

Paraffine und andere persistente aufschwimmende Stoffe in der deutschen Nord- und Ostsee

Pilotstudie zur Entwicklung und Erprobung eines Monitorings



Beteiligte Institutionen:

NLWKN, LUNG M-V, BSH, LKN.SH, BioConsult

in Zusammenarbeit mit Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Nord- und Ostsee (BLANO), gefördert durch Koordinierungsausschuss von Bund/Ländern zur Bekämpfung von Meeresverschmutzungen (KOA-SUB)

30. Juni 2022 (final)

Beteiligte Institutionen:	NLWKN, LUNG M-V, BSH, LKN.SH, BioConsult in Zusammenarbeit mit Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Nord- und Ostsee (BLANO), gefördert durch Koordinierungsausschuss von Bund/Ländern zur Bekämpfung von Meeresverschmutzungen (KOA-SUB)
Titel:	Paraffine und andere persistente aufschwimmende Stoffe in der deutschen Nord- und Ostsee Pilotstudie zur Entwicklung und Erprobung eines Monitorings
AutorInnen:	Kirsten Dau (NLWKN Oldenburg) Dennis Gräwe (LUNG M-V Güstrow) Berit Brockmeyer (BSH Hamburg) Nicolas Fitz (BSH Hamburg) David Fleet (LKN.SH Tönning) Bastian Schuchardt (BioConsult Bremen) Martin Schulze-Dieckhoff (NLWKN Norden) Mit Beiträgen von: Susanne Kühn (WMR, Niederlande) (Kapitel 2.4) Jan van Franeker (WMR, Niederlande) (Kapitel 2.4) Verband Deutscher Reeder (Anlage1) Weitere Ansprechpartner: Thomas Baumann (MEKUN)
Zitiervorschlag:	Dau, K; Gräwe, D.; Brockmeyer, B.; Fitz, N.; Fleet, D.; Schuchardt, B.; Schulze-Dieckhoff, M. (2022). Paraffine und andere persistente aufschwimmende Stoffe in der deutschen Nord- und Ostsee. Pilotstudie zur Entwicklung und Erprobung eines Monitorings. Erstellt in Zusammenarbeit mit der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Nord- und Ostsee (BLANO), gefördert durch den Bund/Länder-Koordinierungsausschuss Schadstoff-Unfallbekämpfung (KOA-SUB). 181 S.
Datum:	30. Juni 2022 (final)

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	10
Zusammenfassung	12
1. Einleitung	16
1.1 Anlass, Aufgabe und Rahmen der Pilotstudie	16
1.1.1 Einleitung.....	16
1.1.2 Rechtliche Vorgaben – MARPOL Anlage II.....	17
1.1.3 Rechtliche Vorgaben – Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie	18
1.1.4 Ziel der Studie und Projektpartner	19
1.2 Paraffine als Umweltbelastung.....	20
2. Durchgeführte Erhebungen zur Belastung und Methodenentwicklung	21
2.1 Komplexe Schadstoffunfälle	21
2.1.1 Einleitung und Aufgabe.....	21
2.1.2 Ergebnisse	22
2.1.3 Einschätzung der Ergebnisse.....	23
2.2 Lokale Anspülungen.....	23
2.2.1 Einleitung und Aufgabe.....	23
2.2.2 Methodik.....	24
2.2.3 Ergebnisse Mecklenburg-Vorpommern.....	26
2.2.3.1 Meldewege	26
2.2.3.2 Übersicht der Meldungen	26
2.2.3.3 Einschätzung der Ergebnisse	28
2.2.4 Ergebnisse Schleswig-Holstein.....	28
2.2.4.1 Meldewege	28
2.2.4.2 Übersicht der Meldungen	28
2.2.4.3 Einschätzung der Ergebnisse	31
2.2.5 Ergebnisse Niedersachsen	32
2.2.5.1 Meldewege	32
2.2.5.2 Übersicht der Meldungen.....	33
2.2.5.3 Einschätzung der Ergebnisse	40
2.2.6 Gesamteinschätzung zu lokalen Anspülungen	42
2.2.7 Exkurs: „Maritime Ereignismeldungen Deutsche Küste“ zu Paraffinanspülungen.....	44
2.2.7.1 Übersicht der Meldungen.....	44
2.2.7.2 Einschätzung der Ergebnisse	45
2.3 Disperse Belastung: Wasseroberfläche.....	46
2.3.1 Einleitung und Aufgabe.....	46
2.3.2 Methodik.....	47
2.3.2.1 Methodik Probenahme.....	47
2.3.2.2 Methodik Chemische Analyse.....	48
2.3.2.3 Erfasste Parameter	49
2.3.3 Ergebnisse	49
2.3.4 Diskussion.....	52
2.3.5 Einschätzung der Ergebnisse.....	54
2.4 Disperse Belastung: Mageninhalt Eissturmvögel	54
2.4.1 Einleitung und Aufgabe	54
2.4.2 Methodik.....	54
2.4.3 Ergebnisse	56
2.4.3.1 Mengen.....	56
2.4.3.2 Chemische Zusammensetzung.....	60
2.4.4 Diskussion.....	62

2.4.5	Einschätzung der Ergebnisse.....	63
2.5	Disperse Belastung: Strandmüllmonitoring	64
2.5.1	Einleitung und Aufgabe	64
2.5.2	Methodik.....	64
2.5.3	Ergebnisse	66
2.5.3.1	Nordsee	66
2.5.3.2	Ostsee	70
2.5.4	Diskussion.....	71
2.5.1	Einschätzung der Ergebnisse.....	73
2.6	Disperse Belastung: Zählrahmen-Erfassung	74
2.6.1	Einleitung und Aufgabe	74
2.6.2	Methodik.....	74
2.6.2.1	Konzept.....	74
2.6.2.2	Probenahmestrände Nordsee.....	78
2.6.2.3	Probenahmestrände Ostsee.....	85
2.6.2.4	Untersuchung zur Eignung von UV-A-Licht (Schwarzlicht)	89
2.6.3	Ergebnisse	91
2.6.3.1	Übersicht und Vergleich der Strände.....	91
2.6.3.2	Verteilung Strandzonen	97
2.6.3.3	Interannuelle Unterschiede	101
2.6.3.1	Saisonale Unterschiede.....	102
2.6.3.2	Zusammenhang lokale Anspülungen und Zählrahmen	104
2.6.3.3	Hot Spots	104
2.6.3.4	Chemische Zusammensetzung.....	107
2.6.4	Diskussion.....	109
2.6.5	Einschätzung der Ergebnisse.....	112
2.7	Begleitsubstanzen in Paraffinwachs	113
2.7.1	Einleitung und Aufgabe	113
2.7.2	Methodik.....	113
2.7.3	Ergebnisse	114
2.7.4	Einschätzung der Ergebnisse.....	116
3.	Übersicht zu den Ergebnissen.....	118
3.1	Raum-Zeit-Muster der Mengen	118
3.1.1	Komplexe Schadstoffunfälle	118
3.1.2	Lokale Anspülungen.....	118
3.1.3	Wasseroberfläche.....	119
3.1.4	Eissturmvoegel.....	119
3.1.5	Strandmüllmonitoring	120
3.1.6	Zählrahmen.....	120
3.1.7	Vergleich der Erfassungen	122
3.2	Chemische Zusammensetzung.....	123
4.	Übersicht und Vergleich der verschiedenen Monitoringmethoden.....	126
4.1	Übersicht	126
4.2	Eignungskriterien.....	127
4.3	Einschätzung der Eignung.....	129
5.	Hinweise zur Bewertung und einem Monitoringkonzept	133
5.1	Einschätzung der Wirksamkeit von MEPC.315(74)	133
5.2	Einschätzung der aktuellen Belastungssituation im Sinne der MSRL (D10).....	134
5.3	Vorschlag zu einem zukünftigen Monitoring und einem Bewertungsverfahren für die MSRL.....	136
6.	Fazit und Ausblick	141
	Literatur.....	145
	Anhang.....	148

Abbildungen und Tabellen

Abb. 1:	Gemeldete lokale Anspülungen an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns 2012-2020/2021 (Mitte 2021).....	27
Abb. 2:	Meldungen lokaler Anspülungen an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns 2012-2020/2021 (Mitte 2021).....	27
Abb. 3:	Gemeldete lokale Anspülungen an der Nordseeküste von Schleswig-Holstein von 2016-2021.....	29
Abb. 4:	Räumliche Verteilung der Meldungen lokaler Anspülungen an der Nordseeküste Schleswig-Holsteins 2016-2021.	30
Abb. 5:	Übersicht der chemischen Zusammensetzung von 28 Anspülungen an der Nordseeküste von Schleswig-Holstein im Jahr 2021.....	31
Abb. 6:	Anzahl gemeldeter lokaler Anspülungen an der Küste Niedersachsens von 2007 bis 2018 (in Anlehnung an Drucksache 18/2470). Die Einstufung der Intensität der Anspülungen erfolgte auf dem eigenen Klassifizierungssystem.	34
Abb. 7:	Meldungen lokaler Anspülungen an der Küste Niedersachsens in 2007-2018 (in Anlehnung an Drucksache 18/2470).....	35
Abb. 8:	Anzahl der pro Monat im Rahmen von PimoPa gemeldeten (zusammengefassten) Anspülungen und ihre Intensität.	37
Abb. 9:	Lage gemeldeter lokaler Anspülungen an der Küste Niedersachsens April – Dezember 2021.....	38
Abb. 10:	Übersicht der chemischen Zusammensetzung von 21 gemeldeten Anspülungen an der Küste von Niedersachsen von April 2021 – Dezember 2021.....	39
Abb. 11:	Vielfältigkeit der Zusammensetzung von Anspülungen am Beispiel von jeweils einer Anspülung a) auf Mellum am 27.09.2021 am Weststrand und b) auf Baltrum am 27.08.2021	40
Abb. 12:	Ausgebrachtes Schleppnetz an Fender-Konstruktion (©Weinberg, BSH).....	47
Abb. 13:	Beladener Netzbecher mit paraffinartigen Substanzen (© Fitz, BSH).....	47
Abb. 14:	Chemische Zusammensetzung der paraffinartigen Verschmutzungen („Paraffine“) der 103 Schleppfahrten auf Nord-und Ostsee. Es wurden 235 Einzelproben aus 103 SF analysiert. Angegeben ist der relative Anteil der SF, in denen ein bestimmter Verschmutzungstyp oder eine Mischung davon nachgewiesen wurde.....	50
Abb. 15:	Lage ausgewählter Schleppfahrten Nordsee.....	51
Abb. 16:	Lage ausgewählter Schleppfahrten Ostsee.....	51
Abb. 17:	Sortierte Probe paraffinartigen Materials („Paraffine“) aus SF Vipo_158 (BSH Ölforsik).....	52
Abb. 18:	Beispiele unterschiedlicher paraffinähnlicher Stoffe aus dem Magen eines Eissturmvogels	56

Abb. 19:	Extremes Beispiel zweier Stücke paraffinähnlichen Materials aus dem Magen eines Eissturmvogels aus 2019.....	58
Abb. 20:	Auftrittshäufigkeit von paraffinähnlichen Stoffen in den Mägen von an deutschen Küsten gestrandeten Eissturmvögeln zwischen 2002 und 2019 (n=818).	59
Abb. 21:	Durchschnittsgewicht von paraffinähnlichen Stoffen in den Mägen von an deutschen Küsten gestrandeten Eissturmvögeln zwischen 2002 und 2019 (n=818).	59
Abb. 22:	Chemische Zusammensetzung der paraffinähnlichen Stoffe in 110 Mägen von an der Nordseeküste angespülten Eissturmvögeln von 1993-2018.....	60
Abb. 23:	Chemische Zusammensetzung der paraffinähnlichen Stoffe in 110 Mägen von an der Nordseeküste angespülten Eissturmvögeln von 1993-2018.....	61
Abb. 24:	Lage der OSPAR-Strandmüllerfassungen an der deutschen Nordseeküste	65
Abb. 25:	Lage der OSPAR-Strandmüllerfassungen an der Ostseeküste von Mecklenburg Vorpommern.....	66
Abb. 26:	Anzahl der Erfassungen mit Paraffin in verschiedenen Abundanzbereichen (Anzahl Stücke/m) für vier Strände an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 2002-2021.....	67
Abb. 27:	Fortlaufender arithmetischer 5-Jahresmittelwert der Gesamtstückzahl/m (+/- Standardfehler) von Paraffinteilen auf der Untersuchungsstrecke auf Sylt.	68
Abb. 28:	Fortlaufender arithmetischer 5-Jahresmittelwert der Gesamtstückzahl/m (+/- Standardfehler) von Paraffinteilen auf der Untersuchungsstrecke auf Scharhörn.....	69
Abb. 29:	Fortlaufender arithmetischer 5-Jahresmittelwert der Gesamtstückzahl/m (+/- Standardfehler) von Paraffinteilen auf der Untersuchungsstrecke auf Juist.....	69
Abb. 30:	Prozentualer Anteil aller OSPAR-Strandmüll-Erhebungen pro Jahr in der OSPAR-Region mit Funden von Paraffin. Zugrunde liegen Strände mit Paraffinfunden aus folgenden Ländern: BE, DK, F, ES, UK, SE, PRT, NL, NO, DE (Quelle: OSPAR EIHA 2017).....	72
Abb. 31:	Schwierigkeit der Identifizierung von kleinen Paraffinstücken auf einem Sandstrand mit kleinen Steinen. Auf dem Bild sind sowohl Steine als auch Paraffine abgebildet.	73
Abb. 32:	Praxistest auf Sylt im Oktober 2019	75
Abb. 33:	Eingesetzte Zählrahmen.....	75
Abb. 34:	Schematischer Strandabschnitt mit ausgewählten Zonen und Stationen.	77
Abb. 35:	Lage der beprobten Strände an der Nordsee (Sylt, Juist - 2 Strände, Baltrum).....	78
Abb. 36:	Lage des Strands zwischen Hörnum und Rantum auf Sylt mit den vier ausgewählten 100-m Strandabschnitten.....	80
Abb. 37:	Die ein Kilometer lange Strandstrecke auf Sylt von Norden aus fotografiert.....	80
Abb. 38:	Lage der beiden ausgewählten Strände (1000m-Abschnitt) auf Juist.....	81
Abb. 39:	Strand (1000 m) bei Juist- Wilhelmshöhe mit den vier ausgewählten Strandabschnitten (1, 3, 8 und 9) und jeweiligem Stationsraster	

	(Beprobungspunkte), Kartengrundlage: Höhenmodell auf Grundlage von Laserscandaten.....	81
Abb. 40:	Strand (1000 m) Juist- Hammersee mit den vier ausgewählten Strandabschnitten (3, 4, 6, 10) und jeweiligem Stationsraster (Beprobungspunkte), Kartengrundlage: Höhenmodell auf Grundlage von Laserscandaten.....	82
Abb. 41:	Links: Strand Juist-Hammersee Blick Richtung Westen, Rechts: Strand Juist-Wilhelmshöhe Blick Richtung Westen.	82
Abb. 42:	Beispiel einer Beprobung auf Juist.	83
Abb. 43:	Lage des ausgewählten Strandes (1000m-Abschnitt) auf Baltrum.....	84
Abb. 44:	Strand (1000 m) auf Baltrum mit dem mit den vier ausgewählten Strandabschnitten (1, 2, 5, 10) und jeweiligem Stationsraster (Beprobungspunkten).....	84
Abb. 45:	Blick über den Strand Baltrum Richtung Osten.....	85
Abb. 46:	Karte der an der Ostsee beprobten Strände (Darß-Rehberge und Rügen-Nordstrand).	85
Abb. 47:	Lage des ausgewählten Strandes mit den Strandabschnitten auf dem Darß zwischen Ahrenshoop Darßer Ort.	86
Abb. 48:	Lage der ausgewählten 100-m Strandabschnitte 2, 5, 7 und 10 auf dem Darß.	87
Abb. 49:	Blick über den Strand Darß-Rehberge von Nordost. Es sind deutlich zwei Spülsäume zu erkennen.	87
Abb. 50:	Lage des ausgewählten Strandes mit den Strandabschnitten auf Rügen nördlich Putgarten zwischen Varnkevitz und Kap Arkona (Kartengrundlage: © GeoBasis-DE/M-V 2021).	88
Abb. 51:	Lage der ausgewählten 100-m Strandabschnitte 2, 3, 4 und 9 auf Rügen (Kartengrundlage: © GeoBasis-DE/M-V 2021).....	88
Abb. 52:	Blick über den Strand Rügen-Nordstrand Richtung Osten.....	89
Abb. 53:	Lage der Testflächen am Strand von Sylt.....	90
Abb. 54:	Paraffin am Strand in der Nacht bei Beleuchtung mit UV-Licht.	90
Abb. 55:	Zusammenhang zwischen Anzahl erfasster Brocken/ je Station und Gewicht der Brocken.	93
Abb. 56:	Anzahl Paraffinbrocken (kumuliert), alle Nordseedaten (oben) und differenziert nach ausgewählten Stränden (Bild unten; Juist Hammersee - orange, Baltrum - blau, Sylt - grau).	94
Abb. 57:	Mittlere Anzahl der Paraffinfunde/Probe an den untersuchten Stränden gesamt (2020/21; Bild oben; Kruskal Wallis $p < 0.05$) und differenziert nach Untersuchungsjahr (Bild unten). JH = Juist Hammersee, JW = Juist Wilhelmshöhe, BA = Baltrum, HÖ = Sylt Hörnum, DR = Darß Rehberge, RN = Rügen Nordstrand. (N Messwerte = 1398 gesamte Stichprobe).....	95
Abb. 58:	Mittleres Gewicht der Paraffinfunde/Probe an den untersuchten Stränden gesamt (2020/21; Bild oben; Kruskal Wallis $p < 0.05$) und differenziert nach Untersuchungsjahr (Bild unten).....	96

Abb. 59:	Mittlere Anzahl (und Standardfehler) der Funde im Bereich der Nordseestrände (Juist, Baltrum, Sylt) im Untersuchungszeitraum 2020 – 2021.....	98
Abb. 60:	Mittlere Anzahl (und Standardfehler) von Paraffin-Funden im Untersuchungszeitraum 2020 – 2021. Differenziert nach Stränden Juist (Hammersee, Wilhelmshöhe), Baltrum sowie Sylt (Hörnum) sowie nach Strandzonen (ohne hs = Hot Spots).).....	98
Abb. 61:	Mittleres Gewicht der Paraffin-Funde an den Stränden Juist, Baltrum sowie Sylt im Untersuchungszeitraum 2020 – 2021.....	99
Abb. 62:	Mittleres Gewicht g/m ² (und Standardfehler) von Paraffin-Funden im Untersuchungszeitraum 2020 – 2021. Differenziert nach Stränden Juist (Hammersee, Wilhelmshöhe), Baltrum sowie Sylt (Hörnum) sowie nach Strandzonen (ohne hs = Hot Spots).).....	100
Abb. 63:	Mittlere Anzahl der Brocken/Station (und Standardfehler) im Bereich der Nordseestrände gesamt und der Strände, differenziert nach Untersuchungsjahr (2020: N = 468 und 2021: N = 426; ohne hs = Hot Spots).	101
Abb. 64:	Mittleres Gewicht g/m ² (und Standardfehler) der Funde im Bereich der Nordseestrände gesamt und der Strände differenziert nach Untersuchungsjahr (2020 Anzahl Messwerte N = 689 und 2021 Anzahl Messwerte N = 324; ohne hs = Hot Spots).	102
Abb. 65:	Mittlere Anzahl/Stichprobe (Anzahl/m ²) und mittleres Gewicht (g/m ²) der erfassten Paraffinbrocken (Strand übergreifend, nur Nordsee) differenziert nach saisonalen Erfassungen (ohne Hot Spots). F = Frühjahr, S = Sommer, H = Herbst, W = Winter. (Messwerte N = 894/893).	102
Abb. 66:	Mittleres Gewicht der Paraffinbrocken differenziert nach Beprobungssaison. Datengrundlage Nordseestrände ohne Hot Spot-Daten.	103
Abb. 67:	Häufigkeit (Anzahl Brocken/Strand) der Paraffinfunde im Bereich der identifizierten Hotspots (JH = Juist Hammersee, BA = Baltrum, HÖ = Sylt) differenziert nach Untersuchungsjahr.....	105
Abb. 68:	Gewicht (g/m ²) der Funde im Bereich der identifizierten Hotspots (JH = Juist Hammersee, BA = Baltrum, HÖ = Sylt) differenziert nach Untersuchungsjahr.	106
Abb. 69:	Anteil chemischer Substanzen differenziert nach Strand.....	107
Abb. 70:	Anteil chemischer Substanzen differenziert nach Untersuchungsjahr. (Ziffern Säulen= Anzahl Nachweise/Substanz). Chemische Analyse: BSH.....	108
Abb. 71:	Anteil chemischer Substanzen differenziert nach Erfassungssaison.	108
Abb. 72:	Anteil chemischer Substanzen differenziert nach Strand (Bilder 1- 4) und saisonaler Erfassung.....	109
Abb. 73:	Ausgewählte Paraffinwachsproben zur Untersuchung auf Begleitsubstanzen.	114
Abb. 74:	Massen-Chromatogramme ausgewählter PAKs. Abgebildet sind die Massenspuren aller Proben überlagert, womit deutlich wird, dass die Substanzen in allen Proben vorkommen, wenn auch in unterschiedlichen Gehalten.....	116

Tab. 1:	Überblick komplexer Schadstoffunfälle an der deutschen Nord- und Ostsee im Zeitraum von 2007-2021 unter Gesamteinsatzleitung des Havariekommandos.....	22
Tab. 2:	Klassifizierung der Meldungen zu lokalen Anspülungen	25
Tab. 3:	Überblick der im Rahmen von PimoPa eingegangenen Meldungen zu Anspülungen in Niedersachsen, bzw. Fehlanzeigen nach Institution (April – Dezember 2021).....	36
Tab. 4:	Übersicht der Meldungen aus den "Maritimen Ereignismeldungen" 07.2019-08.2021.....	44
Tab. 5:	Übersicht zur im Projektzeitraum durchgeführten Anzahl von Schleppfahrten (SF).....	46
Tab. 6:	Übersicht der Schleppfahrten (SF) und Probenfunde	50
Tab. 7:	Häufigkeit von paraffinähnlichen Stoffen in Mägen von 818 Eissturmvögeln, gestrandet an deutschen Küsten zwischen 2002 und 2019.	57
Tab. 8:	Trendberechnung des Gewichts von paraffinähnlichen Stoffen auf der Basis von log-transformierten linearen Regressionen in Mägen von Eissturmvögeln in verschiedenen Perioden (gesamte Messreihe 2002-2019 und der neueste 10-Jahrestrend 2010-2019).	58
Tab. 9:	Anzahl der Erfassungen an vier Stränden an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum April 2002-Januar 2021.....	67
Tab. 10:	Mittelwerte der Anzahl der Paraffinstücke nach Größe pro Erfassung sowie die Anzahl der Erfassungen mit Paraffinfunden an drei Stränden an der deutschen Nordseeküste in den Zeiträumen April 2002 bis Oktober 2011 und Januar 2012 bis Januar 2021.	68
Tab. 11:	Anzahl der Erfassungen an 22 Stränden an der deutschen Ostseeküste von Oktober 2011 bis Dezember 2020.....	70
Tab. 12:	Überblick Beprobungstermine an der Nordsee.	79
Tab. 13:	Überblick der Beprobungstermine an der Ostsee.....	86
Tab. 14:	Anzahl und Gesamtgewicht der Paraffinstücke an acht Probeflächen am Strand von List auf Sylt am 22.10.2019 am Tag und in der Nacht mit Hilfe einer Schwarzlichtlampe. Nach der Erfassung am Tag wurden die Paraffinteile entfernt. Legende: MS=mittlerer Strandbereich, OS=oberer Strandbereich, US=unterer Strandbereich, * Hinweis: Fläche war überspült in der Nacht, d.h. keine Zählung möglich.....	91
Tab. 15:	Statistische Kennwerte (jahresübergreifend) zur Zählrahmen-Untersuchung (hier Anzahl Bocken/m ²).....	92
Tab. 16:	Statistische Kennwerte zur Paraffin-Untersuchung (hier Gewicht g/m ²).....	92
Tab. 17:	Eigenschaften der nachgewiesenen PAK's.....	115
Tab. 18:	Orientierende Übersicht über die chemische Zusammensetzung des mit den verschiedenen Methoden gewonnen Materials (relative Anteile).	125
Tab. 19:	Übersicht über die Anwendung der Methoden in verschiedenen Teilräumen von Nord- und Ostsee und ihren administrativen Rahmen.	126
Tab. 20:	Übersicht über die mit den verschiedenen Methoden erhobenen, im Bericht ausgewerteten Datensätze.	127

Abkürzungsverzeichnis

AG AiM	Facharbeitsgruppe Abfälle im Meer der BLANO
BLANO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Nord- und Ostsee
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
CBD	Convention on Biological Diversity
EU	Europäische Union
EIHA	Environmental Impacts of Human Activities Committee
HELCOM	Helsinki-Kommission, regionales Meeresschutzübereinkommen für die Ostsee
HK	Havariekommando
IMO	International Maritime Organisation
Kora	Koordinierungsrat der BLANO
KOA-SUB	Bund/Länder Koordinierungsausschuss Schadstoff-Unfallbekämpfung
KSU	Komplexer Schadstoffunfall
LKN.SH	Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein
LUNG-MV	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern
LLUR	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume
MARPOL	Int. Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch Schiffe
MEKUN	Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur
MEPC	Marine Environment Protection Committee
MSFD	Marine Strategy Framework Directive (2008/56/EC)
MSRL	Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (2008/56/EG)
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

OSPAR	Oslo-Paris-Konvention, regionales Meeresschutzübereinkommen für den Nordost atlantik iinklusive der Nordsee
PimoPa	Pilotmonitoring und Bewertung von Paraffinen und anderen persistenten aufschwimmenden Stoffen an der deutschen Nord- und Ostsee (Antragstitel)
SF	Schleppfahrt
StÄLU	Staatliche Ämter für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern
UEG	Unabhängige Umweltexpertengruppe „Folgen von Schadstoffunfällen“
WMR	Wageningen Marine Research

Zusammenfassung

Hintergrund

Auch an den deutschen Küsten von Nord- und Ostsee kommt es immer wieder zu z.T. massiven Verschmutzungen durch Paraffin und weitere persistente aufschwimmende Stoffe, die sowohl eine Belastung der Meeresumwelt darstellen als auch in der Öffentlichkeit wahrgenommen werden.

Derzeit gibt es in Deutschland kein Monitoring, welches standardisiert quantitative oder qualitative Daten zu Paraffinen in der Meeresumwelt ausreichend erhebt und bewertet. Mehrere Landes- und Bundesbehörden haben deshalb von Januar 2020 bis Juni 2022 das Erprobungsvorhaben „PimoPa“ mit dem Ziel durchgeführt Vorschläge für ein künftiges Monitoring zu entwickeln, den Anforderungen der MSRL nachzukommen, Hinweise für mögliche zukünftige Bewertungsverfahren der Belastung zu formulieren und wenn möglich eine erste Einschätzung zur Wirksamkeit der MARPOL-Änderung bzgl. persistenter aufschwimmender Stoffe und Tankwaschungen (MEPC.315(74)) zu geben. Dazu wurden sowohl vorhandene Daten recherchiert und systematisiert als auch zusätzliche Daten erhoben.

Methoden und Datensätze

Es wurden folgende Datensätze recherchiert und systematisiert bzw. generiert (für alle Datensätze lagen zumindest für Teile des Probenmaterials auch Daten zur chemischen Zusammensetzung vor bzw. wurden im Rahmen des Projektes erhoben):

- Komplexe Schadstoffunfälle: Größere Paraffinanlandungen werden als Komplexer Schadstoffunfall (KSU) bezeichnet und vom Havariekommando für Nord- und Ostsee dokumentiert. Die Daten für die Jahre von 2007 bis Ende 2021 wurden vom Havariekommando zusammengestellt.
- Lokale Anspülungen: weniger große Anspülungen von Paraffin, die nicht als komplexe Schadstoffunfälle definiert sind (im Folgenden als lokale Anspülungen bezeichnet) werden bislang nicht zentral erfasst und dokumentiert. Im Rahmen von PimoPa ist deshalb ein methodischer Rahmen für eine Systematisierung entwickelt und ab Mitte 2021 angewendet worden. Die Kenntnisse lokaler Akteure zu aktuellen und vergangenen Anspülungen sind gesammelt und zentral innerhalb der Bundesländer zusammengeführt worden. In den beteiligten Bundesländern konnten dabei unterschiedlich lange Datenreihen generiert werden.
- Disperse Belastung - Wasseroberfläche: Die Erfassung von Paraffinteilen auf See wurde im Rahmen von regulären Monitoringfahrten des BSH durchgeführt. Insgesamt wurden im Projektzeitraum 2020-21 103 Schleppfahrten (SF) durchgeführt. In der vorliegenden Studie werden die Daten v.a. für die Analyse der chemischen Zusammensetzung, aber auch zur Überprüfung der Eignung der Methode als Monitoringverfahren genutzt; Angaben zu Mengen werden aufgrund der stichprobenhaften Aufnahme nicht gemacht.

- Disperse Belastung - Mägen von Eissturmvögeln (nur Nordsee): Im Rahmen des OSPAR Monitorings von „Plastikmüll in Mägen von Eissturmvögeln“ an deutschen Küsten werden seit 2002 auch Daten über das Verschlucken von chemischen Stoffen erfasst. Die inkorporierten Mengen und ihre chemische Zusammensetzung sind für die Jahre 2002 bis 2019 ausgewertet worden.
- Disperse Belastung - Strandmüllmonitoring: Aus dem OSPAR-Strandmüllmonitoring sind die Daten zu Paraffinanspülungen von 2002 bis 2021 für 4 Nordsee-Strände (Sylt, Scharhörn, Juist-Wilhelmshöhe und Minsener Oog) ausgewertet worden. Für die Ostseeküste (nur MV) sind aus der Zeit von Oktober 2011 bis Dezember 2020 Daten von 22 Stränden ausgewertet worden.
- Disperse Belastung - Zählrahmenerfassung: Die Methode ist im Rahmen des Projektes entwickelt und über den Projektzeitraum 2021/22 an Nord- und Ostsee testweise angewendet worden. Die Beprobung erfolgte viermal pro Jahr zu allen 4 Jahreszeiten an 6 Stränden: an der Nordsee Juist-Hammersee, Juist-Wilhelmshöhe, Baltrum und Sylt-Hörnum; an der Ostsee Darß-Rehberge und Rügen-Nordstrand.
- In einer orientierenden Untersuchung wurden 10 Paraffinfunde hinsichtlich ihrer Belastung mit wassergefährdenden Stoffen analysiert.

Ergebnisse

Die Ergebnisse des Pilotprojektes lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Belastung der Ostsee ist im Vergleich zur Nordsee deutlich niedriger;
- Paraffine lassen sich kontinuierlich auf der Wasseroberfläche der Nordsee, an den Stränden der Nordseeinseln und in den Mägen von Eissturmvögeln (die sich v.a. auf der Hohen See ernähren) nachweisen;
- Die Belastung der Nordsee ist in den letzten 10 Jahren deutlich höher als in den 10 Jahren davor; die Ergebnisse des Monitorings Eissturmvogel unterstützen dieses Ergebnis nur teilweise;
- Räumliche Muster des Vorkommens und der Zusammensetzung der Paraffine lassen sich (bisher) nicht identifizieren;
- Die quantitativen Ergebnisse der verschiedenen Methoden lassen sich nur eingeschränkt vergleichen;
- Die Variabilität der quantitativen Belastung ist auf den verschiedenen untersuchten räumlichen und zeitlichen Skalen (saisonal, interannuell, zwischen verschiedenen Probenahmeorten und Strandzonen) sehr hoch;
- Paraffine setzen sich aus verschiedenen Stoffgruppen zusammen, deren Anteile räumlich und zeitlich variabel sind;
- Die 10 auf Begleitstoffe untersuchten Paraffinproben enthielten alle als wassergefährdend eingestufte Chemikalien.

Eignung der Methoden

Alle Methoden haben ihre spezifischen Stärken und Schwächen hinsichtlich ihrer Eignung für ein langfristiges Monitoring der Paraffin-Immissionen. Sie erfassen unterschiedliche „Belastungsorte“ (Strand, Wasseroberfläche, Eissturmvogel) und unterschiedlich starke Ereignisse (sehr große Mengen, lokale Anspülungen, disperse Belastung). Sie sind z.T. implementiert mit bereits langer Laufzeit, z.T. sind sie erst im Rahmen des Projektes entwickelt worden. Sie integrieren bei der Erfassung über eine größere Fläche oder differenzieren kleinräumiger. Sie sind durch die Zählung von Partikeln quantitativ oder durch Schätzungen halbquantitativ; z.T. wird das Größenspektrum aufgenommen, z.T. das Gewicht. Sie arbeiten z.T. mit, z.T. ohne Replikate. Sie nutzen z.T. Informationen, die in anderen Zusammenhängen ohnehin erhoben werden, z.T. müssten sie neu eingeführt werden.

Den Methoden gemeinsam ist, dass sie Freilanddaten erheben und damit den dabei typischen Einschränkungen und Unsicherheiten unterliegen und z.T. von wechselnden Personen ausgeführt werden. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Methoden für sich allein als nur eingeschränkt geeignet eingeschätzt werden müssen. Alle Methoden weisen gemeinsame und/oder spezifische Schwächen auf. Nichtsdestotrotz hat die vorliegende Pilotstudie deutlich werden lassen, dass sich durch die Zusammenschau der verschiedenen Ergebnisse ein recht konsistentes Gesamtbild der Belastung und ihrer Veränderung über die Zeit ergibt.

Vorschlag zu einem künftigen Paraffinmonitoring

Folgende Ansätze werden als Langzeitmonitoring von Paraffinen und anderen persistenten aufschwimmenden Stoffen für die deutsche Nord- und Ostsee vorgeschlagen:

- Dokumentation komplexer Schadstoffunfälle (KSU) in Zusammenhang mit Paraffinen
- Dokumentation und Auswertung lokaler Anspülungen (bei mittleren und großen Anspülungen)
- Quantitative Erfassung von Paraffinen in den Mägen von Eissturmvögeln (nur Nordsee)
- Präsenz von Paraffinen an der Wasseroberfläche
- Präsenz von Paraffinen im regulären Strandmüllmonitoring

In ihrer Kombination sind diese Ansätze für ein Langzeitmonitoring geeignet, da sie gemeinsam mit vertretbarem Aufwand alle wesentlichen Aspekte abbilden (herausragende Einzel- und lokalbegrenzte Ereignisse sowie disperse Belastung; Küste, offene See und Biota). Darüber hinaus berücksichtigen sie vielfältige Synergien mit anderen Monitoringprogrammen, um die anfallenden zusätzlichen Kosten zu minimieren. Es wird empfohlen den erarbeiteten Monitoring-Vorschlag über die Ministerien als Teil des nationalen MSRL-Monitorings zu etablieren und weiterzuentwickeln. Der Vorschlag sollte dazu mit den relevanten Institutionen (BLANO-Gremien wie u.a. Fach AG AiM, Kora und BLANO sowie HK, Ministerien, etc.) abgestimmt werden.

Einschätzung der Wirksamkeit der Änderungen von MARPOL Anlage II zu Tankwaschungen

Zur Wirkung von MEPC.315(74) zeigt die vorliegende Studie, dass trotz der am 1.1.2021 in Kraft getretenen angepassten Vorgaben für Vorwaschverfahren in der Tankschiffahrt (MEPC.315(74) auch 2021 neben vielen kleinen Anspülungen noch immer einige größere Anspülungsereignisse an den Stränden der deutschen Nordsee auftraten. Ob diese Einträge aus legalen Tankwaschungen

oder aus illegalen Emissionen stammen, lässt sich über ein Umweltmonitoring jedoch nicht belastbar klären. Nur bei einem vollständigen Verbot von Einleitungen dieser Art wäre das Vorkommen von Paraffin in der Umwelt eindeutig auf eine Rechtswidrigkeit zurückzuführen.

Zukünftig sollten Wege gefunden werden, wie das Paraffinvorkommen in der Meeresumwelt möglichst vollständig vermieden werden kann. Es wird daher vorgeschlagen konkrete Lösungsansätze für die Politik zusammenzustellen, die zu einer Reduktion des Vorkommens von Paraffinen in der Meeresumwelt führen können und diese anschließend in die politische Umsetzung zu überführen. In einem ersten Schritt könnte dies z.B. von Bund und Ländern in ihren jeweiligen Zuständigkeitsbereichen getrennt durchgeführt und anschließend über den KOA-SUB/BLANO oder andere relevante Gremien bundesweit harmonisiert werden.

1. Einleitung

1.1 Anlass, Aufgabe und Rahmen der Pilotstudie

1.1.1 Einleitung

Die Verschmutzung der Meere wird neben anderen Schlüsselthemen als eines der wichtigsten globalen Umweltprobleme unserer Zeit gesehen (CBD 2012). Dazu zählen auch Verschmutzungen durch Paraffin und persistente aufschwimmende Stoffe, wie sie in europäischen MeerestGewässern angetroffen werden, beispielsweise in Deutschland, Dänemark, den Niederlanden, Frankreich, Spanien und Großbritannien (EIHA (2) 20/05/03). An den Küsten der deutschen Nord- und Ostsee sind Anspülungen dieser Stoffe wiederholt zu verzeichnen, ebenso wie Funde an der Wasseroberfläche (Lorenz et al. 2021). Die Mengen der angeschwemmten Stoffe können bei Einzelereignissen mehrere Tonnen erreichen (Fitz & Fleet 2017, Suaria et al. 2018).

Der Transport von Paraffin und persistenten aufschwimmenden Stoffen in Schiffen über den Seeweg stellt eine wesentliche Eintragsquelle dieser Substanzen in die Umwelt dar (Fitz et al. 2017). Die Stoffe stammen aus Ladungsresten, die durch Tankwaschungen auf See in die Meeresumwelt gelangen. Generell handelt es sich um als flüssiges Massengut in Tankern beförderte Stoffe, die eine hohe Viskosität haben, sich in Abhängigkeit von der Temperatur verfestigen und an der Wasseroberfläche aufschwimmen (Beitrag VDR, s. Anlage 1). Dort werden sie mit dem Wind und der Meeresströmung transportiert und schlussendlich an Land gespült (Fitz & Fleet 2017). Vorwiegend handelt es sich bei flüssiger Ladung gemäß IBC Code um folgende Produkte: Paraffinwax (semi-refined = Kategorie X, highly-refined = Kategorie Y), n-Alkane (C10-C20) (Kategorie Y) und Hydrocarbon wax (Kategorie x). Weitere Synonyme sind Paraffin, Paraffin Jelly oder Mineral Wax. Im folgenden Bericht werden diese Stoffe (ähnlich wie vom VDR, s. Anlage 1) zur Vereinfachung „Paraffine“ genannt.

Der Nachweis von Paraffinen in Seevogelmägen (Fitz & Fleet 2017) belegt, dass diese Substanzen bereits ihren Weg in die marinen Nahrungsnetze gefunden haben. Da in Tankschiffen meist Industrieparaffine mit geringem chemischen Reinheitsgrad befördert werden, können die Ladungsreste zusätzlich Begleitstoffe in Konzentrationen enthalten, die für sich ein Risiko für Mensch und Umwelt darstellen können (UEG 2014).

Zusätzlich sind mit Anspülungen von Paraffinen negative sozioökonomische Effekte durch vorübergehende Strandsperrungen und insbesondere hohe Kosten für die Reinigung betroffener Küstenabschnitte verbunden (UEG 2014, KIMO 2017, Suaria et al. 2018, MEPC77/INF.9 2021). Für fünf Länder (Dänemark, Deutschland, Niederlande, Schweden und Frankreich) hat KIMO (2017) zwischen 2012 und 2016 mindestens 91 Vorfälle auf 300 km Küstenlinie ermittelt, deren Beseitigung über 1,4 Mio. € kostete. In den Niederlanden werden jährlich zwischen ca. 10 bis 50 m³ Paraffin an den Stränden angespült, mit einem Maximum von 100 m³ in 2017. Im Durchschnitt kostet den Niederlanden die Sammlung und Entsorgung von Paraffinen am Strand rund 148.000,- €/Jahr (im Zeitraum 2007-2017) (MEPC77/Inf.9).

1.1.2 Rechtliche Vorgaben – MARPOL Anlage II

Die Handhabung des in Tankschiffen als sogenanntes Massengut transportierten Paraffins ist mit dem Internationalen Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch Schiffe (MARPOL) der Internationalen Maritimen Organisation (IMO) geregelt. Das sogenannte MARPOL 73/78 Übereinkommen von 1973 bzw. 1978 (neue Fassung) besitzt eine weltweite Gültigkeit und bildet die Basis für den Umweltschutz in der Seeschifffahrt. Hierzu wurde in den Anlagen II bis IV auf alle Substanzen und Produkte eingegangen, die der marinen Umwelt potenziell schaden können. In der Anlage II des Übereinkommens werden alle als Massengut beförderte, schädliche flüssige Stoffe geregelt, so auch die verschiedenen Paraffine. Seit 2007 sind Paraffine in Kategorie Y („gefährlich“) eingestuft. Eine Einleitung von mit diesen Stoffen beladenen Waschwassern in die Meeresumwelt ist unter bestimmten Bedingungen zulässig (Fitz & Fleet 2017). Die wichtigsten Einleitbedingungen lauten:

- Es muss eine Vorreinigung erfolgen, welche an Land zu entsorgen ist.
- Das Schiff muss sich mit mindestens 7 Knoten in Fahrt befinden.
- Das Schiff muss mindestens 12 Seemeilen vom Land entfernt sein.
- Die Einleitung muss unterhalb der Wasseroberfläche erfolgen.
- Die örtliche Wassertiefe muss mindestens 25 Meter betragen.

Sind diese Bedingungen erfüllt ist es zulässig, mit Ladungsresten versetztes Waschwasser aus seewärtigen Tankreinigungen ins Meer einzuleiten.

Die Teilnehmer der 83. Umweltministerkonferenz im Jahr 2014 sahen *„mit Besorgnis die wiederholten Anspülungen von Paraffin und damit verbundener schädlicher ölhaltiger Mischungen und Rückstände an den deutschen Küsten und die damit verbundenen ökologischen, wirtschaftlichen und gesundheitlichen Auswirkungen“*. Sie forderten die Bundesregierung auf, sich bei der IMO für eine Änderung des MARPOL-Übereinkommens mit dem Ziel eines generellen schiffsbedingten Einleitverbots für Paraffin und damit verbundene schädliche ölhaltige Mischungen und Rückstände in die Meeresumwelt einzusetzen. Die IMO hat reagiert und neue MARPOL-Vorschriften für bestimmte Stoffe, darunter Paraffin, eingeführt. Ein vollständiges Einleitverbot für diese Stoffe war bislang nicht durchsetzbar.

Im Frühjahr 2019 wurde vom Umweltausschuss (MEPC) der IMO eine Änderung der Anlage II von MARPOL angenommen (Entschließung MEPC.315(74)). Mit der neu aufgenommenen Definition von persistenten aufschwimmenden Stoffen („Persistent Floatern“) (Regulation 1, § 23; siehe Kasten) sind nun mehr Stoffe von der Verpflichtung zur Vorwäsche in Häfen betroffen. Unter diese Regelung fallen auch Paraffine. Die Änderung ist am 1. Januar 2021 in Kraft getreten (MEPC77/INF.9 2021).

Entschließung MEPC.315 (74)

Die Entschließung MEPC.315(74) des Umweltausschusses der Internationalen Seeschiffahrtsorganisation (IMO) sieht Änderungen der Anlage II von MARPOL betreffend Ladungsrückständen und Tankwaschwasser vor, die persistente aufschwimmende Stoffe enthalten. Als „persistenter aufschwimmender Stoff“ wird ein Stoff mit den folgenden Eigenschaften definiert:

- Dichte: \leq Salzwasser (1025 kg/m³ bei 20°C)
- Dampfdruck: \leq 0.3 kPa
- Löslichkeit: \leq 0,1 % (für flüssige Stoffe), \leq 10 % (für feste Stoffe)
- kinematische Viskosität: $>$ 10 cSt bei 20°C

Bei Stoffen der Gruppe Y, bei denen es sich um persistente aufschwimmende Stoffe mit einer Viskosität von 50 mPa*s oder darüber bei 20°C und/oder mit einem Schmelzpunkt von 0°C oder darüber handelt, gelten nun ebenfalls Vorgaben zu Vorwaschverfahren. Während des Vorwaschens anfallende Rückstände beziehungsweise das während des Vorwaschens anfallende Wassergemisch ist an eine Auffanganlage des Löschhafens abzugeben bis der Tank leer ist. Jedes nachfolgend in den Tank eingefüllte Wasser darf nach den Einleitstandards von Regel 13 Abs. 2 Anlage II ins Meer eingeleitet werden (www.bsh.de).

Im vorliegenden Bericht werden diese Stoffe zur Vereinfachung „Paraffin“ genannt.

Die Überprüfung der Wirksamkeit der Änderung von MARPOL Anlage II steht aus. So wird z.B. von einigen OSPAR-Mitgliedsländern und nationalen Institutionen angemerkt, dass die Änderungen nicht weitreichend genug sind (EIHA(2) 20/05/03). Aktivitäten in den Niederlanden zielen dabei v.a. auf eine Verbesserung des Vorwaschgangs (u.a. durch ausreichende Erhitzung der Tanks und Verwendung von ausreichend warmem Wasser), die Optimierung des Restlenzverfahrens („stripping procedure“) und eine Bewusstseinsbildung zur Minimierung der verbleibenden Restmenge (6-12 m³/Tank nach Erfahrungen aus den Niederlanden) (MEPC77/Inf.9).

