

## Bachelor-Abschlussarbeit

**Thema:** Zeitliche Entwicklung technologie-kritischer Elemente in Nordseesediment in Hinblick auf potenzielle Emissionen aus Offshore-Windparks

### Zusammenfassung:

Die wachsende Anzahl an Installationen von Offshore-Windenergieanlagen wirft zunehmend die Frage nach deren Umweltverträglichkeit auf. Dabei rücken nun vermehrt stoffliche Emissionen aus galvanischen Anoden zum Korrosionsschutz in den Fokus. Bisher war es nicht möglich, steigende Metallgehalte als Folge der Windpark-Emissionen nachzuweisen. Ziel dieser Arbeit ist die Darstellung und Beurteilung der zeitlichen Entwicklung ausgewählter Elemente in Nordsee-sedimenten in Hinblick auf eine potenzielle Anreicherung durch Offshore-Emissionen. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Beschreibung der aktuellen Belastungssituation der technologie-kritischen Elemente, deren Bedeutung in der Industrie aufgrund des Einsatzes in Photovoltaik-Anlagen, Displays, Halbleitern etc. aktuell stark steigt.

Es wurden dafür 51 Oberflächensedimentproben, die zwischen 2010 und 2020 in den Nordsee-Regionen um die Offshore-Windparks „Meerwind-Süd“ und „Nordsee-Ost“ sowie in der Helgoländer Bucht genommen wurden, untersucht. Nach der Nasssiebung zur Gewinnung der < 20 µm-Fraktion wurden die Proben mithilfe mikrowellenunterstützter Säureaufschlüsse aufgeschlossen und anschließend mittels induktiv gekoppelter Plasma-Tandem-Massenspektrometrie (ICP-MS/MS) analysiert. Es konnten 50 Elemente validiert werden.

Die ermittelten Daten für die Schwermetalle Zn, Cu, Pb, As, Ni, Cd und Cr, die technologie-kritischen Elemente, Nb, In, Ge, Ga und Ta, sowie die Seltenen Erden wurden in Form von Zeitreihen der einzelnen Elemente und Probenahmestationen sowie zusammenfassend in Form von Boxplots dargestellt. Zur besseren Einordnung der Belastungssituation wurden Anreicherungsfaktoren berechnet. Ebenso wurden die Ergebnisse der Sedimentanalyse mit Daten der Meeresumweltdatenbank (MUDAB) des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) (Schwermetallanteile von 1986 bis 2018) sowie Sedimentkernuntersuchungen aus dem Skagerrak (1889-1931) verglichen.

In den Zeitreihen von 2010-2020 lässt sich für kein Element eine eindeutige Zu- oder Abnahme feststellen. Die gemessenen Massenanteile der meisten Schwermetalle überschreiten im gesamten Untersuchungsgebiet die Hintergrundwerte des BSH sowie die geltenden Effektgrenzwerte. Die erweiterten Zeitreihen mit BSH-Daten ab 1986 für die Schwermetalle Zn, Cu, Pb, Ni, As, Cd und Cr zeigen, dass die Massenanteile der Schwermetalle seit 1986 stets wellenartig Variationen unterlagen, insgesamt aber ein leichter Rückgang der Massenanteile zu verzeichnen ist. Die berechneten Anreicherungsfaktoren zeigen eine geringe bis starke Anreicherung der Elemente Cd, As, Zn und Pb in beiden untersuchten Regionen. Insgesamt zeigt sich in der Windpark-Region eine höhere Schwermetallbelastung als in der Helgoländer Bucht (außer für Cd), die jedoch schon seit mindestens 1986 besteht und damit nicht eindeutig auf den Bau der Windparks 2012 zurückgeführt werden kann.

Für die technologie-kritischen Elemente und Seltenen Erden können kaum Unterschiede in den Elementgehalten festgestellt werden. Auch für In und Ga, die bereits als potenzielle Tracer für die Emissionen aus galvanischen Anoden von Offshore-Windenergieanlagen identifiziert wurden (Reese et al., 2020a), können keine eindeutigen Trends beobachtet werden.

Es wurden jedoch mithilfe von Boxplots erstmals Belastungswertebereiche für die beiden Regionen (Windpark und Helgoländer Bucht) im Zeitraum 2010-2020 ermittelt. Diese Daten können als Ausgangspunkt für ein zukünftiges erweitertes Monitoring in diesen Bereichen der Nordsee dienen, um mittel- bis langfristige Einflüsse des anhaltenden Ausbaus der Offshore-Windenergie besser abschätzen zu können.

## Abstract:

The growing number of offshore wind turbine installations is increasingly raising the question of their environmental impact. The focus is now increasingly on material emissions from galvanic anodes for corrosion protection. So far, it has not been possible to detect increasing metal values related to wind farm emissions. The aim of this work is to present and assess the change over time of selected elements in North Sea sediments regarding potential enrichment by offshore emissions. A special focus is set on the description of the current pollution situation of technology-critical elements, whose importance in industry is currently increasing strongly due to their use in photovoltaic systems, displays, semiconductors, etc.

For this purpose, 51 surface sediment samples taken between 2010 and 2020 in the North Sea regions around the offshore wind farms "Meerwind-Süd" and "Nordsee-Ost" as well as in the Heligoland Bight were examined. After wet sieving to obtain the < 20 µm fraction, the samples were digested using microwave-assisted acid digestion and then analysed using inductively coupled plasma tandem mass spectrometry (ICP-MS/MS). Fifty elements were validated.

The data determined for the heavy metals Zn, Cu, Pb, As, Ni, Cd and Cr, the technology-critical elements, Nb, In, Ge, Ga and Ta, as well as the rare earths were presented in the form of time series of the individual elements and sampling stations as well as summarised in the form of boxplots. For a better classification of the pollution situation, enrichment factors were calculated. The results of the sediment analysis were also compared with data from the Marine Environmental Database (MUDAB) of the Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH) (heavy metal content from 1986 to 2018) and sediment core investigations from the Skagerrak (1889-1931).

In the time series from 2010-2020, no clear increase or decrease could be identified for any element. In the entire study area, the mass fractions of most heavy metals still exceed the background values provided by the BSH and the current ecotoxicological thresholds. The extended time series with BSH data from 1986 onwards for the heavy metals Zn, Cu, Pb, Ni, As, Cd and Cr show that the mass fractions of the heavy metals had always fluctuated in a wave-like manner since 1986, but that overall a slight decrease in mass fractions was recorded. The calculated enrichment factors show a slight to strong enrichment of the elements Cd, As, Zn and Pb in both regions investigated. Overall, the wind farm region shows a higher heavy metal load than the Heligoland Bight region (except for Cd), which, however, has occurred since at least 1986 and thus cannot be clearly attributed to the construction of the wind farms in 2012.

For the technology-critical elements and the rare-earth elements, hardly any differences in the element contents can be detected. Similarly, no clear trends can be observed for In and Ga, which have already been identified as potential tracers for emissions from galvanic anodes of offshore wind turbines (Reese et al., 2020a). However, with the box plots, pollution value ranges were determined for both regions (wind farm and Heligoland Bight) in the period 2010-2020 for the first time. These data can serve as a starting point for future extended monitoring in these areas of the North Sea in order to better assess the medium- to long-term influences of the continued expansion of offshore wind energy.