/l	unbefriedigend
> 12 µg Chl a/l	schlecht

Bewertungsschlüssel für natürlicherweise eutrophe Seen	
Konzentration	Bewertung
0 - 7.5 µg Chl a/l	sehr gut
7.5 - 15 µg Chl a/l	gut
15 - 25 µg Chl a/l	mässig
25 - 40 µg Chl a/l	unbefriedigend
> 40 µg Chl a/l	schlecht

Mess- und Beurteilungsmethoden Seen

Sauerstoffgehalt

Gemäss Anhang 2 Ziffer 13 GSchV darf der Sauerstoffgehalt in stehenden Gewässern zu keiner Zeit und in keiner Seetiefe weniger als 4 mg O₂/l betragen; er muss zudem ausreichen, damit wenig empfindliche Tiere wie Würmer den Seegrund ganzjährig und in einer möglichst natürlichen Dichte besiedeln können. Besondere natürliche Verhältnisse bleiben vorbehalten.

Seen mit geringem bis mässigem Nährstoffgehalt weisen höchstens eine mittlere Biomasseproduktion auf. Durch den Abbau von abgestorbener Biomasse nimmt die Sauerstoffkonzentration im Tiefenwasser ab. Allerdings sollte die Sauerstoffkonzentration in natürlicherweise oligo- und mesotrophen Seen zu keiner Zeit und in keiner Seetiefe unter die Zielanforderung von 4 mg O₂ / l sinken.

In natürlicherweise eutrophen Seen sind die Algenproduktion und folglich auch die Sauerstoffzehrung in den tieferen Wasserschichten höher. Ein starker Sauerstoffmangel im Tiefenwasser gegen Ende der Stagnationsphase im Sommer ist daher ein natürliches Phänomen. Tiere und Pflanzen, die in eutrophen Gewässern heimisch sind, passten sich an die dort herrschenden Lebensbedingungen an.