1.1.3 Rechtliche Vorgaben – Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie

Darüber hinaus hat sich Deutschland mit der EU Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL, 2008/56/EG) verpflichtet, die Abfallbelastung in den Meeresgewässern zu überwachen und zu bewerten, Maßnahmen zur Reduzierung zu ergreifen und die Einträge zu begrenzen. Laut Beschluss der Kommission (2017/848/EU) gehören zu den unter dem Deskriptor D10 „Abfälle im Meer“ in der Meeresumwelt zu überwachenden Abfällen auch „Chemikalien“. Dabei „deckt die Kategorie ‘Chemikalien’ Begriffe wie Paraffin, Wachs, Öl und Teer ab.“ Bislang werden diese Stoffe in einigen Ländern über das standardisierte OSPAR-100 m Protokoll beim Strandmüllmonitoring miterfasst (EIHA (2) 20/05/03), so auch in Deutschland. Exemplarische Auswertungen bei OSPAR (EIHA 17/04/06) zeigen jedoch, dass die Daten die Gesamtsituation nicht repräsentativ wiedergeben, da die Daten allenfalls semiquantitativ erhoben werden. Bei EIHA 2017 wurde vorgeschlagen ein standardisiertes Monitoring für Paraffine zu entwickeln, dieses wurde jedoch von den Mitgliedstaaten bislang abgelehnt.

1.1.4 Ziel der Studie und Projektpartner

Derzeit gibt es in Deutschland kein Monitoring, welches standardisiert quantitative oder qualitative Daten zu Paraffinen in der Meeresumwelt ausreichend erhebt und bewertet. Zusammen mit dem BSH (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) haben die Küstenbundesländer Niedersachsen (NLWKN, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz), Schleswig-Holstein (LKN.SH, Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein; als Ansprechpartner MEKUN, Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur) und Mecklenburg-Vorpommern (LUNG M-V, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern) daher ein Pilotkonzept für ein solches Monitoring entwickelt. Das Erprobungsvorhaben „PimoPa“ wurde vom Koordinierungsrat Meeresschutz (KORA) befürwortet (25. Sitzung vom 24.09.2019). Auf der 50. Sitzung des Bund-Länder-Koordinationsausschusses Schadstoffunfallbekämpfung (KOA-SUB) am 28.10.2019 wurde die Finanzierung der Studie aus dem B&U-Haushalt übernommen. Die Laufzeit des Projekts umfasst 2,5 Jahre, von Januar 2020 bis Juni 2022.

Wageningen Research Institute wurde beauftragt vorhandene Daten zu dem Paraffin in Mägen von Eissturmvögeln auszuwerten. Bioplan hat MV bei der Erfassung der Paraffinfunde in Zählrahmen unterstützt (über eigene Mittel aus MV). Mit der Datenanalyse der Zählrahmen und der Zusammenführung der verschiedenen Projektteile zu einem Endbericht wurde BioConsult Schuchardt & Scholle beauftragt.

Die Ziele des Vorhabens bestehen in den folgenden drei Punkten:

- Entwicklung und Erprobung eines Überwachungsprogramms für die Erfassung des Vorkommens inklusive der chemischen Identifizierung von Paraffinen.
- Hinweise für eine Bewertung der Belastung der deutschen Meeresgewässer mit Paraffin entsprechend MSRL auf der Grundlage ausgewählter Messmethoden (Kap. 5).
- Schaffung einer Datengrundlage und Erarbeitung einer ersten Einschätzung zur Wirksamkeit der MARPOL-Anlage II-Änderung bzgl. persistenter aufschwimmender Stoffe und Tankwäschungen (MEPC.315(74)) (Kap. 5).

Zur Erreichung der Projektziele wurden sowohl vorhandene Daten zusammengetragen und ausgewertet als auch eigene Daten erhoben. Ziel war es zunächst in einem möglichst breit gefächerten Ansatz sowohl extreme Anspülungen (Kap. 2.1), lokale Anspülungen (Kap. 2.2) als auch die disperse Belastung (Kap. 2.3ff, für Definition „disperse Belastung“ s. Kap. 2, erster Absatz) zu berücksichtigen. Die einzelnen Erfassungsansätze werden anschließend auf ihre Eignung für ein längerfristiges Monitoring in ihrer Gesamtschau geprüft und entsprechende Vorschläge entwickelt.

PimoPa unterstützt somit aktuelle nationale und internationale Prozesse.

1.2 Paraffine als Umweltbelastung

Paraffine können auf unterschiedliche Weise eine Gefahr für Meeresressourcen darstellen (Lorenz et al. 2021).

Meerestiere können Paraffin-Brocken als vermeintliche Nahrung aufnehmen und **verschlucken**. So wurden entsprechende Klumpen auch in den Mägen von Eissturmvögeln sowie in Speiballen von Dreizehenmöwen gefunden (Suaria et al. 2018). Für die Nordsee haben dies van Franeker & Meijboom (2002), van Franeker et al. (2011, 2019) sowie Fitz & Fleet (2017) nachgewiesen. Als Auswirkungen sind Verstopfungen des Magen-Darm-Trakts und eine Verminderung der Fitness zu befürchten. Über das tatsächliche Risiko für betroffene Vögel fehlen jedoch noch wissenschaftliche Erkenntnisse (UEG 2014, van Franeker et al. 2019).

Aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften sind einige der Paraffine unter ungünstigen Umständen auch in der Lage, das **Gefieder** von Vögeln zu verkleben (UEG 2014), wodurch die thermische Isolation und Bewegungsfähigkeit der Vögel gestört wird. Beispiele solcher Vorfälle sind für Polyisobutylen (PIB) und Pflanzenfette bekannt (Camphuysen et al. 1999 und 2010, UEG 2014). Für Paraffin wird dieses Risiko in kühlem Nord- und Ostseewasser jedoch als sehr gering eingeschätzt (UEG 2014).

Darüber hinaus birgt der Kontakt mit chemischen Produkten oder deren Aufnahme **ökotoxikologische Risiken**. In Tankschiffen werden meist keine reinen medizinischen Paraffine, sondern Industrieparaffine mit geringerem Reinheitsgrad befördert. Die meisten Industrieparaffine reizen Haut und Augen; einige Paraffintypen gelten als krebserzeugend (UEG 2014). 2012 an die Küste Mecklenburg-Vorpommerns angespülte Industriewachse enthielten beispielsweise deutliche Anteile polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK; UEG 2014). Darüber hinaus können bei den Tankwaschungen Reinigungsmittel (z.B. Kraftstoffe) eingesetzt werden, die sich anschließend auch in den Paraffinen wiederfinden und zu negativen Auswirkungen auf die Umwelt führen. Die Zusätze im Paraffin hängen auch vom Waschverfahren an Bord auf See ab. So kann z.B. das Waschwasser im Slop-Tank mit für die Umwelt schädlichen Flüssigkeiten in Kontakt kommen, bevor es außenbords gegeben wird. Insgesamt ist über die ökologischen Auswirkungen auf die marinen Ökosysteme derzeit nur wenig bekannt, da dieser Aspekt noch nicht eingehend untersucht wurde (UEG 2014, Suaria 2018, van Franeker et al 2019).

2. Durchgeführte Erhebungen zur Belastung und Methodenentwicklung

Als Grundlage für die Entwicklung, Umsetzung und Etablierung eines belastbaren Monitorings von Paraffin als Grundlage für die MSRL (D10) und die Einschätzung der Wirksamkeit der Änderungen von MARPOL Anlage II zu Tankwaschungen werden im folgenden Kapitel verschiedene Daten Grundlagen und Erfassungsmethoden geprüft. Dazu sind verschiedene Datenquellen recherchiert und ausgewertet worden; zusätzlich sind im Rahmen des Projektes eigene Untersuchungen durchgeführt worden. Die zugrundeliegenden Methoden sind nachfolgend wie folgt systematisiert:

- extreme Paraffinanspülungen an Küsten (komplexe Schadstoffunfälle),
- lokale Paraffinanspülungen und
- disperse Belastungen (Wasseroberfläche, Mageninhalt Eissturmvögel, Strandmüllmonitoring, Zählrahmen).

Als **disperse Belastung** wird in der vorliegenden Studie das Vorkommen von v.a. kleinen Paraffinpartikeln definiert, die (vermutlich) bereits einen längeren Transport zwischen Emissionsort (Schiff) und Immissionsort (Küste, Wasseroberfläche) zurückgelegt haben und dabei i.d.R. weiträumig verteilt worden sind.

2.1 Komplexe Schadstoffunfälle

2.1.1 Einleitung und Aufgabe

Größere Paraffinanlandungen werden nach der Bund-Länder-Vereinbarung zur Schadstoffunfallbekämpfung (BLV SUB) nach Beschluss vom 13.11.2012 als Komplexer Schadstoffunfall (KSU) bezeichnet und dokumentiert. Als Schwellenwert für einen „KSU Paraffin an der Küste“ ist eine aufzunehmende Menge von 30 m³ Paraffinabfall (bzw. alternativ eine erhebliche Bedeckung von Ufer und / oder Böschungen mit Paraffin auf einer Länge von mindestens 10 km) festgelegt.

Bei einem „Komplexen Schadstoffunfall“ übernimmt das Havariekommando die Gesamteinsatzleitung; die Kosten werden von Bund und Ländern erstattet.

Ein Überblick über Vorkommen und Frequenz dieser erheblichen Anspülungen ist ein potenziell wichtiger Aspekt für die Bewertung der Umweltsituation an Nord- und Ostsee. Das Havariekommando hat deshalb auf Bitten des Projektes einen solchen Überblick erstellt.

2.1.2 Ergebnisse

Vom Havariekommando wurde ein Überblick über komplexe Schadstoffunfälle im Zeitraum von 2007 bis Ende 2021 zusammengestellt (Tab. 1). An der Nordsee haben sich in diesem Zeitraum drei größere Anspülungen ereignet, jeweils eine in den Jahren 2009, 2014 und 2016. An der Ostsee waren es insgesamt sechs größere Anspülungen, wobei eine in 2007, zwei in 2010 (mit derselben Verschmutzungsquelle), zwei in 2012 und eine in 2014 auftraten. Dargestellt ist die aufgenommene Menge Paraffin-Sandgemisch (je nach Bekämpfungsmethoden und Entsorgungsweg wird die Menge in t bzw. m³ angegeben) zum Ende der Gesamteinsatzleitung des Havariekommandos. Nach Beendigung der Gesamteinsatzleitung durch das Havariekommando gab es zum Teil weitere bekämpfungsfähige Nachverschmutzungen, die von den zuständigen regionalen Behörden in eigener Regie entfernt wurden.

Tab. 1: Überblick komplexer Schadstoffunfälle an der deutschen Nord- und Ostsee im Zeitraum von 2007-2021 unter Gesamteinsatzleitung des Havariekommandos.

Monat/Jahr der Verschmutzung	Insel/ Gemeinde	Menge der Verschmut- zung*	Länge des betroffenen Küstenabschnitts	Bemerkungen
Nordsee				
23.07.09/ 24.07.09	Nordfriesische Inseln	138 m ³		Amrum, Föhr, Sylt, Halligen, Festland
20.03.14/ 25.03.14	Sylt	73 m ³	30 km	gesamte Westseite der Insel Sylt
02.06.16/ 06.06.16	Borkum	75 t	10-15 km	
Ostsee				
18.05.07/ 19.05.07	Dierhagen/ Darß	150 m ³	10 km	
21.05.10/ 23.05.10	Nordseite Rügen	100 m ³	30 km	
02.06.10/ 04.06.10	Usedom	64 t	10 km	
21.02.12/ 27.02.12	Fischland-Darß Hiddensee	11 t	25 km	
21.02.12/ 27.02.12	Fehmarn/ Großenbro- de	33 m ³		zu Lage Fischland-Darß, Paraffinpro- ben identisch
27.04.14/ 30.04.14	Tromper Wiek/Rügen/ Jasmund	32,5 m ³	10 km	

2.1.3 Einschätzung der Ergebnisse

Die Zusammenstellung gibt einen guten Überblick über außergewöhnlich große Anspülungen von Paraffin. Aus Sicht der Autoren können Kenntnisse solcher extremen Anspülungen wesentlich zur Bewertung der Wirksamkeit der Änderung von MARPOL Anlage II beitragen (Präsenz, Umfang und Frequenz solcher Ereignisse), ebenso wie zur Bewertung des Zustands für die MSRL. In Deutschland sind es insbesondere diese glücklicherweise eher seltenen, aber extremen Anspülungen, die über die Presse allgemein bekannt werden und die Verschmutzungen der Umwelt durch Paraffin in der Meeresumwelt veranschaulichen. Dies gilt auch in anderen Ländern, wie z.B. für die extremen Anspülungen an der Côte d'Opale in Frankreich im November 2016 oder im Ligurischen Meer in Italien im Juni 2017 (Lorenz et al. 2021).

Jedoch wird in wissenschaftlichen Studien gezeigt, dass Paraffin in der Meeresumwelt inklusive der Strände in geringeren Mengen als bei einem KSU keine Seltenheit ist, sondern an Nord- und Ostsee z. T. auch regelmäßig vorkommen (Lorenz et al. 2021, Haseler et al. 2018 und 2020). In deutschen Gewässern ist hier vorrangig die Nordseeküste betroffen. Diese chronische Verschmutzung und auch lokale Anspülungen von geringeren Ausmaßen als ein KSU, sind unseres Erachtens für eine Einschätzung der Wirksamkeit der Änderung von MARPOL Anlage II, wie auch für die Bewertung des Umweltzustands auf Basis des Deskriptors D10 der MSRL potenziell von hoher Relevanz und sollten daher ebenso berücksichtigt werden. Für eine Analyse und Diskussion zur Wichtung der verschiedenen möglichen Erfassungen wird auf Kap. 4.1 und Kap. 5 verwiesen.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass KSU für sich alleine stehend für die Bewertung des Umweltzustands für Paraffin und der Wirksamkeit der Änderungen von MARPOL Anlage II nicht ausreichend sind, da sie die Umweltsituation nur unzureichend widerspiegeln. Die Erfassung des Auftretens von KSU kann unseres Erachtens jedoch einen wichtigen Beitrag für diese Bewertungen liefern. Dabei ist zu berücksichtigen, dass KSUs vermutlich sowohl MARPOL-konform (legal) als auch nichtkonform (illegal) sein können. Eine Übersicht der KSU zu Paraffin vorzuhalten ist jedoch nicht originäre Aufgabe des Havariekommandos. Sollte eine solche Zusammenstellung zukünftig als Baustein eines Bewertungsansatzes verstetigt werden, müsste geprüft werden, ob eine jährliche Aktualisierung durch das Havariekommando leistbar ist. Diese Prüfung müsste nach Einschätzung der Autoren über den KOA-SUB vorgenommen werden.

2.2 Lokale Anspülungen

2.2.1 Einleitung und Aufgabe

Neben „komplexen Schadstoffunfällen Paraffin an der Küste“ kommt es auch zu weniger umfassenden Anspülungen von Paraffinen, die nicht als komplexe Schadstoffunfälle definiert sind (siehe Kapitel 2.1). Diese Anspülungen können lokal sehr unterschiedlich ausgeprägt sein, sowohl im Hinblick auf die Größe als auch die Menge der Klumpen. Sie werden im Folgenden „lokale Anspülungen“ genannt.

Lokale Anspülungen werden bislang nicht zentral erfasst und dokumentiert, weder innerhalb der Landkreise/Kommunen, der Bundesländer, noch auf Bundesebene. Eine gewisse Ausnahme stellt die täglich veröffentlichte „maritime Ereignismeldung deutsche Küste“ des Gemeinsamen Lagezentrums See im Havariekommando dar, auf die in Kap. 2.2.7 näher eingegangen wird.

Im Rahmen von PimoPa soll daher überprüft werden, ob ein geeigneter Überblick zu Anzahl und Ausmaß von lokalen Anspülungen geschaffen werden kann. Die Kenntnisse lokaler Akteure sollen dazu gesammelt und zentral innerhalb der Bundesländer zusammengeführt werden. Ziel ist es Informationen zur Art, Frequenz, Intensität und zur räumlichen Verteilung der lokalen Anspülungen zu erhalten.

Der Fokus des Arbeitspakets lag auf folgenden Punkten:

- Identifizierung potenziell geeigneter Meldewege je nach Bundesland
- Entwicklung und Eignung von Abfrage-/Meldeprotokollen
- Beteiligung lokaler Akteure
- Betrachtung der Qualität der eingehenden Daten
- Beurteilung der Eignung der Daten für eine Bewertung der lokalen Anspülungen
- Chemische Analysen zur Charakterisierung der Proben.

2.2.2 Methodik

Erfassungsprotokoll

Für die Abfrage zu lokalen Anspülungen wurde durch die Projektpartner ein einheitliches Protokoll entwickelt, welches die wesentlichen Informationen sammelt. Zugleich sollte die Befüllung auch mit möglichst wenig Aufwand verbunden sein, um eine hohe Rückmeldequote zu erreichen.

Im Protokoll werden neben Angaben zur meldenden Person (Name, Institution, Kontakt) zunächst Funddatum und -ort (Insel/Strandabschnitt, ggf. GPS-Koordinaten) abgefragt. Es folgen Angaben zur Substanz (ggf. Bezeichnung, Laborbestätigung) mit einer kurzen Beschreibung zur Beschaffenheit (Form, Größe, Farbe, Konsistenz etc.). Danach können soweit vorhanden verschiedene quantitative Informationen (Strandlänge/-breite, Partikelanzahl nach Größenklassen, Gewicht, Volumen) eingetragen werden. Abschließend sind Angaben zur Räumung und Entsorgung sowie weiterführende Bemerkungen möglich. Das Protokoll ist im Anhang als Anlage 2 beigefügt.

Zeitlich und räumlich im Zusammenhang stehende Meldungen wurden zu einer Anspülung zusammengefasst.

Klassifizierung

Zur Strukturierung und Bewertung der insgesamt sehr heterogenen Datenbasis aus den Rückläufen der Abfragen zu lokalen Anspülungen wurde die in Tab. 2 dargestellte Klassifizierung entwickelt. Der Klassifizierungs- und Bewertungsvorschlag berücksichtigt entsprechend der vorhandenen Rückmeldungen sehr unterschiedliche quantitative Angaben (Stückzahl, Gewicht, Volumen, Strandlänge). Zusätzlich werden qualitative Angaben als Unterstützung hinzugezogen (Spalte

„Beschreibung“). Dabei werden die definierten Klassengrenzen nicht in jedem Fall widerspruchsfrei anwendbar sein, da auch sehr unterschiedliche Belastungssituationen (Einzelfund bis Massen kleiner Partikel, punktuelle Ansammlung bis weiträumige Verteilung) vorhanden sein können. Hier dienen die Klassengrenzen als Orientierung.

Tab. 2: Klassifizierung der Meldungen zu lokalen Anspülungen

Klasse	Klassengrenze	Beschreibung
Anspülung unbekannter Menge	Funde unbekannter Menge	Anspülungen vorhanden, aber Menge unbekannt, bzw. keine Angaben
Kleine Anspülung	vereinzelte Funde > 0 bis ≤ 10 kg/10 l/0,01 m ³ oder > 0 bis ≤ 1 Stk./m oder > 0 bis ≤ 1 km Strand	Anspülung vereinzelter Stücke auf begrenztem Raum
Mittlere Anspülung	regelmäßige bis zahlreiche Funde > 10 kg/10 l/0,01 m ³ bis ≤ 1 t/1.000 l/1 m ³ oder > 1 Stk./m bis ≤ 20 Stk./m oder > 1 km bis ≤ 5 km Strand	Anspülung zahlreicher Stücke auf längeren Küstenabschnitten
Große Anspülung	sehr zahlreiche bis massenhafte Funde und kein KSU > 1 t/1.000 l/1 m ³ oder > 20 Stk./m oder > 5 km Strand	Großräumige Anspülung großer Mengen
Komplexer Schadstoffunfall (KSU)	Gesamteinsatzleitung Havariekommando aufgrund komplexer Schadenslage > 30 m ³ oder > 10 km Strand mit erheblicher Bedeckung	Komplexer Schadstoffunfall entsprechend Definition

Nachfolgend wird das vorgestellte Klassifizierungssystem auf die Daten der lokalen Anspülungen aus den einzelnen Küstenbundesländern angewandt.

Chemie

Im Rahmen der Schadstoffunfallbekämpfung werden repräsentative Proben von Anspülungen chemisch analysiert, z.B. beim BSH im Rahmen der Ölforensik. Die Kosten werden vom jeweiligen Auftraggeber, d.h. dem Einsender der Proben, getragen. Begleitstoffe werden dabei nicht standardmäßig analysiert. Für Aussagen über die Wassergefährdung von Anspülungen sind solche ergänzenden spezifischen Analysen i.d.R. erforderlich und können durch entsprechend spezialisierte Labore erfolgen. Zusätzlich wurden im Projektzeitraum im Rahmen von PimoPa eingesendete Proben chemisch vom BSH analysiert. Die Methodik ist in Kap. 2.3 beschrieben. Im Rahmen von PimoPa bestand die Möglichkeit, in ausgewählten Proben aus lokalen Anspülungen auch ausgewählte Begleitstoffe vom BSH analysieren zu lassen (Kap. 2.7).

2.2.3 Ergebnisse Mecklenburg-Vorpommern

2.2.3.1 Meldewege

Lokale Anspülungen werden in Mecklenburg-Vorpommern durch die betroffenen Küstenkommunen, z. B. die kommunalen Ordnungsämter oder Kurverwaltungen mit deren Bauhöfen oder auch der Feuerwehren, kurzfristig bewältigt. Eine zentrale Meldung erfolgte hierfür bisher nicht, nur teilweise haben auch die Staatlichen Ämter für Landwirtschaft und Umwelt (StÄLU) Kenntnis über lokale Anspülungen erlangt.

Aufgrund der verschiedenen Aufgaben der an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns gelegenen Großschutzgebiete (z. B. Kontrollen und Erfassungen im Gelände, Führungen, z. T. Untere Naturschutzbehörde) können auch diese über Kenntnisse zu lokalen Anspülungen verfügen.

2.2.3.2 Übersicht der Meldungen

Auf die Abfrage des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt von Erkenntnissen zu lokalen Anspülungen haben lediglich der Landkreis Vorpommern-Rügen und die Hansestadt Rostock geantwortet. Daneben hat das LUNG M-V Rückmeldungen von den StÄLU Westmecklenburg, Mittleres Mecklenburg und Vorpommern sowie aus dem Ministerium selbst erhalten. Ereignismeldungen enthielten nur die Antworten der Hansestadt Rostock, des StÄLU Vorpommern und des Ministeriums. Ergänzt wurden diese Meldungen mit Informationen des BSH, welches z. T. Proben erhalten und analysiert hat. Anlage 3 im Anhang fasst alle Meldungen kurz zusammen und weist für einen vollständigen Überblick zusätzlich auch die im Kap. 2.1 dokumentierten KSU mit aus.

Die eingegangenen Meldungen betreffen neben Paraffin auch industrielle Harze, Schmierfette und Fettalkohole. Im Beobachtungszeitraum 2012-2020/2021 (bis Mitte 2021) wurden kleine bis mittlere Anspülungen und KSU mit insgesamt bis zu drei Ereignissen im Jahr verzeichnet (Abb. 1).

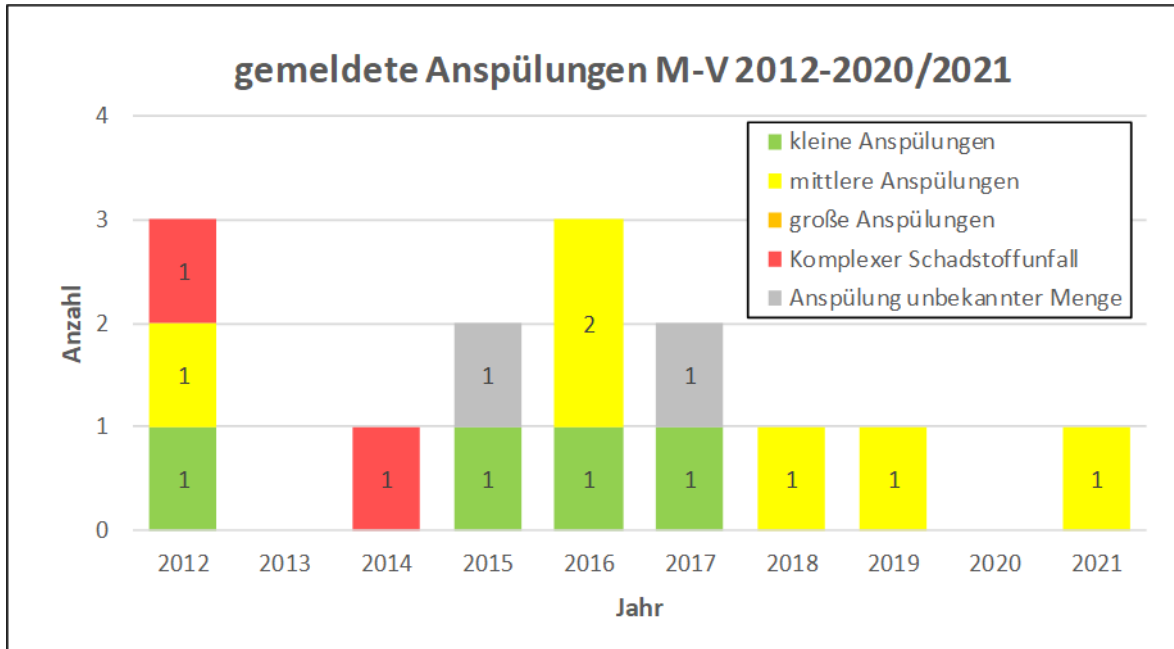


Abb. 1: Gemeldete lokale Anspülungen an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns 2012-2020/2021 (Mitte 2021).

Diese Anspülungen betreffen Küstenabschnitte von Warnemünde bis Usedom (Abb. 2). Mit jeweils fünf bzw. sechs Ereignissen im Zeitraum 2012-2020/2021 konzentrieren sich die Meldungen räumlich auf die Halbinsel Fischland-Darß-Zingst und die Insel Rügen. Für die Küste von Warnemünde bis zur schleswig-holsteinischen Grenze liegen aus den letzten 10 Jahren keine Ereignismeldungen bzw. Fehlanzeigen vor.

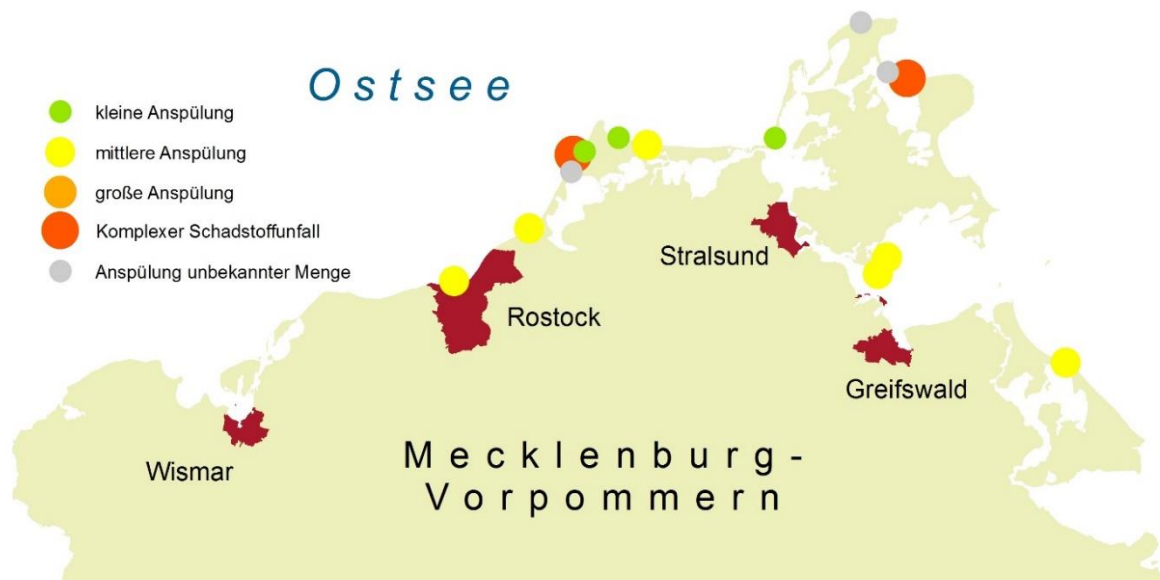


Abb. 2: Meldungen lokaler Anspülungen an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns 2012-2020/2021 (Mitte 2021).

2.2.3.3 Einschätzung der Ergebnisse

Der in Mecklenburg-Vorpommern erstmals genutzte Meldeweg hat zunächst nur zu einem sehr überschaubaren Rücklauf geführt. Für eine dauerhafte Etablierung eines funktionierenden Meldeweges muss zukünftig auch mittel- und langfristig ein Aufwand für z.B. Erinnerungen, Abfragen, Information und Kontaktpflege eingeplant und betrieben werden.

Die in den Rückmeldungen sehr heterogenen quantitativen Angaben (Stückzahlen, Massen, Volumina in l oder m³, Streckenlängen) erschweren Betrachtungen zum Umfang bzw. der Intensität der Anspülungen. Die quantitative Beschreibung wird aber auch in Zukunft kaum zu vereinheitlichen sein, da die Anspülungen sehr unterschiedlich geartet sein können (Einzelfund bis Massen kleiner Partikel, punktuelle Ansammlung bis weiträumige Verteilung) und im Ereignisfall wechselndes Personal kurzfristig handeln muss. Das hier entwickelte Klassifizierungssystem scheint ausreichend robust für diese Anforderungen und Rahmenbedingungen.

Die Verschiedenartigkeit der gefundenen Substanzen lassen unterschiedliche Eintragsquellen und Umweltgefährdungspotentiale vermuten. Dies muss u. U. bei der Bewertung hinsichtlich MSRL und insbesondere der Änderungen zu Tankwaschungen der IMO (MEPC.315/74) berücksichtigt werden.

Insgesamt wird der beschriebene Ansatz als sinnvoll erachtet. Der damit verbundene auch längerfristig zusätzliche Aufwand erscheint lohnenswert.

2.2.4 Ergebnisse Schleswig-Holstein

2.2.4.1 Meldewege

In Schleswig-Holstein konnte das im Rahmen von PimoPa erarbeitete Erfassungsprotokoll nicht an die zuständigen lokalen Akteure übersendet werden und die ursprünglich angedachten Meldewege hier somit nicht getestet werden. Stattdessen hat Schleswig-Holstein ein im Rahmen eines FuE-Projekts entwickeltes Formular verwendet, um Informationen über das Vorkommen von Paraffin an der Westküste zu sammeln. Ein System aus behördlichen Rangern und Nichtregierungsorganisationen, welche die offizielle Aufgabe der Betreuung im Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer wahrnehmen, wurde zur Erfassung der Daten eingesetzt. Ein solches Betreuungssystem gibt es an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins nicht, so dass von dort keine Daten vorliegen.

Die Zuordnung der Fundorte der Anspülung erfolgt zum einen über Gebietscodes mit hinterlegten Koordinaten, die für die Überwachung von Vögeln entwickelt wurden, sowie eine Beschreibung des tatsächlichen Fundorts.

2.2.4.2 Übersicht der Meldungen

Insgesamt sind im Zeitraum zwischen dem 3.8.2018 und dem 26.11.2021 183 Meldungen von der Nordseeküste Schleswig-Holsteins eingegangen. Diese betreffen neben Paraffin auch Fettalkohole, Ethylenoligomere und Pflanzenfett. Über chemische Analysen am BSH wurden insgesamt 323

einzelne Brocken aus insgesamt 122 Proben (1 Probe kann 1 bis mehrere Brocken aus einer Anspülung enthalten) analysiert, davon konnten 40 Proben den Meldungen von Anspülungen zugeordnet werden. Für 82 weitere chemisch analysierte Proben war eine solche Zuordnung jedoch nicht möglich. Diese wurden in der weiteren Analyse der Anzahl der Anspülungen nicht berücksichtigt.

Wie auch in den anderen Bundesländern wurden zeitlich und räumlich zusammenhängende Meldungen zu einzelnen Anspülungen zusammengefasst (zur Methodik s. Kap. 2.2.2). Eine Übersicht der berücksichtigten Anspülungen, ihres zeitlichen und räumlichen Auftretens, der chemischen Analysen sowie der zugeordneten Intensitäts-Klassen ist im Anhang als Anlage 4 gegeben.

Im Beobachtungszeitraum 2016-2021 sind insgesamt 103 Anspülungen verzeichnet worden. Die Daten zeigen über die Jahre eine stetige Verunreinigung der Küste von Schleswig-Holstein durch vor allem kleine, aber auch viele mittlere Anspülungen. Zusätzlich traten im Jahr 2016 auch eine große und im Jahr 2018 drei große Anspülungen auf (Abb. 3). Insbesondere in 2021 ist eine deutliche Zunahme der kleinen Anspülungen augenscheinlich (43 von insgesamt 52 Anspülungen). Ob dies tatsächlich mit einem starken Anstieg von Anspülungen oder eher mit einer Intensivierung der Meldungen zusammenhängt ist nicht klar.

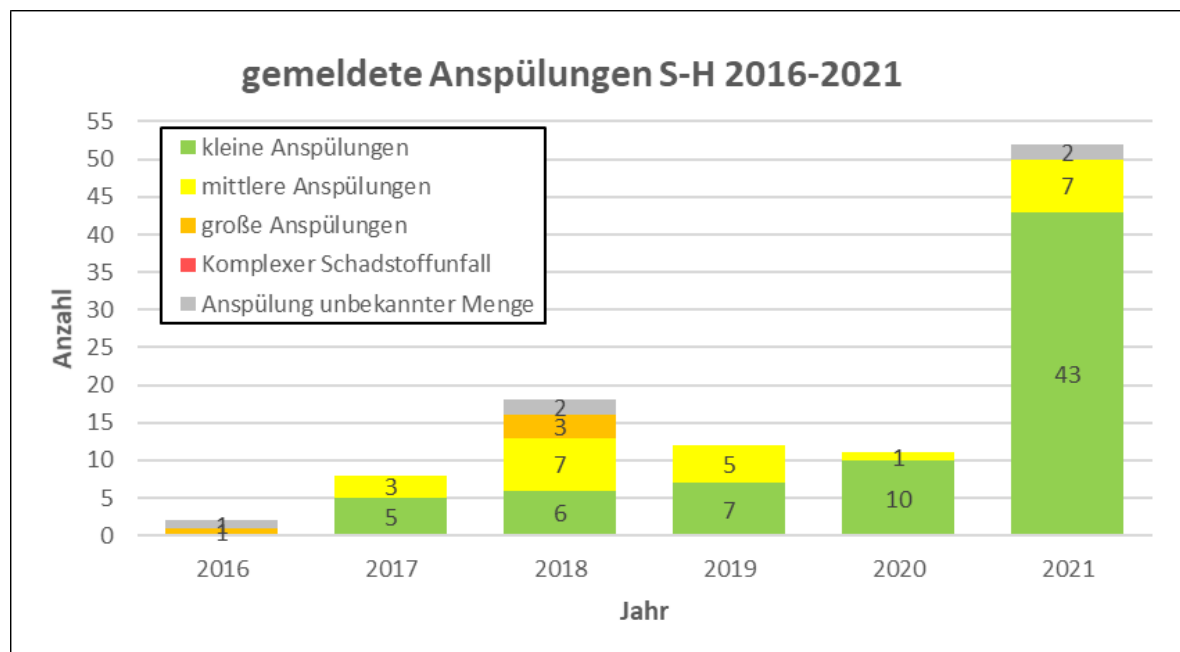


Abb. 3: Gemeldete lokale Anspülungen an der Nordseeküste von Schleswig-Holstein von 2016-2021.

Von den Anspülungen ist die ganze Nordseeküste von Schleswig-Holstein betroffen (Abb. 4). Eine Häufung bzw. ein Hot-Spot von Anspülungen lässt sich nicht eindeutig abgrenzen.

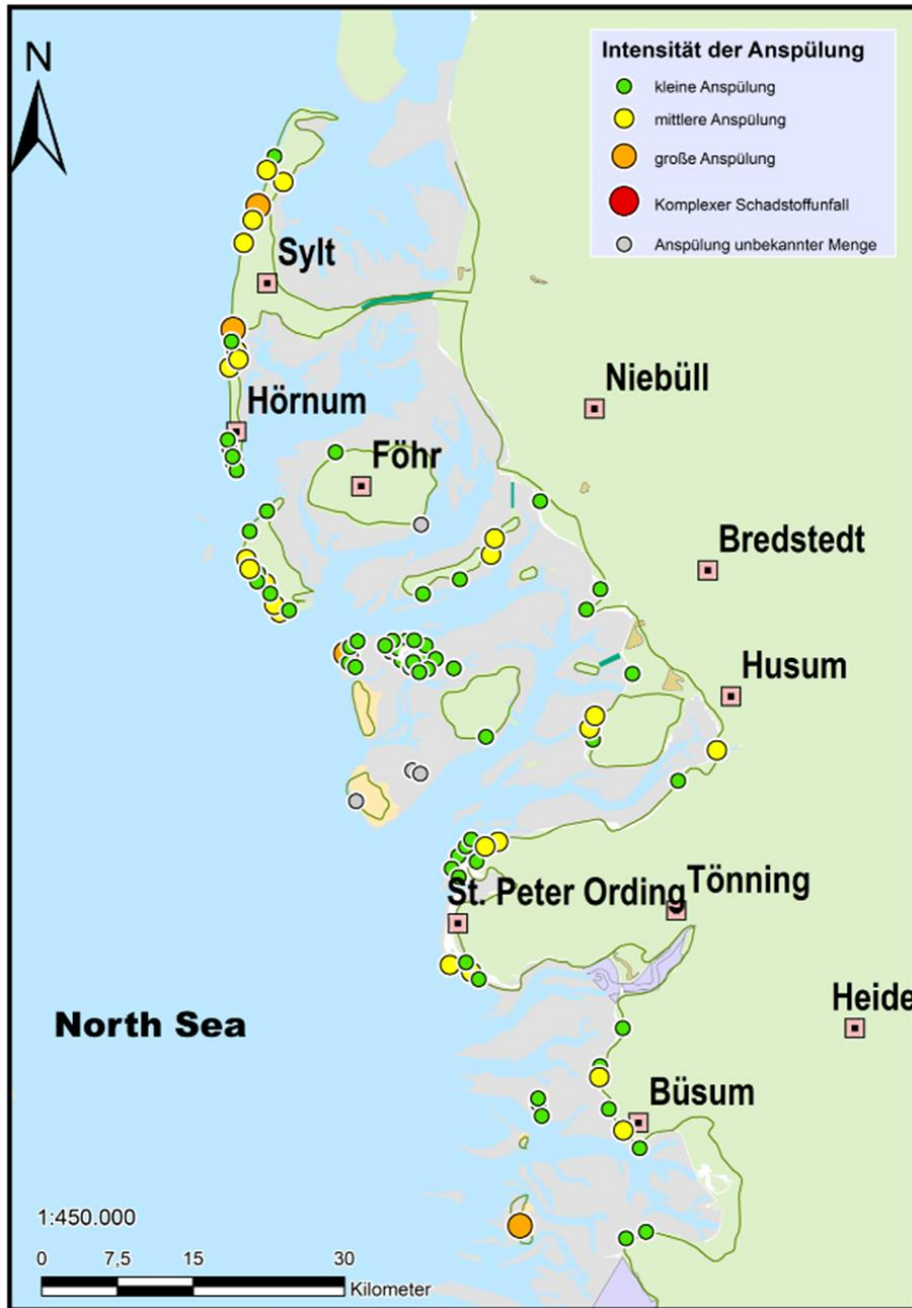


Abb. 4: Räumliche Verteilung der Meldungen lokaler Anspülungen an der Nordseeküste Schleswig-Holsteins 2016-2021.

Für 28 Anspülungen aus dem Jahr 2021, die am BSH analysiert wurden, wird im Folgenden ihre chemische Zusammensetzung dargestellt (Abb. 5). Allein die Hälfte dieser Anspülungen setzt sich ausschließlich aus Fettalkoholen zusammen, weitere rund 21% ausschließlich aus Paraffin. Diese beiden Substanzen bestimmen das Bild deutlich. Lediglich etwa 7% der Anspülungen bestanden ausschließlich aus Ethylenoligomeren und rund 4% aus Pflanzenfett. Die übrigen vier Anspülungen umfassten mehr als eine Substanz. Eines der nachgewiesenen Gemische (Paraffin und Fettalkohol), wurde in rund 7% der Anspülungen gefunden. Die nachgewiesenen drei anderen Gemische machten jeweils knapp 4% der Anspülungen aus und setzten sich aus a) Fettalkohol und Ethyleno-

ligomer, b) Paraffin und Ethylenoligomer sowie c) Paraffin, Fettalkohol und Ethylenoligomer zusammen.

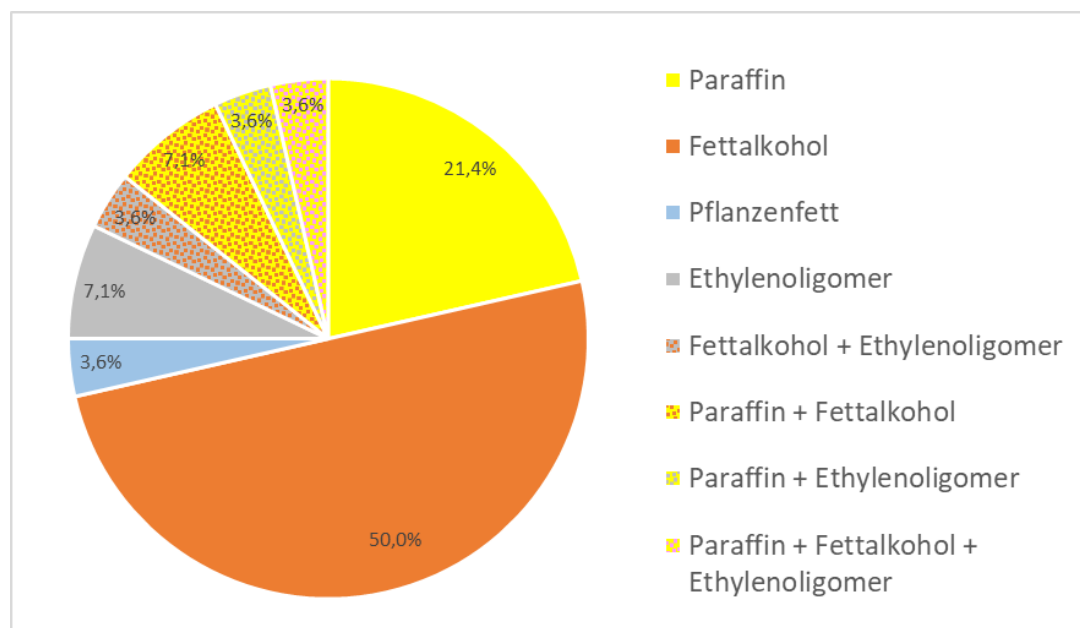


Abb. 5: Übersicht der chemischen Zusammensetzung von 28 Anspülungen an der Nordseeküste von Schleswig-Holstein im Jahr 2021.

2.2.4.3 Einschätzung der Ergebnisse

Grundsätzlich läuft die Erfassung der Daten seit vielen Jahren und kann als etabliert gelten. Ähnlich wie in den anderen Bundesländern gilt auch hier, dass die Ergebnisse nicht immer standardisiert erhoben werden bzw. die erhobenen Größen nicht immer einheitlich sind. Es wird empfohlen zukünftig die Qualitätssicherung der Daten bei der Eingabe zu optimieren.

Auffällig ist die große Heterogenität der Erfassungstrecken und -frequenzen. So wurden z. B. auf Hallig Hooge viele einzelne Deichübergänge und Strandabschnitte getrennt erhoben, wobei die betroffenen Küstenlängen oftmals nur 1 bis 10 Meter lang waren und z.T. auch Einzelfunde betrafen. Insbesondere die Einzelfunde führen auch zu einer hohen Meldefrequenz. Dieses Vorgehen sollte eventuell zukünftig überdacht und mit den anderen Erfassungstrecken harmonisiert werden.

Weiterhin wird empfohlen den Austausch zwischen den Datenerhebungen zu den Anspülungen und den chemischen Analysen zukünftig optimaler zu koordinieren, damit die chemischen Daten im Nachgang auch wieder konkreten Meldungen zu Anspülungen zugeordnet werden können.

Grundsätzlich wird der erfolgte Rücklauf der Protokolle aber als sehr positiv bewertet. Der Ansatz ermöglicht einen guten Überblick über das Auftreten von Anspülungen und gestattet eine pragmatische, aber noch ausreichend differenzierte Unterscheidung der Intensität von Anspülungen. Das Vorgehen an der Nordseeküste von Schleswig-Holstein wird daher mit Anpassungen für eine Fortführung empfohlen.

2.2.5 Ergebnisse Niedersachsen

Die im Rahmen von PimoPa in Niedersachsen verwendeten Meldewege zu lokalen Anspülungen berücksichtigen die räumlichen Zuständigkeiten. Diese hängen an der Küste von Niedersachsen unmittelbar mit der Abgrenzung von Land zum Meer, bzw. dem Küstengewässer zusammen. Die Küstenlinie verläuft entlang des mittleren Tidehochwassers (MThw) (NWG §1 Abs. 3; WHG §3 Nr. 2). Im Küstengewässer, d.h. unterhalb MThw, ist das Land Niedersachsen zuständig (ZustVO §1, Nr. 13), d.h. auch für Erfassungen und Bekämpfung von Verschmutzungen. Dies gilt auch für Bereiche der Unterläufe von Ems, Weser und Elbe. Das Land Niedersachsen wird in diesen Bereichen vertreten durch den Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Naturschutz und hier den Geschäftsbereich I der drei Betriebsstellen Norden, Brake-Oldenburg und Stade. Die Betriebsstellen stehen in engem Austausch mit dem Havariekommando. Oberhalb von MThw sind wiederum die Gemeinden bzw. Landkreise und kreisfreien Städte zuständig, d.h. auch für die Erfassung, Räumung und Entsorgung anfallender Verschmutzungen. Im Falle von Anspülungen sehr großer Intensität (komplexe Schadstoffunfälle), übernimmt das Havariekommando (wie in den anderen Bundesländern auch) die Leitung des Gesamteinsatzes.

