

## 3.8 Unsere Seen schrumpfen

HEIKE ZIMMERMANN-TIMM & KATRIN TEUBNER

*Seen sind Klimawächter, und die signifikante Wasserabnahme in vielen großen Seen weltweit ist ein alarmierendes Zeichen für die Auswirkungen des Klimawandels und die Endlichkeit der Süßwasser-Ressourcen. Flache Seen mit großer Oberfläche und geringem Wasservolumen, wie der Neusiedler See in Österreich, sind besonders anfällig. Lokale Maßnahmen müssen die Klimafolgen minimieren. Ohne effiziente Wassernutzung und angepasstes Landschaftsmanagement droht dem einzigartigen Soda- und Steppensee das vollständige Austrocknen.*

**Our lakes are shrinking:** *Lakes are climate sentinels, and the significant water decline in over half of the world's large lakes is an alarming sign of climate change and limited freshwater resources. Not all shrinking lakes are equally affected. Shallow lakes with large surfaces and low water volumes, often exposed to strong winds and heat, are particularly vulnerable. The shallow Neusiedler See in Austria, a unique soda and steppe lake, risks drying up completely without local efficient water use and adapted landscape management.*

**Nuestros lagos se estan reduciendo:** *Los lagos son guardianes del clima, y la importante disminución de agua en muchos grandes lagos de todo el mundo es una señal alarmante de los efectos del cambio climático y del carácter finito de los recursos de agua dulce. Los lagos poco profundos con una gran superficie y poco volumen de agua, como el lago Neusiedl en Austria, son especialmente vulnerables. Las medidas locales deben amortiguar el impacto del cambio climático. Sin una utilización eficaz del agua y una gestión adaptada del paisaje, este lago de soda y estepa único en el mundo corre el riesgo de secarse por completo.*

### Seen im Klimawandel, warum ist dies heute ein Schwerpunktthema?

Seen sind stehende Binnengewässer im globalen Wasserkreislauf. Sie erhalten Wasser durch Niederschlag, Verdunstung sowie Zu- und Abflüsse. Obwohl sie nur 2,26% des kontinentalen Wassers ausmachen, sind sie von großer sozio-ökologischer Bedeutung.

Seen sind junge geologische Gebilde, deren Entstehung auf verschiedene Faktoren zurückzuführen ist, wie tektonische Aktivitäten, vulkanische Prozesse und menschliche Einflüsse. Es gibt über 300.000.000 Seen, deren Gesamtfläche auf der Erde 4,2 Mio. km<sup>2</sup> beträgt, das sind etwa 3% der gesamten Fläche des Festlandes. Zahlenmäßig dominieren die kleinen Wasserkörper (<1 km<sup>2</sup> Fläche).

Der Klimawandel beeinflusst Seen vielfältig. Sie reagieren empfindlich auf diese Veränderungen und werden als "Klimawächter" bezeichnet (ADRIAN et al 2009). Steigende Wassertemperaturen und geringere Wasserstände lassen sich online überwachen (Abb. 3.8-1) und dienen der Entwicklung von Strategien zur Anpassung und nachhaltigen Nutzung der Wasserressourcen, um die ökologischen Funktionen und die Biodiversität der Seen zu schützen.

### Klimawandel und menschliche Aktivitäten als Hauptfaktoren für das Schrumpfen von Seen

Es gibt fünf primäre Ursachen für das Schrumpfen von Seen, die durch den Klimawandel und menschliche Eingriffe bedingt sind. Klimabedingte Erhöhungen der Temperaturen verstärken die Verdunstung, während häufigere und intensivere Hitzewellen die Verdunstungsraten kurzfristig noch weiter steigern. Zudem führen regional veränderte Niederschlagsmuster zu un-

regelmäßigen und verminderten Wasserzuflüssen (SOJA et al. 2013). Übermäßige Grundwasserentnahmen, vor allem durch intensive Landwirtschaft, sowie Abhol-



**Abb. 3.8-1:** *Seen sind Klimawächter, an denen sich viele klimabedingte Veränderungen mithilfe von Monitoringsystemen leicht erfassen lassen. Beispiel Neusiedler See, oben: Steg mit online-PLS-C Sonde, misst alle drei Minuten die Wassertemperatur, Leitfähigkeit und den Wasserstand, sowie einer Pegelmesslatte, unten: Eddy-Kovarianz-Turm im Schilfgürtel erfasst Treibhausgasemissionen. (Fotos @KT).*

zung und Änderungen der Landnutzung reduzieren die Wasserrückhaltefähigkeit des Bodens und erhöhen die Oberflächenverdunstung.

Die daraus resultierenden Konsequenzen sind vielfältig und tiefgreifend. Eine verminderte Wasserverfügbarkeit beschränkt die Ressourcen für Trinkwasser, Bewässerung und industrielle Nutzung. Der Lebensraumverlust durch schrumpfende Seen schädigt aquatische und ufernahe Ökosysteme, beeinträchtigt die Biodiversität und verschlechtert die Wasserqualität durch erhöhte Nährstoff- und Schadstoffkonzentrationen. Diese Veränderungen bedrohen die Gesundheit von Mensch und Natur. Zudem belasten sie die lokale Wirtschaft, erschweren die Landwirtschaft und beeinträchtigen den Tourismus. Die Funktion der Seen als lokale Klimapuffer wird geschwächt, was das Wettergeschehen in deren Umgebungen beeinflusst.

