

Vortrag beim Naturschutzbeirat des Kreises Plön am 28.2.2024

mit Update Februar 2025 und Literatur

"corresponding author": christiane.krambeck@gmx.de

Vielen Dank für die Einladung und freundliche Einführung. Es ist mir eine Ehre dem Beirat für Naturschutz einen Einblick in die Arbeit am Suhrer See geben zu dürfen. Und auch ein Anliegen. Denn das Wissen um Verschlechterungen und Ursachen ist die Basis für einen vernünftigen Schutz von gefährdeten Arten. Und ich denke, dass so ein Wissen bei ihnen und euch gut aufgehoben ist.

Gefährdung von Armleuchteralgen im Suhrer See. Erfassung, Ursachen und Schutz-Optionen

Christiane Krambeck (NABU Plön): Monitoring, Kausalanalyse

Mara Römerscheid (UFZ Leipzig): Passiv Sammler Analysen

Henning Thiessen: Drohnenaufnahmen

Ausfall von Charawiese in Nordbucht 2020

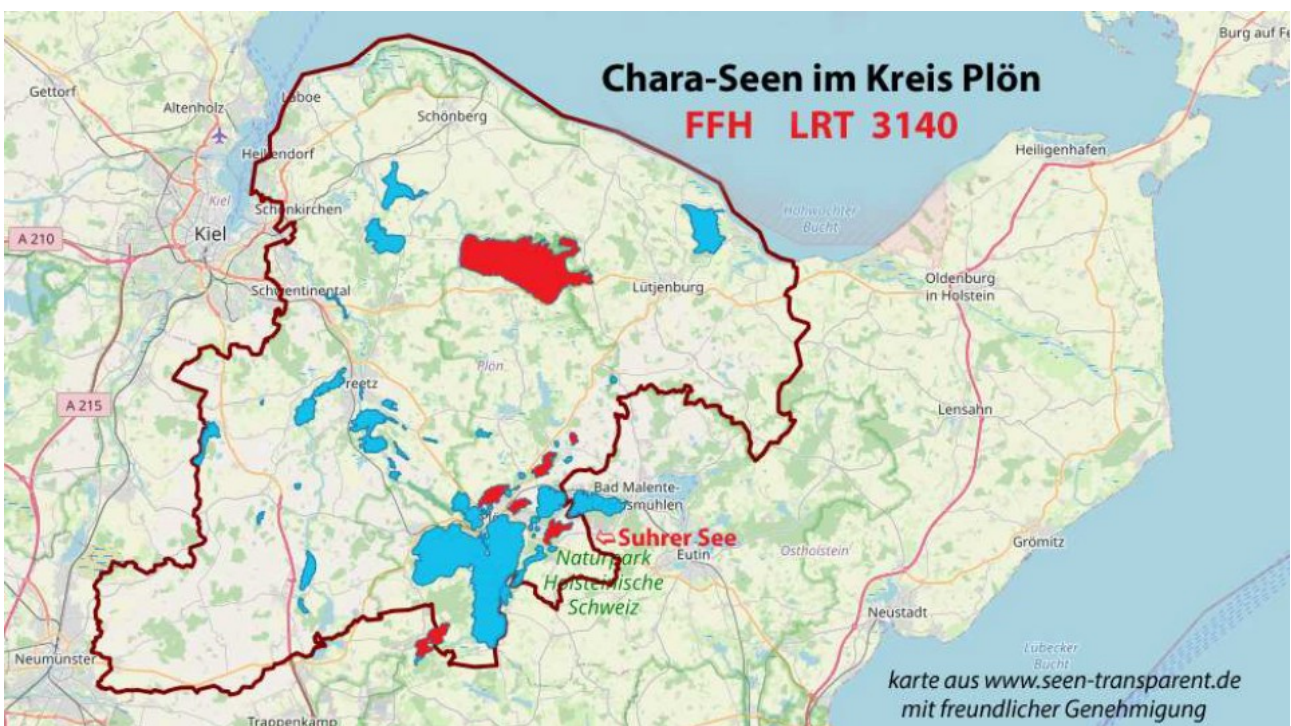
Das Titel-Bild zeigt einen kahlen Seegrund in 2 m Tiefe. Aufgenommen habe ich es mit einer Unterwasserkamera von der Wasseroberfläche aus, beim Monitoring im Sommer 2020 in der Nordbucht des Suhrer Sees.



Im Sommer 2019 wuchs dort noch eine Wiese von Armleuchteralgen oder "Characeen", so der botanische Fachausdruck.



Characeen sind eine hoch entwickelte Familie von Grünalgen und bilden zusammen mit höheren Wasserpflanzen als „submerse Makrophyten“ (SUM), also untergetauchte, große Pflanzen, eine „funktionale Gruppe“. Das heißt, sie spielen in Seen beide dieselbe Rolle. Anders als höhere Pflanzen haben Characeen noch keine Gefäße. Sonst ist vieles bei ihnen schon eine Vorstufe der evolutionären Entwicklung zu Gefäßpflanzen. Man könnte z.B. sagen, dass dies Exemplar „blüht“. Die rötlichen männlichen und weiblichen Organe entsprechen Staubbeuteln und Fruchtknoten, die Oosporen, die sich daraus entwickeln, entsprechen Samen. Im übrigen gibt es auch bei Characeen einhäusige und zweihäusige Arten. Die Art auf dem Bild, *Chara vulgaris*, ist z.B. einhäusig. Auch die Strategien, schlechte Zeiten wie Winter zu überstehen, sind ähnlich: Characeen können wintergrün sein oder sich im Frühling aus Oosporen, Wurzelknöllchen oder Sprossstücken neu entwickeln.



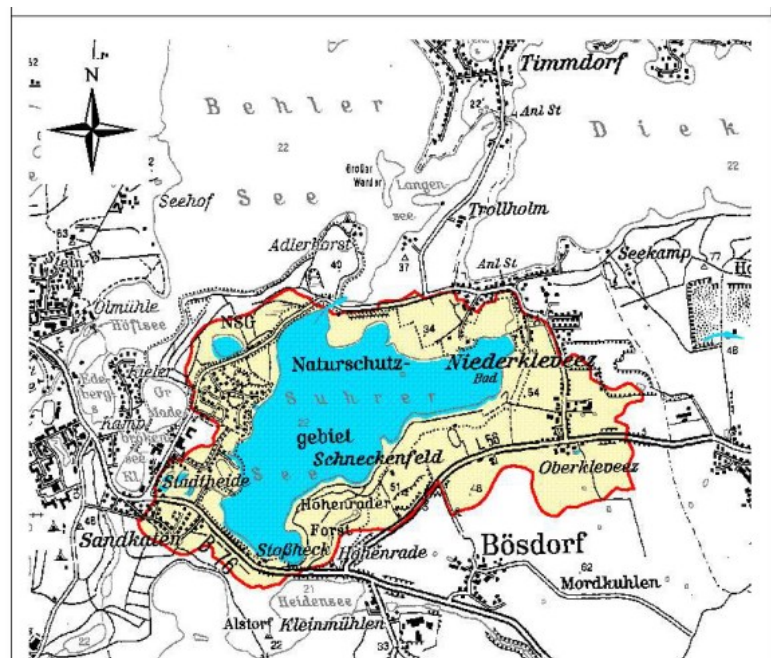
Wiesen von Characeen - oder kurz: Chara-Wiesen - sind typisch für tiefe, kalkhaltige, klare Seen mit relativ kleinem Einzugsgebiet. Die FFH (Flora-Fauna-Habitat)-Richtlinie fasst diese Seen als Lebensraumtyp LRT 3140 zusammen. Im Kreis Plön liegen acht Seen dieses Typs. Nach den Standards der WRRL (Wasser-Rahmen-Richtlinie) sind nur die Bestände im Selenter See in sehr gutem Zustand. Im Schluensee und Suhrer See werden sie immerhin mit gut beurteilt. Für die übrigen fünf, an sich für Characeen geeigneten Seen gibt es mäßig bis schlechte Noten. Die Gründe sind in der Regel bekannt. Beim Grebner See war z.B. die Anlage eines Maisackers auf einem Steilhang die Ursache. Beim Schönsee war massiver Karpfenbesatz der Grund. Und beim Trammer See kommen erhebliche Belastungen aus dem Stadtgebiet von Plön dazu.

In dem extrem nassen Sommer 2017 habe ich im Suhrer See weiträumige Ausfälle von Unterwasserwiesen entdeckt. Solche Ausfälle hätte es bei gleichzeitig gutem ökologischem Zustand eigentlich nicht geben dürfen. Den Umständen nach lag ein Zusammenhang mit Herbizideinträgen nahe. Das hat beim Seendezernat des Landesamtes für Umwelt zunächst für Kopf Schütteln gesorgt. Herbizide sind im Seewasser nämlich kaum nachweisbar (Jarosch & Brunke LLUR SH 2018). Sehen wir uns diesen anfangs rätselhaften Fall im Folgenden also mal genauer an.

