

Investigatives Monitoring zur Ermittlung des Diatomeen-Referenzarteninventars im Litoral schleswig-holsteinischer Seen

Abschlussbericht

Auftraggeber:

**Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume
des Landes Schleswig-Holstein,**

Hamburger Chaussee 25,
24220 Flintbek

Auftragnehmer:

Dr. Thomas Hübener, Universität Rostock, Institut für Biowissenschaften, Lehrstuhl
Allgemeine & Spezielle Botanik

Bearbeiter:

Dr. Sven Adler, Universität Rostock, Institut für Biowissenschaften, Lehrstuhl Allgemeine &
Spezielle Botanik

zitierbar als:

Adler, S., Hübener, Th.: Investigatives Monitoring zur Ermittlung des Diatomeen-Referenzarteninventars im Litoral schleswig-holsteinischer Seen. FB i.A. des Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (2011).

Gutachten: bibliografische Schlagwörter

Zitation (Name des Büros (Jahr) Titel. Auftraggeber. Seitenzahl)
Adler, S., Hübener, T. (2011). Investigatives Monitoring zur Ermittlung des Diatomeen-Referenzarteninventars im Litoral schleswig-holsteinischer Seen. Bericht im Auftrag des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein. 48 S.
Untersuchungsjahr(e)
2010
Qualitätskomponente
Litoraldiatomeen (Phylib)
Ziel
WRRL-Bewertung, Validierung Bewertungsverfahren, investigatives Monitoring
Gewässerkategorie
Seen
Flussgebietseinheiten
Schlei/Trave
Bearbeitungsgebiete
26, 27
Wasserkörper
0353, 0359, 0383, 0404, 0393
Gewässernamen
Schluensee, Schöhsee, Selenter See, Suhrer See, Stocksee
FFH-Gebietsnummern
1628-302, 1828-302, 1828-392

Inhalt:

1. Einleitung – Anlass der Untersuchung und zentrale Zielstellungen	3
2. Durchgeführte Arbeiten	
2.1. Probennahme	4
2.2. Probenaufbereitung	4
2.3. Probendurchsicht	5
2.4. Analyse von 10 Sedimentkernproben hinsichtlich benthischer Diatomeentaxa.	6
2.5. Vergleichszählung zu anderen Diatomeenzählern	7
3. Theoretische Überlegungen	
3.1. Zufällige Verteilung von Diatomeen Taxa in einem Präparat	10
3.2. Der Referenzartenquotient und der Einfluss zufällig gefundener Arten	13
3.3. Mischproben	15
4. Ergebnisse	
4.1. Vergleich von Diatomeen Gesellschaften aus Schleswig - Holstein mit Mecklenburg - Vorpommern und Brandenburg	17
4.2. Vergleichszählungen zu anderen Diatomeenzählern	19
4.3. Darstellung der Diatomeen Gesellschaften in den untersuchten Seen	21
4.4. Durchmusterung von 10 Sedimentkernproben hinsichtlich benthischer Diatomeentaxa	35
4.5. Auswertung der Simulation	35
4.6. Mischproben und der TI_{Nord}	37
5. Diskussion	38
6. Zusammenfassung	44
7. Literatur	47
8. Anhang (als CD)	
6.1 Tabelle der Diatomeen-Proben	
6.2 Algorithmus für die RAQ Simulation in R	

1. Einleitung – Anlass der Untersuchung

Im Rahmen der biozönotischen Bewertung der Seen gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) wird auch das Phyto­benthos in Form benthischer Diatomeen im Seelitoral bewertet. Hierfür kommt das eigens für diesen Zweck entwickelte Bewertungsverfahren „PHYLIB“ zur Anwendung (Schaumburg et al. 2007). Seit 2004 wurden im überblicksweisen und operativen Seemonitoring zahlreiche Datensätze an ca. 50 schleswig-holsteinischen Seen erhoben.

Die Auswertung dieser Daten ergab einen hohen Prozentsatz unplausibler Bewertungsergebnisse. Besonders auffällig ist die Diskrepanz in der Bewertung der beiden Teilmodule TI_{Nord} und des Referenzartenquotienten (RAQ). Die Ökologische Zustandsklasse, die sich aus dem RAQ ergibt, lag bei ca. 50% aller Proben um eine Klasse schlechter sowie bei weiteren 9% um zwei Klassen schlechter als die des TI_{Nord} . Besonders ausgeprägt war dieser Effekt bei den geschichteten Seen (Typen 10 und 13). Weiterhin tauchte häufig das Problem auf, dass zu wenige indikative Arten gefunden wurden. Bezogen auf alle untersuchten Proben kam daher bei 15% der Proben kein Diatomeen-Bewertungsergebnis zustande.

Die hohe Anzahl ungesicherter Ergebnisse und die überwiegend mäßigen bis unbefriedigenden Bewertungsergebnisse des Teilmoduls RAQ bedeuten, dass das bisher aufgefundene Referenzarteninventar – sowohl im Vergleich zum aktuell festgestellten Trophiezustand anhand des TI_{Nord} als auch im Vergleich zum LAWA-Trophieindex im Freiwasser - in den untersuchten Seen auffällig gering ist.

Ziel des Auftrages ist es, das Diatomeenbewertungsverfahren hinsichtlich des Referenzarteninventars zu überprüfen, da eine schlechte Bewertung der Teilkomponente Diatomeen dazu führt, dass die schleswig-holsteinischen Seen den guten ökologischen Zustand gemäß WRRL verfehlen. Zum anderen muss die Plausibilität der Diatomeenergebnisse geprüft werden, da ansonsten die Diatomeen-Assoziationen nicht zur Bewertung der schleswig-holsteinischen Seen für die EU-Wasserrahmenrichtlinie herangezogen werden können.

2. Durchgeführte Arbeiten

2.1. Probennahme

Im Zeitraum vom 25.8.- 27.8.2010 wurden in fünf Seen Schleswig - Holsteins an je fünf Stellen unterschiedliche Substrate beprobt. Die jeweiligen Stellen sind bereits im Rahmen des Bewertungsverfahrens „PHYLIB“ im Auftrage des LANU bzw. LLUR in vorangegangenen Jahren beprobt worden. In einigen Fällen erschien die durch die Koordinaten vorgegebene Stelle ungünstig hinsichtlich ihrer Repräsentanz für das Gewässer und die Beprobung wurde 50 bis 100 m von der Stelle entfernt durchgeführt. So lagen 2 der 5 vorgesehenen Beprobungspunkte des Schöhsees direkt an einer Viehtränke, bewaldete ruhige Buchten waren hingegen nicht beprobt worden, so dass eine Viehtränke (129909) bei der aktuellen Beprobung ausgelassen wurde (s. Tabelle 1). Auch steht in der Verfahrensanleitung (Schaumburg et al. 2007) explizit, dass solche Stellen zu meiden sind, an denen es einen direkten Zufluss in einen See gibt. An der Stelle 129910 des Schöhsses liegt aber direkt eine Einleitung (Rohr, ca. 70 cm Durchmesser). Die Stelle 129927 am Selenter See ist ein ca. 100 langer Badestrand direkt unterhalb einer Autoraststätte, ohne jeden Bestand von Schilf oder Makrophyten (westlich und östlich der Stelle befinden sich naturnahe Bruchwälder).

Neben den in der Verfahrensanleitung für das Bewertungsverfahren „PHYLIB“ vorgegebenen zu beprobenden Hartsubstraten, Sedimentauflagen, Sande und Mudden wurden auch organische Substrate (tote, braune Schilfhalm, totes Holz, Makrophyten) in Abhängigkeit zur Verfügbarkeit an der jeweiligen Stelle beprobt (Tabelle 1). Die organischen Reste wurden dabei in eine 200 ml fassende Plastikflasche überführt und mit Alkohol fixiert. Steine wurden mit einem Messer abgeschabt. Sand, feiner Kies und Muddeauflagen wurden mit einer Infusionsspritze beprobt (s. Abbildung 1). Insgesamt wurden 68 Proben in einer Wassertiefe von 0.3 - 1.5m gewonnen.

2.2. Probenaufbereitung

Die Aufarbeitung und Präparation des Probenmaterials folgt der Methodik nach Kalbe & Werner (1974) und Battarbee & Kneen (1982). Die Proben wurden mit 10 ml H_2O_2 versetzt und 15-20 min im Wasserbad (60-80°C) unter dem Abzug erhitzt. Es folgte ein mehrmaliges Waschen mit jeweiliger nachfolgender Zentrifugation (12 min, 4000min^{-1}). Der letzte Rückstand wurde mit 10 ml H_2SO_4 aufgenommen und mit 1 ml gesättigter $KMnO_4$ Lösung 10 min gekocht. Die Suspension wurde anschließend durch tropfenweise hinzugeben von

Oxalsäure-Lösung geklärt. Abschließend erfolgte ein mehrmaliges Waschen bis zur neutralen Reaktion. Die Suspension wurde auf Deckgläschen aufgetropft und nach Lufttrocknung in Naphrax ($n_d = 1.72$) eingebettet.



Abbildung 1: Gerät zur Aufnahme von Aufwuchsdiatomeen von Sedimentauflagen (Sand und Mudde) im Flachwasserbereich.

2.3. Probendurchsicht

Jede Probe wurde mittels einer 1000 fachen Vergrößerung (Zeiss-Axioplan, 1,4 planapochromat) durchgemustert. Dabei wurden zunächst nach Verfahrensanleitung 500 Schalenhälften benthischer Diatomeen ausgezählt wobei die Anzahl der Taxa pro durchgesehenen Gesichtsfeld dokumentiert wurde. Anschließend wurden weitere Gesichtsfelder nach seltenen Arten durchgemustert. Dieses wurde so lange durchgeführt bis die Gesamt-Taxazahl auf einer Fläche von mindestens 100 Gesichtsfeldern erfasst wurde. Die Taxa wurden nach Krammer & Lange - Bertalot (1986, 1988, 1991a, b), Lange-Bertalot & Moser (1994), Lange-Bertalot (2001), Lange-Bertalot & Krammer (1997a, b, 2000, 2002, 2003), Levkov 2009 und Houk et al. (2010) bestimmt und mittels digitalen Fotos (Progress 10; analySIS 3.1) dokumentiert. Bei der Dateneingabe in eine hierfür erstellte ACCESS Datenbank wurde neben den Taxa, deren absoluten Anzahlen auch die durchgemusterten Gesichtsfelder mit erfasst, sowie unterschieden zwischen Taxa die innerhalb der ersten 500 Schalenhälften gefunden wurden und denen, die bei der weiteren Durchsicht des Präparats erfasst worden sind (s. Anhang II). Der zeitliche Aufwand der Durchmusterung von 100

Gesichtsfeldern eines Dauerpräparates ist annähernd doppelt so groß, als der bei einer Begrenzung auf 500 Schalen/Präparat.

Für die ersten 500 Schalenhälften benthischer Diatomeen wurden anschließend die relativen Häufigkeiten für jedes Taxon und eine mittlere Anzahl von Schalenhälften ($t_{\text{pro.GS}}$) pro Gesichtsfeld ermittelt. Mit dieser mittleren Anzahl von Schalenhälften kann nun für die in weitem Gesichtsfeldern gefundenen Arten eine relative Häufigkeit berechnet werden: $100/(t_{\text{pro.GS}})*\text{GS}$. Die Summe über alle relativen Häufigkeiten übersteigt somit die 100% so dass eine anschließende Skalierung auf das Intervall [0,100] vorgenommen wurde.

Planktische Taxa wurden ebenfalls bei der Zählung mit erfasst, sind aber bei der Berechnung der relativen Häufigkeiten nicht mit einbezogen worden. Lediglich der Anteil von Schalenhälften benthischer zu planktischen Taxa wurde hier ermittelt.

Bei dem Abgleich der Artenzusammensetzungen der einzelnen Proben mit den Indikatorwerten der Taxa wurde die Nomenklatur der Tabellen aus Schaumburg et al. 2007 der aktuellen angepasst (z.B. *Navicula capitata* Ehrenberg – *Hipodonta capitata* (Ehrenberg) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowsky, *Cymbella caespitosa* (Kützing) Brun – *Encyonema cespitosum* Kützing)

2.4. Analyse von 10 Sedimentkernproben hinsichtlich benthischer Diatomeentaxa

10 subfossile Diatomeenproben eines Sedimentkernes des Einfelders Sees (Hübener et al. 2009) wurden erneut gezählt, wobei so viele Gesichtsfelder ausgezählt wurden, bis 500 Schalenhälften von benthischen Diatomeen gefunden wurden. Dabei wurde ebenfalls die Anzahl gezählter Gesichtsfelder in Bezug auf die gefundenen Taxa und gezählten Schalen protokolliert.

Tabelle 1: Untersuchte Präparate des Einfelders See – Sedimentkernes (Langkern)

<u>Sedimenttiefe [cm]</u>
465-466.5
480-481.5
495-496.5
510-511.5
525-526.5
540-541.5
555-556.5
570-571.5
585-585.5
600-601.5

2.5. Vergleichszählung zu anderen Diatomeenzählern

Es sollte eine Qualitätssicherung durchgeführt werden, um auszuschließen, dass das für einen guten Zustand notwendige Referenzarteninventar in den bisherigen Proben durch den/die Bearbeiter nicht erkannt wurde. Hierzu wurden zufällig 10 Präparate von Aufwuchsproben aus den Beständen des Landesamtes ausgewählt.

Die Proben wurden nach dem gleichen Verfahren wie unter 2.3 beschrieben ausgewertet.

Neben einem reinen Vergleich gefundener Arten, wurde mittels einem statistischen Test (Chi-Quadrat-Test auf Grundlage einer Monte Carlo Simulation, Hope 1968, Patefield 1981) nach signifikanten Unterschieden in den gefundenen Artenzusammensetzungen gesucht, wobei die aktuelle Auswertung als Referenz diente.

Tabelle 2: Übersicht über die beprobten Stellen in den 5 Seen sowie der beprobten Substrate und Bemerkungen

See	Stelle	Substrat	Kommentar
Schöhsee (bei Beprobung starker Wind aus SW)	129910	Holz	sehr großes Gefälle, 1.5 m vom Ufer entfernt schon über 2 m tief: nach dem 2.WK ca 20 ha des Sees zugeschüttet (Trümmerschutt Bahnlinie) laut Angelverein direkt an der Stelle mündet ein Rohr (ca 70 cm Durchmesser) in den See: Regenwasserabfluss von der Bahn, Fußweg?
	130291	Schilf Stein Sediment (Sand) Weide	Schafweide+ Tränke im See
	129909	Sediment (Sand) Schilf Makrophyten	Koordinaten der Originalprobestelle direkt bei Grünland mit Viehtränke, habe hier 20m weiter westlich beprobt, Erlenmischwald
	129911	Sediment (Sand) Holz	Bewaldetes Ufer
	130290	Sediment (Sand) Laichkraut Schilf	Villen am Ufer
Selenter See	129927	Sediment (Sand)	100 m langer Badestrand mit steiler Böschung auf der ein Autorastplatz mit Imbis steht, Koordinaten direkt unterhalb der Imbissstube
	129925	Sediment (Sand) Schilf	50 m neben der Badestelle von Selent ausgeprägter Schilfgürtel
	129926	Makrophyt (Tausendblatt) Sediment (Sand)	Koordinaten nicht gefunden, bzw. nach meinem Gerät 200 m auf dem Land, am ehesten hätte der Segelhafen gepasst, Schilfröhricht und (dann aber falsche Rechtswerte) vor dem Segelhafen ca 2 km hinter dem Segelhafen ebenfalls 1 km Schilfröhricht, habe deshalb nicht am Segelhafen Probe genommen sondern 200 m weiter westlich (richtiger Rechtswert falscher Hochwert ~6020600)
	129924	Schilf Makrophyt (Tausendblatt) Makrophyten (Potampgeton)	Stelle ok, Straße, leicht überhängende Bäume
	129929	Sediment (Sand) Stein Makrophyten (Potampgeton)	Boden von großen Steinen bedeckt von 129924 bis hier geschlossener Schilfgürtel mit z.T großen Makroph vorkommen (z.T auch 100m vom Ufer entfernt aus dem Wasser ragend) diese Stelle ist gekennzeichnet durch 200 m kein Schilf mit nur Buchenwald. Das gibt es nur an dieser Stelle im ganzen See es folgt beweidetes Grünland dort keine Stelle die nächste erst wieder im NSG
	129922	Sediment (Sand/Kies) Schilf Stein	ok

Tabelle 2 (Fortsetzung): Übersicht über die beprobten Stellen in den 5 Seen sowie der beprobten Substrate und Bemerkungen

