

**Charakterisierung der Nährstoffabgabe aus verschiedenen
Strandanwurf-Gemischen und -Bestandteilen
der westlichen Ostseeküste**

**Wissenschaftliche Abschlussarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung
für das Lehramt an Regionalen Schulen**

vorgelegt von

Janin Schwikal

Rostock, 08.02.2021

Themenstellerin: Frau Dr. J. Wölfel

Zweitgutachter: Herr Prof. Dr. H. Schubert

(Abt. Aquatische Ökologie/ Institut für Biowissenschaften/ Universität Rostock)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Menschen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, meinen herzlichen Dank aussprechen.

Als Erstes möchte ich mich ganz herzlich bei Dr. Jana Wölfel bedanken, die mir bei allen Fragen mit Rat und Tat zur Seite stand und mich immer tatkräftig unterstützt hat.

Mein großer Dank geht auch an Philipp-Konrad Schätzle, der die Probenentnahmen für diese Arbeit durchgeführt hat und mir bei deren Aufbereitung zur Seite stand.

Außerdem möchte ich Cheryl Batistel für die durchgeführten Analysen der Proben danken. Darüber hinaus geht mein herzlicher Dank auch an Birgit Munzert, die mich besonders während meiner Laborarbeit unterstützt hat und mir mit all ihrem Wissen zur Seite stand.

Zu guter Letzt geht ein großes Dankeschön auch an meinen Freund und meine Familie, die mich immer wieder motiviert und ermutigt haben.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
1 Einleitung	1
2 Material und Methoden	5
2.1. Untersuchungsgebiet und Beprobung	5
2.2. Quantität und Qualität des Strandanwurfs	7
2.3. Aufschlamm-Methode zur Lösung der wasserlöslichen Nährstoffe	8
2.4. Bestimmung der Nährstoffe	9
2.4.1. Kalibrierung	9
2.4.2. Bestimmung von Orthophosphat (soluble reactive phosphorus-SRP)	11
2.4.3. Bestimmung von Nitrit (NO ₂)	11
2.4.4. Bestimmung von Nitrat (NO ₃)	12
2.4.5. Bestimmung von Ammonium (NH ₄)	13
3 Ergebnisse	14
3.1. Bedeckungsgrad des Strandes mit Treibsel und abiotische Bedingungen während der Probennahme	14
3.2. Beschreibung der analysierten Biomasse	15
3.2.1. Qualitative und quantitative Zusammensetzung	15
3.2.2. Wassergehalt der Biomasse	17
3.2.3. Sandanteil im Treibselgemisch	18
3.3. Nährstoffrücklösung	18
3.3.1. Saisonale Unterschiede in der Löslichkeit der Nährstoffe	19
3.3.2. Rücklösung einzelner Arten im Vergleich zum Gesamt-Gemisch	21
3.4. Qualitätsanalyse – Gütebewertung der Messungen	22
4 Diskussion	24
4.1. Abhängigkeit der Zusammensetzung der Biomasse	24
4.2. Abhängigkeit zum Ort sowie zum Feuchtegehalt der Biomasse (Überspülung und Austrocknung)	26
4.3. Abhängigkeit zur Temperatur	28
4.4. Bedeutung für das Ökosystem Strand	29
5 Literatur	VII

Abbildung 1: Mecklenburger Bucht

(https://de.wikipedia.org/wiki/Mecklenburger_Bucht#/media/Datei:Karte_Mecklenburger_Bucht.png) die Untersuchungsgebiete wurden nachträglich mit roten Pfeilen markiert 5

Abbildung 2: Strandabschnitt „Am Schwarzen Busch“ auf der Insel Poel (Quelle: eigene Aufnahme 17.06.20, Janin Schwikal) im Foto ist der untersuchte Strandabschnitt, sowie die zwei beprobten Bereiche des Strandes gekennzeichnet 6

Abbildung 3: Methodischer Aufbau der Aufschlamm-Methode 9

Abbildung 4: Mittelwerte der gesamten Treibsel-Biomasse in $[g/m^2]$; $[n = 3]$, (Fehlerindikatoren = Standardabweichung) mit den jeweiligen Anteilen altes und neues Treibsel aus dem Monat Juni (17.06.2020) und Monat Juli (01.07.2020) von der Insel Poel 16

Abbildung 5: Zusammensetzung der einzelnen Strandanwurf-Gemische des neuen Treibsel der Monate Juni (17.06.2020) und Juli (01.07.2020) von der Insel Poel in $[g/m^2]$ 16

Abbildung 6: Wassergehalt der Strandanwurf-Komponenten in [%] von der Insel Poel aus dem Monat Juni (17.06.2020) und Juli (01.07.2020) im Vergleich zu einzelnen Arten (Zostera marina L. 11.05.2020 von der Insel Poel; Ulva sp. und Fucus vesiculosus L. 07.07.2020 aus Kühlungsborn) 17

Abbildung 7: Sandanteil im Treibselgemisch in [g], der aus der Biomasse nach dem Aufschlamm-Vorgang herausgelöst wurde 18

Abbildung 8: $[n = 6; n_{Ges} = 18]$, (Fehlerindikatoren = Standardabweichung)
Die in Wasser gelöste Menge SRP in $[mg/kg]$ TS der Strandanwurf-Gemische des neuen und alten Treibsel der Monate Juni (17.06.2020) und Juli (01.07.2020) von der Insel Poel im Vergleich 19

Abbildung 9: [n= 6; n_{Ges}= 18], (Fehlerindikatoren = Standardabweichung) Vergleich der in Wasser gelösten Menge DIN in [mg/ kg] TS der Strandanwurf-Gemische des neuen und alten Treibsel der Monate Juni (17.06.2020) und Juli (01.07.2020) von der Insel Poel 20

Abbildung 10: [n= 6; n_{Ges}= 18], (Fehlerindikatoren = Standardabweichung) Vergleich einzelner DIN-Spezies, hier die in Wasser gelöste Menge NO₃ und NH₄ in [mg/kg] TS der Strandanwurf-Gemische des neuen und alten Treibsel der Monate Juni (01.07.2020) und Juli (01.07.2020) von der Insel Poel 20

Abbildung 11: [n= 6; n_{Ges}= 18; n_{Ulva sp.}= 3], (Fehlerindikatoren = Standardabweichung) Die in Wasser gelöste Menge SRP einzelner Arten (*Zostera marina* L. von der Insel Poel, *Ulva* sp. und *Fucus vesiculosus* L. aus Kühlungsborn) im Vergleich zu der Summe Strandanwurf-Gemisch des Monats Juli von der Insel Poel 21

Abbildung 12: [n= 6; n_{Ges}= 18; n_{Ulva sp.}= 3], (Fehlerindikatoren = Standardabweichung) Die in Wasser gelöste Menge SRP einzelner Arten (*Zostera marina* L. von der Insel Poel, *Ulva* sp. und *Fucus vesiculosus* L. aus Kühlungsborn) im Vergleich zu der Summe Strandanwurf-Gemisch des Monats Juli von der Insel Poel 22

Abbildung 13: [n_{Aufschlännen}= 3, n_{Messparallele}= 3] Standardabweichungen der Analysen PO₄; NO₂; NO₃ und NH₄ des „neuen Treibsel“ aus den Strandanwurf-Gemischen Juni und Juli neu, *Ulva* sp. und *Fucus vesiculosus* L. 23

Abbildung 14: [n_{Aufschlännen}= 3, n_{Messparallele}= 3] Standardabweichungen der Analysen PO₄; NO₂; NO₃ und NH₄ des „alten Treibsel“ aus den Strandnawurf-Gemischen Juni und Juli alt und *Zostera marina* L. 23

Tabellenverzeichnis

Seite

Tabelle 1: Angaben über die ermittelten Standardkonzentrationen bzw. der Kalibranten der jeweiligen Kalibrierung der Nährstoffanalyse: PO₄, NO₂, NO₃, NH₄ 10

Tabelle 2: Charakterisierung des Strandes am Tag der Probenentnahme, sowie Begleitdaten. Die Datenaufnahme erfolgte bei der Probenentnahme durch Philipp-Konrad Schätzle (Mitarbeiter und Doktorand der Abt. Aquatische Ökologie) und Wetterdatenbank Wetter.Online. (https://www.wetter.com/wetter_aktuell/rueckblick/deutschland/insel-poel/kirchdorf/DE0004980008.html?sid=B308&timeframe=1y) 15

Tabelle 3: Potentiell vorhandene C:N:P-Gehalte der Biomasse. C:N:S/ I:C:P-Analyse durchgeführt von Cheryl Batistel (Mitarbeiterin und Doktorandin der Abt. Aquatische Ökologie) 29

1 Einleitung

Die deutsche Ostseeküste, die sich von Flensburg bis zum Stettiner Haff erstreckt, ist nicht nur durch ihren maritimen Charme ein beliebtes Reiseziel bei Touristen, sondern zeichnet sich auch durch ihre abwechslungsreiche Natur, sowie die langen Sandstrände aus.

Letztere sind für Touristen eines der Hauptargumente, um ihren Urlaub hier im Land zu verbringen (Mossbauer et al. 2012). Im vergangenen Jahr wurden mehr als 34 Millionen Übernachtungen in Mecklenburg-Vorpommern verzeichnet (<https://www.laiv-mv.de/Statistik/Zahlen-und-Fakten/Wirtschaftsbereiche/Gastgewerbe-und-Tourismus>).

Damit ist die Tourismusbranche für das Land ein wichtiger wirtschaftlicher Sektor.

Als Übergangsbereich zwischen Wasser und Land stellt vor allem der Strand einen Lebensraum für viele spezialisierte Tier- und Pflanzengesellschaften dar. Diese sind besonders einem ständigen und zum Teil extremen Wandel, aufgrund z.B. verschiedener Wasserstände, Erosions- oder Anlandungserscheinungen, Salinitätsschwankungen, hohen Strahlungsbedingungen und Temperaturen ausgesetzt. Regelmäßige Überflutungen und Treibselanspülungen von diversem Material, v.a. pflanzlichen Ursprungs charakterisieren besonders den Spülsaum. Der Spülsaum ist ein Lebensraum für viele Kleinstlebewesen wie Mollusken, Krebstiere und Würmer, die sich speziell an die extremen Bedingungen angepasst haben und somit eine wichtige Nahrungskomponente für unterschiedliche Vogelarten bieten (Heydemann 1997). Aufgrund regelmäßiger Flutereignisse gilt der Spülsaum als dynamischer Lebensraum. Der intensive Bade- und Erholungstourismus (z.B. durch Trittschäden), aber auch das maschinelle Beräumen von Stränden führt zur Verdichtung der Sedimente und somit z.B. zur Zerstörung der empfindlichen Wohnröhren oder auch der Fauna selbst. Deshalb ist dieser fragile Lebensraum in den sog. Natura 2000-Schutzgebieten durch die europäische FFH-Richtlinie besonders geschützt. (<https://www.deutschlands-natur.de/lebensraeume/kuesten-salzvegetation/einjaehrige-spuelsaeume/>). Das Material, dass durch auflandigen Wind oder andere Meeresströmungen an die Küste gespült wird, wird - als Treibgut/ Strandanwurf oder regional Treibsel/ Teek bezeichnet. Es setzt sich entlang der deutschen Ostseeküste zum größten Teil aus marinen Pflanzen wie *Zostera marina* L. (Carl von Linné 1753), Braunalgen z.B. *Fucus vesiculosus* L. 1753 und zu kleineren Teilen aus Grün- und Rotalgen zusammen. Hinzu kommen Schalen von Mollusken, tote Tiere, Äste und Müll, wie Kunststoffabfälle, Metall Dosen, Flaschen etc. (Mossbauer et al. 2012; Heydemann 1997; POSIMA o.J.).

Je nach Wind- und Wellenexposition, Küstenbeschaffenheit und Wetterbedingungen kann die Menge und Zusammensetzung des Treibsel variieren (Mossbauer et al. 2012; Olabarria et al. 2010). Nach Mossbauer et al. (2012) fallen jährlich hochgerechnet auf die gesamte deutsche Ostseeküste etwa 4.900 Tonnen Biotrockenmasse an. Besonders im Spätsommer und Herbst wird aufgrund zunehmender Sturmereignisse mehr Material an die Küstenlinie angespült. Daher ist es umso erstaunlicher, dass es bisher nur vereinzelte nationale und internationale Studien zur Zusammensetzung und Mengen Treibsel an der Ostseeküste gibt (Sterr et al. 2019).

Das angespülte Treibsel hat eine wichtige ökologische Funktion innerhalb des Strand-Ökosystems (Kühnle 2011; Mossbauer et al. 2011). Die in der organischen Biomasse enthaltenen Nährstoffe wie z.B. Nitrate, Phosphate sowie organische Kohlenstoffe werden bei Zersetzung des Materials frei und versorgen so die nährstoffarmen Böden und die Flora des Strandes vor allem in den Dünenbereichen (Bird 1996; Davenport & Davenport 2006). Gleichzeitig ist das Treibsel Habitat für wirbellose Tiere wie beispielsweise Würmer und Krebse, welches wiederum für Prädatoren z.B. Küstenvögel neben möglichen Brutplätzen eine wichtige Nahrungsquelle bietet. Des Weiteren wird durch Treibsel der natürliche Küstenschutz unterstützt. Größere Mengen Treibsel verringern die Wellenenergie, akkumulieren Sand und schützen somit den Strand vor Wind- und Wellenerosionen und fördern die Bildung von Dünen (LLur 2014; Mossbauer et al. 2011).

An der südwestlichen Ostseeküste setzt sich das Treibsel zu zwei Drittel aus *Zostera marina* L., *Fucus vesiculosus* L., Gehäusen von Muscheln und Schnecken, sowie weiteren organischen und anorganischen Substanzen zusammen (Mossbauer, Haller, Dahlke & Schernewski, 2012). Je nach Verweildauer der organischen Biomasse am Strand, wird diese, abhängig von der Zusammensetzung und der Umweltbedingungen wie beispielweise Temperatur oder auch Wassergehalt, durch Mikroorganismen unterschiedlich schnell zersetzt. Ist der Anteil an feinpartikulärem Algenmaterial oder abgestorbenen Mollusken an der Biomasse sehr hoch, so kann es gerade im Sommer durch die erhöhten Temperaturen zu verstärkten anaeroben Zersetzungsprozessen kommen. Aufgrund der erhöhten Abgabe von beispielsweise Schwefelwasserstoff können diese geruchsbelästigend für die Strandbesucher sein (Mossbauer et al. 2013).

