

Claudia Tonn<sup>1</sup>, Uwe Buczko<sup>1</sup> & Gerald Jurasinski<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universität Rostock, AUF, Landschaftsökologie und Standortkunde, Justus-von-Liebig Weg 6, 18059 Rostock, Deutschland

claudia.tonn@uni-rostock.de

## Schilfröhricht als Schnittstelle zwischen Land und Wasser



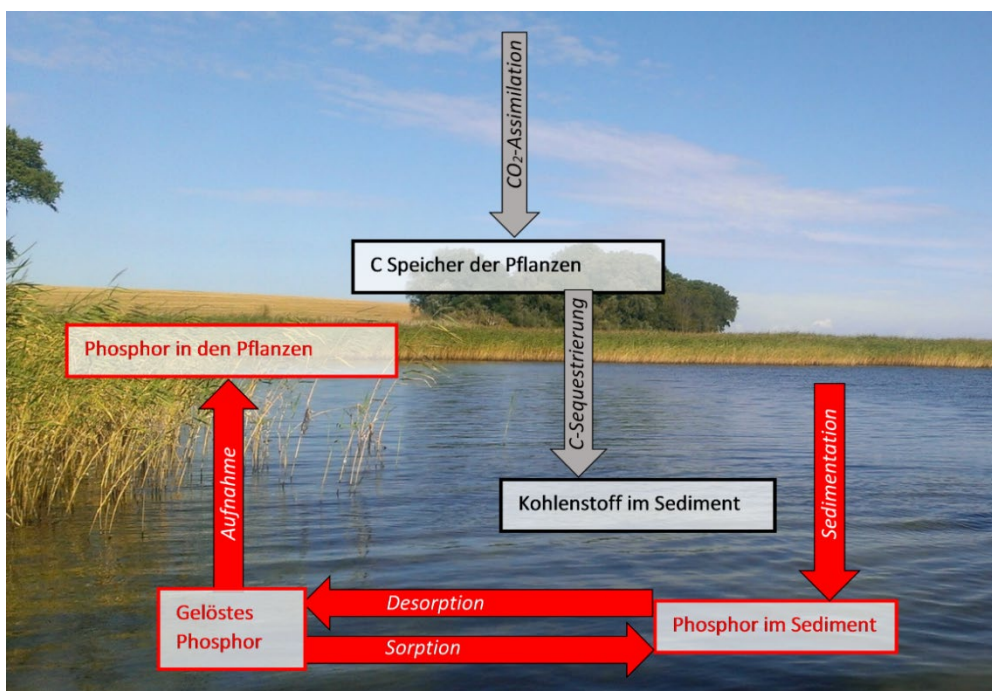
Landesamt für innere Verwaltung Mecklenburg-Vorpommern,  
Amt für Geoinformation und Katasterwesen (31.05.2013)

Luftbildaufnahme vom Untersuchungsgebiet Dabitz (Südwestlicher Grabow)

Die inneren Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns sind von einem Schilfgürtel umgeben. Dieser bildet die Grenze zwischen zwei Ökosystemen – dem marinen und dem terrestrischen Ökosystem – und kann somit besondere Ökosystemleistungen bereitstellen. Durch langjährige Freilanduntersuchungen des Nährstofftransports und der Sedimentationsdynamik in der Darß-Zingster-Boddenkette sollte die Rolle des Schilfs (auch Schilfrohr oder Röhricht genannt) als Ökosystemdienstleister eingeschätzt werden. Vor allem in den ausgedehnten Flachwasserbereichen filtern die Makrophyten Nährstoffe und regulieren den Sedimenttransport. Phosphor, der durch die landwirtschaftlich genutzten Flächen in die angrenzenden Boddengewässer eingetragen wird, kann durch den Schilfgürtel gepuffert werden. Zudem führt eine höhere Sedimentationsrate in den Schilfbereichen zu einer höheren Kohlenstoffspeicherung im Boden und trägt so zur langfristigen Kohlenstofffestlegung bei.