See	Stelle	Substrat	Kommentar
Schluensee (bei Beprobung starker Wind aus SW)	2010_03	Stein Schilf Sediment (Sand)	am Fuße eines steilen Hügels welcher Beweidet wird (trifft auf das gesamte Westufer zu) inkl Viehtränke im See
	2010_04	Stein Schilf Sediment (Sand)	
	2010_01	Stein Schilf Sediment (Sand/grober Kies)	
	2010_02	Schilf Makrophyten	Sediment vor dem Schilfgürtel komplett mit Makrophyten überwachsen, Fischräusen, die vom Angelverein beträut werden (Merlen, Aal)
	2010_05	Schilf Makrophyten Holz Sediment (Sand)	Bucht mit Erlenwald bestanden, direkt daneben Viehtränke, habe die Proben ca 100 m entfernt genommen
	Stocksee	130374	Schilf Makrophyten Sediment (Sand)
130078		Holz Sed	
130368		Stein Sediment (Sand) Makrophyt I (Tausendblatt) Makrophyten II (Potampgeton)	
130370		Makrophyt (Wasserknöterich) Sediment (Sand) Schilf	
130369		Schilf Sediment (Sand)	Torfmulde mit Sed auflage, in ca 3m vom Ufer entfernt Abbruchlkante 3 m tief, große Makrophytenbestände
Suhrer See		129952	Schilf Makrophyten (Potampgeton) Sediment (Sand)
	129951	Sediment (Sand) Holz Stein	
	130314	Stein Sediment (Sand) Holz	
	130315	Holz grober Kies Makrophyten (Potampgeton)	geschlossener Kiesboden Grünland (Viehweide) dahinter Straße
	129953	Schilf Sediment (Sand)	

3. Theoretische Überlegungen

3.1. Zufällige Verteilung von Diatomeen Taxa in einem Präparat

Grundlage für die Auswertung von Diatomeen Präparaten mit dem Mikroskop ist die Annahme, dass die Taxa auf dem Präparat repräsentativ für die Artenzusammensetzung des beprobten Substrates sind und dass die Taxa zufällig verteilt in dem Präparat vorkommen. Unter der Annahme dass ein Präparat mindestens eine Fläche von 1 cm² abdeckt und ein Gesichtsfeld einer Fläche von 200µm * 200µm, mit x Diatomeen-Schalenhälften pro Gesichtsfeld entspricht, kann die Anzahl von Diatomeenschalen auf einem Präparat näherungsweise mit $50*50*x^1$ berechnet werden ($1\text{ cm}/200\mu\text{m} = 50$). Hat ein Taxon eine relative Häufigkeit von 0.2 (d.h. unter 500 gezählten Schalen kommt dieses Taxon genau einmal vor), so sollten mindestens $50*50*x*0.002$ Schalen in dem gesamten Präparat vorkommen, wenn die Annahme, dass die 500 Schalen repräsentativ für die gesamte Stichprobe sind, gilt. Es stellt sich jetzt die Frage, mit welcher Wahrscheinlichkeit dieses Taxon gefunden wird, wenn genau 500 Schalen gezählt werden? Die Verteilung der Schalen ist zufällig und keinesfalls gleichmäßig, so dass nicht anzunehmen ist, dass die Wahrscheinlichkeit 100% beträgt. Um dies zu prüfen, wurde die zufällige Verteilung von einem seltenen Taxon in einem Präparat bei gleichzeitiger Durchsicht des Präparates mit einer entsprechenden Anzahl von Gesichtsfeldern simuliert (Abbildung 2 und 3). Dabei hat der für das Programm entwickelte Algorithmus (geschrieben mit der Open Source Software R; R Development Core Team 2010) eine Taxon als gefunden erkannt, wenn mindestens einmal die zufällig ermittelten Koordinaten mit den Koordinaten eines durchgemusterten Gesichtsfeldes übereingestimmt haben.

¹ Angenommen es werden pro Gesichtsfeld 20 Diatomeenschalen (-Objekte) gefunden. Um 500 Schalen zu zählen (Verfahrensanleitung, Schaumburg et al. 2007) müssen dann 25 Gesichtsfelder ausgezählt werden. Diesen entspricht 1% der zur Verfügung stehenden Fläche des Präparats.

```

rand<-50
gebiet<-50*50
anzahl_pro_cm2<-20
rel_h_art1<-0.002
anzahl_art1<-gebiet*anzahl_pro_cm2*rel_h_art1

gsf<-25
treffer_art1<-NA

for (run in 1:100000)      # zum testen auf 1000 reduzieren
{
  plot(c(1:rand),c(1:rand),type="n")

  x_art1<-sample(rand,anzahl_art1,replace=T) # Koordinaten der Art
  y_art1<-sample(rand,anzahl_art1,replace=T)
  points(jitter(x_art1),y_art1)

  x_biol<-sample(rand,gsf,replace=F) #Koordinaten des GS
  y_biol<-sample(rand,gsf,replace=F)
  points(x_biol,y_biol,cex=2,col=2)

  prove<-matrix(ncol=gsf,nrow=anzahl_art1)

  for (j in 1:anzahl_art1)
  {
    for (i in 1:gsf)
      prove[j,i]<-identical(c(x_art1[j],y_art1[j]),c(x_biol[i],y_biol[i]))
    }
    treffer_art1[run]<-ifelse(any(prove==TRUE)==TRUE,1,0)
  }

sum(treffer_art1)/99999 # zum testen auf 999 reduzieren

```

Abbildung 2: Algorithmus zur Bestimmung der Trefferwahrscheinlichkeit eines Taxons bei gegebener Anzahl von durchgesehenen Gesichtsfeldern (Bei einer Testung des Algorithmus sollte der Laufindex in einem ersten Lauf deutlich reduziert werden).

Die Wahrscheinlichkeit 2 seltene Taxa zu finden ist nicht einfach die Summe der Wahrscheinlichkeiten die einzelnen Taxa zu treffen, da Taxon A und Taxon B jeweils alleine oder (!) zusammen vorkommen und nur der letzt Fall interessiert, wenn beide bei einer Durchsicht von n Gesichtsfelder gefunden werden.

Der in Abbildung 2 gegebene Algorithmus wurde anschließend dahin gehend erweitert, dass nicht nur die Trefferwahrscheinlichkeit für eine Art ermittelt werden kann, sondern für beliebig viele vorgegebene Arten mit unterschiedlichen relativen Häufigkeiten.

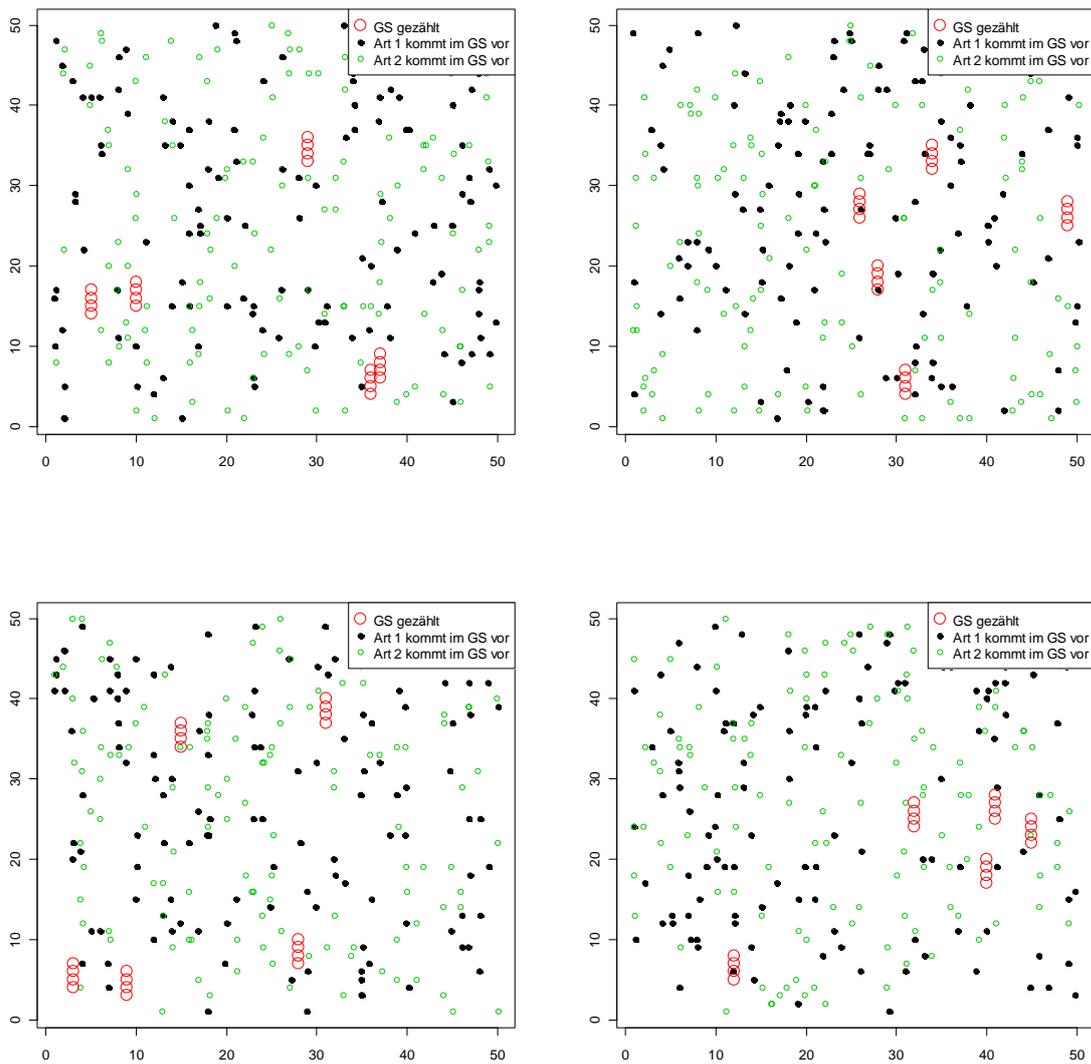


Abbildung 3: Zufällige Verteilung zweier seltener Taxa (rel. Häufigkeit jeweils gleich 0.2%) in einem Präparat (schwarze und grüne Punkte) mit einer Kantenlänge von 1 cm (=50 Gesichtsfelder) sowie von einem Diatomologen untersuchte Gesichtsfelder (rote Kreise). Befinden sich ein Punkt in irgendeinem Kreis, so wurde dieses Taxon bei der Durchsicht gefunden. Oben links: Keines der beiden Taxa wurde entdeckt; Oben rechts: Nur die Art 1 wurde gefunden; Unten links: Nur die Art 2 wurde gefunden; Unten rechts: beide Arten wurden gefunden.

Der hier gezeigte Algorithmus (Abbildung 2) setzt die Gesichtsfelder zufällig auf dem Präparat, wohingegen ein Diatomeenzähler oftmals in Streifen zählt, d.h. mehrere Gesichtsfelder untereinander. Obwohl diese auf die berechneten Wahrscheinlichkeiten keinen Einfluss hat wurde der Algorithmus in diese Richtung angepasst (s. Anhang I, Abbildung 2).

3.2. Der Referenzartenquotient und der Einfluss zufällig gefundener Arten

In die Berechnung des RAQ fließt nur ein, ob ein Taxon gefunden wurde oder nicht, jedoch nicht dessen Häufigkeit. Unterschieden wird zwischen Arten, deren Vorhandensein für gute ökologische Verhältnisse im See sprechen (A-Arten) und solchen, die für schlechte ökologische Verhältnisse in einem See stehen (C-Arten). Berechnet wird der RAQ aus dem Quotienten der Differenz zwischen der Anzahl von A und C Arten und deren Summe (I). Dieses setzt im Grunde voraus, dass beide Gruppen (A und C) mit gleicher Auffindwahrscheinlichkeit in einem Gewässer zu finden sind, d.h. wenn eine A Art da ist, muss diese mit dem gleichen Aufwand gefunden werden können wie eine vorhandene C-Art.

$$\text{RAQ} = \frac{(\text{Anzahl} - A - \text{Arten}) - (\text{Anzahl} - C - \text{Arten})}{(\text{Anzahl} - A - \text{Arten}) + (\text{Anzahl} - C - \text{Arten})} \quad (\text{I})$$

Der Wertebereich des RAQ liegt somit zwischen -1 und 1 wobei der RAQ den Wert -1 annimmt wenn nur C- Arten in einer Probe gefunden wurden, bzw. 0 wenn die Anzahl A-Arten gleich der Anzahl C- Arten ist und 1 wenn nur A- Arten gefunden wurden. Die Zuordnung des RAQ zu dem ökologischen Zustand eines Gewässers ist in der Tabelle 2 gezeigt.

Tabelle 3: Einteilung des RAQ hinsichtlich der ökologischen Wasserqualität unterteilt nach Diatomeentypen (nach Schaumburg et al. 2007)

Diatomeentyp	Ökologische Qualität				
	sehr gut	gut	mäßig	unbefriedigend	schlecht
1.1	1,00 bis 0,81	0,80 bis 0,31	0,30 bis -0,30	-0,31 bis -1,00	
1.2	1,00 bis 0,51	0,50 bis 0,01	0,00 bis -0,50	-0,51 bis -1,00	
2	1,00 bis 0,80	0,79 bis 0,20	0,19 bis -0,30	-0,29 bis -1,00	
13.1	1,00 bis 0,76	0,75 bis 0,01	0,00 bis -0,49	-0,50 bis -0,99	-1,00
13.2	1,00 bis 0,51	0,50 bis 0,01	0,00 bis -0,49	-0,50 bis -0,99	-1,00
10.1	1,00 bis 0,51	0,50 bis 0,01	0,00 bis -0,49	-0,50 bis -0,99	-1,00
10.2	1,00 bis 0,51	0,50 bis 0,01	0,00 bis -0,49	-0,50 bis -0,99	-1,00
11	1,00 bis 0,51	0,50 bis 0,01	0,00 bis -0,49	-0,50 bis -0,99	-1,00
12	1,00 bis 0,51	0,50 bis 0,01	0,00 bis -0,49	-0,50 bis -0,99	-1,00

Tabelle 4: Verhältnis der A und C Taxa in Schaumburg et al. (2007) unterteilt in die einzelnen Gewässertypen

Seetyp	Anzahl A-Taxa	Anzahl C-Taxa	Verhältnis A zu C Taxa	Summe A+C Taxa
1.1	366	381	0.96	747
1.2	488	508	0.96	996
2	396	157	2.52	553
10.1	134	83	1.61	217
10.2	140	59	2.37	199
11	136	70	1.94	206
12	150	48	3.13	198
13.1	132	109	1.21	241
13.2	133	95	1.40	228

Das Verhältnis der A- zu C-Taxa in Schaumburg et al. (2007) ist für die einzelnen Seetypen recht unterschiedlich (Tabelle 3) und nimmt für die Seen des Norddeutschen Tieflandes deutlich höhere Werte als 1 an. Die Frage warum hier so wenig C Arten geführt sind ist zum jetzigen Termin (Abgabe dieses Berichts) noch nicht geklärt. Aus der Definition des RAQ (I) und der Tabelle 2 folgt jedoch: um so weniger C-Taxa geführt werden, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass der RAQ einer Probe einen tendenziell höheren Wert erreicht. Für eine abschließende Bewertung ist es demzufolge nötig, die Entscheidungskriterien und die Daten die der Einteilung der Taxa (A, C, indifferent) zu Grunde liegen, zu kennen und zu untersuchen.

Aus (I) und der Tabelle 2 ist erkennbar, dass ein See des Typs 11 bis 13.2 nur dann als schlecht eingestuft werden kann, wenn nur C- Taxa (bzw. 1 A- Taxon unter mehr als 100 C Taxa) vorkommen. Das Taxon *Achnanthes minutissima* wird in der Liste der ökologischen Zustandsklassen als Gruppe A geführt (Schaumburg et al 2007). In Präsedimenten von Seen aus Mecklenburg - Vorpommern mit z.T. Gesamtphosphatwerten von über 900µg/l wurde dieses Taxon regelmäßig gefunden (<http://www.biologie.uni-rostock.de/abt/botanik/AG-Phykologie/eichdatensatz-ua-n.htm>), so dass ein See dieser Region nach dieser Methode grundsätzlich nicht als ökologisch schlecht eingestuft werden könnte.²

Ein See wird als unbefriedigend beurteilt, wenn das Verhältnis von A zu C Taxa höchstens 1/3 ist. Als gemäßigt gilt ein See wenn das Verhältnis zwischen 1/2 und 1/3 liegt. Reziprok gilt dieses für die Stufen gut und sehr gut, wobei sehr gut heißt, dass maximal 1/3 C Arten vorkommen dürfen.

² *Achnanthes minutissima* ist eine typische Aufwuchsdiatomee. Wenn dieses Taxon im Sediment eines Sees gefunden wurde, kann sie dort nur aus der Uferzone eingebracht worden sein, also im Aufwuchs gelebt haben. Die Gesamteinschätzung einer Stelle erfolgt über den Mittelwert aus RAQ und TI_{Nord} nach einer Skallierung beider Werte auf das Intervall [0,1]. Damit dieser Wert (gerundet) gleich 1 ist muss der TI_{Nord} bei einem RAQ = 0.99 mindestens 1 sein $((0.99+1)/2=0.995$ gerundet auf 2 Stellen hinter dem Komma =1).