Des Weiteren empfinden viele der Strandbesucher Treibselablagerungen am Strand und an der Wasserkante als visuell störend und fühlen sich behindert beim Baden. Oft gehen erhöhte Treibselanlandungen auch mit mehr Müll einher, welches in der Biomasse zusätzlich akkumuliert wurde. Mit den „Katalogstränden“ aus der Karibik konkurrierend und häufig

Kurtaxe zahlend erwarten die Touristen oft einen reinen und „sauberen“ Sandstrand (Donges et al. 2013). Daher lassen die meisten Gemeinden und deren Kurverwaltungen das angeschwemmte Material mithilfe großer und schwerer Maschinen räumen. Durch das Entfernen des Treibseis vom Strand, sowie das Befahren mit schweren Maschinen kann es jedoch zur weiteren Schädigung des Küstenökosystems kommen (Mossbauer et al. 2012), deren Ausmaße aber bisher nur ungenügend erforscht wurde (Sterr et al. 2019). Bei der Aufnahme des Materials werden zusätzlich große Mengen Sand (ca. 60-90 %) entfernt (B & L Marktdaten GmbH 2007). So wird die Erosionsgefahr der Strände einhergehend mit einem enormen Verlust des Sediments, begünstigt (Haller et al. 2011; Kühnle 2011; Weinberger 2015).

Neben der so und so sehr spärlichen Anzahl von Studien über Treibseis (s.o.) liegen bisher keine vergleichenden internationalen Studien vor, die diese Art und Weise der Bewirtschaftungen und dessen Einfluss auf das Ökosystem Sandstrand erörtern. Das war u.a. der Grund, weswegen das EU-INTERREG-Projekt „CONTRA“ (Beach wrack - **CO**nversion of a **N**uisance to a **R**esource and **A**sset) initiiert und in dessen Rahmen diese Arbeit angefertigt wurde. In diesem zweieinhalbjährigen Projekt (2019-2021) soll das aktuelle Wissen über die Nachhaltigkeit von Treibseisräumungen in sechs verschiedenen Ländern im Ostseeraum vereint werden (<https://www.oekologie.uni-rostock.de/forschung/aktuelle-projekte/contra/>). In der vorliegenden Arbeit wird die potentielle Abgabe der wasserlöslichen Nährstoffe: Phosphat, Nitrat, Nitrit und Ammonium aus verschiedenen Strandanwurf-Gemischen und -Bestandteilen der westlichen Ostseeküste charakterisiert. Diese sind ein wichtiger Bestandteil von Proteinen und Nukleinsäuren und sind für das Wachstum von Pflanzen und Algen essentiell. Dabei wird in zwei verschiedenen typischen Ablagerungsformen von Treibseis am Strand unterschieden: Einmal im Spülsaumbereich sowie einmal im hinteren Bereich des Strandes (Abbildung 2). Das Material im hinteren Bereich des Strandes liegt vermutlich schon längere Zeit am Strand, während das frische Material wahrscheinlich durch ständigen Wellengang erneuert bzw. mit Wasser benetzt wird.

Ausgehend davon ergeben sich folgende Hypothesen:

Hypothese 1: „Gealtertes Treibseis“ gibt aufgrund der fortgeschrittenen Zersetzung mehr Nährstoffe ab als „frisches“ Treibseis des Spülsaums.

Hypothese 2: Anhaltend warme Temperaturen, sowie andauernde Sonneneinstrahlung begünstigen die Konzentration der Nährstoffe.

Hypothese 3: Seegras gibt aufgrund der Struktur weniger Nährstoffe ab als Makroalgen, da weniger Mikroorganismen zur Zersetzung beitragen.

Folglich ist das grundlegende Ziel dieser Arbeit

- den Unterschied des Nährstoffgehalts von frischer und gealterter Biomasse zu erörtern
- die Zusammensetzung der Biomasse von verschiedenen Monaten zu charakterisieren
- die Rücklösung einzelner Bestandteile im Vergleich zu Mix-Proben
- sowie den Nährstoffanteil an der Gesamtbiomasse darzustellen

2 Material und Methoden

2.1. Untersuchungsgebiet und Beprobung

Die Untersuchungsgebiete befanden sich an der „Mecklenburger Bucht“. Diese ist mit etwa 3.500 km² die größte deutsche Ostseebucht und aufgrund der weiten Entfernung zum Kattegat im Wesentlichen frei von jeglichen Gezeiteinflüssen. Daher stellen einzig Wind, windgetriebene Wellen und küstennahe Strömungen Kräfte dar, die auf Strandanwurf wirken können.

Die Beprobung wurde an zwei Sandstränden durchgeführt:

- a. auf der Insel Poel: „Am Schwarzen Busch“ (54°00,671'N; 11°24,925'E) in der Nähe von Wismar und
- b. in Kühlungsborn: „Strand am Rieden“ (54°09,211'N; 11°41,910'E).



Abbildung 1: Mecklenburger Bucht

(https://de.wikipedia.org/wiki/Mecklenburger_Bucht#/media/Datei:Karte_Mecklenburger_Bucht.png) die Untersuchungsgebiete wurden nachträglich mit roten Pfeilen markiert.

Die Beprobung fand monatlich über einen Zeitraum von drei Monaten am: 11.05.2020, 17.06.2020 und 01.07.2020, sowie am 07.07.2020 in Zusammenarbeit mit Philipp-Konrad Schätzle (Mitarbeiter und Doktorand der Abt. Aquatische Ökologie) statt. Die Autorin dieser Arbeit nahm am 17.06.2020 daran teil, die anderen Beprobungen wurden von Herrn Schätzle durchgeführt.

Zuerst wurde der Strand allgemein durch folgende Parameter charakterisiert:

Strandbreite [m], Wasserstand [cm], Wassertemperatur [°C], Salinität [mS/cm], Wetter (Wind, Lufttemperatur [°C], Niederschläge), Bedeckungsgrad des Strandes mit Strandanwurf [% geschätzt], Bedeckung des Strandanwurfes mit Sand [% geschätzt].

Um einen repräsentativen Abschnitt des Strandes zu beschreiben, sowie in Anlehnung an die monatlichen Untersuchungen des Projektes CONTRA, wurde ein Strandabschnitt von 100 m Länge festgelegt. Dieser Abschnitt setzte von den angegebenen Koordinaten ausgehend immer am Bühnenfuß an und orientierte sich dann 100 m nach Weste bzw. Ost.

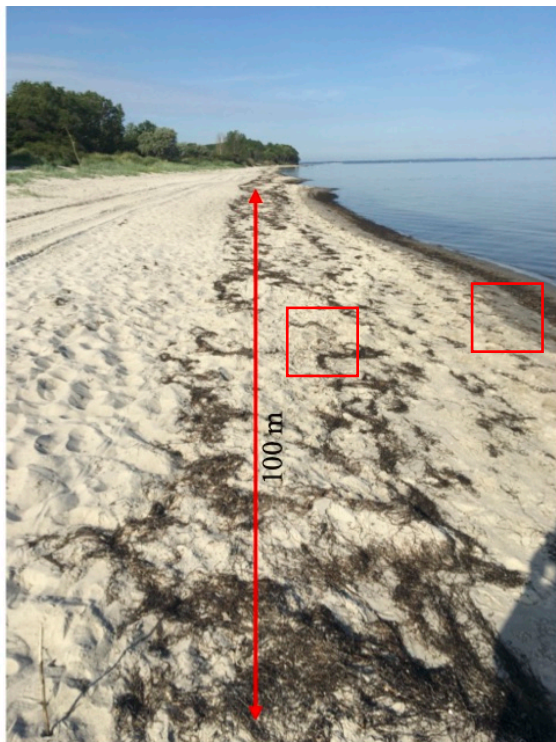


Abbildung 2: Strandabschnitt „Am Schwarzen Busch“ auf der Insel Poel (Quelle: eigene Aufnahme 17.06.20, Janin Schwikal) im Foto ist der untersuchte Strandabschnitt, sowie die zwei beprobten Bereiche des Strandes gekennzeichnet.

Wie bereits in der Einleitung erläutert, ist Strandanwurf in verschiedenen Bereichen der Strände zu finden. Am häufigsten findet man diesen als frisch angespülte Biomasse im Spülsaum und oft auch im hinteren Bereich des Strandes, teilweise verweht bzw. unter anderen Strömungsbedingungen dorthin befördert. Diese beiden Typen des Strandanwurfes (Abb. 2) sind folgendermaßen charakterisiert und wurden jeweils in drei Parallelen beprobt:

- frische Biomasse im Spülsaum: im Uferbereich an der Wasserlinie, regelmäßige Überflutungen und Treibselanspülungen

im Folgenden als „Treibsel neu“ bezeichnet

- angespülte Biomasse im hinteren Bereich des Strandes: vermutlich mehrere Tage alt, Zersetzungen können stattgefunden haben

im Folgenden als „Treibsel alt“ bezeichnet

Dazu wurde pro Parallele ein 20x20 cm Rahmen auf die Biomasse aufgesetzt und der Inhalt des Rahmens vollständig entnommen.

2.2. Quantität und Qualität des Strandanwurfs

Aufgrund des hohen Sandanteils in der Feuchtmasse, wurden die Proben im Labor über ein Sieb, 2 mm Maschenweite, vorsichtig mit Leitungswasser gewaschen, um eine bessere Sortierung zu gewährleisten. Anschließend erfolgte eine Auftrennung der Proben in ihre einzelnen Bestandteile:

- Seegras (*Zostera marina* L.1753)
- Grünalgen (*Chlorophyceae*),)
- Braunalgen (*Phaeophyceae*)
- Rotalgen (*Rhodophyceae*)
- organische Bestandteile wie beispielsweise Muscheln, Holz, abgerissene Reste höherer Pflanzen
- Müll

Nach der Fraktionierung wurden die einzeln sortierten Bestandteile mit einer Präzisionswaage, auf drei Stellen hinter dem Komma gewogen. Die Proben wurden danach bei 40 °C für 48 h im Trockenschrank getrocknet. Somit konnte zwischen Feucht- und Trockengewicht: „FG“ und „TG“ unterschieden und der Wassergehalt der Biomasse [% des FG] bestimmt werden. Diese werden in der Arbeit ausgehend von 20x20 cm (=400 cm²) Beprobungsfläche in [g pro m²] angegeben.

Infolge der zum Teil vorangeschrittenen Zersetzung des Strandanwurfs, war die Unterteilung in einzelne Algenklassen oft schwierig. Diese Proben wurden als sogenannte „Strandanwurf-Gemische“ weitergeführt. Am 07.07.2020 konnten dem Standort Kühlungsborn zusätzlich *Ulva* sp. und *Fucus vesiculosus* L. entnommen werden.

2.3. Aufschlamm-Methode zur Lösung der wasserlöslichen Nährstoffe

Mithilfe der Aufschlamm-Methode sollen die wasserlöslichen Stickstoff- und Phosphatverbindungen aus dem Strandanwurf gelöst werden, wenn die Biomasse in der Natur beispielsweise berechnet werden würde. Hierfür wurden konstante Bedingungen unter Raumtemperatur gewählt, um Unterschiede a)-in der Saisonalität, b) -in den verschiedenen Bereichen des Strandes und somit des Zersetzungsgrades, sowie c) -in den verschiedenen Bestandteilen (*Zostera marina* L, *Ulva* sp., *Fucus vesiculosus* L.-Algenklassen) aufzuzeigen. Im Rahmen der wissenschaftlichen Abschlussarbeit des Ersten Staatsexamens von Steven Brode („Freisetzung von wasserlöslichen Nährstoffverbindungen aus dem Strandanwurf (Treibsel) der westlichen Ostseeküste“) wurde die optimale Löslichkeit der Nährstoffe durch verschiedene Suspensionsintervalle und unterschiedliche Mengeneinwaagen getestet. Dabei fand er heraus, dass 0,5 g einer Probe in 100 ml Wasser das beste Lösungsverhältnis zeigte. Fortan wurde das Aufschlamm der Proben in 100 ml Wasser für 45 Minuten durchgeführt. Um möglichst exakt 0,5 g einer Probe einwiegen zu können, wurde die Probe mithilfe eines Siebs, 2 mm Maschenweite, nochmals von Sandrückständen befreit. Dieser Rückstand wurde als „Sandanteil“ gesondert mit einer Feinwaage in [g] gewogen. Der Einsatz von Rüttelplatten optimierte die Lösung der Nährstoffe im Wasser, da sich somit kein Konzentrationsgradient in der Lösung einstellen konnte, der die Diffusion womöglich verlangsamt hätte. Nach 45 Minuten wurde die Suspension durch einen Glasfaservorfilter (GF 92, Ø 50 mm, Fi. Schleicher & Schüll) filtriert. Anschließend erfolgte eine erneute Filtration der Lösung durch einen Glasfaserfilter (GF/F Filter, Fi Whatmann, Porengröße von $< 0,7 \mu\text{m}$), sowie die Abfüllung in 50 ml Tubes.

In dieser Arbeit wurden sieben verschiedene Strandanwurf-Gemische bzw. Arten untersucht (siehe auch Abschnitt Ergebnisse: Zusammensetzung der Biomasse):

- a. „Treibsel neu Juni“ aus 86 % *Chlorophyceae-Rhodophyceae-Gemisch* und 14 % *Chlorophyceae* (17.06.2020, Insel Poel)
- b. „Treibsel alt Juni“ aus 100 % *Zostera marina* L. (17.06.2020, Insel Poel)
- c. „Treibsel neu Juli“ aus 92 % *Chlorophyceae* und 8 % *Zostera marina* L. (01.07.2020, Insel Poel)
- d. „Treibsel alt Juli“ aus 100 % *Zostera marina* L. (01.07.2020, Insel Poel)
- e. *Zostera marina* L. (11.05.2020, Insel Poel)
- f. *Ulva* sp. (07.07.2020, Kühlungsborn)
- g. *Fucus vesiculosus* L. (07.07.2020, Kühlungsborn)

Jeder Aufschlamm-Vorgang wurde mit drei Parallelen des jeweiligen Gemisches durchgeführt (Abb. 3) (n=3). Für die Proben „Mix Juni“, „Mix Juli“, *Zostera marina* L. und *Fucus vesiculosus* L. wurde der Aufschlamm-Vorgang mit drei Parallelen sechs Mal wiederholt (n=6, somit Gesamt-n=18).

Mit *Ulva* sp. konnte der Aufschlamm-Vorgang mit drei Parallelen nur drei Mal wiederholt werden, da *Ulva* sp. nur in geringem Maß vorhanden war.

Anschließend wurden die Suspensionen auf die Konzentration an löslichem Orthophosphat (= Soluble reactive Phosphorus, SRP), sowie an Stickstoffverbindungen: NO₃, NO₂ und NH₄ (Summe = Dissolved inorganic Nitrogen, DIN) analysiert (siehe folgende Abschnitte). Diese Messungen wurden wiederum in drei Parallelen durchgeführt.

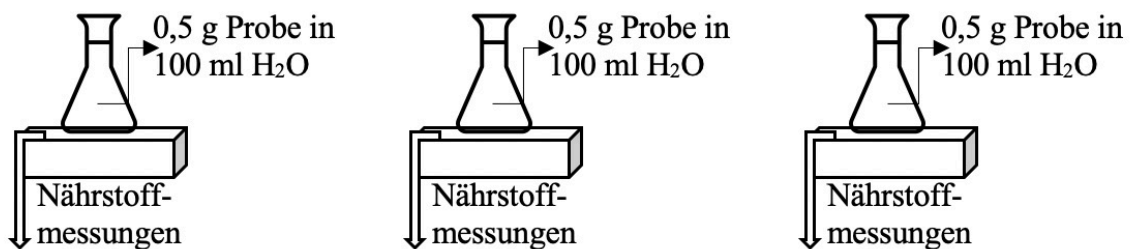


Abbildung 3. Methodischer Aufbau der Aufschlamm-Methode.