### **Einfluss der globalen Erwärmung auf die Phänologie und Ökologie von Seen**

Die enge Kopplung saisonaler Erwärmung von Luft und Wasser führt zu einer regionalen und zeitlichen Kohärenz der Wassertemperaturdynamik in Seen (DOKULIL & TEUBNER 2002). Sie zeigt, dass die Seen gleichermaßen dem Erwärmungsstress ausgesetzt sind. Die globale Erwärmung verlängert die thermische Schichtung, verkürzt Durchmischungszeiten und Eisbedeckungen, was Ökosysteme beeinflusst und Cyanobakterien (TEUBNER et al. 2022a) begünstigt.

Aktuelle wissenschaftliche Studien, die Satellitendaten, Klimadaten und hydrologische Modelle kom-

binieren, zeigen, dass 53% der großen Seen weltweit eine signifikante Abnahme des gespeicherten Wassers aufweisen (YAO et al. 2023). Der Volumenverlust in Seen, ob natürlich oder gestaut, resultiert hauptsächlich direkt aus Klimaerwärmung und somit erhöhter Verdunstung. Sedimentation, Bodenerosion und Wassernutzung ohne Rückführung verschärfen den Verlust. Bis 2050 könnten Stauseen weltweit 25% ihrer Kapazität einbüßen (YAO et al. 2023).

Steigende Verdunstung und Wasserverluste in Seen zeigen sich insbesondere in trockenen Regionen mit geringen Niederschlägen, wo die Wasserreserven ohnehin knapp sind. Der Wasserverlust ist allerdings nicht nur in trockenen Regionen unseres Planeten nachweisbar, sondern geht oft mit einem direkten Eingriff durch menschliche Nutzung am oder um ein Gewässer einher. Weltweit sind berühmte Seen von starken Wasserverlusten betroffen. Der Aralsee leidet unter dramatischen Verlusten durch Wasserabfluss für die Bewässerung, der Lake Mead unter steigenden Temperaturen und geringen Niederschlägen sowie das Tote Meer durch Wasserentnahmen für verschiedene Zwecke. In Europa sind der Bodensee, Gardasee, Lago Maggiore (Abb. 3.8-2) und Neusiedler See von ähnlichen Problemen betroffen.

Während in vielen Regionen Seen schrumpfen, verzeichneten 24% der großen Gewässer einen deutlichen Anstieg des Wasservolumens. Zu diesen Gewässern gehören Seen in dünn besiedelten Gebieten des inneren tibetischen Plateaus, den Great Plains der USA sowie in Regionen mit neuen Stauseen wie dem Jangtse, Me-

**Tab. 3.8-1:** Die zehn wichtigsten ökosystemaren Dienstleistungen von Seen.

ökosystemare Dienstleistungen:	Kurzbeschreibung:
Ökologische Bedeutung	Seen sind wichtige Ökosysteme mit vielfältiger Flora und Fauna, die als Lebensraum, Brutstätte und Nahrungsquelle dienen.
Trinkwasserversorgung	Städte und Gemeinden nutzen Seen als Trinkwasserquelle, wobei die Wasserquantität und -qualität von entscheidender Bedeutung sind.
Stromerzeugung	Stauseen dienen oft der Stromerzeugung
Landwirtschaft	Landwirtschaftliche Bewässerung erfolgt oft aus Seen, um den Wasserbedarf der Pflanzen zu decken.
Angeln und Fischerei	Angeln und Fischerei stellen eine Möglichkeit der Ernährung dar.
Erholung, Tourismus und Bildung	Seen bieten vielfältige Freizeitmöglichkeiten wie Angeln, Schwimmen und Bootfahren (TEUBNER ET AL., 2020), was wirtschaftliche Vorteile bringt, und dienen als Orte für soziale Begegnungen und Stressabbau.
Pädagogische Funktion	Das Erleben des Wassers befördert zudem die Umweltbildung.
Binnenschifffahrt	Auf vielen großen Seen werden Personen und Güter mit Binnenschiffen befördert.
Elemente der Denkmalpflege	Gewässer und zugehörige Bauwerke sind oft historisch wertvolle Denkmäler.
Klimatische Regulation	Seen mildern Temperaturschwankungen im lokalen Klima und gewinnen als "Blauräume" (urban blue spaces, z.B. TEUBNER ET AL., 2020) im Städtebau an Bedeutung für die Lebensqualität.

kong und Nil. Doch auch hier darf man den See nicht isoliert von seinem Einzugsgebiet und der menschlichen Nutzung betrachten. In einigen Fällen profitieren Seen zwar noch von der verstärkten Gletscherschmelze infolge des Klimawandels, jedoch ist die Ressource des Gletscherwassers endlich und mit erheblichen ökologischen Veränderungen verbunden. Der Dreischluchtendamm und andere Aufstauungen des Jangtse haben Seen seines Einzugsgebietes, wie den Poyang-See ihrer natürlichen jährlichen Wasserschwankungen von bis zu 9 Metern genommen (LIU et al. 2016). Stattdessen bleibt der Wasserstand jetzt ganzjährig hoch, was Fischer und Binnenschifffahrt begünstigt.

### Klimawandel und Wasserverbrauch durch den Menschen

Der menschliche Wasserverbrauch für Bewässerung, Industrie und persönliche Nutzung kann den Wasserstand von Seen deutlich beeinträchtigen. Wenn mehr Wasser entnommen wird, als durch Niederschläge oder Zuflüsse ersetzt wird, sinkt der Pegelstand (s. Kap. Foken & Goldberg im Buch). Der steigende Verbrauch und abnehmende Niederschläge, verstärkt durch die globale Erwärmung, verschärfen die Wasserknappheit in Oberflächengewässern. Besonders flache Seen mit großem Oberflächenanteil sind durch erhöhte Verdunstung stark gefährdet (Abb. 3.8-3).

