

Phosphor, Fische und was noch? Ungeklärte Charophytenrückgänge und Hinterfragung möglicher Ursachen von Fall zu Fall.

Christiane Krambeck

christiane.krambeck@gmx.de

Vortrag bei Videokonferenz am 2.10.2021

– anstelle von "Special Session 22" bei abgesagter DGL Tagung 2020 – zum Thema:
"Wirkungen von Xenobiotika aus der Land- und Forstwirtschaft auf stehende Gewässer"

*Text und Literatur zu Power-point Präsentation. Folien dazu in eigener pdf-Datei:
<Krambeck Folien>*

Gliederung nach Folien:

- 1 Einleitung
 - 4 Alarmzeichen für Störungen,
methodischer Ansatz Literatursuche anhand von Fallbeispielen aus dem Kreis Plön
 - 11 Ungeklärte Charophytenrückgänge
 - 11 Bodensee
 - 14 Chara-Seen in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern
 - 15 Seen mit landwirtschaftlichem Teil-Einzugsgebiet (Pätsch-, Krohn-, Dreetzsee)
 - 18 Waldseen mit Rückgängen vor 2000 (gr. Serrahnsee, oberer Giesenschlagsee)
 - 21 Verschlechterung mittlerer und unterer Giesenschlagsee 2010:
Rolle von wasserwirtschaftlichen Änderungen
 - 22 Rolle von Fischbeständen
 - 24 Waldseen mit Rückgängen 2008 - I: Gollinsee, fauler See bei Lychen
 - 25 Einsatz von Insektiziden in Waldgebieten
 - 26 Waldseen mit Rückgängen 2008 - II: Stechlin-, Wittwe- und Wummsee
 - 27 Veränderung Stechlinsee 1992 bis 2002
 - 28 Rolle von trockenen und nassen Sommern und Waldschäden
 - 30 Zusammenfassung
 - 32 Danksagung
- Literatur Verzeichnis

Einleitung

1

Bei Rückgängen von Makrophyten denkt man in Seen automatisch als erstes an Phosphor-Einträge, oder, wenn das Wasser klar ist, an Schäden durch bodenwühlende Fische. Beides sind auch oft die Hauptursachen von Rückgängen, aber nicht die einzig möglichen.

2

So hatten Sanierungsprojekte, die auf verschiedene Weise bei Flachseen an den beiden klassischen Ursachen ansetzten, rückblickend erstaunlich selten den gewünschten Erfolg (Hilt et al. 2018). Entsprechend zeichnet sich bei dem in Brandenburg laufenden E+E Projekt CharaSeen (Hussner 2019) nach den ersten Ergebnissen ab, dass Charophytenrückgänge zwar meist mit auffälligen Änderungen des Fischbestandes einhergehen, Ursache und Wirkung aber durchaus nicht immer klar sind.

3

Biozönosen im allgemeinen und Charophytengesellschaften im besonderen stellen auch das hoch organisierte Ergebnis einer evolutionären Anpassung an den ihnen eigenen Lebens-raum dar, das mit seinen Schwankungen und komplexen internen Regelungen zwar erforscht, aber längst nicht vollständig verstanden ist (Schubert et al. 2018). Dazu gibt es in aller Regel mehr als ein oder zwei anthropogene Störungen, die das evolutionäre Potential einschränken können, wobei wir über Wechselwirkungen wenig wissen und über ökotoxikologische und ökologische Folgen in Seen so gut wie nichts.

Alarmzeichen für Störungen, methodischer Ansatz Literatursuche

- anhand von Fallbeispielen aus dem Kreis Plön

4

Dabei kann jede Art von Störung zur vorrangigen Ursache von Veränderungen werden, wie sich anhand von Fallbeispielen aus dem Kreis Plön zeigen lässt. Zu erkennen ist das dann, wenn die jeweilige Störung und ihr Effekt drastisch sind und zeitnah auftreten, oder dann, wenn keine anderen Störungen erkennbar sind wie im Suhrer See, der seit Jahrzehnten mesotroph ist und fischereilich nicht bewirtschaftet wurde. Meine Präsentation dieses Falls bei der letzten DGL Tagung war der Anlass für die heutige Session. In deren Rahmen interessiert nun zwar in erster Linie, ob sich Makrophytenrückgänge häufiger auf Störungen durch Xenobiotika-

Einträge zurück führen lassen. Dazu gehört aber, die Möglichkeit anderer Ursachen mit in Betracht zu ziehen.

Woran lassen sich also Rückgänge aufgrund irgendeiner nicht-klassischen, vorrangigen Störung fest machen?

5

Was für Alarmzeichen lassen sich z.B. an WRRL-Makrophytenberichten ablesen? Also an den konsistentesten, derzeit verfügbaren Datensammlungen. Nehmen wir z.B. Makrophytenberichte für Chara-Seen im Kreis Plön (Umweltdaten Land SH, Stuhr et al.).

Die ökologischen Zustandsklassen (ÖKZ) sind auf den ersten Blick klar. Trotz guter ÖKZ (Suhrer See) können aber Störungen vorliegen, selbst bei ÖKZ 1 (Selenter See). Auch untere Makrophytengrenzen von mehr als 5 m bzw. Mesotrophie und relativ hohe Gesamtartenzahlen sind kein sicheres Ausschlusskriterium, am ehesten ergeben sich Hinweise auf Störungen aus verringerten mittleren Deckungsgraden.

Die hohen Schwankungen beim Trammer See (ÖKZ 3-4) weisen auf von Jahr zu Jahr stark wechselnde Oberflächenabschwemmungen hin. Außerdem engen hier Fischbesatz und weitere, also multiple Störungen das Potential für Charophyten ein. - Deren Deckungsgrade erholen sich im Trammer See allerdings auch in Jahren ohne hohe Niederschläge kaum und liegen bei 4 von 6 Transekten unter 1%. Das ist angesichts von an sich hohen Oosporen-banken (Holzhausen 2020) seltsam. Eine mögliche Erklärung ist, dass bei sommerlichen Starkregen von den steilen Äckern im Westen nicht nur Phosphor, sondern auch Herbizide eingeschwemmt werden und, einmal in Sedimente eingelagert, nachhaltig wirken. Auch "Urban Runoff" aus dem Stadtgebiet im Osten verursacht offensichtlich erhebliche Störungen. Das einzige Transekt mit nennenswertem Characeenbestand (Deckung 5-20%) liegt jedenfalls in einer Bucht ganz im Norden mit angrenzenden NABU-Schutzflächen.

Eine starke Streuung von Daten über Transekte bzw. Jahre lässt sich oft in Verbindung mit Besonderheiten von Teil-Einzugsgebieten bzw. Niederschlagsdaten bringen.

Massive Störung durch Fischbesatz wie im Schöhsee (s. vorige Folie) machen sich anders bemerkbar. Die Folge war in diesem Fall eine Übernahme der Tiefenzone durch *Elodea nutalli* und ungefähre Halbierung der mittleren Artenzahl pro Transekt. Dabei sind nicht nur die Gesamt-Artenzahlen relativ hoch geblieben (6 Arten Characeen, 17 Submerse im See insgesamt), sondern auch die mittlere Deckung (50%).

6

Gemengelagen gleichzeitig vorrangiger, multipler Ursachen wie am Trammer See sind wahrscheinlich eher die Regel. Um Einflüsse zu orten, die neben den „üblichen Verdächtigen“ relevant sein können ist es zweckmäßig, sich auf Fallbeispiele zu konzentrieren, in denen klassische Ursachen derart offensichtlich nicht in Frage kommen, dass man sich nach anderen möglichen Ursachen umsehen muss. Phosphor lässt sich durch Beschränkung auf Seen mit hoher unterer Makrophytengrenze als Hauptfaktor auch leicht ausschließen, Fische durch Beschränkung auf Seen mit unauffälligem Fischbestand, wobei zu klären sein wird, was das eigentlich heißt.