Suhrer See

Oberirdisches
Einzugsgebiet

1 km

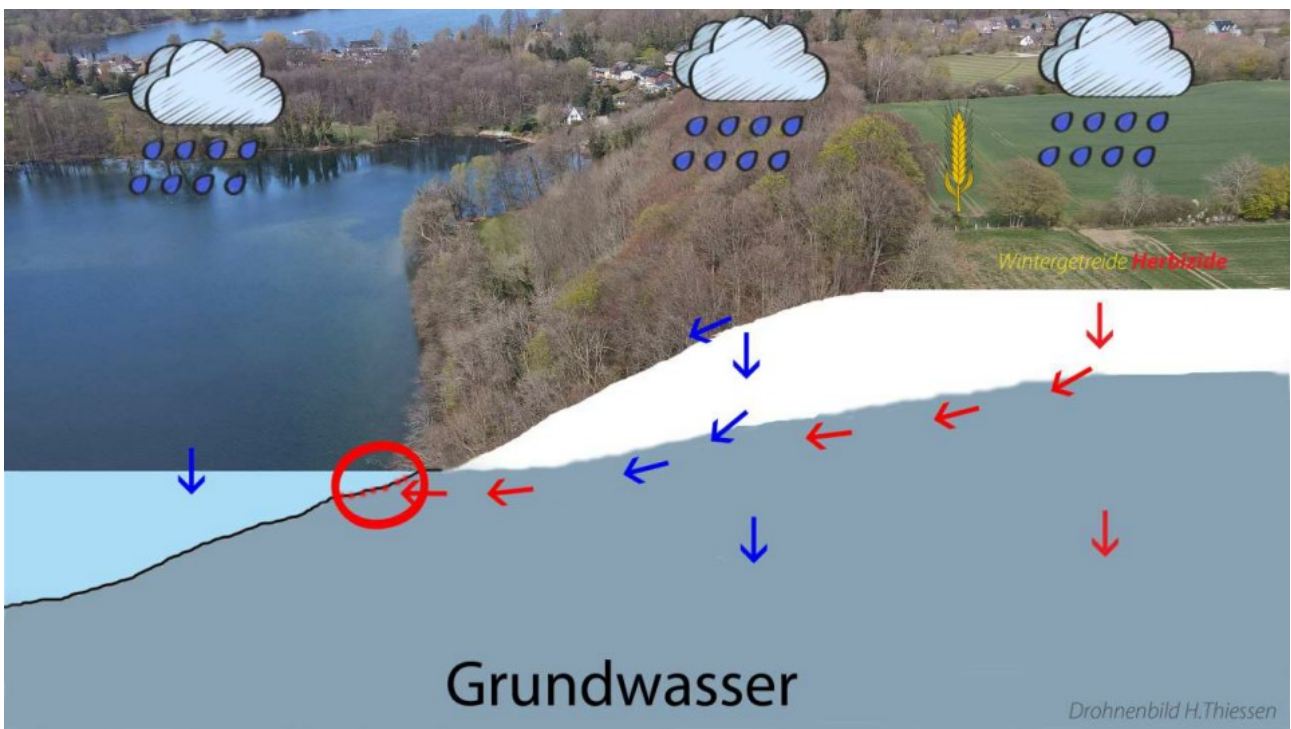


<https://umweltschleswig-holstein.de/Seen/seenalle.php>

<https://umweltschleswig-holstein.de/Seen/seenanzeige.php?iseenr=0404&smodus=long&alle=nein>

Das Einzugsgebiet ist weitgehend bewaldet oder extensiviert. Nur in dem nach Nordosten erweiterten Teil wird auf den Äckern um das Dorf Oberkleveez seit langem Wintergetreide angebaut.

Das nächste Bild ist ein Blick auf das Ostufer, aus der Perspektive der Drohne von hoch über dem See aus. Die intensiv bewirtschafteten Äcker liegen auf einer Ebene etwa 24 m über dem Seespiegel. Am Ufer darunter gibt es heute nur noch in der Nähe der Badewiese Characeen, also ganz links auf dem Drohnen-Bild. Wie wir aus der Diplomarbeit von Barbara Frenzel (1992) wissen, war das 1991 anders. Barbara Frenzel hat in dem Bereich in der Mitte des Bildes noch massenweise Chara- Arten notiert.



Hier ein Blick von der Mitte des Ostufers aus in Richtung Norden, kombiniert mit einem schematischen Schnitt durch das Gelände.

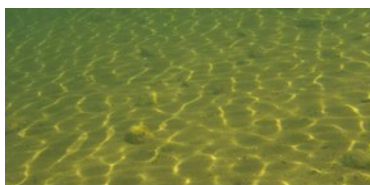
Der anfängliche Verdacht eines Zusammenhangs der Ausfälle mit Herbizideinträgen hat sich über die Jahre verdichtet. U.a. durch den Nachweis von Herbiziden an dieser, hier rot umkreisten Stelle, an der es wiegesagt heute keine Characeen mehr gibt (Krambeck 2020, 2022).

Ich zeige die Quintessenz unserer Ursachenforschung hier mal schematisch vorweg: Starkregenereignisse verursachen nur an dem Steilhang zum Ufer oberflächliche Abschwemmungen. Auf der Ebene mit den Feldern versickert Regen völlig in dem sandigen Boden, auch viel Regen. Angebaut wird vor allem Wintergetreide. Das Sickerwasser ist also landwirtschaftlich belastet. Je nasser der Boden ist, umso mehr kontaminiertes Sickerwasser

gelangt bis zur Grundwasseroberfläche und dem hydrologischen Gefälle nach weiter zum Seeufer, wo es unterirdisch, also sozusagen von außen und unten, in die See-Sedimente einsickert. Und in den oberen cm Sediment wird es dann spannend. Da sammelt sich nämlich von oben aus dem See sedimentiertes, organisches Material und durch den Abbau entsteht ein sauerstofffreier Horizont. In dieser biologisch aktiven Grenzschicht reichern sich Stoffe aus dem Sickerwasser an und diffundieren von da nur sehr langsam weiter ins überstehende Seewasser. Das gilt besonders für unpolare, also kaum wasserlösliche Herbizide, wie sie beim Anbau von Wintergetreide im Herbst eingesetzt werden.

Der unterirdische Eintragspfad hat eine Folge, die für die Konzeption von Maßnahmen von Bedeutung ist. Randstreifen wie dieser 100 m breite Wald werden unterirdisch nämlich einfach unterlaufen. Das zwingt dazu, Pufferzonen völlig neu zu denken, wenn man Unterwasserwiesen schützen will.

Das Schema deutet weiter an, dass ein Teil der Belastung ins Grundwasser gelangen kann. Überraschende Ausfälle in Uferzonen sind also nicht nur aus Sicht des Naturschutzes ein Alarmzeichen.



2017
Nordosten



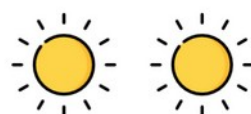
An der eben mit einem roten Kreis markierten Stelle war der Grund nach dem extrem nassen Jahr 2017 also kahl. Gleichzeitig gab es in einer Bucht im Norden weiter eine dichte Chara-Wiese.



1991 Nordosten
2017 Nordbucht

Nach der Arbeit von Frenzel muss es am Nordostufer 1991 noch ähnlich ausgesehen haben wie 2017 in der Nordbucht. Dabei zeigen historische Wetterdaten, dass der Sommer 1991 zufällig genauso extrem nass war wie der von 2017.

Mit viel Regen allein lässt sich der Ausfall an der Stelle demnach nicht erklären.



Sommer 2018
Nordosten

Die extrem nasse Phase von 2017 hielt bis April 2018 an. Danach hat es bis August 2018 fast überhaupt nicht mehr geregnet. Im Juli entwickelte sich dann an der besagten Stelle ein dichter Bestand von Wasserpest und anderen Störanzeigern.

Die Belastung muss sich innerhalb einiger Monate ohne unterirdische Einträge also abgebaut haben. An besagter Stelle allerdings offenbar nicht weit genug für die Regeneration von Characeen (Krambeck 2020).

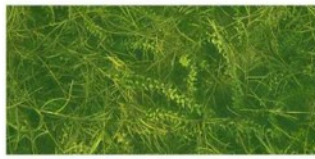
In den Folgejahren zeigte sich, dass submerse Makrophyten immer wieder und überall ähnlich auf unterirdische Einträge von Ackerland reagierten (Krambeck 2022).

Dem Störungs-Muster lassen sich vier, fotografisch dokumentierbare Stress-Stufen zuteilen:



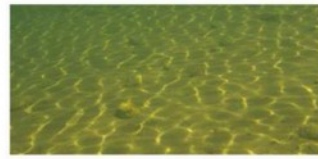
**wintergrüne und
einsommerige
Chara-Wiesen**

A und **B**



**Ersatz durch
Gefäßpflanzen**

C

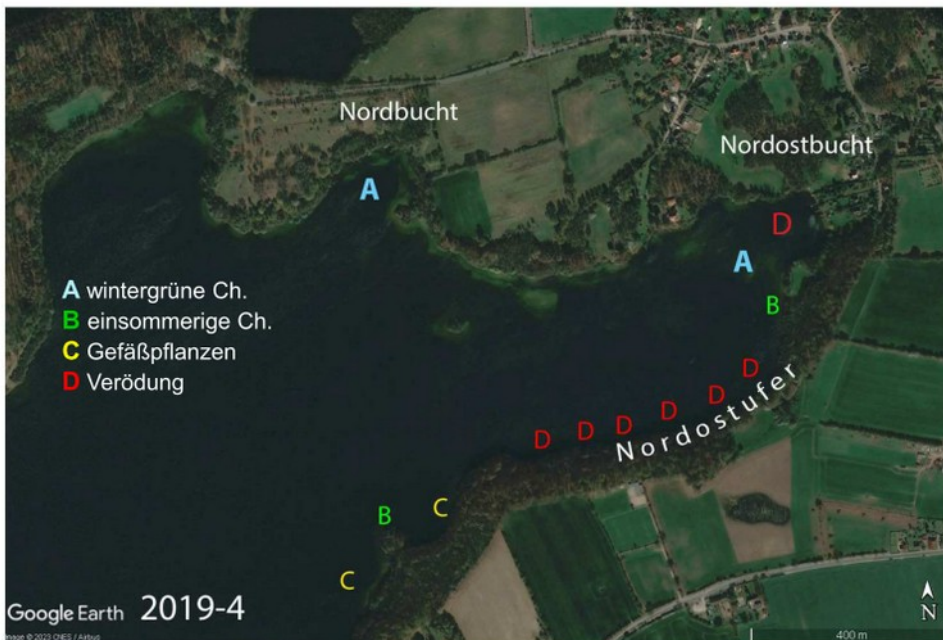


**Ausfall der
funktionalen Gruppe
submerser Makrophyten**

D

⇒ *Ökologisch zu erwartende Antwort auf zunehmenden Stress*
Klassisch nach Odum 1985

Wintergrüne Chara-Wiesen (A) sind am stör-anfälligsten und seltensten. Einsommerige Chara-Wiesen (B) entwickeln sich jedes Frühjahr neu und sind von wintergrünen zu unterscheiden, solange die Sprösslinge noch klein sind. Bei weiter steigender Belastung können sich nur noch Gefäßpflanzen halten (C), bis der Stress auch denen schließlich zu viel wird (D). Der Ersatz von sehr empfindlichen durch weniger empfindliche Organismen bis hin zum Ausfall gesamter funktionaler Gruppen ist bei zunehmendem Stress ganz allgemein zu erwarten. Das ist ein generell gültiges ökologisches Prinzip.