2.4. Bestimmung der Nährstoffe

2.4.1. Kalibrierung

Eine Kalibrierung ist unerlässlich, wenn es um die Ermittlung von Stoff-Konzentrationen in Lösungen geht. Damit ein Zusammenhang zwischen Analysemethode und dem Analyten ermittelt werden kann, werden Stammlösungen angesetzt. Jede Stammlösung enthält dabei einen genau definierten Analyse-Gehalt und alle für die Analyse erforderlichen Reagenzien. Typischerweise wird mit einem Analyten kalibriert, dessen Vorkommen der gesuchten Verbindung in den Proben ähnelt oder sogar gleich ist (Ritgen, 2019). Üblich sind äquidistante Verdünnungsreihen mit zehn Kalibranten. Hierbei wird die Konzentration des Kalibranten so festgelegt, dass es der zu erwartenden Konzentrationsspannbreite der Proben entspricht. Es wurden die benötigten Anteile Wasser und Stammlösung in eine Küvette pipettiert und mit den Reagenzien (siehe folgende Abschnitte) versetzt. Dadurch ergab sich eine Verdünnungsreihe. Bei zehn Kalibranten soll das Bestimmtheitsmaß $R^2 > 0,995$ sein.

Damit die berechnete Funktion direkt zur Konzentrationsberechnung benutzt werden kann, wird die abhängige Größe (Extinktion) auf der x-Achse und die unabhängige Konzentration auf der y-Achse aufgetragen. (<https://www.bsz.uni-rostock.de/lehre/grundlagen-anleitungen/naehrstoffe/>).

Bei jeder Kalibration und bei jeder anschließenden Nährstoffmessung wurden zwei Blindwerte der Probe mitaufgenommen, die mögliche Einflüsse von Filtration und Handling der Proben bewerten. Zusätzlich wurde ein Blindwert des Wassers, sowie ein Reagenzienblindwert bestimmt, der anschließend vom jeweiligen Extinktionswert abgezogen wurde. Folgende Standardkonzentrationen wurden für die einzelnen Nährstoffe hergestellt und mit den Methoden in den folgenden Abschnitten bestimmt (Tab. 1):

Tabelle 1: Angaben über die ermittelten Standardkonzentrationen bzw. der Kalibranten der jeweiligen Kalibrierung der Nährstoffanalyse: PO₄, NO₂, NO₃, NH₄.

Nährstoff	Datum	Konzentration der Kalibranten bzw. entsprechender Standards [$\mu\text{mol/ml}$]		Ermittelter Faktor	R ² der ermittelten Kalibration
		erwartet	ermittelt]		
PO ₄	01.07.2020	10	0,465	52720,418	0,9998
	erw.	12	0,520	3785,127	0,9966
	10.07.2020	16	0,602		
		20	0,793		
		30	0,914		
		40	1,0039		
		50	1,089		
NO ₂	01.07.2020	10	0,470	49630,114	0,9998
NO ₃	01.07.2020/	10	0,213	149107,300	0,9999
	10.07.2020		0,244	52872,751	0,9998
NH ₄	01.07.2020	10	0,330	3653,004	0,9973

2.4.2. Bestimmung von Orthophosphat (soluble reactive phosphorus- SRP)

Als Signal gebendes und energetisierendes Element, vor allem bei der Enzymaktivierung, stellt Phosphat einen wichtigen essentiellen Nährstoff für Flora und Fauna dar. In dieser Arbeit wurde die Methode nach Rohde und Nehring (1979) angewandt. In saurer Lösung reagieren Phosphationen mit Molybdat und bilden dabei gelbe Phosphormolybdänsäure aus, die mit Ascorbinsäure zu Molybdänblau reduziert wird. Dieser Farbstoff wird durch Antimontartrat stabilisiert. Das bedeutet, dass 3 ml der Probe jeweils mit 30 µl Ascorbinsäure-Reagenz und 60 µl Misch-Reagenz versetzt wurde. Bei den Messungen wurde eine 10 µM Kaliumhydrogenphosphat-Lösung (KH₂PO₄) als Standard mitgeführt.

Die Reagenzien wurden folgendermaßen hergestellt:

- Kaliumdihydrogenphosphat-Lösung: 1,36 g in 1000 ml Aq. dest. lösen
- Ammoniummolybdat-Reagenz: 50 g in 500 ml Aq. dest. lösen
- Antimonyl-Kaliumtartrat-Reagenz: 3,37 g in 250 ml 50 %iger H₂SO₄ lösen
- Ascorbinsäure-Reagenz: 4 g Ascorbinsäure in 50 ml Aq. dest. lösen
- Misch-Reagenz: 12,5 ml Ammoniummolybat mit 36,5 ml 50 %iger H₂SO₄ und 1 ml Antimon-Reagenz mischen

Nach einer Reaktionszeit von etwa 20 Minuten, wurde die Extinktion der Proben in 1 cm Einwegküvetten bei 885 nm im Photometer gemessen.

Die Extinktion und Konzentration korrelieren linear, daraus ergibt sich der Anstieg als Umrechnungsfaktor (F) von Extinktion (E) in Konzentration (µM). Die Konzentration berechnete sich nach folgender Formel: $\mu\text{molPO}_4/\text{ml} = (E_{\text{PROBE}} - E_{\text{TRÜBUNG}} - E_{\text{RBW}}) / F$.

2.4.3. Bestimmung von Nitrit (NO₂)

Sowohl bei der Nitrifikation, der Oxidation von Ammoniak zu Nitrat, als auch bei der Denitrifikation, der Umwandlung von gebundenem Stickstoff in molekularen Stickstoff, stellt Nitrit ein Zwischenprodukt dar.

Nach der Methode von Rohde und Nehring (1979) bildet Nitrit in saurer Lösung mit primären Aminen Diazoniumsalze aus, die sich wiederum an nucleophile Aromaten koppeln und einen rot gefärbten Azofarbstoff hervorbringen. Jeder 3 ml Probe wurden 60 µl SAN-Lösung (siehe unten) und nach 3 Minuten Wartezeit 60 µl NED-Lösung (siehe unten)

zugegeben. Außerdem wurde eine 10 µM Natriumnitrit- Lösung (NaNO₂) als 10 µM-Standard bei den Messungen mitgeführt.

Die Reagenzien wurden wie folgt hergestellt:

- Natriumnitrit-Lösung: 0,6895 g in 1000 ml Aq. dest. lösen
- Sulfanilsäureamid-Reagenz (SAN): 1 g in 75 ml Aq. dest. und 10 ml konz. HCl lösen – mit Aq. dest. anschließend auf 100 ml auffüllen
- N-(Naphthyl-ethylendiamin)-dihydrochlorid-Reagenz (NED): 100 mg in 100 ml Aq. dest. lösen

Nach Zugabe beider Reagenzien wurde eine Reaktionszeit von 15 Minuten abgewartet. Anschließend erfolgt eine photometrische Bestimmung der Extinktion (E) der Proben bei 543 nm. Die Konzentration wurde nach folgender Formel berechnet:

$$\text{NO}_2 - (\mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}) = \text{NO}_2 * (\text{E}_{\text{PROBE}} - \text{E}_{\text{TRÜBUNG}} - \text{E}_{\text{REAGENZIENBLINDWERT}}).$$

2.4.4. Bestimmung von Nitrat (NO₃)

Mengenmäßig ist Nitrat der wichtigste verfügbare anorganische Stickstoff und ein bedeutender Pflanzennährstoff. Nitrat gelangt einerseits durch Auswaschungen der Böden, andererseits durch Düngung, in Gewässer (Scheffer & Schachtschnabel 2018).

Dazu wurde die jeweilige Probe reduziert, indem 1 ml abgenommen und in einer Küvette vermischt wurde. Nach der Reduktion der Nitratmoleküle zu Nitrit wurde der 1 ml Probe 0,5 ml SAN-Lösung, 0,5 ml NED-Lösung und 1 ml Vanadium zugegeben. Nach einer Reaktionszeit von 15 Minuten bis maximal 2 Stunden wurde der Gehalt an NO₃ der 3 ml Probe bei 543 nm bestimmt. Stammlösung für 10 µM ist Kaliumnitrat (KNO₃).

Die Reagenzien wurden folgendermaßen hergestellt:

- Kaliumnitrat-Lösung: 0,6895 g in 1000 ml Aq. dest. lösen
- Sulfanilsäureamid-Reagenz (SAN): 1 g in 75 ml Aq. dest. und 10 ml konz. HCl lösen – mit Aq. dest. anschließend auf 100 ml auffüllen
- N-(Naphthyl-ethylendiamin)-dihydrochlorid-Reagenz (NED): 100 mg in 100 ml Aq. dest. lösen
- Vanadiumchlorid-Reagenz: 8 g in 1 l HCl lösen

Die Konzentration wurde nach folgender Formel berechnet:

$$\mu\text{mol} / \text{ml} = \text{NO}_3 + \text{NO}_2 = \text{A}_{\text{PROBE}} / \text{F}$$

A= Absorption; F= Faktor

2.4.5. *Bestimmung von Ammonium (NH₄)*

Ammoniumionen reagieren in alkalischer Lösung mit Hypochlorit und bilden dabei ein Monochloramin aus, dass in Verbindung mit Phenol unter katalytischer Wirkung von Eisen (III)-Ionen eine indophenolblaue Färbung ergibt.

Die 3 ml Probe wird mit 85,7 µl Phenollösung und 85,7 µl Trionlösung versetzt. Nach einer Reaktionszeit von 6 Stunden bis maximal 24 Stunden erfolgt die photometrische Bestimmung der Extinktion der Proben bei 630 nm. Stammlösung für 10 µM ist Ammoniumchlorid-Lösung (NH₄Cl).

Die Reagenzien wurden wie folgt hergestellt:

- Ammoniumchlorid-Lösung: 0,534 g in 1000 ml Aq. dest. lösen
- Phenol-Lösung: 1,75 g mit 20 mg Nitroprussid in 100 ml Aq. dest. lösen
- Alkalische-Zitratpufferlösung: 175 g Natrium-Citrat und 13,5 Natriumhydroxid in 500 ml Aq. dest. lösen
- Trion-Lösung: 0,225 g in 100 ml Natrium-Citrat-Pufferlösung lösen

Die Konzentration wurde nach folgender Formel berechnet:

$$\mu\text{molNH}_4/\text{ml} = A_{\text{PROBE}} - A_{\text{REAGENZIENBLINDWERT}} / F$$

A= Absorption; F= Faktor

3 Ergebnisse

3.1. Bedeckungsgrad des Strandes mit Treibsel und abiotische Bedingungen während der Probennahme

Die erste Probenentnahme erfolgte am 11.05.2020 auf der Insel Poel (Tab. 2). Aufgrund anhaltenden Niederschlags und Wind war kein Strand erkennbar und das Wasser in Richtung Düne vorgedrungen. Trotzdem wurden Proben aus dem Dünenbereich entnommen. Bei der zweiten Probenentnahme auf der Insel Poel am 17.06.2020 wurde der allgemeine Bedeckungsgrad des Strandes mit Treibsel auf 3 – 4 % geschätzt. Es erfolgte die Entnahme der Proben bei 22 °C Lufttemperatur als frische Biomasse im Spülsaum weitergeführt als Strandanwurf-Gemisch „Treibsel neu“ und als alte Treibsel- Biomasse als „Treibsel alt“ im hinteren Bereich des Strandes. Die dritte Probenentnahme auf der Insel Poel am 01.07.2020 wurde bei ähnlich sommerlichen Temperaturen wie im Juni durchgeführt. Der allgemeine Bedeckungsgrad des Strandes mit Treibsel war auch ähnlich wie im Juni. Trotz leichter Regenschauer und einem Wasserstand von – 22 cm zum regulären Wasserlevel wurden Proben im gleichen Regime wie im Juni als „Treibsel neu“ und „Treibsel alt“ entnommen. Die vierte Probenentnahme fand am 07.07.20 in Kühlungsborn bei 20 °C und mäßig starken Wind statt. Diese Probennahme wurde zusätzlich durchgeführt, um einzelne dominante Spezies für die Phaeophyceen und Chlorophyceen aus dem Treibsel der westlichen Ostsee zu sammeln.

Kühlungsborn ist aufgrund vorheriger Untersuchungen des CONTRA-Projektes für höhere Makroalgenanteile bekannt. Auf der Insel Poel dominiert *Zostera marina* bis zu 99% das Treibselgemisch (persönlicher Kommentar P. Schätzle). Als die dominantesten Makroalgen-Arten im Treibsel der westlichen Ostsee wurden sowohl *Ulva* sp. als auch *Fucus vesiculosus* L. gewählt und in entsprechender Menge als Proben entnommen. Der allgemeine Bedeckungsgrad des Strandes in Kühlungsborn mit Treibsel wurde auf <2 % geschätzt und ist damit weitaus geringer wie auf der Insel Poel.

Tabelle 2: Charakterisierung des Strandes am Tag der Probenentnahme, sowie Begleitdaten. Die Datenaufnahme erfolgte bei der Probenentnahme durch Philipp-Konrad Schätzle (Mitarbeiter und Doktorand der Abt. Aquatische Ökologie) und Wetterdatenbank Wetter.Online (https://www.wetter.com/wetter_aktuell/rueckblick/deutschland/insel-poel/kirchdorf/DE0004980008.html?sid=B308&timeframe=1y).