Bleiben wir noch kurz bei dem einen Fallbeispiel, das wir soweit haben, bei dem eine nicht-klassische Störung vorlag, also beim Suhrer See, und sehen wir uns an, was für Herbizid-Effekte charakteristisch ist, damit wir Anhaltspunkte dafür bekommen, ob Auffälligkeiten in der Entwicklung von submerser Vegetation in weiteren Fällen demselben Muster folgen oder ob wir uns nach weiteren "sonstigen" Ursachen umsehen müssen.

7

Am Suhrer See traten in dem ungewöhnlich nassen Sommer 2017 Vegetationsausfälle im Umkreis von 150 bis 300 m zentriert um drei Eintragsstellen im Nordosten auf. Erst im Verlauf des extrem trockenen Sommers 2018 regenerierten sich Charophyten und auch nur an der nördlichsten Stelle (Bucht mit Sumpfwasser), an der mittleren Stelle gab es eine Massenentwicklung angiospermer Störanzeiger und an der südlichsten blieb der Grund nahezu kahl (letzte beide Stellen jeweils bei Drainablauf) (Krambeck 2020).

Die Störungen machten sich also grundsätzlich anders bemerkbar als solche, die durch seeweite Trübung oder Fischbestandsänderungen hervorgerufen werden. Kennzeichnend ist die Begrenzung auf Uferabschnitte und die Zuordbarkeit zu Niederschlägen und zur Bewirtschaftung von Teil-Einzugsgebieten.

Die WRRL Routine konnte die Störung nicht erfassen. Abgesehen davon, dass das einzige WRRL-Transekt im Nordosten in dem Abschnitt mit stetigem Characeenbestand zwischen den gestörten Bereichen liegt, fand das nächste WRRL-Monitoring erst 2018 und wie immer im Hochsommer statt, so dass die Ausfälle im Frühjahr unbemerkt blieben. Immerhin belegte eine erweiterte Routine den permanenten Vegetationsausfall bei dem einen Drainablauf und das ungewöhnliche Elodea-Feld im Umfeld des anderen.

Obwohl die derzeitigen WRRL Routinen generell auf einfacher zu erfassende Anzeichen für seewerte Eutrophierung ausgerichtet sind, ergeben sich aus den Original-Daten durchaus Hinweise auf weitere Störungen. So zeigt sich am Suhrer See z.B. ein bislang rätselhaftes Nord-Südgefälle, das es 1991 so noch nicht gab, und merkwürdige Unstetigkeiten.

8

Wenn es um Alarmzeichen für unklare Störungsbilder geht, lohnt sich die transektweise differenzierte Durchforstung von WRRL Makrophytenberichten also durchaus. Sehr hilfreich ist der Vergleich mit lange zurück liegenden Bestandsaufnahmen, häufig Diplom- und Doktorarbeiten, hier eine Karte von Barbara Frenzel (1992) mit der früheren Verbreitung von *Chara* sp.. Da es um den Südteil des Suhrer Sees kein Ackerland gibt, ist die Ursache der dort im Vergleich "neuen" Defizite unter Wasser bislang rätselhaft.

Bemerkenswert sind Frenzels Funde von *Chara tomentosa* vor allem im Norden des Suhrer Sees, die 2001 von Garniel (2002 Bd.2) noch einmal bestätigt wurden. Seither ist die Art in SH ganz verschollen. Von ihrer früheren Häufigkeit (Sonder 1893, Sauer 1937, zitiert in Garniel 2002 Bd.1) zeugen nur noch Oosporenfunde (Holzhausen 2020). - Dabei habe ich in der Nordbucht noch 2018 und `19 ein überwinterndes Charetum contrariae vorgefunden, also einen Bestand in den *Chara tomentosa* an sich gepasst hätte.

9

Im Mai 2020 waren von diesem Charetum contrariae nur noch verrottete Stängel unter einem blaugrünen Teppich übrig und auch im August war der Grund in der Nordbucht immer noch kahl. In ihrem unterirdischen Einzugsgebiet war im Herbst zuvor eine Fläche mit Wintergetreide bestellt worden, die die Jahre vorher brach gelegen hatte. Ältere Luftaufnahmen belegen, dass es in der Bucht schon früher ähnliche Einbrüche im Zusammenhang mit Landnutzungsänderungen gegeben hat, und es liegt nahe anzunehmen, dass sich *Chara tomentosa* als ausgesprochener k-Stratege (Schubert et al. 2018) von solchen Ereignissen auf Dauer nicht erholen konnte. Ein paar Sommer hintereinander intakt wirkende Unterwasser-Bestände können also täuschen. Ausfälle von Arten im historischen Vergleich sind ein zuverlässiges Indiz für Störungen und Versäumnisse im Gewässerschutz.

10 Soweit ergeben sich für die Suche nach Fallbeispielen, in denen die klassischen Erklärungen nicht greifen, in denen also andere Störfaktoren als Phosphor und Fische

vorrangig sein müssen, Ausschlusskriterien für diese beiden Störfaktoren (Tiefengrenzen über 5m bzw. Sichttiefen über 3m, unveränderte fischereiliche Bewirtschaftung) und Alarmzeichen für sonstige Störungen (Vegetationsausfälle, Characeenrückgänge, Artenverluste) und dazu eine Reihe von methodischen Hilfsmitteln bei der Suche nach sonstigen Ursachen und für Plausibilitätsbetrachtungen (Analyse von Niederschlagsmustern und Einzugsgebieten, Bezug zu lokalen Besonderheiten und sich daraus ergebenden Hinweisen auf mögliche sonstige Belastungen, historische Vergleiche).

Ungeklärte Charophytenrückgänge

11 *Bodensee*

Am Bodensee z.B. scheint die summarische Wieder-Zunahme von Characeenarten nach Reoligotrophierung auf den ersten Blick perfekt ("blaue Berichte" igkb 2006, 2010). Der Punkt ist nur, dass es im Obersee bis heute Defizite gibt. Auffällig sind besonders zwei Bereiche am Süd- und Nordufer.

12

So fällt am Schweizer Ufer in den ausgedehnten Flachwasserbereichen der Bucht von Romanshorn der heutige Bestand immer noch hinter dem historisch belegten zurück (Geißbühler 1938, Schmieder 2004). Das angrenzende Thurgau ist ein Obstanbaugebiet mit hohen Konzentrationen von Xenobiotika in abfließenden Bächen (s. Eschelisbach bei Doppler et al. 2017, Spycher et al. 2019).

13

Ähnlich stellt sich die Situation in der gegenüberliegenden Bucht von Friedrichshafen dar. Im Zuflussbereich der Schussen bei Eriskich gibt es nach Schmieder et al. (2017) bis heute kaum Makrophytenbewuchs.

Characeen-Seen in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern

14 Über weite Teile von Nordbrandenburg und Mecklenburg-Vorpommern erstreckt sich eine eiszeitliche Seenplatte mit hunderten von Seen, darunter viele mit Characeen und in Schutzgebieten. Die gefundenen Makrophyten-Rückgänge bei Seen mit Ackerland im Einzugsgebiet lassen sich, wie ich als nächstes zeigen werde, nach dem Muster von denen im Suhrer See interpretieren. Überraschend sind Rückgänge bei Seen in Waldgebieten.

Seen mit landwirtschaftlichen Teil-Einzugsgebieten.

15 *Großer Pätchsee bei Rheinsberg*

Nachdem der große Pätchsee im Bericht des Tauchclub Nehmitz von 2013 gerade als besonders wertvoll eingestuft worden war, hatte bei Inspektion im Oktober (Oldorff et al 2013) keiner mit einem Vegetationsausfall im Seeteil vor dem Zulauf gerechnet.

Nach Lage und Neigung der Ackerflächen im EZG, der auf solchen Flächen üblichen Herbizid-ausbringung und den hohen Regenfällen vor der Inspektion im Oktober liegt nahe anzunehmen, dass ein Xenobiotika-Eintrag den Vegetationsausfall im Zuflussbereich verursacht hat.