**Submerse
Makrophyten
in 1-3 m Tiefe**

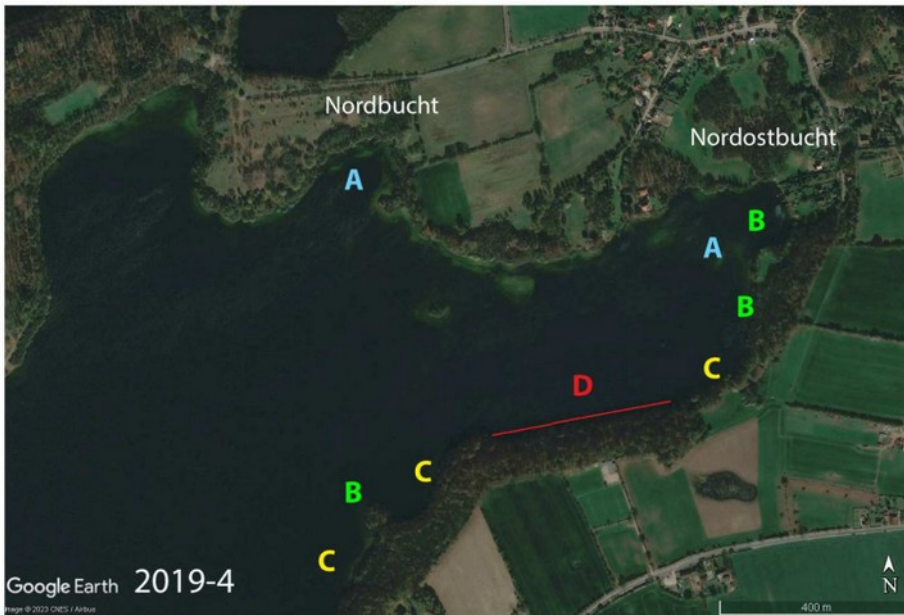
Mai 2018

nach extrem viel
Regen seit Juli '17



Betrachten wir nun die Verteilung der Stress-Stufen A-D über den ganzen Nordteil des Suhrer Sees. Als erstes wieder im Frühjahr 2018, also nach der extrem nassen Phase. Kahlheit, also Stufe D, herrschte nicht nur an der Stelle, die wir eben betrachtet haben, sondern über einen halben km entlang des NO Ufers und auch in der Nordost-Bucht bei Niederkleevez. Nur auf einer Untiefe, die der Bucht vorgelagert ist, gibt es einen Bereich, in dem Chara-Pflanzen noch überwintern können. Zwischenabfluss von den Feldern scheint diese Untiefe beidseitig zu

umgehen, entsprechend auch Halbinseln. Jedenfalls steht die Unterwasservegetation an deren Spitze in der Regel etwas besser da als am Ufer daneben, z.B. bei "B" unten links im Bild.



Submerse Makrophyten in 1-3 m Tiefe

August 2018

Dürre seit Mitte April



Und so sah es ein halbes Jahr ohne Niederschläge später aus: Bei der Nordostbucht regenerierte sich die Charawiese. Am südlich anschließenden Nordostufer kamen aber, wie schon gezeigt, nur Wasserpest & Co hoch. Und 400 m weiter westlich wuchs weiterhin nichts.

Wie das unterlegte google earth Bild vom April 2019 zeigt, hat das Seendezernat prompt auf die Ausfälle reagiert und oberhalb Vertragsnaturschutz auf einer Teil-Fläche gefördert, in Zusammenarbeit mit der integrierten Station Eutin (im Satellitenbild hell mit dunkler Senke in der Mitte). Geändert hat das seither am Zustand der Unterwasservegetation unterhalb nur leider nichts. Das Satellitenbild von April 2019 zeigt auch, dass im Umfeld der Nordbucht zu diesem Zeitpunkt nur ein kleines Feld bewirtschaftet wurde (südöstlich, satt grün). Dieses Feld beeinflusst die Nordbucht aber nur seewärts, nicht im Inneren. Die beiden angrenzenden, helleren Flächen im Osten der Nordbucht wurden vor einigen Jahren aufgeforstet. Westlich von der Nordbucht befindet sich extensiv beweidetes Gelände im Besitz der Stiftung Naturschutz.

Auch das Feld nördlich, jenseits der Straße, lag im April 2019 noch brach wie an der blassen Färbung zu erkennen ist. Im Oktober 2019 wurde dort wieder Wintergetreide eingesät.

Sehen wir uns nun die Entwicklung über die Jahre an:

Makrophyten

in 1-3m Tiefe im Sommer

- A wintergrüne Characeen
- B einsommerige Characeen
- C nur Angiosperme
- D Verödung

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
vor Viehweide						
Nordostufer	/D	D/C	D/C	D/C	D/C	D/
Nordbucht	-	A/A	A/A ⚡	D/D(C)	B+C	A+C+D

Niederschlag¹⁾ - Verdunstung²⁾

1) nach wetterkontor.de Rückblick Kiel
2) geschätzt nach WAFIS LLUR SH Daten

im meteorologischen Halbjahr

- blau: Winter (Nov.-April)
- rot: Sommer (Mai-Oktober)



Das Balkendiagramm zeigt Differenzen zwischen halbjährlichem Niederschlag und geschätzter Verdunstung. Das ist eine Näherung für Bodenfeuchte und damit für das Ausmaß von unterirdischen Einträgen. Im extrem nassen Sommer 2017 lag der Wert so hoch wie sonst nur manchmal im Winter.

Die tabellarische Darstellung belegt, dass sich in den ab 2019 eher normalen Jahren am Nordostufer nicht mehr viel geändert hat. Die Schrägstriche trennen jeweils die Befunde im Frühjahr und Sommer. Ganz anders kam es aber in der Nordbucht. Da fiel die Unterwasserwiese 2020 komplett aus. Und das einzige, was sich im Umfeld geändert hatte, war die Rekultivierung des Feldes nördlich, das viele Jahre brach gelegen hatte, im Oktober 2019.

Ab 2020 scheint die Entwicklung in der Nordbucht vom Wetter relativ unabhängig zu verlaufen. Tatsächlich reagierte die Unterwasservegetation jeweils empfindlich auf nachfolgende Wechsel in der Bewirtschaftung der vorigen Brachfläche und auf den dabei unterschiedlichen Herbizideinsatz. Dabei liegen zwischen der Nordbucht und der rekultivierten Brachfläche 100 m Sumpfwald und es gibt keine oberflächliche, hydrologische Verbindung, also keinen Graben o.ä.



Im Oktober 2019 wurde die Brachlandvegetation chemisch mit Metsulfuron und Glyphosat beseitigt. Außerdem wurden Herbizide für den Anbau von Winterroggen ausgebracht. Vor der Rekultivierung der Brachfläche war die weithin 2 m tiefe Bucht noch von einer

wintergrünen Chara-Wiese ausgefüllt. Im Mai 2020 waberte an deren Stelle ein blaugrüner Teppich. In wenigen Löchern waren Reste von verrotteter Chara zu ahnen. Der blaugrüne Teppich bestand aus benthischen Cyanobakterien, die organisches Material verwerten können und immer da auftauchen, wo plötzlich viel davon anfällt. Bis Juli war die Bucht dann weitgehend kahl, sozusagen "aufgeräumt".