Parameter	Salinität [mS/cm]	Wassertemperatur [° C]	Lufttemperatur [° C]	Wind [km/h] / Niederschläge [l/m²]
Probenentnahme				
Insel Poel				
11.05.2020	nicht gemessen	nicht mit aufgenommen	7	31,5 / 0,1
17.06.2020	nicht gemessen	nicht mit aufgenommen	22	keine Angabe/ 0
01.07.2020	16,52	16,9	23	15,2 / 3,6
Kühlungsborn				
07.07.2020	14,52	14,2	20	22,1 / 2,8

3.2. Beschreibung der analysierten Biomasse

3.2.1. Qualitative und quantitative Zusammensetzung

Die Biomasse der Strandanwurf-Gemische von der Insel Poel setzen sich im Juli aus 171,88 [g/m²] „Treibsel neu“ und 71,02 [g/m²] aus „Treibsel alt“ zusammen. Im Vergleich dazu konnte der Insel Poel im Juli 71,29 [g/m²] neues Treibsel und 194,31 [g/m²] altes Treibsel entnommen werden (Abb. 4). Die Strandanwurf-Gemische wurden hinsichtlich ihrer einzelnen Bestandteile untersucht. Es stellte sich heraus, dass „Treibsel alt“ sowohl im Monat Juni als auch Juli vollständig aus *Zostera marina* L. bestand. Das „Treibsel neu“ des Monats Juni bestand zu 441,57 [g] aus einem *Chlorophyceae-Rhodophyceae*-Gemisch und zu 74,07 [g] aus *Chlorophyceae*. Ähnlich war auch die Zusammensetzung des „Treibsel neu“ Juli. Hier machten mit 197,67 [g] *Chlorophyceae* im Vergleich zu 16,2 [g] *Zostera marina* L., den größten Anteil der Zusammensetzung aus. Die Gesamt-Biomassezusammensetzung des „Treibsel neu“ Juli ist deutlich höher als die Gesamt-Biomassezusammensetzung des „Treibsel neu“ Juni (Abb. 5). Auf Poel wurde im Mai eine

erste Probenentnahme vorgenommen. Hier konnten 201,47 [g] *Zostera marina* L. entnommen werden. Bei der zusätzlichen Probennahme in Kühlungsborn wurden die Makroalgenarten *Ulva* sp. und *Fucus vesiculosus* L. mit einer Menge von 35,34 [g] und 195,90 [g] entnommen.

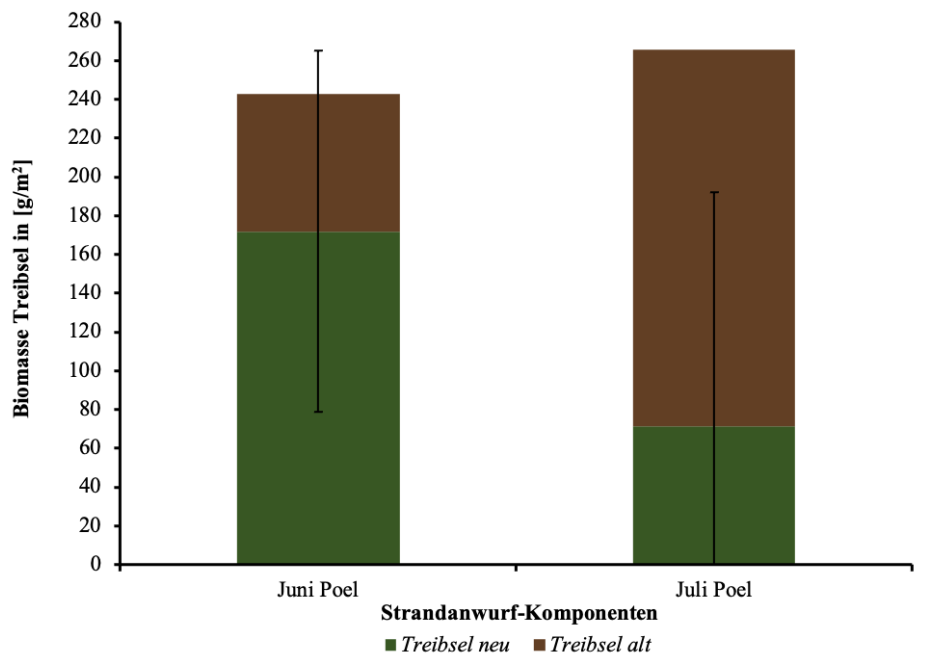


Abbildung 4: Mittelwerte der gesamten Treibsel-Biomasse in [g/m²]; [n=3], (Fehlerindikatoren = Standardabweichung) mit den jeweiligen Anteilen altes und neues Treibsel aus dem Monat Juni (17.06.2020) und Monat Juli (01.07.2020) von der Insel Poel.

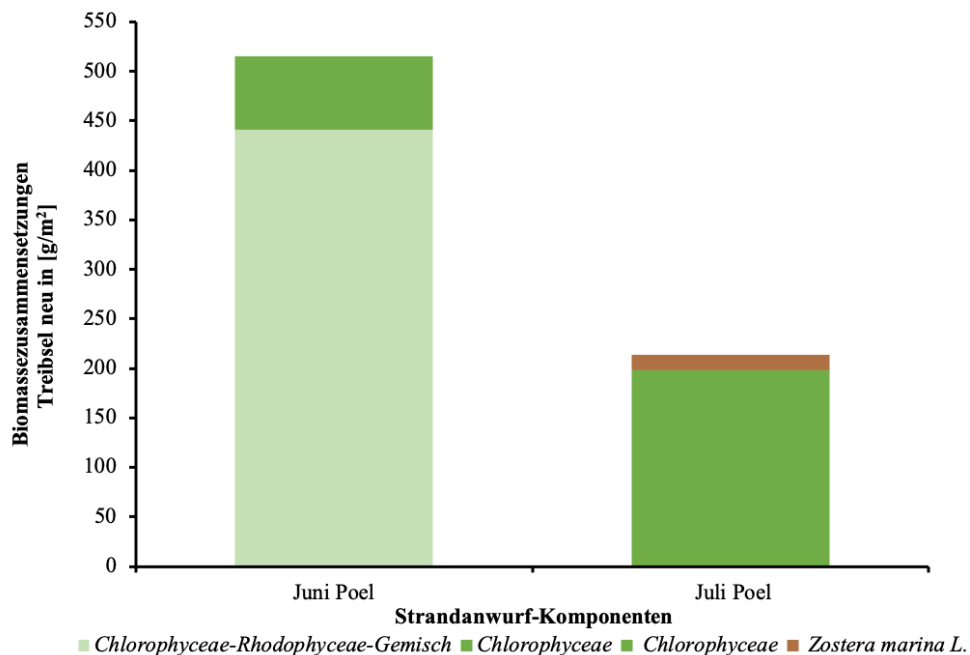


Abbildung 5: Zusammensetzung der einzelnen Strandanwurf-Gemische des neuen Treibseis der Monate Juni (17.06.2020) und Juli (01.07.2020) von der Insel Poel in [g/m²].

3.2.2. Wassergehalt der Biomasse

Um die Biomasse zu zersetzen, benötigen die Mikroorganismen und auch die Meiofauna einen bestimmten Grad an Feuchtigkeit. Vermutet wird, je trockener diese ist, desto langsamer wird die Biomasse zersetzt. Der Wassergehalt wurde ausgewertet, um einen Eindruck über den Zustand der Biomasse zu erhalten und um eventuelle Zersetzungen zu beschreiben.

Der Wassergehalt des „Treibsel neu“ betrug im Juni 82 %, während im Vergleich dazu die Biomasse des „Treibsel neu“ im Juli mit 52 % weitaus trockener war. Aufgrund des geringen Wassergehalts des „Treibsel alt“ des Monats Juni kann vermutet werden, dass die Biomasse langsamer zersetzt werden konnte als die Biomasse des „Treibsel alt“ im Juli. Es wird deutlich, dass die zusätzlich entnommene Probe *Zostera marina* L. aus Kühlungsborn mit 20 % Wassergehalt deutlich trockener ist, als das „Treibsel alt“ des Monats Juli, welches ebenfalls aus *Zostera marina* L. bestand (Abb 6).

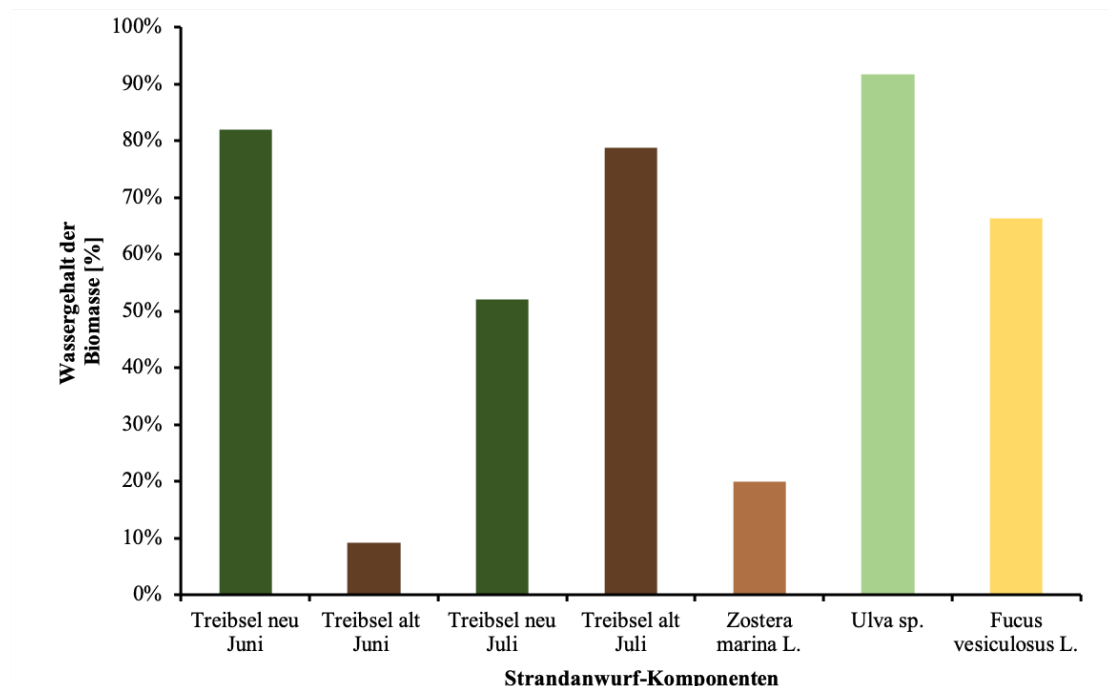


Abbildung 6: Wassergehalt der Strandanwurf-Komponenten in [%] von der Insel Poel aus dem Monat Juni (17.06.2020) und Juli (01.07.2020) im Vergleich zu einzelnen Arten (*Zostera marina* L. 11.05.2020 von der Insel Poel; *Ulva* sp. und *Fucus vesiculosus* L. 07.07.2020 aus Kühlungsborn).

3.2.3. Sandanteil im Treibselgemisch

Aus den Treibselgemischen der Monate Juni und Juli lösten sich unterschiedlich hohe Sandanteile. Das „Treibsel neu“ Juni bringt mit 54,3 [g] im Vergleich zu „Treibsel neu“ Juli mit lediglich 10,-2 [g] den höchsten Anteil hervor. Die Anteile der Proben „Treibsel alt“ Juni und Juli liegen auf einem ähnlich niedrigen Niveau von 5,3 [g] und 4,4 [g] (Abb. 7). Letztendlich gibt der Sandanteil der Proben Aufschluss über die potentielle Verfälschung der Wäge-Ergebnisse.

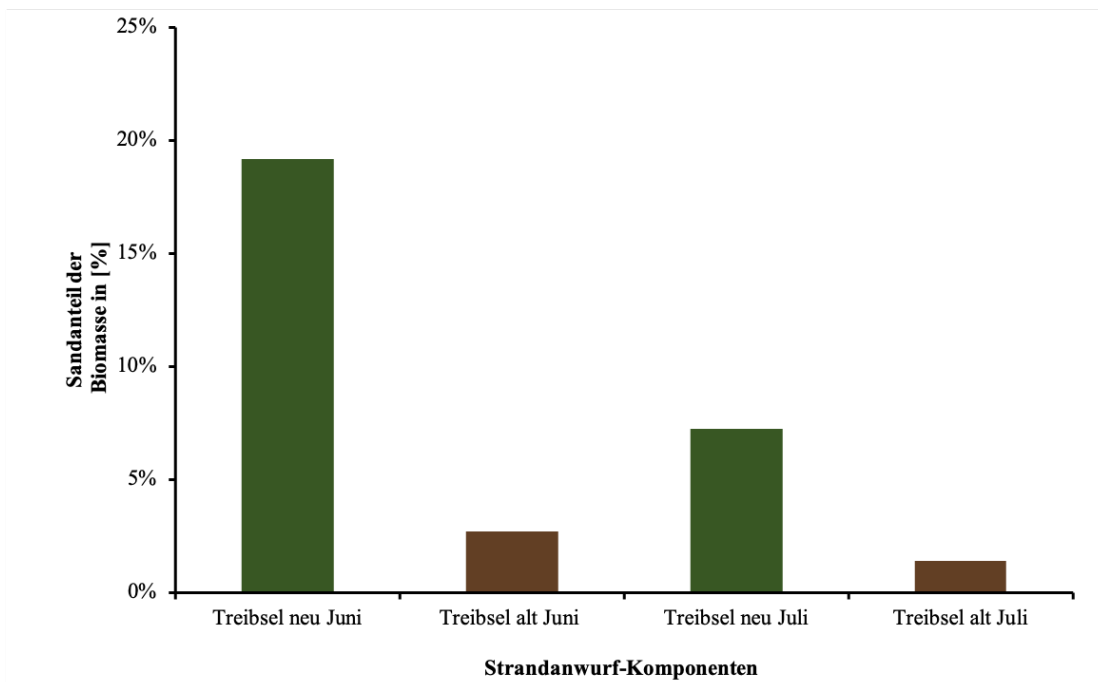


Abbildung 7: Sandanteil im Treibselgemisch in [g], der aus der Biomasse nach dem Aufschlamm-Vorgang herausgelöst wurde.

3.3. Nährstoffrücklösung

Folgend werden die gemessenen Gehalte der in Wasser gelösten anorganischen Stoffe der Biomasse dargestellt. Es wird zwischen Orthophosphat (soluble reactive phosphorus- SRP) und DIN (dissolved inorganic nitrogen) unterschieden.

3.3.1. Saisonale Unterschiede in der Löslichkeit der Nährstoffe

Sowohl im Juni als auch im Juli unterschieden sich die Abgabe von SRP-mit einer Differenz von 5,1 [mg/kg] TS des neuen Treibsel und im Vergleich dazu einer Differenz von 30,5 [mg/kg] TS des alten Treibsel (Abb. 8).