Weltweit zählen intensive landwirtschaftliche Bewässerungen zu dem Sektor mit dem stärksten Wasserverbrauch (JANDL et al. 2024). Eine effizientere Wassernutzung in der Landwirtschaft ist daher essenziell, um Wasserknappheit zu bekämpfen und Gewässer zu schützen und ergibt sich im Wesentlichen aus folgenden Massnahmen:

- Bedarfsorientierte Steuerung der Bewässerung: Nutzung von Oberflächen- und Grundwasser im Wesentlichen nur zur Überbrückung von Trockenperioden (siehe später Bewässerungsmethoden am Neusiedler See).
- Berücksichtigung des Wasserbedarfs der Pflanzen: Anpassung der Bewässerung an die Bodenstruktur.
- Anbau hitzeresistenter Sorten und Optimierung der Fruchtfolge.
- Langfristige Planung der Wasser-Entnahmekapazitäten in Abstimmung mit regionalen Wasserwirtschaftsplänen.
- Optimierung der Wasserverfügbarkeit: Geeignete Bodenbedeckung und Bodenbearbeitung.
- Implementierung von Wasserretentionsanlagen: Erhalt und Ausbau natürlicher Wasser-Retentionsflächen sowie Reduzierung der Bodenversiegelung.



Steigende Nachfrage nach Trinkwasser und industrielle Nutzung belasten Seen zusätzlich. Übermäßiger Grundwasserverbrauch senkt deren Wasserspiegel, weshalb nachhaltige Wasserbewirtschaftung essenziell ist. Es ist dringend ein gesellschaftlicher Diskurs erforderlich, um Seen durch nachhaltige Wasserstrategien und Klimaschutzmaßnahmen global zu erhalten. Die zehn wichtigsten, ökosystemaren Dienstleistungen von Gewässern sind in Tab. 3.8-1 zusammengefasst.

### Ein Beispiel aus Europa – der Neusiedler See

Der Neusiedlersee ist als Steppen-see besonders bemerkenswert – nur knapp 100 Kilometer von den östlichen Ausläufern der Alpen und etwa 50 Kilometer von Wien entfernt. Seine einzigartige Lage am Rande des pannonischen Raums verleiht ihm eine für Österreich außergewöhnliche Flora und Fauna (Abb. 3.8-3). Der Neusiedler See und die Sodalacken im Feuchtgebiet, bekannt als „Seewinkel“, sind fest in dem Leben in den umliegenden Gemeinden verankert, in Wien beliebt und auch im Ausland bekannt.

Historische Aufzeichnungen belegen, dass der See mehrfach beinahe oder tatsächlich komplett ausgetrocknet ist (historische Übersicht in EITZINGER et al. 2009), zuletzt zwischen 1865 und 1868 (HERZIG 2014). Historische Debatten darüber, ob der Seewinkel in seinem natürlichen Zustand belassen oder anderweitig genutzt werden sollte, spiegeln die unterschiedlichen Epochen und ihre jeweiligen Wertvorstellungen wider.

Der bedeutendste ökologische Eingriff war der Bau des Hansäg- oder Einser-Kanals (Abb. 3.8-4) zwi-

**Abb. 3.8-2:** Der Bodensee (links), der Gardasee (Mitte) und der Lago Maggiore (rechts) sind bekannte, tiefe Seen in Europa, die in den letzten Jahren deutlich an Wasserstand verloren haben (Fotos @KT).



**Abb. 3.8-3:** Flache Seen sind durch ihre große Verdunstungsfläche besonders verletzlich gegenüber dem Klimawandel, verlieren bei Hitze und Wind drastisch Wasser und schrumpfen so in Dürrezeiten oft sichtbar. Dieses Schrumpfen ist ein Warnsignal des Klimawandels und verdeutlicht die Endlichkeit der Wasserressourcen. Effizientere Wassernutzung ist dringend erforderlich, um das Austrocknen zu abzufedern.

Oben: Der Neusiedler See schrumpft wegen Dürre im Mai 2022 und droht auszutrocknen. Mitte: Bei ausreichendem Wasserstand ist der See ein Touristenmagnet, August 2014. Unten: Vogelbeobachtung hängt vom Wasserstand ab, gefördert durch nachhaltigen Tourismus, Mai 2015. (Fotos @KT).



schen 1909 und 1911, der den See mit der Donau verbindet. Ursprünglich sollte der Kanal das Wasser des Sees ableiten und die Fläche landwirtschaftlich nutzbar machen, was jedoch nie vollständig gelang. Auch erwies sich der Boden als zu salzhaltig für die Landwirtschaft (HERZIG 2014). Heute wird die Schleuse im Kanal genutzt, um den Wasserstand des Sees zu regulieren. Ein weiteres prominentes Beispiel eines geplanten, aber nie realisierten Eingriffs war der Bau eines Dammes oder einer Seebrücke zur Verbindung des Ost- und Westufers.

Die bis heute erlebbare Vielfalt der Namen für den See und seine Sodalacken spiegelt die Lebendigkeit einer Region wider, in der österreichische und ungarische Kultur gelebt und beide Sprachen gesprochen werden. Der See und das Feuchtgebiet erstrecken sich über das Territorium beider Länder.