16 *Großer Kronsee*

Beim großen Kronsee fand ich nach Blick auf das Satellitenbild auch nicht wirklich „unerklärlich“, dass die submerse Vegetation in manchen Jahren ausfällt. Gewundert hat mich eher, dass es im Kronsee, wie Falk Wieland (2017) beschreibt, in 3–5m Tiefe noch Characeenrasen gibt. Nach der Pilotstudie Seen des LfU (1997) gab es früher am Südufer sogar artenreiche und dichte Characeenbestände, obwohl der See schon damals schwach eutroph war. Auf der historischen Ansicht von 2001 bei google earth war die heutige große Ackerfläche im Süden auch noch Grünland. Am Nordufer verzeichnete die Pilotstudie 1997 Rapsfelder und unterhalb vitale Bestände von Potamogeton & Co, insgesamt also eine bemerkenswerte Zweiteilung des Bestandes passend zur Landnutzung.

17 *Großer Dreetzsee*

Der große Dreetzsee liegt am Rand eines Endmoränenzuges bei Feldberg. Sein Nordteil ist, anders als sein Südteil, nach Kabus & Täuscher (2008, 2012 unveröff.) seit 2008 nicht mehr derart characeendominiert, wie er von Blümel und Teppke 1996 beschrieben wird. Der Blick auf das Satellitenbild zeigt auch einen Acker im Nordosten, den es früher noch nicht gab. Zudem hat diese Ackerfläche ein Gefälle von 9%, das erosive, also sehr hohe Einträge begünstigt. Da Xenobiotika meist mikrobiell abgebaut werden, dieser Abbau in heißen Sommern ausgetrockneten obersten Bodenschichten aber zum Erliegen kommt, können aus derart steilen Äckern bei Platzregen sehr hohe Mengen von an Partikel gebundenen, aktiven Substanzen ausgetragen werden (Willkommen et al. 2021).

Dabei wird der Dreetzsee derzeit noch mit ÖKZ 1 bewertet und enthält im Südteil einen außergewöhnlich ursprünglichen und artenreichen Charophytenbestand. Im August 2020 hat

sich Lothar Rataj, ein im Feldberger Umweltschutz und in der Arbeitsgemeinschaft Characeen in Deutschland aktiver alter Herr, mit Schnorchel, Maske und Krautharke vergewissert, dass sich der Bestand im Südteil tatsächlich nicht verändert hat, seit er ihn kennt, also seit lange vor der Wende.

Waldseen mit Rückgängen vor 2000

18 *großer Serrahner See*

Im großen Serrahnsee fiel Anfang der 80er Jahre ein Makrophytenrückgang auf (Waterstraat & Spiess 2015). Da es um die Zeit eine verheerende Borkenkäferplage gab, die in der DDR per massivem Einsatz von DDT und Lindan aus der Luft bekämpft wurde (Wensierski 1985), hielt ich zunächst einen Zusammenhang mit weiträumiger atmosphärischer Deposition für denkbar. Nach Auskunft von Spiess, dem damals die Leitung der biologischen Station Serrahn oblag, gab es aber sogar in dem traditionsreichen NSG selbst eine Befliegung, wenn auch nur einmal und nur über Kiefer, wobei außerdem nur Dimelin versprüht wurde.

19

Auf dem Satellitenbild sind die alten Buchenwälder von Serrahn gut zu erkennen. Die von Spiess erwähnten Kiefernforste liegen auf einem Hang westlich vom großen Serrahnsee, womit ein Dimelin-Eintrag als Ursache des merkwürdigen Makrophyten-Rückgangs plausibel erscheint. Der Wirkstoff von Dimelin, Diflubenzuron, ist toxisch für Daphnien und Grünalgen.

20 Oberer Giesenschlagsee

Auch auf dem Satellitenbild von dem drei-geteilten Giesenschlagsee ist eine Nadelwald-plantage östlich vom Nordbecken zu erkennen, bei dem Schönfelder et al. 1997 ein sehr merkwürdiges Fehlen von Characeen konstatierten, in seltsamem Gegensatz zu den beiden unteren Seebecken, um die das Satellitenbild Laubwald zeigt. Schönfelder selbst tippte auf einen möglichen Zusammenhang mit Wühlschäden durch Karpfen und mit möglichen Nährstoffeinträgen aus dem Rochowsee. Die UMG blieb jedoch bei 5m. In der Folgezeit fanden sich im oberen Giesenschlagsee zwar vereinzelte *Chara tomentosa*-Exemplare, der Makrophyten-Zustand blieb aber schlecht (Klasse C). – Im mittleren Giesenschlagsee erwähnten Müller, Kabus et al. noch 2004 Vorkommen von *Chara filiformis* und *rudis*.

21 ***Verschlechterung mittlerer und unterer Giesenschlagsee 2010: Rolle von wasserwirtschaftlichen Änderungen***

Ab 2010 wurde auch im mittleren und unteren Seebecken eine Verschlechterung von Klasse A nach B festgestellt (Tauchclub Nehmitz 2013, Oldorff et al. 2013). Dabei lag ein Zusammenhang mit einer vorhergehenden Seespiegel-Absenkung und Grabenvertiefung nahe (Oldorff et al. 2013). Die Maßnahmen standen im Zeichen der winterlichen Wasser-Vorhaltung und sommerlichen Abgabe zur Auffüllung des immer knapper werdenden Grundwassers im Rhinspeicher nördlich von Berlin (LfU 2004: zu Wasserwirtschaft/ Niedrigwasser-Aufhöhung im Rhin, s.a. LfU 2013 a, b) und hatten einen höheren Wasser-durchsatz und höhere Seespiegelschwankungen im Giesenschlagsee-System zur Folge.

Angesichts zunehmender Wühlschäden und Karpfensichtungen äußerte Oldorff (mündl. in STALU 2019) den Verdacht einer Zuwanderung von Karpfen aus dem Rochowsee. Im Rochowsee selbst fand Kabus (2008) noch 2006 einen beachtlichen Characeenbestand und erst 2010 dominierten dann andere Wasserpflanzen (LUGV 2013 b), ähnlich wie im oberen Giesenschlagsee schon 1997. Außer dem Vorhandensein von Karpfen muss es im Rochowsee zwischen 2006 und 2010 also noch eine andere Störung gegeben haben. Plausibel wäre ein Eintrag von den Feldern im Norden in dem extrem regenreichen Sommer 2007.

Bleibt die Frage nach der Rolle von Karpfen in den verschiedenen Teilen dieser Seenkette.

22 ***Rolle von Fischbeständen***

Die eDNA Daten von Hussner 2019 belegen die auch von Tauchern und Anglern gefundene Anwesenheit von Karpfen. Der Verdacht eines ursächlichen Zusammenhangs mit der Verschlechterung der Charophytenbestände wurde auch von Mecklenburger Seite ernst genommen (STALU MV 2019). Netzfänge ergaben jedoch keinen auffälligen „Überbestand“ benthivorer Fische.

Von Interesse ist in diesem Zusammenhang das Konzept der "critical carp density" in Flachseen und des "discontinuous effect of benthivorous fish on lake ecosystems" von Zambrano et al (2001). Tiefere und nährstoffärmere Seen tendieren zwar kaum zu "catastrophic shifts", je nach Randbedingungen könnten aber auch da prinzipiell ähnliche ökosystemare Zusammenhänge zum Tragen kommen.

Was zu der Frage zurückführt, was eigentlich ein „unauffälliger“ Fischbestand ist. Im Dreetzsee mit seinem durchgehend exzellenten Characeenbestand gab es nach Hussner (2019) viele Hechte und Schleien, wenige Bleie und keine Karpfen oder jedenfalls zu wenige für ein eDNA Signal. Im „guten“ Pätchsee fanden sich weniger Schleie und dafür mehr Bleie. Im großen Kronsee mit viel Wasserpflanzen aber relativ wenig Characeen kamen immer noch viele Hechte vor, aber weniger benthivore Fische. In den Seen mit wenig oder kaum Vegetation zur Zeit der eDNA Untersuchung gab es nur halb so viele Hechte und in allen Fällen weniger Schleien als Bleie. Schleien scheinen also zu nennenswerten Characeen-vorkommen dazu zu gehören. Bleie ersetzen offenbar die Schleien, wenn keine Characeen mehr vorhanden sind (schon bei Hussner 2019 angedacht, s. seine Folie 19). Unter dem Strich hat die These etwas für sich, dass sich der Fischbestand normalerweise an die Vegetation anpasst und nicht umgekehrt, jedenfalls solange er nicht durch Besatz stark verändert wird. - Da Bleie nie eingesetzt werden, ist die Frage, was ihren hohen Bestand im großen Gollinsee verursacht hat und wann.