Da in den RAQ nicht die relativen Häufigkeiten der Arten zueinander eingehen, sondern nur die Tatsache ob eine Art gefunden wurde oder nicht, kann mittels des im Anhang befindlichen Algorithmus und unter der Annahme, dass die in den Durchmusterungen der 100 Gesichtsfelder gefundenen Anteile der einzelnen Taxa für das Präparat repräsentativ sind, der RAQ für die einzelnen Proben simuliert werden. In einem ersten Schritt wird die Verteilung der Taxa einer Probe in einem Präparat basierend auf den ermittelten relativen Häufigkeiten simuliert. Anschließend werden n Gesichtsfelder vom Computer ausgewertet und mit den dort befindlichen Taxa und deren Indikatorgruppe (C oder A) der zugehörige RAQ berechnet. Dieses Vorgehen wird wiederholt, um zu simulieren, dass unterschiedliche Bearbeiter das gleiche Präparat durchsehen.

3.3. Mischproben

Laut PHYLIB-Anleitung sind an den einzelnen Untersuchungsstellen innerhalb eines Gewässers nur anorganische Hartsubstrate, also Sand, Steine, Kies für die Analyse der Diatomeen Artenzusammensetzungen zu beproben. Diese wird jedoch unterschiedlich in den verschiedenen Bundesländern umgesetzt. Da einzelne Diatomeen Taxa deutliche Präferenzen bezüglich bestimmter Substrate aufweisen (s. Beschreibung einzelner Taxa in der genannten Bestimmungsliteratur, bzw. unter Punkt 4.3) bedeutet die Hinzunahme weiterer Substrate auch eine Verschiebung der Artenzusammensetzung bzw. eine Erweiterung des Artenspektrums. Hier entstehen nun zwei grundsätzliche Probleme.

Zum einen ist die Mischung von Diatomeenproben von unterschiedlichen Substraten äußerst schwierig, wenn diese repräsentativ für die am Standort vorkommenden Substrate durchgeführt werden sollen. Für den Probenehmer ist es schwer abzuschätzen, wie z.B. das Verhältnis der Aufwuchsfläche auf Sand zu altem Schilf an einer Stelle ist. Ein Verhältnis, welches jedoch Grundlage für eine dementsprechend Beprobung der Substrate und einer abschließenden verhältnismässigen Mischung darstellt. Hinzu kommt, dass es schlicht unmöglich ist abzuschätzen, wie hoch der Anteil Biomasse von Diatomeen auf den unterschiedlichen Substraten ist.

Zum anderen entsteht ein Problem, wenn die Referenzproben, die zur Erstellung der Bioindikation herangezogen wurden, im Vergleich zu den Proben, für die die Bioindikation durchgeführt werden soll abweichende Substrate enthält. Enthält der Eichdatensatz z.B. Mischproben unter Einbeziehung von Schilf, die zu untersuchenden Proben jedoch nicht, so werden die zu untersuchenden Proben andere Artenzusammensetzungen aufzeigen, als der Eichdatensatz. Generell sollte gelten, dass die Erweiterung der Substratpalette an einem

Standort auch zur Erhöhung potentiell auffindbarer Taxa führt. Hier ist anzumerken, dass Herr Schönfelder bei einem Arbeitsgruppentreffen in Berlin 2010 mündlich mitgeteilt hat, dass er nicht ausschließen kann, dass der Datensatz zur Erstellung des TI_{Nord} Mischproben von anorganischen Hartsubstrat und Aufwuchsproben von Schilf und anderen Makrophyten enthält. In dem Rundschreiben von Herrn Schönfelder zur *Methodische Vorgaben für die Entnahme von Diatomeenproben im Litoral von Seen im Norddeutschen Tiefland* (Landesamt für Umwelt, Gesundheit & Verbraucherschutz Brandenburg, Oktober 2010) wird explizit die Beprobung von Schilfröhricht beschrieben, ebenso die Probenahme in einer Wassertiefe von 2 bis 8 Meter, sowie die Erstellung von Multihabitatproben, die wenn vom Auftraggeber nicht anders gefordert, generell anzufertigen sind.

So ist zum Beispiel das Taxon *Cocconeis neothumensis* eine dominante Aufwuchsdiatomee auf Sand (z.B. 50%), kommt aber auf Schilf nur in Einzelfunden vor (s. 4.3). Vermischt man nun eine Sand-Probe mit einer Schilf-Probe bei der beide die gleiche Anzahl Diatomeen enthalten, so erhält man im Ergebnis eine Abundanz von 25% für *Cocconeis neothumensis* in dieser Mischprobe. Für die Berechnung des TI geht dieses Taxon mit 25% ein (TI Wert von *Cocconeis neothumensis* ist 3.7). Befindet sich in der Schilfprobe jedoch nur die Hälfte der Anzahl von Schalen wie in der Sandprobe, so geht *Cocconeis neothumensis* mit einer Abundanz von ~33% in die Berechnung ein. In wie weit dieses den TI_{Nord} beeinflusst, wird unter 4.3 im Detail untersucht.

Eine Aufwuchsprobe vom Sand sollte bei gleichen Umweltbedingungen (z.B. Trophiestufe eines Sees) das gleiche Ergebnis indizieren wie eine Aufwuchsprobe von einem Stein, sowie für die Mischprobe. Dies gilt auch für die Hinzunahme weiterer Substrate (z.B. Schilf). Sollte dies nicht der Fall sein, so wäre der TI_{Nord} nur bedingt geeignet für eine generelle Anwendung.

4. Ergebnisse

Ein wesentlicher Aspekt dieses Projektes war ursprünglich ein Vergleich benthischer Diatomeen Artengemeinschaften aus Schleswig - Holstein mit den Artengemeinschaften, die zur Erstellung des TI_{Nord} herangezogen wurden. Die Intention war hierbei zu überprüfen, in wie weit die eingangs beschriebenen Unstimmigkeiten bei der Berechnung des TI_{Nord} bzw. RAQ für die Seen Schleswig - Holsteins eventuell auf unzureichende Ähnlichkeiten zu dem Eichdaten des TI_{Nord} , der vornehmlich auf Proben aus Mecklenburg – Vorpommern und Brandenburg, beruhen. Die im Vorfeld der Planungen zu diesem Projekt auf dem PHYLIB-

Diatomeenworkshop (31.05.-01.06.2010, Berlin) mündlich getroffene Absprache zwischen Vertretern der Länder Schleswig - Holstein (M. Bahnwart) und Brandenburg (J. Schönfelder) über die Übergabe der Daten für eine vergleichende Analyse ist im Laufe des Projektes nicht eingehalten worden. Anfragen bei der PHYLIB Arbeitsgruppe wurden mit dem Kommentar abgetan, das „das Projekt nicht im Besitz der Daten ist“. Nach intensiven Nachfragen seitens der Mitarbeiter des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig - Holstein sowie der Verfasser dieses Berichtes bei den Personen, die über die Daten verfügen, konnte keine Übergabe der Ausgangsdaten zur Erstellung des betreffenden PHYLIB Moduls erwirkt werden. Es ist somit nicht möglich die original Daten für ein Bewertungsverfahren von Seen, welches in ganz Norddeutschland angewandt wird einzusehen bzw. einer kritischen Überprüfung zu unterziehen. Für die Verfasser dieses Berichtes ist dieser Umstand nicht nachvollziehbar. Ein Verfahren, zu welchem die Länder verpflichtet sind, und dessen Durchführung einen erheblichen finanziellen Kostenaufwand für die beteiligten Behörden bedeutet, muss einer Prüfung durch Dritte offen sein, zumal die Erstellung dieses Verfahrens durch öffentliche Gelder finanziert worden ist.

In Ermangelung der Originaldaten die zur Erstellung des PHYLIB Moduls verwendet wurden, wurde unter 4.1 die benthischen Diatomeen Gesellschaften Schleswig-Holsteins mit denen von Brandenburg und Mecklenburg - Vorpommern verglichen, welche den Bearbeitern bzw. dem Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig - Holstein von den entsprechenden Landesbehörden zur Verfügung gestellt wurden. Ein Teildatensatz aus Brandenburg wurde von Herrn L. Höhne (Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg) freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

4.1. Vergleich von benthischen Diatomeen Gesellschaften aus Schleswig - Holstein mit solchen aus Mecklenburg - Vorpommern und Brandenburg

Auf der Grundlage der Daten von bertischen Diatomeen aus Mecklenburg - Vorpommern (n=616) und Brandenburg (n=239) wurde eine kanonische Korrespondenzanalyse (CCA)³ mit Herabgewichtung der seltenen Taxa durchgeführt. In einem zweiten Schritt wurden die Proben aus Schleswig – Holstein (n=407) ebenfalls aufgrund ihrer Artengemeinschaften als passive Proben in das Ergebnis der vorangegangenen CCA geplottet (Funktion *predict* des Packages *vegan* (Oksanen et al. 2010) in R). Das Ergebnis ist in der Abbildung 5 zu sehen.

³ Die CCA wurde ebenfalls bei der Eichung und Kontrolle des TI_{Nord} verwendet, so dass hier gleiche methodische Verfahren im Vergleich zu den Arbeiten von Schönfelder verwendet wurden.

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Proben aus Schleswig - Holstein sich im 1. Quadranten bzw. in dem Bereich der 2. CCA Achse mit Werten kleiner als -1.5 konzentrieren.

Gerade letztere Gruppe liegt deutlich von den Proben aus Mecklenburg und Brandenburg getrennt. Unter Verwendung eines Permutationstests (Monte Carlo Permutationstest, Efron 1979) wurde die Variable „Bundesland“ unter Verwendung von 1000 Permutationen auf Signifikanz getestet. Mit $p=0.001$ ist die Variable „Bundesland“ hochsignifikant, d.h. die Artenzusammensetzungen zwischen Schleswig - Holstein, Mecklenburg und Brandenburg unterscheiden sich signifikant.

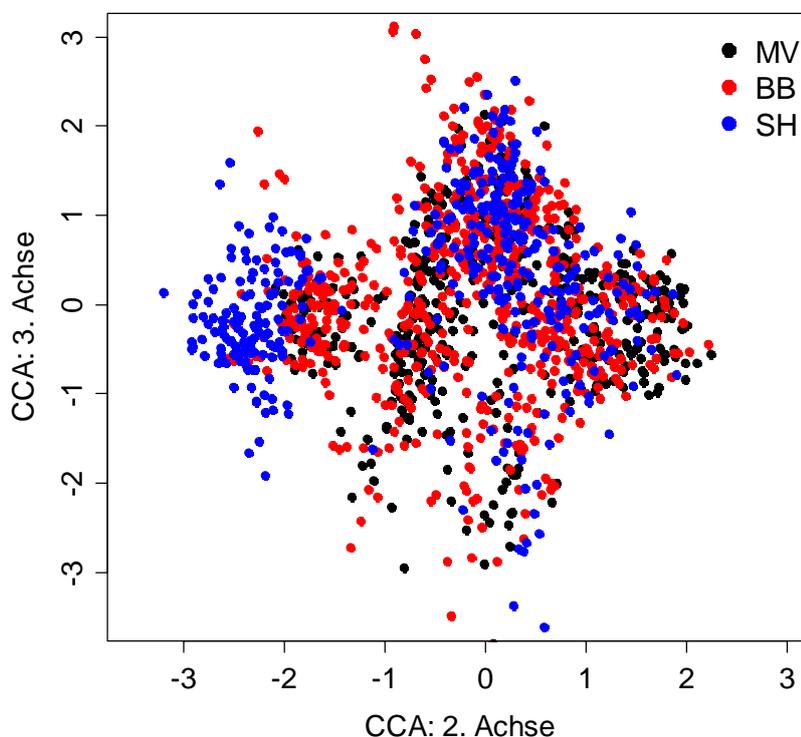


Abbildung 5: CCA der Seen Mecklenburgs (schwarz, $n=616$) und Brandenburgs (rot, $n=239$) unter Einbeziehung der Proben aus Schleswig - Holstein als passive Proben (blau, $n=407$). Die Daten aus Brandenburg wurden vom Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg für diese Analyse zur Verfügung gestellt

4.2. Vergleichszählungen zu anderen Diatomeenzählern

Den Mitarbeitern des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig - Holstein war bei einer Durchsicht ihrer Daten aufgefallen, dass die Anzahl gefundener benthischer Diatomeentaxa zwischen den unterschiedlichen Bearbeitern der Proben deutliche Differenzen aufweist (Tabelle 4.1)

Tabelle 5: Vergleich gefundener Taxazahlen unterschiedlicher Bearbeiter in unterschiedlichen Untersuchungsjahren. (Daten vom LANU zur Verfügung gestellt)

Bearbeiter	Untersuchungsjahr	mittlere Anzahl Taxa pro Probe	Anzahl bearbeiteter Proben
Dr. Anja Schwarz	2007-2009	36 (± 7.4)	246
Dr. Eckahrd Coring	2005	68 (± 12.8)	67
Dr. Gabriele Hofmann	2004	41 (± 9.9)	112
Dr. Mirko Dressler	2006	43 (± 3.4)	10
Dr. Petra Werner	2006	43 (± 11.8)	33

Vergleicht man die mittleren Taxazahlen der unterschiedlichen Bearbeiter unter Berücksichtigung der Standardabweichung so ist erkennbar, dass hier keine signifikanten Unterschiede vorliegen. Wird hingegen eine CCA mit den Proben der unterschiedlichen Bearbeiter gerechnet und die Proben entsprechend Ihrer Bearbeiter eingefärbt, fällt auf, dass die Proben von Frau Dr. Schwarz zu einem großen Teil deutlich verschieden sind von denen der übrigen Bearbeiter (Abbildung 6 A).

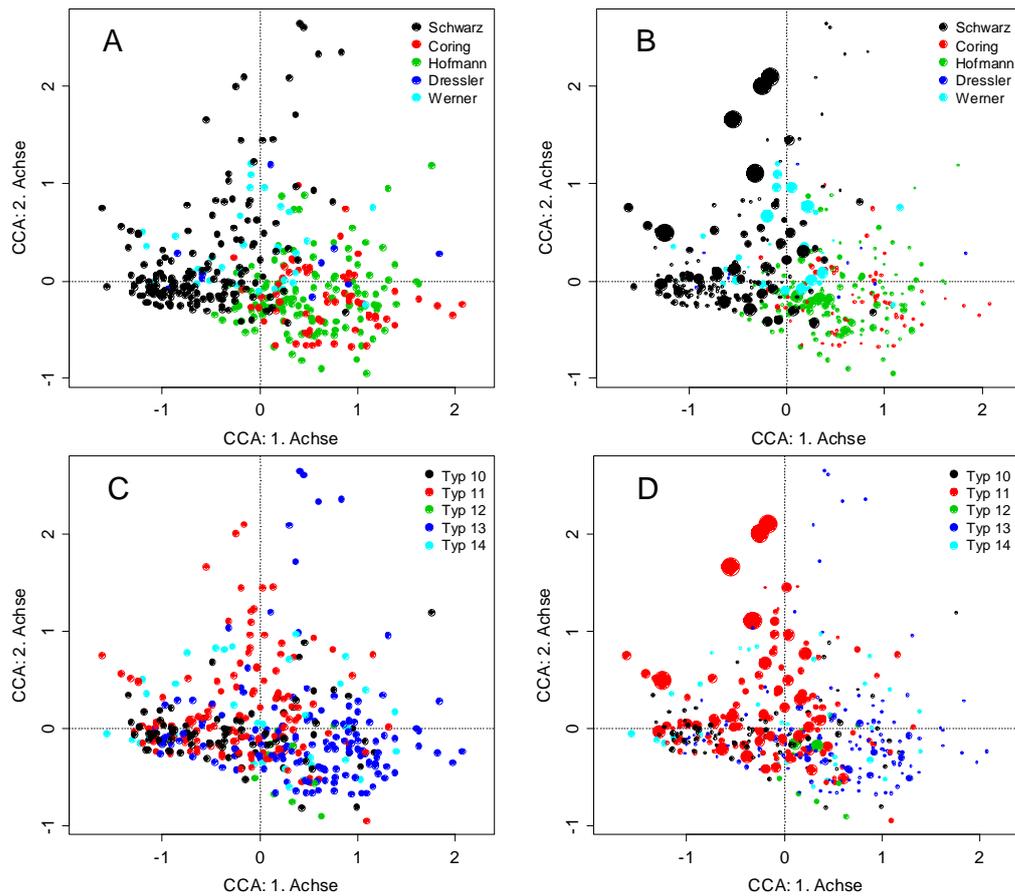


Abbildung 6: Vergleich der unterschiedlichen Diatomeen - Bearbeiter. A: CCA der unterschiedlichen Bearbeiter, B: CCA der unterschiedlichen Bearbeiter, Symbolgröße steht für die Höhe des gemessenen TP Wertes, je größer der Kreis, desto höher der gemessene TP bei der Messstelle. C: CCA der Seetypen. D: CCA der Seetypen unter Einbeziehung der TP Werte.

Wird allerdings in die Analyse der Seetyp sowie der gemessene TP Wert mit einbezogen, so ist zu erkennen, dass einzelne Bearbeiter hier unterschiedliche Seetypen bearbeitet haben mit auch jeweils unterschiedlichen Trophiestufen. Prüft man die Variable Bearbeiter im Verbund mit Seetyp und Gesamtphosphat auf Signifikanz hinsichtlich der Artenzusammensetzung (Permutationstest, siehe oben), so ist die Variable Bearbeiter nicht signifikant. D.h. hier ist kein Unterschied zwischen den Bearbeitern zu erkennen.