Neben diesen Akteuren ist auch die Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer (NLPV) vielerorts vor Ort vertreten durch ihre Ranger und die im Auftrag der NLPV tätigen Mitarbeiter von Umweltverbänden.

2.2.5.1 Meldewege

Für einen Überblick zu lokalen Anspülungen in Niedersachsen wurde zum einen auf eine bestehende Zusammenstellung für die Jahre 2007-2018 zurückgegriffen (Niedersächsischer Landtag, Drucksache 18/2470).

Zum anderen wurde für den Zeitraum 2018 bis April 2021 im Rahmen von PimoPa eine rückwirkende Abfrage bei den relevanten Akteuren (NLPV, Landkreise, NLWKN) durchgeführt. Für den Zeitraum von April 2021 bis Dezember 2021 wurde diese ergänzt über eine Abfrage von Hinweisen zu aktuellen Anspülungen bei den Landkreisen, kreisfreien Städte und Gemeinden, der NLPV und dem NLWKN (s. Kap. 2.2.4.1).

Für diese Abfragen wurde das Projekt PimoPa durch das Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (MU) unterstützt. Am 27.04.2021 wurden vom MU alle küstennahen Landkreise und kreisfreien Städte sowie die Nationalparkverwaltung und der NLWKN-GB1 (Schadstoffunfallbekämpfung) mit der Bitte um Unterstützung bei der Erfassung der lokalen Anspülungen im Rahmen von PimoPa angeschrieben, insbesondere zu folgenden Aspekten:

- Weiterleitung der Nachricht an die jeweiligen Gemeinden der Landkreise
- Nennung eines Ansprechpartners auf Ebene der Gemeinden vor Ort, bzw. in einen Verteiler aufzunehmenden Ansprechpartner
- Für eine Aktualisierung der Kenntnisse über lokale Paraffinanspülungen eine rückwirkende Meldung seit Anfang des Jahres 2019 bis Mitte 2021

- Im Falle einer Anspülung von Paraffin Befüllung des mit den PimoPa-Partnern abgestimmten Erfassungsprotokolls und Übersendung an den niedersächsischen PimoPa-Projektpartner des NLWKN-GB3.4.

Im Nachgang erfolgte durch den niedersächsischen PimoPa-Projektpartner am Ende jedes Quartals (bis Ende 2021) eine Quartalsabfrage an den Verteiler der von den Landkreisen und Gemeinden gemeldeten Ansprechpartner.

2.2.5.2 Übersicht der Meldungen

Zeitraum 2007-2018 (Datengrundlage Drucksache 18/ 2470)

Ein Überblick über lokale Anspülungen im Zeitraum 2007-2018 wird in einer Kleinen Anfrage der Grünen zu Anspülungen von Paraffin gegeben (Niedersächsischer Landtag, Drucksache 18/2470, „Angeschwemmtes Paraffin in Cuxhaven: Was tut die Landesregierung?“). Die Angaben wurden entsprechend der in Kap. 2.2.2 dargestellten Methode einer Klasse der Anspülungsintensität zugeordnet. Bei einigen Angaben wurden in der Drucksache zusammenfassende Mengen angegeben. In diesem Fall wurde als Annäherung die angegebene Menge zu gleichen Anteilen auf alle angegebenen Orte verteilt. Angaben wie „verschiedene ostfriesische Inseln“ wurden in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt, da diese Ortsangabe keine nähere räumliche Zuordnung erlaubt. Die Angaben sind im Anhang als Anlage 5 dargestellt.

Laut Drucksache 18/2470 sind im Zeitraum 2007-2017 pro Jahr zwischen 0-6 Meldungen zu Anspülungen eingegangen. Die eingegangenen Meldungen betrafen neben Paraffin auch klumpige Wachsrückstände und Palmöl. Das Jahr 2016 ist aufgrund eines komplexen Schadstoffunfalls an der Küste von Borkum hervorzuheben. In 2018 trat im betrachteten Zeitraum mit 19 Anspülungen die höchste Anzahl auf. Ob dies darauf zurückzuführen ist, dass die Drucksache Ende 2018 zusammengestellt wurde und Anspülungen den Landkreisen zu diesem Zeitpunkt noch sehr präsent waren, lässt sich nicht abschließend einschätzen (Abb. 6).

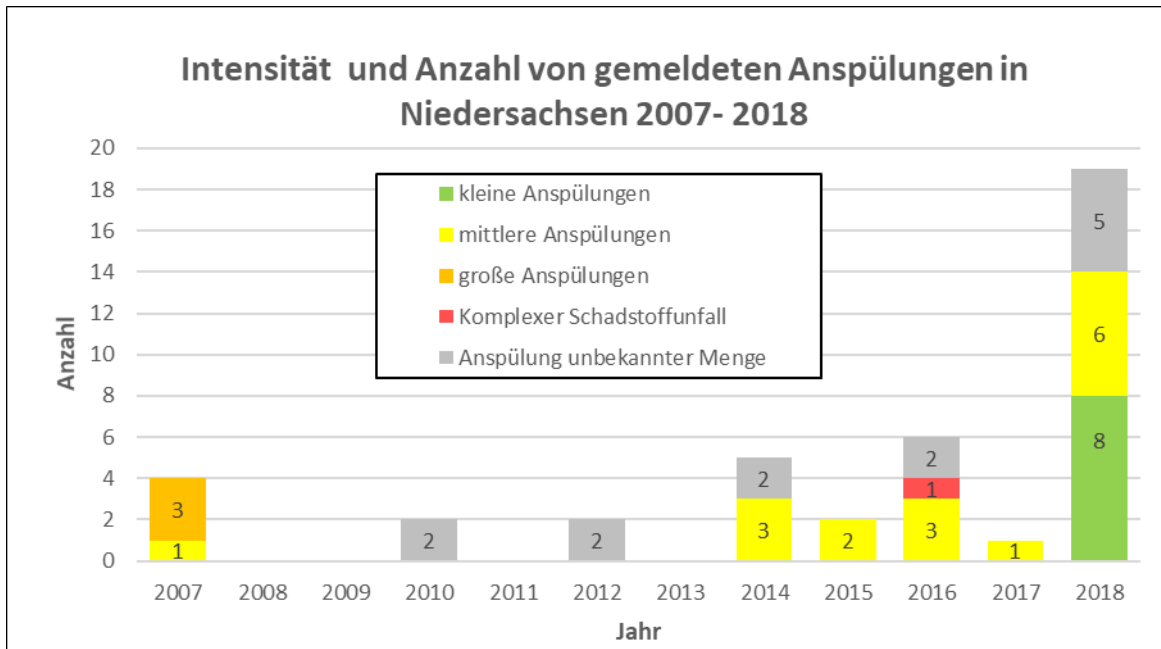


Abb. 6: Anzahl gemeldeter lokaler Anspülungen an der Küste Niedersachsens von 2007 bis 2018 (in Anlehnung an Drucksache 18/2470). Die Einstufung der Intensität der Anspülungen erfolgte auf dem eigenen Klassifizierungssystem.

Die räumliche Verteilung der Anspülungen an der niedersächsischen Küste von 2007-2018 ist in Abb. 7 dargestellt. Es wird deutlich, dass in diesem Zeitraum die ganze Küste von Anspülungen betroffen war, insbesondere an den Inselstränden waren diese Ereignisse zu verzeichnen. Im Bereich vor Borkum sind zwischen 2007-2018 die meisten Meldungen zu Anspülungen eingegangen. Sie umfassten sowohl eine Reihe von kleinen Anspülungen, als auch mittlere und große Anspülungen bis hin zum bereits erwähnten KSU in 2018.

Zeitraum Januar 2019 – April 2021 (rückwirkende Abfrage im Rahmen von PimoPa)

Auf die Anfrage des niedersächsischen Umweltministeriums für Umwelt, Bauen, Energie und Klimaschutz an die niedersächsischen Kommunen, den NLWKN-GB1 und die NLPV zu Erkenntnissen zu Anspülungen im Zeitraum Januar 2019 bis Mai 2021 haben sechs Landkreise und kreisfreie Städte geantwortet (Stadt Cuxhaven, Stadt Emden, Stadt Wilhelmshaven, Stadt Geestland, Landkreis Wesermarsch, Landkreis Stade). Es wurden für diesen Zeitraum keine, bzw. aus Sicht der beteiligten Institutionen keine nennenswerten Anspülungen von Paraffin in Gebieten ihres Zuständigkeitsbereichs gemeldet.

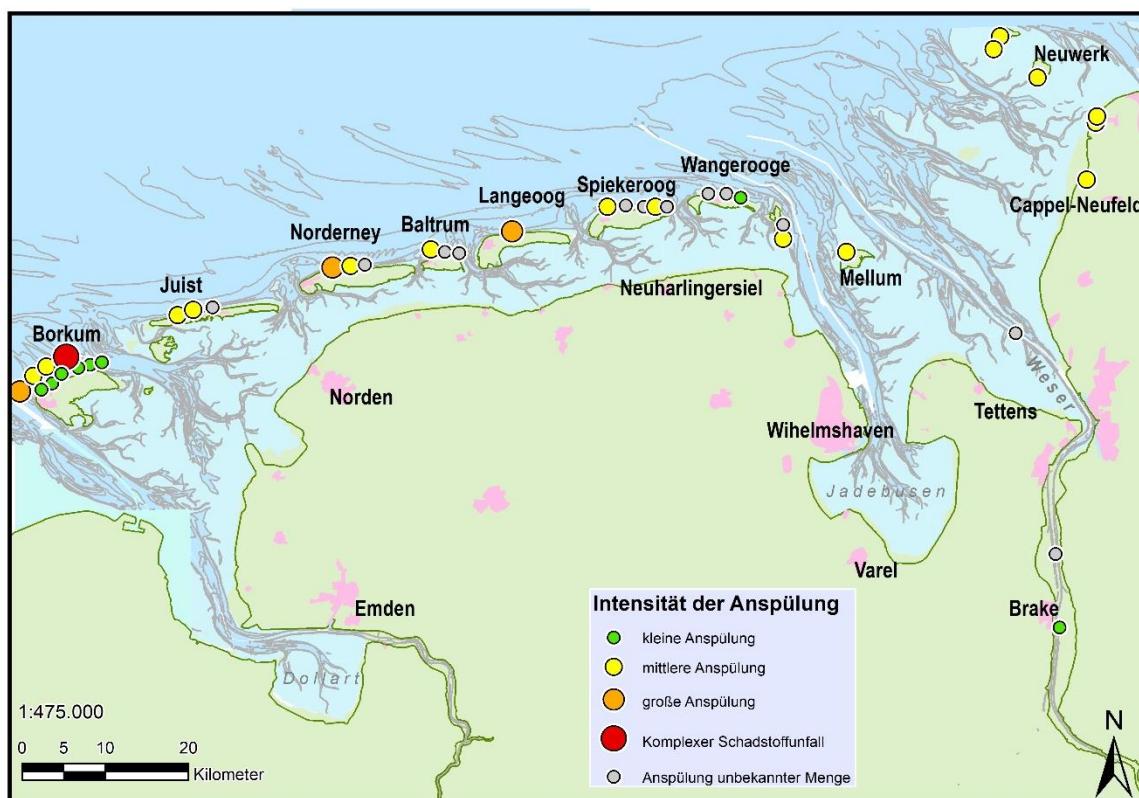


Abb. 7: Meldungen lokaler Anspülungen an der Küste Niedersachsens in 2007-2018 (in Anlehnung an Drucksache 18/2470).

Zusätzlich gab die Gemeinde Budjadingen an, dass für kleine bis mittlere Anspülungen keine digitale Registrierung erfolgt, so dass rückwirkend keine Angaben getätigt werden können. Den Autoren des vorliegenden Berichts ist unklar, inwieweit andere Landkreise, kreisfreie Städte oder Gemeinden hierzu eine systematische Registrierung vornehmen. Es wird vermutet, dass dies in der Regel nicht der Fall sein dürfte, da dafür keine Veranlassung besteht. Eine Ausnahme könnten Anspülungen sein, die zu Kosten geführt haben, z.B. für die Reinigung der Strände. Diese Einschätzung wird unterstützt durch die nachfolgenden Ergebnisse zu Meldungen im Rahmen von PimoPa in 2021, bei denen kleine Anspülungen eher häufig anzutreffen waren.

Zeitraum Mai – Dezember 2021 (Protokollmeldungen im Rahmen von PimoPa)

Im Zeitraum vom 27.04. bis 31.12.2021 sind in Niedersachsen im Rahmen von PimoPa 50 Meldungen zu lokalen Anspülungen von Paraffin erfasst worden. Davon sind 47 Meldungen über die PimoPa-Erfassungsprotokolle eingegangen (siehe Tab. 2). Drei weitere Informationen zu Anspülungen resultieren aus dem Abgleich mit den beim BSH eingegangenen Proben. Diese hohe Anzahl an Rückmeldungen spiegelt nicht nur die Paraffinproblematik an der Nordseeküste wieder, sondern auch das hohe Engagement aller Beteiligten.

Darüber hinaus wurden über die Quartalsabfrage von PimoPa auch Fehlanzeigen abgefragt, um die Aussagekraft der insgesamt eingegangenen Meldungen zu schärfen (fehlende Meldung vs. tatsächlich keine Anspülungen) und um die Beteiligung am Meldeweg zu optimieren. Insgesamt zehn Institutionen haben auf die Quartalsabfragen hin Fehlanzeigen in ihrem Zuständigkeitsbereich

gemeldet (Stadt Cuxhaven, Stadt Emden, Stadt Geestland, Stadt Wilhelmshaven, Budjadingen, Landkreis Wesermarsch, Landkreis Stade, Gemeinde Loxstedt, Gemeinde Wurster Nordseeküste, NLWKN Betr. Stade und Betr. Brake).

Tab. 3: Überblick der im Rahmen von PimoPa eingegangenen Meldungen zu Anspülungen in Niedersachsen, bzw. Fehlanzeigen nach Institution (April – Dezember 2021)

Institution	Anzahl Meldungen zu Anspülungen (N)	Anzahl Rückmeldungen mit Fehlanzeigen (N)
Gemeinden/ Landkreise/ kreisfreie Städte	3	14
Nationalparkranger /NGO's i.A. der NLPV	35	-
NLWKN - GBI	9	-
BSH (zusätzliche Rückmeldung zu eingegangenen Anspülungen über chemische Analysen)	3	Entfällt
Summe	50	14

Die eingegangenen Meldungen betreffen neben Paraffin auch Fettalkohole, Pflanzenfett, Ethylenoligomere und andere bekannte Substanzen sowie andere unbekannte Substanzen. Auf die Zusammensetzung der Funde wird am Ende des vorliegenden Kapitels eingegangen. In der folgenden Auswertung zu den Meldungen der Anspülungen in Niedersachsen wird zunächst nicht differenziert nach der chemischen Zusammensetzung. Für Details zur chemischen Zusammensetzung der einzelnen Meldungen wird auf Anlage 6 im Anhang verwiesen.

Die Intensität aller Meldungen wurde in einem ersten Schritt entsprechend der in Kap. 2.2.2 dargestellten Methode unterschiedlichen Klassen zugeordnet. Anschließend erfolgte eine Zusammenfassung von Meldungen mit gleichem Datum und Ort sowie identischer Intensität zu entsprechenden Anspülungen. So wurden beispielsweise auf Mellum fünf am 20./21.08.2021 am Nord- und Südoststrand getrennt aufgenommene kleine Anspülungen zusammengefasst, die alle aus Fettalkoholen bestanden. Als davon getrennte Anspülung wurde die kleine Anspülung am 23.08.2021 am Südstrand von Mellum erachtet, da sie in diesem Zeitraum die einzige Anspülung auf Mellum von „gelben Brocken“ war, die sich in der chemischen Analyse später als Paraffin herausstellte. Ebenfalls als gesonderte Anspülung wurden die am 21.08.2021 und 25.08.2021 an verschiedenen Stränden auf Mellum gesammelten Proben erachtet, welche alle als schwarz, alt und als verwitterte Ölbrocken beschrieben wurden und sich in der chemischen Analyse später auch alle als sehr alter, verwitterter Schiffstreibstoff (Heavy Fuel Oil, HFO) herausstellten. Wiesen Meldungen eine unterschiedliche Intensität auf, wurde jeweils diejenige Meldung verwendet, welche auf aussagekräftigeren Daten beruhte. Dieses trat lediglich in zwei Fällen auf (28.04.2021 und 23.06.2021 auf Norderney). In beiden Fällen resultierte dies jeweils in der Berücksichtigung der Meldungen mit höheren Intensitäten (mittlere Anspülung). Insgesamt wurden so 32 Datensätze (= 32 Anspülungen) für die weitere Auswertung erarbeitet. Einen Überblick der eingegangenen Meldungen, ihre Zusammenlegung und Klassifizierung ist in der Anlage 5 im Anhang gegeben.

Die Auswertung der letztlich 32 berücksichtigten Anspülungen ermöglicht einen guten Überblick über das zeitliche und räumliche Auftreten von Anspülungen in Niedersachsen. Eine Übersicht der gemeldeten Anspülungen pro Monat zeigt, dass mit Ausnahme von November und Dezember in allen Monaten Anspülungen in Niedersachsen zu verzeichnen waren. Insbesondere „kleine Anspülungen“ waren von April bis Oktober durchgehend vorhanden. „Mittlere Anspülungen“ wurden insbesondere im April und in etwas geringerem Ausmaß auch im Juni gemeldet (Abb. 8).

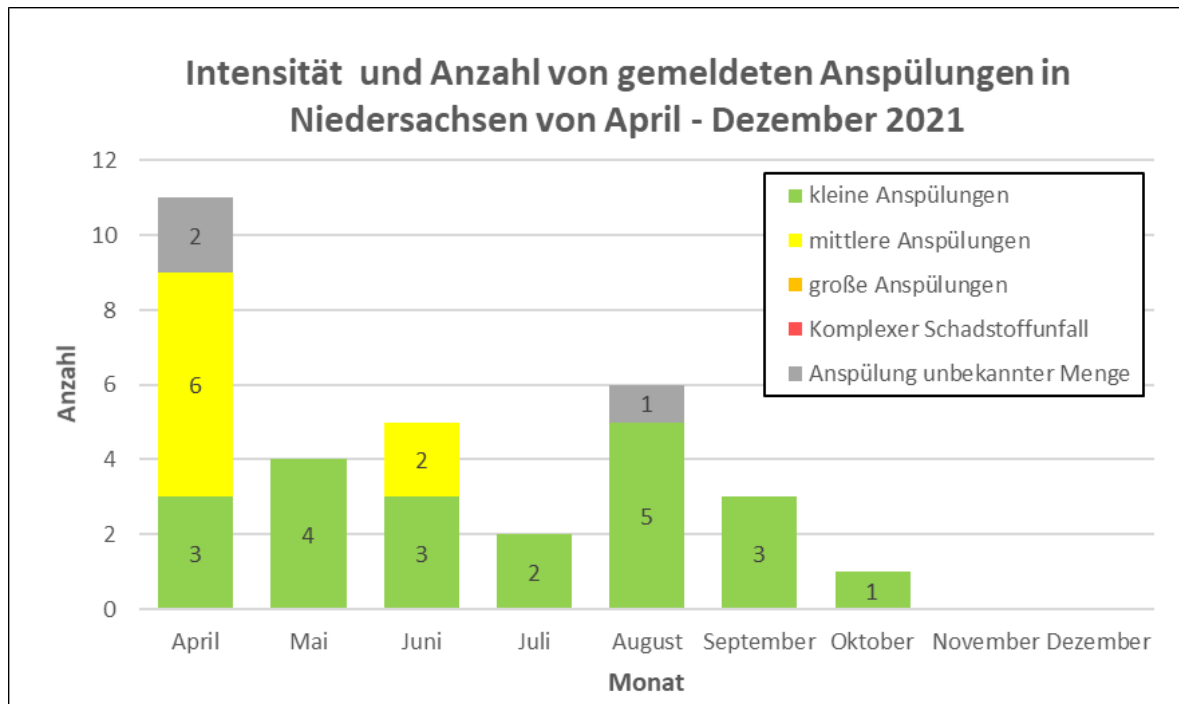


Abb. 8: Anzahl der pro Monat im Rahmen von PimoPa gemeldeten (zusammengefassten) Anspülungen und ihre Intensität

Die Daten spiegeln die Gesamtsituation in Niedersachsen zu Anspülungen von Paraffin sehr gut wider. Insbesondere die ganz überwiegend durchgehend vorhandenen kleinen Anspülungen belegen die stetige Verunreinigung der niedersächsischen Küste mit Paraffinen. Die kleinen und mittleren Anspülungen im April gehen alle auf ein großräumigeres Ereignis am 28.04.2021 und den darauffolgenden Tagen zurück. Alle Inselstrände entlang der Küste waren betroffen, und die Anspülungen erreichten in abgeschwächter Form auch die Küste in Budjadingen. Ein zweites umfassenderes Ereignis (2 mittlere und mindestens 2 kleine Anspülungen) wurde ab dem 23.06.2021 festgestellt. Dieses schien aber ganz überwiegend auf die westlich gelegenen ostfriesischen Inseln beschränkt zu sein. Die Lage der von April bis Dezember 2021 im Rahmen von PimoPa gemeldeten Anspülungen entlang der gesamten niedersächsischen Küste ist in Abb. 9 dargelegt.

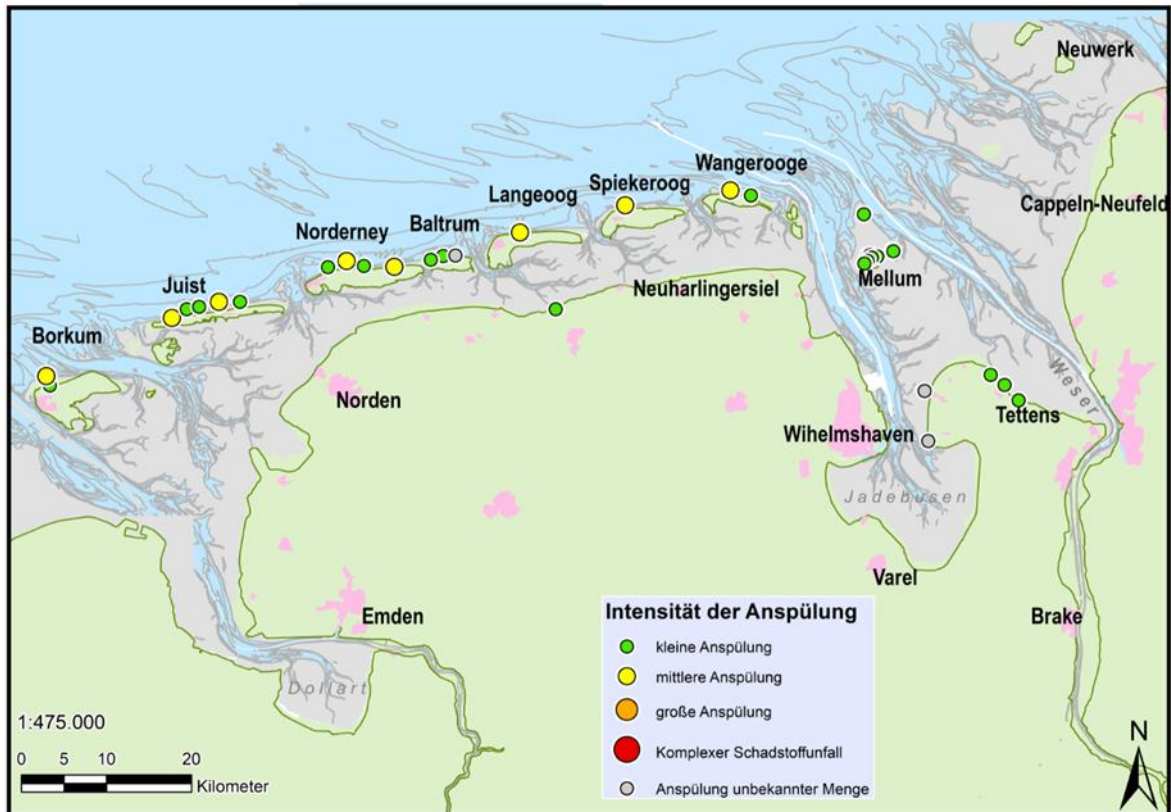


Abb. 9: Lage gemeldeter lokaler Anspülungen an der Küste Niedersachsens April – Dezember 2021

Die chemische Analyse der Zusammensetzung wurde für Meldungen vorgenommen, für die von den lokalen Akteuren Funde an das BSH übersendet wurden. Insgesamt wurden 21 gemeldete Anspülungen chemisch untersucht. Für eine Anspülung wurden dabei teilweise auch mehrere Brocken eingeschickt, insbesondere wenn die Fundstücke optische Unterschiede bei der Farbe und Konsistenz aufwiesen. Insgesamt wurden 53 einzelne Brocken untersucht.

Die chemisch untersuchten Anspülungen setzten sich zu knapp zwei Drittel (62%) aus Fettalkohol sowie knapp 20% aus Paraffin zusammen (Abb. 10). Zwei der Anspülungen (entspricht rund 10%) bestanden aus Hydrofluorolefinen. Diese Organofluorverbindungen sind als Kältemittel von Interesse (Quelle: wikipedia). In zwei Anspülungen wurden verschiedene Stoffe gefunden: in einer (5%) wurde eine Mischung aus Paraffin, Ethylenoligomer, Fettalkohol und Pflanzenfett nachgewiesen, in einer anderen fand sich eine Mischung aus Paraffin, Ethylenoligomer, Fettalkohol und Pflanzenfett mit einer weiteren unbekanntem Substanz. Die Anspülung im April setzten sich fast gänzlich aus Fettalkoholen zusammen. Eine Übersicht der chemischen Ergebnisse pro Funddatum und -ort ist in der Anlage 6 im Anhang gegeben.

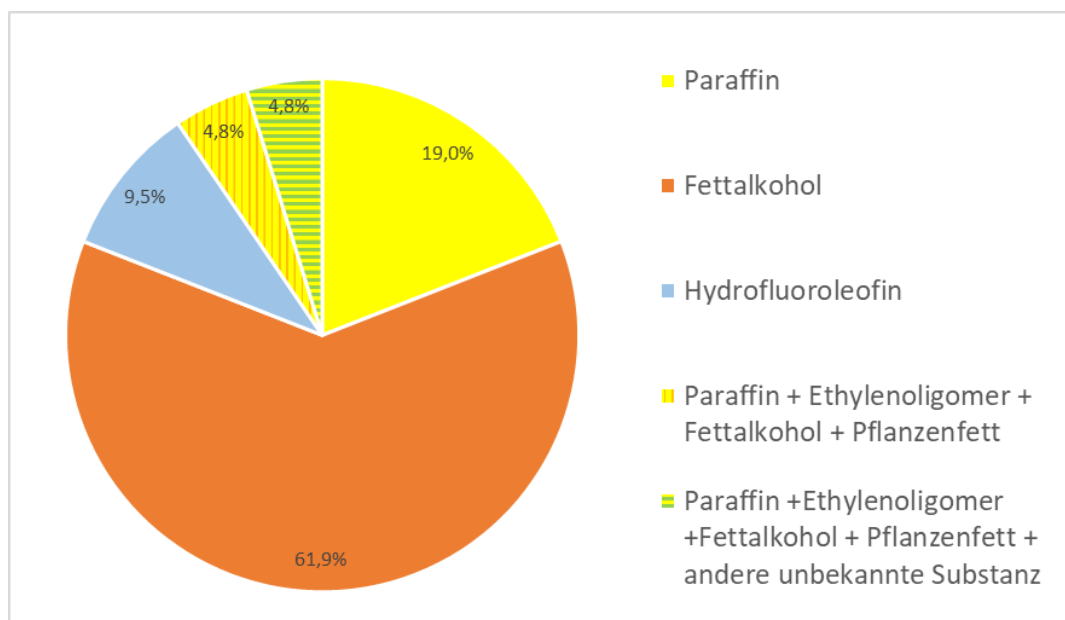


Abb. 10: Übersicht der chemischen Zusammensetzung von 21 gemeldeten Anspülungen an der Küste von Niedersachsen von April 2021 – Dezember 2021

Die beiden erwähnten Anspülungen mit einer heterogenen chemischen Zusammensetzung werden im Folgenden näher betrachtet. Am 27.09.2021 wurden auf Mellum am Weststrand 13 Paraffinstücke unterschiedlicher Form und Farbe gesammelt. Über die Hälfte (54%) bestanden aus Paraffin, je 15% aus Fettalkoholen und Ethylenoligomeren, gefolgt von Pflanzenfett und einer unbekannt Substanz (je 8%) (Abb. 11a). Auf Baltrum wurde am 27.08.2021 eine Anzahl von 12 Brocken gesammelt und chemisch analysiert. Eine rein optische Beschreibung der Funde liegt hier nicht vor. 41% der Brocken bestanden aus Fettalkoholen, gefolgt von Ethylenoligomeren (25%) sowie Paraffin und Pflanzenfett (je 17%) (Abb. 11b). Es sei darauf hingewiesen, dass die relativen Anteile in unmittelbaren Zusammenhang mit der Anzahl der untersuchten Brocken stehen. Zerfällt ein größerer Brocken in mehrere Einzelteile und werden diese dann getrennt ausgewertet, beeinflusst dies unmittelbar das Ergebnis.

Diese Ergebnisse verdeutlichen die Bedeutung von chemischen Analysen zur Bestimmung der angetroffenen Substanzen, damit ihre Umweltauswirkungen besser eingeschätzt und sie fachgerecht entsorgt werden können. Offen bleibt die Frage, ob die Heterogenität der chemischen Zusammensetzung einzelner Anspülungen tatsächlich die Heterogenität der Substanzen dieser spezifischen Anspülung wiedergibt. Alternativ könnten die Ergebnisse auch darauf hindeuten, dass im Meer und am Strand eine Mischung verschieden alter Brocken angespült wird, die aus unterschiedlichen Quellen stammt. Erst durch bestimmte Wind und Strömungsverhältnisse werden sie ggf. zeitgleich am gleichen Ort angespült, so dass sie vor Ort als eine einzige Anspülung wahrgenommen werden.

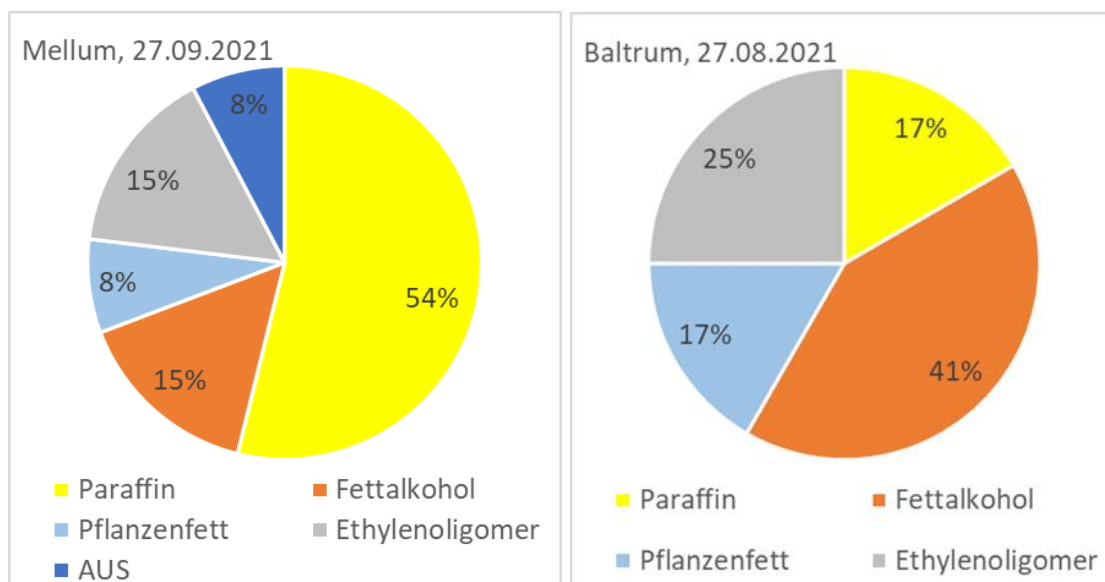


Abb. 11: Vielfältigkeit der Zusammensetzung von Anspülungen am Beispiel von jeweils einer Anspülung a) auf Mellum am 27.09.2021 am Weststrand und b) auf Baltrum am 27.08.2021

2.2.5.3 Einschätzung der Ergebnisse

Die Unterstützung des niedersächsischen Umweltministeriums bei der Verbreitung der Protokolle in Niedersachsen hat sicherlich zu der positiven Resonanz zu dem Projekt beigetragen. Die Beteiligung und der erfolgte Rücklauf der Protokolle durch Landkreise, kreisfreie Städte, Gemeinden, die Nationalparkranger, NGO's und den NLWKN GBI war sehr gut und spiegelt das Engagement für den Meeresschutz wider.

Der Ansatz ermöglicht einen guten Überblick über das Auftreten von Anspülungen und ermöglicht auch eine ausreichend differenzierte Unterscheidung der Intensität der Anspülungen.

Die Rückmeldungen zu Anspülungen über die Jahre 2007 bis 2018, sowie 2018 bis März 2021 im Vergleich zu den Anspülungen im Jahr 2021 (ab März) zeigen sehr deutlich, dass die gemeldeten Daten im Zusammenhang mit der Intensität der Anspülung stehen: bei den rückwirkenden Abfragen wurden so gut wie keine kleinen Anspülungen gemeldet, stattdessen aber mittlere, große und ein KSU. Die gezielt im Rahmen von PimoPa fortlaufend erhobenen aktuellen Daten erfassen neben größeren Anspülungen darüber hinaus vergleichsweise deutlich mehr kleine Anspülungen. Diese kontinuierliche Verschmutzung der gesamten Küste Niedersachsens wird über die PimoPa-Protokolle also gut erfasst, nicht aber über rückwirkende Abfragen bei den Gemeinden oder die Schadstoffbekämpfung. Letzteres wird in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Auftrag der Institutionen gesehen, der auf bekämpfungsfähige Verschmutzung fokussiert und nicht auf Einzelfunde bzw. geringe Mengen.

Im Folgenden werden Vor- und Nachteile des Ansatzes des im Rahmen von PimoPa getesteten Meldeweges diskutiert. Ziel ist es die Qualität der Daten einzuschätzen sowie Kosten (Aufwand) und Nutzen (belastbare Einschätzung der Umweltsituation in Niedersachsen) abzuwägen. Weiterhin

wird diskutiert, ob die dauerhafte Etablierung dieses Meldewegs als sinnvoll erachtet wird und Optimierungsvorschläge erörtert.

Quantifizierung der Daten

Wie auch in den anderen Küstenbundesländern hat sich die Erfassung von quantifizierten Daten mit einer einheitlichen Messeinheit (z.B. N/m²) als schwierig herausgestellt. Obwohl die Protokolle eine standardisierte Erfassungseinheit vorgaben, hat sich diese Einheit in der Praxis nicht überall durchgesetzt. Die gemeldeten Mengenangaben umfassten sowohl subjektive Einschätzungen (z. B. „sehr geringe Mengen“, „extrem hohe Anzahlen“), als auch quantitative Zahlen mit verschiedenen Einheiten wie z.B. Liter/Strandabschnitt, Anzahl/m², Anzahl/m Transekt oder Gesamtanzahl/km Strandabschnitt, bzw. Gesamtanzahl/m. Trotz dieses breiten Spektrums der Messeinheiten ermöglichten die Daten in Kombination mit den oftmals frei formulierten Bemerkungen zu Größe und Mengen der Anspülungen eine pragmatische, aber ausreichend gute Einstufung nach der im Rahmen von PimoPa entwickelten Klassifizierung (klein, mittel, groß) mit den sicherlich vorhandenen Unsicherheiten und Einschränkungen. Für eine zukünftige Ausgestaltung der Meldungen wird trotzdem eine Optimierung der Vergleichbarkeit der Angaben empfohlen. In Niedersachsen scheint für die Quantifizierung die Erfassung bzw. Abschätzung der angespülten Mengen über eine Abschätzung des Volumens (Liter), bezogen auf 100 m Strandabschnitt (von der Wasserkante bis zum Dünenfuss) am geeignetsten. Diese einfache „Eimermethode“ erlaubt Vergleiche unabhängig von der Größe der angespülten Klumpen und wird bereits von einer der involvierten Institutionen in Teilen angewendet (NLWKN-GB1). Bei letzterer müssten die Erfassung lediglich um eine Angabe der Länge des abgesammelten Strandabschnitts ergänzt werden. Bei Einzelfunden, sehr kleinen Bröckchen oder sonstigen kleinen Anspülungen, die aus diversen Gründen nicht in Eimern abgesammelt werden können, wird vorgeschlagen die Menge zu schätzen. Zusätzlich wäre eine Angabe der Größe der Brocken und eine Beschreibung der Anspülung wünschenswert (möglicherweise auch über eine Fotodokumentation).

Zukünftig zu beteiligende Institutionen

Die Rückmeldungen haben gezeigt, dass durch die Beteiligten Anspülungen unterschiedlichster Intensität gut erfasst werden. Der NLWKN GB1 erfasst entsprechend seiner Zuständigkeit vor allem Mengen, die als „bekämpfungsfähig“ eingestuft werden, d.h. der Fokus liegt auf größeren Mengen und größeren Klumpen. Kleine Tropfen, auch wenn in sehr hoher Anzahl vorhanden, werden in der Regel eher weniger erfasst. Die Nationalparkranger und NGO's erfassen hingegen auch Anspülungen von Einzelfunden oder sehr kleinen Partikeln (ggf. aber in hohen Anzahlen). Somit ergänzen diese beiden Institutionen sich sehr gut bei der Erfassung von unterschiedlich ausgeprägten Anspülungen.

Die räumliche und zeitliche Abdeckung ist über die Kombination von NLWKN GB1 und Nationalparkranger bzw. NGO's ebenfalls sehr gut. Der NLWKN-GB1 ist durch seine Mitarbeiter vor Ort auf allen ostfriesischen Inseln so gut wie ganzjährig präsent und es liegt in seiner Zuständigkeit Anspülungen ab einer gewissen Menge unterhalb MThw zu erfassen. Die Nationalparkranger erfassen den Strandbereich vollständig (auch oberhalb MThw), sind ebenfalls auf allen ostfriesischen Inseln und zusätzlich entlang der Küste auf dem Festland vertreten, jedoch aufgrund ihrer vielfältigen Aufgaben nicht immer und ganzjährig vor Ort. Auch hier ergänzen sich diese beiden

Institutionen sehr gut bei der räumlichen und zeitlichen Abdeckung der Erfassung des Auftretens von Anspülungen.

Die Beteiligung und das Interesse von Gemeinden, Landkreisen und Städten an den Meldungen im Rahmen von PimoPa war sehr unterschiedlich. Aufgrund dieser Heterogenität scheint dieser Pfad insgesamt für eine langfristige Etablierung eher ungeeignet.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass über den Pfad der Meldungen zu lokalen Anspülungen ein sehr guter Überblick über die Situation in Niedersachsen geschaffen werden kann. Die Daten belegen für 2021 und auch die Jahre davor, dass es eine stetige Verschmutzung mit Paraffinen an der Küste Niedersachsens gibt, mit vereinzelt intensiveren Anspülungen. Die gesamte Küste, insbesondere die Inseln, sind betroffen. Sollte dieser Meldeweg langfristig etabliert werden, kann aus den über PimoPa gesammelten praktischen Erfahrungen für Niedersachsen festgehalten werden, dass sich eine Kombination von Meldungen über den NLWKN-GB1 und die Nationalparkranger bzw. NGO's gut für eine langfristige Erfassung zu eignen scheint. Sowohl die verschiedenen Intensitäten als auch räumliche und zeitliche Aspekte würden dadurch gut abgedeckt. Verbesserungsbedarf besteht im Hinblick auf die quantitative Vergleichbarkeit der Daten. Die zuständige Stelle für die Koordination, regelmäßige Datenabfrage und –eingabe sowie Qualitätssicherung inkl. Rückfragen langfristig zu klären. Sollte der Meldeweg langfristig etabliert werden, sind hier entsprechende personelle Kapazitäten zu schaffen.

2.2.6 Gesamteinschätzung zu lokalen Anspülungen

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Daten zu den lokalen Anspülungen in allen drei Bundesländern einen guten Überblick zu den Anspülungen von Paraffin an den Küsten ermöglichen, auch wenn sich die Meldewege in den einzelnen Bundesländern etwas unterschiedlich darstellen. Das pragmatische und relativ einfach anzuwendende im Rahmen von PimoPa entwickelte Klassifizierungssystem erlaubt dennoch Vergleiche der Intensität der Anspülungen zwischen den Bundesländern. Es lassen sich nicht nur größere Ereignisse erfassen, sondern auch die stetige Verschmutzung der Küste, wie z.B. in Niedersachsen und Schleswig-Holstein, nachvollziehen. Die Ergebnisse zeigen, dass in Mecklenburg-Vorpommern Anspülungen nur selten auftreten. Wenn sie jedoch auftreten, dann handelt es sich eher um mittlere bis große oder sogar KSU's. Anders verhält es sich an der Nordseeküste. Hier wurden sowohl in Schleswig-Holstein als auch Niedersachsen stetige Anspülungen entlang der gesamten Küstenlinie verzeichnet, mit Schwerpunkten jeweils an den Inselstränden. Hotspots lassen sich nicht eindeutig ausmachen. Die Intensität der Anspülungen in Schleswig-Holstein ist tendenziell etwas höher als in Niedersachsen. Eine mögliche Erklärung wäre, dass Tankwaschungen nach Auslaufen aus der Elbe außerhalb der 12 sm Zone durchgeführt werden und die Substanzen dann mit Wind und Strömung v.a. in Richtung der schleswig-holsteinischen Küste verdriften.

Im Detail stellen sich die Erfahrungen aus dem Testlauf über PimoPa in den einzelnen Bundesländern etwas unterschiedlich dar und auch die Meldewege sind nicht identisch:

- Für Mecklenburg-Vorpommern bedeuten die zunächst überschaubaren Rückläufe nicht, dass nur ein unvollständiger Überblick zu den lokalen Anspülungen entstanden ist. Bei einem Abgleich der Rückläufe mit den am BSH entsprechend ausgewerteten „Maritimen

Ereignismeldungen Deutsche Küste" (Kap. 2.2.7) zeigen sich sehr gute Übereinstimmungen. Beide Datenquellen zusammen ergeben offenbar ein recht vollständiges Bild. Mit der Kombination des gewählten Meldewege und den Informationen aus den „Maritimen Ereignismeldungen Deutsche Küste" erscheint langfristig eine gute Übersicht über Präsenz, Art, Frequenz und Raum lokaler Anspülungen möglich. Es wird erwartet, dass sich damit räumliche und zeitliche Häufungen und Entwicklungen sowie Quellen erkennen lassen.

- Die Meldungen in Schleswig-Holstein geben einen guten Überblick über das zeitliche und räumliche Auftreten von Anspülungen, auch im Hinblick auf ihre jeweilige Intensität. Die Meldewege über die beteiligten Institutionen sind bereits etabliert. Diese bestehenden Meldewege werden als ausreichend eingestuft, um die Anspülungen pragmatisch zu beschreiben. Optimierungsbedarf besteht bei der Harmonisierung der Daten sowie der Koordinierung des Abgleichs mit den chemischen Analysen.
- Auch in Niedersachsen geben die Daten einen guten Überblick über das zeitliche und räumliche Auftreten von Anspülungen, auch im Hinblick auf ihre jeweilige Intensität. Die im Rahmen von PimoPa getesteten Meldewege werden als geeignet eingestuft, eine Datengrundlage zur Beschreibung der Umweltbelastung zu schaffen. Sollte eine Etablierung angedacht werden, sollte diese v.a. auf eine Beteiligung des NLWKN-GB1 und der Nationalparkranger bzw. NGO's fokussieren. Optimierungsbedarf besteht v.a. im Hinblick auf die Harmonisierung der Quantifizierung der gemeldeten Daten.
- Die chemische Zusammensetzung von Strandfunden an der deutschen Nordseeküste (SH & NDS) in Fitz und Fleet (2017) über einen Beprobungszeitraum von 4 Jahren zeigte, dass $\sim 3/4$ der Proben aus Paraffin bestanden. Der relativ hohe Anteil an alten Ölrückständen in Fitz & Fleet (2017) wird in PimoPa nicht nachgewiesen, da es sich hierbei damals um eine Besonderheit der Insel Mellum handelte.

Offen bleibt die Frage, ob die Heterogenität der chemischen Zusammensetzung einzelner Anspülungen tatsächlich jeweils Resultat von Einzelereignissen ist (Stammen Brocken unterschiedlicher Substanzen tatsächlich von einer oder eher verschiedenen Einleitungsquellen?). Alternativ könnten die Ergebnisse auch darauf hindeuten, dass sich in der Meeresumwelt eine Mischung verschiedener Brocken sammelt, die aus unterschiedlichen Quellen stammt. Erst durch bestimmte Wind und Strömungsverhältnisse werden sie ggf. zeitgleich am gleichen Ort angespült, so dass sie vor Ort als eine einzige Anspülung wahrgenommen werden. Dies wäre v.a. bei kleineren Anspülungen relevant, da bei umfassenderen Anspülungen die Homogenität der Brocken eher gegeben ist. Hier ist die Wahrscheinlichkeit, dass die ermittelte chemische Zusammensetzung auf rezenten (erst vor kurzem eingetragenen) Brocken und nicht auf alten basiert, aufgrund der Menge deutlich höher und die Ergebnisse sind damit verlässlicher.