Manche Naturliebhaber und Wissenschaftler sehen das Feuchtgebiet als ein riesiges Schilfgebiet mit „etwas Wasser“ in der Mitte, während andere den See betonen, der von einem Schilfgürtel umgeben ist. Aufgrund der starken hydrologischen Dynamik ändern sich die Größenverhältnisse von See- und Schilffläche in relativ kurzen Zeiträumen (48% offener See, 52% Schilffläche).

### 90 Jahre Wissenschaftsentwicklung Neusiedler See: Drei Epochen vom Arteninventar zur Klimafolgenforschung

Die sich verändernde Auffassung der Natur im Seewinkel, beeinflusst durch den Zeitgeist, wird in etwa 1300 Publikationen von 1860 bis 2020 thematisch deutlich (Abb. 3.8-5, Details s. TEUBNER et al. 2022b). In den letzten 90 Jahren zeigen sich drei Hauptperioden mit verschiedenen Forschungsschwerpunkten, die ein wachsendes Interesse an der Klimaforschung reflektieren.

**1930 bis 1960:** In dieser Periode erfolgten detaillierte Artenbeschreibungen und erste ökologische Studien zur Fauna und Flora des Gebiets (Abb. 3.8-5). Der Fokus lag auf dem Spannungsfeld zwischen Naturschutz und der Intensivierung von Landwirtschaft und Tourismus. Laut TOLOTTI et al. (2021) waren die späten 1950er bis 1970er Jahre von der kulturellen Eutrophierung geprägt, was sich in Algen- und Cyanobakterienblüten zeigte.

**1960 bis 1989:** Der Fokus lag auf dem Schutz gefährdeter Feuchtgebietsarten und der Erkenntnis der Notwendigkeit des Artenschutzes im Rahmen des Naturschutzes. Dies deutete auf die Bedrohung durch Eutrophierung und beginnende Austrocknung hin. Der Wissenszuwachs führte zur Gründung des Nationalparks Neusiedler See-Seewinkel/Ferto-Hanság Nemzeti Park in den späten 1980er Jahren, der die fünfte Schutzkategorie für das Gebiet seit 1932 darstellte. Weitere folgten, darunter RAMSAR und Natura2000 (Abb. 3.8-5).

**Abb. 3.8-4:** Als Steppensee hat der Neusiedlersee keinen natürlichen Abfluss. Seit Einweihung des Einser- oder Hanságkanals im Jahr 1911, leitet er bei hohem Wasserstand Wasser in die Donau ab. Der Kanal, so wie viele geografische und kulturelle Bezeichnungen im Feuchtgebiet haben mehrere sowohl österreichische als auch ungarische Namen. (Foto @HZT).

**1990 bis 2020:** Diese Periode verknüpft die Themen Biodiversität, Ökosystemdienstleistungen und Klimawandel (Abb. 3.8-5) und zeigt so die weitreichenden sozio-ökologischen Auswirkungen des Trockenfallens des Seewinkels. In den letzten 30 Jahren wurde deutlich, dass Lebensraumveränderungen, die durch Stadtentwicklung beeinflusst wurden, zunehmend von den Auswirkungen der globalen Erwärmung überlagert wurden, die eine Senkung des Wasserspiegels im Feuchtgebiet verursachte. Dies betraf sowohl die Lebensräume des Neusiedler Sees als auch der Sodapfannen, wobei letztere drastisch abnahmen (EITZINGER et al. 2009, WEYHENMEYER et al. 2019, TOLOTTI et al. 2021, ZIMMERMANN-TIMM & TEUBNER 2021).

Die Klimaforschung zum Neusiedler Seegebiet reflektiert den 17-jährigen Zeitverzug bei der Umsetzung neuer Erkenntnisse zu Klimaursachen und -folgen in entsprechende Maßnahmen. Projektergebnisse zu den Klimaauswirkungen auf den Wasserhaushalt im Seewinkel, bereits 2005 ausgewertet und von EITZINGER et al. 2009 veröffentlicht, beeinflussen erst heute merklich die lokale Politik und Forschung. Nach diesem Zeitverzug ist zu erwarten, dass für den Zeitraum 2022-2026 konkrete Maßnahmen zur Minimierung von Klimafolgen ergriffen werden. Die heutige Vielfalt von Online-Messsystemen

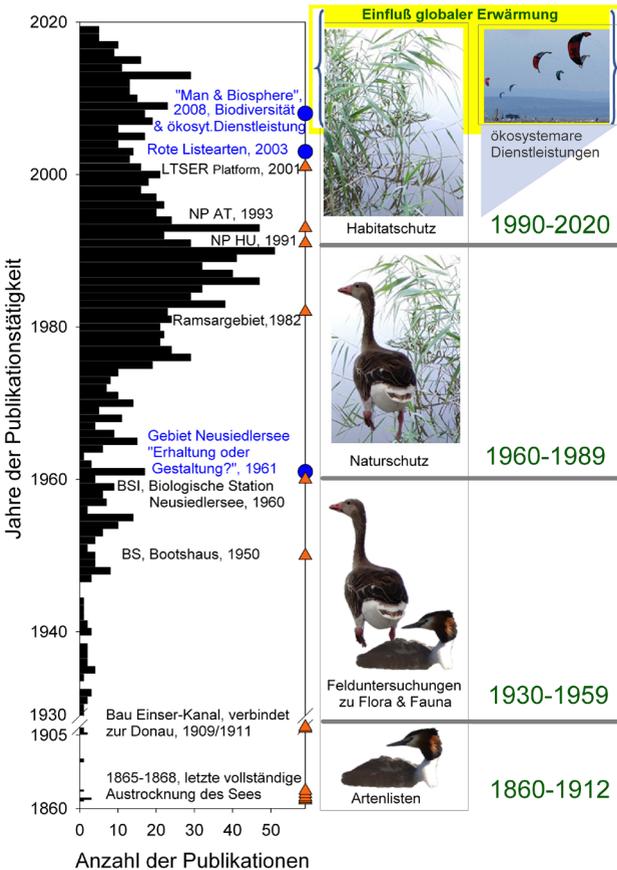
(Abb. 3.8-1) bietet jetzt die Möglichkeit, den Klimawandel im Seewinkel zeitnah zu verfolgen und entsprechende Anpassungsstrategien zu optimieren.