Waldseen mit Rückgängen 2008 - I:

24 *Großer Gollinsee, fauler See bei Lychen*

Die "Wann"-Frage nach dem hohen Bleienbestand im Gollinsee ist deswegen brisant, weil im großen Gollinsee 2008 bis dahin außergewöhnliche Characeenbestände von *Chara rudis* und *filiformis* ausfielen (Mauersberger & Mauersberger 1996, LfU 1997, Stelzer 2003, LfU 2019). Dieser Ausfall war rätselhaft, zumal reiche, vitale Oosporen-Banken vorhanden waren, die auf Gollinseesediment nur nicht mehr keimten (Hussner mündl. nach Daten Holzhausen).

Im Rahmen des CharaSeen-Projektes wurden Bleie kürzlich abgefischt und inzwischen beginnen auch empfindliche Characeenarten zurück zu kehren (Hussner mündl.).

Unterm Strich halte ich die Frage für angebracht, ob sich der extrem hohe Bleienbestand im Gollinsee womöglich eher gleichzeitig mit den Vegetationsausfälle von 2008 oder in ihrer Folge entwickelt hat und ob die Zunahme der Bleie die Schäden an der Unterwasservegetation nur sekundär stabilisiert haben könnte? – Scheffer et al (1993) beschreiben für Flachseen ein analoges Muster beim Einfluss von herbivoren Wasservögeln auf Unterwasservegetation und führen es darauf zurück, dass Umweltfaktoren, die normalerweise wenig Einfluss haben, unter suboptimalen Bedingungen Biomasse-Zusammenbrüche auslösen und stabilisieren können.

In der roten Liste der Characeen von Brandenburg beklagen Kabus & Mauersberger (2011) gleichzeitig mit dem Zusammenbruch von Vorkommen von *Chara rudis* im großen Gollinsee einen weiteren Ausfall im faulen See bei Lychen. Beide Seen sind von Nadelwaldplantagen umgeben und 2006 war ein Jahr mit sehr hohen Waldschäden gefolgt von extremen Sommerniederschlägen in 2007.

25 Einsatz von Insektiziden in Waldgebieten

Tatsächlich werden auch heute noch Insektizide in Waldgebieten eingesetzt, auch aus der Luft und ausnahmsweise auch in Schutzgebieten (UBA 2018, ökotoxikologische Information zu den Wirkstoffen nach pubchem/links). Die Zulassung für Diflubenzuron, den Wirkstoff von Dimelin, dessen Einsatz über Kiefernforsten beim großen Serrahnsee mit einem ungewöhnlichen Vegetationsausfall Anfang der 80er Jahre zusammenfiel (s.o.), endete erst 2014. Im übrigen werden den Wirkstoffen auf der Liste Halbwertszeiten zugeschrieben, die ein Abklingen von Effekten innerhalb von einigen Jahren erwarten lassen. Noch in den 80er Jahren von Flugzeugen aus über Waldgebieten der DDR versprühtes DDT und Lindan sind heute noch nachweisbar (Schenke 1994, Hofmann & Schlechtriemen 2015).

Waldseen mit Rückgängen 2008 - II:

26 *Stechlin-, Wittwe- und Wummsee*

Seit 2008 sind auch die ehemals exzellenten Characeenbestände im Flachwasser (0-5m Tiefe) des Stechlinsees (Krausch 1964) auf einen geringen Rest geschrumpft bei gleichzeitig weiträumiger Vegetationsfreiheit (v.d.Weyer et al. 2009 und 2014).

Eine ganz ähnliche Entwicklung gab es im Wittwese und auch im Wummsee, in letzterem nur nicht ganz so verheerend. Wozu passt, dass es am Mecklenburger Ufer des Wummsees ein großes Naturwaldreservat gibt (STALU 2019, MLU 2018) und auch sonst nach Satellitenbild wenig Nadelwaldplantagen in seinem EZG. Nach den Bestandsaufnahmen der Brandenburger Pilotstudie waren der Wittwe- und Wummsee Mitte der 90er Jahre noch in hervorragendem Zustand (LFU 1997).

Die Frage, wann die massiven Flachwasserschäden genau angefangen haben, lässt sich anhand der im Stechlinsee von verschiedenen Autoren verfolgten Entwicklung aufzeigen.

27 ***Veränderung Stechlinsee bis 2002***

Das die Unterwasservegetation im Stechlinsee 1963 seeweit prägende *Chara filiformis* in 2-5 m Tiefe war eine Besonderheit, heute ist *Chara filiformis* in Brandenburg selten geworden. Nach Einbindung des Stechlinsees in den Kühlkreislauf des KKW Rheinsberg übernahm ein *Chara tomentosae* das Flachwasser und in den folgenden 12 Jahren verzeichnete Krausch (1985) einen weiteren Rückzug empfindlicher Characeen-Arten und Ersatz durch unempfindliche Arten und dazu eine beginnende Ausdehnung von Angiospermen und "luxurious stands" des *Nitellopsidetum*s und ein Vordringen dieser Tiefen-gesellschaft in geringere Tiefen. 1992, zwei Jahre nach Abschaltung des KKW, fand Melzer (unveröff.) einen immer noch ähnlichen Zustand vor und neu dazu eine Verbreitung von *C. globularis* um den halben See. Spiess (2004) fand diese sehr unempfindliche Art zehn Jahre später in fast allen Abschnitten und auch schon abnehmende Deckungen. Krausch (mündl. nach Spiess 2004) fiel dazu eine stetige Zunahme von Aufwuchs und Fadenalgen auf. Insgesamt war also eine Zunahme von Eutrophierungsanzeigern zu verzeichnen, während die Phosphorkonzentrationen in Seemitte gleichzeitig auf niedrigem Niveau verharrten. Auch fischereilich änderte sich bis heute nichts.

Der weitgehende Ausfall von Characeen im Flachwasser wurde also 2008 zum ersten Mal festgestellt. 2014 stiegen TP Werte im Stechlinsee zwar leicht an. Konzentrationen von 16 bzw. 22 µg/l (2008 bzw. 2014) können aber nicht die Ursache der weitgehenden Vegetationsfreiheit im Flachwasser gewesen sein; höchstens ist umgekehrt denkbar, dass die Ausfälle zum TP Anstieg beigetragen haben.

Was also "sonst" kommt als Ursache für die Veränderungen im Flachwasser in Frage?

28 ***Rolle von trockenen und nassen Sommern und von Waldschäden***

Den 2008 erstmals dokumentierten, weiträumigen Charophytenausfällen gingen nach trockenen Sommern seit 1994 in Brandenburg 2006 extreme Waldschäden (Wenk / MIL 2010) voraus, 2007 gefolgt von Sommerniederschlägen, die deutlich höher waren als die sommerliche Verdunstung (Richter & Koschel 1985) und damit hohe Einträge während der Vegetationsperiode nach sich zogen. Hohe Einträge in dem nach langer Zeit erstmals wieder nassen Sommer ergeben zumindest einen gemeinsamen Nenner für die um 2008 in der Region gleichzeitig in mehreren Seen dokumentierten Charophytenrückgänge. Bei den Waldseen lag als erstes nahe anzunehmen, dass Einträge von zur Waldschadensbekämpfung eingesetzten Insektiziden eine Rolle gespielt haben könnten. In jüngerer Zeit sind solche Einsätze in

Schutzgebieten allerdings kaum noch genehmigt worden. Eine stichprobenartige Rückfrage bei dem für das Revier um den Faulen See bei Lychen zuständigen Forstamt ergab inzwischen auch, dass dort – nach Erinnerung älterer Kollegen – zuletzt Anfang der 80er Jahre Lindan ausgebracht wurde.