Abschließend lässt sich festhalten, dass für Paraffin über die im Rahmen von PimoPa getesteten Meldewege ein guter Überblick zur Umweltsituation an der Küste von Nord- und Ostsee geschaffen werden kann. Die damit einhergehende Koordination und Datenpflege ist jedoch relativ aufwändig, so dass im Falle einer Verstärkung der Meldewege entsprechende personelle Kapazitäten vorzuhalten wären.

2.2.7 Exkurs: „Maritime Ereignismeldungen Deutsche Küste“ zu Paraffinanspülungen

Eine weitere Informationsquelle für das Vorkommen von Paraffinen auf See und an der Küste stellt die „Maritime Ereignismeldungen Deutsche Küste“ da. Hierbei handelt es sich um eine Sammlung an Ereignismeldungen verschiedener Ermittlungsbehörden (Wasserschutzpolizeien, Zollverwaltung, Bundespolizei See etc.), die im 24 Stunden-Turnus gesammelt und verbreitet werden. Diese Meldungen werden zentral von dem GLZ-See (Gemeinsames Lagezentrum See im Maritimen Sicherheitszentrum Cuxhaven) gesammelt und gebündelt. Es handelt sich hierbei generell um nicht pressefreie Informationen.

Durch das Interesse des BSH an Verschmutzungen, die durch Mineralöle und deren Produkte oder durch andere persistente aufschwimmende Stoffe zustande kommen, werden die entsprechenden Ereignismeldungen seit dem Jahr 2014 vom BSH in einer Datenbank gesammelt vorgehalten.

2.2.7.1 Übersicht der Meldungen

Seit dem Jahr 2014 wurden hier 62 Meldungen abgesetzt, die eine Gewässer- oder Strandverunreinigung durch Paraffine betreffen (Anlage 7 im Anhang). Im Projektzeitraum (von Juli 2019 bis August 2021) finden sich 8 Meldungen (Tab. 4).

Tab. 4: Übersicht der Meldungen aus den "Maritimen Ereignismeldungen" 07.2019-08.2021

Datum	Typ	Kommentar	Region	Ort
29.07.2019	Paraffin		Hamburg	Köhlfleethafen
22.09.2019	Palmöl	Verklappungsfahrt	Nordsee AWZ	Verklappungsfahrt
22.09.2020	Palmöl		Hamburg	Süderelbe
29.01.2021	Paraffin		Zingst/Darß Region	Strand des Ostseebades Zingst, Nr. 12
01.03.2021	Palmöl	Methyl-Esther auf Palmölbasis	Nordsee AWZ	
28.04.2021	Paraffin	wachsartige Anlandungen	Ostfriesische Inseln Region	Wattengebiet vor den Inseln Spiekeroog, Langeoog und Borkum
22.06.2021	Paraffinartig	weiße / gelbliche Anlandungen, vermutlich Paraffin	Ostfriesische Inseln Region	Stränden von Wangerooge, Langeoog, Baltrum und Borkum
22.08.2021	Palmöl	Tankwaschfahrt „En Route“	Nordsee AWZ	ca. 185 km westlich Sylt

Zur Erläuterung der Tabelle ist zu ergänzen, dass der „Typ“ eine Vorort-Einschätzung ist und nicht z.B. durch chemische Analysen abgesichert wurde. Es ist schwerlich möglich das Substanzgemisch solcher Verschmutzungen mit dem bloßen Auge zuverlässig zu zuordnen, d.h. eine abgesicherte chemische Identifizierung von Palmfett, Paraffinwachs oder anderen Chemikalien ist hier nicht gegeben. Trotz dieser Unsicherheit wurde es von der Projektgruppe als sinnvoll erachtet, diese existierende Datenquelle hinsichtlich Ihrer Eignung für eine Bewertung der Gesamtsituation zum Vorkommen von Paraffin in der Umwelt zu berücksichtigen und zu prüfen.

2.2.7.2 Einschätzung der Ergebnisse

Es ist anzunehmen, dass es sich bei den Ereignismeldungen stets um größere oder auffällige Mengen handelt und das Vorkommen aus diesem Grund hier aufgenommen wird.

Eine Besonderheit dieser „Maritimen Ereignismeldungen“ ist, dass neben Hinweisen zu Anspülungen an Stränden und zum Vorkommen im Küstengewässer auch die Erfassung von Verschmutzungen aus küstenfernen Bereichen der AWZ erfolgt, i.d.R. durch Patrouillen von Zoll und Bundespolizei. Diese Informationen erweitern den Kenntnisstand zum Vorkommen von Paraffinen. Große, noch zusammenhängende Verschmutzungen in der AWZ werden vermutlich durch Gezeiten und Strömung erst zu den kleinen, dispersen und vereinzelt auftretenden Verschmutzungen an der Küste, die dann weniger offensichtlich sind.

Mit den „Maritimen Ereignismeldungen“ liegt eine verlässliche und in gewisser Weise standardisierte Informationsquelle für das Vorkommen in der AWZ und Küstengewässern vor, die als ein solider Baustein für die Bewertung von Anlandungen mittlerer Intensität und darüber hinaus eingeschätzt wird. Da das Thema Paraffin eine zunehmende Rolle in der Öffentlichkeit, sowie in den europäischen und internationalen Rechtsgrundlagen einnimmt (z.B. MARPOL, MSRL) ist nicht auszuschließen, dass auch die Ermittlungsbehörden für dieses Thema weiter sensibilisiert werden, was zu häufigeren Erfassungen führen könnte. Häufigere Erfassungen könnten sich dann in den Ereignismeldungen widerspiegeln, womit der Informationsgehalt weiter steigen könnte und sich das Bild weiter vervollständigen würde.

Ein Abgleich der Maritimen Ereignismeldungen mit den Meldungen lokaler Anspülungen an der Küste spiegelt wider, dass diese Meldungen nicht immer deckungsgleich sind. So zeigt sie für Mecklenburg-Vorpommern (Kap. 0) eine gute Übereinstimmung. Für 2015-2017 und für 2021 liegen vollständig entsprechende Rückmeldungen aus den Gemeinden zzgl. einzelner Meldungen darüber hinaus vor. Durch den Abgleich der Informationen beider Meldewege können Meldelücken identifiziert und zugleich geschlossen werden. So fehlen für Mecklenburg-Vorpommern in 2018 offenbar noch Rückmeldungen aus den Gemeinden. Diese Information ermöglicht aber nun gezielte Recherchen. Hingegen sind in Niedersachsen seit Beginn der Erfassung der lokalen Anspülungen im Rahmen von PimoPa über Gemeinden, Nationalparkranger und Behörden deutlich mehr Hinweise zu lokalen Anspülungen eingegangen als in den Ereignismeldungen angegeben. So wird z.B. für den Zeitraum um den 28.4.2021 in den Ereignismeldungen eine Betroffenheit von wachartigen Anspülungen des Wattengebietes vor Spiekeroog, Langeoog und Baltrum angegeben, während entsprechend der Meldungen zu lokalen Anspülungen darüber hinaus zusätzlich auch Anspülungen an Stränden auf Borkum, Juist, Norderney, Wangerooge, Minsener Oog und Mellum sowie in Budjadingen gemeldet wurden. Durch die Kombination beider Meldewege entsteht aber insgesamt ein recht umfangreicher und belastbarer Überblick zu relevanten Ereignissen, insbesondere im Hinblick auf räumliche Aspekte von Anspülungen an Stränden.

2.3 Disperse Belastung: Wasseroberfläche

2.3.1 Einleitung und Aufgabe

Seit 2014 wird bei BSH-Monitoringfahrten in der Nord- und Ostsee die Meeresoberfläche auf „sichtbare Verschmutzungen“ untersucht. Dieser Begriff umfasst alle auf der Wasseroberfläche aufschwimmenden Partikel im Größenbereich bis 400 µm. Nach einer mehrjährigen Entwicklungsphase, in der die Probengewinnung methodisch verfeinert und die Aufarbeitung der Funde für die qualitative chemische Analyse vereinheitlicht wurde, wird diese Beprobung gemäß eines standardisierten Ablaufes neben den regulären Monitoringaufgaben, je nach verfügbaren Ressourcen, auf den Monitoringfahrten durchgeführt.

Eine statistische Auswertung gestaltet sich problematisch, da es sich um Stichproben handelt, und nicht um Proben, die zeitlich und räumlich regelmäßig genommen werden können.

Die Probenahme erfolgt mittels eines an einer Fender-Konstruktion befestigten Neuston-Netzes, welches für eine bestimmte Zeit zu Wasser gelassen und vom Schiff geschleppt wird (das Netz so eingesetzt ergibt eine Schleppfahrt (SF)).

Im Projektzeitraum (2020-2021) wurden bei fünf Monitoringfahrten solche Schleppfahrten (SF) durchgeführt (s. Tab. 5) und die dabei gewonnenen Proben nach der hier beschriebenen Methodik aufgearbeitet (Stand September 2021).

Tab. 5: Übersicht zur im Projektzeitraum durchgeführten Anzahl v von Schleppfahrten (SF).

Fahrt	Anzahl SF Total	SF Nordsee	SF Ostsee
CE20017 (08-2020)	26	13	13
AT001 (10-2020)	1	1	0
CE21001 (01-2021)	17	13	4
AT004 (04-2021)	2	2	0
AT006 (07-2021)	57	45	12
Summen	103	74	29

2.3.2 Methodik

2.3.2.1 Methodik Probenahme

Die Beprobung der Meeresoberfläche erfolgt während der regulären Monitoringfahrten des BSH. Die Beprobungsorte befinden sich daher stets auf Transekten zwischen den langjährigen Probenahmestationen des BSH in Nord- und Ostsee.

Da das Schleppsystem auf vergleichsweise ruhige See und wenig Wind angewiesen ist, erfolgen die SF auf den Seereisen nach Machbarkeit. Es ist praktisch nicht möglich, vergleichende Schleppfahrten auf den stets gleichen Transekten durchzuführen, da auch dieser Kurs jede Reise, angepasst an die Wetterlage, anders verläuft. Durch diesen Ansatz sind Proben als Stichproben zu betrachten.

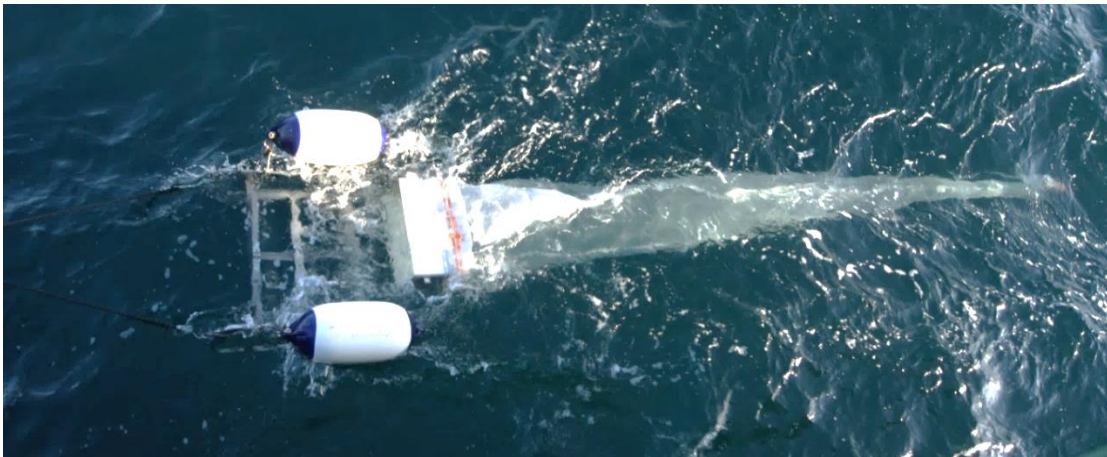


Abb. 12: Ausgebrachtes Schleppnetz an Fender-Konstruktion (©Weinberg, BSH).

Für die Beprobung wird ein BSH-Eigenbau (an Fender-Konstruktion) als Schleppgerät verwendet (Abb. 12 und Abb. 13), der nach dem Prinzip des sog. „Manta Trawl“ mit angehängtem Neuston Netz funktioniert, dessen Einsatz insbesondere im Zusammenhang mit der Probenahme von Plankton, aber auch von Mikroplastik auf der Meeresoberfläche bekannt ist (Gyres.org 2021).



Abb. 13: Beladener Netzbecher mit paraffinartigen Substanzen (©Fitz, BSH).

Ein für Plankton/Neuston konzipiertes Netz (Maschenweite von 405 µm) wird dabei mit Hilfe einer Fender-Konstruktion seitlich neben dem Schiff geschleppt. Die Rahmenbedingungen dabei sind:

- Die Schleppvorrichtung wird so betrieben, dass diese nicht durch die vom Schiff verursachten Verwirbelungen der Meeresoberfläche gezogen wird; es soll die möglichst ungestörte Wasseroberfläche beprobt werden.
- Die Schleppgeschwindigkeit beträgt 3-4 Knoten auf der Wasseroberfläche (nicht über Grund), um die mechanische Belastung auf die Schleppkonstruktion zu begrenzen. Die Schleppgeschwindigkeit wird von der Brücke aus gesteuert.
- Die Dauer einer Schleppfahrt beträgt zwischen 30-60 Minuten, abhängig von der Jahreszeit und dem damit zusammenhängenden Aufkommen von Algen und Quallen.
- Der „Fang“ wird händisch sortiert und von unerwünschtem Beifang (Tang, Quallen etc.) befreit.
- Im Labor werden chemische Analysen der Anteile von Paraffin durchgeführt (IR, GCFID, s. Anlage 8 im Anhang), die bei besonders zahlreichen Funden nur stichprobenartig erfolgt.

2.3.2.2 Methodik Chemische Analyse

Für die Analyse solcher Stoffe und Stoffgemische werden am BSH zwei Analyseverfahren verwendet.

Das erste der eingesetzten Verfahren ist die **FTIR-Spektrometrie**, die eine sehr schnelle Untersuchung von Probenmaterial erlaubt und keine klassische Probenvorbereitung erfordert. Das Messprinzip basiert auf der Anregung der Moleküle durch Infrarotstrahlung über deren gesamten Wellenlängenbereich. Bestimmte Teile eines Moleküls nehmen bei bestimmten Wellenlängen die Strahlungsenergie auf. Diese absorbierte Energie zu bestimmten Wellenlängen lässt sich messen, wodurch eine Art Kennlinie entsteht (Signal-zu-Wellenlänge-Verlauf), die relativ spezifisch für einen Großteil an Substanzen ist. Durch den Aufbau von Datenbanken mit Proben, deren Natur eindeutig geklärt wurde, kann ein Abgleich dieser Kennlinien erfolgen. Auf dieser Grundlage lässt sich die Zugehörigkeit für die meisten Proben zu einer Gruppe (Paraffinwachs, Pflanzenfett, etc.; s. Kap. 2.3.2.3) festlegen. Für diese Analyse kann ein kleiner, etwa linsengroßer Teil der Probe auf das Messfeld des FTIR-Spektrometers gebracht werden, wo dieser durch eine Vorrichtung angepresst wird. Dadurch ist das Verfahren auch für geringe Probenmengen geeignet.

Das zweite eingesetzte Verfahren ist die **Gaschromatographie** (GC), die mit verschiedenen Detektoren ausgestattet werden kann. Bei diesem Verfahren ist eine Probenaufarbeitung notwendig, da Proben nur in gelöster, flüssiger Form analysiert werden können. Das Messprinzip basiert auf der Trennung der Substanzmischungen in deren Hauptkomponenten. Die Parameter der Trennung sind auf das Substanzspektrum von Mineralölen optimiert, basierend auf der BSH-Prüfanweisung **PA_M34100_v1.1**, womit es für die meisten Paraffinwachse gut geeignet ist. Die chromatographisch getrennte Probe wird dann in einem Detektor in Messsignale umgewandelt, es entsteht ein Signal-zu-Zeit-Verlauf, welches als *Chromatogramm* bezeichnet wird. Die Aufarbeitung

der Proben erfolgte mittels der Einwaage eines Äquivalentes des Probenmaterials und der Lösung in einem organischen Lösemittel. Anschließend wurde der Extrakt mittels GC/FID (Gaschromatographie mit Flammenionisationsdetektor) vermessen.

Jede der hier festgelegten Substanzgruppen (s. Kap. 2.3.2.3) erzeugt sehr charakteristische Messsignale (Chromatogramm), anhand welcher man das Material eindeutig zuordnen kann. Der Vorteil gegenüber der FTIR-Analyse ist der, dass es möglich ist noch viel geringere Probenmengen zu vermessen (unterer Milligrammbereich), was bei sehr geringen Probenmengen, z.B. denen der Eissturmvogelmägen notwendig war. Hinzukommt, dass die Ergebnisse noch spezifischer sind und auch verschiedene Paraffinwachse unterschieden werden können, was das „schnellere“ Verfahren der FTIR-Spektrometrie so nicht leisten kann.

Alle Proben aus dem Projekt werden als erstes mittels FTIR-Spektrometrie analysiert. Sollte sich hier keine gute Zuordnung erzeugen lassen, wird versucht, mittels der gaschromatischen Verfahren die Natur eine Probe weitreichender zu klären.

2.3.2.3 Erfasste Parameter

Die Funde in absoluten Mengen anzugeben ist vor dem Hintergrund der stichprobenartigen Erfassung nicht sinnvoll. Stattdessen wird qualitativ beschrieben, ob bestimmte Zielmaterialien und -stoffe auf einer Schleppfahrt gefunden wurden oder nicht. Diese sind wie folgt und analog zu den anderen Kapiteln mit chemischen Ergebnissen eingeteilt:

- Paraffin
- Pflanzenfett
- Ethylen
- Schmierstoffe
- ABS (andere bekannte Substanzen)
- AUS (andere unbekannte Substanzen)

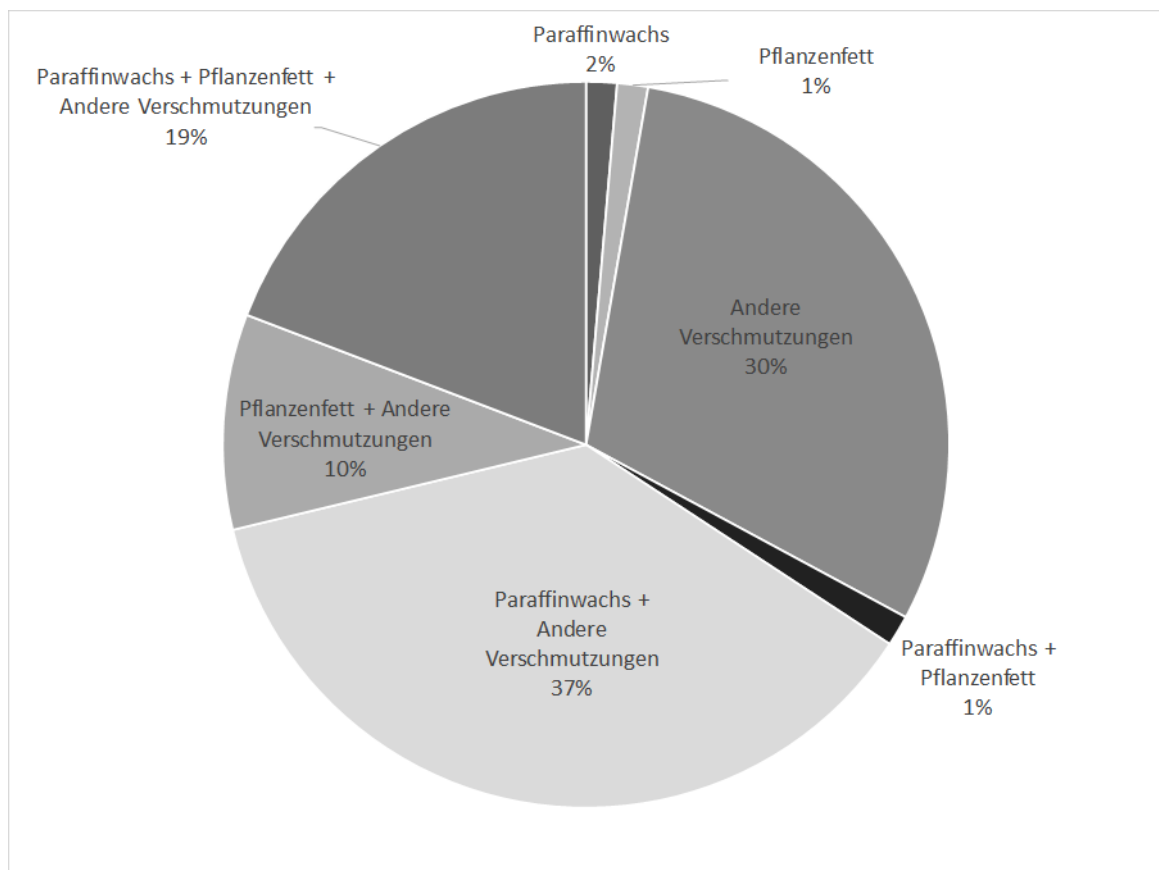
Die Gesamtmenge des bei einer Schleppfahrt gesammelten Probenmaterials wird visuell nach dem Erscheinungsbild in Unterproben unterteilt. Jede augenscheinliche Unterprobe wird dann einzeln analysiert, wobei bei großen Mengen gleichen Materials eine Auswahl untersucht wird. Die Gesamtheit der Unterproben bilden die „Proben pro Schleppfahrt“.

2.3.3 Ergebnisse

Bei den insgesamt 103 im Projektzeitraum durchgeführten Schleppfahrten (SF) wurde bei 30 SF kein paraffinartiges Probenmaterial gefunden, diese werden als Nullfunde bezeichnet. Während der verbleibenden 73 Schleppfahrten wurden 235 paraffinartige Einzelproben gefunden, davon wurde bei 88 Proben Paraffin nachgewiesen und bei 36 Proben Pflanzenfett (Tab. 6 und Abb. 14).

Tab. 6: Übersicht der Schleppfahrten (SF) und Probenfunde

	Total	Nordsee	Ostsee
Anzahl der SF	103	74	29
Anzahl SF mit Proben	73	57	16
Anzahl SF mit Nullfunden	30	17	13
Anteil SF mit Proben [%]	70,9	77,0	55,2
Anteil SF mit Nullfunden [%]	29,1	23,0	44,8
Anzahl Einzelproben aus SF	235	205	30
Paraffinwachs	88	84	4
Pflanzenfett	36	32	4
Ethylen	6	6	0
Schmierstoffe	13	12	1
ABS	19	18	1
AUS	73	53	20

**Abb. 14:** Chemische Zusammensetzung der paraffinartigen Verschmutzungen („Paraffine“) der 103 Schleppfahrten auf Nord- und Ostsee. Es wurden 235 Einzelproben aus 103 SF analysiert. Angegeben ist der relative Anteil der SF, in denen ein bestimmter Verschmutzungstyp oder eine Mischung davon nachgewiesen wurde

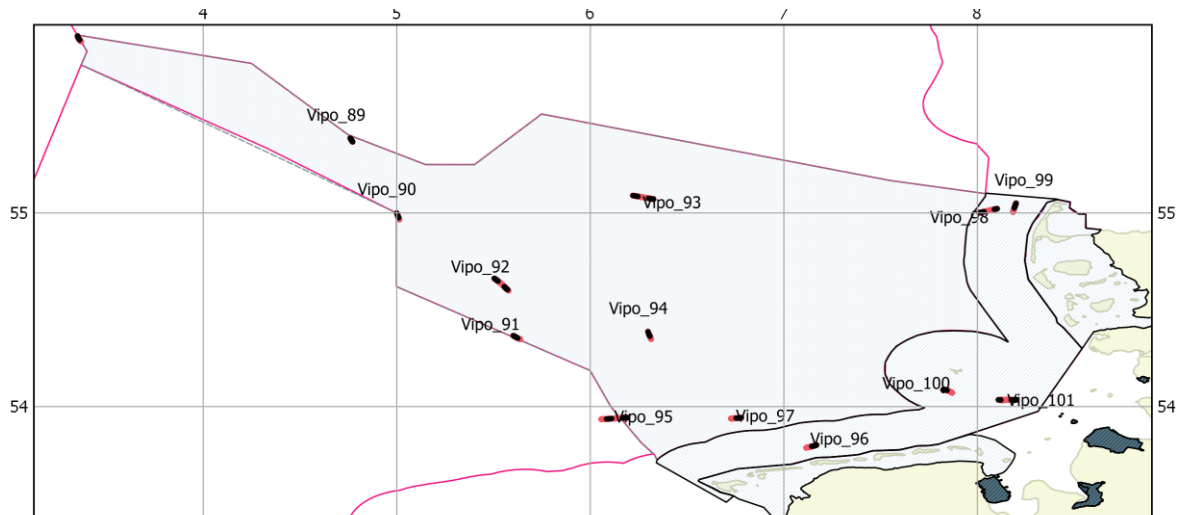


Abb. 15: Lage ausgewählter Schleppfahrten Nordsee

In der Nordsee wird im Rahmen des regulären Monitorings ein sehr umfangreiches Stationsnetz angefahren, was zu einer erhöhten Anzahl von möglichen Schleppfahrten führt. Im Projektzeitraum wurden 75 Schleppfahrten in der Nordsee durchgeführt (zur Lage s. Abb. 15).

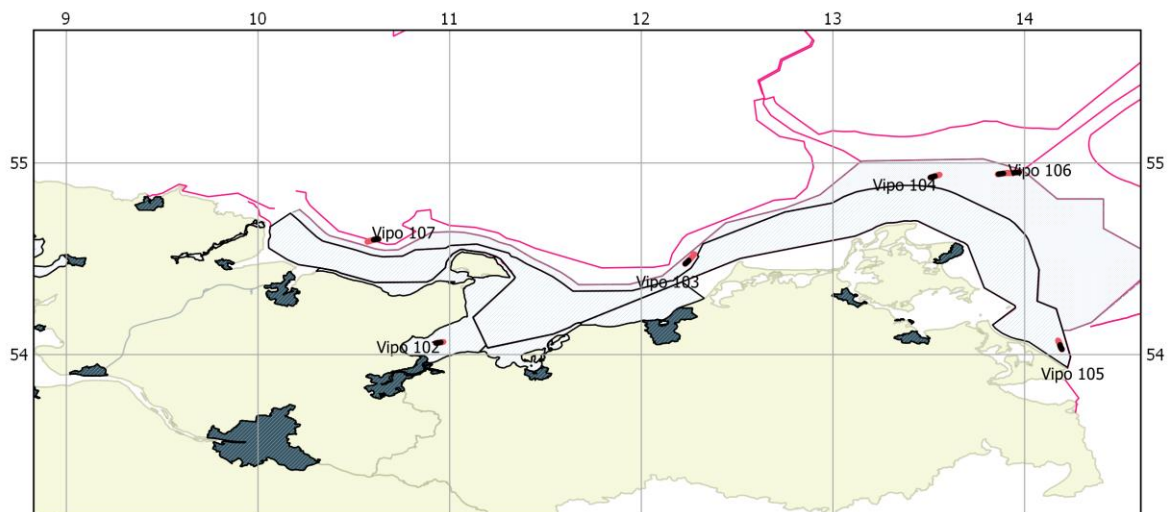


Abb. 16: Lage ausgewählter Schleppfahrten Ostsee

In der Ostsee wurden im Projektzeitraum 29 Schleppfahrten durchgeführt (zur Lage s. Abb. 16).

Die aufgearbeiteten Proben aus den Schleppfahrten stellen auch wiederum Stichproben da. Wie in Abb. 17 zu erkennen ist, könnte man hier aus dem sortierten Fund von SF Vipo_158 rund 60 Einzelobjekte analysieren. Aus pragmatischen Gründen wird hier eine Vereinfachung durchgeführt, die zunächst darin besteht, Probenmaterial nach ihrer Färbung in entsprechende Gruppen zusammen zu fassen. Aus jeder dieser Gruppen werden dann, je nach Umfang, 2 bis 3 Einzelproben zufällig ausgewählt und für die Analyse aufgearbeitet und vermessen. Basierend auf diesem Vorgehen kann das Material einer SF dann in entsprechende Probenarten und Unterarten eingeteilt werden, aus der diese Probe *mindestens* besteht.

In der Gesamtzusammensetzung macht Paraffin 37,5% aller Funde aus, gefolgt von Pflanzenfett (15,3%). Der Anteil von „Anderen Unbekannten Substanzen“ (AUS) kann mit 31,0% als relativ hoch bezeichnet werden; fast ein Drittel des Materials konnte noch nicht weiter identifiziert werden.

Der Anteil der Schleppfahrten, in denen kein paraffinartiges Material gefunden wurde liegt in der Ostsee mit 44,8% deutlich über jenem aus der Nordsee mit 23,0%.

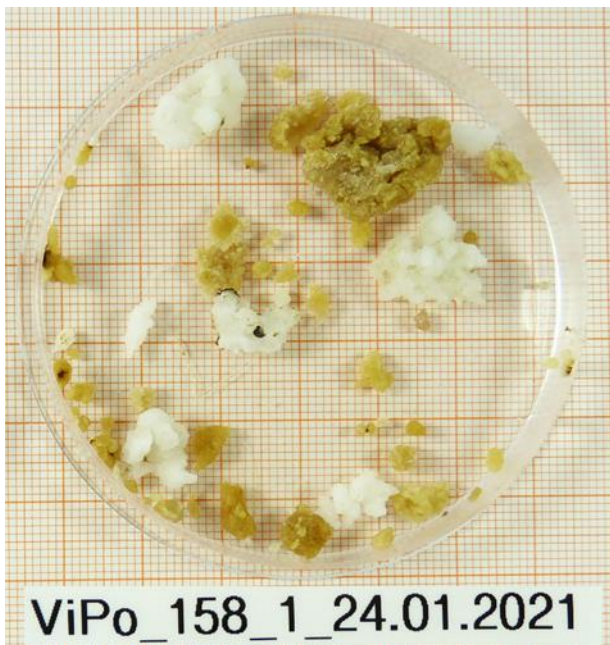


Abb. 17: Sortierte Probe paraffinartigen Materials („Paraffine“) aus SF Vipo_158 (BSH Ölforschung)

2.3.4 Diskussion

Das hier beschriebene Vorgehen zur Erfassung sichtbarer Verschmutzungen durch paraffinartige Materialien auf der Meeresoberfläche ist als eine Art Machbarkeitsstudie zu bewerten. Es konnte gezeigt werden, dass paraffinartige Verschmutzungen auf See erfasst, aufgearbeitet und mittels chemischer Analyse deren Zugehörigkeit (Paraffin, Pflanzenfett, etc.) geklärt werden kann.

Die beschriebene Methode zur Erfassung solcher Verschmutzungen wird vom BSH als ein geeignetes Verfahren eingestuft, um zur chemischen Zusammensetzung von paraffinähnlichen Materialien an der Meeresoberfläche langfristig einen Überblick zu schaffen (Monitoring).

Für eine potenzielle Etablierung des Monitorings ist das Vorgehen zukünftig weiter zu spezifizieren und weiteren Praxistests zu unterziehen.

Besondere Berücksichtigung dabei haben Einflüsse wie die Wetterlage zum Zeitpunkt der Schleppfahrt als auch in den vorangegangenen Tagen. Es wird vermutet, dass eine unruhige See einen Teil der Verschmutzungen so in den Wasserkörper hineinmischen kann, dass diese durch das Netz an

der Oberfläche nicht mehr erfasst werden können. Erst bei einer ruhigeren Wetterperiode „entmischt“ sich dieser Zustand wieder.

Ein weiterer Aspekt ist die Situation der Meeresströmung (Restströmung) in der Nordsee/Deutschen Bucht. Als Gesamtströmungsmuster der Nordsee beschreibt Pohlmann (2006) eine zirkulierende Wasserbewegung mit südlicher Bewegung hinab vor der britischen Küste und nach Norden strömend vor der deutschen Nordseeküste bzw. durch die Deutsche Bucht. Diese vorherrschenden Strömungsrichtungen und weitere Faktoren wie z.B. lokale Topographie und saisonale Fronten begünstigen bei Ostwinden in der zentralen Deutschen Bucht die Entstehung von Wirbeln („German Bight Gyre“), in welchen sich schwimmende Objekte verstärkt sammeln könnten (Thiel et al. 2011). Solche Orte wären möglicherweise für ein Monitoring der dispersen Belastung besonders geeignet. Bei der Ausgestaltung eines Monitorings in der deutschen Nordsee ist zu empfehlen die Meeresströmungen zu berücksichtigen.

Im Zusammenhang mit der oben gestreiften Thematik der Strömung steht der Einleitort, an dem paraffinartige Verschmutzungen in die Nordsee gelangen. Im Falle von legalen und illegalen Tankwaschungen ist davon auszugehen, dass dies vermutlich vorrangig die Hauptverkehrsstrecken der Seeschifffahrt sowie deren angrenzende Seegebiete sind. Bedingt durch den Prozess des Einleitens der Rückstände handelt es sich um die Emission entlang einer Linie und nicht einem Punkt, was sich möglicherweise in unterschiedlichen Ausbreitungsmustern niederschlägt. In Abhängigkeit solcher bekannten Orte, wo sich aufgrund der Strömungsbedingungen sichtbare Verschmutzungen aufkonzentrieren könnten, wäre es eher ein Monitoring der akuten Verschmutzung und nicht einer dispersen Belastung.

In der vorliegenden Untersuchung war in der deutschen Nordsee der prozentuale Anteil der Schleppfahrten ohne Funde deutlich niedriger als in der deutschen Ostsee. Dies deutet darauf hin, dass die Nordsee das belastetere Seegebiet ist. Die chemische Zusammensetzung der Funde ist jedoch in beiden Seegebieten ähnlich. Bis auf Ethylen Oligomere, welche nur in der Nordsee nachgewiesen werden konnten, sind alle ermittelten Substanzgruppen in beiden Seegebieten nachgewiesen worden.

Der relativ hohe Anteil an Proben die noch nicht identifiziert werden konnten (AUS) zeigt, dass hier noch größere Wissenslücken bestehen. Diese Kategorie ist deshalb als ein Sammelbecken jener Substanzen zu verstehen, die nicht klar den anderen Kategorien zugeordnet werden konnten.

Die Ergebnisse der Beprobung der Wasseroberfläche, bei denen in der Nordsee ca. in 1/4 der Schleppfahrten kein Paraffin gefunden wurde, sind ähnlich vergleichbar mit den Funden in Lorentzen et al. (2020) bzw. Fitz & Fleet (2017), in denen ca. 1/3 bzw. 1/4 der Schleppfahrten kein Paraffin enthielt. Auch in der chemischen Zusammensetzung der gefundenen Paraffinproben ähneln sich die Ergebnisse der Studien, in Lorentzen et al. (2020) bestanden etwas über die Hälfte der Proben aus Paraffin sowie aus Pflanzenfetten, den Hauptkomponenten der in dieser Studie untersuchten Proben, in Fitz & Fleet (2017) hatte die chemische Verteilung eine große Bandbreite von 33-71% Paraffin und 7-64% Pflanzenfetten. Die chemische Zusammensetzung der dispersen Belastung der Nordsee im Rahmen von PimoPa zeigte jedoch zusätzlich einen hohen Anteil an Proben mit anderen unbekanntem Substanzen, der in Fitz und Fleet (2017) nur bis zu 4% ausmachte.

2.3.5 Einschätzung der Ergebnisse

Unter Berücksichtigung oben genannter Einschränkungen sowie der zu optimierenden Ausrichtung des Monitorings könnte das hier beschriebene Verfahren zur Beprobung von paraffinähnlichen Substanzen an der Meeresoberfläche für die Ermittlung des Umweltzustands eine geeignete Methode sein. Durch eine Intensivierung und Ausweitung dieser Beprobung wäre eine Datengrundlage zu schaffen, die für die Bewertung im Sinne der MSRL verwendet werden kann.

Darüber hinaus könnte das Verfahren ebenfalls einen Beitrag zu einer Datenerhebung leisten, die weitere Parameter im Deskriptor 10 bedienen kann, wie Meso-Plastik oder Mikroplastik >500µm, die stets auch bei Schleppfahrten erfasst wurden.

2.4 Disperse Belastung: Mageninhalt Eissturmvögel

2.4.1 Einleitung und Aufgabe

Im Rahmen des OSPAR Monitorings von „Plastikmüll in Mägen von Eissturmvögeln“ an deutschen Küsten werden seit 2002 auch Daten über das Verschlucken von möglichen chemischen Stoffen erfasst. Die Häufigkeit der aus den Mägen gewonnenen Chemikalien in Kombination mit der chemischen Zusammensetzung dieser Chemikalien wird im folgenden Kapitel analysiert, um zu prüfen, ob diese Parameter zur Überwachung von Paraffin auf der Wasseroberfläche der Deutschen Bucht verwendet werden können.

2.4.2 Methodik

Sektion der gesammelten Eissturmvögel und Mageninhaltsanalyse

Eine detaillierte Beschreibung der Methoden zur Erfassung von Meeressmüll in Mägen von Eissturmvögeln geben diverse Berichte (u.a. Van Franeker 2004; Guse et al. 2012; OSPAR 2015) und peer-reviewed Artikel (u.a. Van Franeker et al. 2011; Van Franeker & Law 2015). Zusammengefasst werden bei diesem Projekt Totfunde von Eissturmvögeln genutzt, die regelmäßig an deutschen (und anderen europäischen) Küsten angespült werden. Diese Tiere werden während der Sektion erst von außen beurteilt (Biometrie, Mauser, mögliche Verwundungen oder Anzeichen von Verstrickung). Danach wird der Vogel entlang des Brustbeins geöffnet und es werden der Gesundheitszustand, das Geschlecht und das Alter evaluiert. Wenn möglich, wird auch eine Todesursache ermittelt. Der Magen des Vogels wird entnommen und dessen Inhalt wird über ein Sieb mit einer Maschenweite von 1 Millimeter entleert. Reste aus dem Magen werden mit kaltem Wasser gespült, da manche chemischen Stoffe bei höheren Temperaturen flüssig werden und so verloren gehen könnten. Neben Plastikteilen werden die Brocken chemischen Materials gesammelt, vorsichtig sauber gespült, getrocknet und gewogen (mit einer Genauigkeit von 0.0001 Gramm). Die Proben werden in Glasfläschchen (sogenannten Snapcaps) bei -20°C aufbewahrt, um eine spätere chemische Analyse ermöglichen zu können. In manchen Fällen ist der chemische Stoff eine große klebrige Masse und nur teilweise zu sammeln. In diesen Fällen wird die Masse als ein

einzelnes Stück gezählt. Basierend auf dem Gewicht der Teilprobe wird dann das totale Gewicht geschätzt. Danach kann der Magen dann gründlicher (z. B. auch mit warmen Wasser) gespült werden, sodass die genaue Identifizierung aller Plastikstücke garantiert werden kann. Da Paraffin und andere chemische Stoffe oder natürliche Fette optisch nicht zu unterscheiden sind, werden sie unter dem Sammelbegriff „paraffinähnliche Stoffe“ notiert.

Datenaufbereitung

Für die Analyse der Häufigkeit und das durchschnittliche Gewicht wurden alle 818 Eissturmvögel verwendet, die zwischen 2002 und 2019 entlang der deutschen Küste gesammelt und analysiert wurden. Alle gesammelten Daten werden erst in einem MS-Excel™ Datenbestand eingetragen und später in einer relationalen Datenbank gespeichert. Daten werden entsprechend den OSPAR Richtlinien berechnet (OSPAR 2015). Hierbei ist wichtig zu erwähnen, dass der Schwerpunkt der Datenanalyse auf dem Gewicht des gefundenen Materials (Plastik aber auch paraffinähnliche Stoffe) beruht und nicht auf der Anzahl der gefundenen Partikel. Trendanalysen können durch lineare Regressionen ausgeführt werden, hierbei werden die Daten log-transformiert, um Effekte von Extremwerten zu minimieren. Diese Analyse wurde in Gentstat (19. Edition) ausgeführt.

Um möglicherweise signifikante Unterschiede in Proportionen zwischen verschiedenen Gruppen (z.B. % Auftretshäufigkeit) zu ermitteln, wurde der 2-sample z-test genutzt, welcher online frei verfügbar ist (<https://epitools.ausvet.com.au/ztesttwo>) und auch für die Analyse von Plastik in Mägen mariner Organismen empfohlen wird (Provencher et al. 2017; van Franeker et al. 2021). Bei allen Tests wird $p=0,05$ als Grenzwert definiert, um eine Signifikanz anzuzeigen.

Chemische Zusammensetzung

Die Proben wurden bei der Sektion der toten Eissturmvögel gewonnen (s.o.). Dem BSH wurden paraffinähnliche Stoffe aus den Mägen von insgesamt 110 Eissturmvögeln aus den Jahren von 1993 bis 2018 übergeben (somit wurden für die chemischen Analysen Mageninhalte von ausgewählten Tieren aus einem etwas längeren Zeitraum (1993-2018) berücksichtigt als für die Betrachtung der Mengen (2002-2019)). Für die chemischen Analysen wurden alle Fundstücke aus dem Magen eines Tieres in visuell ähnliche Gruppen sortiert (Abb. 18). Jede Gruppe wurde einmal beprobt. Auf diese Weise wurden 127 einzelne Proben analysiert. Für die Beschreibung der Methodik der chemischen Analyse wird auf Kap. 2.3.2 verwiesen.

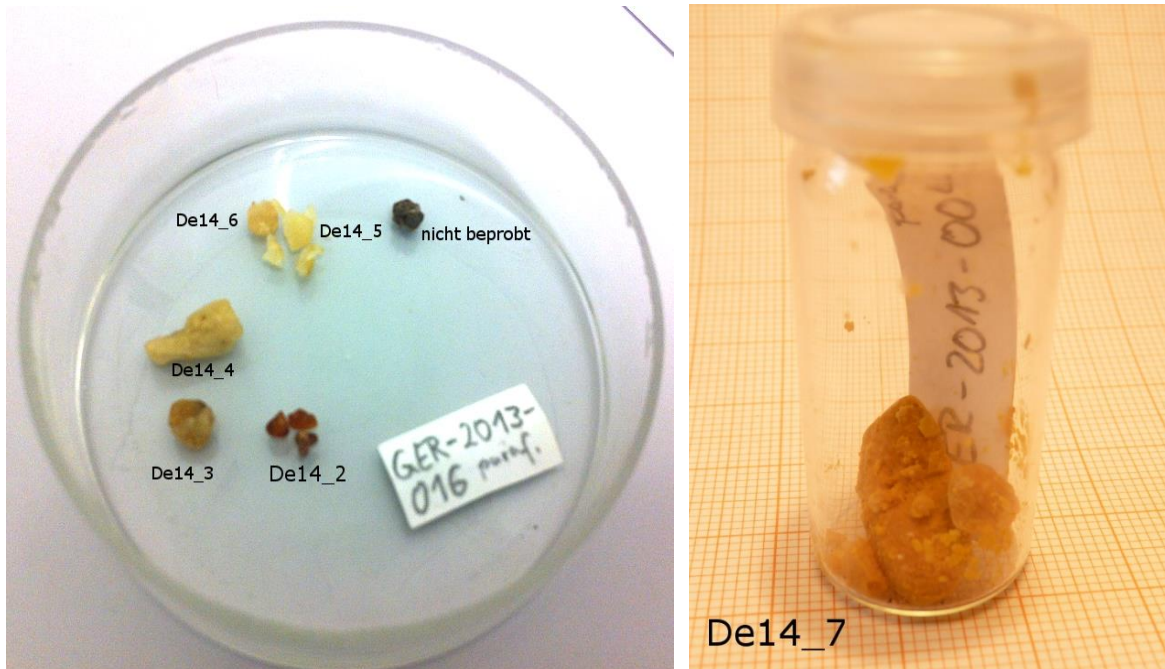


Abb. 18: Beispiele unterschiedlicher paraffinähnlicher Stoffe aus dem Magen eines Eissturmvogels

2.4.3 Ergebnisse

2.4.3.1 Mengen

In der Zeit zwischen 2002 und 2019 wurden an deutschen Küsten 818 Eissturmvögel gesammelt und die Auftretshäufigkeit von Plastik, anderem Meeresmüll, eventuelle chemische Substanzen und natürlichen Nahrungsresten untersucht (s. Anlage 9 im Anhang). In dem Zeitraum vor 2002 wurden nur sehr vereinzelt Eissturmvögel gesammelt, darum fließen diese nicht-repräsentativen Daten nicht in die vorliegende Analyse ein (7 Tiere zwischen 1993-2001). Paraffin und andere chemische Substanzen werden in der Standarduntersuchung innerhalb des OSPAR-Monitorings von „Plastikmüll in den Mägen von Eissturmvögeln“ momentan nicht berücksichtigt. Trotzdem wurden in allen Proben die Anwesenheit und das Gewicht solcher Substanzen notiert, um die Möglichkeit einer retrospektivischen Analyse offen zu halten. Diese - bisher ungenutzten Daten - werden im Rahmen dieser Studie nun evaluiert.

Über den gesamten Zeitraum (2002-2019) wurden in 179 von 818 untersuchten Eissturmvögeln paraffinähnliche Stoffe nachgewiesen (ein Beispiel zeigt Abb. 19). Das entspricht 22% der 818 untersuchten Vögel, die entlang der deutschen Küste angespült waren (Tab. 7). Im Durchschnitt enthielt jeder Magen (einschließlich der Mägen ohne paraffinähnliches Material) 0,32 Gramm Fremdstoffe. Über den Zeitraum der letzten 5 Jahre (2015-19) wurden 117 Eissturmvögel untersucht, 20% der Tiere enthielten paraffinähnliches Material mit einem Durchschnittsgewicht von 0,19 Gramm.

In manchen Fällen betraf es nur vereinzelte kleine Brocken, aber bei 9% der Vögel wog das Material mehr als 0,1 Gramm. Einige Mägen waren vollständig ausgefüllt mit paraffinähnlichen Stoffen. Das höchste Gewicht, das in einem an der deutschen Küste angespülten Vogel gefunden wurde, betraf ein Tier aus dem Jahr 2004. Dieser Vogel hatte ein Gewicht von 34 Gramm des Materials in seinem Magen. Um einen Eindruck eines extrem vollen Magens zu bekommen, kann der englischsprachige Dokumentarfilm *„Any waste any time“* über Abfallinstallationen im Rotterdamer Hafen angeschaut werden. Dieser kurze Film ist auf YouTube zu finden, ab Minute 8:00 beginnt das Stück über den Eissturmvogel (<https://www.youtube.com/watch?v=isb8zJtZ7WQ>).