### Der Neusiedlersee und die ökologischen Folgen sinkender Wasserstände

Der Neusiedlersee, mit einer Fläche von 315 km<sup>2</sup> und einem Volumen von 367,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, ist etwa 25.000 Jahre alt, entstanden in der letzten Eiszeit (NEUHUBER et al. 2024). Mit einer mittleren Tiefe von 1,2 m (weitere Gewässerkenntdaten s. HERZIG 2014) ist er ein flacher, alkalischer Sodasee (WEYHENMEYER et al. 2019).

Die erhöhte Salinität des Neusiedlersees begünstigt salzliebende Algenarten im Wasser, wie historische Sedimentkernanalysen zeigen (TOLOTTI et al. 2021). Die hohe anorganische Wassertrübung im »offenen See« lässt das Wasser weiß-grau erscheinen (Abb. 3.8-1 oben und 6 links oben) und reduziert die Lichtintensität, wodurch Algen und Wasserpflanzen wenig Licht zur Verfügung haben. Die seeinternen hohen Nährstoffkonzentrationen münden somit in einer gedämpften Biomassensentwicklung der Algen. Die anorganischen Partikel spielen eine zentrale Rolle im See: Sie bieten Lebensraum für anhaftend lebende Algen, Bakterien und andere Mikroorganismen im Freiwasser, die entscheidend zum Nährstoffkreislauf beitragen.

Die große Wasserfläche des Neusiedlersees wird stark vom Wind durchmischt, wodurch keine vertikale Schichtung und somit keine vertikale Diversität entsteht, abgesehen von dem vertikalen Lichtgradienten im See. Dafür gibt es eine ausgeprägte horizontale Diversität: Im Schilfgürtel herrschen andere Bedingungen als im offenen Wasser. Sedimentationsprozesse färben das Wasser durch gelöste organische Stoffe braun und bieten Mikro-



**Abb. 3.8-5:** Entwicklung der Forschungsthemen im Seewinkel, von 1860 bis 2020, nach TEUBNER et al. (2022b): Balken – Anzahl der Veröffentlichungen, Dreiecke – Erfolge in Landschaftsentwicklung, blaue Punkte – Wegweisende Veröffentlichungen. Abkürzungen: LTSER – Long-Term Socio-Economic and Ecological Research, NP – Nationalpark, BS – Biologische Station, BSI – BS Illmitz, RAMSAR – Convention on Wetlands of International Importance.

organismen Nahrung (DOKULIL 1975, KRACHLER et al. 2005, SOMOGYI et al. 2022, BAUR et al. 2024). Der nährstoffreiche Uferbereich fördert das Wachstum von Schilfpflanzen und bietet Fischen ein wichtiges Laichhabitat und Nahrung (LÖFFLER 1974, HERZIG 2014, WOLFRAM et al. 2019).

Bei niedrigen Wasserständen bilden sich bereits heute Algenblüten in windgeschützten Bereichen im Röhricht infolge des hohen internen Nährstoffpotenzials (Abb. 3.8-6 unten rechts). Wenn sich diese Algenmassen über den gesamten See ausbreiten würden, könnten sie große Probleme wie in anderen eutrophierten Seen verursachen. Im derzeit intakten, natürlich weiss-trüben Sodasee sind solche Szenarien jedoch unwahrscheinlich. Niedrige Wasserstände haben aber auch im offenen See Auswirkungen: erhöhte Leitfähigkeit (Abb. 3.8-7), unterbrochener horizontaler Austausch zwischen offenem Wasser und Schilf-Uferbänken, sowie Sauerstoffmangel, der zu Fischsterben führt. Die jungen Schilfbestände der ehemaligen Wasserflächen senken vorübergehend die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Gebiet (BAUR et al. 2023), werden aber schnell von Wiesengehölzen überwachsen, was den Charakter des Feuchtgebietes insgesamt zerstört. Niedrige Wassertiefen schränken die Selbstreinigung des Sees durch den breiten Schilfgürtel ein und verändern die Chemie und Biodiversität des Sees tiefgreifend. Der Neusiedlersee lebt von der pulsierenden Wasserdynamik, seine Vitalität („ecosystem health“) hängt davon ab.

Durch die globale Erwärmung sind die Verdunstungsverluste des Sees und seines Schilfgürtels über Jahrzehnte signifikant gestiegen, bei gleichzeitig verringerten Zuflüssen wie der Wulka (SOJA et al. 2013). Trotz zyklischer Schwankungen (HACKL & LEDOLTER 2023) könnte der See infolge längerer Dürren tatsächlich austrocknen. Ein nachhaltiges Grundwassermanagement ist daher dringend notwendig, um dies zu verhindern (EITZINGER et al. 2009, SCHAUER et al. 2023).