# 1 Einleitung

Die Bodden- und Haffküsten der südlichen Ostsee werden fast vollständig von Schilfgürteln (*Phragmites australis* (CAV.) TRIN. ex STEUD.) unterschiedlicher Breite gesäumt. Sie erfüllen wichtige Ökosystemfunktionen an der Schnittstelle zwischen Land und Küstengewässer. Sie werden von beiden Seiten wechselseitig beeinflusst und stehen in einem engen Stoffaustausch sowohl mit dem Land als auch mit dem Gewässer. Schilfgürtel nehmen drei landschaftsökologische Funktionen wahr. Zum einen den Artenschutz. Schilfgürtel weisen einen relativ dichten Bewuchs mit Schilfpflanzen und eine hohe Biomasseproduktion auf. Dadurch werden Strukturelemente und Nahrungspflanzen gestellt. Zum zweiten fungieren Schilfgürtel als Uferschutz. Durch die Festigung des Substrats durch Wurzelgeflechte wird die Küstenlinie vor Erosion geschützt und Wellenenergie durch den dichten Pflanzenbestand gedämpft. Oftmals findet sogar eine sehr effektive Sedimentation von Partikeln innerhalb von Vegetationszonen statt [7],[1], sodass Schilfgürtel bei günstigen Bedingungen in der Lage sind, durch hohe Sedimentanlieferung und hohe Biomasseproduktion, Neuland zu bilden. Dabei können sie nach oben wachsen und dadurch gegebenenfalls mit einem Anstieg des Meeresspiegels Schritt halten [13]. Außerdem breitet sich Schilf durch Ausläufer flächig aus, wodurch Schilfgürtel – so lange es die Wassertiefen erlauben – wasserwärts wachsen können. Dies führt zu einer allmählichen Verbreiterung des Schilfgürtels. Zum dritten erfüllen Schilfgürtel eine Gewässerreinhaltefunktion. Durch die Kombination von Biomasseaufwuchs und Sedimentauflagerung können bedeutende Mengen an Phosphor und Kohlenstoff dauerhaft gespeichert werden (Abb. 1).



**Abb. 1:** Schematischer Überblick über die wichtigsten Komponenten des Phosphor- und Kohlenstoffkreislaufs im Schilfgürtel, die im Beitrag behandelt werden. Pfeile: Flüsse bzw. Prozesse; umrahmte Rechtecke: Vorräte bzw. Pools; rot bezieht sich auf Phosphor, grau/schwarz auf Kohlenstoff.

Der globale Kohlenstoffkreislauf ist wegen des Verbrennens fossiler Rohstoffe wie Kohle und Erdöl in den letzten hundert Jahren stark verändert worden. Ökosysteme wie Wälder, Moore oder auch Küstenfeuchtgebiete, die Kohlenstoff dauerhaft der Atmosphäre entziehen können (Abb. 6), sind gegebenenfalls in der Lage, einen Teil des erhöhten Kohlenstoffgehaltes der Atmosphäre aufzunehmen. Neben der Kohlenstoffspeicherung können Küstenfeuchtgebiete ebenso als Nährstoffbarriere oder -speicher fungieren. Phosphor ist ein wichtiges Nährelement der Nahrungskette im Bodden. Phosphorüberschuss führt zu erhöhtem Algenwachstum (siehe Beitrag „Die Produktionssteuerung innerer Küstengewässer durch Nährstoff- und Fraßmanipulation“) und ggf. zum Umkippen von Gewässern. Diese beiden Ökosystemfunktionen von Schilfgürteln (Kohlenstoffspeicherung und Phosphorrückhalt) wurden am Beispiel der Darss-Zingster Boddenkette detailliert untersucht.