Historische Wetterrückblicke zeigen im Übrigen wiederkehrende, langjährige Trockenperioden. Den jüngsten Vegetationsausfällen im Flachwasser vergleichbare Folgen wurden bisher aber noch nie gefunden. Es muss ihnen also eine neuartige Störung zugrunde liegen.

Die zeitliche Folge der dokumentierten Ausfälle submerser Vegetation auf nach langer Zeit erstmals wieder extreme Sommerregen ist ein starkes Indiz für einen Schub toxischer Einträge und in Frage kommen bei den Waldseen eigentlich nur durch extreme Niederschläge getriggerte Austräge von in Waldböden gespeicherten Schadstoffen. Die lokale Belastungs- und Waldgeschichte (Riek et al. 2019) spricht bei den Sanderflächen, in denen die betroffenen Seen liegen, auch für eine solche Gefahr, besonders bei Kiefernforsten (s. Exkurs / grau unterlegter Kasten):

Exkurs: Belastungsgeschichte und Schadstoffrückhalt in Böden

von Kiefernforsten auf Sanderflächen in Nord-Brandenburg

Der Zeitraum zwischen den Bodenzustandserhebungen von 1992/3 und 2006-9 (Waldbodenberichte Brandenburg, Riek et al 2015, 2019) fällt mit dem Zeitraum rätselhafter Veränderungen von Unterwasservegetation in Waldseen in Sanderflächen zusammen.

Wäldern wird ein hoher Auskämmeffekt für atmogene Schadstoffe zugeschrieben. Durch Versauerung können Schadstoffe aber wieder freigesetzt werden (Meesenburg et al. 2019). Insbesondere bei Kiefernforsten auf kaum gepufferten Sanderflächen ist das Risiko dafür in Nordbrandenburg seit der Wende gestiegen und zwar infolge anhaltender N-Einträge und Beendigung von Flugasche-Einträgen. Die Flugasche enthielt viel Calcium, das Säureeinträge kompensierte, und außerdem Ruß-Aerosole, die über den Luftpfad verbreitete Schadstoffe binden konnten (Shrestha et al. 2010 "black carbon"), ähnlich wie Aktivkohle.

Riek et al (2019) rechnen bei Versauerung mit Austragsschüben "bei Wiederbefeuchtung des Bodens nach einer längeren Trockenphase". Zum einen können in der Streuschicht zuvor festgelegte Schadstoffe in Lösung gehen, zum anderen können Fronten von löslichem Aluminiumsulfat, die auf Schwefel-Altlasten aus der Zeit ohne Rauchgasentschwefelung zurück gehen, mit Sickerwasser über Jahrzehnte tiefer wandern (Bittersohl et al. 2014).

Generell können Schwefelaltlasten und anhaltende Stickstoffeinträge zu langfristigen Risiken für angrenzende Gewässer führen (Feger 1998, Schaaf et al. 2004).

Bei Neuglobsow am Stechlinsee war die Sulfat-Deposition auf Boden von Kiefernwald 1994 bereits auf $0.9 \text{ kmol ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ zurück gegangen, 1m unter Flur war der Austrag mit $2,3 \text{ kmol ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ mehr als doppelt so hoch (Schaaf et al 1995). Dabei war der Ca-Gehalt des Oberbodens durch Flugascheeinträge von vor der Wende (1988 bis zu $25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ Ca}$) im Stechlinseegebiet nach Riek et al. (2015) um die Zeit immer noch überhöht. Von 1998 bis 2017 lag die mittlere Stickstoff-Deposition bei Neuglobsow unverändert bei $13 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ im Mittel mit einem Maximum von $17,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ im Jahr 2007 (Schulte-Bisping 2019).

Für den Stoffrückhalt spielen neben Versauerung die Waldart, die Verfügbarkeit von Bodenwasser, hydrologische Randbedingungen und wasserwirtschaftliche Eingriffe eine Rolle, dazu der Humus-, Nährstoff- und Kohlenstoffvorrat im Oberboden, d.h. die Nutzungsgeschichte und die Wurzelmasse, sowie das mit Bäumen assoziierte "Edaphon" (Bodenlebewesen, insbesondere Mycorrhizza und Bakterien). Je prekärer die Bedingungen, umso mehr kommt es auf das holobiontische Beziehungsgefüge von Bäumen und ihrer Rhizosphäre an. Trockenheit und Stickstoff-Einträge z.B. beeinträchtigen Mycorrhiza und ihren positiven Einfluss auf den Stoffrückhalt (Egli & Brunner 2011, Nickel et al. 2018).

Van der Linde et al. (2018) weisen bei $5,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ Stickstoff drastische Veränderungen der Mycorrhizza von Koniferen nach, geben $2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ als natürliche Hintergrunddeposition an und halten die in Europa für Stickstoff geltende "Critical Load" von $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bei Nadelwald für zu hoch, um "nach bisherigem Wissensstand langfristig (100 Jahre) nicht zu schädlichen Veränderungen in Struktur und Funktion von Ökosystemen" zu führen (Definition nach Andreae et al. 2017).

Bei den Bodenzustandserhebungen wurden in Waldböden akkumulierte Schwermetalle, PAK, PCB und persistente Pestizide wie DDT und Lindan und deren Metabolite erfasst (für Brandenburg eingehend dargestellt von Riek et al 2021). – Untersuchungen zum Verbleib von auf dem Luftpfad in Wälder gelangte Xenobiotika aus der Landwirtschaft und den damit verbundenen Risiken fehlen meines Wissens.

Offen bleibt m.E. danach nur die Frage, welche toxischen Austräge für die Ausfälle von Unterwasservegetation maßgeblich waren. Calcium-Mangel? Schwermetalle? Organische

Xenobiotika? Altlasten forstlicher Praxis aus den 80er Jahren? Auf dem Luftpfad eingetragene Xenobiotika landwirtschaftlicher Herkunft (Kruse-Platz et al. 2020)?

29

Auch die Frage, warum im Flachwasser des Stechlinsees zwischen 1992 und 2004 bei den Makrophyten Eutrophierungsanzeiger und unempfindliche Arten stetig zugenommen haben, ist vorläufig offen. Was ist in der Trockenphase dazwischen passiert, also im Vorfeld der Ausfälle nach den extremen Sommerniederschlägen von 2007?

Perillon et al. (2018) zeigen eine Förderung von Aufwuchs durch Mobilisierung von Phosphor mit zusickerndem Wasser ("low groundwater discharge" LGD) aus den obersten Sedimentschichten und eine Verdoppelung der Biomasseproduktion von Aufwuchs gegenüber Daten von Anfang der 70er Jahre. Die Frage, warum die Mobilisierung von P durch LGD zugenommen haben könnte, lassen sie ausdrücklich offen. Eine mögliche Erklärung ergibt sich auch hier aus den oben angeführten Veränderungen von Waldböden (Riek et al 2019) und dem Risiko des langfristigen Austrags löslicher Aluminium-Sulfate (Bittersohl et al. 2014). Mit Sickerwasser in anaerobe Sedimente gelangte Sulfate können auf dem Weg über mikrobielle Sulfatatmung und Ausfällung von Eisensulfid zu P-Freisetzung führen.

Die im Vorigen aufgeführten Veränderungen lassen sich als Entwicklungen im Vorfeld einer dramatischen weiteren Verschlechterung einordnen, die nur im Stechlinsee auftrat: Seit 2011 sind die Konzentrationen an gesamt-Phosphor im Wasser des Stechlinsees stetig angestiegen, bis 2020 auf um 50 µg/l, bei Abfall der Ca-Konzentrationen unter die für Characeen kritische Schwelle von 40 mg/l, zunehmender Ausdehnung anaerober Zonen im Tiefenwasser und Übernahme der Flachwasserbereiche durch Fadenalgen. Das IGB konstatierte eine Änderung der Sedimentchemie mit der Folge progressiver Freisetzung von Phosphor, deren Ursache bislang nicht geklärt werden konnte. (Der Stechlinsee gehört seit den 60er Jahren zu den bestuntersuchten Seen weltweit und ist der "Haussee" einer Außenstelle des IGB (Institut für Gewässerkunde Berlin)).