Langjährige Forschungen haben tiefgehende Einblicke in die Funktionsweise des Sees gebracht (Abb. 3.8-5). Eine künstliche Anhebung des Wasserspiegels durch Dotation mit Donauwasser, wie bspw. derzeit diskutiert, könnte den See für den Wasser-Tourismus zwar attraktiver machen, birgt aber Risiken wie Aussüßung, fehlende hydrologische Dynamik, Sedimentation der weissen

Trübeartikel und damit eine erhöhte Lichtexposition für Algenblüten im offenen See, infolge des grossen Nährstoffpotenzials (interne Eutrophierung). Zudem könnte Donauwasser invasive Arten einbringen, da die Donau als hauptsächliches Einfallstor von invasiven Arten nach Europa gilt (TRICHKOVA et al. 2017). Ein nachhaltiges Management mit erhöhter Wassernutzungseffizienz, Wasserrückhalt und Grundwasseranhebung wäre weniger invasiv und effektiver gegen den Wasserstandsverlust durch den Klimawandel (KUBU & KRAMER 2014).

#### **Auswirkungen niedriger Wasserstände des Neusiedler Sees auf ökosystemare Dienstleistungen**

Weitreichende Auswirkungen des Klimawandels erfordern rechtzeitige Anpassungsstrategien, um ökologische und wirtschaftliche Schäden zu vermeiden.

Landwirtschaft: Traditionell dominiert von bewässerungsintensiven Kulturen wie Rüben, steht die Landwirtschaft vor dem Problem des steigenden Wasserbedarfs. Bei der Beregnungsbewässerung (Abb. 3.8-8, oben) gehen etwa 30 bis 40% des eingesetzten Grundwassers durch Verdunstung und Abfluss verloren. Wassersparende Methoden wie Tröpfchenbewässerung



**Abb. 3.8-6:** Neusiedler See. Oben li: weiß-grau, anorganische Trübe im offenen See, August 2022; Unten li: Braunwasser im Schilfgürtel, Herbst 2016; Oben re: Braunwasser im Kanal durch das Schilfröhricht, Sommer 2014. Unten re: grün bei Niedrigwasser im Kanal durch Schilfgürtel, Ursache: Cyanobakterienblüte, August 2022, (Fotos @KT).

rung (Abb. 3.8-8, unten) und die Wahl geeigneter Pflanzen und Anbauzeiten ist dringend erforderlich.

**Im Weinbau:** (Abb. 3.8-8) schädigt hohe Sonneneinstrahlung Blätter und verändert den Geschmack von Weinsorten wie Grüner Veltliner und Welschriesling.

**Tourismus:** Niedrige Wasserstände am Neusiedler See beeinträchtigen den Wassersport und führen zu hohen Stornierungen. Der extrem niedrige Wasserstand 2023 machte Boote unbrauchbar und schwächte den Tourismus erheblich.

**Fischerei:** Niedrige Wasserstände und fehlende Eisbedeckung gefährden die Fischerei und Laichgebiete, was die Fischpopulationen und deren Lebensbedingungen verschlechtert.

**Schilf-Ernte:** Ohne Eisdecke wird die Schilf-Ernte erschwert, was die Schilfpflanzen schädigt und die Ernteerträge mindert. Das Fehlen der Schilfmahd gefährdet die Artenvielfalt der Brutvögel (NEMETH & DVORAK 2022) und beeinträchtigt den Vogelbeobachtungstourismus.

**Schiffsverkehr:** Niedrige Wasserstände verhindern den Schiffsverkehr und erhöhen den Individualverkehr.

**Gesundheitsrisiken:** Es besteht das Risiko von Sandstürmen, die die Gesundheit und Umwelt beeinträchtigen.

**Ausblick: Zukunftssicherung des Neusiedlersees**

Der Wasserhaushalt der Region Neusiedler See-Seewinkel ist durch eine intensive landwirtschaftliche Nutzung geprägt. Die Auswirkungen des Klimawandels begünstigen zusätzlich den Wasserverlust im Gebiet und damit auch das Schrumpfen des Sees. Um dem Austrocknen des Sees und der angrenzenden Feuchtgebiete entgegenzuwirken, sind umfassende Maßnahmen in der Region erforderlich.

Im Vordergrund steht ein Wassermanagement, das darauf abzielt Wasser im Gebiet zu halten und das eine nachhaltige Anhebung des Grundwasserspiegels ermöglicht. Zudem braucht es Maßnahmen, welche Verdunstungsverluste minimieren, wie eine zeitgemäße Schilfbewirtschaftung. Die Dotation mit Fremdwasser, wäre ein Experiment im Reallabor Neusiedler See, und wird wegen der unabsehbaren Folgen aus ökologischer Sicht als bedenklich bewertet. Ziel muss der Erhalt einer natürlichen hydrologischen Dynamik im Gebiet sein, um die ökologischen Funktionen langfristig zu sichern und damit die sozialen und ökosystemaren Dienstleistungen zu erhalten.

Viele Zusammenhänge zur Ökologie des Neusiedler Sees sind inzwischen verstanden, aus denen sich ein zukunftsorientiertes Handeln unmittelbar herleiten lässt. Die mit dem Wiederanstieg des Seespiegels gewonnene Zeit muss jetzt genutzt werden, um nachhaltige Perspektiven zukunftsweisend für den Seewinkel zu erarbeiten, die ökologisch, sozial und ökonomisch abgestimmt sind.