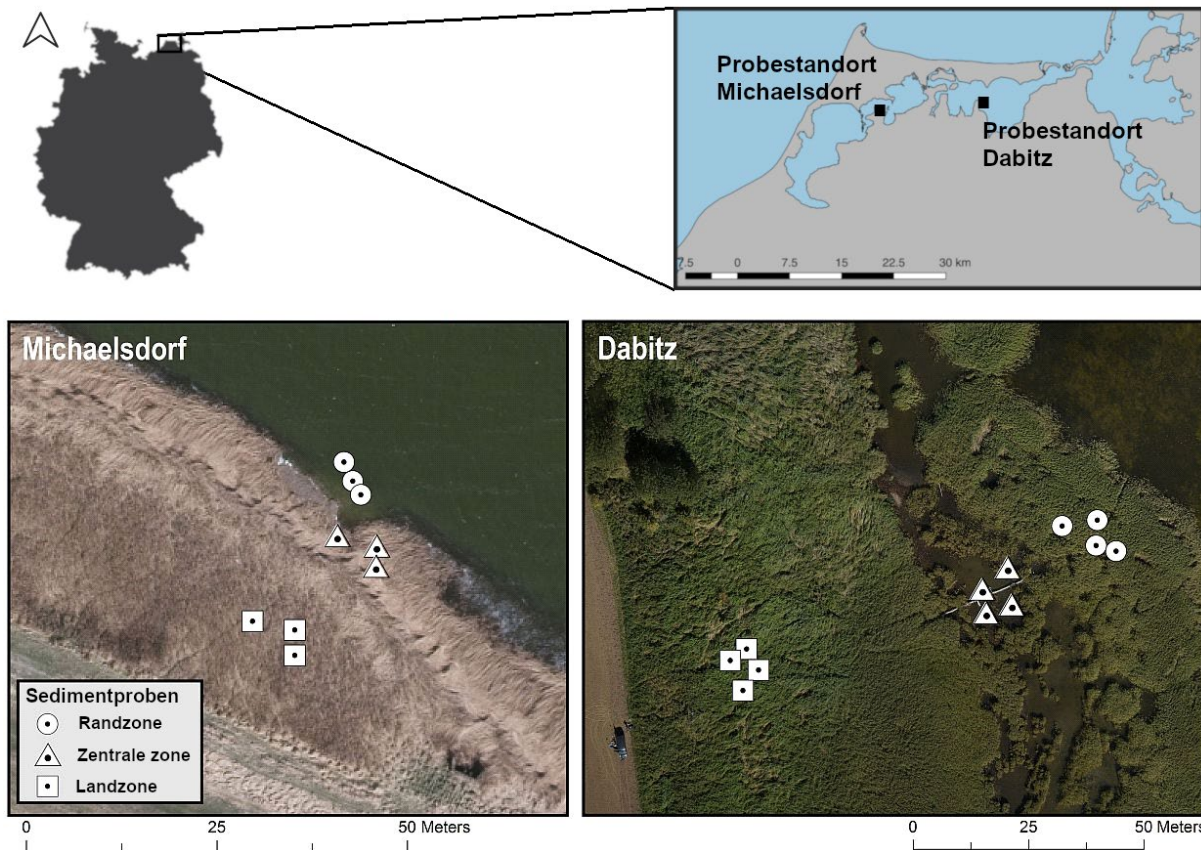
## 2 Methodik

Die Eigenschaften des Schilfgürtels hängen stark von den Eigenschaften des Hinterlandes ab, vor allem von der Geländeoberfläche, der Landnutzung und davon, ob und wie weit landeinwärts das Hinterland eingedeicht wurde. Diese Eigenschaften wirken sich besonders stark auf die Sedimentakkumulation und die Kohlenstoffspeicherung aus. Daher wurden im Projekt neben den zwei intensiv untersuchten Standorten Dabitz und Michaelsdorf vier weitere Standorte untersucht, die repräsentativ für solche unterschiedlichen Typen von Schilfgürteln sind.

Die Phosphordynamik wurde an den beiden intensiv bearbeiteten Standorten Dabitz und Michaelsdorf untersucht. Es wurden automatisch erfassende Messsonden an je 8 Messpunkten installiert, die in einem Intervall von 10 bzw. von 30 Minuten die Parameter Wasserstand, Temperatur, Redox-Potenzial, pH, Sauerstoffsättigung und -konzentration im Wasser aufzeichneten. Zudem wurden Wasserproben im Zweiwochentakt entnommen, um die Konzentrationen von gelöstem reaktivem Phosphor zu bestimmen.

Um Aussagen über den gegenwärtigen Kohlenstoffvorrat zu treffen wurden sechs repräsentative Standorte in der DZBK ausgewählt und untersucht: Dierhagen, Michaelsdorf, Glöwitz, Dabitz, Stralsund und Kalkvitz (Abb. 4). Diese unterscheiden sich hinsichtlich des Reliefs, der Geländeoberfläche, der Salinität, der Breite des Schilfgürtels sowie der Beschaffenheit und Nutzung des Hinterlandes (Ackerland, Grünland, Hafenanlagen, Forst) voneinander, so dass verschiedene Bildungsbedingungen für Schilfgürtel abgedeckt werden konnten. Zur Evaluierung der Kohlenstoffspeicherung an der DZBK wurden an allen sechs Standorten Sedimentproben mithilfe eines Stahlrohres und eines Erdbohrstocks bis zu einem Meter Tiefe entnommen. Die Unterteilung des Schilfgürtels in drei Zonen („Landzone“, „Zentrale Zone“ und „Randzone“), basierend auf den Parametern Wasserstand und Einwirkung hydraulischer Energie, hat sich aufgrund der Unterschiede innerhalb des Systems Schilf bei der Evaluierung der Kohlenstoffvorräte als zielführend erwiesen. Die „Landzone“ ( $\approx$  Supralittoral) ist dauerhaft trocken und selten überschwemmt; die „Zentrale Zone“ ( $\approx$  Eulittoral) ist periodisch überflutet; die „Randzone“ ( $\approx$  Sublittoral) ist permanent überschwemmt (Abb. 2).

Die Bohrkerns wurden in 10 cm Abschnitte aufgeteilt. Bei diesen wurden die Kohlenstoffkonzentrationen analysiert. Es wurden einerseits die Tiefenschichtung des Kohlenstoffvorrats als auch der kumulierte Vorrat aller Tiefenschichten an den sechs unterschiedlichen Standorten bis zu einem Meter Tiefe errechnet.



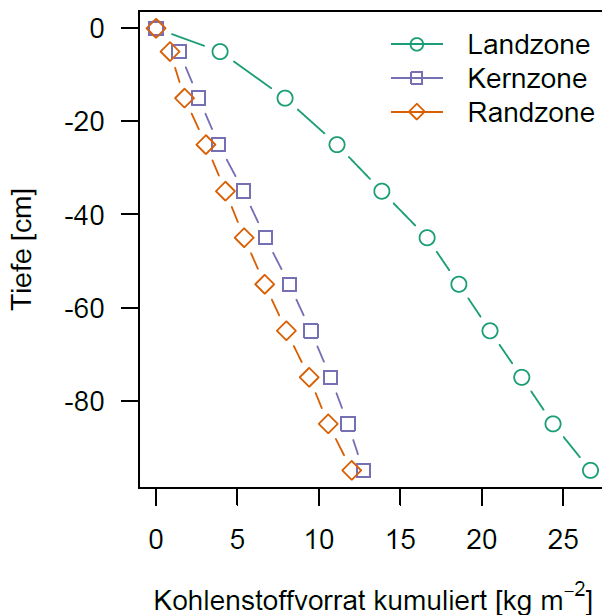
**Abb. 2:** Lage der Standorte Michaelsdorf und Dabitz in der Darß-Zingster-Boddenkette und Sedimentbeprobungspunkte in den drei Schilfgürtelzonen.