Die hier durchgeführten Vergleichszählungen liefern ein ähnliches Bild. Wie nach den Vorüberlegungen in 3.1 zu erwarten, gibt es in jeder der einzelnen Proben eine Reihe von seltenen Taxa, die entweder in der Originalzählung gefunden und bei der Durchmusterung der jetzigen Auftragsnehmer nicht gefunden wurden und umgekehrt. Die Bestimmung der dominanten Taxa erfolgte in den beiden Bearbeitungen in gleicher Qualität, die Differenzen in den bestimmten Abundanzen sind im Rahmen der unter 3.1 vorgestellten Simulation und es wurden keine signifikante Unterschiede (s. 3.5) gefunden.

Es muss hier jedoch erwähnt werden, dass ein kompletter Satz von Original-Präparaten sich nicht für eine erneute Zählung von unserer Seite aus geeignet haben, nicht weil zu viele Lufteinschlüsse im Naphrax vorhanden waren (das ist nicht immer auszuschließen und kann unter dem Mikroskop „umschiff“ werden), sondern weil die Anzahl der Diatomeen im Präparat äußerst gering war und diese wegen ungewöhnlicher Dicke der Einschlussmedienschicht auf unterschiedlichen Fokussierungsebenen lagen.

4.3. Vorstellung der untersuchten Seen

Im Rahmen der Beprobung wurden abweichend vom Leistungsverzeichnis fünf statt drei Seen beprobt bzw. 75 Proben anstelle von 50 den Gewässern entnommen. Von den 75 Proben wurden 60 für diesen Bericht herangezogen. Von 7 Proben wurden jeweils zwei Präparate erstellt, so dass insgesamt 67 ausgewertete Proben hier vorliegen. Die Probenahmestellen orientieren sich an dem Messstellensystem des LLUR und wurden unter Verwendung der vorgegebenen Koordinaten aufgesucht. Die grundlegenden Gewässerparameter (Fläche, Tiefe, Nährstoffbelastung, Makrophytenbewuchs, u.s.w.) sind vorangegangenen Berichten der unterschiedlichen bearbeitenden Büros zu entnehmen. In die Auswertung bezüglich TI_{Nord} und RAQ werden nur benthische Taxa eingezogen, jedoch wurden bei der Auswertung der Proben auch planktische Taxa mit erfasst, um Rückschlüsse auf das planktische Arteninventar und somit die Wasserqualität ziehen zu können. Im Folgenden werden die Proben mit ihren dominanten Taxa und den resultierenden RAQ Werten erläutert. Vollständige Taxalisten befinden sich im Anhang, ebenso Kartenmaterial, aus denen die Lage der Stellen, sowie deren Bezeichnung hervorgehen.

4.3.1. Herstellung, Bewertung von Mischproben

Für den RAQ ist es unerheblich wie eine Mischprobe erstellt wird, da nicht die Abundanz einer Art für die Berechnung ausschlaggebend ist, sondern nur, ob ein Taxon gefunden wurde oder nicht. Demzufolge wird im folgenden unter einer Mischprobe an einer Messtelle das gesamte gefundene Arteninventar verstanden, unter der Annahme, dass die Arten, die in den Einzelproben gefunden wurden, in einer entsprechenden Mischung der Proben ebenfalls noch gefunden werden können (siehe hierzu aber auch 3.3, sowie 5.2). Die Anzahl gefundener Taxa ist hier sehr hoch, da wie unter 2.3 beschrieben, in jeder Probe 100 Gesichtsfelder durchgemustert wurden um die Anzahl vorhandener Taxa möglichst genau zu ermitteln. Der in der Abbildung 7 dargestellte Zusammenhang zwischen Anzahl gezählter Schalen und gefundener Anzahl von Taxa lässt erkennen, dass für eine vollständige Erfassung der

Gesamtartenzahl (1.) die 100 durchgemusterten Gesichtsfelder noch nicht ausreichen, da die Kurven nicht die Steigung Null erreichen, und dass (2.) 500 gezählte Schalenhälften deutlich zu wenig sind. Die mittlere Differenz zwischen der Anzahl gefundener Taxa nach 500 gezählten Schalen und 100 gemusterten Gesichtsfeldern beträgt 12.5 (Maximum 37) und ist signifikant mit $p < 0.01$ (gepaarter Stichprobentest).

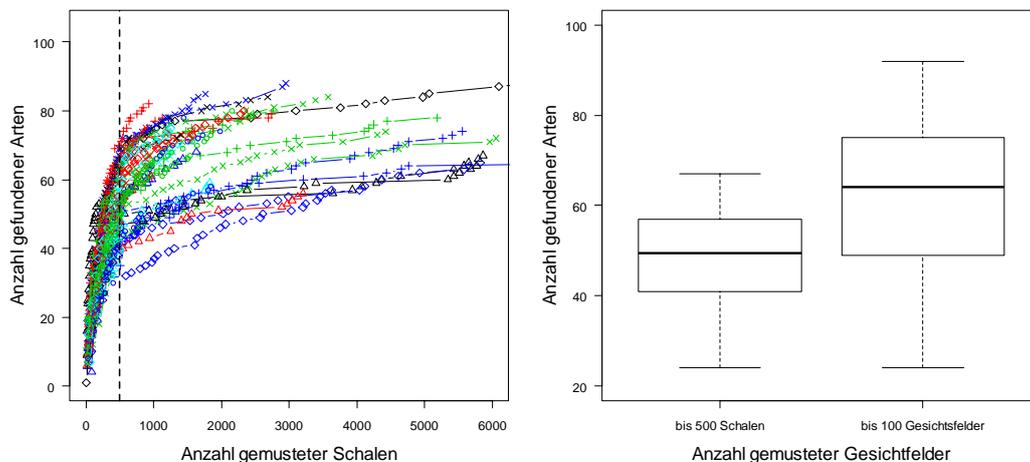


Abbildung 7: Anzahl gefundener Taxa in Abhängigkeit zum Aufwand der Probenbearbeitung.

4.3.2. Schluensee

Der Schluensee liegt nördlich von Plön an der Bundesstraße 430 (54.1873° n. B., 10.4665° ö. L.) und ist dem Seentyp 13 zugeordnet. Nach Hofmann (2004) ist der See bezüglich seiner Litoraldiatomeen zwischen mesotroph bis polytroph einzuordnen. Es wurde hier an 5 Stellen Proben entnommen, von denen 4 hier vorgestellt werden sollen. Der See wird von einem privaten Angelverein unterhalten, mit vielen Reusen entlang der Uferzone. Die Westseite dient als Rinderweide.

Stelle 2010_1

Neben einer Probe vom Sediment (Sand/Kies in 0.5 m Tiefe) wurde hier eine Probe von Schilfhalmern (abgestorbene, keine frischen) und eine von großen Steinen gewonnen. Zum Zeitpunkt der Probennahme stand ein starker Westwind genau auf der Probenstelle, das

Wasser war sehr aufgewühlt. Die Stelle selber liegt an einer Halbinsel im See, die unter Naturschutz steht, da hier sich ein Greifvogelhorst befindet.

In der Sedimentprobe wurden 30 Taxa gefunden darunter *Cocconeis neothumensis* (45.2%) *Amphora pediculus* (26.7%) *Epithemia turgida* (5.2%) *Amphora inariensis* (4.2%). Die Anzahl der RAQ Indikatorarten liegt mit 10 (8 C Arten und 2 A Arten) unter der geforderten Mindestanzahl, in der Berechnung ergibt sich ein RAQ von -0.6)

In der Schilfprobe wurden 64 Taxa gefunden mit den dominanten Taxa *Navicula cryptotenella* (14.3%), *Encyonopsis subminuta* (14.1%) *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (11.8%) *Epithemia sorex* (11.5%) *Nitzschia palea* (6.8%) *Fragilaria capucina* var. *perminuta* (4.2%). Es befanden sich darunter 12 C Taxa und 6 A Taxa was für diese Probe einen RAQ von -0.33 ergibt.

In der Steinprobe wurden 72 Taxa gefunden. *Epithemia sorex* (10.8%), *Navicula cryptotenella* (9.8%), *Nitzschia palea* (9.5%), *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (8.7%) und *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (8.2%) waren die dominanten Arten. Es waren unter den gefundenen Taxa 21 C Taxa und 4 A Taxa so dass sich für diese Probe ein RAQ von -0.68 ergibt.

Eine Mischprobe aus Sediment und Stein, also den beiden Hartsubstraten, würde 23 C Taxa und 5 A Taxa enthalten, welches einen RAQ von -0.64 ergibt. Nimmt man die Schilfprobe noch hinzu, so werden 24 C Taxa und 8 A Taxa gefunden, welches einen RAQ Wert von -0.5 ergibt.

Neben den benthischen Taxa wurden auch folgende planktische Taxa gefunden: *Stephanodiscus minutulus*, *Cyclotella radiosa*, *Stephanodiscus alpinus*.

Stelle 2010_3

Hier wurde neben einer Sedimentprobe (Blaualgenmatten) auch eine Schilfprobe gewonnen. Die Stelle liegt am Fuße eines steilen Hanges mit Viehhaltung sowie in unmittelbarer Nähe zu einer Viehtränke.

In der Sedimentprobe wurden 74 Taxa gefunden mit den dominanten Taxa *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (16.8%), *Nitzschia palea* (11.2%), *Encyonopsis subminuta* (10.5%), *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (8.8%) und *Fragilaria pinnata* var. *pinnata* (5.3%). Aus den 28 gefundenen C Taxa und den 3 gefundenen A Taxa ergibt sich ein RAQ Wert für diese Probe von -0.81.

In der Schilfprobe wurden mit 33 Taxa deutlich weniger Taxa gefunden als in der Sedimentprobe. Dominante Taxa waren *Nitzschia palea* (24.9%), *Encyonopsis subminuta*

(17.6%), *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (9.5%), *Navicula cryptotenella* (8.8%) und *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (7.7%). Aus 13 gefundenen C Taxa und 3 gefundenen A Taxa resultiert ein RAQ von -0.63.

Werden beide Proben gemischt und alle Taxa beider Proben in der mikroskopischen Zählung gefunden, so stehen 28 C Taxa gegenüber 4 A Taxa, welches einen RAQ Wert von -0.75 ergibt.

Stelle 2010_4

Hier wurde ebenfalls der Aufwuchs auf dem Sand/Feinen Kies und alten abgestorbenen Schilfhalmern untersucht.

In der Sedimentprobe wurden 77 Taxa gefunden, davon dominant waren *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*, *Navicula cryptotenelloides*, *Nitzschia palea*, *Fragilaria pinnata* var. *pinnata* und *Fragilaria brevistriata*. Auffällig an dieser Probe war ein hoher Anteil planktischer Schalen des Taxons *Stephanodiscus minutulus*, welche ca. ein Drittel aller Schalenhälften ausgemacht haben. Mit 28 C Taxa und 4 A Taxa ergibt sich ein RAQ von -0.75 für diese Probe.

In der Schilfprobe wurden 76 Taxa gefunden mit den dominanten Taxa *Nitzschia palea* (22.5%), *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (14.8%), *Encyonopsis subminuta* (13.9%) und *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (5.2%). Aus den 26 gefundenen C Taxa und 7 gefundenen A Taxa ergibt sich ein RAQ Wert von -0.58.

In der Schilfprobe sind 21 Taxa die nicht im Sediment gefunden wurden und in der Sedimentprobe sind 23 Taxa die nicht in der Schilfprobe gefunden wurden. Insgesamt wurden 100 Taxa gefunden.

Werden beide Proben gemischt und alle Taxa beider Proben anschließend im Dauerpräparat gefunden, so ergibt sich ein RAQ Wert von -0.64 bei 32 gefundenen C und 7 gefundenen A Taxa.

Stelle 2010_5

Neben einer Probe vom Sediment (Sand in 0.5-0.75 m Tiefe) wurde hier eine Probe von Schilfhalmern (abgestorbene, keine frischen) und eine von totem Holz gewonnen.

In der Sedimentprobe wurden 58 Taxa bestimmt darunter die dominanten benthischen Taxa *Cocconeis neothumensis* (29.5%) *Amphora inariensis* (13.8%), *Achnanthes clevei* var. *rostrata* (13.3%), *Fragilaria pinnata* var. *pinnata* (10.2%), *Amphora indistincta* (5.3 %) und *Cocconeis neodiminuta* (4.5 %). Neben den benthischen Taxa wurden auch im geringen Teil

planktische Taxa gefunden (*Stephanodiscus neoastraea*, *S. minutulus*, *S. alpinus*, sowie *Cyclotella radiosa* und *C. comensis*). Es befanden sich innerhalb der Probe 21 C Arten und 1 A Art womit der RAQ für diese Probe mit -0.91 angegeben werden kann.

In der Schilfprobe wurden 43 Taxa gefunden, darunter die dominanten benthischen Taxa *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (37.8%), *Epithemia sorex* (11%), *Rhopalodia gibba* (7.4%), *Epithemia turgida* (5.1), *Gomphonema pumilum* (4.8%) und *Nitzschia fonticola* (3.7%). Es befanden sich innerhalb der Probe 14 C Arten und 4 A Art womit der RAQ für diese Probe mit -0.56 angegeben werden kann.

In der Holzprobe wurden 37 Taxa gefunden, dominant waren hier *Epithemia sorex* (45.5%), *Rhopalodia gibba* (22.3%), *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (5.7%), *Encyonopsis subminuta* (3.8%) und *Epithemia turgida* (3.5%). Hierunter befanden sich 8 C Taxa und 4 A Taxa welches einen RAQ von -0.45 ergibt.

Von den insgesamt 90 hier gefundenen Taxa kamen 33 nur im Sediment vor, 13 Taxa alleine auf dem Schilf und 8 Taxa nur auf dem Holz

Erstellt man eine Mischprobe von Schilf und Sediment erhält man, unter der Voraussetzung dass alle Taxa gefunden werden (s. 3.3 und 4.5), einen RAQ-Wert von -0.77, für eine Mischprobe aus Sediment und Holz einen RAQ von -0.78 und bei einer Mischprobe aus allen drei Substraten einen RAQ Wert von -0.73.

4.3.3. Selenter See

Der Selenter See (54.305312° n.B., 10.446113° ö.L.) ist das größte hier untersuchte Gewässer mit deutlich heterogenen Uferregionen, nach der Seetypisierung der LAWA ebenfalls ein Typ 13 See. Bei der Befahrung des Sees überraschte den Probenehmer die Lage der vorhandenen Messstellen, die mitunter als nicht repräsentativ angesehen wurden. So liegt die Stelle 129927 direkt an einem ca. 100 m langen Badestrand unterhalb einer Autoraststätte. Östlich dieser Stelle liegen über eine sehr weite Strecke Buchwälder, westlich ausgedehnte Schilfgürtel. Die Stelle 129929 liegt an einem ca. 150-200m langen Streifen, der durch Buchenwald geprägt ist, ohne Schilfbestand und mit großen Steinen im Wasser. Westlich dieser Stelle erstrecken sich bis zur Messstelle 129924 bzw. östlich bis zur Stelle 129930 ausgedehnte Schilfgürtel mit sandigem Untergrund und vorgelagerten Makrophyten, so dass auch diese Stelle nicht als repräsentativ für diesen Abschnitt des Sees angesehen werden kann

Es ergab sich insgesamt der Eindruck, dass hier die Stellen eher nach Erreichbarkeit vom Land als nach der Repräsentanz für das Gewässer ausgesucht worden sind.

Die Stellen 129927 sowie 129924 wurden zwar im Rahmen dieser Arbeit beprobt, sind jedoch hinsichtlich der Fragestellung uninteressant, da es hier nur Sediment (Sand) zu beproben gab. Auf eine Vorstellung dieser Proben wird hier verzichtet.

Stelle 129925

In der Sedimentprobe wurden 65 Taxa gefunden mit den dominanten Taxa *Amphora inariensis* (21.5%), *Cocconeis neothumensis* (18.2%), *Fragilaria brevistriata* (16.2%), *F. pinnata* var. *pinnata* (6.9%) und *A. pediculus* (6.3%). Aus 24 gefundene C Taxa und 4 A Taxa errechnet sich ein RAQ von -0.71. Bei einem zweiten Präparat der gleichen Probe wurden andere Dominanzen erfasst: *Fragilaria brevistriata* (18.4%), *Cocconeis neothumensis* (17.8%), *Amphora inariensis* (16.2%) und *A. pediculus* (10.0%). Bei 29 gefundenen C Taxa und 5 gefundenen A Taxa ist der RAQ mit -0.71 jedoch gleich.

In der Schilfprobe wurden 77 Taxa gefunden, *Fragilaria capucina* var. *rumpens* (22.3%), *F. capucina* var. *perminuta* (14.8%), *F. capucina* var. *vaucheriae* (7.6%), *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (5.6%) und *F. brevistriata* (5.1%) waren die häufigsten. Bei 25 gefundenen C und 6 gefundenen A Taxa ergibt sich ein RAQ von -0.61.

Auf einem weiteren beprobten Makrophyten (Tausendblatt) wurden 41 Taxa gefunden (*Fragilaria capucina* var. *perminuta* (33.1%), *F. capucina* var. *gracilis* (9.6%) und *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (4.8%)). Der errechnete RAQ unter Berücksichtigung der gefundenen C und A Taxa (16/3) beläuft sich auf -0.68.