Herbizide zur Elimination von Brache und Anbau von Winterroggen



Mai 2020:
* Chara Wiese verrottet

Sommer 2020:
* erste Störanzeiger im Inneren und Westteil der Bucht, Mitte kahl

-
Zwischenfrucht

/ Mais

Herbizide zum Anbau von Winterroggen



Mai 2021:
C im Westteil und Buchtinneren
D in Mitte A im Ostteil

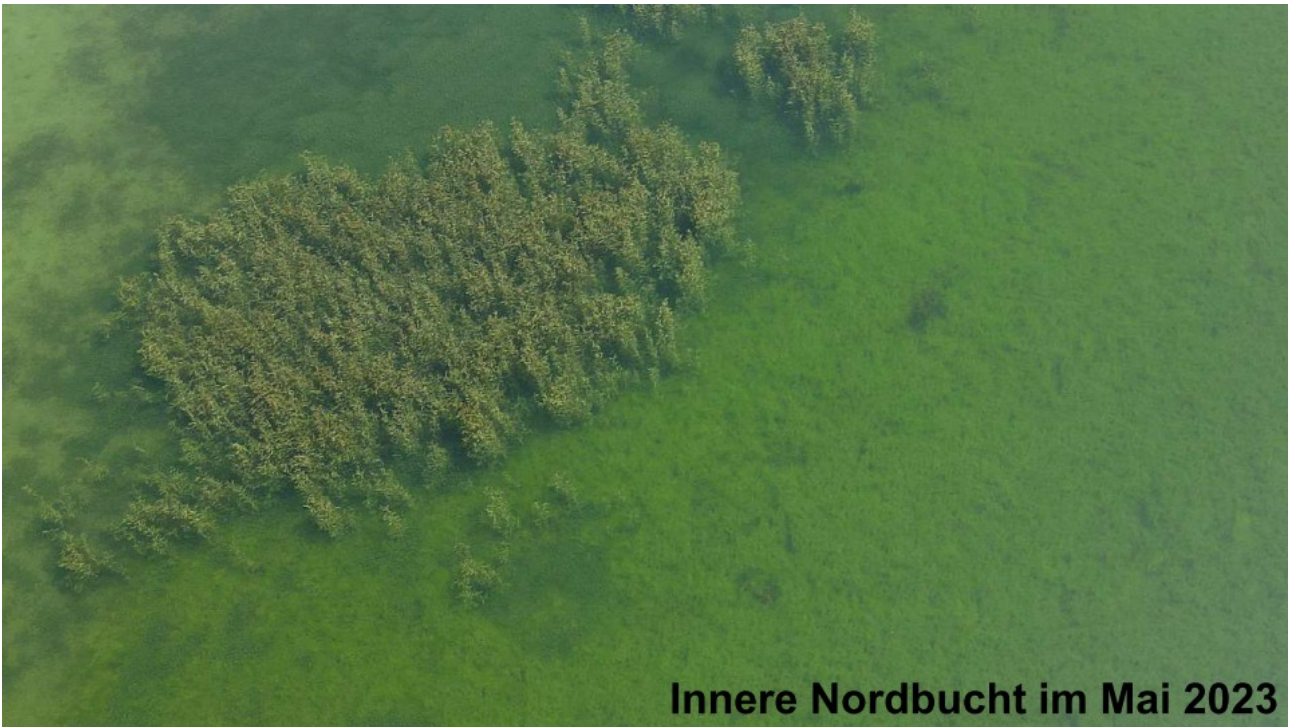


Mai 2022:
D im Westteil und im Inneren
A im Ostteil

Nachdem die Charawiese im Frühjahr 2020 verschwunden war, erschienen im Laufe des Sommers stellenweise erste Störanzeiger. Im Winter 2020 wurden keine Herbizide ausgebracht. Danach bildeten sich im Westteil und Inneren der Bucht dichte Bestände von Störanzeigern. Und von der Halbinsel im Osten her regenerierte sich die Chara-Wiese. Im Oktober 2021 wurden beim Anbau von Winterroggen wieder Herbizide ausgebracht. Dazu fiel im Februar danach dreimal soviel Regen wie normal. Der Grund im Westteil und im Buchtinneren blieb daraufhin bis Mitte Juni kahl.



Im Herbst 2022 wurde wieder Winterroggen auf dem besagten Feld nördlich angebaut, mit demselben Herbizideinsatz. Der folgende Winter war nur nicht besonders nass. Ende Mai 2023 wuchsen dann im Inneren und am Westrand der Nordbucht wieder Gefäßpflanzen, also in genau den Bereichen, die ein Jahr zuvor nach extremen Februarniederschlägen kahl geblieben waren.



Innere Nordbucht im Mai 2023

Aus zwanzig Metern Höhe, aus der Vogelperspektive der Drohnenkamera, sah das Buchtinnere nun so aus. Rechts im Bild ist der Nordrand der zentralen Wiese aus *Chara contraria* zu sehen, die links von hoch wachsendem krausem Laichkraut ersetzt wurde, umgeben von dunklerer Wasserpest. Die Veränderung war deswegen bemerkenswert, weil es an genau dieser Stelle vor der Rekultivierung der Brache einen zwar kleinen, aber vitalen Bestand einer bei uns sehr seltenen Chara-Art gegeben hatte.

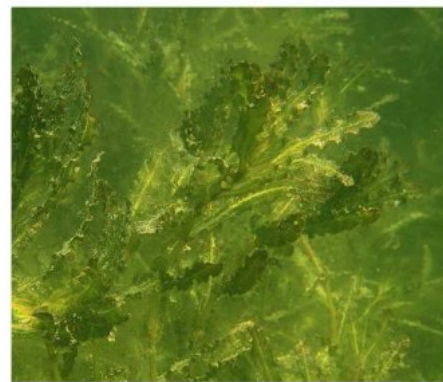
innere Nordbucht in 2 m Tiefe

2018 /19



Chara subspinosa

2020-23

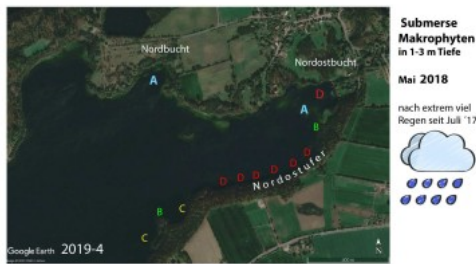


Potamogeton crispus

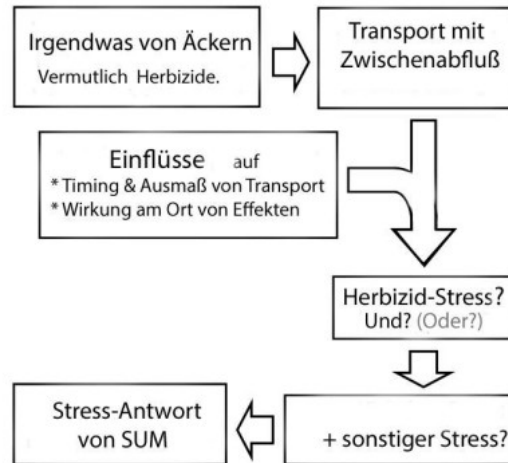
A Indikatorwert nach Schaumburg et al. 2014 **C**

Wo diese empfindliche Art, *Chara subspinosa*, also früher zwischen *Chara contraria* "blühte", hatte sich nun ein dichter Bestand von *Potamogeton crispus* eingestellt. Eine Indikatorart für sehr gute Wasserqualität war einem extremen Störanzeiger gewichen.

Was aus Beobachtungen über ursächliche Zusammenhänge folgt:



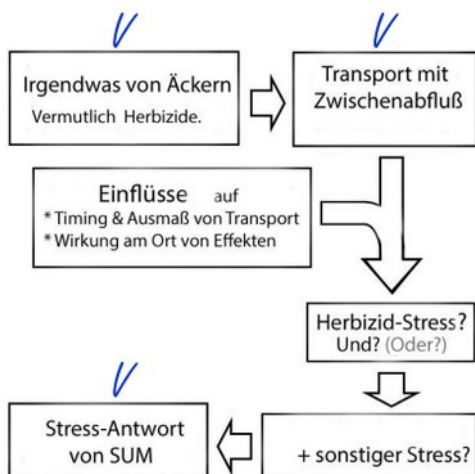
⇔ Ökologisch zu erwartende Antwort auf zunehmenden Stress
Klassisch nach Odum 1985



SUM = submerse Makrophyten

Unterm Strich zeigten die Makrophyten bei Anbau von Wintergetreide in ihrem Teil-Einzugsgebiet mit Niederschlägen zunehmende Stressreaktionen. Demnach musste irgendein Schadstoff von den Äckern mit Versickerung zum Ufer transportiert worden sein. Und da lag der Verdacht auf Herbizid-Applikation als Ursache nahe. Nach der Nordbucht-Erfahrung wurde es auch immer wahrscheinlicher, dass Herbizidstress zumindest mit im Spiel war. Die Denk-Möglichkeit, dass Herbizide vielleicht überhaupt keine Rolle spielten, also die "Oder?" Frage, ließ sich so schon mal einklammern. Offen blieb nur, ob zu dem Herbizidstress noch ein anderer dazu kam.

Soweit plausible Ursache von Ausfällen:



Schlüsselfrage:
Sind Herbizide
am Ort und zur Zeit
von Ausfällen nachweisbar
- und wenn ja, in
ökotoxikologisch relevanten
Konzentrationen?

Die Hypothese, dass Herbizide die Ursache der dokumentierten Ausfälle waren, war nach dem Stand der Dinge zwar plausibel, aber noch nicht durch Messungen überprüft. Ende 2021 gelang es, Spezialisten für Passiv Sammler vom Umweltforschungszentrum in Leipzig für die offene Frage zu interessieren. Im Frühjahr 2022 haben wir uns dann zusammen an die Arbeit gemacht, mit von Maras Doktorarbeit übrigen Sammlern und Rückendeckung durch das UFZ und den NABU Plön.

Passiv Sammler Exposition auf Sediment

über gehemmten Dauerstadien
von

höheren Wasserpflanzen

Samen, Rhizome,
Winterknospen, Sprosstücke

und Armleuchteralgen

Oosporen

Bulbillen

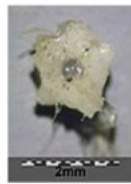
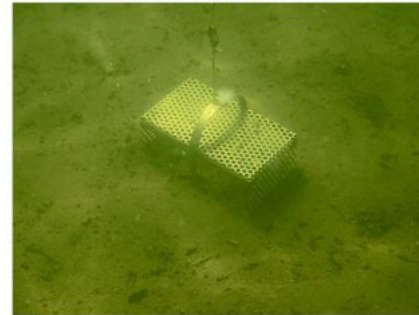


Bild: Stefan Lefnaer



Foto: Lucian Werner



Passiv Sammler adsorbieren über längere Zeit Stoffe aus ihrer Umgebung, ähnlich wie das Organismen tun, also z.B. Dauerstadien von Wasserpflanzen an Sedimentoberflächen. Mit den Sammlern konnten wir Herbizid-Konzentrationen auch genau da messen, also am Ort der beobachteten Effekte. Wir haben dann je zwei Sammler für polare und unpolare Herbizide (die weißen Scheiben bzw. transparenten Folien in dem Bild oben rechts) in unten offenen Metallkäfigen exponiert und je zwei solche Käfige von April bis Mai 2022 auf kahlem Grund in der Nordbucht und am Nordostufer. Nach der Exposition hat Mara Römerscheid die adsorbierten Pestizide dann in Leipzig extrahiert und mit Gaschromatographie und Massenspektrometrie analysiert.