### 3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchung der Phosphordynamik an den Standorten Dabitz und Michaelsdorf zeigen, dass die Sedimente im Schilfgürtel nicht nur langfristig Phosphor durch Sedimentation speichern, sondern kurzfristig durch Bindungsprozesse (Adsorption) und Lösungsprozesse (Desorption) sowohl Senken als auch Quellen für Phosphor sein können. Die maximale Anreicherung im Sediment ist durch die reichlich vorkommenden Eisenoxide teilweise extrem hoch, wird jedoch nur zu einem geringen Anteil ausgeschöpft und unterliegt vor allem einem starken Einfluss von hydrodynamischen Prozessen. Diese werden maßgeblich durch das Wettergeschehen gesteuert. Somit wirkt der Schilfgürtel zwar als ein effektiver Puffer für frei verfügbaren Phosphor, kann sich jedoch innerhalb von kurzen Zeiträumen bei entsprechender Witterung, z. B. bei Stürmen oder hohen Temperaturen bei geringem Wasserstand, von einer Senke in eine Quelle von freiverfügbarem Phosphor verwandeln.

Unsere GIS-Analyse ergab eine Gesamtlänge der Schilfgürtel der DZBK von 194 km sowie eine mittlere Breite von 70 m und damit eine Fläche von ca. 13,5 km<sup>2</sup>. Unter der Annahme, dass die Schilfernte im späten September 5 g Phosphor (0,16 mol P) m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> entnähme [2],[3], könnte hypothetisch eine Menge von 67,5 t Phosphor pro Jahr durch die Ernte von Schilfpflanzen aus dem System entnommen werden. Die Auswirkungen auf die DZBK hinsichtlich Nährstofffrachten und damit zusammenhängend hinsichtlich Sedimentation und Akkumulation von Phosphor und Kohlenstoff im Sediment wären

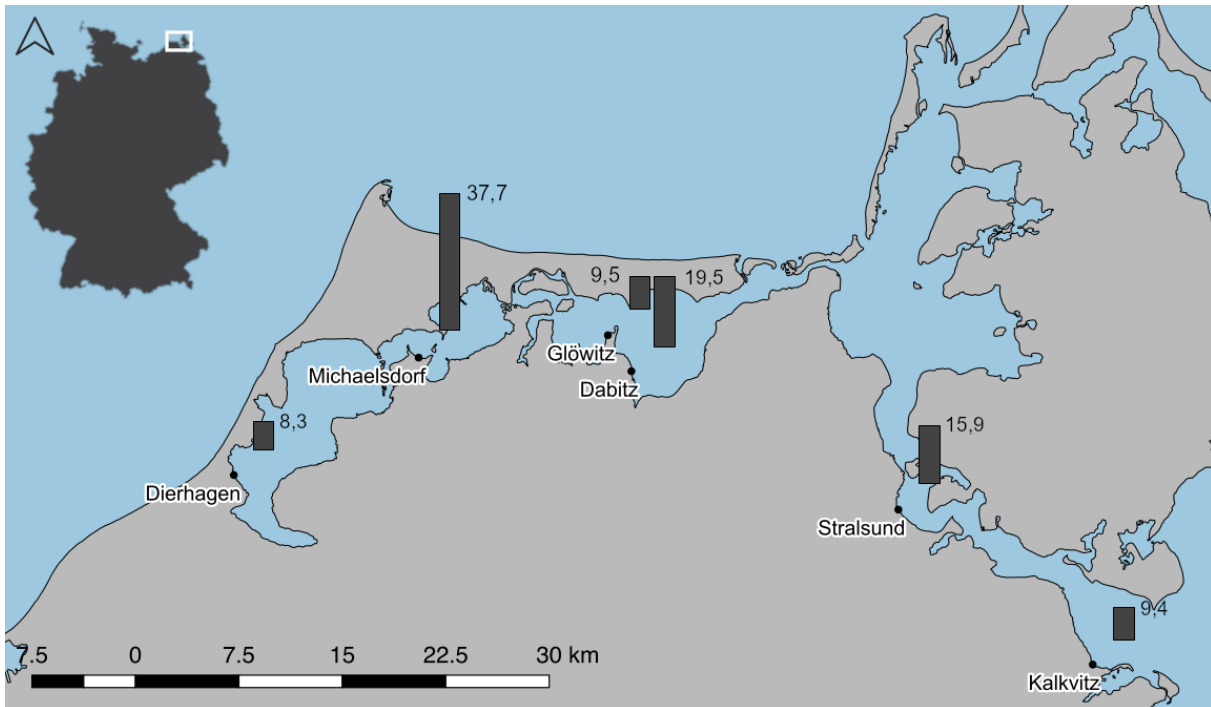
enorm. Zum Vergleich: Nach vorliegenden Hochrechnungen beträgt der Gesamteintrag von Phosphor in die DZBK etwa 57 t pro Jahr [15]. Derzeit wird jedoch nur ein kleiner Teil des Schilfs geerntet. Die Schilfentnahme im gesamten mit Erntemaschinen zugänglichen Bereich des Schilfgürtels stellt ein großes Potential für die Nährstoffausfuhr dar. Und zwar nicht nur an der DZBK sondern auch in anderen Feuchtgebieten entlang der Ostsee und weltweit; wobei der Zeitpunkt der Mahd zu diskutieren ist. Eine Mahd im Sommer ermöglicht zwar den größtmöglichen Phosphoraustrag aus dem System, beeinträchtigt oder gefährdet jedoch die ansässige Fauna. Außerdem fällt ein zusätzlicher Aufwand für die Trocknung der Pflanzen an. Je später die Ernte durchgeführt wird, desto mehr Phosphor wird vom Spross und Blattwerk in das Wurzelwerk transportiert [2]. Dadurch verringert sich der Phosphoraustrag. Wird die Mahd im Herbst oder Winter durchgeführt werden allerdings die ansässigen Vertreter der Enten, Gänse, Schwäne, Hühner und Singvögel nicht in der Brutzeit gestört oder gefährdet. Außerdem ist somit die Auswirkung auf phytophage Insektenpopulationen so gering wie möglich. Auf im Boden lebende Wirbellose scheint die Mahd an Küstenfeuchtgebieten keinen Einfluss zu haben [4].