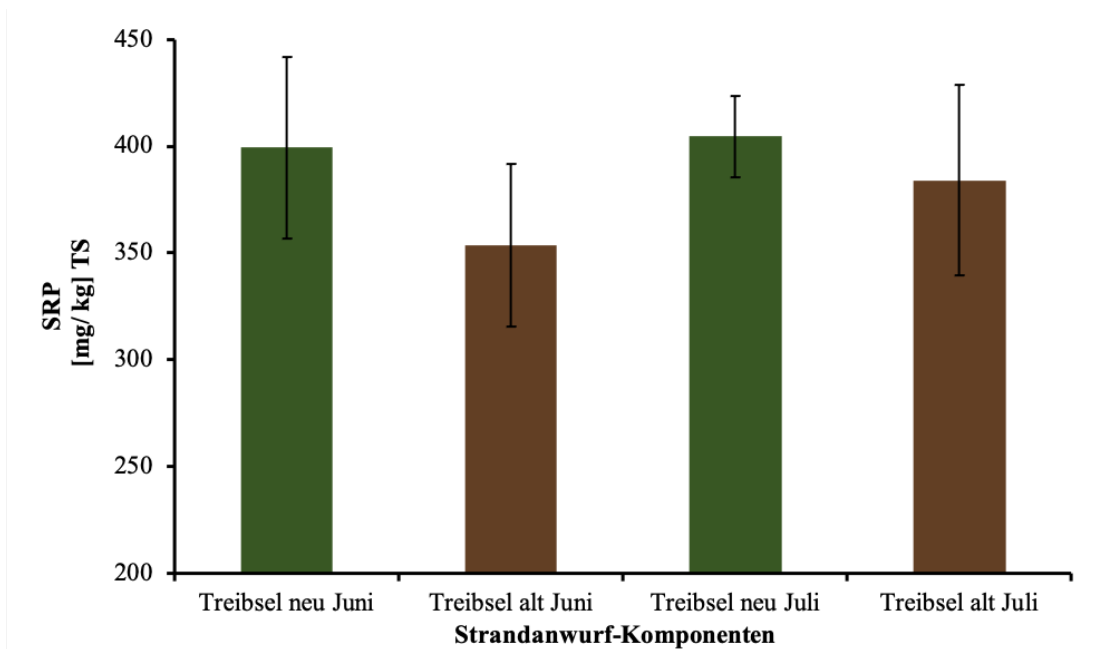


Abbildung 8 [$n = 6$; $n_{\text{Ges}} = 18$], (Fehlerindikatoren = Standardabweichung) Die in Wasser gelöste Menge SRP in [mg/kg] TS der Strandanwurf-Gemische des neuen und alten Treibsel der Monate Juni (17.06.2020) und Juli (01.07.2020) von der Insel Poel im Vergleich.

Es ist zu erkennen, dass die in Wasser gelöste Menge DIN- im Verlauf der Monate angestiegen ist. Im Juni unterscheidet sich die Abgabe mit einer Differenz von 71,3 [mg/kg] TS zum Juli des „neuen Treibsel“. Das Treibselgemisch Juli zeigt die größte in Wasser gelöste Menge DIN 202,85 [mg/kg] TS- im Vergleich dazu ergibt sich für das Treibselgemisch alt Juni eine Differenz von 82,4 [mg/kg] TS (Abb. 9).

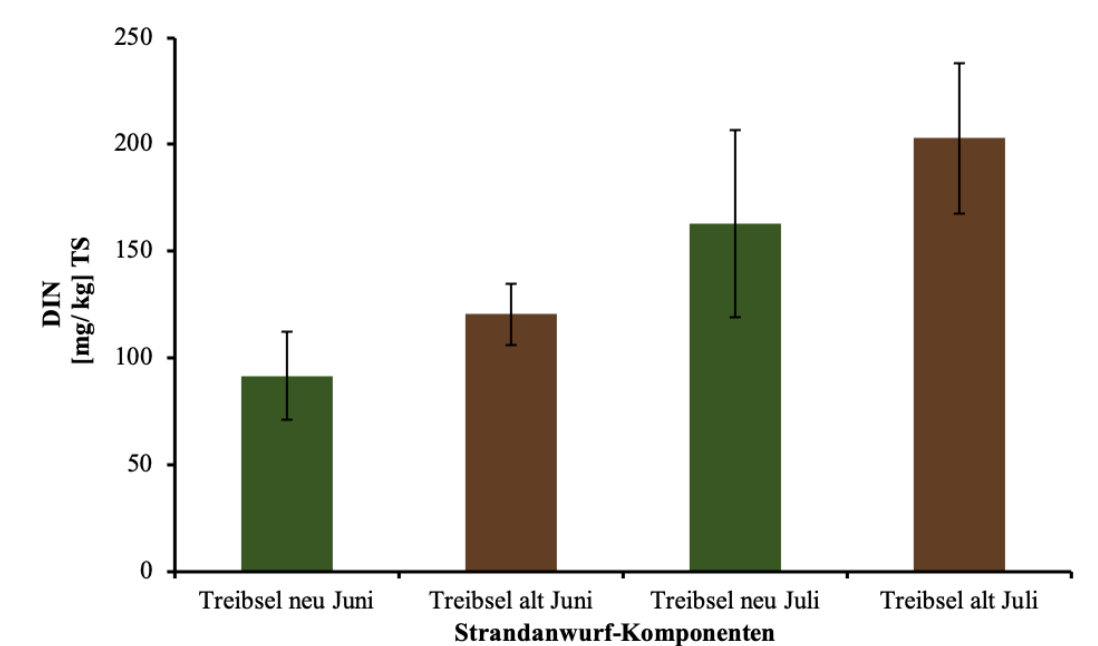


Abbildung 9: [$n=6$; $n_{Ges}=18$], (Fehlerindikatoren = Standardabweichung) Vergleich der in Wasser gelösten Menge DIN in [mg/kg] TS der Strandanwurf-Gemische des neuen und alten Treibsel der Monate Juni (17.06.2020) und Juli (01.07.2020) von der Insel Poel.

Die Stickstoffspezies NO_3 und NH_4 werden von der Pflanze zuerst aufgenommen. Es zeigte sich, dass die Abgabe der in Wasser gelösten Menge NO_3 von Juni auf den Juli um eine Differenz von 12,6 [mg/kg] TS des neuen Treibsel anstieg. Die hohe Abgabe der in Wasser gelösten Menge NH_4 im Juli im Vergleich zum Juni, sowohl im alten und neuen Treibsel lässt vermuten, dass die Zersetzung der Biomasse durch hohe Temperaturen schneller erfolgt bzw. begünstigt wurde (Abb. 10).

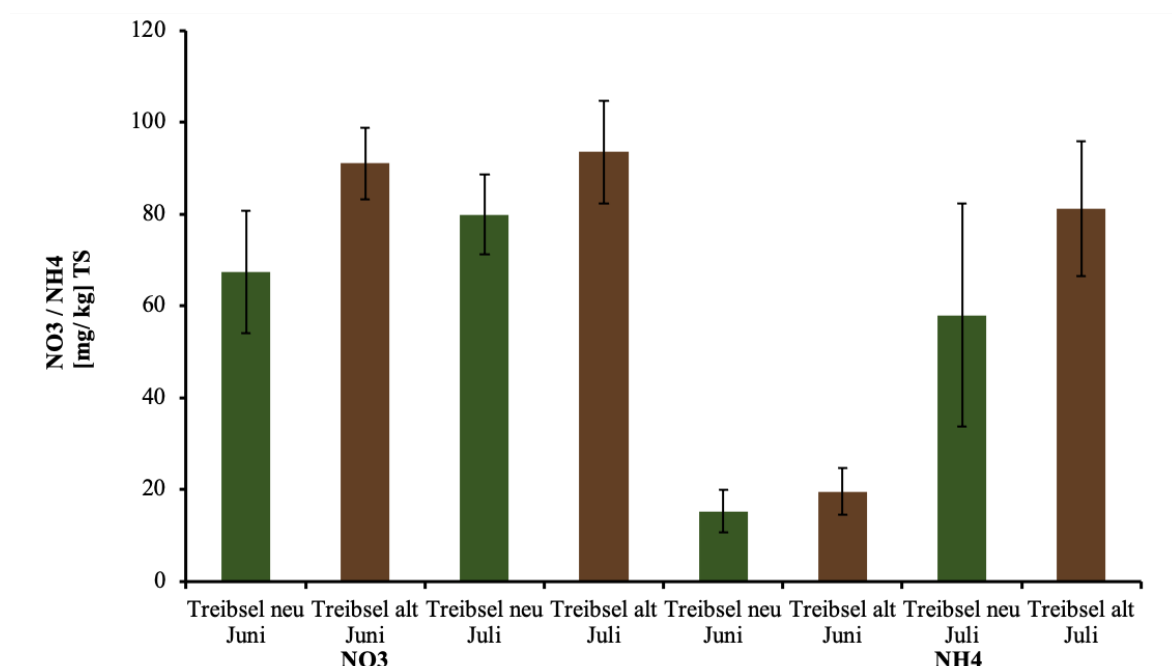


Abbildung 10: [$n=6$; $n_{\text{Ges}}=18$], (Fehlerindikatoren = Standardabweichung) Vergleich einzelner DIN-Spezies, hier die in Wasser gelöste Menge NO_3 und NH_4 in $[\text{mg/kg}]$ TS der Strandanwurf-Gemische des neuen und alten Treibseis der Monate Juni (01.07.2020) und Juli (01.07.2020) von der Insel Poel.

3.3.2. Rücklösung einzelner Arten im Vergleich zum Gesamt-Gemisch

Die Rücklösung einzelner Arten im Vergleich zum Gesamt-Gemisch zeigt, dass *Zostera marina* L. im Gegensatz zu *Ulva* sp. und *Fucus vesiculosus* L. eine Differenz von 44,7 $[\text{mg/kg}]$ TS aufweist. Die Menge des gelösten SRP- von *Ulva* sp. und *Fucus vesiculosus* L. unterscheidet sich hingegen nur um eine Differenz von 24,5 $[\text{mg/kg}]$ TS. Des Weiteren fällt auf, dass die Abgabe von SRP aus dem „Gesamt-Treibsel alt“ (besteht vollständig aus *Zostera marina* L.) im Vergleich zur 100 % Probe *Zostera marina* L. aus dem Mai deutlich höher ist. Das könnte bedeuten, dass die Biomasse länger am Strand lag und nicht weggespült und/ oder eine Zersetzung der Proben durch höhere Temperaturen beschleunigt wurde. Es ist außerdem erkennbar, dass sich der Gehalt von *Zostera marina* L. und dem „Gesamt-Treibsel neu“ erheblich unterscheidet. Das Strandanwurf-Gemisch „Treibsel neu“ setzt sich vorrangig aus *Chlorophyceae* und *Rhodophyceae* zusammen, sodass angenommen werden kann, dass an deren Zersetzung mehr Mikroorganismen beteiligt waren als an der Zersetzung von *Zostera marina* L. (Abb. 11).

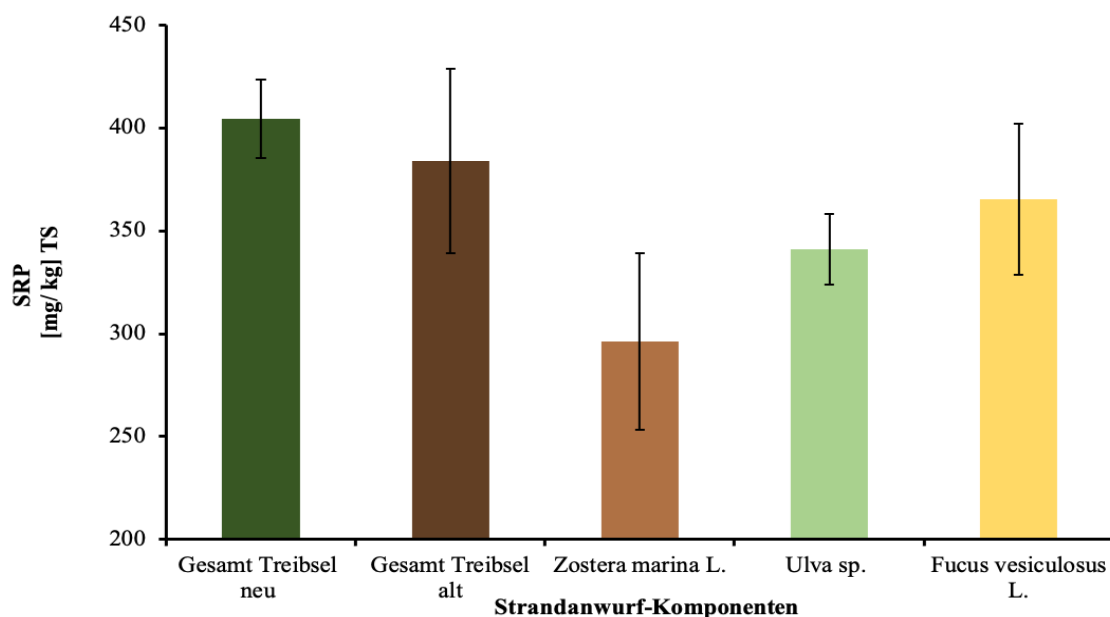


Abbildung 11: [$n=6$; $n_{\text{Ges}}=18$; $n_{\text{Ulva sp.}}=3$], (Fehlerindikatoren = Standardabweichung) Die in Wasser gelöste Menge SRP einzelner Arten (*Zostera marina* L. von der Insel Poel, *Ulva* sp. und *Fucus vesiculosus* L. aus Kühlungsborn) im Vergleich zu der Summe Strandanwurf-Gemisch des Monats Juli von der Insel Poel.

Die 100 % Probe *Zostera marina* L. aus dem Mai, weist mit 203, 8 [mg/ kg] TS im Vergleich zu *Ulva* sp. und *Fucus vesiculosus* L. die höchst gelöste Menge DIN- auf. Die beiden Makroalgen im Vergleich zeigen eine Differenz von 20, 8 [mg/ kg] TS in Wasser gelösten DIN. Im Vergleich zum „Gesamt-Treibsel alt“, welches sich auch aus *Zostera marina* L. zusammensetzt ergibt sich eine Differenz von 42, 2 [mg/ kg] TS (Abb. 12).

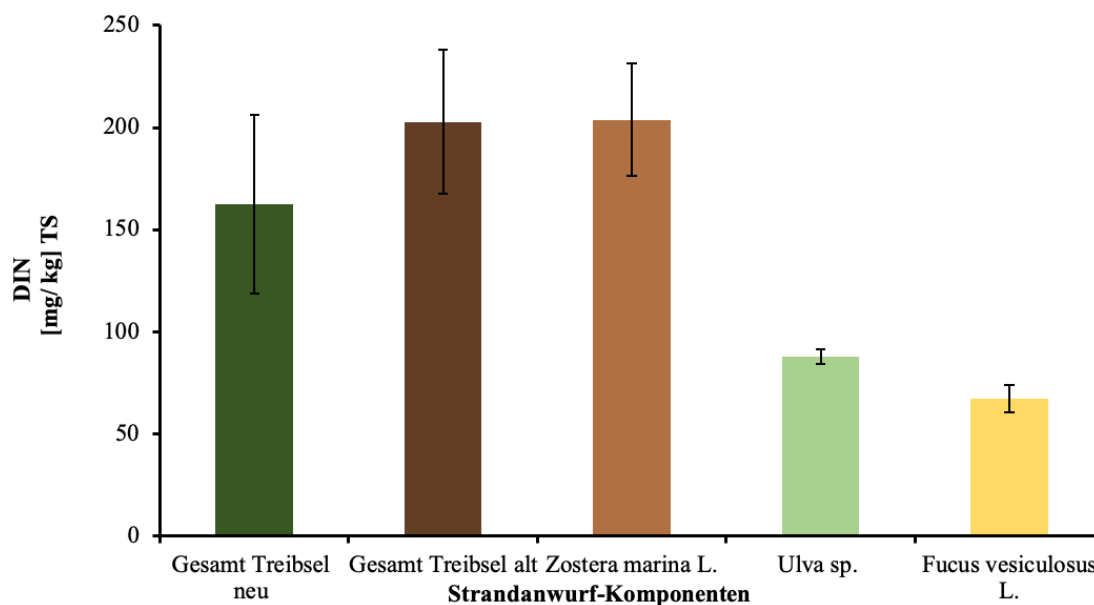


Abbildung 12: [$n=6$; $n_{Ges}=18$; $n_{Ulva\ sp.}=3$], (Fehlerindikatoren = Standardabweichung) Die in Wasser gelöste Menge SRP einzelner Arten (*Zostera marina* L. von der Insel Poel, *Ulva* sp. und *Fucus vesiculosus* L. aus Kühlungsborn) im Vergleich zu der Summe Strandanwurf-Gemisch des Monats Juli von der Insel Poel..

