

Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät

Institut für Biowissenschaften

Fachgebiet: Meeresbiologie

Betreuer: PD Dr Stefan Forster

Ihr Name: Aminah Faizah Kaharuddin

(e-mail: aminah.kaharuddin@uni-rostock.de)

Optische Fernerkundung flacher Küstengewässer in der Ostsee

Deutsche Zusammenfassung

Küstennahe benthische Ökosysteme wie Seegraswiesen, Makroalgenbestände und Korallenriffe erbringen wesentliche Ökosystemleistung, einschließlich Kohlenstoffspeicherung und Küstenschutz. Die synoptische Überwachung dieser Habitate mittels hochauflösender optischer Fernerkundung ist jedoch in optisch komplexen, flachen Küstengewässern (Case 2) stark eingeschränkt, wo dynamische Streuungs- und Absorptionsprozesse empirische Standardmodelle stören. Um diese Herausforderungen zu überwinden, etabliert diese Dissertation ein einheitliches, physikalisch basiertes, dreistufiges Rahmenwerk. Es wurde entwickelt, um die Interferenzen der Wassersäule systematisch zu dekonstruieren und die Mechanik der Wassersäulenkorrektur (WCC) für eine präzise benthische Habitatkartierung voranzutreiben, wobei die Ostsee als primäres Untersuchungsgebiet dient. Der Kern dieser Forschung ist um drei miteinander verbundene Manuskripte strukturiert, die aufeinanderfolgende optische Grenzen adressieren. Erstens wird die Überwasserabschätzung von optisch aktiven Wasserinhaltsstoffen (OACs) und dem Lichtschwächungskoeffizienten der photosynthetisch aktiven Strahlung des Wassers, bezeichnet als K_0 (PAR), aus der Fernerkundungsreflexion (R_{rs}) gelöst. Durch die Analyse der Ersten Ableitung (FD) in Kombination mit vorverarbeitenden Glättungstechniken (10-Punkt leitender Durchschnitt, 10MA und der diskreten Wavelet-Transformation, DWT) im Bereich von 600 bis 850 nm werden spektrales Rauschen und Überlagerungen der Inhaltsstoffe gemindert, was zu moderaten bis starken Korrelationen ($0.5 \leq R^2 \leq 0.7$) für die Schätzung von OACs führt. Zweitens wird die grundlegende physikalische Lichtabnahme im Wasser bewertet, indem die spektrale Divergenz zwischen dem abgeleiteten effektiven (K_{eff}) und dem skalaren (K_0) Lichtschwächungskoeffizienten charakterisiert wird. Unter Verwendung von K-Means-Clustering auf standardisierten Konzentrationen der Inhaltsstoffe wurden drei verschiedene optische Wassertypen (OWTs) etabliert. Dies beweist, dass statische geometrische Multiplikatoren unter streuungsdominierten Küstenbedingungen versagen, und unterstreicht die Notwendigkeit einer nicht-linearen Parametrisierung der inhärenten optischen Eigenschaften (IOPs). Drittens werden zur Weiterentwicklung der benthischen Klassifizierung spektrale Bibliotheken reiner Ziel-Endmember erstellt, um die Substratsignale von der Wassermasse zu trennen. Dies ermöglicht präzise Schätzungen der oberirdischen Biomasse der Seegrasart *Zostera marina* unter Verwendung von R_{rs} . Indem sie die

physikalische Divergenz der Lichtabnahme unter Wasser, die Parameterschätzung über Wasser und die Einschränkungen durch reine benthische Endmember verbindet, bewegt sich diese Arbeit weg von empirischen "Black-Box"-Näherungen und kehrt zur fundamentalen Physik des Strahlungstransfers zurück. Dieses integrierte Rahmenwerk bietet eine robuste, operationelle Methodik zur Überwachung von Flachwasserhabitaten und zum Management gefährdeter Küstenökosysteme, die anthropogenen und klimatischen Veränderungen ausgesetzt sind.

Englisch Zusammenfassung

Coastal benthic ecosystems, such as seagrass meadows, macroalgal beds, and coral reefs, provide essential ecosystem services, including carbon sequestration and shoreline protection. However, synoptic monitoring of these habitats via high-resolution optical remote sensing is severely limited in optically complex shallow coastal waters (Case 2), where dynamic scattering and absorption processes confound standard empirical models. To overcome these challenges, this doctoral thesis establishes a unified, physics-based three-tiered framework designed to systematically deconstruct water column interference and advance the mechanics of Water Column Correction (WCC) for accurate benthic habitat mapping, using the Baltic Sea as a primary study area. The core of this research is structured around three interconnected manuscripts that address sequential optical limits. First, above-water estimation of optically active constituents (OACs) and the ambient attenuation coefficient at photosynthetically active radiation, denoted as $K_0(\text{PAR})$, is resolved from remote sensing reflectance (R_{rs}). By applying first-derivative (FD) analysis combined with pre-processing smoothing techniques i.e., a 10-point moving average (10MA) and discrete wavelet transformation (DWT), spectral noise and overlapping signals are mitigated, yielding a moderate to strong correlations ($0.5 \leq R^2 \leq 0.7$) to estimate the variables. Second, the fundamental in-water physical light decay is evaluated by characterising the spectral divergence between derived effective (K_{eff}) and scalar (K_0) attenuation coefficients. Utilising K-Means clustering on standardised constituent concentrations, three distinct optical water types (OWTs) were established, proving that static geometric multipliers fail under scattering-dominated coastal regimes and underlining the need for dynamic, non-linear models of inherent optical properties (IOPs). Third, to advance benthic classification, pure target endmember spectral libraries are established to separate substrate signals from the water mass, facilitating for accurate aboveground biomass estimations of the seagrass species *Zostera marina* using R_{rs} . By bridging the above-water parameter estimation, physical divergence of underwater light attenuation, and pure benthic endmember constraints, this thesis moves beyond empirical "black-box" approximations and returns to the foundational physics of radiative transfer. This integrated framework offers a robust, operational methodology for tracking shallow-water habitats and managing vulnerable coastal ecosystems undergoing anthropogenic and climatic changes.