**Abb. 3:** Kumulierter mittlerer Kohlenstoffvorrat [kg m<sup>-2</sup>] aller sechs Standorte zwischen 0 und 100 cm Tiefe.

Eine erhöhte Nährstofffracht hat nicht nur Einfluss auf Mikroorganismen und Pflanzen, sondern ebenfalls auf die Kohlenstofffestlegung im Sediment. Eine vergleichbare Studie wurde in einem Küstenfeuchtgebiet South Carolinas durchgeführt, bei der eine Zunahme der Kohlenstoffvorräte bei einer erhöhten Nährstoffzufuhr aufgezeigt wurde [10]. Bei allen Standorten an der DZBK ist eine systematische Abnahme der Kohlenstoffspeicherung von der „Landzone“ über die „Zentrale Zone“ hin zur „Randzone“ zu erkennen (Abb. 3). Dies steht in Wechselwirkung mit der oberirdischen Biomasse. Die Wuchshöhe des Schilfs nimmt seeseitig durch erhöhte Stress- und Störfaktoren infolge von Sturmereignissen, Flut, Wind oder Eisdrift ab. Eine geringere Primärproduktion hat eine geringere Sedimentationsrate und damit eine geringere

Kohlenstofffestlegung zur Folge. Hinzu kommt, dass seewärts die Menge der Streu, also des auf dem Boden abgelagerten organischen Materials der Schilfpflanzen, abnimmt. Durch die Abführung der Biomasse wird organisches Material und somit Kohlenstoff abgeführt. In der „Randzone“ ist daher die Sedimentationsrate von mineralischen Partikeln höher. Werden die Vorräte aller Standorte gemittelt, ergibt sich ein Kohlenstoffvorrat bis zu einem Meter Tiefe von 10,0 kg m<sup>-2</sup> (mit einer Abweichung von -3,8 bzw. +6,6 kg m<sup>-2</sup>). Gehen wir wieder von einer Schilffläche von 13,5 km<sup>2</sup> aus, beträgt der derzeit geschätzte Kohlenstoffvorrat der schilfbewachsenen Küstenzone der DZBK im Mittel 135,4 kt (mit einer möglichen Abweichung von -51,7 kt bzw. +88,8 kt). Eine derart hohe Abweichung erfordert eine feinere Auflösung der Kohlenstoffspeicherung in die unterschiedliche Nutzung des Hinterlandes, sowie die Zonen des Schilfgürtels. Die Kohlenstoffvorräte unterscheiden sich an den verschiedenen Standorten tatsächlich stark voneinander (Abb. 4).



**Abb. 4:** Gemittelte Kohlenstoffvorräte [kg m<sup>-2</sup>] im Sediment von 0 bis 1 m Tiefe aus den Jahren 2014 und 2016.