Tab. 7: Häufigkeit von paraffinähnlichen Stoffen in Mägen von 818 Eissturmvögeln, gestrandet an deutschen Küsten zwischen 2002 und 2019.

Gegeben sind die Stichprobengröße (n), die Auftretshäufigkeit (% FO), der Prozentsatz der Vögel, die mehr als 0,1 Gramm paraffinähnlichen Stoff im Magen haben (%>0.1), das Durchschnittsgewicht mit Standardfehler (avg \pm se) und das Maximalgewicht in einem einzelnen Vogel (max). Die Daten sind unterteilt in Altersklassen und die Gesamtzahl aller Proben. Unterschiede zwischen verschiedenen Altersgruppen sind nicht signifikant. Tiere, die keinem Alter zugeordnet werden konnten, werden nicht separat genannt, sind aber in den Daten zur Gesamtzahl berücksichtigt. Einer der Vögel, die keinem Alter zugeordnet werden konnten, hatte das maximale Gewicht von 34 Gramm paraffinähnlichen Stoff im Magen. Dieser Vogel, zusammen mit anderen, bei denen kein Alter bestimmt werden konnte, tragen zum höheren Durchschnittsgewicht bei der Gesamtgruppe bei.

2002-19	n	%FO	%>0.1g	Gewicht (Gramm)		
				avg	\pm se	max
Alle	818	22%	9%	0,32	\pm 0,08	34
Erwachsen	346	21%	10%	0,28	\pm 0,08	16
Nicht Erwachsene	453	22%	7%	0,28	\pm 0,10	29

Bei Eissturmvögeln kann ein deutlicher Unterschied in der Menge des Plastiks zwischen erwachsenen und nicht erwachsenen Vögeln festgestellt werden. Junge Vögel haben insgesamt mehr Plastik im Magen (van Franeker et al. 2011). Aus diesem Grund wurde auch die Belastung mit paraffinähnlichen Stoffen in beiden Altersgruppen separat untersucht (Tab. 7). Dieser Unterschied konnte bei paraffinähnlichen Stoffen nicht festgestellt werden. Sowohl die Frequenz als auch die Masse sind in beiden Gruppen nahezu identisch. Damit ist auch statistisch kein Unterschied bei der Frequenz zu erkennen ($p=0,73$). Insgesamt ist sogar eine leicht erhöhte Prozentzahl der erwachsenen Tiere zu beobachten, die über den Grenzwert von 0,1 Gramm hinauskommen (10% in Vergleich zu 7% bei den jüngeren Tieren), aber auch dieser Unterschied erweist sich als nicht signifikant ($p=0,13$).



Abb. 19: Extremes Beispiel zweier Stücke paraffinähnlichen Materials aus dem Magen eines Eissturmvogels aus 2019. Der Vogel hatte einen Ball und ein Bruchstück aus wachsartigem Material im Magen, die zusammen 7,0858 Gramm wogen. Der Magen war ansonsten leer. Im Durchschnitt hatten die Vögel 0,8 Gramm paraffinähnlichen Materials im Magen mit einem Extremwert von 34 Gramm bei einem einzelnen Vogel. Die Skala am unteren Bildrand indiziert die Größe der Brocken (in Millimetern). Foto: Jan A. van Franeker, WMR.

Während der gesamten Messreihe zwischen 2002 und 2019 gibt es einen signifikant abnehmenden Trend im Gewicht paraffinähnlicher Stoffe in Mägen der Eissturmvögel (Tab. 8). Wenn nur die letzten 10 Jahre berücksichtigt werden (2010-2019), nimmt das Gewicht allerdings leicht zu, wenn auch nicht signifikant. In den Jahren 2009 bis 2014 wurden deutlich niedrigere Werte an paraffinähnlichen Stoffen registriert. In den darauf folgenden Jahren stabilisierten sich die Werte wieder leicht unterhalb des alten Niveaus.

Tab. 8: Trendberechnung des Gewichts von paraffinähnlichen Stoffen auf der Basis von log-transformierten linearen Regressionen in Mägen von Eissturmvögeln in verschiedenen Perioden (gesamte Messreihe 2002-2019 und der neueste 10-Jahrestrend 2010-2019).

n.s. deutet an, dass der Trend nicht signifikant ist. Das Symbol ↓ - - - verdeutlicht einen stark signifikant abnehmenden Trend. Dieselbe lineare Regression wird auch beim Monitoring von Plastik in Eissturmvögeln verwendet

Trends in Gewicht	n	constant	slope	s.e.	t	p	sig
Neuester 10-Jahrestrend (2010-19)	338	-17,8	0,0058	0,0361	0,16	0,873	n.s.
Gesamte Messreihe (2002-19)	818	108,0	-0,0567	0,0166	-3,42	<0,001	↓ - - -

Um Veränderungen in der Zeit sichtbar zu machen, werden Figuren mit fortlaufenden 5-Jahresdurchschnitten gezeigt (s. auch Anlage 10 im Anhang). Sie geben einen schnellen visuellen Eindruck und korrigieren visuell einzelne Ausnahmewerte in den Daten. Diese Grafiken haben allerdings keine statistische Aussagekraft. Abb. 20 gibt die Veränderungen in der Zeit in Form von Auftretshäufigkeit wieder, während Abb. 21 die Veränderungen in Gewicht widerspiegelt.

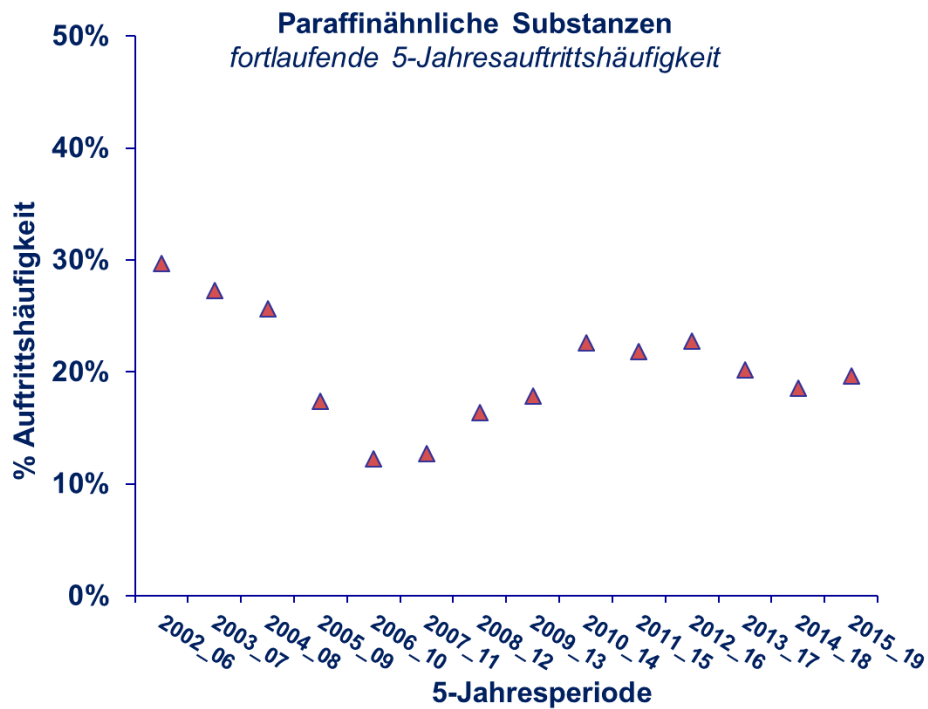


Abb. 20: Aufttrittshäufigkeit von paraffinähnlichen Stoffen in den Mägen von an deutschen Küsten gestrandeten Eissturmvögeln zwischen 2002 und 2019 (n=818). Die Daten sind als fortlaufende 5-Jahresdaten angezeigt. Hierbei verschieben sich die kombinierten Daten aus 5 Jahren jeweils um ein Jahr. Diese Darstellung dient der vereinfachten visuellen Wahrnehmung und hat keine statistische Bedeutung.

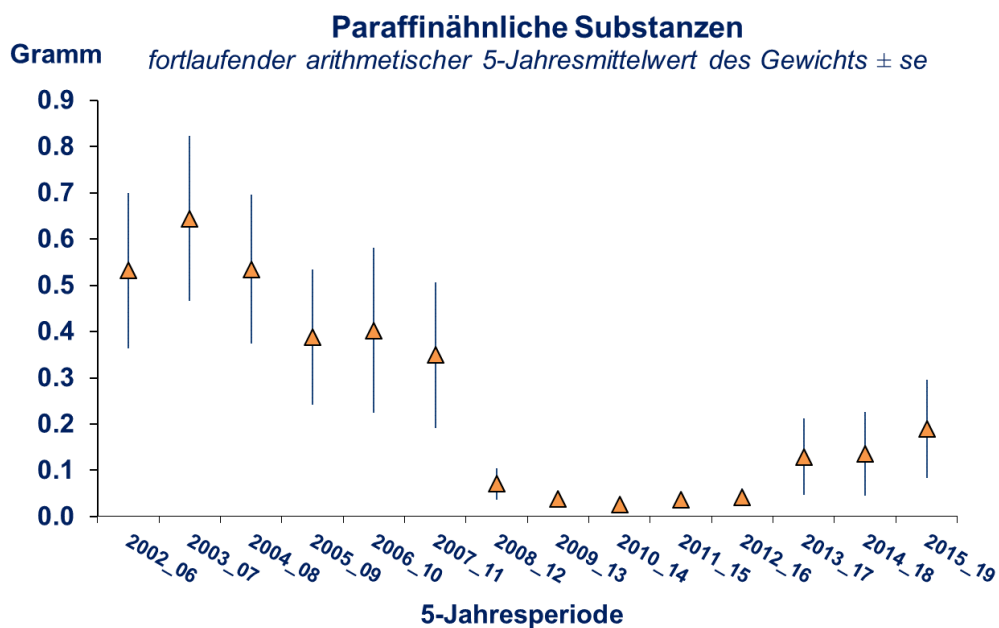


Abb. 21: Durchschnittsgewicht von paraffinähnlichen Stoffen in den Mägen von an deutschen Küsten gestrandeten Eissturmvögeln zwischen 2002 und 2019 (n=818). Die Daten sind als fortlaufende 5-Jahresdaten mit Standardfehler angezeigt. Hierbei verschieben sich die kombinierten Daten aus 5 Jahren jeweils um jeweils 1 Jahr. Diese Darstellung dient der vereinfachten visuellen Wahrnehmung und hat keine statistische Bedeutung.

2.4.3.2 Chemische Zusammensetzung

Bei der Untersuchung der Mägen von 110 Eissturmvögeln aus den Jahren 1993 – 2018 wurde in 107 Vogelmägen ausschließlich ein einziger Stoff festgestellt. In 3 Tieren wurden verschiedene Stoffe detektiert, z.B. Paraffin und Pflanzenfett im selben Tier.

Bei knapp der Hälfte (49%) der Vogelmägen mit paraffinähnlichen Stoffen bestanden diese Funde ausschließlich aus Paraffin. In weiteren 2% der untersuchten Vogelmägen mit paraffinähnlichen Stoffen bestanden die Funde aus einem Gemisch von Paraffin und Pflanzenfett. In 25% wurde ausschließlich Pflanzenfett gefunden, in 1% ein Gemisch aus Pflanzenfett und einer unbekanntem Substanz (Abb. 22). Insgesamt bei 4% der Individuen mit paraffinähnlichen Stoffen bestanden diese aus anderen bekannten Stoffen, dazu zählen z.B. Ethylenoligomere oder Fettsäuremethylester (FAMES). Fettalkohole, die in anderen Umweltkompartimenten wie z.B. im Meer (s. Kap. 2.3) oder am Strand (s. Kap. 2.5) nachgewiesen werden, wurden nicht identifiziert. Selbst in der unwahrscheinlichen Situation, dass alle „anderen bekannten Substanzen“ Fettalkohole wären, wäre ihr Vorkommen in den paraffinproben in Mägen von Eissturmvögeln noch immer überdurchschnittlich gering. Die Messsignale der Proben aus 19% der Eissturmvogelmägen entsprachen keinem der bekannten Muster und werden unter dem Begriff „andere unbekannte Substanz“ subsumiert. Diese Substanzen können ohne weitere Untersuchungen nicht zugeordnet werden.

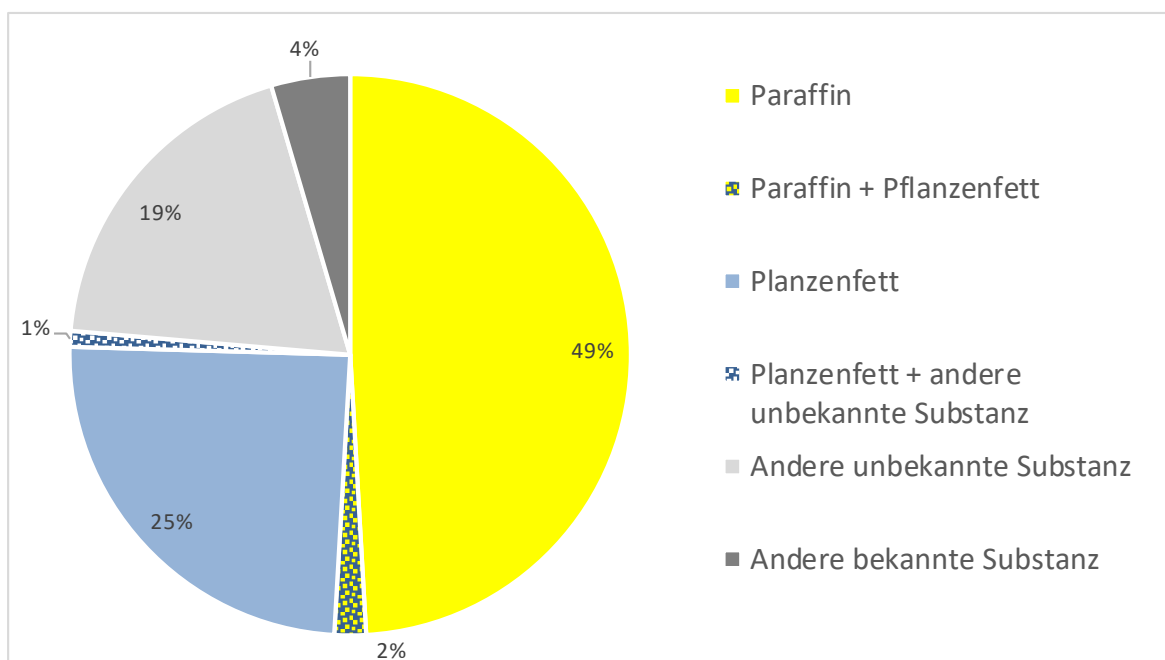


Abb. 22: Chemische Zusammensetzung der paraffinähnlichen Stoffe in 110 Mägen von an der Nordseeküste angespülten Eissturmvögeln von 1993-2018.

Es wurden 127 Einzelbrocken aus 110 Mägen von Eissturmvögeln analysiert. Angegeben ist der relative Anteil der Vogelmägen in denen ein bestimmter Stoff oder Gemisch nachgewiesen wurde.

Die zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung der Stoffe in den Mägen von Eissturmvögeln lässt sich aufgrund der jährlich stark schwankenden Anzahl der chemisch untersuchten Vogelmägen nur sehr eingeschränkt auswerten. Dies hängt u.a. auch mit den jährlich variierenden Zahlen der angespülten Totfunde der Eissturmvogel zusammen (Abb. 23a). Ein

eindeutiger zeitlicher Trend der Substanzen in den Mägen lässt sich für keinen der analysierten Stoffe erkennen (Abb. 23b). Paraffin ist jedoch durchgehend sehr präsent.

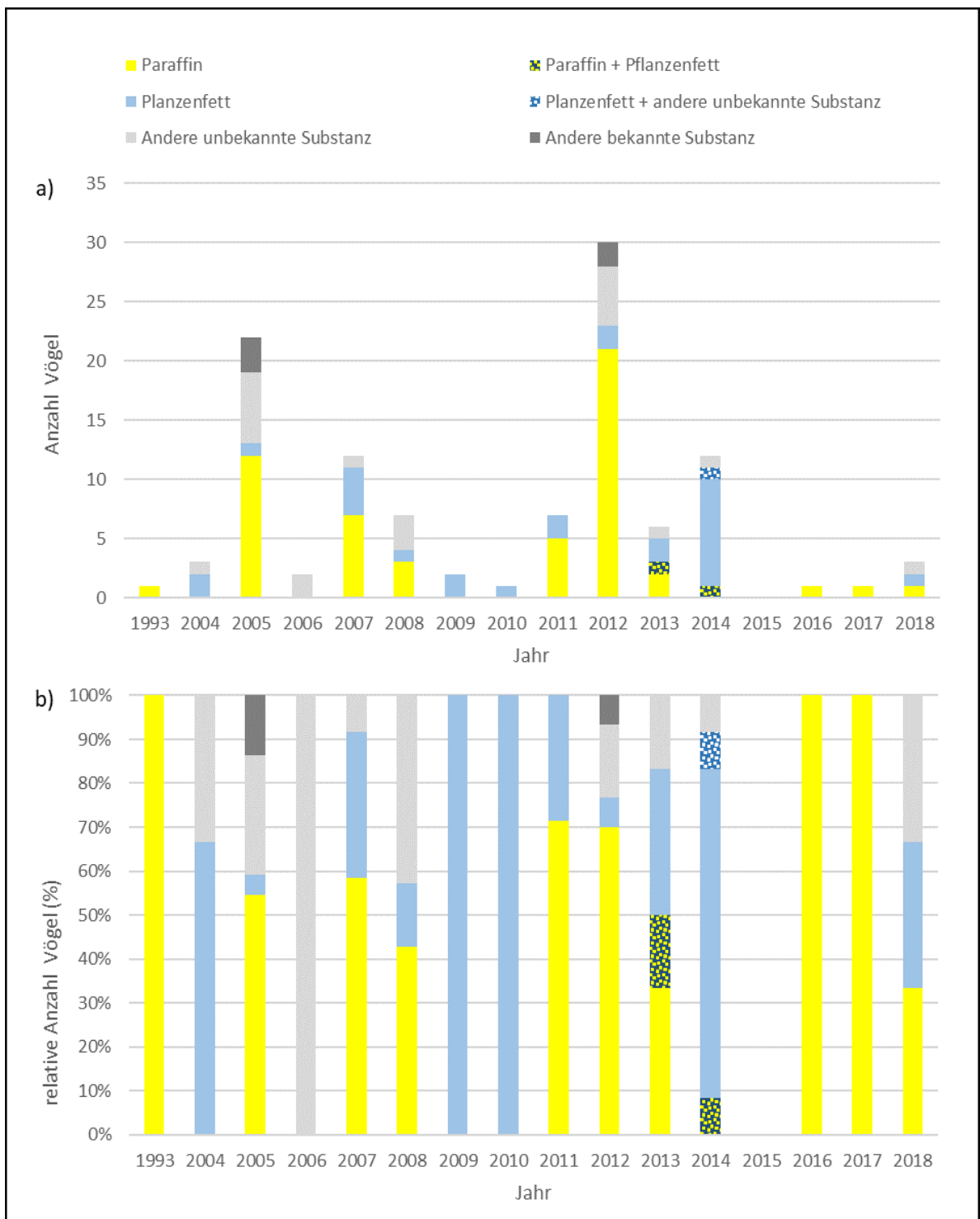


Abb. 23: Chemische Zusammensetzung der paraffinähnlichen Stoffe in 110 Mägen von an der Nordseeküste angespülten Eissturmvögeln von 1993-2018.

a) Anzahl der Vogelmägen mit bestimmten Substanzen, b) relativer Anteil der Vogelmägen mit bestimmten Stoffen.

2.4.4 Diskussion

Paraffinähnliche Stoffe wurden bisher in OSPAR Protokollen, die die Anwesenheit von Plastik in Eissturmvogelmägen messen, offiziell nicht berücksichtigt. Die Stoffe wurden trotz der fehlenden Finanzierung über die gesamte Messreihe dokumentiert und bewahrt. Dies erlaubt nun eine Analyse der Daten über einen großen Zeitraum. Aus diesen Daten wird deutlich, dass über den Zeitraum 2002-2019 22% der 818 untersuchten Eissturmvögel paraffinähnliche Stoffe im Magen hatten, mit einem durchschnittlichen Gewicht von 0,3 Gramm per Vogel. Der Vergleich mit anderen Studien ist nur eingeschränkt möglich, da Paraffin bisher selten in Tieren gemessen wurde. Der Vergleich der Ergebnisse der Untersuchungen mit Fitz & Fleet (2017) zeigen ähnliche Ergebnisse (23 % Paraffin, 58% Pflanzenfett). In 2019 wurde in den Niederlanden eine vergleichbare Studie durchgeführt (van Franeker et al. 2019). Seit 1979 wurde dort das Aufkommen von paraffinähnlichen Stoffen in Eissturmvögeln registriert. In 1101 Vögeln fand man, dass 21% der Vögel paraffinähnliche Stoffe in ihren Mägen hatten, mit einem durchschnittlichen Gewicht von 0,8 Gramm. Während die Auftrittshäufigkeit zwischen beiden Ländern sehr vergleichbar ist, gibt es einen deutlichen Unterschied im Durchschnittsgewicht, wobei in den Niederlanden deutlich höhere Werte festgestellt wurden. Eine Erklärung für diesen Unterschied ist nicht einfach zu finden, durch alle Jahre hindurch bleibt das Durchschnittsgewicht dort zumeist höher.

In der niederländischen Studie wurden paraffinähnliche Stoffe aus Mägen von Eissturmvögeln verglichen mit Proben, die gelegentlich (ohne strukturiertes Messprogramm) am Strand gefunden und gesammelt wurden (van Franeker et al. 2019). Dieser Vergleich zeigte, dass Stoffe die am Strand gefunden wurden wesentlich häufiger Paraffin waren, während in Eissturmvögeln nur rund ein Drittel des analysierten Materials aus Paraffin bestand. Von den Proben in den Tieren wurden 43% als natürliche Fette (z. B. Palmöl) identifiziert. Material vom Strand dagegen bestand zu 94% aus Paraffin. Als mögliche Gründe für die Diskrepanz werden ein möglicherweise anziehenderer Geruch des natürlichen Fettes für Eissturmvögel oder die schnellere biologische Abbaubarkeit von natürlichen Fetten auf See genannt. Auch eine höhere Schmelztemperatur von Paraffin kann möglicherweise dazu beitragen, dass Paraffin länger auf See verbleibt und dann auch häufiger anspült.

Die Abnahme von paraffinähnlichen Stoffen in deutschen Eissturmvögeln über den gesamten Zeitraum verläuft parallel zur Abnahme von Plastik in den Mägen der Eissturmvögel in der südlichen Nordsee (Deutschland, Niederlande und Belgien, 2002-2018) (van Franeker et al. 2021). In den Niederlanden wurde über den Zeitraum von 2002-2019 zwar eine signifikante Abnahme des Plastiks festgestellt, allerdings nahm das Gewicht von paraffinähnlichen Stoffen in den Niederlanden leicht zu, wenn auch nicht signifikant. In den letzten 10 Jahren (2010-19) wurde in den Niederlanden eine leichte, nicht signifikante Abnahme beobachtet. Vergleichbar mit den niederländischen Proben, ist auch die Variation der Menge des paraffinähnlichen Materials in den deutschen Proben hoch (zwischen 0 und 34 Gramm) und kann damit die Interpretation der Daten und das Erkennen eventueller Trends möglicherweise erschweren. Im Gegensatz zu Plastik, welches ein häufigeres Vorkommen in jüngeren Eissturmvögeln hat, war die Verteilung von paraffinähnlichen Stoffen in deutschen Eissturmvögeln gleich, unabhängig vom Alter. In niederländischen Daten wurde in jüngeren Vögeln ein leicht erhöhtes Gewicht an paraffinähnlichen Stoffen festgestellt, allerdings wurde dies vermutlich durch einen einzelnen Vogel verursacht, der extreme 110 Gramm des Materials im Magen hatte van Franeker et al. (2019).

In den Mägen der Vögel, welche von den deutschen Küsten stammen, stellt die am häufigsten analytisch festgestellte Stoffgruppe Paraffin dar, welches in 49% der 110 chemisch analysierten Vogelmägen auftrat. Da keine belastbaren Daten der „Verdaubarkeit“ von Paraffin in Vogelmägen vorliegen, sind Aussagen, ob diese Funde eine Momentaufnahme darstellen oder ob es eine Art kumulierter Fund ist, nicht möglich. Junge Tiere (die ersten 2 Jahre, dann 2 bis ca. 10 Jahre = jugendliche Vögel), können von erwachsenen Vögeln bzw. Brutvögel (> ca. 10 Jahre) unterschieden werden. Da die Menge von paraffinähnlichen Stoffen in jungen und erwachsenen Tieren in den von der deutschen Nordseeküste untersuchten Proben jedoch gleich ist, scheint eine lebenslange Akkumulation eher unwahrscheinlich. Dies bestätigen auch Ergebnisse von untersuchten Eissturmvögeln aus den Niederlanden, bei denen in jüngeren Tieren mehr Paraffin nachgewiesen wurde als in erwachsenen Vögeln.

Pflanzenfette (i.d.R. Palmfett) bilden den nächst größeren Anteil und wurden in 25% aller chemisch untersuchten Vogelmägen gefunden. Hier wäre zumindest ein Verzehr nachvollziehbar, sollte das Fett für die Tiere verwertbar sein. Die Ergebnisse legen jedoch nahe, dass die Vögel nicht gut unterscheiden können, ob es sich um Paraffin oder Pflanzenfett handelt. Auffällig ist, dass Fettalkohole in Eissturmvögeln im Gegensatz zu Untersuchungen am Strand (Kap. 2.5) oder auch im Meer (Kap. 2.3) so gut wie gar nicht auftraten.

Über die Schädlichkeit von paraffinähnlichen Stoffen und Pflanzenfetten für Eissturmvögel ist wenig bekannt. Neben möglicherweise ungesunden chemischen Substanzen, die entweder während der Produktion oder während der Reinigung des Laderaums von Schiffen zugefügt werden, spielt eventuell auch das Volumen und die Konsistenz im Magen eine wichtige Rolle. Die klebrige Konsistenz mancher Stoffe, von sowohl Paraffin als auch Pflanzenfetten, kann eventl. die Verdauung beeinträchtigen. Dies ist allerdings spekulativ und bedarf zusätzlicher Forschung.

2.4.5 Einschätzung der Ergebnisse

Von den beiden seit langem bestehenden OSPAR-Erfassungen („Strandmüllmonitoring“ und „Müll in den Mägen von Eissturmvögeln“) ist der Eissturmvogel nach Einschätzung von Wageningen Marine Research der einzige potenziell geeignete Kandidat für ein zukünftiges Monitoringprogramm von Paraffinen und paraffinähnlichen Stoffen (für die Diskussion zur Eignung des Strandmüllmonitorings siehe Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Eine mögliche Selektion für Pflanzenfette (oder die schnelle Abbaubarkeit von Paraffin in Mägen) muss dabei berücksichtigt werden. Durch bereits weitläufig etablierte Protokolle, den Einsatz des Eissturmvogels als OSPAR und seit kurzem auch MSRL-Deskriptor für Müll an der Meeresoberfläche in der Nordsee bedarf es nicht allzu viel zusätzlichen Aufwands und Kosten, um auch das Monitoring von paraffinähnlichen Stoffen bei Eissturmvögeln in das bereits bestehende Protokoll zu integrieren.

2.5 Disperse Belastung: Strandmüllmonitoring

2.5.1 Einleitung und Aufgabe

Das OSPAR-Strandmüll-Monitoring-Programm wird seit 2002 an der deutschen Nordseeküste und seit 2011/2012 an der deutschen Ostseeküste durchgeführt (OSPAR 2010).

Im Rahmen des Programms wird die Menge an Paraffinen und paraffinähnlichen Stoffen (im Folgenden i.d.R. nur „Paraffin“ genannt) sowie an Öl und ölähnlichen Stoffen ("Sonstige - Öl/Teer") während der Erfassung des Mülls an 100 m langen Strandabschnitten erhoben (OSPAR 2010).

Ziel des folgenden Kapitels ist es zum einen einzuschätzen, ob die mit der OSPAR-Methode zur Erfassung dieser Chemikalien erhobenen Daten für eine Bewertung innerhalb der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie verwendet werden können. Spezifisch geht es dabei um eine Eignung als Ergänzung der Bewertung zu D10C1, d.h. die Zusammensetzung, Menge und räumliche Verteilung von Abfällen an der Küste, wobei „Abfälle“ auch Chemikalien (Paraffin, Wachs, Öl und Teer) beinhaltet (für Details s. Kap. 0). Zum anderen soll geprüft werden, ob diese Daten zukünftig auch zur Überwachung der MEPC-Anpassungen zu Tankwaschungen von Paraffin Paraffin und anderen persistenten aufschwimmenden Stoffen (MEPC.315(74)) geeignet scheinen.

2.5.2 Methodik

Nordsee

Paraffinpartikel werden als geschätzte Anzahl der Stücke pro einem Meter Strand für drei Größenklassen erfasst. Die Größenklassen sind < 1cm, 1-10cm und >10cm. Die Schätzung basiert auf der Menge an Paraffinpartikel, die bei visuellen Untersuchungen der Strandoberfläche gefunden wird. Bei den Untersuchungen des Strandmülls wird die gesamte Oberfläche eines 100 m langen Strandabschnitts vom Fuß der Dünen bis zur Wasserkante gesichtet. In der Regel führen zwei bis vier Personen die Erhebung durch. Alle Paraffinpartikel oder -anhäufungen werden registriert und am Ende der Untersuchung wird die Menge an Paraffinpartikel für einen Meter Strand geschätzt. Die Strandmüllerfassungen werden in der Regel viermal im Jahr in den Zeiträumen Mitte Dezember bis Mitte Januar, April, Mitte Juni bis Mitte Juli und Mitte September bis Mitte Oktober durchgeführt. Die Guidelines für das Strandmüll-Monitoring im Rahmen des OSPAR Coordinated Environmental Monitoring Programme (CEMP) sind unter folgendem Link zu finden (<https://www.ospar.org/work-areas/cross-cutting-issues/cemp>).

Das Monitoring an der deutschen Nordseeküste wird aktuell an 7 Stränden durchgeführt (Stand 2022). Langzeitdaten sind für vier Messstellen an der Nordsee verfügbar: Sylt (Hörnum), Scharhörn, Juist (Hammersee) und Minsener Oog. Nur diese werden für die vorliegende Untersuchung herangezogen, da nur hier Informationen über langfristige Entwicklungen vorliegen. Die Lage dieser vier Monitoringstrände ist in Abb. 24 dargestellt.



Abb. 24: Lage der OSPAR-Strandmüllfassungen an der deutschen Nordseeküste

Ein lineares Permutationsmodell (L-Perm in R) wurde verwendet, um Trends in den Zeitreihen für Sylt, Scharhörn und Juist zu analysieren. Da Paraffinteile im 19-Jahres-Zeitraum 2002-2021 nur zweimal an der Zählstrecke auf Minsener Oog beobachtet wurden, konnten die Daten von dort nicht für statistische Tests verwendet werden. Der Kruskal-Wallis-Chi-Quadrat-Test wurde verwendet, um zu untersuchen, ob es einen Unterschied in der geschätzten Gesamtzahl der Paraffinteile pro Zählung gibt, die auf der Zählstrecke für die beiden Zeiträume (April) 2002-2011 und 2012 - (Jan.) 2021 beobachtet wurden.

Ostsee

An der Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommerns wurden etwaige Funde von Paraffinteilen ebenfalls im Zuge des Strandmüllmonitorings nach OSPAR (OSPAR 2010) in den drei Größenklassen (< 1 cm, 1-10 cm und > 10 cm) erfasst. Jedoch wurden getätigte Funde nicht geschätzt, sondern auf der gesamten Monitoringfläche gezählt. Es liegen aus der Zeit von Oktober 2011 bis Dezember 2020 Daten von 22 Monitoringstränden zur Auswertung vor. Allerdings wurden nicht alle Strände über die gesamte Zeit beobachtet. Die Lage der Strände des Strandmüllmonitorings an der Ostsee von Mecklenburg-Vorpommern ist in Abb. 25 dargestellt.



Abb. 25: Lage der OSPAR-Strandmüllerefassungen an der Ostseeküste von Mecklenburg Vorpommern.

Eine statistische Auswertung, wie sie für die Nordsee-Daten präsentiert wird, ist aufgrund der insgesamt sehr wenigen Funde nicht sinnvoll möglich.

2.5.3 Ergebnisse

2.5.3.1 Nordsee

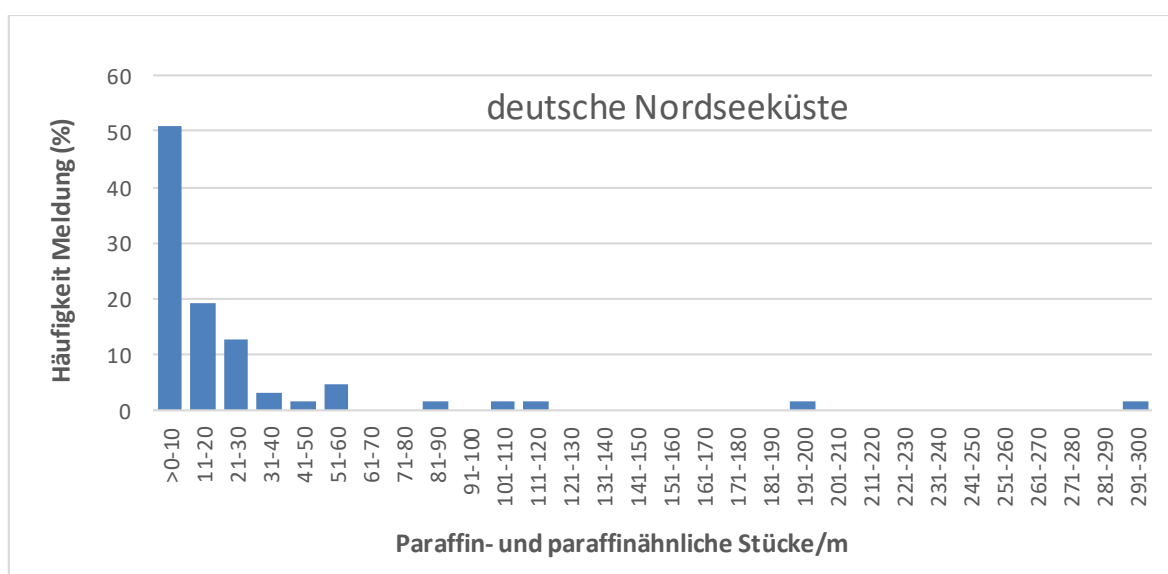
Es wurden Daten aus 19 Monitoringjahren und somit alle Daten von April 2002 bis Januar 2021 ausgewertet, um das Vorkommen von Paraffinteilen an den vier ausgewählten Stränden (Sylt, Scharhör, Juist und Minsener Oog) an der deutschen Nordseeküste zu bewerten. Die Daten aus dem Strandmüllmonitoring enthalten einige Lücken aufgrund von Engpässen beim Personal oder mangelnder Finanzierung. Zudem ist Scharhör im Winter nicht zugänglich, so fehlen dort Angaben für die Winterzeit. Es wurden in dem Zeitraum April 2002 bis Januar 2021 insgesamt 261 von 285 möglichen Erfassungen an den vier Standorten durchgeführt. Chemikalien der Kategorie "Sonstige - Öl/Teer" wurden nur wenige Male und hauptsächlich auf Scharhör registriert und werden in der vorliegenden Analyse nicht ausgewertet. Paraffine wurden insgesamt bei 24 % (63) dieser Erfassungen gefunden (Tab. 9).

Das Auftreten von Paraffinteilen an den Stränden war von Strand zu Strand sehr unterschiedlich. Während es auf der Messstrecke auf Minsener Oog im Berichtszeitraum nur zwei Nachweise gab, wurden sie auf Sylt bei mehr als der Hälfte der Erfassungen nachgewiesen (Tab. 9). Aktuell ist Sylt der Strand, der die höchste Paraffinbelastung aufweist. Paraffinteile wurden dort in 72 % der Erhebungen im Zeitraum 2012-2021 festgestellt und im Mittel wurden dort rund 24 Stück Paraffin pro Meter Strand geschätzt (Tab. 10).

Tab. 9: Anzahl der Erfassungen an vier Stränden an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum April 2002-Januar 2021.

	Anzahl Erfassungen	Anzahl Erfassungen mit Paraffinfunden	% der Erfassungen mit Paraffinfunden
Sylt	70	37	52,9
Scharhörn	51	15	29,4
Juist	69	9	13,0
Minsener Oog	71	2	2,8
Alle	261	63	24,1

Die maximale Anzahl von Paraffinteilen pro Meter Strand betrug 300. Insgesamt gab es nur vier Fälle mit mehr als 100 Stück pro Meter (Abb. 26). Etwa die Hälfte der Nachweise zeigte 10 oder weniger Paraffinteile pro Meter Strand und etwa ein Drittel 10 bis 30 Paraffinteile pro Meter Strand (Abb. 26). Mittelgroße Stücke (1-10cm) wurden in 92% der Verschmutzungsfälle gefunden, kleinere (<1cm) in 58%. Bei einem Drittel der Verschmutzungsfälle wurden große Stücke (>10cm) gefunden.

**Abb. 26:** Anzahl der Erfassungen mit Paraffin in verschiedenen Abundanzbereichen (Anzahl Stücke/m) für vier Strände an der deutschen Nordseeküste im Zeitraum 2002-2021.

Die Ergebnisse für die drei Strände Sylt, Juist und Scharhörn sind als fortlaufender arithmetischer 5-Jahresmittelwert der Gesamtstückzahl von Paraffinteilen pro Erfassung in Abb. 27, Abb. 28 und Abb. 29 dargestellt.

Auf Sylt, Scharhörn und Juist war die Anzahl der Paraffinteile pro Erfassung und die Anzahl der Erfassungen mit Paraffinteilen im Zeitraum 2012-2021 jeweils höher als im Zeitraum 2002-2011 (Tab. 10). Für Sylt ist der Unterschied der Anzahl der Paraffinteile zwischen den beiden Erfassungszeiträumen auch signifikant (s. Anlage 11 im Anhang). Ein signifikant steigender Trend im Zeitraum 2002-2021 wurde für Juist festgestellt (s. Anlage 11 im Anhang).

Tab. 10: Mittelwerte der Anzahl der Paraffinstücke nach Größe pro Erfassung sowie die Anzahl der Erfassungen mit Paraffinfunden an drei Stränden an der deutschen Nordseeküste in den Zeiträumen April 2002 bis Oktober 2011 und Januar 2012 bis Januar 2021.

	Summe	<1cm	1-10cm	>10cm	Anzahl der Erfassungen mit Paraffinfunden
Sylt 2002-2011	3,9	1,3	2,5	0,1	11 (32%)
Sylt 2012-2021	23,7	9,8	10,6	3,1	26 (72%)
Scharhörn 2002-2011	1,5	0,3	0,9	0,3	6 (19%)
Scharhörn 2012-2021	3,0	2,1	0,8	0,1	9 (36%)
Juist 2002-2011	0,8	0,3	0,4	0,0	1 (3%)
Juist 2012-2021	12,6	9,1	3,5	0,1	8 (22%)

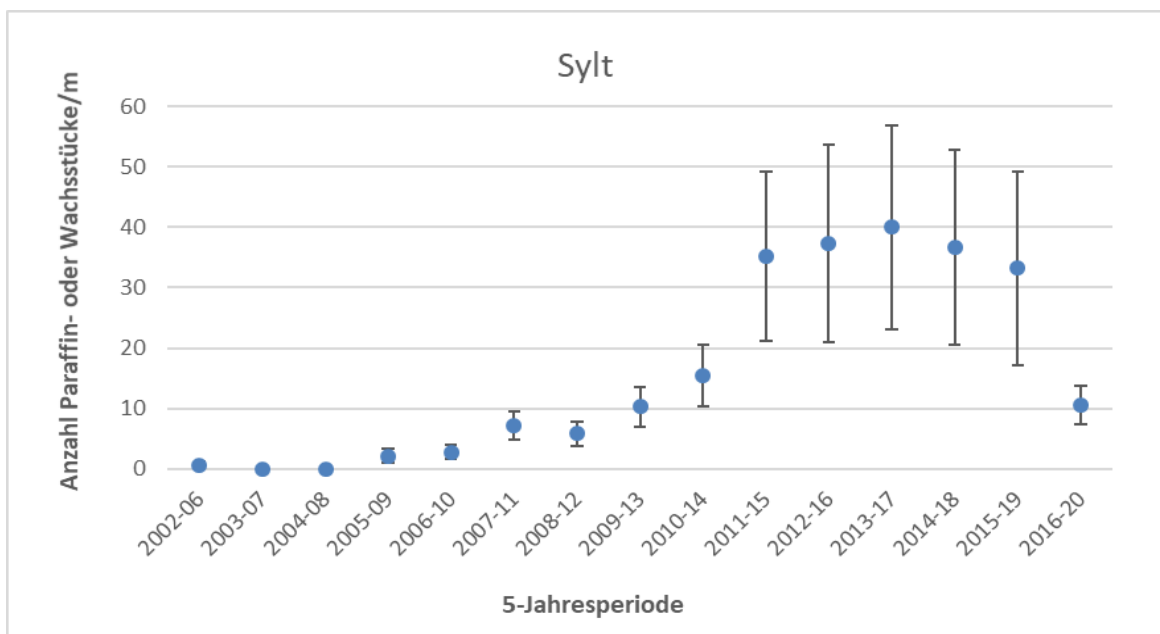


Abb. 27: Fortlaufender arithmetischer 5-Jahresmittelwert der Gesamtstückzahl/m (+/- Standardfehler) von Paraffinteilen auf der Untersuchungsstrecke auf Sylt

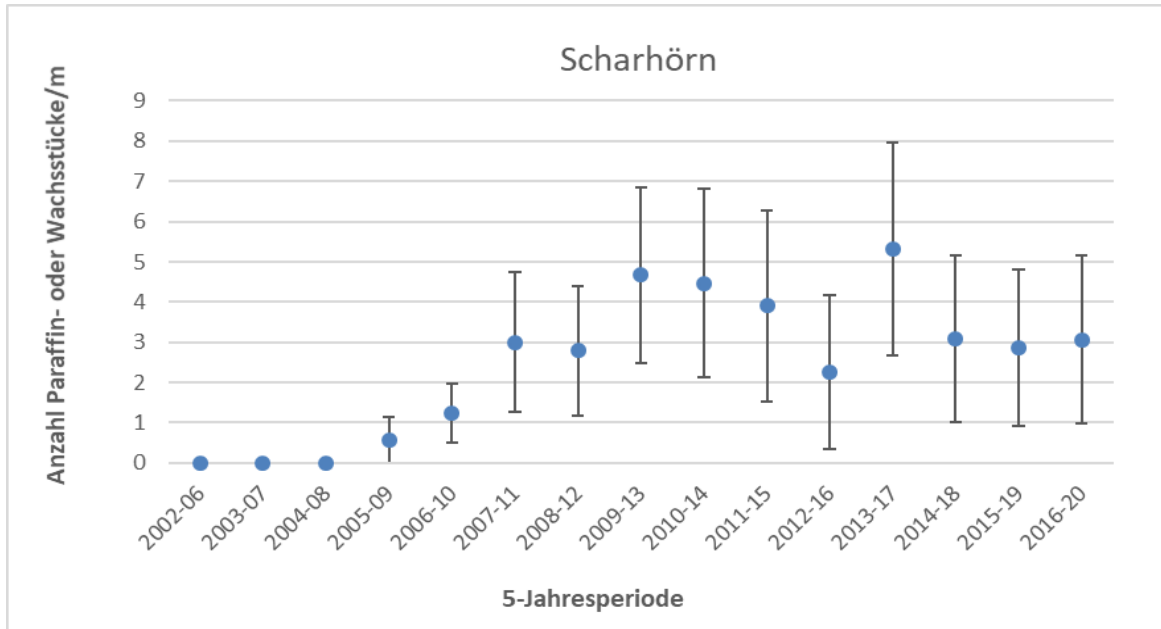


Abb. 28: Fortlaufender arithmetischer 5-Jahresmittelwert der Gesamtstückzahl/m (+/- Standardfehler) von Paraffinteilen auf der Untersuchungsstrecke auf Scharhörn.