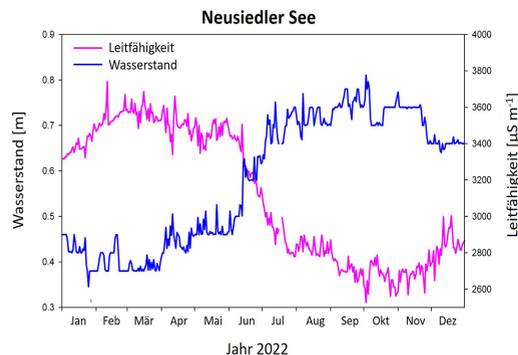


Abb. 3.8-7: Alternierende saisonale Schwankungen von dem Wasserstand gegenüber der Leitfähigkeit im Neusiedler See, Online-Messung PLS\_C-Sonde.

Abb 3.8-8: Im Seewinkel wird die Wassernutzungseffizienz durch eine optimale Bewässerungsmethode abhängig von der Kulturart gesteigert. Gemüse Beregnung nutzt nur 70-80% des Wassers (oben), Tropfbewässerung bei Weinreben 80-90% (unten) (Fotos @KT).

## Danksagung

Für die anregenden Diskussionen zum Neusiedler See und seinem Einzugsgebiet seien gedankt: Richard Haider (Illmitz), Prof. Dr. Alois Herzog (Apetlon), Franz Lentsch (Podersdorf am See), Prof. Dr. Marianne Penker (Universität für Bodenkultur Wien). Weiters gilt festzuhalten, dass viele Ergebnisse zum Neusiedler See hier durch das Projekt „INTERREG Österreich-Ungarn Projekt Vogelwarte Madárvárta 2, Projektnummer ATHU2“ unterstützt worden sind, auch hier gilt allen beteiligten Kollegen, vor allem Dr. Werner Lazowski und Dr. Thomas Zechmeister für die vielfältige Unterstützung ein großer Dank.