Der Kohlenstoffvorrat in Michaelsdorf ist mehr als doppelt so hoch wie in Dabitz. Die signifikanten Unterschiede liegen zum einen in der Biomasseproduktion begründet. Höhere Salinitäten und periodischer Trockenfall der Schilfgebiete beeinflussen die Primärproduktion in zum Beispiel Dabitz negativ. Zum anderen steuert auch die Landexpansion, welche durch die Topographie maßgeblich beeinflusst wird, die Höhe der Kohlenstoffvorräte. Während in Michaelsdorf die Eindeichung in den 1970er Jahren zu einem Zusammendrücken bzw. Einkeilen des Schilfgürtels geführt hat, expandiert der Schilfgürtel in Dabitz stetig [7] (Abb. 5). Dies beeinflusst wiederum den Einstrom von Sedimentpartikeln in schilfbewachsenen Küstenfeuchtgebieten. Des Weiteren übt die Landnutzung des Hinterlandes, beispielsweise durch Düngung und Bodenbearbeitung in den letzten Jahrzehnten, einen Einfluss auf die Kohlenstoffanreicherung aus. Die Entstehungsgeschichte der Schilfgürtelabschnitte ist ein weiterer Einflussfaktor auf Kohlenstoffvorkommen im Sediment. Es besteht ein „Speichervorsprung“ der wesentlich früher entstandenen Schilfgürtel gegenüber den „jüngeren“ Bereichen.

Neben der Extrapolation des aktuellen Kohlenstoffvorrats in der DZBK wurde die Entwicklung der Schilfgürtel in den letzten sechs Jahrzehnten untersucht. Dazu wurden georeferenzierte historische Luftbilder und Orthofotos (digitale, verzerrungsfreie und maßstabgetreue Fotos) der Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommerns ausgewertet. Um den Bewuchs der Untersuchungsgebiete nachzuvollziehen und die zukünftige Entwicklung des Schilfwachstums oder –rückgangs abzuschätzen, wurden die Außenkanten des Schilfgürtels im Verlauf der letzten 60 Jahre verglichen (Abb. 5). Damit können Aussagen über die Dynamik der Kohlenstoffspeicherung in der DZBK getroffen werden.

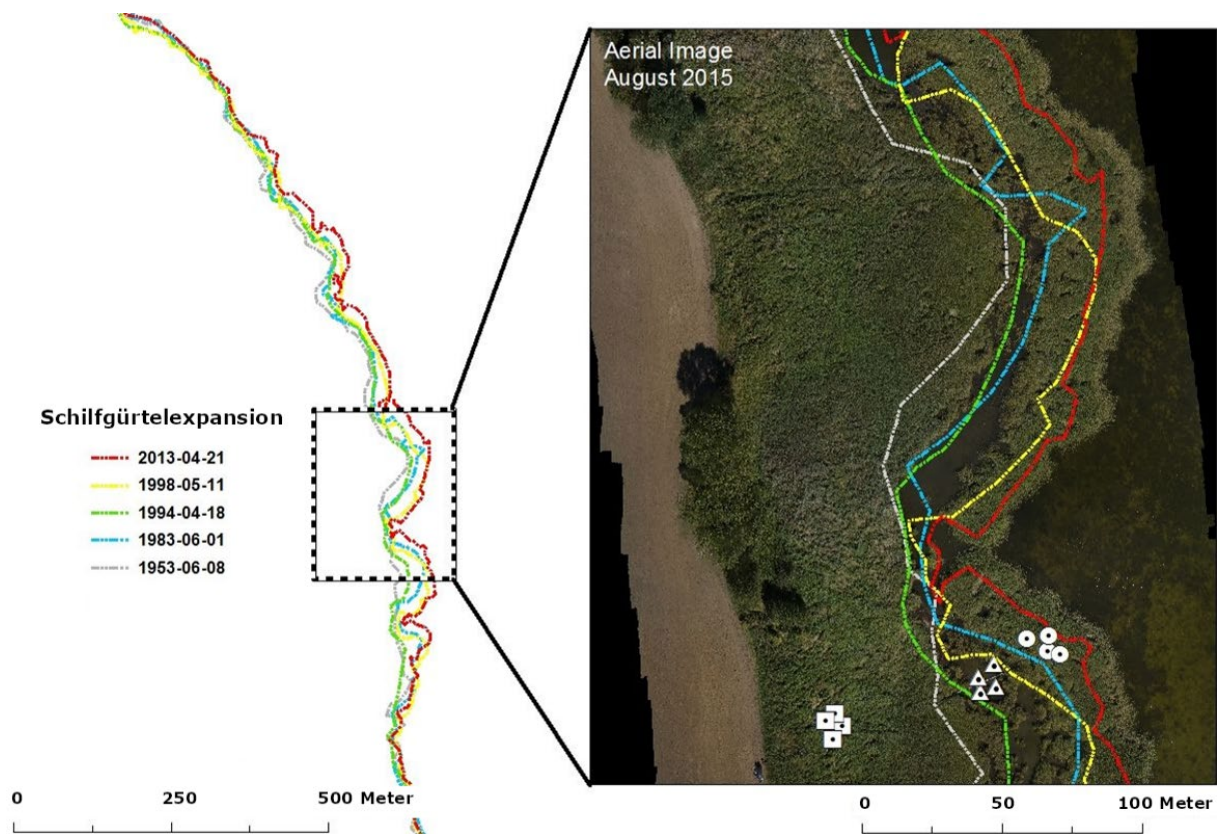


Abb. 5: Schilfgürtelexpansion am Standort Dabitz für ausgewählte Jahre von 1953 bis 2013.