Wird das Sediment (Probe I und II getrennt) mit der Probe vom Schilf vermischt, so können in der Mischprobe 36 (31) C Taxa und 7 (8) A Taxa gefunden werden, welches einen RAQ von -0.67 (-0.59) ergibt. Wird ebenfalls noch die Makrophytenprobe mit hinzugenommen, so sind in dieser Mischprobe 37 (33) C und 8 (9) A Taxa woraus ein RAQ von -0.63 (-0.57) folgt.

In der Summe wurden 122 Taxa gefunden, wobei 15 (mit 5 Indikatorarten) nur auf dem Schilf vorgekommen sind.

Stelle 12922

Diese Stelle ist sehr windexponiert und neben größeren Steinen und Schilf wurde der Aufwuchs auf dem Sand zwischen den Steinen beprobt.

In der Sedimentprobe wurden 52 Taxa gefunden, mit *Amphora pediculus* (46.1%), *A. inariensis* (11.6%), *Cocconeis neothumensis* (6.7%), *Fragilaria brevistriata* (3.8%) als häufigste Taxa. Mit 15 C Taxa und 4 A Taxa ergibt sich ein RAQ von -0.58 für diese Probe.

Im Steinaufwuchs wurden 50 Taxa gefunden darunter *Amphora pediculus* (45.2%), *Epithemia sorex* (5.9%), *A. inariensis* (4.4%), und *Fragilaria capucina* var. *perminuta* (3.5%). Der RAQ mit -0.8 (18 C Taxa / 2 A Taxa) ist deutlich schlechter als der für das Sediment.

Auf dem Schilf wurden 66 Taxa gefunden. Die dominantesten waren *Fragilaria capucina* var. *perminuta* (31.4%), *F. capucina* var. *vaucheriae* (8.0%), *Epithemia sorex* (7.5%), *Encyonema cespitosum* (5.9%) und *Nitzschia palea* (5.6%). Es wurden 21 C Taxa und 4 A Taxa gefunden, woraus sich ein RAQ von -0.68 ergibt.

Mischt man die Sedimentprobe mit der Schilfprobe und erfasst alle Taxa so ergibt sich aus 24 C Taxa und 5 A Taxa ein RAQ von -0.66. Für ein Gemisch aus der Sediment mit der Steinprobe ergibt sich ein RAQ von -0.68 (21 C Taxa und 4 A Taxa). Werden alle drei Proben miteinander vermischt, so lassen sich theoretisch 28 C Taxa und 5 A Taxa mit einem RAQ von -0.7 finden.

4.3.4. Stocksee

Der Stocksee liegt im Südwesten des Groß Plöner Sees (54.086793° n. B., 10.349938° ö. L.) verfügt über mehrere kleine Inseln sowie eine große Halbinsel. Der Südosten des Sees steht unter Naturschutz.

Stelle 130374

Die Stelle liegt im Bereich des Dorfes Stocksee am westlichen Ufer. Die Proben, die an dieser Stelle von den Makrophyten gewonnen wurden enthielten nicht ausreichend Schalen für eine Zählung.

In der Sedimentprobe wurden 87 Taxa gefunden, darunter die dominanten Taxa *Achnanthes clevei* var. *rostrata* (12.5%), *Cocconeis neothumensis* (11.2%), *Fragilaria brevistriata* (8.4%) *Amphora indistincta* (7.3%), *A. inariensis* (7.0%), *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (5.9%) und *A. clevei* var. *clevei* (4.3%). Die Probe enthielt 29 C Taxa und 5 A Taxa woraus sich ein RAQ von -0.71 ergibt.

In der Schilfprobe wurden 49 Taxa gefunden, davon 12, die nicht in der Sedimentprobe zu finden waren. Dominante Taxa waren *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (21.9%), *Cocconeis pediculus* (19.0%), *Gomphonema pumilum* (14.4%), *Fragilaria capucina* var. *perminuta* (4.4%). Mit 16 C Taxa und 3 A Taxa ergibt sich ein RAQ von -0.68.

Werden beide Proben gemischt so ergibt sich eine theoretische Anzahl von 33 C Taxa und 6 A Taxa mit einem RAQ von -0.69.

Stelle 130078

An dieser Stelle wurde Sediment und totes Holz beprobt. Von der Holzprobe wurden zwei getrennte Präparate erstellt.

In der Sedimentprobe wurden 43 Taxa erfasst davon waren *Cocconeis neothumensis* (33.0%), *Amphora pediculus* (16.6%), *Achnanthes clevei* var. *rostrata* (9.7%), *Amphora inariensis* (4.7%) und *Achnanthes clevei* var. *clevei* (4.2%) die dominanten Taxa. Es wurden 15 C und 4 A Taxa gefunden woraus sich ein RAQ von -0.58 ergibt.

In den 2 Präparaten der Holzprobe wurden 83 (73) Taxa gefunden, dabei waren die dominanten Taxa *Fragilaria capucina* var. *perminuta* (22.7% / 19.1%), *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (8.0% / 12.4%), *Diatoma ehrenbergii* (7.0% / 5.5%) und *D. moniliformis* (5.5% / 3.7%). Dabei wurden 14 Taxa des ersten Präparates der Holzprobe nicht im 2. Präparat gefunden und 24 Taxa des zweiten Präparates der Holzprobe nicht im ersten Präparat der Holzprobe. Für die Holzprobe ergibt sich ein RAQ von -0.77 (-0.63) bei 23 (27) C Taxa und 3 (6) A Taxa.

Eine Mischprobe unter Einbeziehung aller Taxa der Holzprobe (erstes und zweites Präparat) würde über 105 Taxa besitzen und hätte mit 33 C Taxa und 9 A Taxa einen RAQ von -0.59. (Mischprobe aus den einzelnen Holzproben-Präparaten: 28 (32) C und 7 (9) A Taxa ergibt einen RAQ von -0.6 (-0.56).)

Stelle 130370

Der Uferbereich dieser Stelle ist durch einen schmalen Gürtel aus Erlen / Weiden gekennzeichnet mit anschließender Rinderweide, sowie einer Tränke. Es wurden hier drei Substrate beprobt, Sand, Schilf und ein weiterer Makrophyt. Von der Schilfprobe wurden zwei Präparate angefertigt und ausgewertet.

Die Sedimentprobe enthielt 36 Taxa mit den dominanten Taxa *Amphora pediculus* (33.5%), *Navicula cryptotenella* (7.6%), *Fragilaria pinnata* var. *pinnata* (7.0%), *Navicula cari* (5.9%) und *Nitzschia palea* (5.4%). Aus 12 C Taxa und 3 A Taxa ergibt sich hier ein RAQ von -0.6.

In der Schilfprobe wurden 68 (74) Taxa gefunden, darunter *Fragilaria capucina* var. *mesolepta* (69.0% / 60.1%), *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (9.4% / 12.3%) und *Nitzschia palea* (3.5% / 0.6%). Die Probe enthielt 19 (20) C Taxa bzw. 6 (8) A Taxa woraus sich ein RAQ von -0.52 (-0.43) für diese Probe ergibt. 25 Taxa des ersten Präparates der Schilfprobe wurden nicht im zweiten Präparat gefunden und 29 Taxa des zweiten Präparates nicht im ersten.

In der Probe von dem Makrophytenaufwuchs wurden 52 Taxa gefunden, u.a. *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (29.8%), *Gomphonema pumilum* (26.5%), *Cocconeis pediculus* (6.1%), *C. neothumensis* (4.0). Aus 15 C Taxa und 5 A Taxa errechnet sich ein RAQ von -0.5. Eine Mischprobe aus Schilf und Sand enthält insgesamt 106 Taxa, davon 32 C Taxa und 9 A Taxa (RAQ = -0.56). Eine Mischprobe aus Makrophyten und Sand enthält 71 Taxa (22 C Taxa, 6 A Taxa, RAQ = -0.57) und eine Mischprobe aus allen Substraten 116 Taxa (36 C Taxa, 10 A Taxa, RAQ = -0.57).

Stelle 130368

An dieser Stelle ist das Ufer von einem dichten Buchenwald bestanden. Es wurden Proben von Sand, Steinen sowie zwei weiteren Makrophyten entnommen. Von einer Makrophytenprobe wurden zwei Präparate hergestellt.

In der Sedimentprobe (Sand) wurden 82 Taxa bestimmt, darunter *Amphora pediculus* (23.2%), *Cocconeis neothumensis* (8.0%), *A. inariensis* (5.8%) und *C. neodiminuta* (5.3). Mit 29 gefundenen C Taxa und 6 gefundenen A Taxa ergibt sich ein RAQ von -0.66.

In der Steinprobe wurden 72 Taxa gefunden, darunter *Diatoma ehrenbergii* (34.9%), *Amphora pediculus* (11%), *Navicula cryptotenella* (6.8%) und *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (4.2%). Es befanden sich in der Probe 24 C Taxa und 5 A Taxa und es ergibt sich somit ein RAQ von -0.66.

In der ersten Makrophytenprobe wurden 74 Taxa gefunden, mit den dominanten Taxa *Diatoma ehrenbergii* (27.1%), *Epithemia sorex* (5.8%), *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (5.7%), *Gomphonema pumilum* (5.0%). Davon konnten 22 der Gruppe der C Taxa und 6 der Gruppe der A Taxa zugeordnet werden, woraus ein RAQ von -0.57 resultiert. In der zweiten Makrophytenprobe wurden 72 (75) Taxa gefunden mit im Vergleich zur ersten Probe unterschiedlichen dominanten Taxa: *Cocconeis placentula* var. *placentula* (14.7% / 11.9%), *Gomphonema pumilum* (6.4% / 10.6%), *Fragilaria capucina* var. *perminuta* (4.6% / 5.8%), *Fragilaria capucina* var. *mesolepta* (3.7% / 4.4%). Aus den gefundenen 20 C und 4 A Taxa ergibt sich ein RAQ von -0.67 (-0.74).

Für die Mischprobe aus Stein und Sand ergibt sich ein RAQ von -0.66 (34 C Taxa / 7 A Taxa) und für eine Mischprobe aus allen Proben ein RAQ von -0.7 (45 / 8).

4.3.5. Suhrer See

Der Suhrer See (54.152 ° n.B.; 10.478 ° ö.L.) liegt direkt nördlich des Plöner Sees, ist im Osten von dichtem Wald bestanden, im Südwesten steht eine Neubausiedlung im Norden eine Rinderweide, bzw. ein Gutshof. Im Süden verläuft die Bundesstraße B76 mit einem Randstreifen von 5 bis 10 m an dem See.

Stelle 130315

Diese Messstelle liegt unmittelbar unterhalb der B 76 und ist gekennzeichnet durch sehr fest gepackte große Steine. Neben den Steinen wurde totes Holz und Makrophyten beprobt.

Es wurden auf den Steinen insgesamt 50 Taxa gefunden, davon dominant die Taxa *Amphora pediculus*, *Navicula cryptotenella*, *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* und *Nitzschia palea*. Auffällig an dieser Stelle war der hohe Anteil von Schalen (60%) der planktischen Art *Cyclotella comensis* an der Gesamtanzahl von Schalen überhaupt. *C. comensis* ist typisch in Gewässern mit mesotrophen Bedingungen. Es wurden 17 C Taxa und 4 A Taxa gefunden, woraus sich ein RAQ von -0.62 ergibt.

Auf dem Holz wurden 38 Taxa gefunden (dominante Taxa: *Achnanthes minutissima* var. *minutissima*, *Encyonopsis subminuta*, *Nitzschia palea*, *Cocconeis pediculus*) mit 10 C Taxa und 4 A Taxa (RAQ = -0.43). Der Anteil planktischer Schalen (wiederum *Cyclotella comensis* lag hier bei 30%)

Auf dem Makrophyten wurden 47 Taxa gefunden (*Achnanthes minutissima* var. *minutissima*, *Encyonopsis subminuta*, *Gomphonema pumilum*, *Cocconeis placentula* var. *placentula*) mit 15 C Taxa und 3 A Taxa (RAQ = -0.66).

Eine Mischprobe aus den Substraten Stein und Holz enthält 18 C Taxa und 6 A Taxa (RAQ = -0.5) und eine Mischprobe aus allen drei Substraten enthält 27 C Taxa und 6 A Taxa (RAQ = -0.57).

Stelle 130314

Auch hier war als Substrat nur Stein und totes Holz verfügbar. Der Anteil planktischer Schalen war hier geringer als bei der Stelle 130315, jedoch auch hier wurde *Cyclotella comensis* auf beiden Substraten mit einem Anteil von 10-15% aller Schalen gefunden.

Auf den Steinen wurden 51 Taxa gefunden (*Cocconeis neothumensis* (15.7%), *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (12.1%), *Amphora pediculus* (9.7%) und *Achnanthes clevei* var. *clevei* (8.0%)) mit 14 C Taxa und 7 A Taxa (RAQ = -0.34).

Auf dem Holz wurden 54 Taxa gefunden (*Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (24.7%), *Encyonopsis subminuta* (5.8%), *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (5.8%), *F. capucina* var. *mesolepta* (5.5%)). Mit 16 C Taxa und 5 A Taxa ergibt sich ein RAQ von -0.52.

Eine Mischprobe aus beiden Substraten enthält 72 Taxa, davon 24 C Taxa und 8 A Taxa (RAQ = -0.5).

Stelle 129952

Die Stelle liegt unterhalb einer Viehweide mit Tränke, ist von Schilf und Makrophyten bestanden und relativ windgeschützt.

Im Sediment wurden 47 Taxa gefunden (*Cocconeis neothumensis* (38.3%), *Amphora pediculus* (23.5%), *Achnanthes clevei* var. *clevei* (8.3%), *A. clevei* var. *rostrata* (5.3%) und *Amphora inariensis* (4.2%)) mit 9 C Taxa und 4 A Taxa ergibt sich ein RAQ von -0.38. Die relative Häufigkeit aller A Taxa zusammen ergibt einen Wert von <2%, die der C Taxa einen Wert von über 40%

In der Schilfprobe wurden 47 Taxa gefunden (lediglich 16 Taxa die auch im Sediment gefunden wurden), von denen *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (32.8%), *Encyonopsis subminuta* (14.5%), *Navicula cryptotenella* (9.2%), *Amphora pediculus* (5.8%) und *Cocconeis neothumensis* (3.9%) die häufigsten waren. Mit 17 C Taxa und 4 A Taxa ergibt sich ein RAQ von -0.62.

In der Makrophytenprobe wurden 79 Taxa gefunden (*Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (31.7%), *Encyonopsis subminuta* (16.4%), *Gomphonema pumilum* (5.8%), *Amphora indistincta* (4.8%)). Mit 23 C Taxa und 6 A Taxa berechnet sich ein RAQ Wert von -0.59.

In allen Proben konnten planktische Taxa nachgewiesen werden (*Cyclotella comensis*, *C. ocellata*, *C. radiosa*), dabei war *C. comensis* die einzige, die in allen drei Proben mit einem Anteil zwischen 1 bis 4 % aller gezählten Schalen vorkam.

Bei einer potentiellen Mischprobe aus Sediment und Schilf könnten 22 C Taxa und 7 A Taxa gefunden werden woraus ein RAQ von -0.52 resultieren würde. Aus einer Mischprobe von allen drei Substraten ergäbe sich ein RAQ von -0.52 (32 C Taxa und 10 A Taxa)

Stelle 129951

An dieser Messstelle war das Ufer von einem geschlossenen Buchenwald bestanden.

In der Sedimentprobe (Sand) wurden 64 Taxa gefunden (*Cocconeis neothumensis* (33.8%), *Achnanthes clevei* var. *rostrata* (14.1%), *Amphora inariensis* (12.8%)) davon 22 C Taxa und 5 A Taxa (RAQ = -0.68).

In dem Aufwuchs auf Steinen wurden 74 Taxa gefunden (*Cocconeis neothumensis* (11.5%), *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (11.0%), *Amphora inariensis* (6.4%), *A. indistincta* (6.1%), *Achnanthes clevei* var. *rostrata* (5.3%)) mit 27 C Taxa und 5 A Taxa (RAQ = -0.69).

In der Holzprobe wurden 87 Taxa gefunden (*Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (12.8%), *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (12.6%), *Encyonopsis subminuta* (11.9%), *Epithemia sorex* (6.8%)) mit 31 C Taxa und 5 A Taxa (RAQ = -0.72).

In allen drei Proben wurde *Cyclotella comensis* mit einem Anteil von ~10% der gezählten Schalen erfasst.

Eine Mischprobe aus allen drei Substraten enthält 121 Taxa davon 40 C Taxa und 8 A Taxa (RAQ = -0.67)

Stelle 129953

An dieser Messstelle wurden nur zwei Substrate beprobt: Schilf und Sediment (Sand). Von der Sedimentprobe wurden zwei Präparate erstellt und getrennt ausgewertet.