X Exposition von Passiv-Sammlern für unpolare Herbizide (April-Mai 2022)

Zusammenarbeit NABU Plön und UFZ Leipzig

worst case scenario: * 169 mm Niederschlag im Februar 2022
* hohe Vulnerabilität von Entwicklungsstadien

Sammler für unpolare, also schwer wasserlösliche Herbizide haben wir eingesetzt, weil deren Anwendung als besonders problematisch gilt. Eins von den vor Ort gebräuchlichen, unpolaren

Herbiziden war außerdem noch zehnmal giftiger, als alle anderen, und zwar Diflufenican. Mara hat es deswegen gezielt mit analysiert. Was sich im Nachhinein als Volltreffer erwies. Das Ergebnis der Passiv-Sammler-Versuche war am Ende so interessant, dass wir es inzwischen in "Science of the Total Environment" veröffentlicht haben (Krambeck et al 2024):

Krambeck, C., Römerscheid, M., Paschke, A., 2024: Passive Sampling of Herbicides above Sediments at Sites with Losses of Submerged Macrophytes in a Mesotrophic Lake. Science of the Total Environment 912 (2024) 169083 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169083>

Herbizide direkt über Sedimenten nachweisbar, in ökotoxikol. relevanter Konzentration

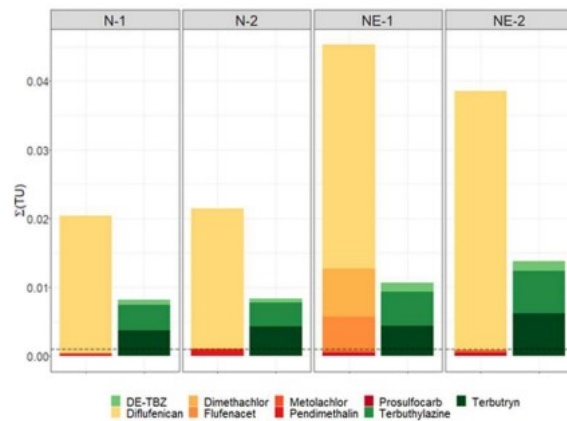
Hemmer von Entwicklungsstadien,
Applikation bei Wintergetreide im Spätherbst:
rötlich/gelbe Säulen

Haupt-Stressor: Diflufenican

Hemmer von Photosynthese,
keine lokale Applikation,
also atmosph. Deposition:
grünliche Säulen
Terbutylazin und Metabolite

TU „toxic units“ = $\frac{\text{gemessene Konzentration}}{\text{Effektkonzentration}}$

Effektkonzentration nach Labor-Standard:
EC50 (Grünalgen, Wachstum, 72 h)



Die direkt über den Sedimenten gemessenen Konzentrationen lagen im Bereich von einigen bis zu 100 ng/l und waren ökotoxikologisch relevant. Was "toxic units" (TU) sind und was die Werte bedeuten, erkläre ich gleich noch. Wichtig ist zunächst, dass sich mit TU Größenordnungen möglicher Umweltrisiken allein aufgrund chemischer Daten abschätzen lassen. Man sagt auch: sich "verifizieren" lassen. Um zu "validieren", ob im konkreten Fall gemessene Konzentrationen tatsächlich schaden, bedarf es eines zweiten Schrittes. Dazu muss man sich vor Ort ansehen, ob und wie empfindliche Organismen auf vorliegende Konzentrationen reagieren.

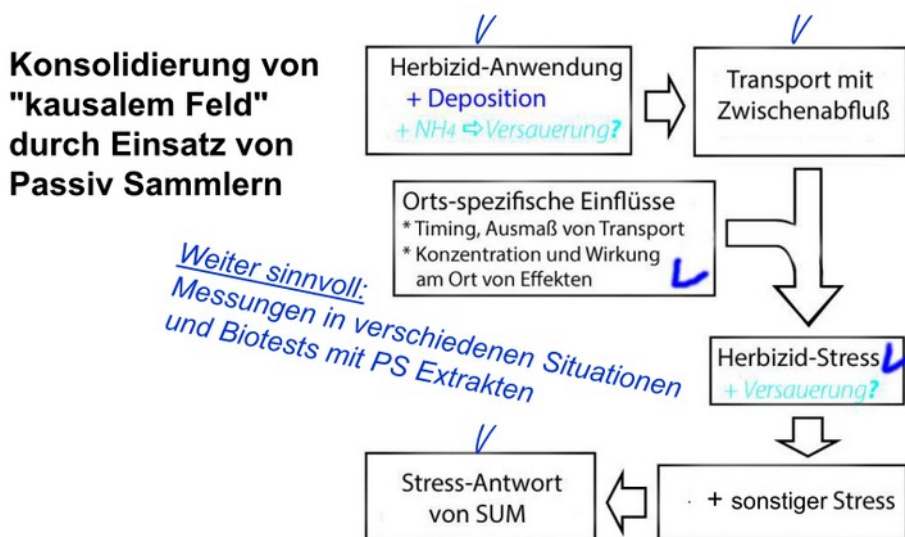
In unserem Fall wissen wir, dass sich am Ort und zur Zeit unserer Messungen keine Wasserpflanzen entwickelt haben. Und es ließen sich entwicklungshemmende Herbizide mit TUs von über 0,02 nachweisen, also TUs, bei denen nach der aktuellen Richtlinie der Europäischen Gemeinschaft chronische Wirkungen zu erwarten sind. Dabei ging der TU-Wert vor allem auf das Konto von Diflufenican. Diflufenican war also der "Toxizitäts-Treiber". Die chemische Risiko-Verifizierung und der biologisch tatsächlich eingetretene Schaden passten jedenfalls zusammen. Das erlaubt im konkreten Fall den Schluss, dass Herbizide die Ausfälle sehr wahrscheinlich zumindest mit verursacht haben. Was wir nicht erwartet hatten, war, dass auch Terbutylazin und seine Metabolite den ermittelten TUs nach ökotoxikologisch relevant waren, denn das Herbizid war lokal nicht eingesetzt worden. Außerdem hemmt es Photosynthese und konnte so eigentlich erst auf bereits grüne Pflanzen wirken.

Nun zur Erklärung der TUs, also zu der Methode der Schätzung von zu erwartenden Risiken:

Die Grundlage sind standardisierte Laborversuche, mit denen die Konzentration bestimmt wird, bei der bei Stellvertreter-Organismen ein 50%er Effekt eintritt. Solche Effektkonzentrationen oder EC50 sind die Basis für die Zulassung von Substanzen und dementsprechend gibt es dazu umfangreiche Datenbanken. "Toxic units" beschreiben nun einfach das Verhältnis einer Konzentration im Gewässer zur niedrigsten EC50-Konzentration des gemessenen Stoffes. Diese Relation macht die Wirksamkeit gegebener Konzentrationen von verschiedenen giftigen Substanzen vergleichbar. Damit lassen sich TUs bei Substanzgemischen addieren und das ist für Risiko-Prognosen sehr praktisch.

Zur jeweiligen Summe der TUs braucht man dann nur noch einen Faktor für die Unsicherheit, die darin besteht, dass man es in der Realität nie mit Stellvertreterorganismen und Laborbedingungen zu tun hat und auch selten nur mit akuten Wirkungen, sondern in aller Regel mit chronischen Effekten. Diese Unsicherheit ist sehr hoch.

Eine aktuelle europäische Richtlinie geht davon aus, dass chronische Umwelteffekte bei TU um 1/100 zu erwarten sind und erst unterhalb von TU von 1/1000 unwahrscheinlich werden. Das wäre also ab der Schwelle von 0.001 TU. Im Suhrer See lagen die TU fast aller gemessenen Herbizide über dieser Schwelle (in dem Diagramm oben mit einer gepunkteten Linie markiert). Außerdem darf man nie außer Acht lassen, dass man vielleicht nicht alle relevanten Substanzen geahnt hat und einen maßgeblichen Toxizitäts-Treiber nicht mit gemessen haben könnte. Letztlich kommt es zur Feststellung tatsächlich realisierter Risiken ohnehin auf die biologische Validierung an.



Nach den Passiv Sammler Ergebnissen können wir die Konzentration und Wirksamkeit von Herbiziden an Sedimentoberflächen nun als bestätigt abhaken. Herbizide haben, dem verifizierten Risiko nach zu urteilen, bei den beobachteten Ausfällen eine Rolle gespielt. Neu ist ein möglicher Einfluss von Herbiziden, die nur durch atmosphärische Deposition aufs Land gelangt sein können. Bleibt die Frage, ob noch mehr eine Rolle gespielt haben könnte. Wenn es aber noch einen, von Äckern ausgehenden toxischen Stress gibt, dann muss er nach allem auch mit Zwischenabfluss transportiert worden sein. Nach dem Stand des Wissens kommt dafür eigentlich nur Versauerung in Frage, z.B. durch tierhaltungsbedingte NH4-Deposition (Bittersohl et al. 2016). Und in schwach gepufferten Sanderflächen wie beim Suhrer See kann Versauerung auch eine Rolle spielen.