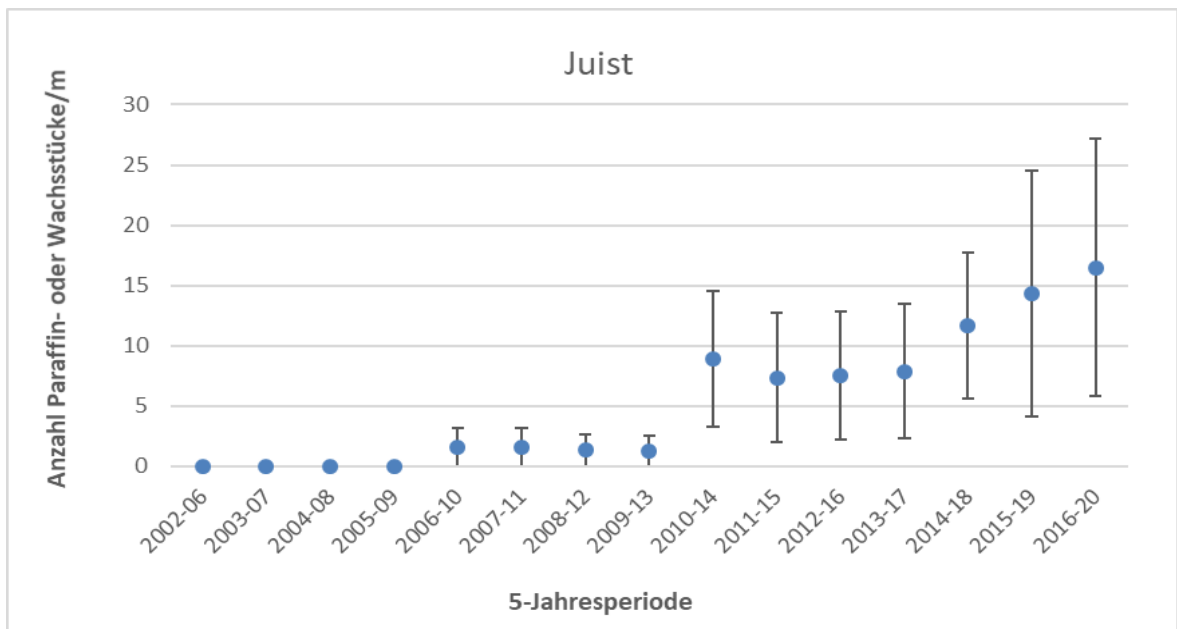


Abb. 29: Fortlaufender arithmetischer 5-Jahresmittelwert der Gesamtstückzahl/m (+/- Standardfehler) von Paraffinteilen auf der Untersuchungsstrecke auf Juist.

2.5.3.2 Ostsee

Im Rahmen des Strandmüllmonitorings entlang der Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommerns wurden zwischen Oktober 2011 und Dezember 2020 an der Hälfte (11 von 22) der 100 m langen Monitoringstrände Paraffintteile gefunden. Bei 633 Erfassungen sind zusammen 74 Partikel dokumentiert worden:

- < 1 cm: 13 Partikel
- 1–10 cm: 55 Partikel
- > 10 cm: 6 Partikel

Paraffintteile wurden bei 4,1 % (26 von 633) der Erfassungen gefunden (s. Tab. 11). Pro Erfassung fanden sich bis zu 8 Paraffintteile auf einer Monitoringstrecke (100 m). Weiterführende statistische Auswertungen sind wegen der insgesamt sehr wenigen Funde nicht sinnvoll möglich.

Tab. 11: Anzahl der Erfassungen an 22 Stränden an der deutschen Ostseeküste von Oktober 2011 bis Dezember 2020.

	Anzahl Erfassungen	Anzahl Erfassungen mit Paraffinfunden	% der Erfassungen mit Paraffinfunden	Anzahl Paraffintteile
BINZ_SO_01	37	0	0,0	0
BUG_SW_01	28	1	3,6	1
DARSS_MÜL_01	30	0	0,0	0
GLOWE_KH_01	28	6	21,4	21
GÖHREN_NP_01	37	2	5,4	2
GWOIE_HF_01	17	0	0,0	0
KAGSDF_RS_01	27	4	14,8	14
KLZICKER_OL_01	32	0	0,0	0
LUBMIN_FRS_01	21	0	0,0	0
LUDWBRG_LA_01	17	1	5,9	7
MUKRAN_FH_01	27	2	7,4	4
NOBBIN_HG_01	33	0	0,0	0
POEL_GOL_01	30	0	0,0	0
ROSENHGN_HBÄ_01	31	0	0,0	0
SELLIN_GR_01	27	1	3,7	1
STEINBECK_KLH_01	30	0	0,0	0
USEDOM_PE_01	22	1	4,5	1
VARNKEVZ_HL_01	35	6	17,1	21
VILM_WS_01	37	1	2,7	1
WIESCHENDF_HUK_02	28	1	3,6	1
ZINGST_KIR_01	30	0	0,0	0
ZINGST_WAS_01	29	0	0,0	0
Alle	633	26	4,1	74

2.5.4 Diskussion

Vorkommen vom Paraffin am Strand

Das räumliche und zeitliche Vorkommen von Paraffinteilen an Stränden ist variabel. Die räumliche Verteilung kann zwischen vereinzelteten Teilen in nur einem erkennbaren Spülsaum bis hin zu großen Anhäufungen von Teilen auf mehreren Spülsäumen variieren. Spülsäume mit Paraffin funden sind jedoch oft nicht durchgehend erkennbar. Zuweilen werden Ansammlungen („Patches“) von Paraffinteilen auch unabhängig von den Spülsäumen überall am Strand angetroffen. Es ist schwierig eine Methode zu finden, die gute Daten für diese beiden Extreme liefert. Dies spiegelt sich in den Ergebnissen wider, wo die meisten Funde bzw. Daten aus nur wenigen Paraffinteilen pro Meter (Nordsee) oder pro 100 Meter (Ostsee) Strand bestehen.

Darüber hinaus spielt nicht nur die Anzahl, sondern auch die Größe der Teile eine Rolle bei der Bewertung, was in der vorliegenden Auswertung weitestgehend nicht berücksichtigt wurde. Wenn die Paraffinteile durch mechanische, hydrologische oder meteorologische Einwirkungen (z.B. Zertreten, Gezeiten, Wellen, Wind, Temperatur etc) zerfallen, werden aus einem großen Stück viele kleine. Größere Teile können potenziell auch in mehr kleine Teile zerfallen als kleine.

Grundsätzlich erweist sich bei der OSPAR-Methode die Größe des Bereichs, in dem nach Paraffin gesucht wird (100 m Strandabschnitt über die vollständige Strandbreite) als vorteilhaft, da dadurch auch geringe Belastungen mit Paraffin nachgewiesen werden können.

Dynamik von Anspülungen

Analysen der Dynamik von Müll am Strand haben gezeigt, dass sich rund 3 Monate nach der letzten Monitoringfassung (bei der der Strandmüll möglichst vollständig entfernt wird) erneut ein Gleichgewicht zwischen Versandung, Anspülung (Deposition) und Weitertransport (Erosion) eingestellt hat, die das längerfristige Müllvorkommen am Strand wieder abbildet (Schulz et al 2013). Es erscheint unwahrscheinlich, dass dieser Prozess auch für Paraffine gilt, die zügigerer, v.a. mechanischer Zerkleinerung unterliegen. Auch führen extreme Wetterereignissen dazu, dass bei hohen Wasserständen und starkem Wellengang das Paraffin, das sich zwischen den Zählungen am Strand angesammelt hat, vom Strand völlig weggespült werden kann. Das Wetter und vor allem die Häufigkeit von auflandigem Wind ist ein entscheidender Faktor für die Häufigkeit und Intensität der Anlandungsereignisse und sollte zukünftig verstärkt berücksichtigt werden. Dazu sollte das Wetter auch vor der Erfassung über einen längeren Zeitraum dokumentiert werden (z. B. 1 Woche). Zudem können großräumige Wetterereignisse wie die Nordatlantische Oszillation (NAO) die Mengen schwimmender Objekte wie Paraffin, die die Küste erreichen, beeinflussen, da sie die Häufigkeit der auflandigen Winde bestimmen (Chrastansky et al. 2009). Darüber hinaus sollte die der Fragmentierung zugrundeliegenden physikalischen, biologischen und chemischen Mechanismen näher untersucht werden

Zeitliche Entwicklung der Anspülungen

Wie die oben dargestellten Daten zeigen, liefert die OSPAR-Methode eine grobe Abschätzung des Paraffinaufkommens an der Küste. Die Entwicklung der Verschmutzung mit Paraffin an den drei Nordseestränden Sylt, Scharhörn und Juist zeigt gewisse Ähnlichkeiten. So ist z.B. die Anzahl der

Zählungen mit Paraffinfunden und die Anzahl der gefundenen Paraffinstücke an allen drei Stränden im Zeitraum 2002 - 2011 niedriger als im Zeitraum 2012-2021.

Grundsätzlich scheint es nicht überraschend, dass die Anspülungen an den drei Stränden einem ähnlichen zeitlichen Muster unterliegen. Paraffinverschmutzungen in der Deutschen Bucht stammen u.a. von Tankschiffen. Die Einleitung von Paraffin nach der Tankwäsche erfolgt in der Regel auf den Schifffahrtswegen von und zu großen Häfen wie Hamburg. Die in der Deutschen Bucht vorherrschenden Wasserströmungen (im Mittel von Südwest nach Nordost) und Winde (vorherrschende Windrichtung ist West bis Nordwest) transportieren das Paraffin an der Wasseroberfläche, je nach vorherrschender Wind- und Strömungsrichtung, vor allem in Richtung Osten und Nordosten entlang der deutschen Nordseeküste und führen zu Anspülungen entlang der gesamten Küste. Alle drei Strände unterliegen somit ähnlichen Verschmutzungsquellen, was möglicherweise zu ähnlichen zeitlichen Entwicklungen der Anspülungen führt.

Die Entwicklung der Paraffinfunde im Rahmen des OSPAR Spülsaummonitorings an der deutschen Nordseeküste entspricht der großräumigen Entwicklung von Paraffinanspülungen im Nordostatlantik. So zeigt die Analyse der OSPAR-Strandmülldaten der Länder der OSPAR-Region (BE, DK, F, UK, SE, PRT, NL, NO, DE) zu Paraffin ebenfalls eine Zunahme der Häufigkeit der Verschmutzung ab 2009 (OSPAR EIHA 2017) (Abb. 30).

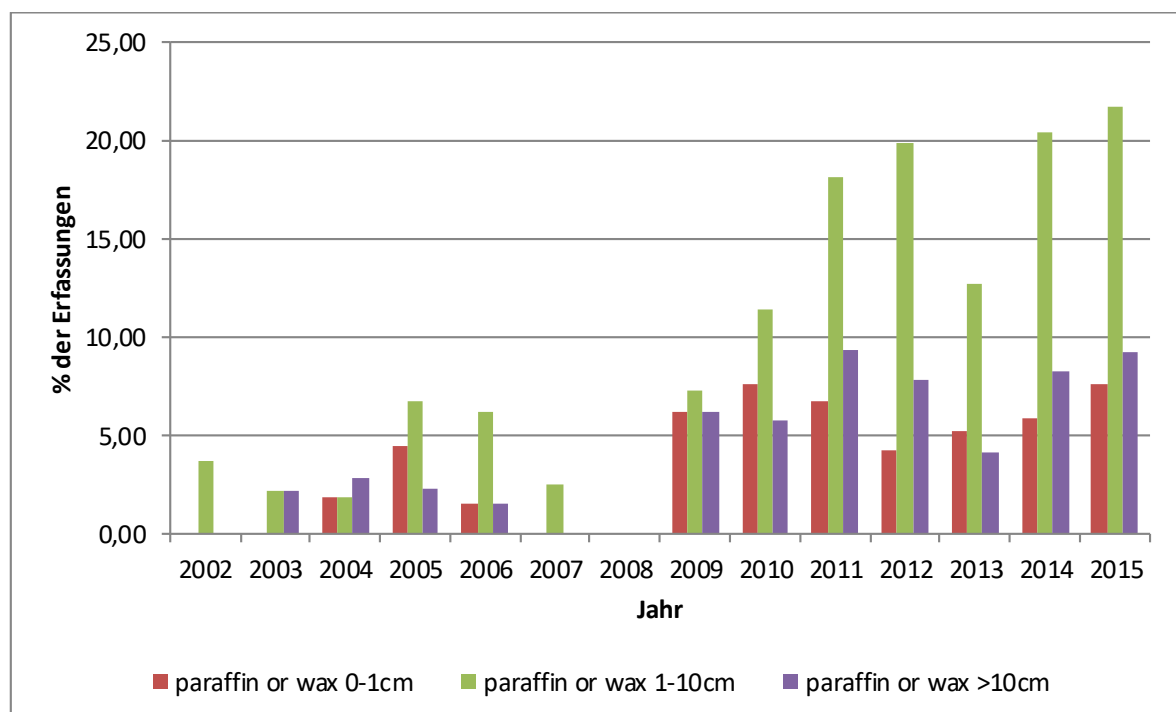


Abb. 30: Prozentualer Anteil aller OSPAR-Strandmüll-Erhebungen pro Jahr in der OSPAR-Region mit Funden von Paraffin. Zugrunde liegen Strände mit Paraffinfunden aus folgenden Ländern: BE, DK, F, ES, UK, SE, PRT, NL, NO, DE (Quelle: OSPAR EIHA 2017).

Auch Suaria et al. (2018) haben die gesamten OSPAR-Strandmülldaten ausgewertet, allerdings über den geringfügig größeren Zeitraum von 2001 - 2016. Sie zeigen, dass bei rund 13 % der 2.824 Erfassungen an 151 Stränden Paraffin- oder Wachsteile gefunden wurden. Die überwiegende Mehrheit dieser Verunreinigungen stammen aus der Nordseeregion, die meisten u.a. von deut-

schen Stränden. Außerdem nach Suaria et al (2018) schien es im 16-jährigen Betrachtungszeitraum eine stark zunehmende Belastung zu geben. Nur 8,9 % aller Befunde entfielen auf die ersten 10 Jahre der Beobachtung, über 91 % hingegen auf die letzten 6 Jahre. Die mit der vorliegenden Studie betrachteten deutschen Nordseestrände (2002-2021) fügen sich als ein Teil des OSPAR-Monitoringprogramms in das Bild ein (Suaria et al. 2018). Der Anteil von Erfassungen mit Paraffin-funden fällt mit 24 % fast doppelt so hoch im Vergleich zum Durchschnitt der Strände des Nord-Ostatlantiks aus, was die Situation deutscher Nordseestrände als ein Belastungsschwerpunkt im OSPAR-Gebiet bestätigt. Auch war die Anzahl der Paraffinteile pro Erfassung und die Anzahl der Erfassungen mit Paraffinteilen in den letzten zehn Jahren höher als in denen davor.

Einschränkend für die Eignung der Methode sei erwähnt, dass aufgrund der geringen erfassten Anzahlen und der vielen Nullwerte, die Daten der OSPAR-Strandmüllfassung nur bedingt statistisch ausgewertet werden können. Dies zeigt z.B. die statistische Auswertung der Daten mit L-Perm (s. Anlage 11 im Anhang): das korrigierte Bestimmtheitsmaß (adjusted R^2) ist ein Gütemaß für das Modell. Obwohl einige signifikante Entwicklungen nachgewiesen werden konnten, ist die Güte der Modelle als schlecht einzustufen (adjusted R^2 nahe 0).



Abb. 31: Schwierigkeit der Identifizierung von kleinen Paraffinstücken auf einem Sandstrand mit kleinen Steinen. Auf dem Bild sind sowohl Steine als auch Paraffine abgebildet.

2.5.1 Einschätzung der Ergebnisse

Die Qualität der visuellen Erfassung der Anzahl von Paraffinstücken an Stränden hängt mit der Größe der Fundstücke zusammen. Bei einer geringen Anzahl von Paraffinteilen und relativ großen (> 1 cm) Fundstücken wird die OSPAR-Methode als effektiv eingeschätzt. Hingegen wird die Anzahl kleiner Paraffinstücke vermutlich unterschätzt, da die Stücke im Sand und auf der großen zu beurteilenden Fläche schwer zu sehen sind (Abb. 31). Die Trendanalyse von Paraffin wird aufgrund methodologischer Schwächen bisher von anderen Autoren als nicht geeignet erachtet (Boonstra & Hougee 2018). Zur Steigerung der Qualität der OSPAR-Methode für die Erfassung von Paraffinen

an Stränden müsste sie angepasst werden. Es wäre denkbar, eine untere Größengrenze für die Paraffin- und Wachsstücke einzuführen, die in die Zählungen einbezogen werden sollen.

Das zumeist geringe Auftreten von Paraffin, das mit der OSPAR-Methode an allen Messstellen erfasst wurde, einhergehend mit der hohen Variabilität der Daten bedeutet, dass lange Zeitreihen notwendig sind, um statistisch signifikante Veränderungen in der Belastung zu erkennen. Die Methode in ihrer jetzigen Form liefert aktuell somit wenig belastbare Daten, um zukünftig Veränderungen des Vorkommens von Paraffinen an Stränden für die MSRL bewerten zu können. Als mögliche Ansätze um die Aussagekraft der Daten zu optimieren seien häufigere Erhebungen an demselben Standort, die Erfassung eines größeren Bereichs während der Erhebung oder Erhebungen an einer größeren Anzahl von Standorten genannt. Der dafür erforderliche erhebliche Mehraufwand müsste mit anderen möglichen Methoden abgeglichen werden.

2.6 Disperse Belastung: Zählrahmen-Erfassung

2.6.1 Einleitung und Aufgabe

Gegenwärtig gibt es in Deutschland kein standardisiertes Protokoll für ein quantitatives Monitoring von Paraffin am Strand außer den Schätzungen im Rahmen des Strandmüllmonitorings. Mit dem im folgenden Text beschriebenen Ansatz soll diese Lücke geschlossen und Informationen zur dispersen Belastung zu Paraffinen am Strand erhoben werden. Der Ansatz konzentriert sich auf die Oberfläche von sandigen Stränden mittels eines Zählrahmens. Zählrahmen werden in der Ökologie seit langem als etablierte Methode eingesetzt. Die Eignung der Methode für die Erfassung von Paraffinen wird hier erstmals getestet.

Ziel der Methode ist es quantitative Daten über Vorkommen und Mengen sowie chemische Zusammensetzung von Strand-Anspülungen von Paraffin zu erhalten. Die Daten sollen Aufschluss über die räumliche und zeitliche Verteilung an Stränden von Nord- und Ostsee geben.

An der Erprobung der Zählrahmenmethode waren an der Nordseeküste in Schleswig-Holstein der LKN.SH, in Niedersachsen der NLWKN und an der Ostseeküste in Mecklenburg-Vorpommern das LUNG M-V beteiligt. In Mecklenburg-Vorpommern wurde die Erfassung an die Firma bioplan vergeben. Die chemische Analyse der Funde wurde vom BSH durchgeführt. Die Auswertung aller Daten erfolgte durch die Firma BioConsult.

2.6.2 Methodik

2.6.2.1 Konzept

Vor Beginn der eigentlichen Untersuchung zur Überprüfung und Klärung letzter offener Fragen wurde von den Projektpartnern der Zählrahmen-Erfassung ein gemeinsamer Praxis-Test auf Sylt am 22/23.10.2019 durchgeführt (Abb. 32).



Abb. 32: Praxistest auf Sylt im Oktober 2019

An Nord- und Ostsee wurde für die Erfassung der saisonalen Variation, in Anlehnung an das OSPAR-Strandmüllmonitoring, ein standardisiertes Intervall von drei Monaten gewählt. Die Erfassung erfolgte an allen Stränden möglichst zu folgenden Zeiten über einen Zeitraum von 2 Jahren (2020-2021):

- Winter: Mitte Dezember - Mitte Januar
- Frühjahr: April
- Sommer: Mitte Juni – Mitte Juli
- Herbst: Mitte September - Mitte Oktober

An Nord- und Ostsee wurden für die Erfassung Zählrahmen einer Abmessung von 1x1 m verwendet (Abb. 33). Es wurden alle mit bloßem Auge erkennbaren Paraffinteeile (i.d.R. > 5 mm) berücksichtigt. Alle Funde wurden von der Strandoberfläche abgesammelt, gezählt und das Feuchtgewicht gewogen. Die einzelnen Klumpen wurden anhand ihres Aussehens und ihrer Beschaffenheit verschiedenen Fraktionen zugewiesen. Vor der Wiegung wurden Sandanhaftungen minimiert. Für die Wiegung wurde eine Feinwaage verwendet und die Angabe auf 1 g genau aufgenommen. Nullfunde wurden ebenfalls dokumentiert.



Abb. 33: Eingesetzte Zählrahmen

Für die chemische Analyse wurde bei kleineren Mengen die Gesamtprobe in Schnappdeckelgläser überführt. Bei großen Mengen wurde die Gesamtmenge gewogen und eine Unterprobe entnommen. Dabei wurde darauf geachtet, dass alle optisch unterschiedlichen Partikel (z.B. weiße, gräuliche, orangene Färbung) erfasst wurden. Für Angaben zur weiteren Methodik der chemischen Analyse s. Kap. 2.3.2.

Das Erfassungsdesign war an allen beprobten Stränden identisch. Die Erhebungen erfolgten nach dem Prinzip der geschichteten Zufallsstichproben („stratified random design“). In einem ersten Schritt wurden dazu an Nord- und Ostsee „Strände“ mit einer Länge von 1000 m ausgewählt. Alle Strände wurden auf Grundlage folgender Charakteristika ausgewählt: 1) seeexponiert, 2) sandiges Substrat, 3) einfacher Zugang, 4) keine Strandaufspülungen. Die Strände werden als Replikate für die Ermittlung der großräumigen Variabilität an der deutschen Nord- bzw. Ostseeküste eingestuft. An der Nordsee wurden 4 Strände beprobt (Juist-Hammersee, Juist-Wilhelmshöhe, Baltrum, Sylt-Hörnum), an der Ostsee 2 Strände (Darß-Rehberge, Rügen-Nordstrand). Auf Juist wurden 2 Strände untersucht, da sie jeweils sehr unterschiedliche Bedingungen widerspiegeln. Für Details zu den jeweiligen Stränden wird auf den Absatz zu Nord- und Ostsee verwiesen.

Jeder Strand (1000 m) wurde unterteilt in zehn 100 m breite „Strandabschnitte“, von denen vier der zehn möglichen Strandabschnitte per Zufallsgenerator für die Beprobung ausgewählt wurden. Die Auswahl der Strandabschnitte erfolgte einmalig vor Beginn der Untersuchungen und blieb im Verlauf der gesamten Untersuchung gleich. Dies erlaubt die Bestimmung der Variabilität des Vorkommens von Paraffin innerhalb des Faktors „Strand“. Jeder Strandabschnitt wird in drei gleichbreite parallel zur Wasserlinie verlaufende „Zonen“ unterteilt: unterer, mittlerer und oberer Strand. Der „untere Strand“ beginnt an der mittleren Hochwasserlinie (MHW), der „obere Strand“ endet am Kliff-/Dünenfuß. Es wird darauf hingewiesen, dass die Strände an der Nordseeküste dynamisch sind und sich die MHW-Linie je nach Wetterlage am Strand nach oben oder unten verlagern kann, z.B. aufgrund von Stürmen.

Innerhalb jeder Zone werden drei „Stationen“ mittels Zählrahmen wie oben beschrieben beprobt. Um die Stationen zufällig auszuwählen, wurde jeder Strandabschnitt in ein Raster von 10x10 m Flächen unterteilt. Vor jeder Beprobung wurden die Stationen zufällig ausgewählt (per Zufallsgenerator), um die Repräsentativität der Erfassung für die Zonen zu gewährleisten.

Zusätzlich werden in jedem Strandabschnitt im Verlauf der Beprobung ggf. identifizierte Belastungsschwerpunkte („Hotspots“) auf drei Stationen („Hotspot-Stationen“) beprobt. Dabei ist die „Zone“ unerheblich. Sollten keine „Hotspots“ identifiziert werden können, entfallen diese Proben.

Eine exemplarische schematische Übersicht des Erfassungsdesigns wird in Abb. 34 gegeben. Eine Ansicht des verwendeten Protokolls ist in der Anlage 12 im Anhang aufgeführt.

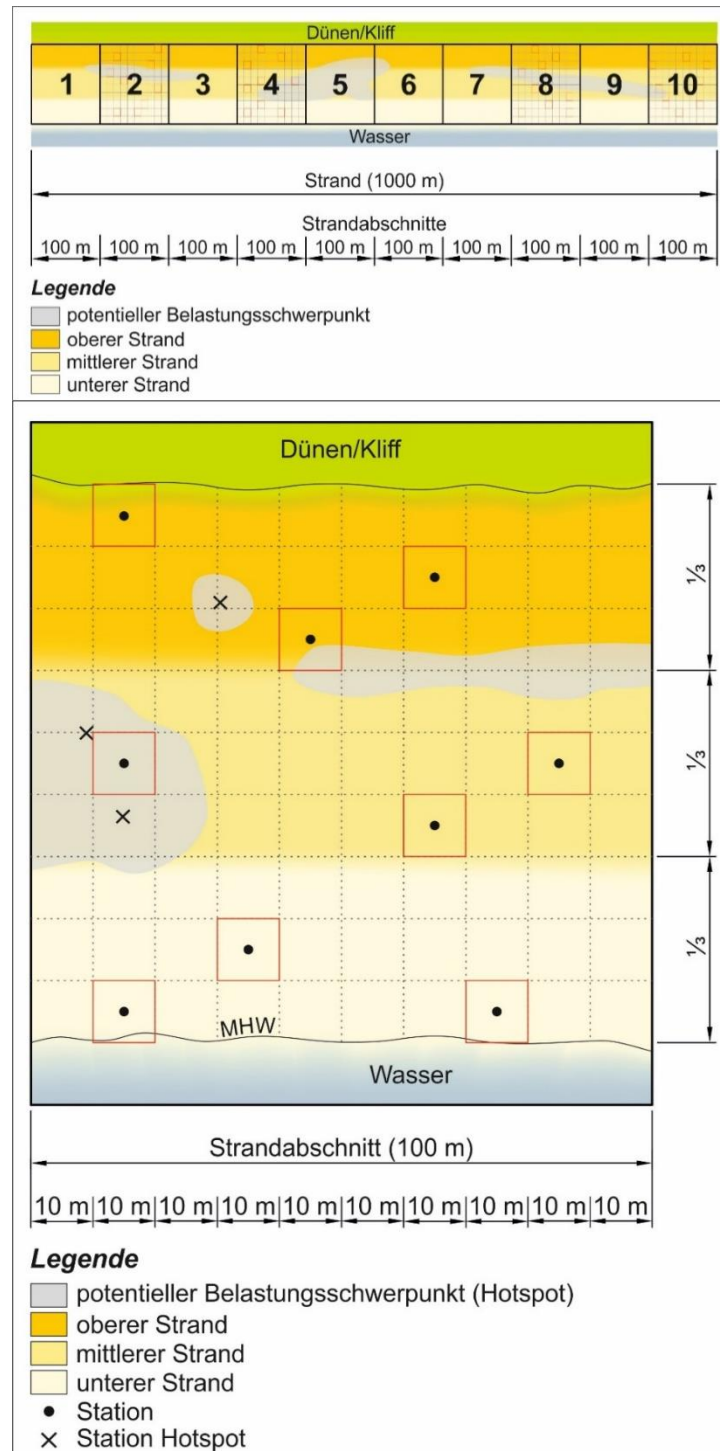


Abb. 34: Schematischer Strandabschnitt mit ausgewählten Zonen und Stationen.

Zusätzlich wurde, um die Methode ggf. zu optimieren, der Einsatz von Schwarzlicht zur verbesserten Detektion von Paraffinen erprobt; Ansatz und Ergebnisse sind am Ende dieses Kapitels dargestellt.

2.6.2.2 Probenahmestrände Nordsee

An der Nordsee wurden vier Strände beprobt: einer auf der Insel Sylt, zwei auf der Inseln Juist und Baltrum (Abb. 35).

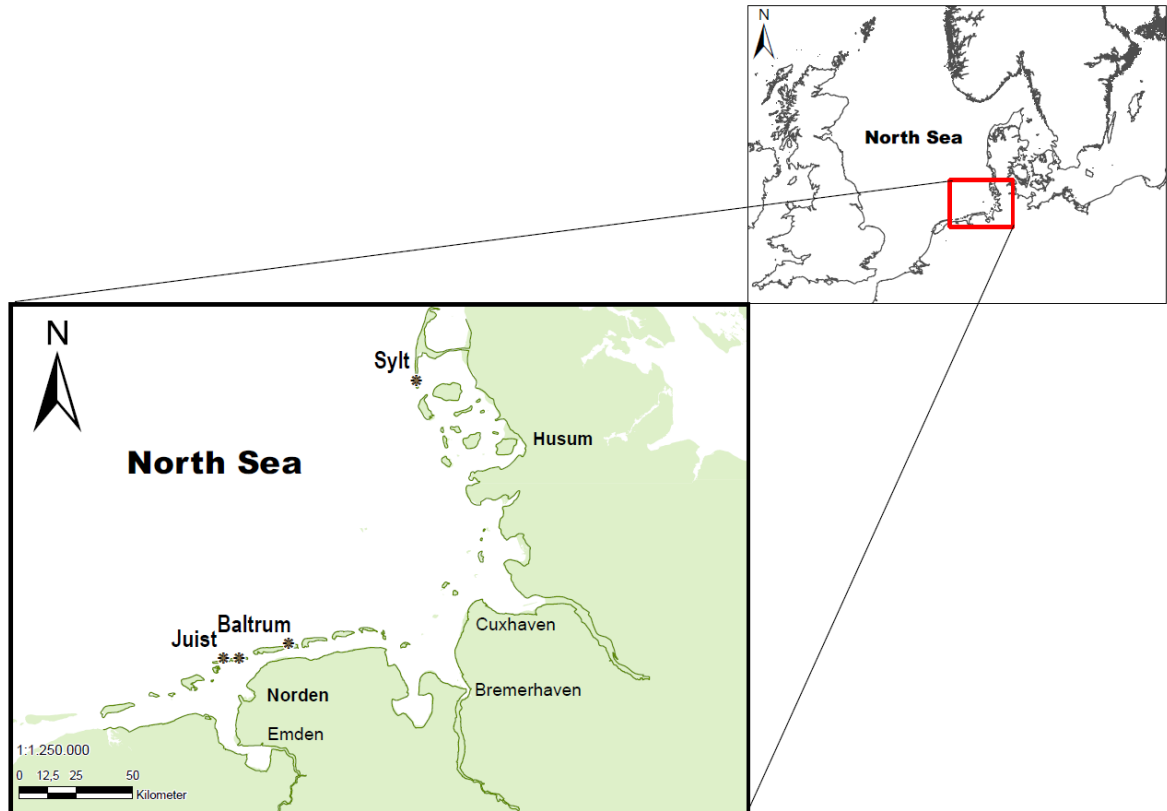


Abb. 35: Lage der beprobten Strände an der Nordsee (Sylt, Juist - 2 Strände, Baltrum)

Ein Überblick der Zeitpunkte der Probenahme an allen an der Nordsee beprobten Stränden ist in Tab. 12 gegeben.

Tab. 12: Überblick Beprobungstermine an der Nordsee.
*: Einteilung der Jahre entsprechend OSPAR

Strand	OSPAR-Jahr*	Strandabschnitt	Saison / Datum			
			Winter	Frühjahr	Sommer	Herbst
Juist-Hammersee	2020	3, 4, 6, 10		29.04.2020	27.07.2020	15.10.2020
	2021	3, 4, 6, 10	15.12.2020	21.04.2021	26.07.2021	15.10.2021
Juist- Wilhelmshöhe	2020	1, 3, 8, 9			3.8.2020	13.10.2020
	2021	1, 3, 8, 9	11.12.2020	21.04.2021	26.07.2021	Krankheitsbedingt entfallen
Baltrum	2020	1, 2, 5, 10			30.07.2020	23.09.2020
	2021	1, 2, 5, 10	17.12.2020	22.04.2021	14.05.2021	05.10.2021
Sylt	2020	1, 3, 6, 8		27.04.2020	08.07.2020	29.09.2020
	2021	1, 3, 6, 8	12.01.2021	16.04.2021	29.06.2021	12.10.2021

Sylt

Die Insel Sylt liegt an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste an der Grenze zu Dänemark. Die Westküste der Insel ist ein durchgehender Sandstrand von etwa 38 km Länge. Das Untersuchungsgebiet befindet sich am südlichen Ende dieses Strandes, etwa 4 km nördlich der Stadt Hörnum. Der Strand, an dem sich das Untersuchungsgebiet befindet, ist nach Westen hin zur Nordsee ausgerichtet. Der Strand ist durch eine leichte Erosion charakterisiert.

Eine Übersicht der Lage des Strandes und den ausgewählten 100-m Strandabschnitten 1, 3, 6 und 8 auf Sylt ist in Abb. 36 gegeben, ein Foto des Untersuchungsstrandes in Abb. 37. Eine Übersicht der Erfassungszeitpunkte für Sylt ist in Tab. 12 gegeben. Es wird darauf hingewiesen, dass vor der Erfassung am 29.06.2021 eine Sandaufspülung im Bereich Hörnum im Abschnitt 1 durchgeführt wurde sowie eine Einbringung in den Vorstrand. Auswirkungen auf die Zählrahmen-Erfassungen können nicht ausgeschlossen werden.

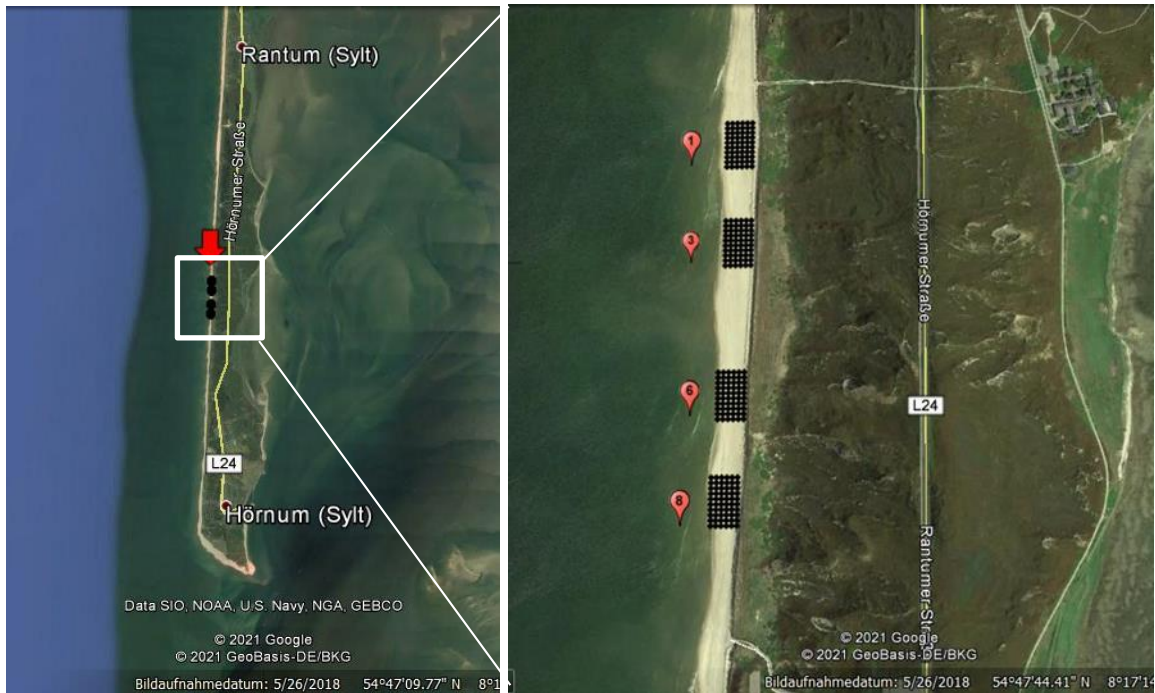


Abb. 36: Lage des Strands zwischen Hörnum und Rantum auf Sylt mit den vier ausgewählten 100-m Strandabschnitten.



Abb. 37: Die ein Kilometer lange Strandstrecke auf Sylt von Norden aus fotografiert. Die Strecke beginnt an dem Turm, der hinten links im Bild zu sehen ist.

Juist (Juist-Wilhelmshöhe und Juist-Hammersee)

Die Insel Juist ist ausgewählt worden, da dort auch das OSPAR-Strandmüllmonitoring durchgeführt wird. Es wurden dort zwei Strände mit jeweils unterschiedlichen Charakteristika ausgewählt.

Die Lage der Strände Juist-Wilhelmshöhe und Juist-Hammersee ist in Abb. 38 wiedergegeben. Eine exemplarische Übersicht der Stationen für die Beprobung in den ausgewählten 100-m Strandabschnitten auf Juist-Wilhelmshöhe ist in Abb. 39 und Juist-Hammersee in Abb. 40 wiedergegeben. Eine Ansicht der Untersuchungsstrände findet sich in Abb. 41 und das Beispiel einer Beprobung in Abb. 42. Eine Auflistung der Erfassungszeitpunkte für Juist-Wilhelmshöhe und Juist-Hammersee ist in Tab. 12 gegeben.

Der Strand Juist-Wilhelmshöhe ist geprägt durch eine ausgeglichene Sandbilanz und ist damit stabil. Der Strand ist hier relativ breit, die Strandbreite beträgt 140-150 m. Der Strand Juist-Hammersee ist dagegen mit 50 bis 60 m Breite relativ schmal. Er war in der Vergangenheit durch eine stabile Sand-Bilanz geprägt, heute ist er vor allem im westlichen Bereich durch eine leichte Erosion charakterisiert.



Abb. 38: Lage der beiden ausgewählten Strände (1000m-Abschnitt) auf Juist.

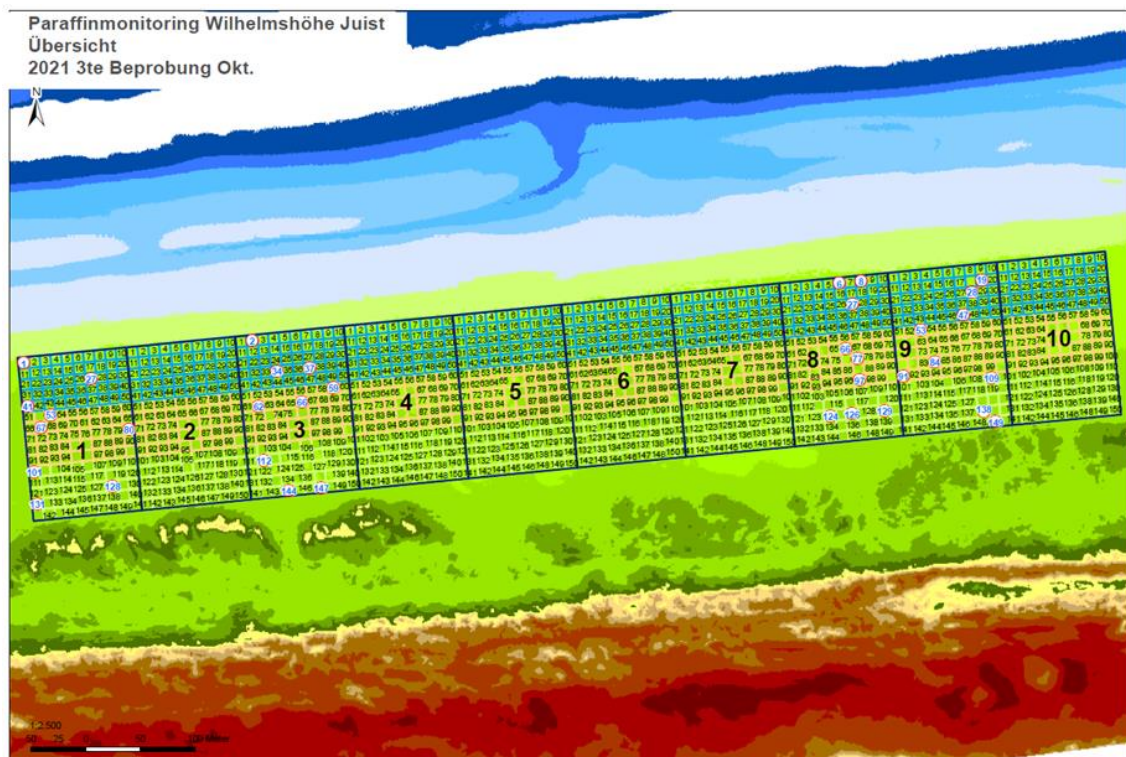




Abb. 39: Strand (1000 m) bei Juist- Wilhelmshöhe mit den vier ausgewählten Strandabschnitten (1, 3, 8 und 9) und jeweiligem Stationsraster (Beprobungspunkte), Kartengrundlage: Höhenmodell auf Grundlage von Laserscanndaten.



Abb. 40: Strand (1000 m) Juist- Hammersee mit den vier ausgewählten Strandabschnitten (3, 4, 6, 10) und jeweiligem Stationsraster (Beprobungspunkte), Kartengrundlage: Höhenmodell auf Grundlage von Laserscandaten.



Abb. 41: Links: Strand Juist-Hammersee Blick Richtung Westen, Rechts: Strand Juist-Wilhelmshöhe Blick Richtung Westen.


Beispiel: Beprobung Nr. 1 30.04.2020
Strand: Juist Hammersee **Strandabschnitt: 3**


Vier Strandabschnitt (100 m) wurde zu Beginn der Untersuchungen aus der 1000 m Strandstrecke zufällig ausgewählt und bleibt über den gesamten Untersuchungszeitraum bestehen. Bei diesem Beispiel handelt es sich um den **Strandabschnitt Nr. 3**.


In den Strandabschnitten werden in den drei Zonen (u, m, u) jeweils 3 Stationen (10x10 m) zufallsbedingt vor jedem Probenstermin neu ausgewählt. Innerhalb der Stationen (10x10 m) wird jeweils der **1 m² Rahmen** ausgelegt.

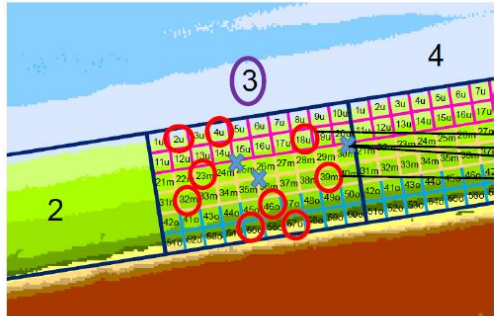
An den Belastungsschwerpunkten werden innerhalb des Strandabschnittes **zusätzliche 3 Probenstellen (hs)** festgelegt, die in der Spalte „Station“ mit den Nr. 1 bis 3 eingetragen werden.

Die Proben Nr., das Datum und die Erfassungstrecke werden auf dem **Probenbehälter** vermerkt und mit Tesafilm überklebt, damit die Beschriftung nicht verloren geht.

 = Strandabschnitt

 = Stationen

 hotspot: Nr. 1 bis 3



Probe N 1: Station 18, unterer Strand (u), es wurde nichts gefunden, deshalb Leerprobe

Probe Nr.2: Beprobung an Belastungsschwerpunkt (hs) Nr. 1, zwei visuell unterscheidbare Paraffinarten, daher zwei Fraktionen, Stückzahl und Gewicht fraktionsweise ermittelt, Koordinaten per GPS ermittelt und eingetragen

Probe Nr.3: Station 39, mittlerer Strand (m), nur eine Paraffinart erkennbar

Seite: 2/4

Abb. 42: Beispiel einer Beprobung auf Juist.

Baltrum

Auf der Insel Baltrum ist der untersuchte Strandabschnitt durch eine leichte Sandablagerung geprägt. Die Hauptströmung entlang der drei Strände verläuft von Westen nach Osten. Die Strandbreite variiert zwischen 60 m und 210 m. Die touristische Nutzung des Strandes ist von mittlerer Intensität, da er etwas weiter entfernt von dem Hauptbadestrand liegt. Die Lage des Strandes ist in Abb. 43 wiedergegeben.



Abb. 43: Lage des ausgewählten Strandes (1000m-Abschnitt) auf Baltrum

Eine exemplarische Übersicht der Stationen, die in den ausgewählten 100-m Strandabschnitten auf Baltrum beprobt wurden ist in Abb. 44 gegeben, ein Foto des Untersuchungsstrandes in Abb. 45. Eine Übersicht der Erfassungszeitpunkte für Baltrum ist in Tab. 12 aufgelistet.

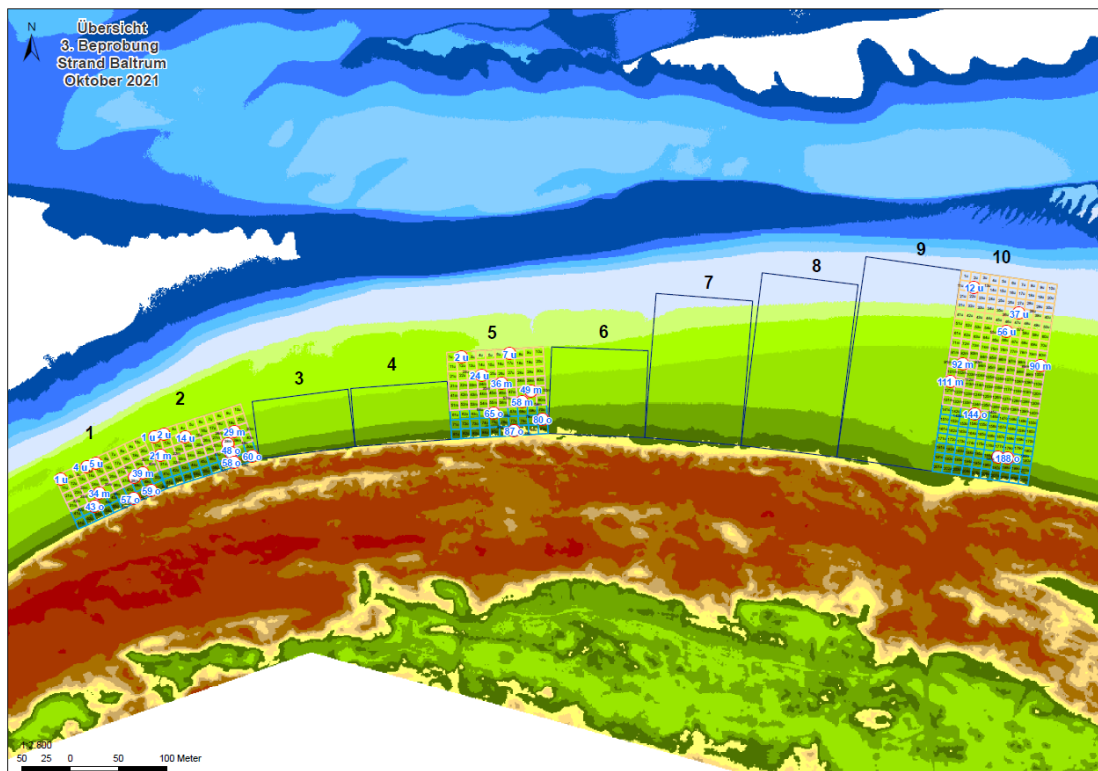


Abb. 44: Strand (1000 m) auf Baltrum mit dem mit den vier ausgewählten Strandabschnitten (1, 2, 5, 10) und jeweiligem Stationsraster (Beprobungspunkten). Kartengrundlage: Höhenmodell auf Grundlage von Laserscandaten.