In der Sedimentprobe wurden 54 (57) Taxa gezählt mit deutlich dominanten Taxa (*Cocconeis neothumensis* (56.9% / 54.6%), *Amphora indistincta* (6.4% / 5.7%), *A. inariensis* (3.8% / 6.9%), *Achnanthes oestrupii* var. *oestrupii* (3.6% / 2.7%)). Dabei wurden 15 (14) C Taxa und 4 (5) A Taxa (RAQ = -0.58 (-0.47)) ermittelt. In dem zweiten Präparat wurden 26 Taxa gefunden, die nicht im ersten Präparat gefunden wurden. Nach Tabelle 2 wäre die Sedimentprobe aufgrund des ersten Präparates als „unbefriedigend“ charakterisiert worden, nach dem zweiten Präparat als „mäßig“.

In der Schilfprobe wurden 55 Taxa gefunden (*Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (21.4%), *Fragilaria capucina* var. *mesolepta* (6.9%), *Gomphonema pumilum* (6.6%), *Encyonopsis subminuta* (5.2%)), davon 18 C Taxa und 6 A Taxa (RAQ = -0.42).

In allen drei Proben wurde wiederum *Cyclotella comensis* mit einem Anteil von ~10% gezählt.

Für eine Mischprobe aus der Sediment- und Schilfprobe ergibt sich eine Anzahl von 27 (28) C Taxa und 9 (8) A Taxa mit einem RAQ von -0.5 (-0.56).

4.3.6. Schöhsee

Der Schöhsee liegt ebenfalls im Norden des Großen Plöner Sees (54.166° n.B, 10.441° ö.L). Im Süden grenzt eine Kleingartenkolonie an das Ufer, im Westen wurde ein Bahndamm nach dem Krieg aufgeschüttet, so dass hier ein sehr starkes Gefälle vorliegt. Im Nordwesten, Norden und Nordosten grenzen Weiden (Schafe und Rinder) unmittelbar an den See.

Stelle 129910

An dieser Stelle mündet ein Regenwasserrohr in den See und ein Bahndamm ist künstlich aufgeschüttet worden.

In der Sedimentprobe wurden 30 Taxa gefunden (*Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (12.9%), *Achnanthes clevei* var. *rostrata* (12.4%), *Amphora indistincta* (11.7%), *Navicula cryptotenella* (5.6%)) mit 8 C Taxa und 1 A Taxon (*A. minutissima* var. *minutissima*). Daraus errechnet sich für diese Probe ein RAQ von -0.78. *Stephanodiscus minutulus* stellte hier 25% aller Schalen.

In der Holzprobe wurden 59 Taxa gefunden (*Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (17.2%), *Nitzschia palea* (11.1%), *Epithemia sorex* (8.5%), *Fragilaria capucina* var. *perminuta* (8.5%)) Aus den 18 C Taxa und 4 gefundenen A Taxa ergibt sich ein RAQ von -0.64.

In der Steinprobe (stark schattig) wurden 59 Taxa gefunden (*Amphora pediculus* (33.9%), *Nitzschia frustulum* (14.6%), *Nitzschia dissipata* (10.6%), *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (6.5%)). Darunter befanden sich 25 C Taxa und 2 A Taxa (RAQ = -0.85)

Eine Mischprobe aller drei Substrate umfasst 93 Taxa, davon 31 C Taxa und 4 A Taxa (RAQ = -0.77)

Stelle 129909

Diese Stelle liegt in einer ruhigen windgeschützten Bucht, die von Seerosen dominiert wird. Schilf fehlt hier. Es wurden drei Substrate beprobt.

In der Sedimentprobe befanden sich 34 Taxa (*Cocconeis placentula* var. *placentula* (15.8%), *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (14.4%), *Navicula cari* (10.7%), *Amphora pediculus* (9.3%), *Navicula cryptotenella* (9.3 %)), darunter 15 C Taxa und 1 A Taxa (*A. minutissima* var. *minutissima*) woraus ein RAQ von -0.88 folgt.

Im Bewuchs auf den Seerosen sind 24 Taxa gezählt worden (*Cocconeis placentula* var. *placentula* (57.8%), *Nitzschia palea* (6.0%), *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (5.4%), *Nitzschia fonticola* (3.6 %)) mit 6 C und 1 A Taxon (RAQ=-0.71).

In der Makrophytenprobe wurden 48 Taxa gefunden mit *Encyonopsis subminuta* (21.6%), *Cocconeis placentula* var. *placentula* (13%), *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (9.8%), *Nitzschia palea* (7.4%) und *Gomphonema pumilum* (6.6%) als dominante Taxa. Dabei wurden 17 C Taxa und 3 A Taxa gefunden (RAQ = -0.7).

Eine Mischprobe aus allen drei Substraten würde 65 Taxa enthalten mit 27 C Taxa und 3 A Taxa (RAQ = -0.8).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Anzahl indizierender Taxa mit der Hinzunahme weiterer auch nicht anorganischer Substrate deutlich steigt. Das Arteninventar innerhalb der einzelnen Substrate ist zwischen den Seen recht ähnlich, doch auch hier können je nach Lage (Schatten, Windexposition, Gewässertiefe) unterschiedliche Arten dominieren. Die Auffindung unterschiedlicher planktischer Taxa lässt ebenfalls Rückschlüsse auf die Wasserqualität zu. In Abbildung 8 ist ein Vergleich der Proben in einer multivariaten Darstellung gezeigt. Die Auftrennung der Sediment-Artenszusammensetzungen zu den übrigen ist deutlich zu erkennen (Substrat: $p < 0.01$, Gewässer: $p < 0.05$), wobei die Unterschiede zwischen den Substraten deutlicher sind als zwischen den Gewässern. Die Artengemeinschaften auf den Steinen ähneln denen des Sediments am deutlichsten, während Schilf, Holz und übrige Makrophyten sich nicht deutlich voneinander absetzen.

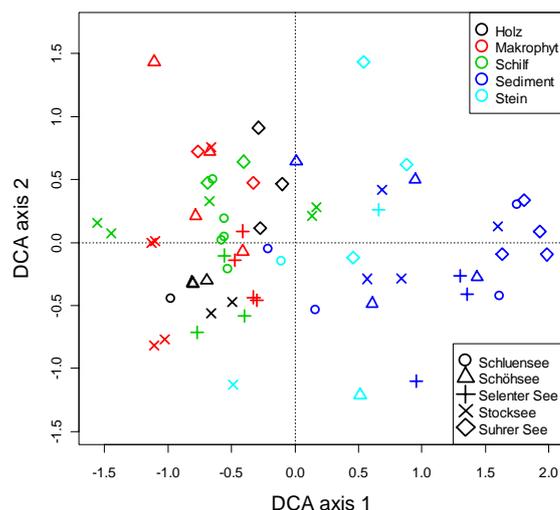


Abbildung 8: DCA Artenszusammensetzungen der unterschiedlichen Substrate (Farben) und untersuchten fünf Seen (Symbole)

4.4. Durchmusterung von 10 Sedimentkernproben hinsichtlich benthischer Diatomeentaxa

Bei der Durchmusterung der Kernproben des Einfelders Sees wurden neben den gezählten benthischen Diatomeen ebenfalls die planktischen Schalen gezählt. Die Schalen benthischer Arten stellen im Mittel aller 10 Proben weniger als 1% (0.5% bis 2%) der Anzahl aller vorhandenen Schalen, so dass ca. 400 Gesichtsfelder ausgewertet werden müssen, um im Schnitt 500 Schalen benthischer Arten zählen zu können. Die Verhältnisse der dominanten Taxa sind hierbei vergleichbar mit denen der Zählungen aller Schalen in vorangegangenem Projekt (Hübener et al. 2009). Die Ergebnisse der Zählungen befinden sich im Anhang.

4.5. Auswertung der Simulation

Wenn 500 Schalen pro Präparat ausgewertet werden liegt die Wahrscheinlichkeit ein Taxon mit einer relativen Häufigkeit von 0.2% (also eine Schale unter 500) nachzuweisen bei 60% (vgl. Algorithmus der Abbildung 2). D.h. wenn 10 Diatomologen das gleiche Präparat auswerten, finden 6 von ihnen dieses Taxon und 4 nicht. Hat ein Diatomologe dieses seltene Taxon gefunden, dann beträgt die Wahrscheinlichkeit das ein zweiter auch das Taxon findet 36% ($P(A \text{ und } B) = P(A) * P(B)$). Befinden sich zwei seltene Taxa in einer Probe, so ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Diatomologe diese beiden findet ungefähr 40%, dass zwei Diatomologen beide Taxa gleichzeitig finden beträgt 16%.

Der Anteil seltener Arten (rel. Häufigkeit < 0.2%) liegt bei den hier vorliegenden Proben mit 40-50% sehr hoch, d.h. die hier beschriebene Problematik der geringen Auffindwahrscheinlichkeit bezieht sich nicht nur auf 2 Taxa sondern im Schnitt auf 30-40 Taxa innerhalb eines Präparates. Bereits bei 5 seltenen Taxa ist die Wahrscheinlichkeit, dass zwei unterschiedliche Bearbeiter jeweils alle 5 finden unter 1 %.

In der Probe 2010_4_Schilf haben die dortigen A Taxa (*Rhopalodia gibba*, *Navicula vulpina*, *Gomphonema dichotomum*, *Cymbella cymbiformis*, *Achnanthes minutissima*) z.T. sehr geringe relative Häufigkeiten, so dass ihr Auffinden bei 500 oder auch 1000 gezählten Schalen sehr gering ist (rel. Häufigkeiten der Taxa: 0.077, 0.037, 3.756, 0.171, 0.683). Auch für die C Taxa gilt natürlich, dass einzelne Taxa nur mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit gefunden werden. Daraus resultiert eine Unschärfe für den RAQ, d.h. die gefundenen Arten eines Diatomologen hängen nicht nur von dessen Artenkenntnis und Qualität der Bestimmung ab, sondern sind ein Zufallsprodukt in Abhängigkeit zu der Anzahl ausgewerteter Gesichtsfelder.

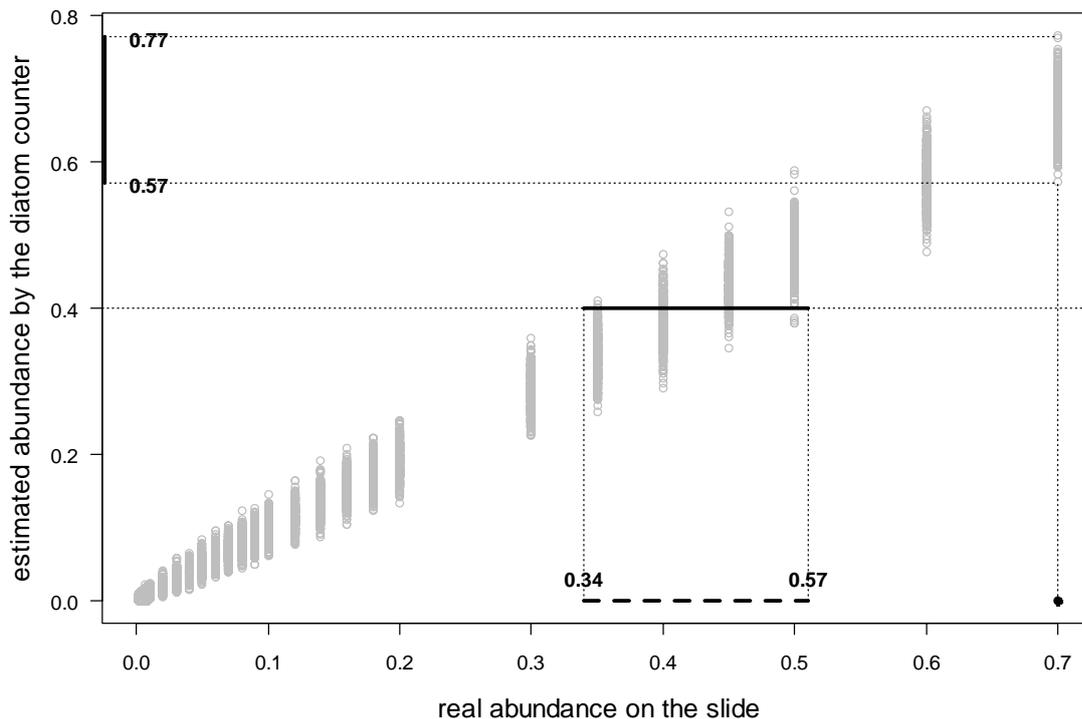


Abbildung 9: Ergebnisse zur Simulation einer Präparatezählung (1000 x): Z.B. wird eine reale rel. Häufigkeit von 70 % bei 1000 Zählungen zwischen 57 – 77 % erkannt. Umgekehrt wird deutlich, dass eine Zählung von 40 % einer realen Häufigkeit von 34 – 57 % entsprechen kann.

Neben der Auffindwahrscheinlichkeit eines Taxons lässt sich auch die Genauigkeit der erfassten relativen Häufigkeiten eines Taxons mit dem beschriebenen Algorithmus erfassen. In Abbildung 9 ist die ermittelte relative Häufigkeit einer Art in Abhängigkeit zu ihrer tatsächlichen relativen Häufigkeit in dem Präparat simuliert worden. Es ist z.B. zu erkennen, dass eine Art mit einer relativen Abundanz innerhalb des Präparates bei wiederholtem Zählen desselben Werte zwischen 57% und 77% durch einen potentiellen Diatomeenzähler zugeordnet bekommt. Andersherum, hat ein Diatomologe für ein Taxon eine relative Häufigkeit von 40% ermittelt, kann die tatsächliche relative Häufigkeit in dem Präparat zwischen 34% und 57% schwanken.

In Abbildung 10 ist die Unschärfe der durch mikroskopische Auswertung ermittelten RAQ basierend auf anschließend 1000 simulierten „Auswertungen“ jedes Präparats dargestellt. Unter der Annahme, dass die durch die Zählung von 100 Gesichtsfeldern ermittelten relativen Abundanzen dieser Studie richtig sind, verteilt der Computer zunächst die Arten zufällig auf dem Präparat entsprechend ihrer Verhältnisse zueinander und anschließend zählt der Computer jeweils 500 Schalen aus und bestimmt die Anteile der A zu C Taxa bzw. berechnet

jeweils den RAQ. Die Konfidenzintervalle des RAQ für die jeweilige Probe deckt dabei immer mindestens 2 ökologische Zustandsklassen eines Gewässers ab. Zufallsbedingt wird somit eine Stelle als gut, mäßig, unbefriedigten oder schlecht durch den RAQ eingeschätzt allein aufgrund der Tatsache, dass seltene Arten nur zufällig von dem jeweiligen Bearbeiter gefunden werden. Für 18 der 60 Proben (30% der Proben) gilt, dass die Box des Box-Whisker-Plots (die Box steht für 50% der berechneten Werte) genau auf der Trennungslinie zwischen der Zustandsklasse mäßig und unbefriedigend liegt. Somit sind diese Proben besonders von dieser Zufälligkeit betroffen.

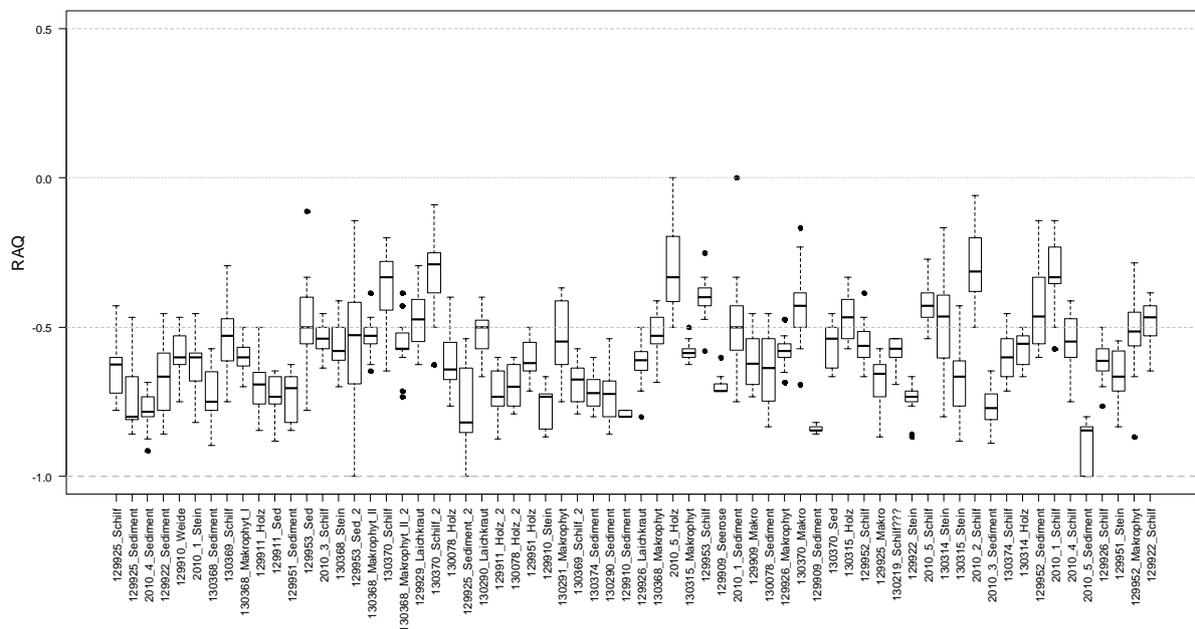


Abbildung 10: Ergebnis der Simulation von Probenauszählungen auf Grundlage der ermittelten relativen Häufigkeiten, aus jeweils 100 ausgewerteten Gesichtsfeldern. Die Boxplots repräsentieren den jeweils ermittelten RAQ. Die Streuung der RAQ Werte steht in einem direkten Zusammenhang mit der Anzahl gefundener Taxa. Anzahl der Simulationen =1000.