Eine umfangreichere Anwendung von Passiv Sammlern könnte zwar helfen, Unsicherheiten im einzelnen weiter zu verringern. Eine weitergehende Validierung erfordert unabhängig davon aber eine ganzheitliche Herangehensweise, das heißt, einen Abgleich mit der gesamten vorliegenden Erfahrung mit Stressreaktionen unter wechselnden Bedingungen. Mit der Methodik der kausalen Zuordnung („kausale Attribution“) lässt sich in komplexen Ökosystemen auch ermitteln, wie wahrscheinlich ein plausibler Hauptfaktor zur Verursachung eingetretener Schäden beigetragen hat. Die Antwort kann dabei nur von Fall zu Fall gegeben werden, weil sie von den jeweiligen Randbedingungen abhängt, also von Orts-spezifischen Einflüssen. Die Grundlage einer solchen Attribution ist eine plausible, dem Stand des Wissens genügende Vorstellung von dem zugrunde liegenden kausalen Feld. Und die haben wir mit diesem konzeptionellen Flussdiagramm bereits. Damit lässt sich die Risiko-Validierung nun also noch weiter führen.

Verallgemeinerung

Herbizide erreichen Sedimentoberflächen bei hohem Zwischenabfluss.

Risiko bei Teil-EZG mit Landwirtschaft: Hoch

" ohne Landwirtschaft: Niedrig

**ermöglicht Abgleich mit Monitoring-Erfahrung
im gesamten See-Kontext**

*z.B. mit historischer Referenz bei Kenntnis von Wetterdaten,
mit Situationen bei verschiedenem Wetter
und an verschiedenen Orten*

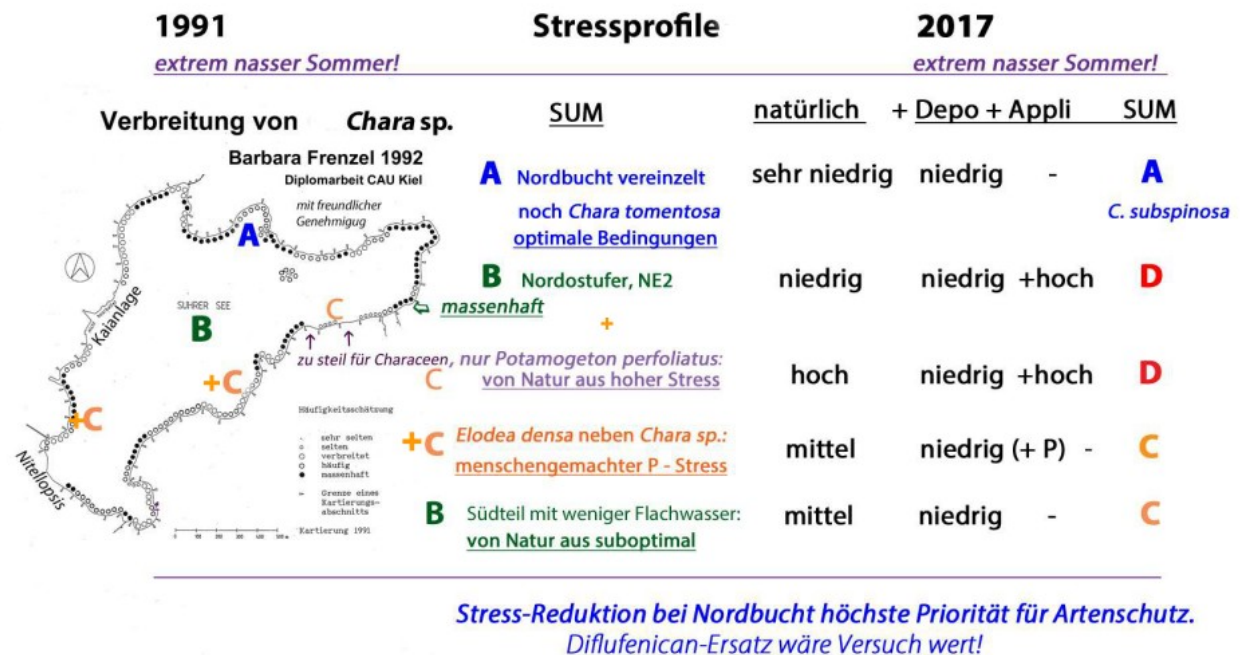


und damit eine erweiterte Validierung.

Passt Summe bekannter Stress-Stufen zu jeweiliger Stress-Antwort SUM?

Gibt es Situationen, in denen der Abgleich nicht plausibel ist?

Die kausale Attribution erlaubt die Einbeziehung halb-quantitativer und qualitativer Informationen. Für unsere Zwecke reicht es also festzuhalten, dass in Einzugsgebieten applizierte bzw. darauf deponierte Herbizide bei viel Zwischenabfluss Sedimentoberflächen erreichen und dort ein hohes bzw. ein niedriges, weniger klares Risiko für Wasserpflanzen darstellen. Das ermöglicht einen Abgleich mit der umfangreichen existierenden Suhrer See Erfahrung, also mit Reaktionen von Wasserpflanzen in jeweils anderen Konstellationen von Landnutzung und Wetter.



Als erstes bietet sich ein Abgleich mit den historischen Daten von Barbara Frenzel an. Der Sommer 1991 lässt sich mit dem genauso extrem nassen Sommer 2017 vergleichen. Für den weiteren Vergleich habe ich die Angaben von Frenzel in Stressstufen übersetzt.

1991 gab es rings um den See keine Stelle mit kahlem Grund, also mit Stressstufe D. Characeen fehlten nur an einer Stelle am Nordostufer. Da war der Uferabfall unter Wasser einfach so steil, dass nur ein lang wachsendes Laichkraut hochkam. Natürlicher Stress kann je nach Standort also erheblich sein und maßgeblich zur beobachteten Stressstufe beitragen. Von daher muss je nach Standort wechselnder, natürlicher Stress mit eingerechnet werden.

An den beiden +C-Stellen gab es schon 1991 Wasserpestbestände, denen sich menschengemachte, lokale Eutrophierungsquellen zuordnen lassen (Sportplatzanlage im SW und Deponie im Osten). Frenzel hat in denselben Bereich aber noch gleichzeitig intakte Chara-Bestände notiert.

Die Übergänge zu höheren Stressstufen 2017 lassen auf eine historische Zunahme von menschengemachtem Stress schließen. Die Summe der Level von natürlichem Stress und einem durch Herbizid-Applikation hohem und/oder durch Deposition bedingt niedrigerem Stress passen zu den jeweils gefundenen Stress-Stufen. Ein weiterer Stressor ist zur Erklärung der neuartigen Belastung also nicht zwingend erforderlich. Und in diesem Naturschutzgebiet gibt es sonst auch keine neueren Belastungen.

Der Schutz der empfindlichen, wintergrünen Chara-Wiesen kann am ehesten da gelingen, wo sie noch vorkommen und Chancen für ihre Erhaltung gegeben sind. Das wäre beim Suhrer See in der Nordbucht. Nicht von ungefähr wurde da 1991 sogar noch vereinzelt die inzwischen verschollene *Chara tomentosa* gefunden und heute noch rudimentäre Vorkommen der gefährdeten *Chara subspinosa*. Die Rekultivierung ab 2020 hat deren Vorkommen in der inneren Bucht fast ruiniert. Da Diflufenican sich dabei als Hauptstressor erwiesen hat, könnte ein Verzicht darauf vielleicht für eine Regeneration und Stabilisierung schon reichen. Das wäre aus Sicht des Artenschutzes jedenfalls einen Versuch wert. (Update Sommer 2024: Ohne Herbizid-Anwendung im Herbst 2023 hat sich der rudimentäre Bestand in der inneren Bucht bis August 2024 tatsächlich erholt.)

nach **WRRL Makrophytenbericht Suhrer See**
Stuhr, vd Weyer, Meis (lanaplan i.A. LLUR SH)

„Indices are misleading at best
and attractive delusions at worst.“
Chapman 2011



ÖZK

entwickelt als Eutrophierungsindex:
zeigt Schäden durch Trübung

formal bei ÖZK 2 kein Handlungsbedarf

- * Mittel über lokale Differenzen
- * kein Bezug zu Niederschlag
- * kein Bezug zu Teil-Einzugsgebiet
 - * best case monitoring
 - * Bias in Transektwahl

Erhobene Details betrachten!

Eingangs hatte ich erwähnt, dass die gute ÖZK nach WRRL die tatsächliche Verschlechterung im Suhrer See nicht anzeigt. Das liegt daran, dass die ÖZK für die Anzeige von Eutrophierung konzipiert ist, die flächendeckende, also seeweite Schäden verursacht, und so nicht auf Folgen sedimentgebundener, lokaler Belastungen anspricht. Außerdem sollen der Routine nach Verödungen, bei denen bis 20 m Entfernung vom Ufer keine Ursache zu erkennen ist, nicht in die Beurteilung einfließen (Schaumburg et al. 2011). Das bedingt einen gewissen Bias bei der Transektwahl. Die 6 Transekte hier werden auch von Zwischenabfluss erreicht, der nur durch Deposition belastet ist. Die Suhrer See Transekte sind also blind für die Wirkung der Pestizid-Applikation auf den Ackerflächen. Anders als die ÖZK ergeben die insgesamt erhobenen Daten im Detail ein sehr viel differenziertes Bild. Eine „Verschlechterungstendenz“ wird von den Gutachtern so durchaus erkannt (Meis et al 2022).