3.4. Qualitätsanalyse – Gütebewertung der Messungen

Die Qualitätsanalyse zeigt die Standardabweichungen der einzelnen Analysen bei PO_4 , NH_4 , NO_3 und NO_2 pro Treibsel. Es wurde „Treibsel neu“ (Strandanwurf-Gemische Juni und Juli neu) mit *Ulva* sp. und *Fucus vesiculosus* L. (Abb. 13) und „Treibsel alt“ (Strandanwurf-Gemische Juni und Juli alt) mit *Zostera marina* L. (Abb. 14) zusammengefasst. Es wurden drei echte Parallelen des Aufschlämmens generiert, aus denen anschließend die Messungen (Messparallelen) durchgeführt wurden.

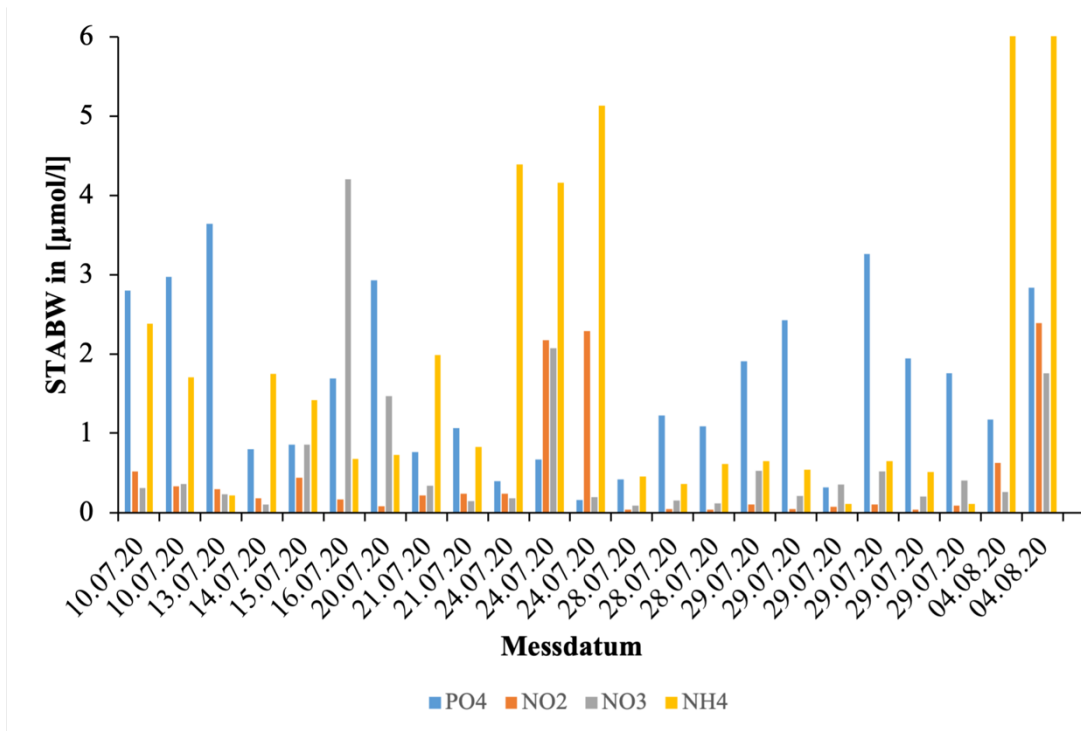


Abbildung 13: [nAufschlÄmmen= 3, nMessparallele= 3] Standardabweichungen der Analysen PO4; NO2; NO3 und NH4 des „neuen Treibsel“ aus den Strandanwurf-Gemischen Juni und Juli neu, *Ulva sp.* und *Fucus vesiculosus L.*

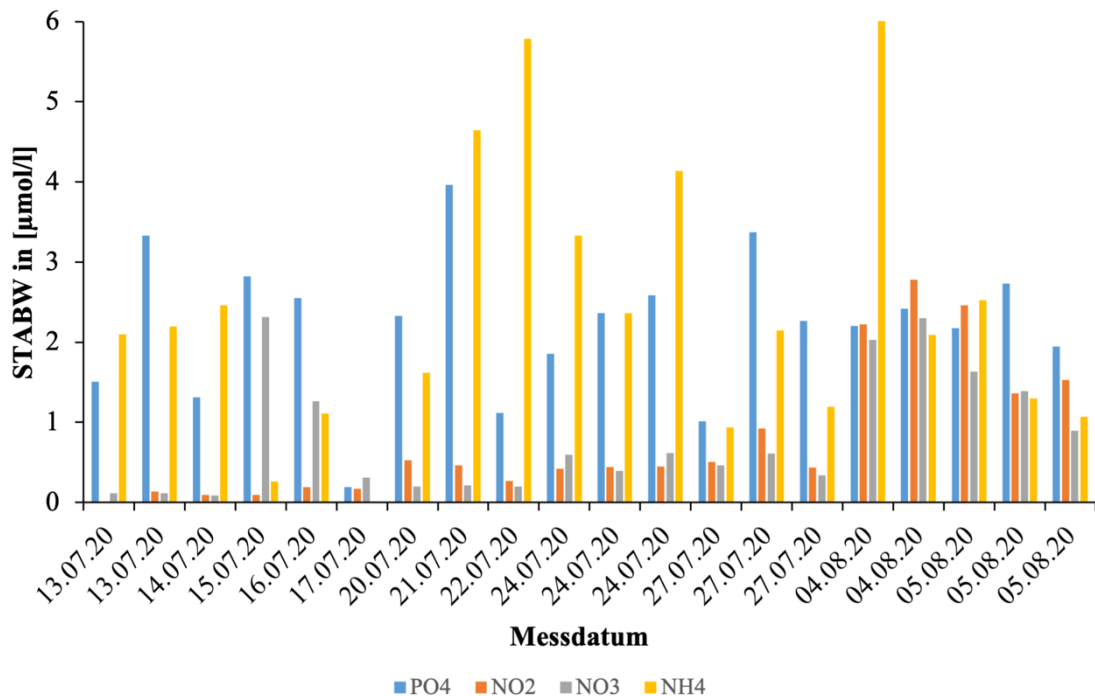


Abbildung 14: [nAufschlÄmmen= 3, nMessparallele= 3] Standardabweichungen der Analysen PO4; NO2; NO3 und NH4 des „alten Treibsel“ aus den Strandanwurf-Gemischen Juni und Juli alt und *Zostera marina L.*

4 Diskussion

4.1. Abhängigkeit zur Zusammensetzung der Biomasse

Verglichen mit Gefäßpflanzen weisen marine Algen einerseits Zellwände mit einer einfachen Struktur und andererseits einen allgemein höheren Gehalt an Stickstoff auf, der für Mikroorganismen leicht zugänglich ist und folglich zu einer schnelleren Zersetzung führt (Siegel & Siegel 1973).

Im Gegensatz zu Algen ist *Zostera marina* L. eine Blütenpflanze mit Blättern, Spross und Wurzel, die ihre Samen durch die Strömung verbreitet (LLur 2014). *Zostera marina* L. wächst vorwiegend in Seegraswiesen des sandigen Küstenbereichs und übernimmt durch erhöhte Sandakkumulation die Rolle des natürlichen Erosionsschutzes der Küste (Boström 2014). Überschüssige Nährstoffe werden von *Zostera marina* L. während des Wachstums aufgenommen, damit kann die Nährstofftracht im Wasser in den küstennahen Bereichen verringert werden (Schubert et al. 2015). Des Weiteren zeichnet sich die vasculäre Pflanze durch ihre gute Speicherkapazität von Kohlenstoff aus. Jährlich können Seegraswiesen zwischen 586 und 681 g CO₂ pro m² aufnehmen (Röhr et al. 2016). Die Seegraspflanzen werfen besonders im Spätsommer und im Herbst einen großen Teil ihrer Sommerblätter ab, die dann in beeindruckenden Massen als Treibgut an die Küste gespült werden (Gerath & Müller 2012). Aufgrund des Anteils an Cellulose sowie geringerer Anteile an Lignin (Klap et al. 2000), ist *Zostera marina* L. für viele Invertebraten nicht oder nur schwer verdaubar. Dieser geringe Anteil der Pflanze und eine Reihe phenolischer Substanzen, wie beispielsweise Ferulsäure, denen im Allgemeinen eine Schutzfunktion gegenüber mikrobiellen Angriffen und Herbivore zugesprochen wird, sprechen für eine nur langsame Zersetzung von *Zostera marina* L. (Feike 2004). Untersuchungen von Nielsen (1966) und Feike (2004) haben jedoch ergeben, dass *Orchestia gammarellus* und *Platorchestia platensis* in der Lage sind, Cellulose zu verdauen.

Zostera marina L. weist im Vergleich mit anderen marinen Makroalgen einen geringen Anteil an Stickstoff auf (Tenore & Hanson 1980). Das kann durch die vorliegende Arbeit nicht bestätigt werden. Innerhalb der Untersuchung konnte festgestellt werden, dass der Anteil der in Wasser gelösten Menge DIN innerhalb der Strandanwurf-Gemische „Treibsel alt“, die sich vorrangig aus *Zostera marina* L. zusammensetzten, im Vergleich zu den Makroalgen (*Ulva* sp. und *Fucus vesiculosus* L.) einen höheren Anteil aufweisen (Abb. 12). Es wurde auch festgestellt, dass sich die in Wasser gelösten Anteile DIN (Abb. 9) und die Anteile SRP (Abb. 8) des „alten Treibsel“ innerhalb der Monate Juni und Juli im Vergleich

zum „Treibsel neu“, dass sich vorwiegend aus Makroalgen zusammensetzte (Abb. 5) erhöht haben.

Es ist davon auszugehen, dass sich die Zusammensetzung der Biomasse zwischen den Probenentnahmen sowohl im Spülsaum als auch im hinteren Bereich des Strandes erneuert haben. In welcher Frequenz das jedoch stattgefunden hat, ist nicht bekannt und entsprechende Studien wurden während einer Literaturrecherche nicht gefunden. Die von Cheryl Batistel (Mitarbeiterin und Doktorandin der Abt. Aquatische Ökologie) durchgeführte I:C:P-Analyse hat ergeben, dass die P-Werte für *Zostera marina* L. im Frühjahr bei 1128,3435 [mg/kg] und im Sommer hingegen bei 595,0093 [mg/kg] lagen (Tabelle 3). Um genaue Aussagen über die saisonale Änderung in der stofflichen Zusammensetzung der Biomasse und somit der Abgabe von wasserlöslichen DIN und SRP geben zu können, ist der Untersuchungszeitraum dieser Arbeit zu kurz. Hier wäre eine Langzeituntersuchung über mehrere Monate nötig, vermutlich würden sich die Proben aus dem Frühjahr mit den Proben aus dem Herbst unterscheiden.

So wie alle Makroalgen hat auch *Fucus vesiculosus* L. keine Blätter und Wurzeln, sondern gliedert sich in einen verzweigten Thallus und eine Haftscheibe, mit der er sich, anders als *Zostera marina* L., vorwiegend auf Hartsubstraten ansiedelt (Lüning 1985). Der Blasentang kann aufgrund seiner mit Luft gefüllten Vesikel nahezu aufrecht im Wasser stehen und ist so der natürlichen Wellen- und Strömungsbewegung des Wassers ausgesetzt. Das bedeutet, dass dieser leichter abgerissen werden kann und als Biomasse an den Strand gespült werden kann (https://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/wafis/kueste/fucus_bericht.pdf). Für die Ostsee stellt *Fucus vesiculosus* L. eine bedeutende Rolle dar. Einerseits ist er Habitat für beispielsweise *Littorinidae* spp. und *Amphipoda* und andererseits speichert *Fucus vesiculosus* L. Kohlenstoffdioxid (Lüning 1985).

Innerhalb der Untersuchung wurden *Fucus vesiculosus* L. und *Ulva* sp. als dominanteste Vertreter der Makroalgen gewählt. Es stellte sich heraus, dass *Fucus vesiculosus* L. im Vergleich zu *Ulva* sp. einen höheren der in Wasser gelösten Anteile SRP aufwies (Abb. 11). Anders als anfänglich erwartet ergaben die Untersuchungen auch, dass *Ulva* sp. und *Fucus vesiculosus* L. im Vergleich zu *Zostera marina* L. nur einen geringen Anteil des in Wasser gelösten DIN aufwiesen (Abb. 12). Die anfänglich aufgestellte Annahme, dass *Zostera marina* L. also weniger Nährstoffe löst als Makroalgen konnte mit den vorliegenden Untersuchungen nicht gestützt werden.

Bei den jeweiligen Probenentnahmen wurde die Biomasse dem Spülsaum und dem hinteren Bereich des Strandes entnommen. Sowohl die Biomasse im Spülsaum als auch die Biomasse

im hinteren Bereich des Strandes war mit Sand versetzt, der mit aufgenommen wurde. Bei der Aufbereitung der Proben im Labor wurde anfänglich durch gründliche Spülung der Biomasse zwar ein großer Anteil des Sands entfernt, trotzdem löste sich bei jedem Aufschlamm-Vorgang noch immer eine unterschiedliche Menge an Sand mit heraus (Abb. 7). Diese nicht zu definierende Menge an Sand wurde mit der Probe eingewogen, demzufolge konnten nicht immer exakte Probeneinwaagen generiert werden. Was eben auch bedeutet, dass die Messungen der Proben nicht alle präzise sind (Abb. 13). Die Qualitätsanalyse zeigte, dass die Standardabweichungen von PO_4 und NH_4 des „alten Treibsel“ und „neuen Treibsel“ im Vergleich zu NO_3 und NO_2 höher waren (Abb. 13, 14). Die erhöhten Standardabweichungen könnten auf die unterschiedlichen Methoden (siehe 2.4) zurückzuführen sein. Die Proben von NH_4 wurden erst nach einer Reaktionszeit von 6-24h gemessen und standen in diesem Zeitraum kühl und dunkel gelagert. Es ist erkennbar, dass die Standardabweichungen ab dem 04.08.2020 größer geworden sind. Es wurde mit Material gearbeitet, dass „eingefroren“ war. Die Kristallbildung beim Gefrierprozess spielte offenbar eine Rolle und es kann davon ausgegangen werden, dass sich das Material verändert hat.