4.6. Substratspezifität und Mischproben

Bei der Anfertigung von Mischproben, ob im Labor oder im Gelände, ist es durch den Bearbeiter faktisch unmöglich sicherzustellen, dass der Anteil von Diatomeenschalen unterschiedlicher Substrate eines Standortes gleich groß ist. Für die Stelle 129925 (Selenter See) ergibt sich für die Sedimentprobe ein TI_{Nord} von 2.62 und für die Schilfprobe ein TI_{Nord} von 3.22. Werden beide Proben miteinander gemischt im Verhältnis 1:1 (hier nachträglich am

Computer simuliert) so ergibt sich für diese Mischprobe ein TI_{Nord} von 2.96. Wird das Mischungsverhältnis zu Gunsten der Schilfprobe verändert, so nähert sich der berechnete TI_{Nord} dem Wert der Schilfprobe an (Mischungsverhältnis Schilf: Sediment = 2:1, $TI_{Nord}=3.02$, Mischungsverhältnis 4:1, $TI_{Nord} = 3.185$). Für die Makrophytenprobe an der Stelle 129925 ergibt sich ein TI_{Nord} von 3.13. Eine Mischprobe von allen drei Substraten im Verhältnis 1:1:1 ergibt einen TI_{Nord} von 3.01. Die in 4.5 detailliert beschriebenen Unterschiede der dominanten Taxa hinsichtlich der vorhandenen Substrate spiegelt sich demnach in den berechneten TI_{Nord} Werten wieder. Neben dem Mischungsverhältnis ist auch die Art von Substrat ausschlaggebend, die für eine Mischprobe mit herangezogen wird. Wie an diesem Beispiel deutlich wird, ist die Bewertung der Stelle 129925 positiver, wenn keine Mischprobe verwendet wird und nur das vorhandene anorganische Substrat genutzt wird. Bei der Stelle 129952 (Suhrer See) tritt derselbe Effekt auf. Für die Sedimentprobe errechnet sich ein TI_{Nord} von 2.38, für die Schilfprobe ein Wert von 2.99 und für die Makrophytenprobe ein Wert von 2.93. Für eine Mischprobe aus Schilf und Sediment im Verhältnis 1:1 errechnet sich ein TI_{Nord} von 2.75. Auch bei der Stelle 2010_5 (Schluensee) gibt es die Unterschiede zwischen den Substraten, jedoch nicht so ausgeprägt (TI_{Nord} Schilf: 2.95, Holz: 2.97, Sediment: 2.75).

5. Diskussion

5.1. Überregionaler Vergleich des Arteninventars benthischer Diatomeen Gesellschaften aus Schleswig – Holstein, Mecklenburg - Vorpommern und Brandenburg

Der Unterschied zwischen den Proben aus Schleswig - Holstein zu denen aus Brandenburg und Mecklenburg - Vorpommern ist für über die Hälfte der Proben aus Schleswig - Holstein sehr deutlich zu erkennen (Abbildung 5). Die Ursache für die Unterschiede in der Artenzusammensetzung hierfür kann zum einen ein tatsächlich vorhandener Nordwest - Südost Gradient in der Artenzusammensetzung sein, zum andern eine unterschiedliche Beprobung der einzelnen Stellen in Abhängigkeit zu der jeweiligen Auftragsvergabe der vorstehenden Landesbehörden. Für die erste Hypothese spricht, dass aus Untersuchungen an Sedimentkernen bekannt ist, dass Trophierekonstruktionen an Seen Schleswig - Holsteins auf Grundlage eines Eichdatensatzes aus Brandenburg schlechtere Ergebnisse geliefert haben, als auf Grundlage eines Eichdatensatzes welcher Seen aus Mecklenburg - Vorpommern und Schleswig - Holstein eingeschlossen hat (Hübener et al. 2009). Für die zweite Hypothese

spricht, dass die Proben aus Brandenburg tatsächlich unter der Vorgabe erhoben wurden, dass dominante Substrate zu beproben sind, d.h. dass hier durchaus im Gegensatz zu Schleswig - Holstein nicht nur anorganische Hartsubstrate beprobt wurden. Grundsätzlich ist jedoch festzuhalten, dass es Unterschiede in den Artenzusammensetzungen entlang eines Nordwest - Südost Gradienten gibt. Dieser Gradient könnte durch das unterschiedliche Wirken wichtiger abiotischer Parameter (Niederschlag, Wind, generelle Durchmischung) entlang eines Gradienten abnehmenden atlantischen und zunehmenden kontinentalen Einflusses begründet sein. Da die Proben zur Erstellung des TI_{Nord} zu einem überwiegenden Teil aus Brandenburg stammen, ist eine Anwendung dieses Eichdatensatzes auf Proben aus Schleswig - Holstein durchaus kritisch zu sehen. Mehrere paläoökologische Studien belegen, dass ein lokaler Eichdatensatz deutlich bessere Indikationsergebnisse erzielt als ein überregionaler bzw. ein Datensatz, der aus einer anderen Region stammt (z.B. Adler and Hübener 2007, Hübener et al. 2009). Ein Teil der Unstimmigkeiten bei der Berechnung der TI Werte für die Seen Schleswig - Holsteins kann somit auf einen nicht passenden Eichdatensatz zurückgeführt werden. Eine endgültige Klärung dieser Fragestellung ist aber aus dem schon bereits genannten Problem der fehlenden Verfügbarkeit der Basisdaten zur Erstellung des TI_{Nord} nicht möglich.

Aus der Verschiebung der Artenzusammensetzungen und der damit verbundenen abweichenden Berechnung der TI_{Nord} Werte ergibt sich die Frage, in wie weit die Grenzwerte des TI_{Nord} für die einzelnen Seetypen – geeicht hauptsächlich an Seen Mecklenburg – Vorpommerns und Brandenburgs – auf Schleswig – Holstein übertragbar sind. Es wäre bei Beibehaltung des TI_{Nord} Moduls für Schleswig – Holstein demnach zu prüfen, ob die Grenzwerte für die einzelnen Seetypen hier realistisch sind, bzw. nach oben oder unten korrigiert werden müssen.

5.2. Vertiefende Untersuchungen vorliegender Diatomeenpräparate zu rezenten Seebewertungen

Die Multivariate Auswertung der unterschiedlichen Auftragnehmer in Verbindung mit den Seetypen und Trophiestufen der einzelnen Beprobungsstellen sowie die direkte Vergleichszählung einzelner Proben haben gezeigt, dass die Ursache für die ungenügende Übereinstimmung zwischen den TI_{Nord} - und RAQ Werten der Seen Schleswig - Holsteins im Vergleich zu den übrigen Wasserparametern nicht in der Genauigkeit der einzelnen Bearbeiter zu suchen ist. Es wurde kein Hinweis auf taxonomische Ungenauigkeit gefunden sowie ein Hinweis darauf, dass die Proben nicht mit der gebotenen Sorgfalt nach seltenen Arten durchsucht wurden. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Bearbeitern liegen vielmehr in der Tatsache begründet, dass sie unterschiedliche Seetypen und damit verbunden

unterschiedliche Trophiestufen untersucht haben, welches sich in der Artenzusammensetzung und -vielfalt widerspiegelt. Hinsichtlich der Problematik der zu wenigen RAQ Taxa muss hier jedoch darauf hingewiesen werden, dass mit Ausnahme einer Probe in dieser Studie immer ausreichend Taxa gefunden wurden. Dieses deutet darauf hin, dass unabhängig vom untersuchten Substrat, bei hinreichendem Bearbeitungsaufwand auch eine ausreichende Zahl von indikativen Taxa gefunden werden kann. Problematisch ist hierbei die Tatsache, dass diese zusätzlichen oftmals sehr seltenen Taxa zufällig über das Präparat verteilt sind und somit auch in einer zufälligen Reihenfolge gefunden werden. Wenn ein Bearbeiter bewusst nach 12 gefundenen indikativen Taxa mit dem Zählen aufhört, ist es denkbar, dass er gerade entweder die A Taxa nicht gefunden hat oder mehr A Taxa als C Taxa (Daher die große Variabilität der RAQ Werte in Abbildung 10). In diesem Zusammenhang zusätzlich problematisch wirkt die bereits erwähnte Tatsache, dass deutlich mehr C Taxa als A Taxa gelistet und somit `auffindbar` sind.

Das hier gewählte Verfahren, im Anschluß an die Zählung von 500 Schalen bis zu insgesamt 100 Gesichtsfelder weiter nach seltenen Taxa durchzusehen, ist dabei hinsichtlich des zeitlichen Aufwandes durch den Bearbeiter allerdings als kritisch zu betrachten, da es zu einer Verdopplung der mittleren Bearbeitungszeit pro Präparat geführt hat. Es wurde hier jedoch auch nicht als Vorschlag zur Veränderung der Methode durchgeführt, sondern war zur möglichst vollständigen Erfassung des Arteninventars und somit des RAQ gedacht. Ebenfalls kritisch zu sehen ist, dass in zwei unterschiedlichen Präparaten der gleichen Probe 10-15% der Taxa nur in jeweils einem der beiden Präparate (auf Basis der 100 durchgemusterten Gesichtsfelder) bei dieser Form der Durchsicht gefunden wurden. Das kann zum einen heißen, dass die 500 gezählten Schalenhälften plus 100 durchgemusterten Gesichtsfelder nicht ausreichen um alle Taxa zu finden, zum anderen, dass ein Teil der seltenen Taxa mit den gängigen Verfahren der Diatomologen grundsätzlich zufallsbedingt nicht erfasst werden, da sie schon bei der Präparation nicht mit erfasst werden.

5.3. Vertiefende Untersuchungen vorliegender Diatomeenpräparate zu historischen Seebewertungen

Ziel der Durchmusterung paläolimnischer, d.h. subfossiler Sedimentkernproben hinsichtlich benthischer Taxa war es, zu Zeiten nachgewiesener geringer anthropogener Belastung in schleswig-holsteinischen Seen weitere, vor allem A - Referenzarten nachzuweisen. D.h. es galt zu prüfen, ob in Sedimenthorizonten, für die Referenzzustand postuliert wurden, die für das PHYLIB-Verfahren definierten Referenzarten vorkamen oder nicht. Resultierend aus der

Tatsache, dass es sich bei diesen Sedimentkernproben um Proben aus der Seemitte/dem Seetiefsten handelt, ist ein sehr geringer Anteil benthischer Taxa (zumeist nur 1-3%) methodisch begründet. Bei diesen geringen Dichten sind ca. 400 Gesichtsfelder pro Präparat zu durchmustern, um die notwendige Anzahl von ca. 500 Schalen benthischer Taxa zu erreichen. Dieser Aufwand steht in keinem Verhältnis zu sonstigen Bearbeitungen von Diatomeenpräparaten und ist zusätzlich auch sehr fehleranfällig. Die Möglichkeit einzelne Schalen zu übersehen ist sehr groß und hat in hohem Maße Auswirkungen auf das Ergebnis. Des weiteren handelt es sich hierbei nicht um eine Mischprobe der unterschiedlichen für benthische Taxa zur Verfügung stehenden Habitate, sondern um eine selektive Sedimentation von einzelnen Taxa, die durch Verdriftung (Wind, Strömungen im Gewässer) ins Sediment eingebracht werden. Diese Vorgänge sind bereits in mehreren Studien untersucht worden (Kauppila 2002, Adler and Hübener 2007), wobei bisher nur die Differenzen zu den Artengemeinschaften des Aufwuchses nachgewiesen wurden, jedoch nicht die Mechanismen geklärt werden konnten.

Nach dem hier ermittelten Aufwand bzw. dem Stand der Forschung ist es nach Meinung der Bearbeiter nicht anzuraten, Proben von Sedimentkernen für die Definierung von Referenzsituationen benthischer Artengemeinschaften des Litorals mit hinzuzuziehen.

Eine mögliche Alternative wären Kernproben aus dem Litoralbereich eines Sees. Wird das Litoral als eine natürliche Mischprobe von Diatomeenresten vorhandener Aufwuchssubstrate verstanden, so können rezente Proben, als auch Proben von Sedimentkernen für die Einschätzung des ökologischen Zustandes eines Sees, bzw. seiner Genese herangezogen werden.

5.4. Auswertung der Simulation

In einer Reihe von Studien aus dem Bereich der Paläoökologie (Bigler et al. 2010, Lavoie et al. 2008, Köster et al. 2006) wird empfohlen, seltene Diatomeen Taxa, bzw. solche Taxa, die keinen signifikanten Zusammenhang zu der betrachteten Umweltvariable haben, aus der Berechnung bei der Bioindikation herauszunehmen. Die Analysen sind dabei eher intuitiv, seltene Taxa werden ausgeschlossen und anschließend wird überprüft, in wie weit dieses die Ergebnisse beeinflusst.

Die hier vorgestellte Simulation stellt somit erstmals fest, warum es sinnvoll erscheint, seltenen Taxa keine zu große Bedeutung zukommen zu lassen: Sie sind nicht zuverlässig nachweisbar mit den Methoden, die von den Diatomologen angewandt werden. Die geringe Wahrscheinlichkeit, dass bei der üblichen Beschränkung auf ca. 400 - 500 Schalen/Probe alle

seltene Taxa von einem Bearbeiter gefunden werden, hat zur Folge, dass der Aufwand für die Bearbeitung eines Präparates erheblich erhöht werden muss um alle Taxa zu finden. Aber auch hat es sich in dieser Studie gezeigt, dass auch der hier betriebene Aufwand nicht ausreicht, um alle Taxa einer Probe zu finden (Ergebnisse der Doppelzählungen). Die Doppelzählungen von Proben unterschiedlicher Substrate belegen, dass sowohl hinsichtlich der aufgefundenen Taxa als auch hinsichtlich der ermittelten Abundanzen einzelner Taxa deutliche Unterschiede auftreten können, obwohl das Präparat aus der gleichen aufbereiteten Probe stammt. Dieses Ergebnis deckt sich mit der Simulation und führt zu dem (nicht neuen) Schluss, dass alle Daten fehlerbehaftet sind. Hinsichtlich des TI_{Nord} ist dieser Fehler noch zu vernachlässigen, da seltene Arten nur mit einem sehr kleinen Gewicht eingehen und somit kaum einen Einfluss auf den berechneten Wert haben. Des Weiteren beeinflussen auch die Unterschiede in den Abundanzen häufiger Taxa den TI_{Nord} kaum, da die relativen Häufigkeiten bei der Berechnung mit der Wurzelfunktion transformiert werden.

Bezüglich des RAQ sieht es allerdings weniger günstig aus. Die in Abbildung 10 gezeigte Variabilität des RAQ in Abhängigkeit zu den zufällig gefundenen seltenen Taxa lässt sehr deutlich erkennen, dass eine eindeutige Bioindikation hier nicht möglich ist. Das Ergebnis, dass 25% aller RAQ Werte in Schleswig - Holstein die Seen zu schlecht einstufen lässt sich direkt aus der Abbildung 10 heraus ablesen. Das zufällige Auffinden der seltenen Taxa, die bei einer Diatomeenzählung nach Standardverfahren bis zu 50% aller Taxa eines Präparates ausmachen können, hat als direkte Folge, dass der RAQ ein sehr ungenaues, variables Ergebnis erzielt. Aus diesem Grunde ist der RAQ als Werkzeug für die Einschätzung der Gewässerqualität nicht adäquat anzuwenden.

5.5. Einfluss von Substratspezifität und Mischproben auf den RAQ und den TI_{Nord}

Die im Detail unter 4.3 beschriebenen Ergebnisse der Messstellen lassen sich hinsichtlich der Fragestellung recht einfach zusammenfassen: Die verschiedenen im Litoral eines Sees vorkommenden Substrate werden von unterschiedlichen Diatomeenassoziationen besiedelt, die sich nicht nur in deren Abundanzen, sondern auch in den Artenzusammensetzungen unterscheiden. Bei der Vermischung unterschiedlicher Substrate erhöht sich dabei in ausnahmslos allen hier besprochenen Stellen die Anzahl der indikativen Taxa. Der aus einer solchen Mischprobe resultierende Wert für den RAQ ist dabei allerdings nicht grundsätzlich besser als der RAQ basierend auf den Proben von rein anorganischen Substraten. Auch wenn bei einigen Messstellen dieses der Fall ist, kann nicht grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass es sich hier um ein allgemeingültiges Prinzip handelt ($p > 0.1$). Wenn es also Ziel

des Auftraggebers ist, die Zahl indikativer Taxa möglichst zu erhöhen, wäre es durchaus sinnvoll, Mischproben anzufertigen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass für Taxa die selten in einer Probe sind, bzw. selten in nur einer Probe, die Wahrscheinlichkeit des Auffindens in einer Mischprobe deutlich geringer ist als in der Einzelprobe. Dieses wurde in der Betrachtung der theoretischen Mischprobe bei der Besprechung der einzelnen Stellen bereits hervorgehoben. Bei den berechneten RAQ Werten für eine Mischprobe wurde hier davon ausgegangen, dass alle seltenen Taxa der einzelnen Präparate auch in einem Präparat einer Mischprobe gefunden werden. Dieses ist jedoch nach 5.2 und den Ergebnissen aus 4.5 eher zu bezweifeln.