Populationsverschiebungen unter Einfluss von atmosphärischer Deposition und natürlichem Stressgefälle

Deckungsgrade [%]	Trockener Sommer 2019		Nasser Sommer 2021	
	Alle SUM	Charophyten	Alle SUM	Charophyten
nördliche Transekte	70 to 80	64 to 75	30 to 69	10 to 30
südliche Transekte	35 to 65	<1 to 50	10 to 39	<1 to 5

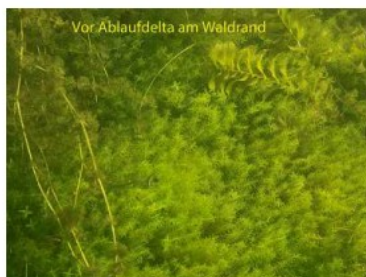
*Daten: WRRL Makrophytenberichte (lanaplan) 2019 und 2021
6 Transekte ohne lokale, landwirtschaftliche Belastung*

SUM submerse Makrophyten **WRRL** Wasser-Rahmen-Richtlinie

Die Makrophytenberichte liefern im Detail sogar Informationen, die für unsere Validierung des ökotoxikologischen Risikos von Interesse sind, und zwar für den Einfluss atmosphärischer Deposition. Dazu kommt uns nun zupass, dass keins der 6 Transekte von Applikation beeinflusst wird. Zur WRRL Routine gehört nämlich die Dokumentation lokaler Deckungsgrade von submersen Makrophyten, also von allen Unterwasserpflanzen, und außerdem extra noch von Characeen allein. Und in dem trockenen Sommer 2019 waren die Bestände der Unterwasserpflanzen dicht und der Anteil an Characeen war relativ hoch. Die tendenziell geringeren Deckungsgrade bei den südlichen Transekten lassen sich auf den da höheren, natürlichen Stress zurück führen. In dem nassen Sommer 2021 nahm die Dichte der submersen Makrophyten überall ab und die der empfindlicheren Characeen am meisten. - Nach den Passivsammler Ergebnissen wussten wir über das potentielle Risiko durch atmosphärische Belastung bisher wenig mehr, als dass es existiert und dass es geringer zu sein scheint, als die Belastung durch Applikation von Herbiziden. Diese Daten aus den Makrophyten-Berichten bestätigen das im Prinzip und vermitteln einen Eindruck des Ausmaßes von dadurch möglichen Populationsverschiebungen.



NE-1 permanent **D** NE-2 **C** bis **D**



Vor Ablaufdelta am Waldrand

Vor Ablaufdelta

C

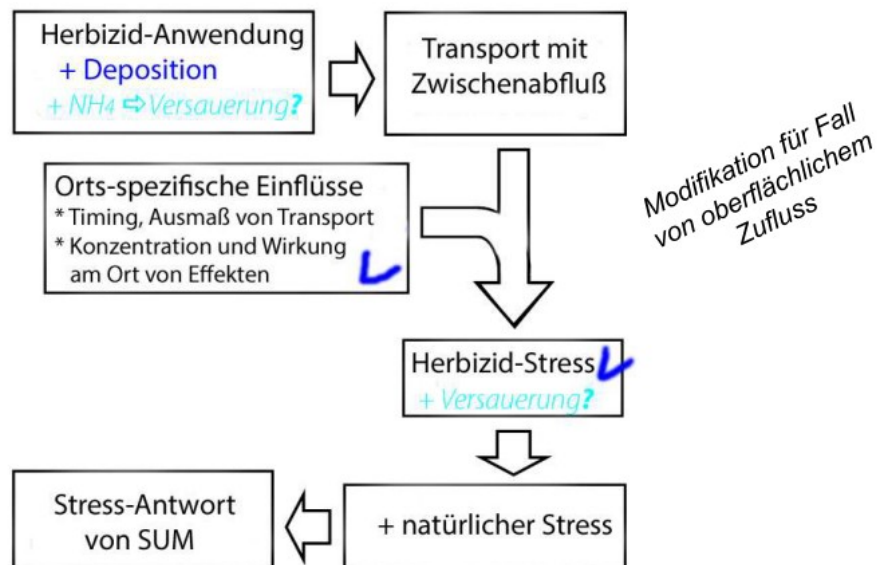
(**D**) kahl nur wenn extrem nass)

Diflufenican

Mai 2022, NE-1 und NE-2 **6 -10 ng/L**

: Herbst 2020 im Ablauf: **14-23 ng/L**
(Höinghaus 2022)

An den beiden Stellen NE-1 und NE-2 am Nordostufer, an denen wir Passiv-Sammler exponiert haben, waren die TU gleich hoch, unabhängig von der unterschiedlichen Nähe zu Drainabläufen und ungeachtet der Vertragsnaturschutzfläche oberhalb. Die etwas geringere Stressreaktion bei NE-2 lässt sich auf die breite Flachwasserzone zurückführen, die im Bild oben links an der hellen Färbung zu erkennen ist. Der natürlichen Stress ist da also vergleichsweise gering. Was nicht recht ins Bild past, ist die Entwicklung direkt vor dem Ablaufdelta zwischen den beiden Expositionsstellen. Der Grund davor ist im Sommer nämlich selten kahl, nur bei extrem hohem Ablauf. Meist ist er dicht mit Störanzeigern wie z.B. Herbstwasserstern bewachsen. Der Übergang zu den benachbarten Zonen ist zudem auffällig abrupt, besonders an der Grenze zu der permanent vegetationsfreien Zone links (Richtung NE-1). Aus der Masterarbeit von Höinghaus (2022) wissen wir, dass die Diflufenican Konzentration in diesem Ablauf im Herbst 2020 in etwa doppelt so hoch war wie die im Frühjahr 2022 von uns über den Sedimenten bei NE-1 und -2 gemessenen. Für die sichtlich geringere Wirkung des belasteten Drainabflusses gibt es eine plausible Erklärung: Turbulente Zuläufe in einen See werden sofort verdünnt. Ihr Einfluss kann damit nicht weit reichen und auch nicht lange kritisch bleiben. Ganz anders als bei unterirdischen Einträgen. Hinzu kommt bei diesem Ablauf eine Lehmlinse, die unterirdische Einträge an der Stelle anscheinend ausbremst.



Für das Ablaufdelta wäre das kausale Feld also um einen anders funktionierenden, oberirdischen Eintragspfad mit weniger gravierenden, lokalen Wirkungen zu ergänzen.

Erst kürzlich haben wir an bestimmten Stellen noch ein Schadensmuster entdeckt, das überhaupt nicht mehr in dieses Schema passt. Dabei handelt es sich um Anomalien, die in Charawiesen im Übergang zu tieferem Wasser vor der Nord- und Nordwestbucht auftreten.



Dieses Bild zeigt z.B. die kreisförmige Anomalie vor der Nordbucht. Der Bereich war im Mai noch kahl und hatte sich bis Juni von Westen aus schon fast regeneriert. Im August 2023 traten am Ostrand Faulschlammzonen auf und von da aus breiteten sich Schwefelnebel aus. Zur selben Zeit überdeckten in der Nordwestbucht Algenwatten einen Bereich, den in früheren Jahren eine Charawiese einnahm. Dort hatte es schon 2020 eine analoge Zunahme von Schwefelnebeln und Anzeichen für Fäulnis in der Charawiese und nachfolgende Ausfälle gegeben.

Mögliche Ursachen sommerlicher Anomalien

*Faulschlamm und Schwefelnebel in Charawiesen
deuten auf Bildung von toxischem H₂S.
Algenwatten zeigen Freisetzung von Phosphor an.*

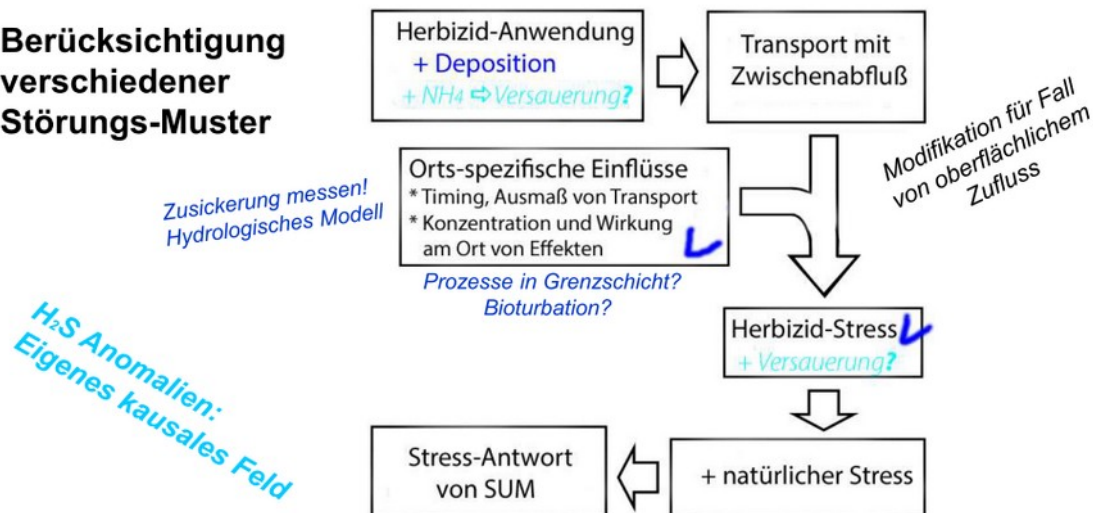
*Landschaftszusammenhang und Timing
deuten auf Zusammenhang
mit Zusickerung von belastetem Grundwasser.
Grund kann Versauerung durch NH₄ Deposition sein,
evtl. verstärkt durch Pestizide und Störung von Bioturbation.*

Dazu bisher kein valides kausales Feld

Zu den Ursachen dieser Anomalien haben wir bisher nur ein paar Anhaltspunkte, aber noch kein klares kausales Feld. Wir haben vor, die Erscheinungen und Begleitumstände diesen Sommer noch weiter zu dokumentieren, im Rahmen des Projektes drohnengestütztes Monitoring.