4.2. Abhängigkeit zum Ort sowie zum Feuchtgehalt der Biomasse (Überspülung und Austrocknung)

Das Treibsel, welches durch auflandigen Wind oder Strömungsverhältnisse an den Strand gespült wird, unterliegt dort verschiedenen physikalischen, aber auch biologischen Prozessen. Dabei kommt es u.a. zur Entwässerung, Alterung und Fragmentierung der Biomasse (Olabarria 2006). In dieser Arbeit wurde zwischen „neuem Treibsel“ und „altem Treibsel“ unterschieden, die an zwei Orten am Strand besonders präsent waren: einmal im Spülsaumbereich und einmal im hinteren Bereich des Strandes. Der Bereich des Spülsaums, befindet sich in unmittelbarer Nähe zur Wasserlinie und zeichnet sich durch ständige Überschwemmungen aus. Hier sammelt sich die Biomasse, die durch Wind oder anlandige Wellen dorthin transportiert wird. Der hintere Bereich des Strandes hingegen charakterisiert sich vorrangig durch Treibselanlagerungen, die vermutlich seit geraumer Zeit dort liegen. Oft sind diese schon getrocknet und/oder es haben bereits Zersetzungsprozesse stattgefunden.

Der Eintrag von Strandanwurf in das Habitat ist unstetig und kann durch mechanischen Austrag, beispielweise Wind und Wellen, stark verringert werden oder zu kleineren Ansammlungen reduziert bzw. ausgetrocknet werden. Genaue Aussagen bezüglich des jeweiligen Zersetzungszustandes bzw. zur Liegezeit der Proben konnten bei dieser Untersuchung nicht getroffen werden, da die monatliche Beprobung für solche Aussagen nicht ausreichend ist.

Die beiden Orte unterscheiden sich bezüglich der abiotischen Bedingungen immens: während im Spülsaum die Biomasse ständig mit Meerwasser überspült und somit anhaltend feucht war (Abb. 6), war im hinteren Bereich des Strandes die Austrocknung durch erhöhte Sonneneinstrahlung weitaus intensiver.

Die Untersuchungen ergaben jedoch auch, dass die Feuchtigkeit des „alten Treibsel“ innerhalb der Monate stark variierte, sodass davon ausgegangen werden kann, dass die Biomasse des „Treibsel alt“ Juli deutlich neuer war als die Biomasse des „Treibsel alt“ im Juni (Abb. 6).

Die Zersetzung des Strandanwurfs wird durch zahlreiche im Strandanwurf lebende Organismen (Infauna) bzw. mikrobielle Prozesse ermöglicht (Remmert et al. 1982). Diese Organismen halten sich vorrangig in der Nähe zur Wasserlinie auf und meiden getrockneten Strandanwurf, da dieser für sie schlichtweg nicht verwertbar ist (Remmert 1960).

Nach einer Untersuchung von Schumacher (2008) auf Zingst und dem Gellen konnte festgestellt werden, dass *Talitrus saltator* der häufigste Vertreter ist, der zur Zersetzung der angespülten Biomasse beiträgt und folglich eine wichtige Rolle als Treibselkonsument einnimmt (Lange 2011). Auch verschiedene *Rhabditis*-Arten sind typische Vertreter, die zur Zersetzung der angespülten Biomasse beitragen. Sudhaus (1974) berichtet in seinen Untersuchungen, dass verschiedene *Rhabditis*-Arten vorrangig auf Algen und weniger auf *Zostera marina* L. zu finden waren.

Aber auch durch andere abiotische Faktoren wie beispielsweise Wind und Sonne wird die Biomasse in ihrer Struktur verändert: z.B. durch das Zerbrechen in einzelne Fragmente.

Das Aufbrechen dieser Fragmente führt wiederum vermutlich zu einem beschleunigten bakteriellen Abbau des Materials (Feike 2004). Die anfänglich aufgestellte Hypothese, dass „altes Treibsel“ im Vergleich zum „neuen Treibsel“ mehr Nährstoffe abgibt kann innerhalb dieser Untersuchung nicht ausreichend belegt werden. Hypothetisch wurde angenommen, dass sich die untersuchte Biomasse des „Treibsel alt“ zwischen den Probenentnahmen im Juni und Juli nicht ausgetauscht hat.

Zostera marina L. zersetzt sich sehr langsam (siehe 4.1) und kann somit den eingelagerten Kohlenstoff für lange Zeit binden (Hartje 2013). Die Proben des „alten Treibseis“ von der Insel Poel am 17.06.2020 und 01.07.2020 bestanden vollständig aus *Zostera marina* L. (siehe 3.2.1) und verblieben als getrocknete Biomasse im hinteren Bereich des Strandes.

4.3. Abhängigkeit zur Temperatur

Die Vegetationsphase von Makroalgen und auch von *Zostera marina* L. ist stark von der Wassertemperatur abhängig. Mit zunehmender Temperatur speichern diese die Nährstoffe, die im Sediment zur Verfügung stehen. Es zeigte sich, dass niedrige Wassertemperaturen von 5 °C sowohl zur Reduzierung der Photosyntheserate als auch zur Reduzierung der Wachstumsrate der Blätter führten (Nejrup & Pedersen 2008). Auch Bobsien und Munkes (2004) konnten nachweisen, dass *Zostera marina* L. hinsichtlich des Wachstums ein saisonales Verlaufsmuster aufweist, dass sich vorrangig auf die Sprosszunahme im Frühjahr bis hin zum Frühsommer zurückführen lässt. Das bedeutet, die Ausbildung neuer Sprosse und Blätter von *Zostera marina* L. wird durch den Anstieg der Wassertemperatur begünstigt (Gründel 1982).

Mit Sprosszunahme von *Zostera marina* L. bedeutet das auch, dass mehr Material abgetrennt wird und als Biomasse an den Strand gespült wird. Im späteren Verlauf gelangt das Material dann in den hinteren Bereich des Strandes und trocknet mit zunehmender Temperatur aus. In dieser Arbeit konnte festgestellt werden, dass sich die Menge der in Wasser gelösten Nährstoffe von Juni auf den Juli erhöht haben (Abb. 8, 9). Es ist erkennbar, dass die in Wasser gelösten Stickstoffspezies im „Treibseis alt“ bei wärmeren Temperaturen zugenommen haben, somit die Zersetzung durch anhaltend warme Temperaturen begünstigt wurde. Es kann vermutet werden, dass wärmere Wassertemperaturen somit auch die Primärproduktion steigern würden. Über die Zeit würden demzufolge mehr Nährstoffe in die Makroalgen und *Zostera marina* L. eingelagert werden können. Die für die unterschiedlichen Strandanwurf-Gemische durchgeführte C:N:S- und I:C:P-Analyse (Tabelle 3) ergab, entgegen der Vermutung, einen Rückgang der Stickstoffgehalte der „Treibseis neu“-Gemische und *Ulva* sp.. Die aufgestellte Vermutung konnte durch die Analyse nicht gestützt werden. Es kann möglich sein, dass die Monate der Beprobung zu dicht hintereinander lagen, um diese Vermutung hinreichend bestätigen zu können.

Tabelle 3: Potentiell vorhandene C:N:P-Gehalte der Biomasse. C:N:S/I:C:P-Analyse durchgeführt von Cheryl Batistel (Mitarbeiterin und Doktorandin der Abt. Aquatische Ökologie).

Parameter	C in [%]	N in [%]	P in [mg/kg]
Strandanwurf-Gemische			
„Treibsel neu Juni“	15,46	0,85	900,1851
„Treibsel alt Juni“	15,27	0,73	756,8028
„Treibsel neu Juli“	15,17	0,61	724,9230
„Treibsel alt Juli“	26,46	0,84	595,0093
<i>Ulva</i> sp.	11,09	0,61	960,3225
<i>Zostera marina</i> L.	37,82	1,36	1128,3435
<i>Fucus vesiculosus</i> L.	28,30	0,48	1142,0650

4.4. Bedeutung für das Ökosystem Strand

Strandanwurf hat viele Funktionen im Ökosystem Strand (siehe Einleitung).

Je nach Überdeckung des Strandbodens mit Biomasse wird das darunter befindliche Sediment mit organischem Material angereichert und entsprechend mikrobiell bzw. durch die Infauna zersetzt. Weiterhin wird die Treibsel-Biomasse über den Wind in den Dünenbereich transportiert und durch die dortige Vegetation als sogenannter „Windfänger“ akkumuliert. Die bei der Zersetzung der Biomasse freiwerdenden Nährstoffe versorgen vor allem die Vegetation der Dünen und des Strandbodens. Die gelösten DIN- und SRP-Konzentrationen in den Sedimenten stehen somit vermutlich im Verhältnis zur möglichen Primärproduktion. Feike (2004) konnte mit seiner Arbeit belegen, dass Treibsel zu erhöhten Primärproduktionsraten im Spülsaum der Ostsee führen kann. Für 17 kg Strandanwurf pro Meter Strandlinie und Jahr ergab sich aus den berechneten Werten des Nährstoffexports, dass der jährliche Phosphataustrag pro Meter Strandlinie die Versorgung des angrenzenden Flachwasserbereiches je nach Produktionsrate von 36 m bis 360 m Wasserfläche sichern kann. Bei einer Limitierung durch Stickstoff würden sich, basierend auf dem Austrag von Nitrat, 9,4 bis 94 m ergeben. Feike (2004) wies auch darauf hin, dass die Freisetzung der Nährstoffe jahreszeitlich unterschiedlich sind und dass je nach Wellen- und Strömungsverhältnissen die Nährstoffe aus dem Flachwasserbereich herausgetragen werden

können. Trotzdem zeigte sich, dass die Zersetzung des Strandanwurfs einen wesentlichen Beitrag zur Versorgung der Primärproduzenten mit anorganisch gelösten Nährstoffen im Flachwasserbereich leistet.

Die Untersuchungen dieser Arbeit weisen darauf hin, dass die Abgabe der in Wasser gelösten Nährstoffe zunimmt, je länger die Biomasse am Strand lagert (Tabelle 3). Die Untersuchung zeigte außerdem, dass die in Wasser gelöste Menge SRP sowohl in den Strandanwurf-Gemischen als auch den Makroalgen (*Ulva* sp. und *Fucus vesiculosus* L.) ähnlich hoch ist, wie es auch Feike (2004) in seinen Untersuchungen feststellte (Abb. 11).

Mithilfe der C:N:S- und I:C:P-Analyse wurde klar, dass sich lediglich ein geringer Anteil aus den Strandanwurf-Gemischen während des Aufschlamm-Vorgangs herausgelöst hat.

Allerdings ist festzustellen, dass die Aussagen durch die dreimalige monatliche und nicht prozessorientierte Beprobung nicht hinreichend unterstützt werden kann. Hierfür würden *in situ* Messungen im Spülsaum über einen längeren Zeitraum mit einem Treibselgemisch als Ausgangsbiomasse nötig sein. Bei der Zersetzung der angespülten Biomasse werden vorrangig Nitrat und Phosphat freigesetzt, die die Erstbesiedler des Spülsaums mit Nährstoffen versorgen (Olabarria et al. 2018) und gleichzeitig stellen diese für das Pflanzenwachstum limitierende Nährstoffe darstellen (Rosenberg et al. 1990). Vor allem Stickstoff nimmt eine Sonderstellung ein und ist an zahlreichen Ab- und Umbauprozessen beteiligt und gelangt leicht in tiefere Bodenschichten, die die Pflanze als Stickstoffspezies NH_4 und NO_3 aufnehmen kann (Schnepper & Schachtschnabel 2018).

Würde die angespülte Biomasse nun am Strand verbleiben und nicht abtransportiert werden, fördere das gleichzeitig das Algenwachstum im Flachwasserbereich. Die anorganisch gelösten Nährstoffe würden so in die Ostsee gelangen. Im Gegensatz dazu könnte der Abtransport der angespülten Biomasse durch maschinelle Reinigung, über einen längeren Zeitraum gesehen, einen Beitrag zur Verminderung der Eutrophierung leisten (Feike 2004). Der natürliche Sandstrand der Ostsee existiert nur noch an wenigen Stellen, lediglich 11 % der Sandstrände sind als Naturschutzgebiet oder Nationalpark ausgewiesen (Mossbauer 2012). Verantwortlich für diesen Rückgang sind einerseits die hohe touristische Nutzung der Strände und die damit verbundene Trittbelastung und andererseits die maschinelle Reinigung der Strände (Schumacher 2008). Durch das Reinigen des Strandes wird dem Strand bzw. der Düne eine erhebliche Nährstoffgrundlage entzogen, was eben zur Beeinflussung der Nahrungskette verschiedener Organismen und zu einer geringen Vegetation innerhalb der Dünen führt.

Bis lang gibt es wenige Studien, die sich mit der Quantifizierung des Strandanwurfs entlang der deutschen Ostseeküste beschäftigt haben. Mossbauer et al. (2012) stellten in ihren Untersuchungen im Jahr 2010 fest, dass die durchschnittliche jährliche Menge Strandanwurf an 23 bewirtschafteten Stränden bei 269 kg pro Strandmeter lag. Und auch Gerath & Möller (2012) führten in den Jahren 1998 und 2000 monatliche Beprobungen entlang mehrerer Küstenabschnitte in Nordwestmecklenburg durch. Dabei ergab sich, dass die durchschnittliche angespülte Seegrastrockenmasse 33 kg pro Strandmeter betrug.

Innerhalb dieser Arbeit wurde durchschnittlich insgesamt etwa 500 g Biomasse des „alten Treibsel“ verifiziert. Würde das „alte Treibsel“ nun im hinteren Bereich des Strandes liegen bleiben und nicht abtransportiert werden, würde das eine einmalige Rücklösung von 527,11 [mg/kg] DIN und von 1033,98 [mg/kg] SRP bedeuten. Da hier nur eine einmalige Messung durchgeführt wurde, ist unklar, was Auswaschungen durch Regen für einen Austrag an DIN und SRP für das Ökosystem bedeuten würde.

Allerdings gibt es weder auf nationaler noch internationaler Ebene ein dauerhaftes saisonales Monitoring der Treibselanladungen.

Bisher wurden, wie auch innerhalb dieser Arbeit, nur punktuelle Aufnahmen der Biomasse unternommen. Das hat auch zur Folge, dass es bisher keine genauen Abschätzungen bzw. Werte darüber gibt, wieviel Nährstoff das Treibsel nun tatsächlich jährlich in den Strand bzw. die Düne einträgt. An dieser Stelle besteht noch viel Potential für weitere Forschungsprojekte und Untersuchungen.

5 Literatur

ALDAG, S. (2018): Ökologische Aspekte der stofflichen Verwertung von Seegras. (Masterarbeit der Universität Rostock).

AMELUNG, W., BLUME, H.P., FLEIGE, H., HORN, R., KANDELER, E., KÖGEL-KNABER, I., KRETZSCHMAR, R., STAHR, K., WILKE, B.M. (2018): Lehrbuch der Bodenkunde. (Hrsg. Scheffer, F., Schachtschnabel, P.)