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchung der Phosphordynamik und Kohlenstoffspeicherung an ausgewählten Punkten der Darß-Zingster-Boddenkette (Dierhagen, Michaelsdorf, Glöwitz, Dabitz, Stralsund, Kalkvitz) hilft uns, die Funktionen von mit Schilf bewachsenen Küstenfeuchtgebieten besser zu verstehen. Die Phosphoranalyse des Pflanzenmaterials und eine Hochrechnung des Schilfbestandes ergaben, dass ein Nährstoffaustrag von bis zu 67,5 t Phosphor durch eine jährliche Mahd ermöglicht werden könnte. Zum Vergleich: Der Phosphoreintrag ins System beträgt 57 t pro Jahr. Der Schilfgürtel übernimmt die Funktion der Phosphorentnahme aus dem Wasser, das Sediment übernimmt die mittel- bis langfristige Speicherung und kann somit als Puffer des Ökosystems DZBK betrachtet werden. Die Entnahme der Schilfpflanzen durch eine Mahd kann neben der Pufferkapazität einen Nährstoffaustrag erzeugen und fungiert somit als weiteres Kettenglied des Gewässerschutzes.

Die Analyse der Kohlenstoffspeicherung im Sediment ergab eine Abweichung der Kohlenstoffmengen von anderen Küstenfeuchtgebieten. Die ermittelten Mengen lagen im Schnitt unter den Vergleichswerten. Bei der Beprobung der drei unterschiedlichen Schilfzonen wurde ein abnehmender Kohlenstoffgehalt wasserwärts ermittelt. Ein landeinwärts erhöhter Schilfbewuchs erhöht die Sedimentationsrate und fördert die Kohlenstoffsequestrierung (Abb. B1). Somit kann Schilf nicht nur im Gewässerschutz hinsichtlich der Minderung der Nährstoffbelastung, sondern ebenfalls als Kohlenstoffsenke im Kohlenstoffkreislauf fungieren. Zudem ist der Schilfgürtel als Küstenschutzmaßnahme zu bewerten. Die Wurzelgeflechte der eng stehenden Pflanzen bilden eine Art Wurzelteppich, der Sedimentationsvorgänge begünstigt, somit wiederum neue

Grundlage für das Anwachsen junger Schilfpflanzen wasserwärts schafft und als Maßnahme angesehen werden kann, um den Folgen von sowohl Meeresspiegelanstieg als auch Erosion vorzubeugen.

Vom ökologischen Standpunkt betrachtet erbringen die mit Schilf bewachsenen Küstenfeuchtgebiete sowohl versorgende, als auch regulierende Ökosystemleistungen. Die Ernte und Weiternutzung von Schilf stellt eine Versorgungsleistung dar. Das Puffervermögen von frei verfügbarem Phosphor und die Speicherfähigkeit von Kohlenstoff werden als regulierende Ökosystemleistungen eingestuft. Diese Leistungen können durch ein angepasstes Bewirtschaftungsmanagement optimiert werden und regen die gezielte Anpflanzung von Schilf als Umweltschutzmaßnahmen in anderen Gebieten an.

## Kohlenstoffsequestrierung

Kohlenstoffsequestrierung bezeichnet die Festlegung von Kohlenstoffdioxid, das andernfalls in die Atmosphäre entlassen würde, in langlebige terrestrische, limnische und marine organische Kohlenstoffvorräte. Durch biogeochemische Prozesse wird der in Kohlenstoffdioxid gasförmig gebundene Kohlenstoff in fest oder flüssig gebundene Verbindungen überführt und somit in Gewässern, Pflanzen und Sedimenten festgelegt.

Die Kohlenstofffestlegungsrate im Boden ist durch die Produktivität der bedeckenden Vegetation, physikalische und biologische Prozesse im Boden, die historischen Kohlenstoffeinträge und mechanische Störungen beeinflusst [12]. Besonders in Feuchtgebieten wird viel Kohlenstoff festgelegt. In terrestrischen Feuchtgebieten wirken Methanemissionen der Kohlenstoffsequestrierung entgegen. Wohingegen in Küstenfeuchtgebieten die im Sediment gelösten Sulfate eine Methanproduktion hemmen. Dadurch können sehr hohe Festlegungsraten erzielt werden [6].



**Abb. B1:** Jährliche Kohlenstoffsequestrierungsraten pro m<sup>2</sup> im Vergleich. Positive Werte: Kohlenstoffsinken. Negative Werte: Kohlenstoffquellen. Boxplots beinhalten Min, Max, MW, Q1 und Q3. Daten aus: <sub>1</sub> [5]; <sub>2</sub> [9]; <sub>3</sub> [5]; <sub>4</sub> [5],[8],[14],[17],[16],[18]; <sub>5</sub> [9],[11].