Der P-Anstieg auf 50 µg/l bis 2020 ist im Übrigen allein keine hinreichende Erklärung für das Ausmaß der Verschlechterung der submersen Vegetation im Stechlinsee. Der Kronsee z.B. wies nach der Pilotstudie des LfU von 1997 auch mit 60 µg/l TP noch beachtliche Characeenbestände auf.

Im Übrigen gab es im Wummsee, bei dem die Ausfälle im Flachwasser um 2008 nicht ganz so extrem waren wie im Stechlin- und Wittwese, 2020 wieder "Wiesen" unter Wasser u.a. von *Chara tomentosa* (nach Silke Oldorff, pers. Kom. /UW-Foto).

30 **Zusammenfassung**

Dafür, dass von Menschen stark veränderte Fischbestände Charophytenvorkommen ruinieren, gibt es leider viele Beispiele (u.a. Hussner 2019, Oldorff et al. 2018). Ansonsten stellen z.B. benthivore Fische zwar einen Stressfaktor für Charophyten dar, aber im Rahmen eines evolutionär eingespielten Gleichgewichts, das für oligo- bis mesotrophe, kalkhaltige Seen kennzeichnend ist. Häufig liegt ein direkter Zusammenhang zwischen Rückgängen von Charophyten und Xenobiotika-Einträgen aus landwirtschaftlichen Flächen nahe. Bei den Waldseen der eiszeitlichen Seenplatte Nordbrandenburgs zeichnen sich Zusammenhänge ab mit der Versauerung von Sandböden, schubweisen Austrägen von im Oberboden angereicherten Schadstoffen bei Extremregen nach langen Trockenphasen und wasserwirtschaftlichen Eingriffen. Charophyten-Arten erweisen sich danach als empfindliche Indikatoren für Störungen, die mit diffusen Belastungen aus der Landwirtschaft, klimatisch-wasserwirtschaftlichen Veränderungen und klima-relevanten Waldschäden zusammenhängen.

31

"Chemische Belastungen (Pflanzenschutzmittel)" erschienen bereits in der Zeit der Entwicklung der WRRL-Gewässerbewertungen (Schaumburg et al. 2011) auf der Liste möglicher Ursachen von "Makrophytenverödung". Auch "Versauerung", also Schäden durch Luftschadstoffe und Ca-Mangel, findet sich auf der Liste der Praktiker von damals und zwar als einzige weitere nicht triviale, d.h. schwierig zu erkennende Ursache. Wobei nach dem Vorigen nur zu ergänzen wäre, dass immer extremere hydrologisch-klimatische Bedingungen und wasserbauliche Not-Maßnahmen in Verbindung mit anhaltenden atmosphä-rischen Einträgen von Stickstoff und Xenobiotika zu neuartigen Problemen führen können.

Wie Grambow et al. (2020) darlegen, zwingt die zunehmende "anthropozäne Überformung" von Ökosystemen allgemein dazu, uns unser weitgehendes Nicht-Wissen um ökologisch-ökotoxikologische, klimatische und wasserwirtschaftliche Zusammenhänge einzugestehen, Zustandsbewertungen und Gewässerpolitik dynamisch anzupassen und Blockaden von als notwendig erkannten Gewässerschutzmaßnahmen in der Fläche zu überwinden.

32 Dank

Diese Arbeit wäre nicht möglich gewesen ohne das Engagement vieler in der Sache, ihre Geduld mit den von mir aufgeworfenen Fragen, ihre ermutigende Diskussionsbereitschaft und mannigfache, auch tätige Unterstützung und Bereitstellung von unveröffentlichten Makrophyten-Daten (LfU/ Ralf Köhler: Pilotstudie Brandenburg 1997, Arnulf Melzer: Stechlin 1992, Timm Kabus: Dreetzsee 2012).

Ihnen allen gilt mein herzlicher Dank.

Literatur Verzeichnis

Andreae, H., Eickenscheidt, N., Evers, J., Grüneberg, E., Ziche, D., Ahrends, B., Höhle, J., Nagel, H.-D., Fleck, St., Wellbrock, N.(2017):

Stickstoff: Wie belastbar ist der Wald als Ökosystem? - AFZ-DerWald 2/2017, S.20-22

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

Blaue Berichte (Roßknecht)(2006): Zur limnologischen Entwicklung des Bodensee-Untersees von 1969 – 2005. - igkb Bericht Nr.57

Blaue Berichte (Bauer et al.)(2014): Submerse Makrophyten des Bodensees. Kartierung in den Jahren 2006 - 2010. - igkb Bericht Nr.58

Blümel, C., & Teppke, M. 1996: Seentypen in Mecklenburg-Vorpommern – eine vegetationsökologische Bestandsaufnahme und Zustandserfassung an ausgewählten Beispielen: 230 S., unveröff. Diplomarbeit Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Doppler, T., Simon Mangold, Irene Wittmer, Simon Spycher; Rahel Comte; Christian Stamm; Heinz Singer, Marion Junghans; Manuel Kunz (2017):

HOHE PSM-BELASTUNG IN SCHWEIZER BÄCHEN. - AQUA & GAS No 4, S. 46-56.

Egli, S., Brunner, I. (2011): Mykorrhiza. Eine faszinierende Lebensgemeinschaft im Wald. - Merckbl. Prax. 35 (3. Aufl., 2011), 7 Seiten.

<https://www.wsl.ch/de/publikationen/mykorrhiza-eine-faszinierende-lebensgemeinschaft-im-wald-1.html>

Feger, K.-H. (1998): Bedeutung natürlicher und anthropogener Komponenten im Stoffkreislauf terrestrischer Ökosysteme für die chemische Zusammensetzung von Grund- und Oberflächenwasser (dargestellt am Beispiel der Schwefelkreisläufe). -Materialien zur Umweltforschung, Bd. 30, Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (Herg.)

https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/03_Materialien/1977_2000/1998_MAT30_Bedeutung_naturlicher_und_anthropogener.html

Frenzel, B. (1992): Die Ufer-und Makrophytenvegetation des Suhrer Sees. –

Diplomarbeit CAU Kiel.

Garniel, A. (2002): Diekseestudie 2002. Gemeinsame Umsetzung von FFH-Richtlinie und Wasser-Rahmenrichtlinie am Beispiel des Diekseees im NATURA2000-Gebiet

DE 1828-301 „Suhrer See, Schöhsee, Dieksee und Umgebung“ - LLUR-Publikation Bd.1 und 2

http://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/wafis/seen/Berichte_Gutachten/Ufer_Unterwasservegetation/Diekseestudie_2002_Garniel_Bd1.pdf

http://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/wafis/seen/Berichte_Gutachten/Ufer_Unterwasservegetation/Diekseestudie_2002_Garniel_Bd2_Anhang_B_Suhrer.pdf

Geißbühler, J. (1938): Beiträge zur Kenntnis der Uferbiozönosen des Bodensees. - Mitt. Thurg. Naturf. Ges. 31: 3-38.