Das Auffinden von *Cyclotella comensis* in einigen Proben lässt vermuten, dass der Suhrer See über eine gute Wasserqualität verfügt, zumindest besser, als durch den RAQ und TI_{Nord} angezeigt. Die Unterschiede zu andern Seen, in denen *Stephanodiscus minutulus* mit hohen Abundanzen zu finden war, welches für eine schlechte Wasserqualität spricht, konnten so mit den benthischen Artenzusammensetzungen nicht gefunden bzw. im RAQ identifiziert werden.

Die in 4.6 vorgestellten Beispiele verdeutlichen, dass zum einen die vorhandenen Substrate den TI_{Nord} beeinflussen, zum anderen das Mischungsverhältnis der einzelnen Substratproben. Ausgehend von diesem Ergebnis erscheint es sinnvoll, entweder nur ganz bestimmte Substrate zu beproben, oder ein festes Mischungsverhältnis zu definieren. Letzteres ist unmöglich, zumindest wenn vermieden werden soll, dass vor der Mischung die Zellzahl in den einzelnen Präparaten ermittelt werden soll. In der PHYLIB-Verfahrensanleitung ist explizit die Beprobung von anorganischen Hartsubstraten angeraten worden. Aus der Abbildung 8 ist erkennbar, dass sich die Stein- und Sand(Sediment)-Proben nur gering unterscheiden im Vergleich zu den Schilf- und Makrophytenproben. Es ist nach den hier gefundenen Ergebnissen durchaus anzuraten, bei diesem Verfahren zu bleiben. Für die Berechnung des TI_{Nord} macht es durchaus einen Unterschied, ob eine Mischprobe aus Sand und Holz oder Sand und Schilf, bzw. Sand, Schilf und Holz oder andere vorliegen. Bei der Beprobung der Stellen ist es den Bearbeitern aufgefallen, dass die Beprobung der vorhandenen Substrate individuell unterschiedlich ausfallen kann. Ist das Totholz an dieser Stelle repräsentativ oder nicht? Sind die 5 großen Steine hier habitatprägend oder nicht? Ist die Aufwuchsfläche auf dem Schilf größer als auf dem Sand? Diese Fragen können im Feld nicht beantwortet werden.

Für die Anwendbarkeit des TI_{Nord} ausschlaggebend ist allerdings eine einheitliche Datengrundlage. Die Artengemeinschaften des Eichdatensatzes müssen sich in den

Artgemeinschaften der zu begutachtenden Messstellen widerspiegeln können. Wie bereits weiter oben bemerkt, besteht Grund zur Annahme, dass bei der Erstellung des TI_{Nord} , bzw. bei dessen Eichung nicht nur Hartsubstrate beprobt wurden. Aus der gefundenen Substratspezifität der Artengemeinschaften und deren Auswirkungen auf den TI_{Nord} lässt sich schließen, dass dieses Vorgehen zusätzlich zu der möglichen größeren Differenz zwischen den zu begutachtenden und den Eichgemeinschaften zu einer großen Indikationsungenauigkeit der TI_{Nord} Werte führen kann. Eine Überprüfung ist hier dringend anzuraten.

6. Zusammenfassung

Es war Aufgabe, Ursachen für den hohen Prozentsatz unplausibler Bewertungsergebnisse bei der Bewertung der Teilkomponente Diatomeen nach dem PHYLIB Verfahren zu finden. Dabei war besonders die Diskrepanz in der Bewertung der beiden Teilmodule TI_{Nord} und des Referenzartenquotienten (RAQ) auffällig.

Zur Klärung dieser Fragestellungen wurden folgende Themen im Projekt bearbeitet:

1. An fünf Seen vom Typ 13 in Schleswig – Holstein sollte der Einfluss unterschiedlicher Substrate auf den TI_{Nord} und den RAQ anhand rezenter Proben untersucht werden. Dabei galt es zu prüfen, ob sich das für einen guten Zustand erforderliche Arteninventar durch zusätzliche Beprobung von bisher in Übereinstimmung mit der PHYLIB-Verfahrensrichtlinie ausgenommenen toten organischen Substraten auch in Schleswig-Holstein finden lässt.

Im Ergebnis konnte nachgewiesen werden, dass sich bei der Vermischung unterschiedlicher Substrate in allen hier besprochenen Messstellen die Anzahl der indikativen Taxa je Probe erhöht. Jedoch kommt es bei Hinzunahme toter organischer Substrate nicht generell zu einer signifikanten Verbesserung des RAQ.

Es konnte gezeigt werden, dass sich die Zönosen von Stein- und Sand(Sediment)-Proben signifikant von denen der Schilf- und Makrophytenproben unterschieden. Es ist daher nach den hier gefundenen Ergebnissen anzuraten, bei der bisherigen PHYLIB-konformen Beprobung von ausschließlich Hartsubstraten zu bleiben.

2. Da sich aus 1. ergab, dass das Referenzarteninventar tatsächlich auch auf toten organischen Substraten nicht vorhanden ist, sollte geprüft werden, ob es sich um eine Degradation der Uferbereiche handelt oder ob es natürlich bedingte biogeografische Unterschiede in Norddeutschland gibt, denen unterschiedliche Referenzzönosen zugrunde liegen, die im bisherigen Eichdatensatz nicht berücksichtigt wurden.

Leider war es durch nicht zustande gekommenen Datenaustausch nicht möglich, die dem RAQ und TI_{Nord} zugrunde liegenden Diatomeen-Eichgemeinschaften auf ihre Passfähigkeit zu denen schleswig-holsteinischer Gemeinschaften zu testen und eventuelle abweichende Verbreitungsangaben für konkrete Taxa herauszuarbeiten. Ein Vergleich anderer verfügbarer Monitoringdaten zwischen Diatomeengemeinschaften aus Schleswig-Holstein (407 Messtellen), Mecklenburg-Vorpommern (n= 616) und Brandenburg (n= 239) ergab deutliche Abweichungen der schleswig-holsteinischen Gemeinschaften im Vergleich zu den anderen Gemeinschaften des norddeutschen Tieflandes.

Die Ursache für die Unterschiede in der Artenzusammensetzung kann zum einen ein tatsächlich vorhandener Nordwest - Südost Gradient in der Artenzusammensetzung sein, zum anderen eine unterschiedliche Beprobungsmethodik der einzelnen Stellen in Abhängigkeit zu der jeweiligen Auftragsvergabe der vorstehenden Landesbehörden. So wurden Proben aus Brandenburg tatsächlich unter der Vorgabe erhoben, dass dominante Substrate zu beproben sind, d.h. dass hier im Gegensatz zu Schleswig - Holstein nicht nur anorganische Hartsubstrate beprobt wurden.

Die Proben zur Erstellung des TI_{Nord} stammen zu einem überwiegenden Teil aus Brandenburg, so dass aus den oben genannten Gründen eine Anwendung dieses Eichdatensatzes auf Proben aus Schleswig - Holstein kritisch zu sehen ist. Eine endgültige Klärung dieser Fragestellung ist aber aus dem schon bereits genannten Problem der fehlenden Verfügbarkeit der Basisdaten zur Erstellung des TI_{Nord} gegenwärtig nicht möglich.

3. Weiterhin war zu prüfen, ob es in Schleswig – Holstein eventuell Abweichungen im postulierten Referenzarteninventar gibt. Dazu sollten vorhandene Proben aktueller Seebewertungen und aus paläolimnologischen Analysen bekannter Referenzsituationen entsprechende subfossile Diatomeengemeinschaften vertiefend auf eventuell vorhandene Referenzarten untersucht werden.

Hierzu wurde zunächst eine Qualitätssicherung mittels Vergleichszählung von Dauerpräparaten durchgeführt, um auszuschließen, dass das für einen guten Zustand notwendige Referenzarteninventar in aktuellen Proben durch die taxonomischen Bearbeiter nicht erkannt wurde. Im Ergebnis stellte sich heraus, dass die in den rezenten Proben durch verschiedene Bearbeiter teilweise in unterschiedlicher Anzahl nachgewiesenen Taxa des RAQ vor allem der methodisch bedingten Unsicherheit des Nachweises überwiegend bzw. ausschließlich selten auftretender Referenzarten geschuldet ist. Eine abschließende Bewertung ist aufgrund der fehlenden RAQ-Ausgangsdaten bisher nicht möglich, jedoch konnte mit Hilfe statistischer Simulationen gezeigt werden, dass das Verfahren des RAQ theoretisch und praktisch sehr unsicher und fehlerhaft ist. Es ist gegenwärtig nicht abzuschätzen, in wieweit der RAQ andere als trophische Gesichtspunkte betrachtet; in sofern wäre der RAQ nur eine zusätzliche, und wie gezeigt werden konnte, unsichere Dopplung der TI_{Nord} Indikation.

In den analysierten subfossilen Gemeinschaften wurde nur eine geringe Zahl weiterer Referenzarten gefunden. Als Erklärung wird folgendes erwogen: a) Der als Vergleichsgewässer ausgewählte Einfeldsee zeichnete sich bereits während der Referenzbedingungen durch mäßig eutrophe Bedingungen (e1) aus und b) der Sedimentkern entstammt methodenbedingt aus der Seemitte und weist aus diesem Grunde nur sehr geringe Anteile benthischer Diatomeen auf. Aus letzterem Grund haben sich Sedimentkerne aus uferfernen Seebecken bezüglich der hier vorgegebenen Fragestellung, Aussagen zu benthischen Referenzarten zu treffen, als ungeeignet erwiesen.

Fazit:

Es hat sich in dieser Studie gezeigt, dass der RAQ ein äußerst ungenauer Index zur Erfassung der Gewässerqualität ist. Für den Fall, dass es sich bei den Referenzarten (Typ A und Typ C – Taxa) wie in Schleswig – Holstein um überwiegend oder ausschließlich seltene Taxa handelt, ist die Anwendung des RAQ aus Gründen der theoretisch begründeten unsicheren Auffindung generell abzulehnen. Zumal dann, wenn (1) die Datengrundlage der Einstufung des RAQ nicht nachvollziehbar ist und (2) anzunehmen ist, dass es sich hierbei um eine doppelte trophische Bewertung handelt.

Der TI_{Nord} ist ebenfalls in einem hohen Maße substratspezifisch und im Ergebnis abhängig von den vorhandenen Substraten einer Messstelle. Das hat zur Folge, dass die Abweichungen zwischen den verschiedenen Substraten eines Sees unter Umständen größer sind als die Differenzen zwischen Seen benachbarter Wasserqualitätsstufen. Die aufgefundenen

planktischen Diatomeen lassen an einigen Stellen vermuten, dass der TI_{Nord} und der RAQ Stellen schlechter bewerten als es der (Freiwasser) Zustand des Sees vermuten lässt.

Unter Beachtung dieser Ergebnisse und der Tatsache, dass sich die Artenzusammensetzung der Diatomeengemeinschaften in Schleswig – Holstein signifikant von den anderen Regionen des norddeutschen Tieflandes abweichen, ist es fraglich, ob der TI_{Nord} für die Seen in SH ohne Modifizierung anzuwenden ist, bzw. ob die Grenzwerte des TI_{Nord} für die Seen in SH gleichermaßen wie in BB oder MV gelten.

Für ein Verfahren, welches entscheidende Auswirkungen auf Fragen des Seemanagements hat, sollten die zugrunde liegenden Basisdaten für die Einstufung der einzelnen Taxa stabil und vor allem überprüfbar sein. Nur so sind eine Verfahrenskontrolle und eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Methode gewährleistet.

7. Literatur

- Adler S, Hübener T (2007) Spatial variability of diatom associations in surface lake sediments and its implications for transfer function. *Journal of Paleolimnology* 37: 573-590.
- Battarbee RW, Kneen MJ (1982) The use of electronically counted microspheres in absolute diatom analysis. *Limnology and Oceanography* 27: 184–188.
- Bigler C, Gälman V, Renberg I (2010) Numerical simulations suggest that counting sums and taxonomic resolution of diatom analyses to determine IPS pollution and ACID acidity indices can be reduced. *Journal of Applied Phycology* 5: 541-548.
- Hofmann G (2004) Bewertung der ökologischen Qualität von Seenlitoralen Schleswig-Holsteins anhand benthischer Diatomeen zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, Flintbek.
- Hope A. C. A. (1968) A simplified Monte Carlo significance test procedure. *J. Roy, Statist. Soc. B*, 30: 582-598.
- Houk V, Klee R, Tanaka H (2010) Atlas of freshwater centric diatoms III. *Cyclotella*, *Tertiarius*, *Discostella*. *Fottea* 10.
- Hübener T, Adler S, Schult M, Michaelis D, Meyer H, Grootes PM, Huels M, Erlenkeuser H (2009) Paläolimnologische Untersuchungen zur Rekonstruktion von typenspezifischen Referenzzuständen in schleswig-holsteinischen Seen (Seentypen 11, 14). Landesamt für Natur- und Umwelt des Landes SH, Kiel-Flintbeck.
- Kalbe L, Werner H (1974) Das Sediment des Kummerower Sees. Untersuchungen des Chemismus und der Diatomeenflora. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie* 596: 755–782.
- Kauppila T (2002) Variability of surface sediment diatom assemblages in Lake Salkolanjaervi, Finland. *Proceedings of the 15th international diatom symposium, Perth, 1998*: 263–274.

- Köster D, Racca JMJ, Pienitz R (2004) Diatom-based inference models and reconstructions revisited: methods and transformations. *Journal of Paleolimnology* 32: 233-246.
- Krammer K (1997a) Die cymbelloiden Diatomeen. Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa, Teil 1 Allgemeines und Encyonema Part. *Bibliotheca Diatomologica*, Vol. 36. Cramer Berlin, Stuttgart.
- Krammer K (1997b) Die cymbelloiden Diatomeen, Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa, Teil 2 Encyonema part., Encyonopsis and Cymbellopsis. *Bibliotheca Diatomologica*, Vol. 37. Cramer, Berlin, Stuttgart.
- Krammer K (2000) The Genus *Pinnularia*. In Lange-Bertalot, H. (ed.), *Diatoms of Europe*, Vol. 1. A.R.G. Gantner Verlag, Ruggel.
- Krammer K (2002) *Cymbella*. In Lange-Bertalot, H. (ed.), *Diatoms of Europe*, Vol. 3. A.R.G. Gantner Verlag, Ruggel.
- Krammer K (2003) *Cymbopleura*, *Delicata*, *Navicymbula*, *Gophocymbelloides*, *Afrocymbella*. In Lange-Bertalot, H. (ed.), *Diatoms of Europe*, Vol. 4. A.R.G. Gantner Verlag, Ruggel.
- Krammer K, Lange-Bertalot H (1986) Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bacillariophyceae 2/1. In Ettl H, Gerloff J, Heinig H, Mollenhauer D (eds), Süßwasserflora von Mitteleuropa, Vol. 2, no. 1. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.
- Krammer K, Lange-Bertalot H (1988) Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bacillariophyceae 2/2. In Ettl H, Gerloff J, Heinig H, Mollenhauer D (eds), Süßwasserflora von Mitteleuropa, Vol. 2, no. 2. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.
- Krammer K, Lange-Bertalot H (1991a) Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bacillariophyceae 2/3. In Ettl H, Gerloff J, Heinig H, Mollenhauer D (eds), Süßwasserflora von Mitteleuropa, Vol. 2, no. 3. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.
- Krammer K, Lange-Bertalot H (1991b) Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bacillariophyceae 2/4. In Ettl H, Gerloff J, Heinig H, Mollenhauer D (eds), Süßwasserflora von Mitteleuropa, Vol. 2, no. 4. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.
- Lange-Bertalot H (2001) *Navicula* sensu stricto, 10 genera separated from *Navicula* sensu lato, *Frustulia*.- In Lange-Bertalot H. (ed.), *Diatoms of Europe*, 2, A.R.G. Gantner, Ruggell, Liechtenstein.
- Lange-Bertalot H, Moser G (1994) *Brachysira*, Monographie der Gattung. *Bibliotheca Diatomologica*, Vol. 29. Cramer, Berlin, Stuttgart.
- Lavoie I, Dillon PJ, Campeau S (2008) The effect of excluding diatom taxa and reducing taxonomic resolution on multivariate analyses and stream bioassessment ECOIND-370, 15 p.
- Patefield W. M. (1981) Algorithm AS159. An efficient method of generating $r \times c$ tables with given row and column totals. *Applied Statistics* 30: 91-97.
- R Development Core Team (2010) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL, <http://www.R-project.org>.
- Schaumburg J, Schranz C, Stelzer D, Hofmann G (2007) Handlungsanweisung für die ökologische Bewertung von Seen zur Umsetzung der EU Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten und Phytobenthos. Bayerisches Landesamt für Umwelt.