Abb. 45: Blick über den Strand Baltrum Richtung Osten.

2.6.2.3 Probenahmestrände Ostsee

An der Ostsee wurden zwei Strände beprobt: Darß-Rehberge und Rügen-Nordstrand (Abb. 46).



Abb. 46: Karte der an der Ostsee beprobten Strände (Darß-Rehberge und Rügen-Nordstrand).

Eine Übersicht der Erfassungszeitpunkte zeigt Tab. 13.

Tab. 13: Überblick der Beprobungstermine an der Ostsee.
*: Einteilung der Jahre entsprechend OSPAR

Strand	Jahr*	Strandabschnitt	Saison / Datum			
			Winter	Frühjahr	Sommer	Herbst
Darß-Rehberge	2020	2, 7, 5, 10		28.05.2020	18.08.2020	26.10.2020
	2021		20.01.2021	21.04.2021	23.07.2021	22.10.2021
Rügen-Nordstrand	2020	1, 3, 8, 9		29.05.2020	19.08.2020	27.10.2020
	2021		21.01.2021	22.04.2021	22.07.2021	22.10.2021

Darß-Rehberge

Der Darß ist der mittlere Teil der in Mecklenburg-Vorpommern zwischen Rostock und Stralsund in die Ostsee ragenden Halbinsel Fischland-Darß-Zingst. Die zwischen Dierhagen und Darßer Ort nach Nordwesten ausgerichtete Außenküste der Halbinsel weist einen durchgehenden Sandstrand auf. Hier liegt rund 3 km nordöstlich von Ahrenshoop das Untersuchungsgebiet im Nationalpark Vorpommersche Boddenlandschaft. Der Strand wird rückwärtig von Dünen begrenzt.

Die Lage des ausgewählten Strandes inklusive der auf dem Darß ausgewählten 100 -m Strandabschnitte 2, 5, 7 und 10 ist in Abb. 47 und Abb. 48 gegeben, ein Foto des Untersuchungsstrandes in Abb. 49. Eine Übersicht der Erfassungszeitpunkte zeigt Tab. 13.



Abb. 47: Lage des ausgewählten Strandes mit den Strandabschnitten auf dem Darß zwischen Ahrenshoop Darßer Ort. Kartengrundlage: © GeoBasis-DE/M-V 2021

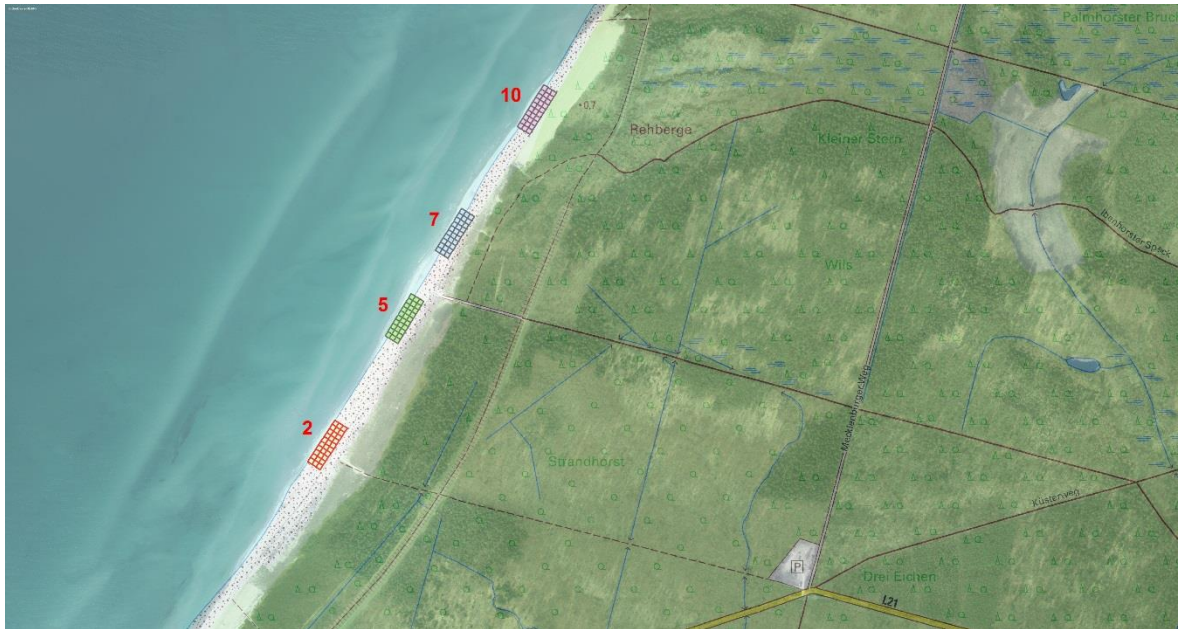


Abb. 48: Lage der ausgewählten 100-m-Strandabschnitte 2, 5, 7 und 10 auf dem Darß.
Kartengrundlage: © GeoBasis-DE/M-V 2021



Abb. 49: Blick über den Strand Darß-Rehberge von Nordost. Es sind deutlich zwei Spülsäume zu erkennen.
Foto: A. Wizemann, bioplan

Rügen-Nordstrand

Das Untersuchungsgebiet Nordstrand befindet sich in Mecklenburg-Vorpommern im äußersten Norden der Ostseeinsel Rügen. Die nördlich von Putgarten, zwischen Varnkevitz und Kap Arkona, nach Norden ausgerichtete Steilküste weist einen nur mehr oder weniger schmalen z. T. auch unterbrochenen Sandstrand auf. Partiiell sind steinig-kiesige Areale vorhanden und am Kliffuß Dünenstrukturen entwickelt.

Eine Übersicht der ausgewählten 100-m Strandabschnitte 2, 3, 4 und 9 auf Rügen ist in Abb. 50 und Abb. 51 gegeben, ein Foto des Untersuchungsstrandes in Abb. 52. Eine Übersicht der Erfassungszeitpunkte zeigt Tab. 13.



Abb. 50: Lage des ausgewählten Strandes mit den Strandabschnitten auf Rügen nördlich Putgarten zwischen Varnkevitze und Kap Arkona (Kartengrundlage: © GeoBasis-DE/M-V 2021).



Abb. 51: Lage der ausgewählten 100-m Strandabschnitte 2, 3, 4 und 9 auf Rügen (Kartengrundlage: © GeoBasis-DE/M-V 2021).



Abb. 52: Blick über den Strand Rügen-Nordstrand Richtung Osten
Foto: A. Witzmann, bioplan

2.6.2.4 Untersuchung zur Eignung von UV-A-Licht (Schwarzlicht)

UV-A-Strahlung (315-380 nm) wird umgangssprachlich auch als Schwarzlicht bezeichnet. Schwarzlicht wird durch Niederdruck-Gasentladungslampen erzeugt. Mithilfe fluoreszierender Stoffe kann dieses UV-Licht sichtbar gemacht werden. Werden Paraffine und ähnliche Stoffe im Dunkeln mit Schwarzlicht angestrahlt, beginnen viele von Ihnen (nicht alle) zu leuchten (Abb. 54). Es wurde angedacht sich diese Eigenschaft zunutze zu machen, um die Zählrahmen-Methode zu verifizieren und ggf. zu optimieren - insbesondere für die Erkennung von kleinen oder teilweise mit Sand überdeckten Paraffinpartikeln. Es wurde postuliert, dass Zählungen bei Nacht die Findungswahrscheinlichkeit erhöht. Daher sollte überprüft werden, ob am Tag tatsächlich alle Paraffinstücke bei der visuellen Beobachtung der Strandoberfläche erkannt und abgesammelt wurden.

Die Methode wurde exemplarisch am 22./23.10.2019 am Strand von List auf Sylt getestet. Dazu wurde auf ausgewählten, mit dem Zählrahmen abgegrenzten Flächen die Partikelanzahl am Tag erfasst und anschließend auf derselben Fläche bei Nacht unter Verwendung von Schwarzlicht. Es wurden neun 1 mal 1 m große Quadrate angelegt (Abb. 53) und die Anzahl und das Gewicht der Paraffinstücke bei Tageslicht ermittelt. Die Paraffinstücke wurden entfernt. Dieselben Quadrate wurden am selben Tag im Dunkeln erneut untersucht und die Anzahl der unter Schwarzlicht sichtbaren Paraffinstücke und deren Gewicht ermittelt (Tab. 14). Die Quadrate befanden sich im oberen Bereich des Strandes in der Mitte des Strandes und im unteren Bereich des Strandes. Eines der im unteren Bereich des Strandes ausgewählten Quadrate lag zum geplanten Zeitpunkt der nächtlichen Zählung unter Wasser.

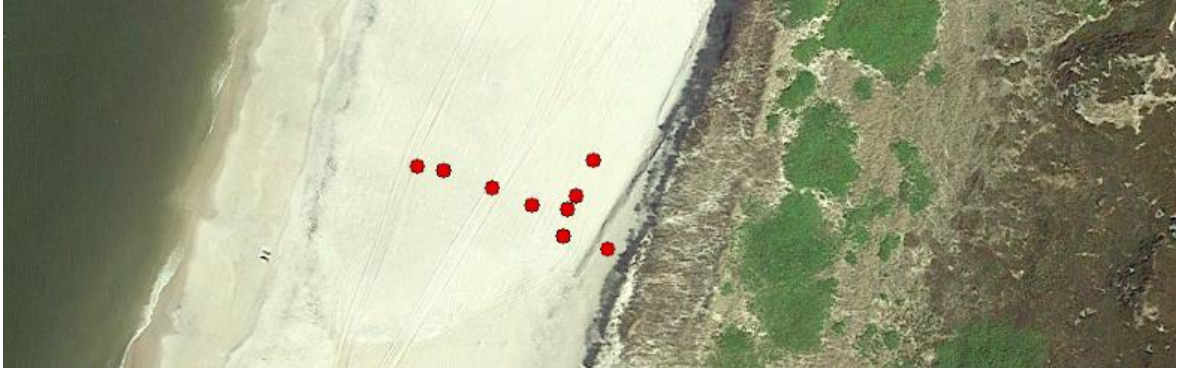


Abb. 53: Lage der Testflächen am Strand von Sylt.



Abb. 54: Paraffin am Strand in der Nacht bei Beleuchtung mit UV-Licht

Die Ergebnisse legen nahe, dass die tatsächliche Menge an angespültem Paraffin durch optische Erfassungen am Tag leicht unterschätzt wird. Vor allem sehr kleine Partikel oder Partikel die z. T. eingesandet sind können übersehen werden, da sie optisch schwierig von Sandkörnern zu unterscheiden sind. Bei der Interpretation der Ergebnisse der Zählrahmen-Methode ist dies zu berücksichtigen.

Die vollständige Zählung grundsätzlich bei Nacht durchzuführen wurde aus Arbeitsschutzgründen verworfen, da UV-Licht ein Gesundheitsrisiko darstellen kann. Eine dauerhafte Einstrahlung kann z.B. zu Bindehautentzündungen und Trübung der Hornhaut bis hin zu Katarakt führen.

Obwohl eine vollständige Erfassung der Partikel bei Nacht für die Zählrahmen-Methode aus den genannten gesundheitlichen Gründen ausgeschlossen wurde, ist Schwarzlicht aus Sicht der Autoren gut geeignet, um sich eine Vorstellung der räumlichen Verteilung am Strand zu machen. Dies gilt insbesondere für kleinere Partikel, die ggf. sonst übersehen werden. Die Methode sollte daher aus Sicht der Autoren ergänzend zur Zählrahmen-Methode eingesetzt werden. Eine Begehung des Strandes bei Nacht unter Verwendung von Schwarzlicht vor Beginn der Erfassung mit der Zählrahmen-Methode wird daher empfohlen. Darüber hinaus können damit Nullfunde verifiziert werden.

Die Ergebnisse sind in Tab. 14 dargestellt. Der Vergleich der Zählungen von Paraffin bei Tag und bei Nacht hat ergeben, dass im Durchschnitt etwa 24 % (0-54 %) der Paraffinstücke auf der Strandoberfläche während der Tageslichtzählung nicht entdeckt wurden. Dies entsprach im Durchschnitt etwa 11 % (0-40 %) des Gewichts der Paraffinstücke. Bei einigen der Paraffinstücke ragte nur ein kleiner, bei Tag fast unsichtbarer Teil des Klumpens durch die Strandoberfläche, wie kleine Eisberge im Sand, andere Stücke waren sehr klein und daher am Tag von Sandkörnern nicht zu unterscheiden.

Tab. 14: Anzahl und Gesamtgewicht der Paraffinstücke an acht Probestellen am Strand von List auf Sylt am 22.10.2019 am Tag und in der Nacht mit Hilfe einer Schwarzlichtlampe. Nach der Erfassung am Tag wurden die Paraffinteile entfernt. Legende: MS=mittlerer Strandbereich, OS=oberer Strandbereich, US=unterer Strandbereich, * Hinweis: Fläche war überspült in der Nacht, d.h. keine Zählung möglich

Nr. Testfläche	Tag		Nacht		Strandzone	Spülsaum
	Anzahl (N)	Gewicht (g)	Anzahl (N)	Gewicht (g)		
1	12	5,7	6	0,6	MS	Ja
2	18	22,8	21	15	MS	Ja
3	26	15,1	3	0,4	MS	Ja
4	4	0,4	0	0	OS	Nein
5	18	12,7	5	0,2	MS	Nein
6	4	0,3	0	0	OS	Nein
7	3	0,8	2	0,2	OS	Ja
8	2	0,5	1	< 0,1	US	Nein
9	0	0	-*	-	< US	Nein

2.6.3 Ergebnisse

2.6.3.1 Übersicht und Vergleich der Strände

Anzahl

Tab. 15 liefert eine Übersicht zu statistischen Kennwerten der Untersuchung mit Blick auf den Parameter „Anzahl Brocken“ an den verschiedenen Stränden von Nord- und Ostsee. Am Strand JH (Juist Hammersee) wurde mit durchschnittlich ca. 1,7 Brocken/Stichprobe die höchste Anzahl ermittelt; am ebenfalls auf Juist liegenden Strandabschnitt „Wilhelmshöhe“ wurden deutlich geringere Anzahlen erfasst. Die untersuchten Strände auf Baltrum und Sylt wiesen mit Blick auf die Anzahl der Brocken im Vergleich mit Juist „Hammersee“ mäßig hohe Werte auf. Ein Südwest-Nordost-Gradient der Anzahlen oder Gewichte zwischen Juist und Sylt ist nicht zu erkennen. An den Ostseestränden DR und RN wurden keine bzw. fast keine Nachweise erbracht.

Die Unterschiede zwischen den Stränden sind z.T. signifikant (Kruskal Wallis $p < 0.05$). Der Strand JH unterscheidet sich von den Ostseestränden sowie von JW. Bleiben die Ostseestrände aufgrund der dortigen „Nichtfunde“ unberücksichtigt, sind auch nordsee-intern signifikante Unterschiede

vorhanden. Dies betrifft v.a. den Strand JH, der sich von den anderen Orten durch einen deutlich höheren Mittelwert abgrenzt (s. Tab. 15).

Tab. 15: Statistische Kennwerte (jahresübergreifend) zur Zählrahmen-Untersuchung (hier Anzahl Bocken/m²). JH = Juist-Hammersee, JW = Juist Wilhelmshöhe, BA = Baltrum, HÖ = Sylt Hörnum, DR = Darß Rehberge, RN = Rügen Nordstrand. (Messwerte N gesamt = 1.398).

Strand	JH	JW	BA	HÖ	DR	RN
Deskriptive Statistik	Anzahl Bocken	Anzahl Bocken	Anzahl Bocken	Anzahl Bocken	Anzahl Bocken	Anzahl Bocken
Fälle	252	179	214	249	252	252
Mittelwert (MW)	1,69	0,04	0,14	0,19	0,00	0,004
Standardfehler des MW	0,57	0,02	0,04	0,04	0,00	0,00
Varianz	81,23	0,04	0,27	0,42	0,00	0,00
Standard-Abweichung	9,01	0,21	0,52	0,65	0,00	0,06
rel. V.koeffizient(%)	33,7	34,7	26,1	21,8	----	100,0
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	110	1	5	7	0	1
25. Perzentil	0	0	0	0	0	0
Median	0	0	0	0	0	0
75. Perzentil	0	0	0	0	0	0
90. Perzentil	1	0	0	1	0	0
99. Perzentil	49,4	1,0	2,0	2,5	0,0	0,0

Kruskal-Wallis p<0,05

Gewicht

Tab. 16 liefert eine Übersicht zu statistischen Kennwerten der Untersuchung mit Blick auf den Parameter „Gewicht Bocken“. Am Strand JH (Juist Hammersee) wurde mit durchschnittlich 0,57 g/m² das höchste Gewicht ermittelt. An den Ostseestränden DR und RN wurden keine bzw. fast keine Nachweise erbracht. Die Unterschiede zwischen den Stränden sind analog zur Anzahl der Bocken auch mit Blick auf das Gewicht signifikant (s. Tab. 16). Lässt man die Ostseestrände unberücksichtigt, bleiben die Unterschiede zwischen den Nordseestränden aufgrund der auf Juist (Hammersee) im räumlichen Vergleich höheren Werte (schwach) signifikant.

Tab. 16: Statistische Kennwerte zur Paraffin-Untersuchung (hier Gewichtg/m²). JH = Juist Hammersee, JW = Juist Wilhelmshöhe, BA = Baltrum, HÖ = Sylt Hörnum, DR = Darß Rehberge, RN = Rügen Nordstrand. (Messwerte N gesamt = 1.397)

Strand	JH	JW	BA	HÖ	DR	RN
Deskriptive Statistik	Gewicht Bocken g/m² (berechnet)	Gewicht Bocken g/m² (berechnet)	Gewicht Bocken g/m² (berechnet)	Gewicht Bocken g/m² (berechnet)	Gewicht Bocken g/m² (berechnet)	Gewicht Bocken g/m² (berechnet)
Gültige Fälle	252	179	214	248	252	252
Mittelwert	0,57	0,03	0,07	0,29	0,00	0,02
Standardfehler des MW	0,28	0,01	0,02	0,13	0,00	0,02
Varianz	19,72	0,02	0,08	4,35	0,00	0,06
Standard-Abweichung	4,44	0,14	0,29	2,09	0,00	0,25
rel. V.koeffizient(%)	49,29	36,77	26,54	46,28	----	100,00
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	65	1	2,29	31	0	4
25. Perzentil	0	0	0	0	0	0
Median	0	0	0	0	0	0
75. Perzentil	0	0	0	0	0	0
90. Perzentil	0,5	0	0	0,5	0	0
99. Perzentil	17,7	1,0	1,9	6,3	0,0	0,0

Kruskal-Wallis p<0,05

Anzahl vs. Gewicht

Abb. 55 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen Anzahl der Brocken und dem assoziierten Gewicht. Die Ergebnisse zeigen eine mäßige Korrelation zwischen Anzahl und Gewicht, die jedoch wesentlich nur durch die zahlreichen Nullwerte (d.h. Proben ohne Funde) entsteht. Lässt man diese unberücksichtigt, ist ein Zusammenhang kaum noch sichtbar ($R^2 = 0,045$; nicht grafisch dargestellt). Das Ergebnis zeigt, dass die dokumentierten Brocken sehr unterschiedlich groß waren und daher je nach betrachtetem Parameter (Anzahlen oder Gewicht) unterschiedliche Ergebnisse bzgl. der Menge ergeben können.

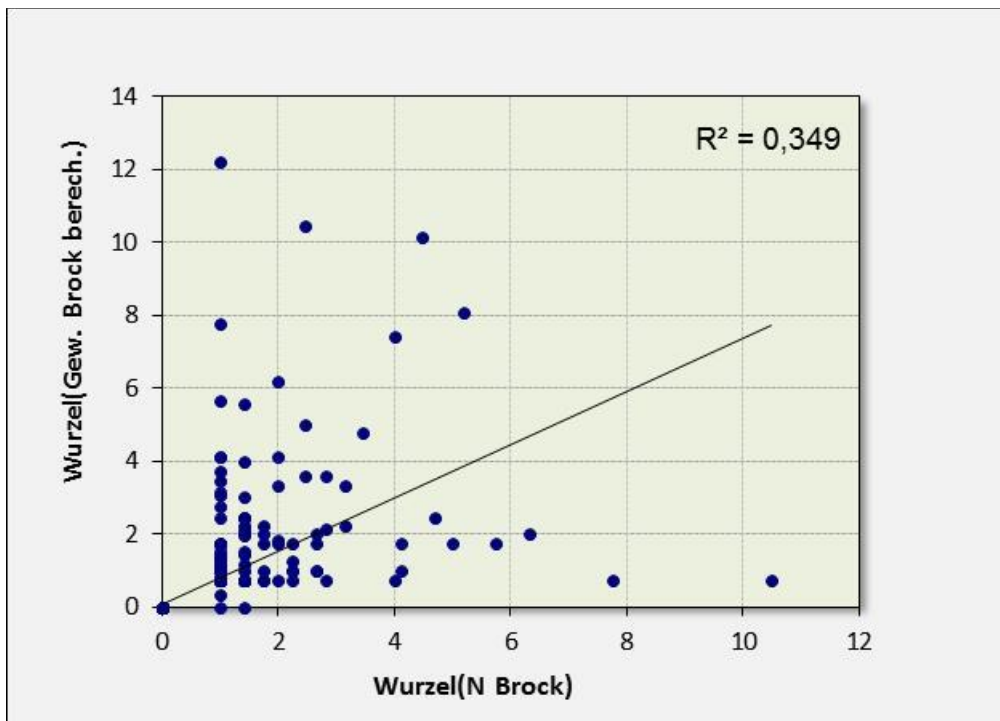


Abb. 55: Zusammenhang zwischen Anzahl erfasster Brocken/ je Station und Gewicht der Brocken. Daten 2020/21, inkl. Hot Spots; Wurzel transformiert. (Nur Nordseestationen Anzahl Messwerte N = 962)

Fundhäufigkeit alle Strände

Abb. 56 (Bild oben) zeigt für die Nordseestrände (alle Daten, keine Differenzierung nach Strand und Untersuchungsjahr), dass in ca. 90 % der Proben ($N_{\text{ges.}} = 895$) keine Brocken nachgewiesen wurden. Ca. 5 % der Proben enthielten 1 – 2 Brocken und weniger als 1 % der Proben wiesen mehr als 3 Brocken auf. Die Hot Spots wurden hier nicht berücksichtigt.

Abb. 56 (Bild unten) zeigt die unterschiedlichen relativen Anteile von „Nullproben“ für die Strände Juist Hammersee (ca. 88 %), Baltrum und Sylt (ca. 92 % bzw. 87 %; ohne Hot Spots). Eine entsprechende Darstellung für die Ostseestrände erfolgt nicht, da in Darß-Rehberge kein Paraffin registriert wurde und in der Probefläche Nordstrand auf Rügen nur in einer von insgesamt 252 Proben Brocken nachgewiesen wurden.

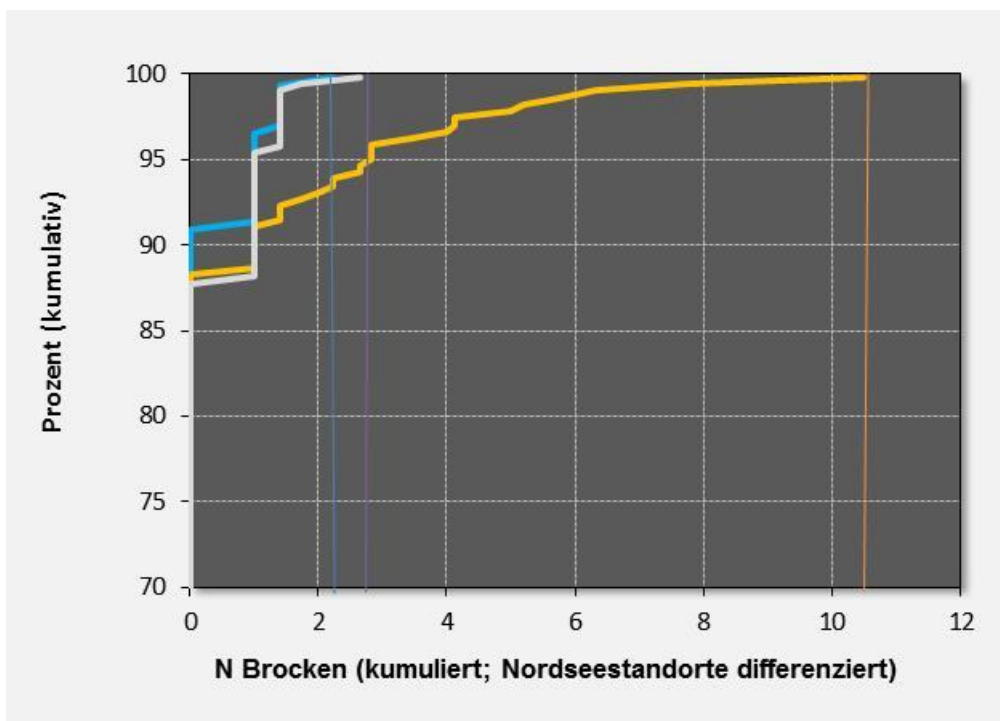
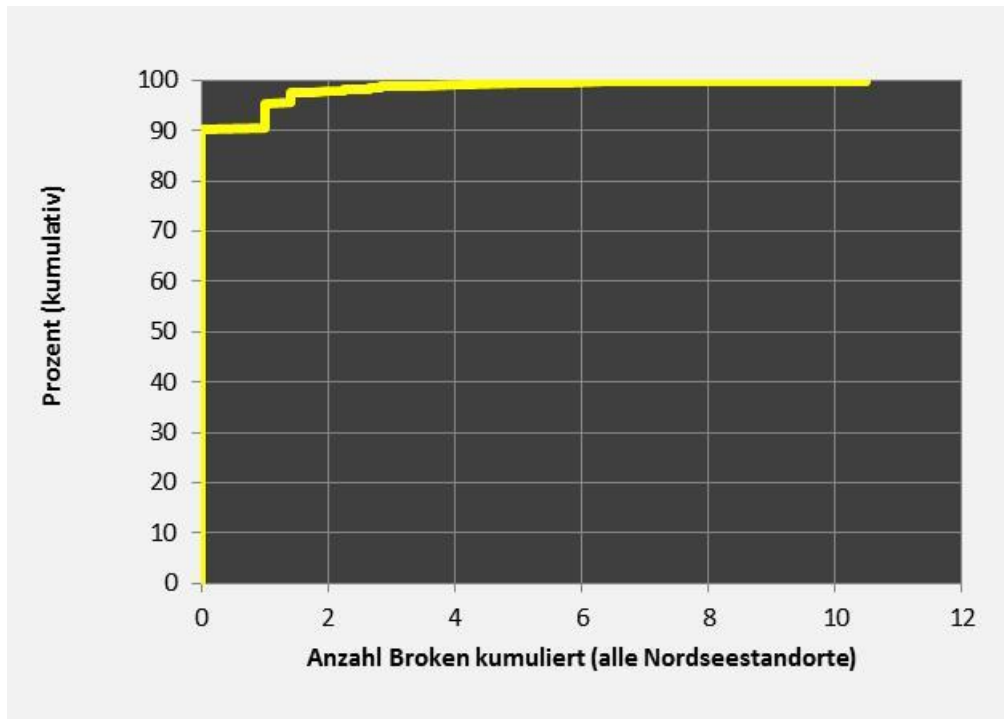


Abb. 56: Anzahl Paraffinbrocken (kumuliert), alle Nordseedaten (oben) und differenziert nach ausgewählten Stränden (Bild unten; Just Hammersee - orange, Baltrum - blau, Sylt - grau). Daten 2020/21. Daten wurzeltransformiert, ohne Hot Spots.

Mittlere Anzahl Brocken je Strand

Abb. 57 liefert Informationen zur mittleren Anzahl der Paraffinfunde differenziert für die verschiedenen Strände (Nord- und Ostsee). Die Ergebnisse basieren zum einen auf allen saisonalen Daten und Strandzonen der Jahre 2020 und 2021 (Abb. 57, oben); zum anderen auf allen Daten, aber differenziert nach Untersuchungsjahr (Abb. 57, unten). Es wird deutlich, dass die Unterschiede zwischen Nord- und Ostsee sehr groß sind und in beiden Jahren auftreten, dass kein deutlicher Südwest-Nordost-Gradient der mittleren Anzahlen in der Nordsee vorhanden ist und dass die hohen Fundzahlen am Strand JH wesentlich auf den Ergebnissen aus 2021 resultieren.

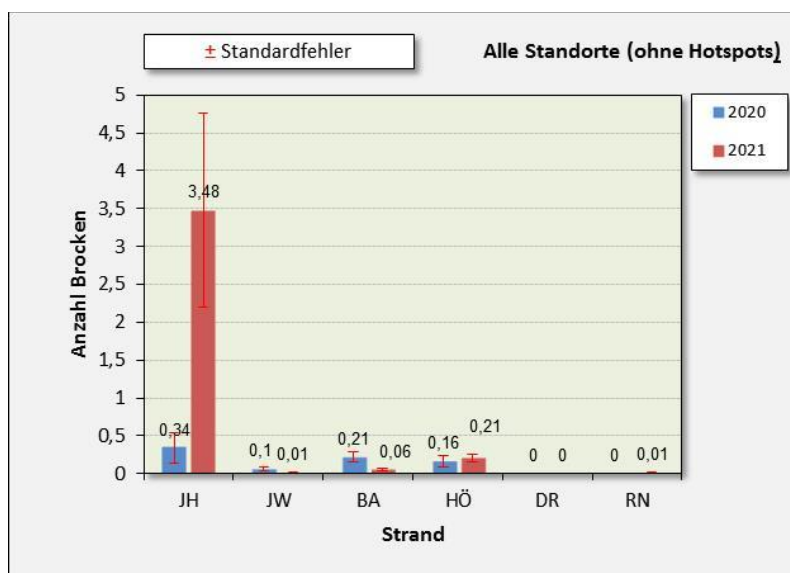
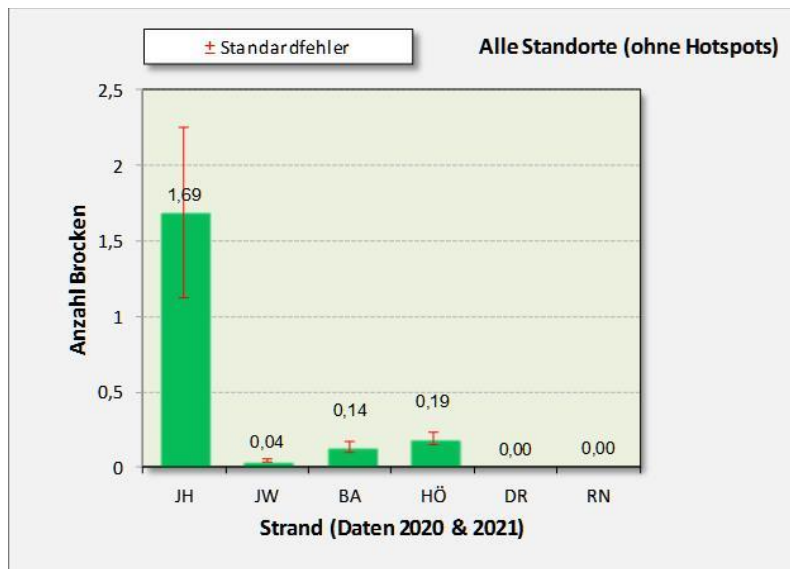


Abb. 57: Mittlere Anzahl der Paraffinfunde/Probe an den untersuchten Stränden gesamt (2020/21; Bild oben; Kruskal Wallis $p < 0.05$) und differenziert nach Untersuchungsjahr (Bild unten). JH = Juist Hammersee, JW = Juist Wilhelmshöhe, BA = Baltrum, HÖ = Sylt Hörnum, DR = Darß Rehberge, RN = Rügen Nordstrand. (N Messwerte = 1398 gesamte Stichprobe)

Mittleres Gewicht der Brocken je Strand

Abb. 58 liefert ergänzend Informationen zum mittleren Gewicht der Paraffinfunde differenziert für die verschiedenen Strände (Nordsee und Ostsee). Die Ergebnisse basieren zum einen auf allen saisonalen Daten und Strandzonen der Jahre 2020 und 2021 (Abb. 58, oben); zum anderen auf allen Daten, aber differenziert nach Untersuchungsjahr (Abb. 58, unten). Es wird deutlich, dass die gefundene Paraffin-Menge für den Parameter Gewicht eine etwas andere Verteilung zwischen den Stränden zeigt als für den Parameter Anzahl (Abb. 57) und die interannuellen Unterschiede groß sein können.

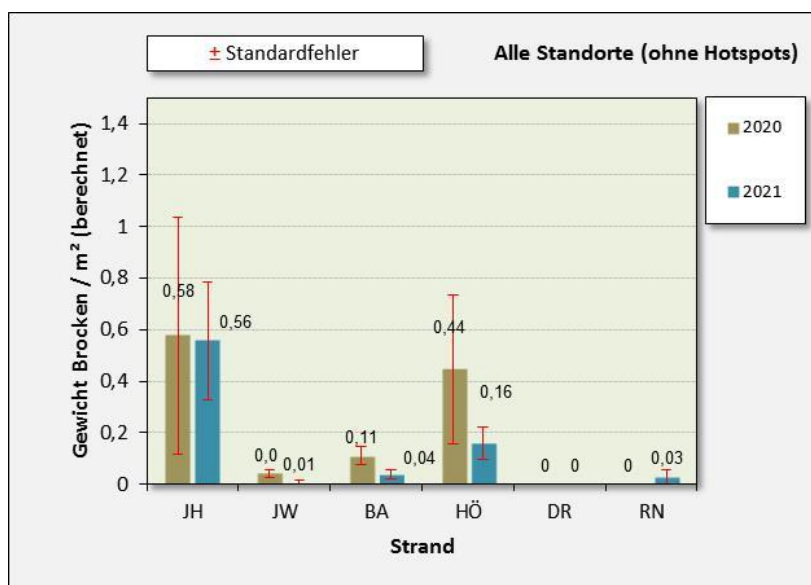
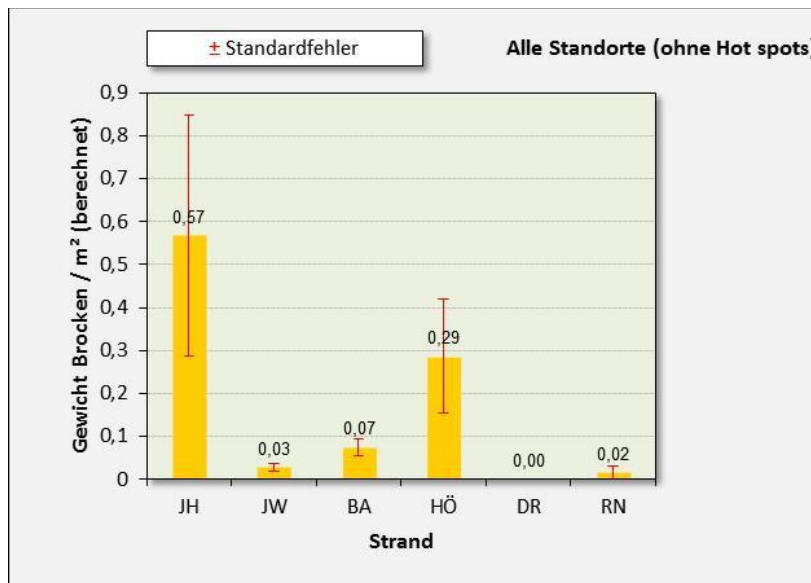


Abb. 58: Mittleres Gewicht der Paraffinfunde/Probe an den untersuchten Stränden gesamt (2020/21; Bild oben; Kruskal Wallis $p < 0.05$) und differenziert nach Untersuchungsjahr (Bild unten). JH = Juist Hammersee, JW = Juist Wilhelmshöhe, BA = Baltrum, HÖ = Sylt Hörnum, DR = Darß Rehberge, RN = Rügen Nordstrand. (N Messwerte = 1397 gesamte Stichprobe)

Unterschiede Strandabschnitte

An jedem Strand sind 3 Strandabschnitte je vertikaler Strandzone beprobt worden. Die Variabilität zwischen den Strandabschnitten eines Strandes für die verschiedenen Strandzonen zeigt Anlage 13. Es wird deutlich, dass die Unterschiede zwischen den Strandabschnitten eines Strandes groß sind, dass also die durchgeführte Beprobung von Replikaten und anschließende Mittelung erforderlich ist (und zukünftig noch erweitert werden sollte).

2.6.3.2 Verteilung Strandzonen

Der methodische Ansatz der Untersuchung unterscheidet zwischen 3 Strandzonen (s. Kap. 2.6.2.1):

- Unterer Strand (ab mittlerer Hochwasserlinie)
- Mittlerer Strand
- Oberer Strand (bis Kliff, Dünenfuß)

Innerhalb jeder Zone wurden drei „Stationen“ mittels Zählrahmen beprobt.

Wie bereits im vorhergehenden Kapitel angemerkt, fokussieren die nachfolgenden Betrachtungen auf die Nordseestrände, da im Bereich der ausgewählten Ostseestrände kaum Paraffin gefunden wurde.

Anzahl Brocken

Abb. 59 veranschaulicht die Funde differenziert für die drei Strandzonen. Bei einer ausgeprägten Variabilität der einzelnen Proben wird auf der Grundlage aller Daten (Nordseestrände) deutlich, dass die mittleren Anzahlen der verschiedenen Strandzonen erkennbar unterschiedlich sind. In der oberen Strandzone wurden im Mittel 0,16 Brocken/Station, in der unteren Strandzone im Mittel ca. 1,04 Brocken/Station festgestellt. Der mittlere Strandbereich nahm mit 0,5 Brocken/Station eine mittlere Stellung ein. Die auf dieser Datengrundlage registrierten Unterschiede sind signifikant (Kruskal-Wallis $p=0.037$).

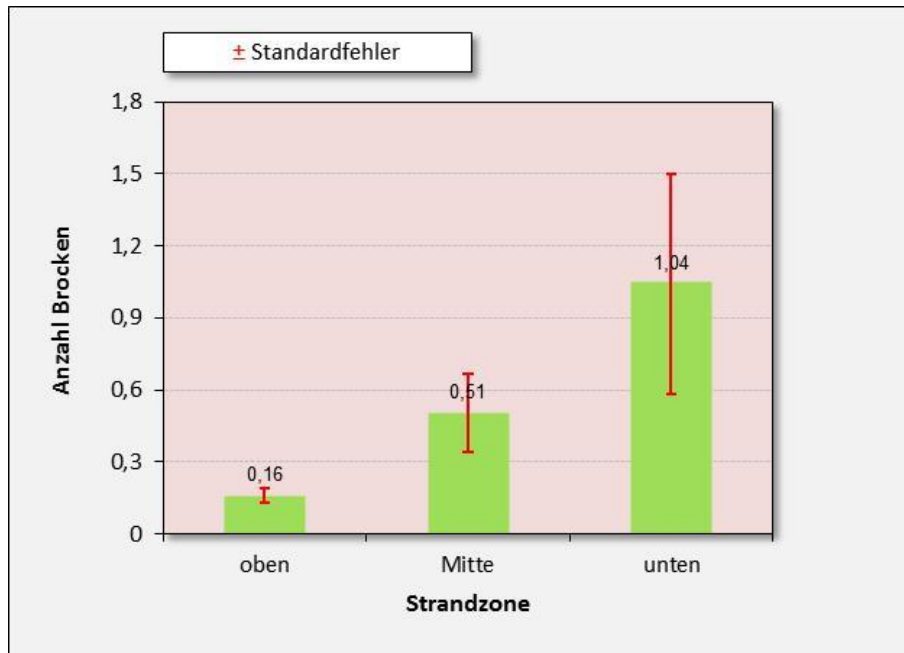


Abb. 59: Mittlere Anzahl (und Standardfehler) der Funde im Bereich der Nordseestrände (Juist, Baltrum, Sylt) im Untersuchungszeitraum 2020 – 2021. Differenziert nach Strandzonen (ohne hs = Hot Spots). (N Messwerte = 894 gesamte Stichprobe).

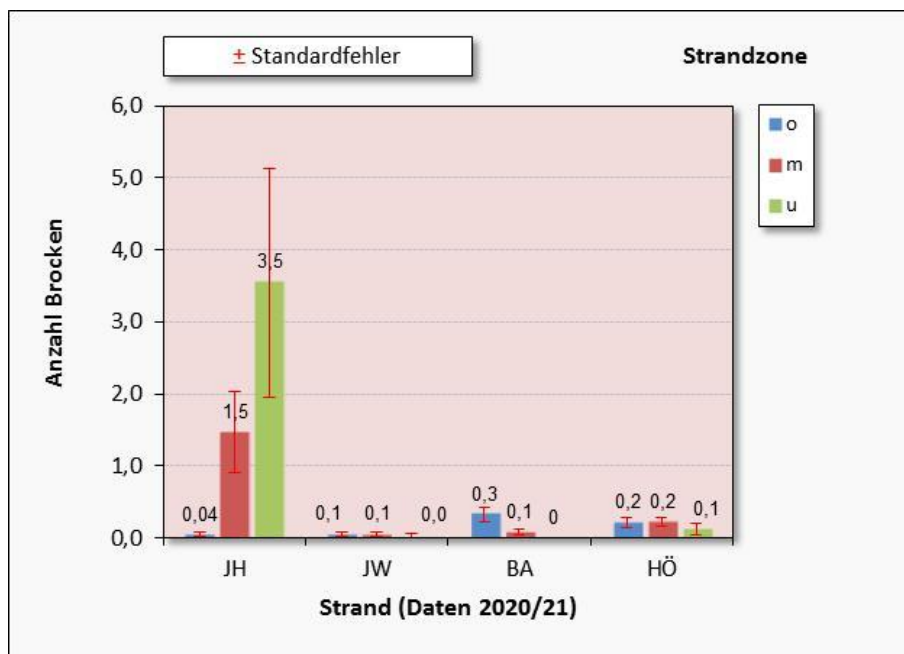


Abb. 60: Mittlere Anzahl (und Standardfehler) von Paraffin-Funden im Untersuchungszeitraum 2020 – 2021. Differenziert nach Stränden Juist (Hammersee, Wilhelmshöhe), Baltrum sowie Sylt (Hörnum) sowie nach Strandzonen (ohne hs = Hot Spots). JH = Juist Hammersee, JW = Juist Wilhelmshöhe, BA = Baltrum, HÖ = Sylt Hörnum. (N Messwerte = 894 gesamte Stichprobe).

Gewicht

Abb. 61 veranschaulicht die Gesamtmenge der Funde über den Parameter Gewicht (g/m^2) differenziert für die drei Höhenzonen. Bei einer ausgeprägten Variabilität der einzelnen Proben werden auf der Grundlage aller Daten (Nordseestrände) Unterschiede zwischen den Höhenzonen deutlich. Während in der oberen Strandzone im Mittel $0,14 \text{ g}/\text{m}^2$ gefunden wurden, sind in der unteren Strandzone – wenngleich die Anzahl der Funde dort am höchsten war – im Mittel nur ca. $0,05 \text{ g}/\text{m}^2$ festgestellt worden. Der mittlere Strandbereich wies mit $0,32 \text{ g}/\text{m}^2$ das Maximum auf. Die auf dieser Datengrundlage registrierten Unterschiede sind signifikant (Kruskal-Wallis $p=0.03$).

Damit ergibt sich bei einem Vergleich der Mittelwerte für den Parameter Anzahl ein anderer Gradient über die Höhenzonen als für den Parameter Gewicht (s. dazu auch nachfolgend).

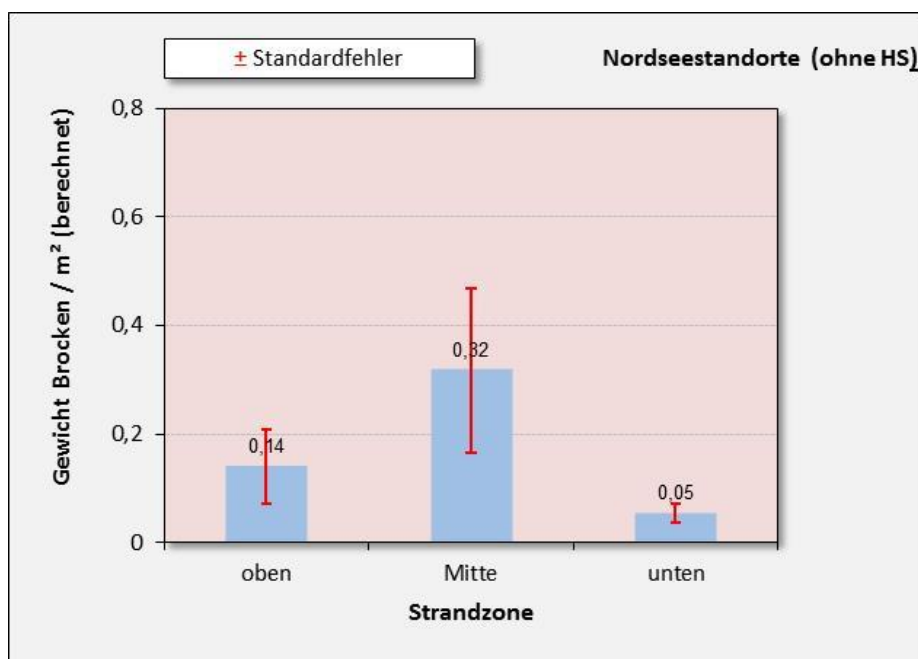


Abb. 61: Mittleres Gewicht der Paraffin-Funde an den Stränden Juist, Baltrum sowie Sylt im Untersuchungszeitraum 2020 – 2021. Differenziert nach Strandzone (ohne hs = Hot Spots). (N Messwerte = 894 gesamte Stichprobe).