Update: In der Nordbucht brach die wintergrüne Charawiese bis Mai 2024, also nach dem Sommer mit auffälligen Schwefelnebeln, zusammen, der gesamte Grund war im Juni kahl und erst zum Spätsommer gab es eine teilweise Erholung. Inzwischen publiziert: Krambeck et al. 2025

Berücksichtigung verschiedener Störungs-Muster



Alles in allem zieht allein schon das Ergebnis der Passiv Sammler einen Schweif weiterführender Fragen nach sich. Das ist oft so bei der Beantwortung wissenschaftlicher Fragen. Abschließende, über jeden Zweifel erhabene Antworten sind bei komplexen Ökosystemen nicht zu erwarten. Klassische, mechanistische Beweise setzen nämlich Experimente mit wiederholbarem Ausgang voraus, also Reproduzierbarkeit. Und die ist auf der Ebene von Ökosystemen nicht gegeben, einfach, weil zu viele Orts-spezifische Einflüsse mitspielen. Die Ermittlung von wahrscheinlichen Ursachen ist in solchen Fällen die wissenschaftlich einzig seriöse Option. Das schließt klassische Untersuchungen zur Beantwortung auftauchender Schlüsselfragen keineswegs aus. Unsere Passiv Sammler Ergebnisse illustrieren z.B., wie gezielte Untersuchungen weiter helfen können. Fragen bleiben auf jeden Fall immer offen. Aber auch ohne nächste und übernächste Antworten reicht jeweils gerade vorhandenes Wissen, um nach plausiblen kausalen Zusammenhängen zu suchen, danach sinnvolle Maßnahmen zu überlegen und auszuprobieren, ob sie funktionieren.

Das folgende, generelle Schema für die Vertrauenswürdigkeit von Aussagen über komplexe Sachverhalte stammt aus dem letzten Bericht des IPCC. Es wurde also im Kontext mit Klimawandel entwickelt, lässt sich aber allgemein auf Aussagen über Umweltprobleme anwenden, also z.B. auch auf Aussagen über Artenverluste. Unsere Schlussfolgerungen stecken, was die Ursache der

Agreement ↑	High agreement Limited evidence		High agreement Robust evidence
		Medium agreement Medium evidence	
	Low agreement Limited evidence		Low agreement Robust evidence
	Evidence (type, amount, quality, consistency) →		

Aus: IPCC-Bericht AR6, Chapt. 1, Auszug aus Box 1.1

Vertrauenswürdigkeit von Aussagen über komplexe Sachverhalte steigt mit Evidenz (Typ, Menge, Qualität, Widerspruchsfreiheit) und Experten-Einigigkeit (also mit unterlegter blau Verdunkelung).

⇨ Aussagen in der Mitte treffen „wahrscheinlicher als nicht“ zu.

⇨ Damit lässt sich bei der Bewältigung von Umweltkrisen arbeiten.

Anomalien angeht, ohne Messdaten zur Versauerungsgefährdung von oberflächennahem Grundwasser noch unten links fest. Was das Herbizid-Risiko angeht, sind die Ergebnisse inzwischen aber schon so irgendwo in der Mitte einzuordnen, also als "wahrscheinlicher als nicht" zutreffend .

Das könnte man beim Schutz aquatischer Biota eigentlich als Messlatte für Handlungsbedarf gelten lassen.

Empfehlungen für wirkungsvollen Artenschutz nach dem Stand des Wissens

Was nach Suhrer See Erfahrung sinnvoll wäre:

- WRRL Makrophyten-Monitoring für toxische Indikation ausbauen
- Wirkung von Verzicht auf Diflufenican-Einsatz erproben, zuerst bei Nordbucht
- Landwirtschaftliche Beratung an Ergebnis anpassen
- Pilotprojekt zur Erprobung und Förderung weitergehender Schutzmaßnahmen starten

Was überregional zu tun wäre:

- WRRL Routinen generell um ökotoxikologische Indikation erweitern
- Kritische Teil-EZG von NSG als Pufferzonen ausweisen und Förderinstrumente anpassen
- Validierung von Risikoabschätzungen – Postzulassungsphasen implementieren
- Haupt-Risikotreiber wie Diflufenican (Substitutionskandidat!) nicht weiter zulassen
- Luftbelastung durch Agrar-Xenobiotika in Routine-Überwachung implementieren

Was wir am Suhrer See mindestens tun können:

- Weiter Erfahrung mit SUM Reaktionen auf Stress sammeln
- An Gesprächsebene mit Landwirten vor Ort arbeiten
- Publizieren. Wissen in Fachdiskurs einbringen und allgemein verständlich verbreiten.

Wir haben - oder besser hätten - der Biodiversitätskrise also etwas entgegensetzen. Für die notorische Nicht-Erkennung und Unterschätzung ökotoxikologischer Risiken und für zu kurz greifende Konzepte von Pufferzonen braucht es – klar - überregionale Lösungen. Lokale Pilotprojekte könnten aber helfen, nachvollziehbar vernünftige Lösungen pragmatisch in Angriff zu nehmen und exemplarisch grundlegende Erfahrung damit zu sammeln, was funktioniert.

Gäbe jedenfalls für viele viel zu tun. Das meiste scheitert bisher aber bereits an der fehlenden, institutionellen Verzahnung zwischen dem aktuellen Stand der Wissenschaft und der Gewässer- bzw. Naturschutzpraxis. Mal ganz abgesehen von Widerständen von Interessensgruppen und der gesellschaftlichen Herausforderung, fair miteinander umzugehen und lösungsorientiert zu handeln. Und Handlungsbedarf besteht.



Das Leben in Charawiesen ist einzigartig und allein darum schon schützenswert. Und es sind nicht nur Characeen bedroht, sondern viele andere Arten, die mit ihnen zusammen vorkommen.



Hinzu kommt, dass wir es sind, die dieser Lebensgemeinschaft mit unseren Ansprüchen schaden. Außerdem sind Artenverluste in aller Regel auch ein Alarmsignal für selbst-verschuldete Gefährdungen unserer eigenen Lebensgrundlagen. Characeen-Verluste lassen sich z.B. nach den Suhrer See Ergebnissen als ein Frühwarnsystem für schleichende Grundwasserbelastung werten.

Als menschliche Gesellschaft sollten wir die Biodiversitätskrise also besser ernst nehmen. Und zwar in jeder Beziehung und auf allen Ebenen.

Ich danke ihnen und euch für Interesse und Aufmerksamkeit.

Literatur

Weitere Quellenangaben siehe zitierte Publikationen.

Nicht online verfügbare Titel bei Interesse an Diskussion über CK einsehbar.

Bittersohl, J., Walther, W., Meesenburg, H. (2016): Aktuelle Aspekte der Langzeitversauerung von oberirdischen Gewässern und Grundwasser in Deutschland. Beiträge aus der NW-FVA, Band 14, S.23-37

https://www.nw-fva.de/fileadmin/nwfva/publikationen/pdf/bittersohl_2016_aktuelle_aspekte_der2.pdf

Frenzel, B., 1992. Die Ufer- und Makrophytenvegetation des Suhrer Sees. – Diplomarbeit CAU Kiel.

Jarosch, M., & Brunke, M. 2018. Bericht zur chemischen Situation der Fließgewässer und Seen in Schleswig-Holstein. LLUR SH, Flintbek. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/F/fluesse_baeche/Downloads/berichtChemSituation.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Krambeck, C., 2020. Ausfälle submerser Vegetation und Verdrängung von Characeen durch Angiosperme in einem mesotrophen See und mögliche Rolle von Herbizideinträgen. DGL Ergebn. Jahrestagung 2019 in Münster. S. 167-178 https://www.dgl-ev.de/cms/upload/dokumente/Publikationen/2019_Ergebnisse_Muenster_web.pdf

Krambeck, C., 2022. Ökologische Bewertung des Risikos von Charophytenverlusten unter ökotoxikologischem Stress in einem mesotrophen See. DGL Ergebn. Jahrestagung 2021 in

Leipzig. S. 137-146 https://www.dgl-ev.de/cms/upload/dokumente/Publikationen/2021_DGL-Tagungsband_web_final.pdf

Krambeck, C., & Römerscheid, M. 2024a. Indikation landbürtiger Sedimenttoxizität durch submerse Makrophyten (SUM) im Suhrer See und Konsequenzen für Artenschutz und WRRL-Routinen. DGL Ergebn. Jahrestagung 2024 in Köln. S. 89-90

https://www.dgl-ev.de/cms/upload/dokumente/Publikationen/2023_Ergebnisse_Jahrestagung_Koeln_web.pdf

Krambeck, C., Römerscheid, M., Paschke, A., 2024. Passive sampling of herbicides above sediments at sites with losses of submerged macrophytes in a mesotrophic lake. Science of the Total Environment 912. 169083 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169083>

Krambeck, C., Römerscheid, M., Paschke, A., 2024. Supplement

Meis, S., van de Weyer, K., Stuhr, J. et. al. 2022. Monitoring der Qualitätskomponente Makrophyten für die WRRL- und FFH-Richtlinie in schleswig-holsteinischen Seen.

www.lanaplan.de, Nettetal, i.A. LLUR SH.

https://umweltschleswig-holstein.de/Seen/Berichte_Gutachten/Ufer_Unterwasservegetation/Bericht_Makrophyten_2021_WRRL_lanaplan.pdf

Schaumburg, J., Schranz, C., Meilinger, P., Stelzer, D., Vogel, A. (2011): Bewertung von Seen mit Makrophyten & Phytobenthos gemäß EG-WRRL – Anpassung des Verfahrens aufgrund erster Ergebnisse und Erfahrungen aus den Bundesländern. BLU, Endbericht i.A. LAWA, 299 S, Augsburg/Wielenbach. https://www.lfu.bayern.de/wasser/gewaesserqualitaet_seen/phylib_deutsch/publikationen/doc/bewertung_seen_makrophyten_anpassg_gewaesser.pdf