AMT KLÜTZER WINKEL (2004): Technischer Abschlussbericht des LIFE-Projektes "Nachhaltige Entwicklung von Küstenregionen Europas und Schaffung eines regionalen Kreislaufes unter Einbeziehung des integrierten Umweltnutzens".

AMT KLÜTZER WINKEL (2005): Nachhaltige Entwicklung von Küstenregionen Europas und Schaffung eines regionalen Kreislaufes unter Einbeziehung des integrierten Umweltnutzens. LIFE00 ENV/D/000312. Laienbericht. Klütz.
http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/files/laymanReport/LIFE00_ENV_D_000312_LAYMAN.pdf

BERGLUND, J., ROOS, C. (2000). The effects of ferry traffic and longterm changes on algal vegetation in the Åland archipelago. Forskningsrapporter från Husö biologiska station 101, 1–33. (in Swedish with English summary).

BERGLUND, J., MATTILA, J., RÖNNBERG, O., HEIKKILÄ, J., BONSDORFF, E., (2003), Seasonal and inter-annual variation in occurrence and biomass of rooted macrophytes and drift algae in shallow bays, Estuar. Coast. Shelf Sci., 56 (5–6), 1167–1175.

BIRD E.C.F. (1996): Beach management. - Schriftenreihe: Coastal morphology and research. - Chichester [u.a.]: Wiley 1996, X.

BIOLOGISCHE STATION ZINGST DER UNIVERSITÄT ROSTOCK (o.J): <
<https://www.bsz.uni-rostock.de>>

BOBSIEN, I. (2013): „Seegraswiesen als Ökosystemdienstleister“. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR). 7 Seiten.

BOBSIEN, I., MUNKES, B. (2004): Saisonale Variation der Fischgemeinschaft und Habitat- struktur einer Seegraswiese (*Zostera marina* L.) der südlichen Ostsee. - Rostocker Meeresbiologische Beiträge / Universität Rostock, Institut für Biowissenschaften. - Rostock: Universität, Heft 12 (2004)

BOSSEL, H. (2004): Systemzoo 2 – Klima, Ökosystem und Ressourcen.

BOSTRÖM C., BADEN, S., BOCKELMANN, A.C., DROMPH, K., FREDRIKSEN, S., GUSTAFSON, C., KRAUSE-JENSEN, D., MÖLLER, T., NIELSEN, S.L., OLESEN, B., OLSEN, J., PIHL, L., RINDE, E. (2014): Distribution, structure and function of Nordic eelgrass (*Zostera marina*) ecosystems: implications for coastal management and conservation. Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems, 24(3)

- BOSTRÖM, C., BADEN, S., KRAUSE-JENSEN, D. (1992): The seagrasses of Scandinavia and the Baltic Sea. S. 27-37.
- DAVENPORT, J., DAVENPORT, J.L. (2006): The impact of tourism and personal leisure transport on coastal environments: A review. In: Estuarine, Coastal and Shelf Science, 67.
- DITTMANN, S. (2015): Möglichkeiten zur Steigerung der Akzeptanz von Treibsel an Ostseegemeinden. (Bachelorarbeit der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen-Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel).
- DITTMANN, S. (2019): Kunststoffmüll im Strandanwurf- Entwicklung eines Separationsverfahrens zur Bestimmung des Mikroplastikanteils im Ostseetreibsel. (Masterarbeit der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen-Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel).
- DONGES, L., HALLER, I., SCHERNEWSKI, I. (2013): Tourists' Perception of Coastal Changes – A Contribution to the Assessment of Regional Adaption Strategies? In: Schmidt-Thome, P., Klein, J.: Climate Change Adaption in Practice: From Strategy Development to Implementation.
- EU-INTERREG PROJECT CONTRA (o.J.): <<https://www.beachwrack-contr.eu>>
- FAUNA-FLORA-HABITATRICHTLINIE (o.J.): < <http://www.fauna-flora-habitatrichtlinie.de>>
- FEIKE, M., FECHTER, A., MÄDEL, M. (2002): Einfluss von *Platorchestia platensis* auf die Abbaugeschwindigkeit von *Zosteramarina* und den Kohlenstofffluss in das Sediment. – Rostocker Meeresbiologische Beiträge, 11.
- FEIKE, M. (2004): Die Bedeutung des Strandanwurfes für das Ökosystem Sandstrand.
- FILIPKOWSKA, A., LUBECKI, L., SZYMCZAK-ZYLA, M., KOWALEWSKA, G., ZBIKOWSKI, R., SZWFER, P. (2008), Utilisation of macroalgae from the Sopot beach, *Oceanologia*, 50 (2), 255–273.
- FILIPKOWSKA, A., LUBECKI, L., SZYMCZAK-ZYLA, M., LOTOCKA, M., KOWALEWSKA, G. (2009), Factors affecting the occurrence of algae on the Sopot beach (Baltic Sea), *Oceanologia*, 51 (2), 233–262.
- GERATH, H., MÜLLER, H. (2012): Seegras- Biologie und ökologische Bedeutung der Seegräser in Nord- und Ostsee aus globaler Sicht. Entsorgung und Verwertung des Treibgutes an der Küste Nordwest-Mecklenburgs.
- GRÜNDEL, E. (1982): Ökosystem Seegraswiese – qualitative und quantitative Untersuchungen über Struktur und Funktion einer *Zostera*-Wiese vor Surendorf (Kieler Bucht, Westliche Ostsee). – Reports / Sonderforschungsbereich 95 „Wechselwirkung Meer - Meeresboden“ der Christian-Albrechts-Universität Kiel Nr. 56, 1982.

HALLER, I., STYBEL, N., SCHUMACHER, S., MOSSBAUER, M. (2011): Will Beaches be enough? Future Changes for Coastal Tourism at the German Baltic Sea. - In: Mi- callef, A. (Hrsg.): MCRR3-2010 Conference Proceedings. - Journal of Coastal Re- search. Special Issue. No. 61. Italien.

HARTJE J. (2013): Seegrass. Ein Dämmstoff direkt aus der Natur. Westerau.

HEYDEMANN B. (1997): Neuer Biologischer Atlas: Ökologie für Schleswig-Holstein und Hamburg. Neumünster.

JENSEN, K. (2017): Treibselanfall an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste: Entstehung und Probleme im Zeichen des Klimawandels. (Masterarbeit der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen-Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel).

JEDRZEJCZAK, M.F.(2002): Spatio-temporal decay ‘hot spots’ of stranded wrack in a Baltic sandy coastal system. Part I Comparative study of the pattern: 1 type of wrack vs 3 beach sites, Gdańsk, Poland: Institute of Oceanography.

JEDRZEJCZAK, M.F.(2002): Stranded *Zostera marina* L. vs wrack fauna interactions on a Baltic sandy beach (Hel, Poland), Gdansk: OCEANOLOGIA.

JONASSON, O. (2018): *Zostera marina* im Strandanwurf- Standortdifferenzierte Analyse in der Kieler Bucht. (Bachelorarbeit der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen-Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel).

KLAP, V.A., HEMMINGA, M.A., BOON, J.J. (2000): Retention of lignin in seagrasses: angiosperms that returned to the sea. - Marine Ecology Progress Series, Oldendorf/Luhe 194.

KISCHKAT, J, OTTEN, J. (2018): Die Akzeptanz eines nachhaltigen Strandberäumungskonzeptes – eine Befragung von Strandnutzenden im Ostseeheilbad Graal-Müritz. (Masterarbeit der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen-Fakultät der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald).

KÜHNLE, S. (2011): Die Treibselproblematik an der Ostküste Schleswig-Holsteins. (Bachelorarbeit der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Universität der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel).

LANDESAMT FÜR NATUR UND UMWELT SCHLEWIG-HOLSTEIN (2008): Kartierung mariner Pflanzenbestände im Flachwasser der Ostseeküste – Schwerpunkt *Fucus* und *Zostera*.

<https://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/wafis/kueste/fucus_bericht.pdf>

LANDESAMT FÜR STATISTIK MECKLENBURG-VORPOMMERN (LAIV-MV) (o.J): < <https://www.laiv-mv.de/Statistik/Zahlen-und-Fakten/Wirtschaftsbereiche/Gastgewerbe-und-Tourismus>>

LANGE, G. (2011): Steckbrief *Talitrus saltator* (Montagu, 1808), Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde. AG "Ökologie benthischer Organismen". <https://www.io-warnemuende.de/tl_files/bio/ag-benthische-organismen/pdf/Steckbrief%20Talitrus%20saltator.pdf> (Stand: 16.06.2015).

LLUR (Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, Dezernat Küstengewässer (Hrsg.) (o.J.): Das Große Seegras. *Zostera marina*. Flyer. 2 Seiten.

LÜNING, K. (1985): Meeresbotanik. Verbreitung, Ökophysiologie und Nutzung der marinen Makroalgen.

MACHNICKI, B. (2018): Analyse von Treibselldünen zu Küstenschutz Zwecken. (Masterarbeit der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen-Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel).

MECKLENBURGER-BUCHT (o.J.): <https://de.wikipedia.org/wiki/Mecklenburger_Bucht>

MOSSBAUER, M., HALLER, I., DAHLKE, S., SCHERNEWSKI, G. (2011): Management of stranded eelgrass and macroalgae along the German Baltic coastline. Rostock.

MOSSBAUER, M., HALLER, I., DAHLKE, S., SCHERNEWSKI, G. (2012): Management of stranded eelgrass and macroalgae along the German Baltic coastline. In: Ocean & coastal management, 57.

MOSSBAUER, M., DAHLKE, S., FRIEDLAND, R., SCHERNEWSKI, G. (2013): Consequences of Climate Change and Environmental Policy for Macroalgae Accumulations on Beaches along the German Baltic Coastline.

NEJRUP, L. B., PEDERSEN, M. F. (2008). Effects of salinity and water temperature on the ecological performance of *Zostera marina*. Aquatic Botany, 88(3)

NIELSEN, O. (1966): Carbohydrases of some wrack invertebrates. – Natura Jutlandica, 12

OLABARRIA, C., M. LASTRA, J. GARRIDO (2006): Succession of macrofauna on macroalgal wrack of an exposed sandy beach: Effects of patch size and site.

OLABARRIA, C., INCERA, M., GARRIDO, J., ROSSI, F. (2010): The effect of wrack composition and diversity on macrofaunal assemblages in intertidal marine sediments. In: Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 396(1).

OLABARRIA, C., BISHOP, M.J., BROOKS, P. R., BUGNOT, A.B., CUMBO, V., DAFFORN, K. A., FIRTH, L.B., HEERY, E., MAYER-PINTO, M., MORRIS, R.L. (2018): Eco-engineering urban infrastructure for marine and coastal biodiversity: Which interventions have the greatest ecological benefit? In: Journal of Applied Ecology- Vol. 55, Issue 1.

- OTTEN, J. (2016): Die Treibselproblematik an der deutschen Ostseeküste – das Fallbeispiel Gemeinde Ostseebad Insel Poel. (Fallstudienbericht der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen-Fakultät der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald).
- POSIMA (GEOGRAPHISCHEN INSTITUT DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL) (o.J.): Was ist Treibsel? <<https://posima.de/das-treibsel.html>> (Stand: o.J.).
- REMMERT, H. (1960): Der Strandanwurf als Lebensraum. In: Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere, Vol. 48, No. 5- März.
- REMMERT, H. (1982): The wrack-beds and their fauna. – Terrestrial and freshwater fauna of the Wadden Sea: Final report of the Wadden Sea Working Group/Section Terrestrial Fauna, 10.
- RITTGEN, U. (2019): Analytische Chemie I.
- ROHDE, K.-H., NEHRING, D. (1979): Ausgewählte Methoden zur Bestimmung von Inhaltsstoffen im Meer- und Brackwasser. – Geodätische und geophysikalische Veröffentlichungen, 4 (27).
- ROLLHÄUSER, R. (2019): Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung von Treibsel als Grundlage für den Einsatz in der Landwirtschaft. (Masterarbeit der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen-Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel).
- ROSENBERG, R., ELMGREN, R., FLEISCHER, S., JONSSON, P., PERSSON, G., DAHLIN, H. (1990): Marine eutrophication case studies in Sweden. - Ambio, Stockholm 19
- RÖHR, M. E., BOSTRÖM, C., CANAL-VERGÉS, P., HOLMER, M. (2016). Blue carbon stocks in Baltic Sea eelgrass (*Zostera marina*) meadows. Biogeosciences, 13(22).
- SCHNEPPER, C. (2017): A research on the policy framework and management of beach wrack in the Valtic Sea, with a focus on North Germany.
- SCHUBERT, P. R., HUKRIEDE, W., KAREZ, R., REUSCH, T. B. (2015). Mapping and modeling eelgrass *Zostera marina* distribution in the western Baltic Sea. Marine Ecology Progress Series, 522
- SCHUMACHER, S. (2008): Sandstrände der deutschen Ostseeküste – Gefährdung, Schutz und Ökologie der Wirbellosen. In: IKZM-Oder Berichte, 53. Rostock. 151 Seiten.
- STERR, H., HOFMANN, J., TSCHIRPIG, V. (2019): Seegras und Treibsel- Altbekannte Strandressource neu entdeckt. Coastline-Reports, 26.
- SUDHAUS, W. (1974): Zur Systematik, Verbreitung, Ökologie und Biologie neuer und wenig bekannter Rhabditiden (Nematoda). Band 2 Zoologische Jahrbücher, Bd. 101, Heft 3.

TENORE, K. R., HANSON, R. B. (1980): Availability of detritus of different types and ages to a polychaete macroconsumer, *Capitella capitata*. – Limnology and Oceanography, 25.

WARMKE, S. (2019): Die Verwertung des Treibseis vom Ostseestrand: Erforschung der Potentiale verschiedener Nutzungsformen. (Masterarbeit der Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel).

WEINBERGER, F. (2015): Wen stören welche Treibseis - und warum?. - GEOMAR. Kiel.

WETTER ONLINE (o.J):

<https://www.wetter.com/wetter_aktuell/rueckblick/deutschland/insel-poel/kirchdorf/DE0004980008.html?sid=B308&timeframe=1y>

Erklärung

Nach § 11 Absatz 5 der Rechtsverordnung

1. Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die anderen Werken vom Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, habe ich unter Angabe der Quellen als Entlehnungen kenntlich gemacht. Mir ist bekannt, dass gemäß § 14 der Rechtsverordnung die Prüfung wegen einer Pflichtwidrigkeit (Täuschung u. ä.) für nicht bestanden erklärt werden kann.

Von der Arbeit darf eine elektronische Kopie gefertigt und gespeichert werden, um die Überprüfung mittels einer Plagiatsoftware zu ermöglichen.

Ort, Datum, Unterschrift

2. Ich bin damit einverstanden, dass meine wissenschaftliche Abschlussarbeit in eine öffentliche Bibliothek eingestellt und ausgeliehen werden kann.

Ort, Datum, Unterschrift