## Literatur

- ADRIAN, R., C. M. O'REILLY, H. ZAGARESE, et al. (2009): Lakes as sentinels of climate change. *Limnology & Oceanography* 54(6):2283–2297. [https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6\\_part\\_2.2283](https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2283)
- BAUR, P. A., A. MAIER, T. ZECHMEISTER & S. GLATZEL (2023): Consequences of drying-out of Lake Neusiedl on the GHG budget of the reed belt. In EGU Abstracts (pp. EGU-7710).
- BAUR, P. A., D. H. PINILLA & S. GLATZEL (2024): Is ebullition or diffusion more important as methane emission pathway in a shallow subsaline lake? *Science of the Total Environment*, 912, 169112. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169112>
- DOKULIL, M. (1975): Horizontal- und Vertikalgradienten in einem Flachsee (Neusiedlersee, Österreich), in Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie Wien 1975. In: P. MÜLLER (ed.) (Dordrecht: Springer), 177–187. doi: 10.1007/978-94-015-7168-5\_27
- DOKULIL, M. T. & K. TEUBNER (2002): The spatial coherence of alpine lakes. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, 28: 1–4. <https://doi.org/10.1080/03680770.2001.11901951>
- EITZINGER, J., G. KUBU, H. FORMAYER, P. HAAS et al. (2009): Auswirkungen einer Klimawandeländerung auf den Wasserhaushalt des Neusiedler Sees. Universität für Bodenkultur, MET Report 1
- HACKL, P. & J. LEDOLTER (2023): A Statistical Analysis of the Water Levels at Lake Neusiedl. *Austrian Journal of Statistics*, 52(1), 87–100. <https://doi.org/10.17713/ajs.v52i1.1444>
- HERZIG, A. (2014): Der Neusiedler See – Limnologie eines Steppensees. - Süßwasserwelten. *Limnologische Forschung in Österreich*. Denisia 33, 163: 101–114.
- HOWELL, T. A. (2001): Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agronomy Journal*, 93(2), 281–289.
- JANDL, R., U. TAPPEINER, C.B. FOLDAL & K. ERB (2024): APCA Special Report: Landnutzung und Klimawandel in Österreich. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-67864-0>
- KRACHLER, R., J. GEIGER & R. KRACHLER (2005): Wasserchemische Aspekte einer Dotierung des Neusiedler Sees mit Donau-Uferfiltrat. *Burgenländische Heimatblätter* 67: 105–116.
- KUBU G. & T. KRÄMER (2014): Hydrologie und Wasserwirtschaft. - In: WOLFRAM, G., L. DERI & S. ZEICH (Hrsg.), Strategiestudie Neusiedler See-Phase 1. Studie im Auftrag der Österreichisch-Ungarischen Grenzgewässerkommission. Wien-Szombathely: 10–21
- LIU, X., K. TEUBNER & Y. CHEN (2016): Water quality characteristics of Poyang Lake, China, in response to changes in the water level. *Hydrology Research*, 47(S1): 238–248. <http://dx.doi.org/10.2166/nh.2016.209>
- LÖFFLER, H. (1974): Der Neusiedler See. Molden Verlag.
- NEMETH, E. & M. DVORAK (2022): Reed die-back and conservation of small reed birds at Lake Neusiedl, Austria. *Journal of Ornithology*, 163(3), 683–693. <https://doi.org/10.1007/s10336-022-01961-w>
- NEUHUBER, S., S. GIER, E. DRAGANITS et al. (2024): Radiocarbon ages of microcrystalline authigenic carbonate in Lake Neusiedl (Austria) suggest millennial-scale growth of Mg-calcite and protodolomite. *Sedimentology*: 1–29. <https://doi.org/10.1111/sed.13161>
- SCHAUER, H., S. SCHLAFFER, E. BUEECCHI, & W. DORIGO (2023): Inundation–Desiccation State Prediction for Salt Pans in the Western Pannonian Basin Using Remote Sensing, Groundwater, and Meteorological Data. *Remote Sensing*, 15(19), 4659.
- SOJA, G., J. ZÜGER, M. KNÖFLACHER, P. KINNER & A.M. SOJA (2013): Climate impacts on water balance of a shallow steppe lake in Eastern Austria (Lake Neusiedl). *Journal of Hydrology*, 480, 115–124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.013>
- SOMOGYI, B., É. BOROS, N. SZABÓ-TUGYI, A.W. KOVÁCS & L. VÖRÖS (2022): Dense macrophyte cover has significant structural and functional influence on planktonic microbial communities leading to bacterial success. *Science of The Total Environment*, 829, 154576. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154576>
- TEUBNER, K., I. TEUBNER, K. PALL et al. (2020): New Emphasis on Water Transparency as Socio-Ecological Indicator for Urban Water: Bridging Ecosystem Service Supply and Sustainable Ecosystem Health. *Frontiers in Environmental Science*, 8:573724. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.573724>
- TEUBNER, K., M. T. DOKULIL & R. KURMAYER (2022a): Eutrophierung, toxische Cyanobakterien am Beispiel des urbanen Donau-Altarmgewässers Alte Donau und des alpinen Mondsees. In: *Mikrobiologie und Wasser*. Teil 2: Fallstudien, FARNLEITNER, A. H. et al. (Hrsg.), Arbeitsbeihilfe Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV), Wien, 52(2): 35–45
- TEUBNER, K., W. LAZOWSKI & T. ZECHMEISTER (2022b): Lake Neusiedl and Seewinkel: A hotspot area of long-term ecological research in the Danube River Basin. *Danube News* 45: 16–19. [https://www.danube-iad.eu/docs/DN\\_articles/2022-Lake\\_Neusiedl\\_and\\_Seewinkel-DN45-Teubner\\_et\\_al.pdf](https://www.danube-iad.eu/docs/DN_articles/2022-Lake_Neusiedl_and_Seewinkel-DN45-Teubner_et_al.pdf)
- TOLOTTI, M., G. GUELLA, A. HERZIG, M. RODEGHIERO, et al. (2021): Assessing the ecological vulnerability of the shallow steppe Lake Neusiedl (Austria-Hungary) to climate-driven hydrological changes using a palaeolimnological approach. *Journal of Great Lakes Research*, 47(5), 1327–1344. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2021.06.004>
- TRICHKOVA T., V. VLADIMIROV, P. TOMOV & M. TODOROV (eds) (2017): Atlas of invasive alien species of importance to the European Union. (In Bulgarian) [https://www.esenias.org/files/ESENIAS\\_Atlas\\_WEB.pdf](https://www.esenias.org/files/ESENIAS_Atlas_WEB.pdf)
- WEYHENMEYER, G. A., J. HARTMANN, D. O. HESSEN et al. (2019): Widespread diminishing anthropogenic effects on calcium in freshwaters. *Scientific Reports*, 9(1), 10450. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46838-w>
- WOLFRAM, G., R. HAINZ, S. HINTERMAIER, G. KUM et al. (2019). Eintragspfade, Umsetzungsprozesse und Langzeitveränderungen von Nährstoffen im Neusiedler See. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 71(11–12), 508–521. <https://doi.org/10.1007/s00506-019-00620-4>
- YAO, F., B. LIVENEH, J. RAJAGOPALAN WANG, J.-F. CRÉTAUX et al. (2023): Satellites reveal widespread decline in global lake water storage. *Science* 380, 6646: 743–749. <https://doi.org/10.1126/science.abo2812>
- ZIMMERMANN-TIMM H. & K. TEUBNER (2021): Folgen der Grundwassersenkung am Beispiel Neusiedler See - Seewinkel (Burgenland, Österreich). - In: LOZÁN J.L., et al. (Hrsg.) *Wissenschaftliche Auswertungen in Kooperation mit GEO, Hamburg*, 142–149 <https://doi.org/10.25592/warnsignal.klima.boden-landnutzung.19>

## Kontakt:

PD Dr. Heike Zimmermann-Timm  
Goethe-Universität, Frankfurt (Deutschland)  
zimmermann-timm@bio.uni-frankfurt.de

PD Dr. Katrin Teubner  
Department für Funktionelle und Evolutionäre Ökologie  
Universität Wien, Wien (Österreich)  
katrin.teubner@univie.ac.at

ZIMMERMANN-TIMM, H. & K. TEUBNER (2024): Unsere Seen schrumpfen. In: J. L. LOZÁN, H. GRAßL, D. KASANG, M. QUANTE & J. SILLMANN (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Herausforderung Wetterextreme – Ursachen, Auswirkungen & Handlungsoptionen*. S. 180–187. [www.warnsignal-klima.de](http://www.warnsignal-klima.de). DOI:10.25592/warnsignal.klima.wetterextreme.31