Grambow, M., Feustel, M., Manz, E., Arzet, K., Hafner, T., Korck, J. (2020):

Die Wasserpolitik im Anthropozän. - KW Korresp. Wasserwirtsch. 2020 (13) Nr.7, S.356-368

Hilt, S., Alirangues Nuñez, M. M., Bakker, E. S., Blindow, I., Davidson, T. A., et al. (2018): Response of Submerged Macrophyte Communities to External and Internal Restoration Measures in North Temperate Shallow Lakes. - Frontiers in plant science, vol.9, art.194, 24 pp

Hofmann, F., Schleichriemen, U. (2015): Durchführung einer Bioindikation auf Pflanzenschutzmittelrückstände mittels Luftgüte-Rindenmonitoring, Passivsammlern und Vegetationsproben. - Fachbeiträge des LUGV, Heft Nr. 147

Holzhausen, A. (2020):

Test auf Eignung der See-Sedimente für die Ansiedlung mit Makrophyten in ausgewählten Seen Schleswig- Holsteins mittels Wachstumsversuchen und Analyse der vorhandenen Diasporen im Sediment. - unveröff. Endbericht, LLUR SH

Hussner, A. (2019): Das CharaSeen-Projekt: Von der Ursachenanalyse zur Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur Reetablierung von Characeen in nordostdeutschen Seen. - LLUR-SH-Workshop "Nur noch kurz die Seen retten!?", Vortrag Flintbek, 18.6.2019, pdf

Kabus, T. & Lothar Täuscher (2008): Der Dreetzsee im Feldberger Seengebiet. Exkursionsbericht der 3. Tagung der „AG Characeen Deutschlands“. - Rostock. Meeresbiolog. Beitr.19, 13-16

Kabus, T., 2011. Die Armelechteralgen (Characeae) in ausgewählten Seen des Naturparks Stechlin-Ruppiner Land (Brandenburg, Deutschland). Ergebnisse aus FFH-Gebieten zwischen Rheinsberg und Luhme – Ber. der Botan. Arbeitsgem. Südwestdeutschland. Beiheft 3: 19-30.

Kabus, T., & Mauersberger, R. (2011):

Liste und Rote Liste der Armelechteralgen (Characeae) des Landes Brandenburg 2011. - Unter Mitarbeit von ST. Rätzel, L. Täuscher & K. v.d. Weyer.

Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg, Beiträge zu Ökologie, Natur- und Gewässerschutz, Beilage zu Heft 4, 2011

Krambeck, C. (2020):

Ausfälle der submersen Vegetation am Nordostufer des Suhrer Sees bei mit Metazachlor belastetem Zwischenabfluss und Ansätze für die ökotoxikologische Beurteilung des Risikos eines weiteren Rückgangs noch intakter Characeenbestände. - DGL Ergebnisse der Jahrestagung 2019 (Münster), S.167 - 178

Krausch, H.-D. (1964) Die Pflanzengesellschaften des Stechlinsee-Gebietes.-
Limnologica 2, 145-203, 423-482.

Krausch, H.-D. (1985): Aquatic macrophytes in the Stechlin area. - S. 129-149 in: Lake Stechlin.
A temperate oligotrophic lake. - ed. by S. J. Casper, W.Junk Publ.

Kruse-Plaß, M., Wosniok, W., Schlechtriemen, U. (2020): Pestizid-Belastung der Luft. Eine
deutschlandweite Studie zur Ermittlung der Belastung der Luft mit Hilfe von technischen
Sammlern, Bienenbrot, Filtern aus Be- und Entlüftungsanlagen und Luftgüte-Rindenmoni-
toring hinsichtlich des Vorkommens von Pestizid-Wirkstoffen, insbesondere Glyphosat.
https://www.ackergifte-nein-danke.de/wp-content/uploads/2020/09/Studie_final_niedrig.pdf

LfU (Brandenburg) (1997): Pilotstudie zur ökologischen Diagnose, Bewertung und
Entwicklungsüberwachung oligo-, meso-tropher und natürlich eutropher Seen Brandenburgs
auf der Grundlage von Leitarten und Leitbiozönosen. -
Endbericht zu den Untersuchungen 1994-1996 auf CD-ROM, unveröffentlicht

LfU (2004): Gewässerbewirtschaftung im Trockenjahr 2003 (*Rhin s. S.47*) - Kap. 3.1.4. in
"Wasser", Umweltdaten Land Brandenburg
https://lfu.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/umda3_04.pdf

LfU (2019): Managementplan für das FFH-Gebiet Bollwinwiesen/Großer Gollinsee (*Nr.121*).

LUGV(Brandenburg) (2013 a): Managementplanung Natura 2000 im Land Brandenburg:
Managementplan für das FFH-Gebiet 288 „Himmelreich“

LUGV (2013 b): Managementplanung Natura 2000 im Land Brandenburg:
Managementplan -Langfassung- für die FFH-Gebiete Nr.
15 „Wummsee und Twernsee“
293 „Erweiterung Wumm- und Twernsee“
728 „Rochowsee und Plötzensee“

Mauersberger, H., & Mauersberger, R. (1996): Die Seen des Biosphärenreservates
„Schorfheide-Chorin“ – eine ökologische Studie. Band 1 + 2 – 421 S. + 316 S. + Anhang;
Diss. Univ. Greifswald

Meesenburg, H. et al. (2019): Soil Acidification in German Forest Soils. - pp. 93-121 in:
Wellbrock N., Bolte A. (eds) Status and Dynamics of Forests in Germany. Ecological Studies
(Analysis and Synthesis), vol 237. Springer, Cham

Melzer, A. (1992): Makrophytenbestandsaufnahme Stechlinsee. - unveröff., ZIP-Ordner

MLU (2018): Gebiet Gemeinschaftlicher Bedeutung DE 2842-304. "Uferbereich Großer
Wummsee, Twern- und Giesenschlagsee". Forstamt Mirow. Aktualis. Fachbeitrag Wald 2018.

Müller, R., Kabus, T., Hendrich, L., Petzold, F., Meisel, J. (2004):

Nährstoffarme kalkhaltige Seen (FFH-Lebensraumtyp 3140) in Brandenburg und ihre Besiedelung durch Makrophyten und ausgewählte Gruppen des Makrozoobenthos. - Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 13(4): 132-143

Nickel, U.T., Weigl, F., Kerner, R., Schafer, C., Kallenbach, C., Jean C 5 Munch, J.C., Karin Pritsch, K. (2018): Quantitative losses vs. qualitative stability of ectomycorrhizal community responses to 3 years of experimental summer drought in a beech-spruce forest. - Glob. Change Biol. 24, 560-576

Oldorff, S., Kiel, E., Krautkrämer, V., van de Weyer, K., Mählmann, J., Köhler, R., Bernhard, S. Bruinsma, J., Schiller, Th., Eßler, M., Kirschey T. (2013): Makrophytenkartierung in ausgewählten Seen Nordostdeutschlands. - DGL Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2013 (Potsdam-Berlin), S. 172 - 177

Oldorff, S., Kiel, E., Krautkrämer, V., Brümmer, F., Pudwill, R., Yasseri, S., Eßer, M., Kluge, H., Pätzolt, J., Schiller, Th., Köhler, R., Bratsch, D., Bolz, K., Kirschey T. (2018): Submerse Makrophyten und Zustandsbewertung von ausgewählten Gewässern im östlichen Land Brandenburg mit Anmerkungen zu biologischen Invasionen. - Ergebnisse einer Exkursion des DGL Arbeitskreises Tauchen in der Limnologie. - DGL Ergebnisse der Jahrestagung 2017 (Cottbus), 342 - 353

Périllon, C., van de Weyer, K., Pätzolt, J., Kasprzak, P., Hilt, S. (2018): Changes in submerged macrophyte colonization in shallow littoral areas of an oligo-mesotrophic lake and the potential role of groundwater mobilized nutrients. - Limnologica. Vol. 68, p. 168-176

pubchem/links

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Diflubenzuron#section=EPA-Ecotoxicity>
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Tebufenozide#section=Ecological-Information>
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/lambda-Cyhalothrin#section=EPA-Ecotoxicity>
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Cypermethrin#section=EPA-Ecotoxicity>

Richter, D., & Koschel, R. (1985): The hydrometeorology of the Lake Stechlin area. - S. 41-86 in: Lake Stechlin. A temperate oligotrophic lake. - ed. by S. J. Casper, W.Junk Publ.