## Danksagung

Wir danken allen, die an dieser Studie mitwirkten. Besonderer Dank gilt unseren ehemaligen Kolleginnen Svenja Karstens und Franziska Schwark für sämtliche Arbeiten innerhalb der Projekte BACOSA und BACOSA II. Unser Dank gilt weiterhin allen studentischen Hilfskräften für die tatkräftige Mitarbeit bei Probenahmen, Probenaufbereitung und Georeferenzierung. Vielen Dank an die Professur für Bodenphysik, besonders an Lennart Gosch und an Dr. Martin Paar von der Biologischen Station Hiddensee der Universität Greifswald für die Unterstützung bei der Sedimentprobenahme. Danke an Herrn Dr. Thomas Leipe vom Institut für Ostseeforschung für die fachliche Unterstützung bei der Analyse der Bohrkerne.

Diese Studie ist Teil des Projektes BACOSA II (Baltic Coastal System Analysis and Status Evaluation II) und wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziert.

## Literatur

- [1] Adame, M. F., Neil, D., Wright, S. F. & Lovelock, C. E., 2010. Sedimentation within and among mangrove forests along a gradient of geomorphological settings. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 86: 21–30.
- [2] Berthold, M., Karstens, S., Buczko, U. & Schumann, R., 2018. Potential export of soluble reactive phosphorus from a coastal wetland in a cold-temperate lagoon system: Buffer capacities of macrophytes and impact on phytoplankton. *Science of the Total Environment* 616-617: 46–54.
- [3] Berthold, M., Nausch, G., von Weber, M., Koch, S., Kahle, P., Lennartz, B., Tränckner, J., Buczko, U., Tonn, C., Ekardt, F. & Bathmann, U., 2020. Phosphorus and the Baltic Sea: Sustainable Management. In: Maurice, P. (Hrsg.). *Encyclopedia of Water: Science, Technology, and Society*. (in press).
- [4] Dithlago, M. K. M., James, R., Laurence, B. R. & Sutherland, W. J., 1992. The effects of conservation management of reed beds. I. The invertebrates. *Journal of Applied Ecology* 29: 265–276.
- [5] Freibauer, A., Rounsevell, M. D. A., Smith, P. & Verhagen, J., 2004. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma* 122: 1–23.
- [6] Howe, A. J., Rodríguez, J. F., Saco, P. M., 2009. Surface evolution and carbon sequestration in disturbed and undisturbed wetland soils of the Hunter estuary, southeast Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 84: 75–83.
- [7] Karstens, S., Schwark, F., Forster, S., Glatzel, S. & Buczko, U., 2015. Sediment tracer tests to explore patterns of sediment transport in coastal reed beds – a case study from the Darss-Zingst Bodden Chain. *Rostocker Meeresbiologische Beiträge* 25: 41–57.
- [8] Kuhry, P. & Vitt, D. H., 1996. Fossil Carbon/Nitrogen Ratios as a Measure of Peat Decomposition. *Ecology* 77 (1): 271–275.
- [9] Mcleod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., Lovelock, C. E., Schlesinger, W. H. & Silliman, B. R., 2011. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9 (10): 552–560.
- [10] Morris, J. T. & Bradley, P. M., 1999. Effects of nutrient loading on the carbon balance of coastal wetland sediments. *Limnology Oceanography* 44 (3): 699–702.
- [11] Ouyang, X. & Lee, S. Y., 2014. Updated estimates of carbon accumulation rates in coastal marsh sediments. *Biogeosciences* 11: 1–15.
- [12] Post, W. M. & Kwon, K. C., 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology* 6: 317–327.
- [13] Rooth, J. E. & Stevenson, J. C., 2000. Sediment deposition patterns in *Phragmites australis* communities: Implications for coastal areas threatened by rising sea-level. *Wetlands Ecology and Management* 8: 173–183.

- [14] Roulet, N. T., 2000. Peatlands, Carbon storage, Greenhouse gases, and the Kyoto Protocol: Prospects and significance for Canada. *Wetlands* 20: 605–615.
- [15] Selig, U., Schubert, M., Eggert, A., Steinhardt, T., Sagert, S. & Schubert, H., 2007. The influence of sediments on soft bottom vegetation in inner coastal waters of Mecklenburg-Vorpommern (Germany). *Estuarine Coastal Shelf Science* 71 (1-2): 241–249.
- [16] Tolonen, K. & Turunen, J., 1996. Carbon accumulation in mires in Finland. In: Laiho, R., Laine, J., Vasander, H. (Hrsg.) *Northern peatlands in global climatic change*. Publications of the Academy of Finland 1: 250–255.
- [17] Tolonen, K., Vasander, H., Damman, A. W. H. & Clymo, C. R. S., 1992. Preliminary estimate of long-term carbon accumulation and loss in 25 boreal peatlands. Poster abstract in: *International Workshop on “Carbon Cycling in Boreal Peatlands and Climate Change”* Hyytiälä, Finland 28 September – 1 October 1992.
- [18] Yu, T. C., 2012. Northern peatland carbon stocks and dynamics: a review. *Biogeosciences* 9: 4071–4085.