Riek, W., Russ, A., Kühn, D.(2015): Waldbodenbericht Brandenburg – Zustand und Entwicklung der brandenburgischen Waldböden. Ergebnisse der landesweiten Bodenzustandserhebungen BZE-2 und BZE-2a. Band 1. - Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Bd. 60. Landesbetrieb Forst Brandenburg, Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (Hrsg), Eberswalde. 172 S.

Riek, W., Russ, A. (2019): Waldbodenbericht Brandenburg. Weitere Ergebnisse der landesweiten Bodenzustandserhebungen und Folgerungen für die nachhaltige Waldnutzung. Bd. 2. - Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 68. Landesbetrieb Forst Brandenburg, Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (Hrsg), Eberswalde 238 S.
<https://forst.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/efs68.pdf>

Riek, W.; Russ, A.; Marx, M. (2021): Concentrations of Inorganic and Organic Pollutants in Forest Soils as an Archive of Anthropogenic Inputs in the State of Brandenburg, Germany. -

Appl. Sci. 2021, 11, 1189 (22 p.)

Sauer, F. (1937): Die Makrophytenvegetation ostholsteinischer Seen und Teiche. - Arch. Hydrobiol. Suppl. 6: 431-592.

Schaaf, W., Weisdorfer, M., Hüttl, R.F. (1995): Soil solution chemistry and element budgets of three Scotts pine ecosystems along a deposition gradient in northeastern Germany. - Water Air Soil Pollut. 85, pp 1197-1202.

Schaaf, W., Wecker, B., Pan, T., Hüttl, R. (2004): Changes in top soil properties of forest soils in north-eastern Germany due to longterm element accumulation. - Plant and Soil 264(1):85-95

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. - Endbericht LAWA Projekt Projekt-Nr. O 8.08

Scheffer, M., Bakema, A. H., Wortelboer, F.G. (1993): MEGAPLANT: a simulation model of the dynamics of submerged plants. - Aquatic Botany, 45, 341-356

Schenke, D. (1994): Umweltmonitoring für Pflanzenschutzmittel im Land Brandenburg II. Chlorierte Kohlenwasserstoffe im Moos. – Nachr. Deut. Pflanzenschutzd., 46 (10), 214-218

Schmieder, K. (2004): Die Characeen des Bodensees. -Rostock. Meeresbiol. Beitr.13, 179-194

Schmieder, K., Murphy, F., Dienst, M., Strang, I., Boy, E., Sanny, M., Janke, M., Ulma, M., Hohner, J. & Franke, G. (2017): Die Entwicklung der Characeen-Bestände des Bodensees als Spiegel der trophischen Veränderungen der vergangenen Jahrzehnte. - Rostock. Meeresbiolog. Beitr. 27, 81 -93

Schönfelder, J., Arp. W., Riemer, A., Gabrysch, I., Höntsch, B., Dahm. J., Möller, C., Ramm, K.. (1997): Der Giesenschlagsee. – Studien und Arbeitsberichte 4: 91-129; Potsdam

Schubert, H., Blindow, I., Bueno,N.,Casanova, M.T., Pelechaty, M.,Pukacz, A.(2018): Ecology of charophytes –permanent pioneers and ecosystem engineers. – Perspectives in Phycology 5 (1), 61-74

Schulte-Bisping, H. (2019): UNECE Integrated Monitoring. Fortsetzung des Integrated Monitoring Programms an der Messstelle Neuglobsow. - UBA Projektnummer 100311 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/370/dokumente/de02_bericht_2019.pdf

Shrestha, G., Traina, S.J., Swanston, C.W. (2010): Black Carbon's Properties and Role in the Environment: A Comprehensive Review. - Sustainability 2010, 2, 924-320

Sonder, C. (1890): Die Characeen der Provinz Schleswig-Holstein und Lauenburg nebst eingeschlossenen fremden Gebietsteilen. Inaug. Diss. Univ. Rostock: 1-63. Kiel.

Spieß, H.-J. (2004):

Die submerse Vegetation des Stechlinsees - Methodik und Ergebnisse einer Tauchkartierung - Artenschutzreport, Heft 15/2004, S. 39-44

Spycher, S., Teichler, R., Vonwyl, E., Longrée, P., Stamm, CH., Singer, H., Daouk, S., Doppler, T., Junghans, M., Kunz, M. (2019): Anhaltend hohe PSM-Belastung in Bächen. - Aqua Gas Nr.4 2019, S. 14-25

STALU (2019): Managementplan für das Gebiet ... DE 2842-304 "Uferbereiche Großer Wummsee, Twern- und Giesenschlagsee (MV)"

Stelzer, D. (2003): Makrophyten als Bioindikatoren zur leitbildbezogenen Seenbewertung - Ein Beitrag zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland. - Dissertation TU München.

Stuhr, J., van de Weyer, K. et. al. (WRRL / 2013, 2017, 2018): Monitoring der Qualitätskomponente Makrophyten für die WRRL- und FFH-Richtlinie in schleswig-holsteinischen Seen – u.a. Suhrer See, Schluensee, Selenter See.

<http://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/wafis/seen/seenalle.php>

Tauchclub Nehmitzsee e.V. (2013): Jahresbericht - Naturkundliches Tauchen 2013 unter Einbeziehung der Daten aus den Jahren 2008-2012. - *download unter:*

<https://www.nabu-naturschutztauchen.de/ziele-und-ergebnisse/>

UBA (2018): Pflanzenschutz mit Luftfahrzeugen – Naturschutzfachliche Hinweise für die Genehmigungsprüfung Gemeinsames Informationspapier von BfN und UBA. - TEXTE 70/2018

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-08-29_texte_70-2018_pflanzenschutz-luftfahrzeuge.pdf

van de Weyer, K., JENS PAZOLT, PATRICK TIGGES, CHRISTINA RAAPE & SILKE OLDORFF (2009). - Flächenbilanzierungen submerser Pflanzenbestände – dargestellt am Beispiel des Großen Stechlinsees (Brandenburg) im Zeitraum von 1962-2008.

NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPFLEGE IN BRANDENBURG 18 (4), 137 - 142

van de Weyer, K., Sebastian Meis, Volker Krautkrämer (LUGV) (2015):

Die Makrophyten des Großen Stechlinsees, des Wummsees und des Wittwesees. -

Fachbeiträge des LUGV, Heft Nr. 145

https://lfu.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/lugv_fb145.pdf

Van der Linde, S., Suz, L.M., Orme, C.D.L., Cox, F., Andreae, H., Asi, E., Atkinson, B., Benham, S., Carroll, C., Cools, N., De Vos, B., Dietrich, H.P., Eichhorn, J., Gehrman, J., et al., (2018): Environment and host as large-scale controls of ectomycorrhizal fungi. - Nature 558, 243–248

Waterstraat, A., & Spieß, H.-J. (2015):

Zustandsanalyse der Seen in den Einzugsgebieten des Großen Fürstenseer Sees und des Großen Serrahnsees. - "chapter" in: Kaiser, K., Kobel, J., Küster, M. & Schwabe, M. (Hrsg.): Neue Beiträge zum Naturraum und zur Landschaftsgeschichte im Teilgebiet Serrahn des Müritz-Nationalparks. – Forschung und Monitoring, Bd. 4, Geozon Science Media, Berlin, S. 241–259.

Wenk, M. (2010): Lärchenborkenkäfer (*Ips cembrae*)
Waldschutz-Merkblatt 54 (MIL Brandenburg Hrsg.)

Wensierski, P. (1985): SPIEGEL-Report über die Umweltverschmutzung in der DDR (II).
<https://www.spiegel.de/spiegel/print/d-13514904.html>

Wieland, F. (2017). - Zum Kronsee in <https://unterwasserwelt.de/waschsee-und-grosser-kronsee/>

Willkommen, S., Lange, J., Ulrich, U., Pfannerstill, M., Fohrer, N. (2021):
Field insights into leaching and transformation of pesticides and fluorescent tracers in
agricultural soil. - Science of the Total Environment 751 (2021) 141658

Zambrano, L., Scheffer, M. and Martinez-Ramos, M. (2001): Catastrophic response of lakes to
benthivorous fish introduction. – Oikos 94: 344–350.