Abb. 62 zeigt die Untersuchungsergebnisse differenziert für die verschiedenen Strände. Folgendes lässt sich erkennen:

- Juist Hammersee war mit Blick auf die Höhenzonierung durch hohe Unterschiede der Paraffinfunde gekennzeichnet. So wies die mittlere Strandzone mit $1,5 \text{ g}/\text{m}^2$ mit Abstand den höchsten Wert auf. Im Bereich der oberen und unteren Strandzone wurden durchschnittlich lediglich $0,04 \text{ g}/\text{m}^2$ ermittelt. Es wird ersichtlich, dass dieser Strand damit auch das Ergebnis auf Grundlage aller Daten (s.o.) maßgeblich bestimmt.
- Der Strand Juist Wilhelmshöhe wies geringe Paraffingewichte auf. Ein Gradient in der Höhenzonierung war nicht vorhanden.

- Die Strände Baltrum und Sylt (HÖ) waren hinsichtlich der Paraffinfunde - anders als Juist - durch einen mehr oder weniger deutlichen Höhengradienten gekennzeichnet. So wies die obere Strandzone parallel zu den Ergebnissen zu den Anzahlen den jeweils höchsten und die untere den jeweils niedrigsten Wert auf. Allerdings lagen die Maxima im Vergleich zum Höchstwert im Bereich Juist (Hammersee) auf einem niedrigeren Niveau.

Die Verteilung über die verschiedenen Strandzonen zeigt also für die vorliegenden Daten kein so klares vertikales Verteilungsmuster für das Gewicht wie die Mittelwerte über alle Strände suggerieren, sondern deutet eher eine zufällige Verteilung an.

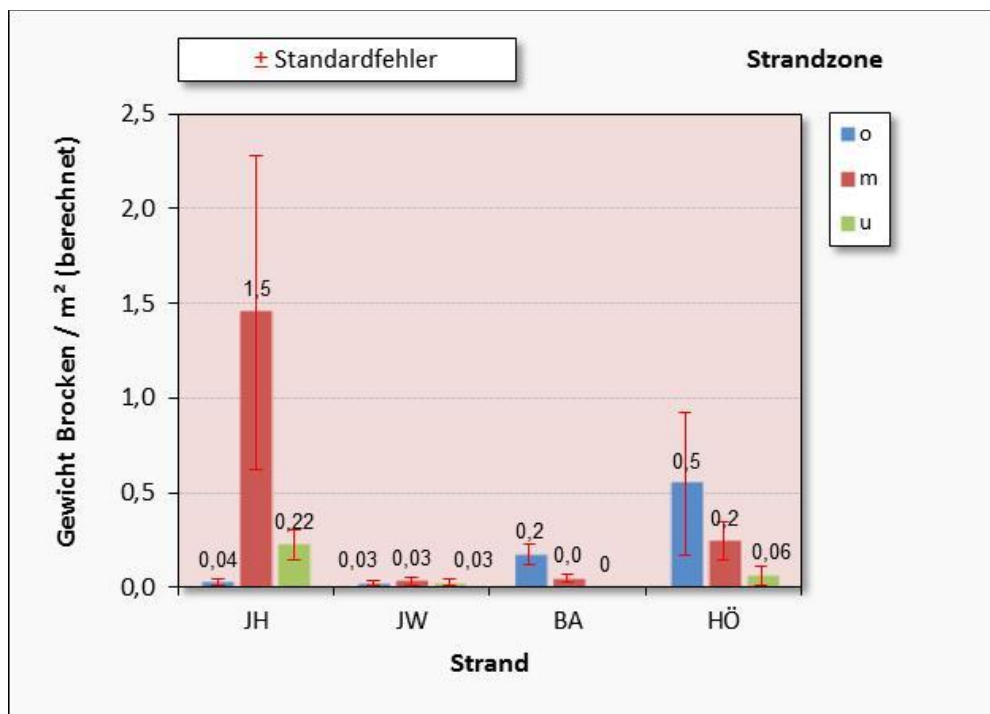


Abb. 62: Mittleres Gewicht g/m^2 (und Standardfehler) von Paraffin-Funden im Untersuchungszeitraum 2020 – 2021. Differenziert nach Stränden Juist (Hammersee, Wilhelmshöhe), Baltrum sowie Sylt (Hörnnum) sowie nach Strandzonen (ohne hs = Hot Spots).
 JH = Juist Hammersee, JW = Juist Wilhelmshöhe, BA = Baltrum, HÖ = Sylt Hörnum. (N Messwerte = 894 gesamte Stichprobe)

Größe der Brocken

Der Quotient aus Gewicht und Anzahl gibt einen Hinweis auf die mittlere Größe der Brocken. Dies zeigt für die verschiedenen Strände und Strandzonen Anlage 14. Es wird deutlich, dass die mittlere Brockengröße für die verschiedenen Strände keinen gleichlaufenden Vertikalgradienten zeigt, sondern dass dieser an den verschiedenen Stränden deutlich unterschiedlich ist. Es lässt sich auf der Grundlage der vorliegenden Daten nicht klären, ob dies zufällig oder durch die unterschiedlichen Gegebenheiten der Strände wie z.B. Lage und Exposition bedingt ist.

2.6.3.3 Interannuelle Unterschiede

Im Folgenden werden die Paraffinfunde interannuell betrachtet. Die Probenahmen fanden in den Jahren 2020 und 2021 statt. Die Ergebnisse werden sowohl auf der Grundlage aller Daten als auch differenziert für die Strände dargestellt. Alle Probenahmen eines Strandes werden zusammengefasst. Wie bereits im vorhergehenden Kapitel angemerkt, erfolgt die nachfolgende Betrachtung nur für die Nordseestrände, da im Bereich der ausgewählten Ostseestrände nur sehr geringe Nachweise erfolgten.

Anzahl

Hinsichtlich der erfassten Anzahl von Brocken wurden bei einer hohen räumlichen Variabilität im Jahr 2021 mit durchschnittlich 0,96 Brocken/m² deutlich mehr Paraffine erfasst als im Jahr 2020 (0,21 Brocken/m²). Aufgrund der hohen Variabilität sind die Ergebnisse statistisch allerdings als zufällig einzuordnen (Mann Whitney $p = 0.13$). Abb. 63 (Bild links) veranschaulicht die Ergebnisse auf Grundlage aller Nordseedaten.

Auf der Ebene der Strände zeigen sich überwiegend geringe Unterschiede zwischen den Jahren. Eine Ausnahme macht auch hier der Strand Juist Hammersee, hier wurden im Jahr 2021 mit >3 Brocken/Station im Vergleich deutlich mehr Paraffinbrocken gefunden als im Jahr 2020 (0,3 Brocken/Station). Dies gilt auch für den Vergleich mit den anderen Stränden, deren mittlere Anzahlen bei $<0,3$ Brocken/Station lagen (Abb. 63; Bild rechts). Der jeweilige interannuelle Unterschied zwischen den einzelnen Stränden ist mit Ausnahme von Hörnum statistisch signifikant ($p < 0.1$, t-Test-heterogen). Die Unterschiede am Strand JH bestimmen auch wesentlich das Verteilungsbild über alle Strände.

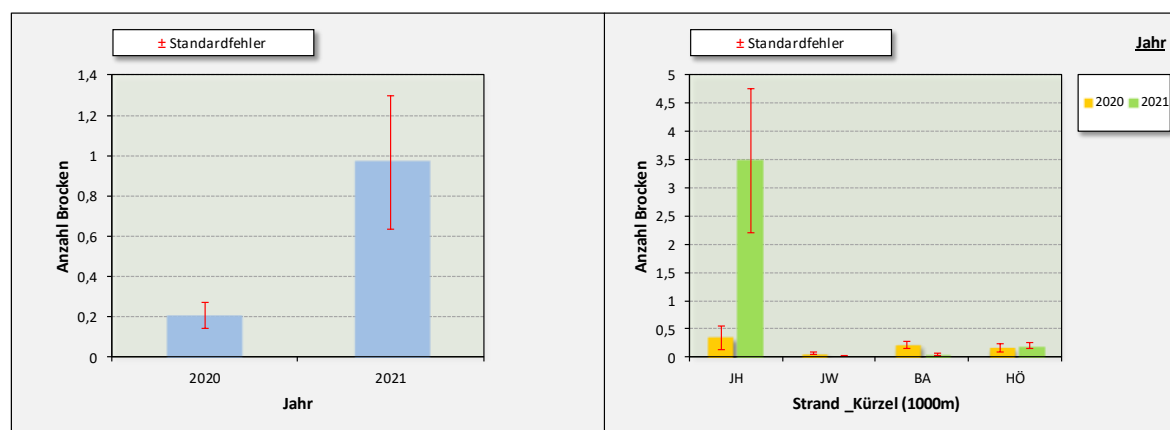


Abb. 63: Mittlere Anzahl der Brocken/Station (und Standardfehler) im Bereich der Nordseestrände gesamt und der Strände, differenziert nach Untersuchungsjahr (2020: N = 468 und 2021: N = 426; ohne hs = Hot Spots). JH = Juist Hammersee, JW = Juist Wilhelmshöhe, BA = Baltrum, HÖ = Sylt Hörnum

Gewicht

Das mittlere Gewicht der erfassten Brocken/Station lag im Jahr 2020 übergreifend bei 0,31 g/m²; im Folgejahr betrug das Gewicht durchschnittlich 0,2 g/m². Aufgrund der räumlichen und zeitlichen

Variabilität sind die Unterschiede statistisch als zufällig einzuordnen (Mann Whitney; $p = 0.16$). Abb. 64 (Bild links) veranschaulicht die Ergebnisse auf Grundlage aller Nordseedaten.

Auch bei strandbezogener Betrachtung liegen die Werte 2020 an allen Stränden deutlich über denen in 2021. Abb. 64 (Bild rechts) veranschaulicht die Ergebnisse auf Grundlage aller Nordseedaten. Die strandbezogenen jährlichen Unterschiede sind mit Ausnahme der Ergebnisse für Baltrum und Juist (W) ($p < 0.1$, t-Test-heterogen) nicht signifikant.

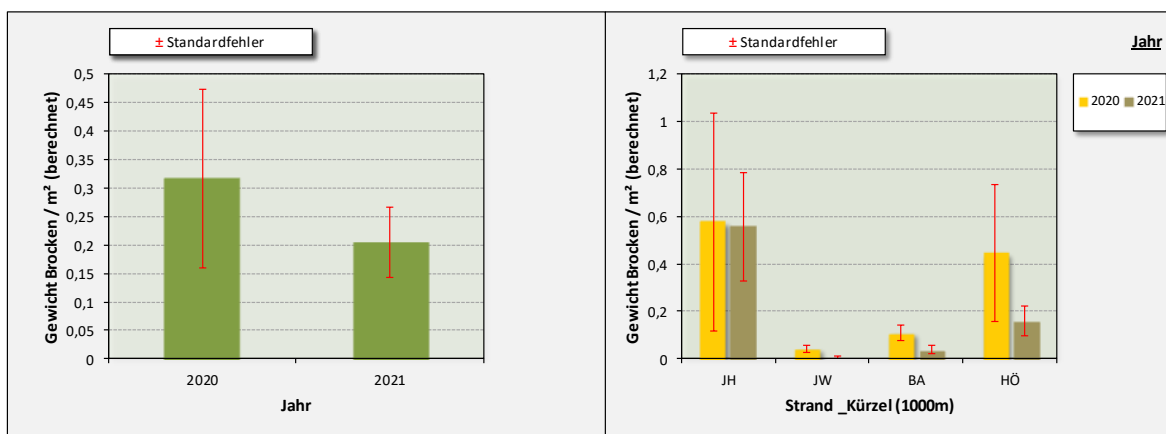


Abb. 64: Mittleres Gewicht g/m² (und Standardfehler) der Funde im Bereich der Nordseestrände gesamt und der Strände differenziert nach Untersuchungsjahr (2020 Anzahl Messwerte N = 689 und 2021 Anzahl Messwerte N = 324; ohne hs = Hot Spots).

JH = Juist Hammersee, JW = Juist Wilhelmshöhe, BA = Baltrum, HÖ = Sylt Hörnum

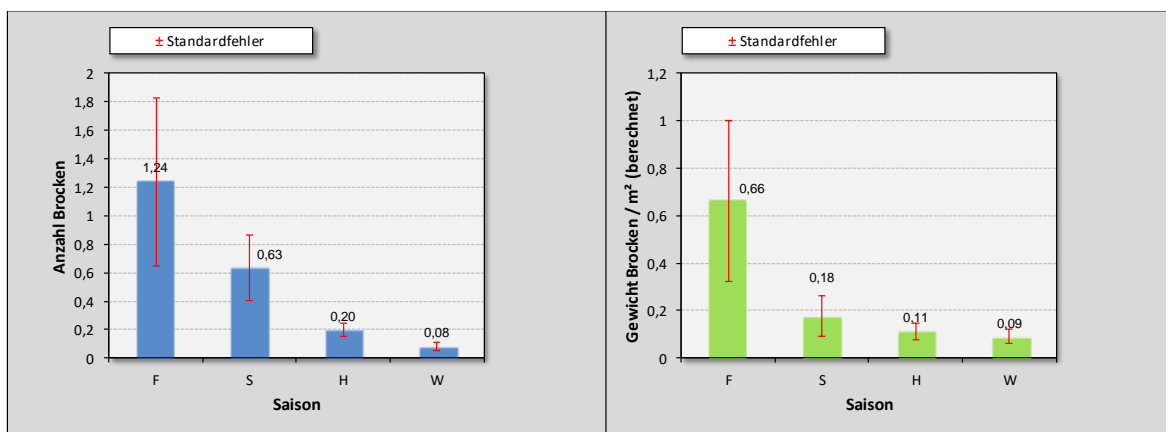


Abb. 65: Mittlere Anzahl/Stichprobe (Anzahl/m²) und mittleres Gewicht (g/m²) der erfassten Paraffinbrocken (Strand übergreifend, nur Nordsee) differenziert nach saisonalen Erfassungen (ohne Hot Spots). F = Frühjah, S = Sommer, H = Herbst, W = Winter. (Messwerte N = 894/893).

2.6.3.1 Saisonale Unterschiede

Die Untersuchungen wurden in den Jahren 2020 und 2021 zu vier saisonalen Zeitpunkten (Frühjah, Sommer, Herbst, Winter) durchgeführt. Abb. 65 zeigt die mittlere Anzahl/m² und das mittlere Gewicht (g/m²) der erfassten Paraffinbrocken (Jahres- und Strand-übergreifend, nur

Nordsee) differenziert nach saisonalen Erfassungen. Danach deutet sich eine höhere Belastung für die Parameter Anzahl und Gewicht im Frühjahr (hier: Daten Jahres übergreifend) an.

Für den Parameter Anzahl ist dieser Befund aber auch durch den Strand (JH) bedingt; die relative Bedeutung von Saison versus Strand ist offen. Die Unterschiede (Anzahl und Gewicht) sind zwar deutlich erkennbar, aber statistisch nur schwach signifikant (Kruskal-Wallis $p = 0.06$).

Mit Blick auf den Parameter Gewicht wurde im Frühjahr das Maximum verzeichnet. Analog zur Anzahl ist dies im Wesentlichen auch wieder durch eine Station (JH) verursacht (s. Abb. 66).

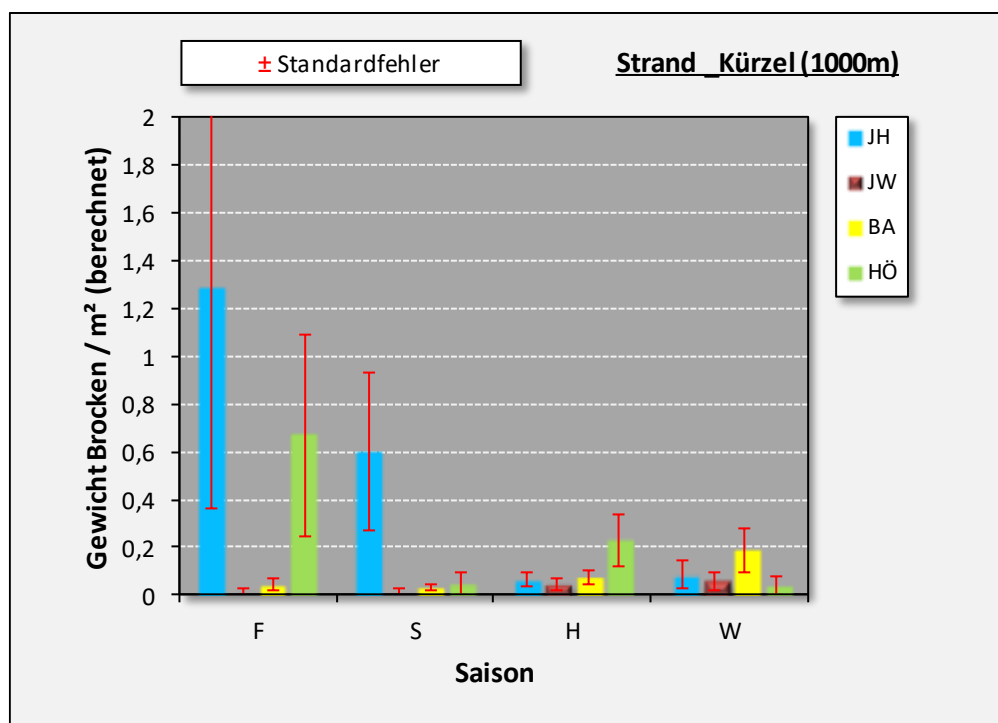


Abb. 66: Mittleres Gewicht der Paraffinbrocken differenziert nach Beprobungssaison. Datengrundlage Nordseestrände ohne HotSpot-Daten. BA = Baltrum, HÖ = Sylt, JH = Juist-Hammersee, JW = Juist-Wilhelmshöhe. F = Frühjahr, S = Sommer, H = Herbst, W = Winter. (Messwerte $N = 893$).

Wie oben bereits dargestellt, sind die Ergebnisse durch einen sehr hohen Anteil von „0-Werten“ sowie durch eine hohe räumliche Variabilität gekennzeichnet. Dies gilt auch für die saisonalen Erfassungen, so lag der Anteil der Nullwerte bei 91 – 95 % der saisonalen Probenanzahl. Auf eine differenzierte Betrachtung der einzelnen Strände wurde deshalb verzichtet; signifikante Unterschiede (mit Ausnahme Hörnum) zwischen den Jahreszeiten sind nicht festzustellen.

Die im Frühjahr für die beiden Parameter Anzahl und Gewicht übereinstimmend gegenüber den anderen Jahreszeiten relativ erhöhten Werte werden v.a. durch die Werte am Strand JH verursacht, so dass die relative Bedeutung von Saison versus Strand offen bleibt.

2.6.3.2 Zusammenhang lokale Anspülungen und Zählrahmen

Die Zählrahmenmethode ist zum Monitoring der dispersen Belastung der Strände und nicht zum Monitoring von lokalen Anspülungen im Sinne dieses Projektes konzipiert worden. Nach 2 lokalen Anspülungen der Kategorie 2 im Zeitraum 2020/21 ist jedoch geprüft worden, ob sich diese Anspülungen auch in den Ergebnissen der Zählrahmen abbilden. Es handelt sich um die lokalen Anspülungen der Kategorie 2 ab dem 28.4.2021 in NDS (fast alle Inseln, s. Anlage 6; in SH in diesem Zeitraum keine Protokolleingänge mit entsprechenden Anspülmengen; s. Anlage 5) und die Anspülung der Kategorie 2 ab dem 23.6.2021 in NDS (v.a. Norderney und Juist, s. Anlage 6; in SH in diesem Zeitraum keine entsprechende Meldung; s. Anlage 5). Der Abgleich mit den Probenahmedaten der Zählrahmen (s. Tab. 12) zeigt, dass die Frühjahrsbeprobung 2021 ca. 1 Woche vor der Anspülung stattgefunden hat, so dass sich das Signal nicht in den Proben wiederfinden konnte. Auf die zweite Anspülung im Juni folgten ca. einen Monat später die Probenahmen an den beiden Stränden auf Juist; hier zeigte sich keine Erhöhung in den Zählrahmendaten (mehr?). Ob sich eine Erhöhung in den Zählrahmendaten bei engerem zeitlichen Zusammenhang gezeigt hätte ist anhand der Daten nicht zu klären, ist aber bei entsprechendem Umfang der Anlandung und dem örtlichen Zusammenhang plausibel.

2.6.3.3 Hot Spots

Zusätzlich zu den (zufällig) positionierten Untersuchungsstationen wurden ggf. vorhandene Belastungsschwerpunkte („Hot Spots“) durch zusätzliche Zählrahmen gezielt beprobt, wenn solche augenscheinlich waren. Im Verlauf der Untersuchung wurden an drei Stränden (Juist Hammersee, Baltrum, Sylt Hörnum) solche Hot Spots identifiziert¹.

Ein hinsichtlich der Häufigkeit von Paraffinbrocken besonderer Hot Spot war ein Bereich am Strand Juist Hammersee im Jahr 2020. Im Jahr 2021 ist an diesem Strand deutlich weniger erfasst worden (Abb. 67). Die Werte der Strände Baltrum und Sylt (der Jahre 2020/21) lagen gegenüber Juist (2020) um den Faktor 2 – 3 niedriger.

¹ Welche Parameter (Häufigkeit und/oder Gewicht) ab welchen Werten einen Strand zum Hot Spot machen ist nicht definiert.

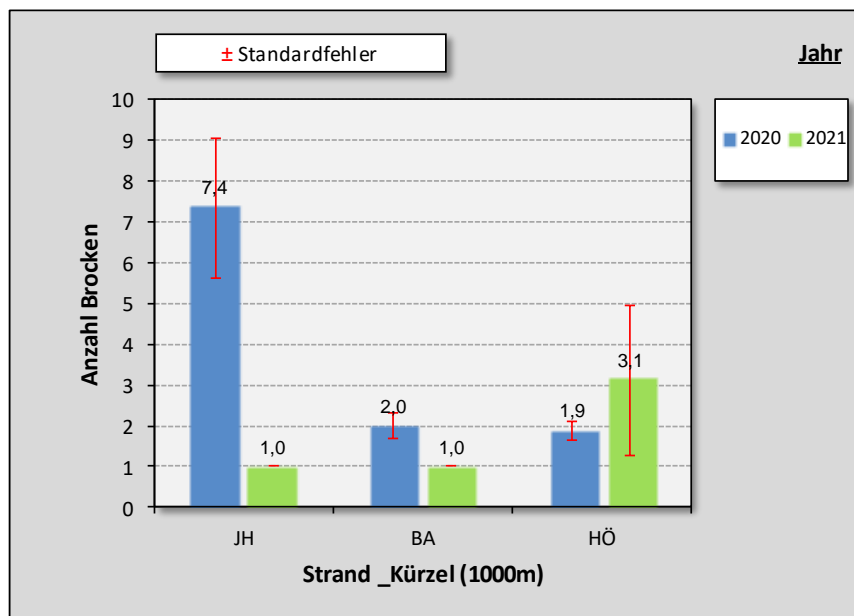


Abb. 67: Häufigkeit (Anzahl Brocken/Strand) der Paraffinfunde im Bereich der identifizierten Hotspots (JH = Juist Hammersee, BA = Baltrum, HÖ = Sylt) differenziert nach Untersuchungsjahr.

Mit Blick auf den Parameter Gewicht wird deutlich, dass der besondere Hot Spot auf Juist im Jahr 2020 wohl überwiegend aus kleineren und damit leichteren Brocken bestand. Im Jahr 2021 war dies umgekehrt (s. Abb. 67 und Abb. 68, JH 2021)

Obwohl der Strand Baltrum bezüglich der Häufigkeit im Jahr 2021 kein auffälliger Hot Spot war, ist dies unter Betrachtung des Parameters Gewicht anders. Der Strand zeichnete sich im Jahr 2021 mit $38,8 \text{ g/m}^2$ durch einen im Vergleich höheren Wert aus. Es sei auch angemerkt, dass dieser Strand im Jahr 2020 dagegen durch niedrige Werte ($<1 \text{ g/m}^2$) gekennzeichnet war (Abb. 68, BA)

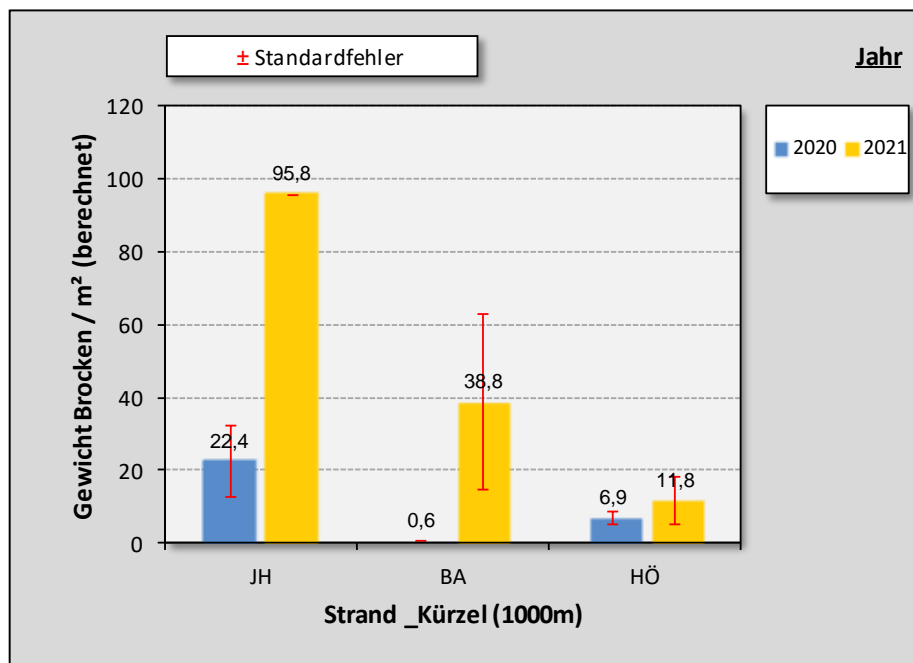


Abb. 68: Gewicht (g/m²) der Funde im Bereich der identifizierten Hotspots (JH = Juist Hammersee, BA = Baltrum, HÖ = Sylt) differenziert nach Untersuchungsjahr.

Folgendes lässt sich zum Aspekt Hot Spots zusammenfassen:

- Hot Spots wurden an allen untersuchten Nordseestränden (mit Ausnahme JW) bei hoher interannueller Variabilität erfasst. An den beiden Ostseestränden wurden dagegen keine Hot Spots registriert.
- Der Vergleich der hot spot-Stationen (die methodisch bedingt keine Nullwerte enthalten) mit den zufälligen Stichproben (die zu >90% aus Nullwerten bestehen) der verschiedenen Strände zeigt, dass in den Hot Spots die Fundanzahl um den Faktor > 3 bis > Faktor 15 höher sind als in den zufälligen Stichproben. In einzelnen Fällen überschreiten die Werte der zufälligen Stichproben jedoch auch einzelne Hot Spot Werte.
- unter Einbeziehung der Nullwerte der zufälligen Stichproben sind die Gewichte in den Hot Spots gegenüber den „regulären“ Werten der Strände um Faktor >15 höher.
- Die hot spots an den einzelnen Stränden unterliegen einer sehr hohen saisonalen und interannuellen Variabilität.

Aufgrund der unterschiedlichen Ansätze von Zufallsstichproben und der Beprobung augenscheinlicher hot spots entstehen ganz unterschiedliche Datensätze, die getrennt ausgewertet und dargestellt werden müssen.

2.6.3.4 Chemische Zusammensetzung

Für einen Teil des beprobten Materials der Nordseestrände wurde vom BSH die chemische Zusammensetzung analysiert. Differenziert wurde zwischen Strand, Jahr und Saison und den Stoffgruppen PW=Paraffin; KA=Kunststoff(artig); PF=Pflanzenfett; ABS=Andere bekannte Substanz und AUS=Andere unbekannte Substanz. Von diesen sind KA und PF allerdings nicht gefunden worden, so dass nur max. 3 Angaben in den Abbildungen aufgeführt sind (pro Raster).

Der Vergleich der Strände (Abb. 69) zeigt, dass die Funde zu 70-90% aus Paraffin bestehen; eine Ausnahme ist die Station Juist-Hammersee, in der Paraffin ca. 39% der Funde ausmacht; ca. 55% sind „andere bekannte Substanzen“ (ABS), die an den Stränden JW und Hö nur zu maximal 10% und an den Stränden Ba/BaN² gar nicht gefunden wurden. Es wurde eine Ostseeprobe analysiert; sie bestand aus Paraffin (in der Abb. nicht dargestellt). Im Weiteren werden nur die Nordseeeproben beschrieben. Pro Zählrahmen wurden immer nur eine einzige Substanz nachgewiesen, niemals zwei oder mehr gleichzeitig.

Der Vergleich der beiden Jahre zeigt, dass die Anteile der verschiedenen Stoffgruppen ähnlich waren (Abb. 70); gemittelt über die 2 Jahre betragen die Anteile für PW 74%, für AUS 9% und für ABS 17%.

Saisonal (Abb. 71) zeigt sich, dass die ABS im Frühjahr, Sommer und Herbst gefunden wurden. Die Differenzierung in Saison und Strände lässt kein Strand übergreifend systematisches Muster erkennen (Abb. 72).

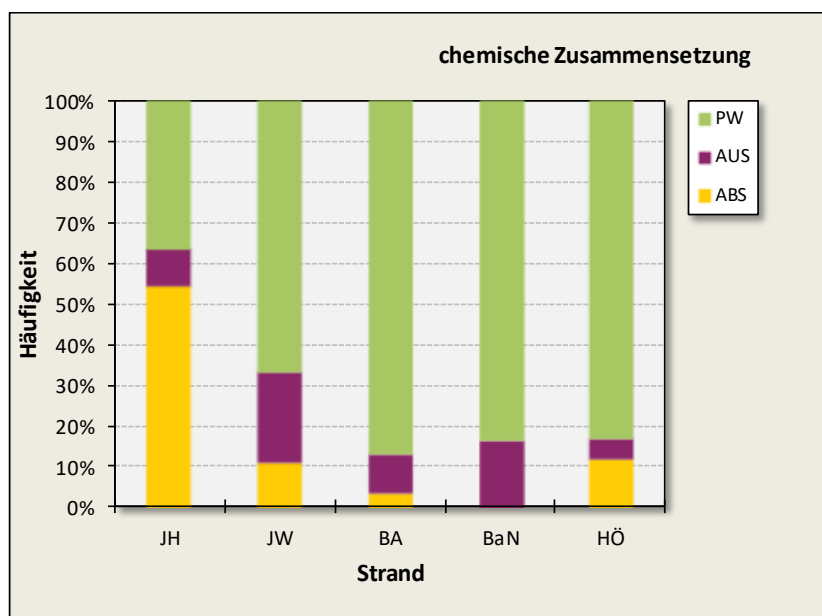


Abb. 69: Anteil chemischer Substanzen differenziert nach Strand.

JH = Juist Hammersee (N = 33), JW = Juist Wilhelmshöhe (N = 9), Ba = Baltrum (N = 64), BaN = Baltrum-Nord (N = 12), Hö = Sylt_Hörnum (N = 58). PW= Paraffin, AUS = andere unbekannte Substanz, ABS = andere bekannte Substanz. Daten: Nachweishäufigkeit chem. Substanz; jahres- und saisonübergreifend. Chemische Analyse: BSH.

² BaN: von unweit nördlich des beprobten Strandes stammende Proben

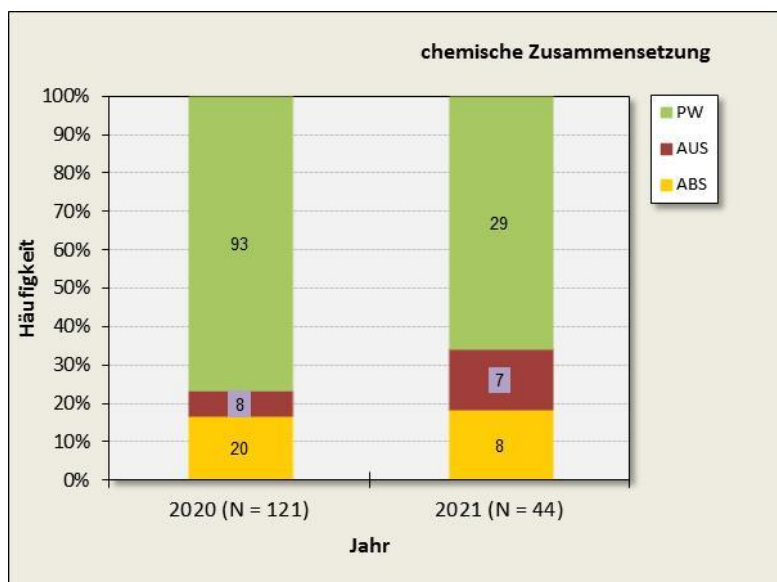


Abb. 70: Anteil chemischer Substanzen differenziert nach Untersuchungsjahr. (Ziffern Säulen= Anzahl Nachweise/Substanz). Chemische Analyse: BSH.
 PW = Paraffin, AUS = andere unbekannte Substanz, ABS = andere bekannte Substanz. Daten: Nachweishäufigkeit chem. Substanz; Strand- und saisonübergreifend. Analyse der Daten: BSH.

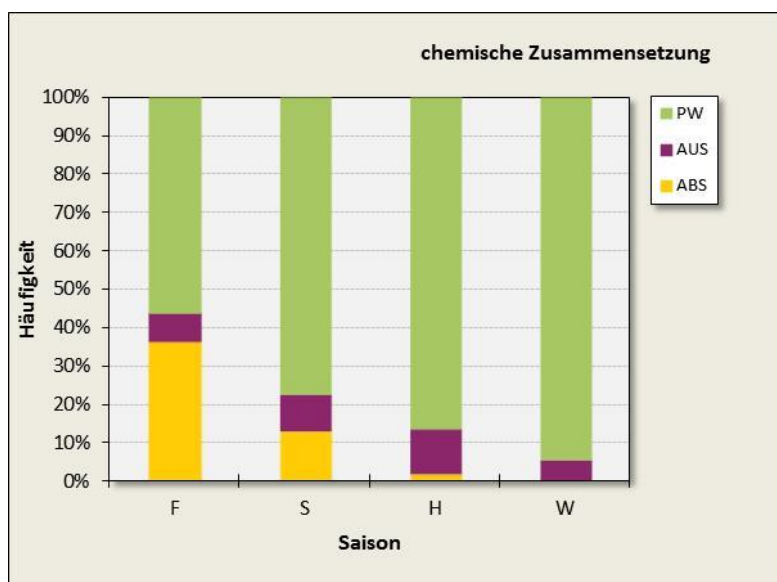


Abb. 71: Anteil chemischer Substanzen differenziert nach Erfassungssaison. F = Frühjahr (N = 74), S = Sommer (N = 31), H = Herbst (N = 52), W = Winter (N = 18). PW = Paraffin, AUS = andere unbekannte Substanz, ABS = andere bekannte Substanz. Daten: Nachweishäufigkeit chem. Substanz; Strand- und jahresübergreifend. Chemische Analyse: BSH

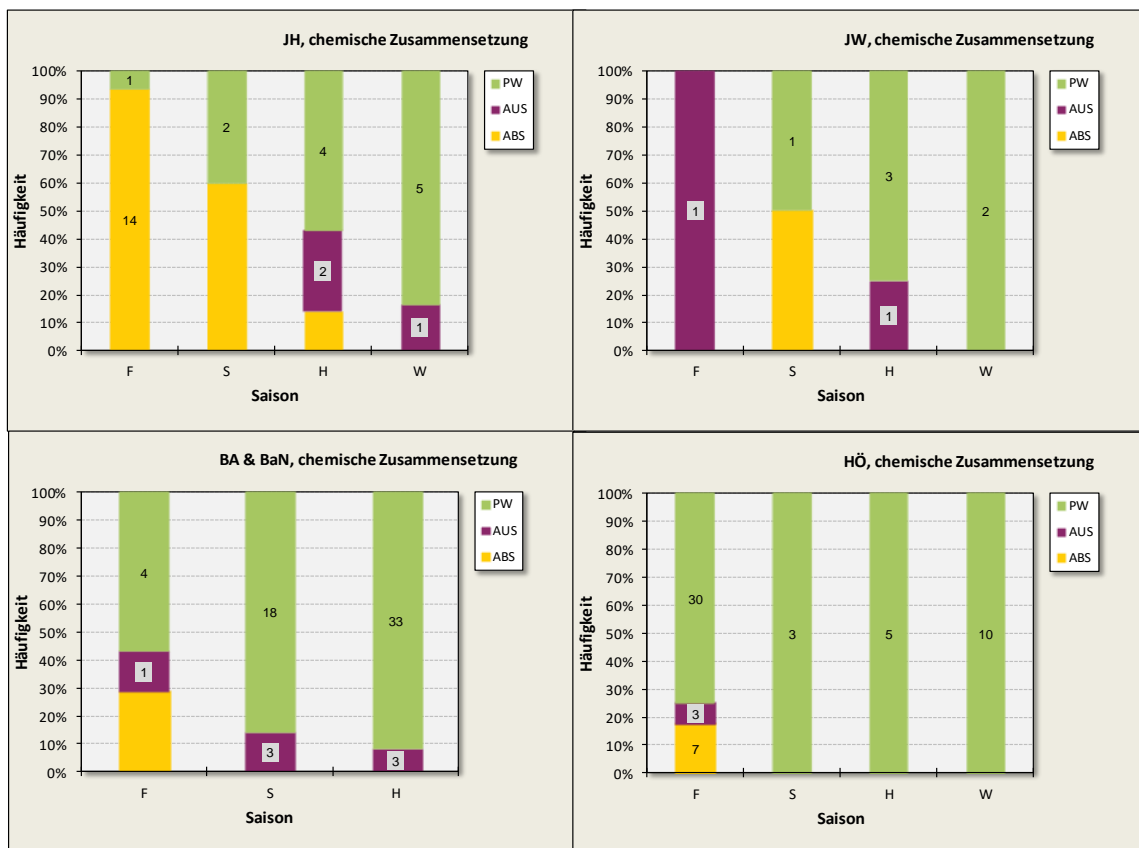


Abb. 72: Anteil chemischer Substanzen differenziert nach Strand (Bilder 1-4) und saisonaler Erfassung. JH = Juist Hammersee, JW = Juist Wilhelmshöhe, Ba = Baltrum, BaN = Baltrum-Nord, Hö = Sylt_Hörnum. PW= Paraffin, AUS = andere unbekannte Substanz, ABS = andere bekannte Substanz. Daten: Nachweishäufigkeit chem. Substanz; jahresübergreifend. Chemische Analyse: BSH. (Ziffern Säulen= Anzahl Nachweise/Substanz)

2.6.4 Diskussion

Die Erfassung mittels Zählrahmen ist als Methode im Rahmen des Projektes mit dem Ziel konzipiert worden, eine reproduzierbare und systematische Erfassung der zeitlich und räumlich dispersen Belastung mit Paraffinen auf verschiedenen Skalen zur Verfügung zu stellen, die für ein langfristiges Monitoring dieses Belastungspfades geeignet ist. Der methodische Ansatz ist im Projekt über 2 Jahre testweise angewendet worden.

Ergebnisse

Ein eindeutiges Ergebnis zeigt sich im **Vergleich der Belastung zwischen Nord- und Ostsee** (trotz unterschiedlicher Zahl der untersuchten Strände): die Belastung an der Nordsee ist sehr deutlich höher als an der Ostsee. Dieser Befund der Zählrahmen wird überwiegend auch durch die anderen Methoden gestützt.

Die **Unterschiede zwischen den vier Nordseestationen** waren während der beiden beprobten Jahre groß, das gilt sowohl für den Parameter Anzahl als auch das Gewicht. Ein Südwest-Nordost-

Gradient der Anzahlen oder Gewichte zwischen Juist und Sylt ist nicht zu erkennen; die größten Unterschiede bestehen zwischen den beiden auf Juist beprobten Stationen.

U.W. erstmalig ist für Paraffin eine systematische Untersuchung entlang des **Vertikalgradienten** verschiedener Strände durchgeführt worden; es wurde zwischen oberer, mittlerer und unterer Strandzone differenziert. Obwohl die Mittelwerte über alle Nordsee-Stationen für die Anzahlen einen klaren Gradienten mit der höchsten Belastung in der unteren Strandzone und Richtung Dünenfuß abnehmenden Dichten zeigen (nicht signifikant), zeigt sich bei genauerer Betrachtung kein klares Muster. Der „scheinbare“ Gradient ergibt sich wesentlich aus der Verteilung am Strand JW mit ihren hohen Werten in der unteren Strandzone; an den Stränden von Baltrum und Sylt ist der Gradient bei insgesamt deutlich niedrigeren Werten gegenläufig. Für den Parameter Gewicht zeigt die Belastung über alle Stationen den höchsten Wert in der mittleren Strandzone und weicht damit vom Verteilungsbild für die Anzahlen ab. Die Verteilung über die verschiedenen Strandzonen zeigt also für die vorliegenden Daten sowohl für den Parameter Anzahl als auch das Gewicht kein klares Verteilungsmuster, sondern deutet eher eine zufällige Verteilung an, die von der lokalen Situation, von erhöhten Einzelwerten und der hohen Zahl von Nullproben geprägt ist. Auch der Quotient aus Gewicht und Anzahl als Hinweis auf die mittlere Brockengröße zeigt kein übereinstimmendes Muster zwischen den verschiedenen vertikalen Strandzonen sondern deutet eine zufällige Verteilung an.

Die **interannuelle Variabilität** lässt sich auf der Grundlage der beiden bisher mit der Zählrahmenmethode untersuchten Jahre nicht beurteilen. Deutlich wird jedoch, dass die Unterschiede zwischen den Jahren z.T. deutlich, z.T. aber auch gering sind und für die beiden Parameter Anzahl und Gewicht nicht gleichlaufend sind.

Die **saisonalen Unterschiede** sind, auch aufgrund der strandübergreifend hohen Anzahl von „Null-Werten“, insgesamt gering. Die im Frühjahr für die beiden Parameter Anzahl und Gewicht übereinstimmend gegenüber den anderen Jahreszeiten relativ erhöhten Werte werden v. a. durch die Werte am Strand JH verursacht, so dass die relative Bedeutung von Saison versus Strand offen bleibt.

Die Analyse der **chemischen Zusammensetzung** von Proben aus der Zählrahmenuntersuchung (einer Teilmenge des Datensatzes) ergab, dass die Stoffgruppe Paraffin (PW) deutlich die Zusammensetzung der Proben dominiert: die Funde bestanden zu 80-90% aus Paraffin. Eine Ausnahme ist die Station Juist-Hammersee (die auch durch besonders hohe Fundanzahlen in 2021 eine Sonderstellung einnimmt; s.o.), in der Paraffin nur ca. 20% der Funde ausmachte; ca. 70% waren „andere bekannte Substanzen“ (ABS; möglicherweise Fettalkohole wie bei den lokalen Anspülungen), die an den Stränden JW und HÖ nur zu ca. 10% und an Ba/BaN gar nicht gefunden wurden. Die Gruppe Andere unbekannte Substanz (AUS) ist mit Anteilen von 5-15% in den Funden dokumentiert. Die Gruppen Kunststoff(artig) (KA) und Pflanzenfett (PF) wurden gar nicht gefunden.

Methodik

Die Erfassung mittels Zählrahmen ist als Methode im Rahmen des Projektes mit dem Ziel konzipiert worden, eine reproduzierbare und systematische Erfassung der zeitlich und räumlich dispersen

Belastung mit Paraffinen auf verschiedenen Skalen zur Verfügung zu stellen, die für ein langfristiges Monitoring dieses Belastungspfades geeignet ist.

Die Erfassung mittels Zählrahmen (1x1 m) wurde an Nord- und Ostsee über einen Zeitraum von 2 Jahren (2020-2021) durchgeführt. Sie erfolgt vier Mal pro Jahr in allen 4 Jahreszeiten. Es wurden 6 Strände beprobt: an der Nordsee Juist-Hammersee, JH (7 Termine), Juist-Wilhelmshöhe, JW (5 Termine), Baltrum, BA (6 Termine) und Sylt-Hörnum (7 Termine); an der Ostsee Darß-Rehberge, DR (7 Termine) und Rügen-Nordstrand, RN (7 Termine). Das Erfassungsdesign war an allen beprobten Stränden identisch; u.a. wurden überall 3 vertikale Strandzonen getrennt erfasst. Es wurden alle mit bloßem Auge erkennbaren Paraffinteile (i.d.R. > 5 mm) berücksichtigt. Neben der Anzahl der Paraffinteile pro Zählrahmen wurde auch das Gewicht aufgenommen. Eine Erfassung unterschiedlicher Größenklassen erfolgte nicht. Die Überprüfung der Erfassungssicherheit bei der Beprobung durch einen Vergleich mit den Ergebnissen unter Nutzung von UV-A-Licht (Schwarzlicht) ergab, dass die Beprobung bei Tageslicht zu einer Unterschätzung von ca. 24% im Mittel bei hoher Streuung führt (s. Kap. 2.6.2.4).

Die **Anzahl der Nullproben** lag an den untersuchten Stränden der Nordsee bei der Zählrahmenmethode, bei der jeweils die Anzahl von Teilen pro m² erfasst wird, bei >90 % der Proben (Nges. = 653). Der Anteil war damit deutlich größer als bei den anderen Methoden, bei denen aber jeweils auch sehr viel größere Flächen/Volumen mit einer allerdings deutlich geringeren Anzahl von Einzelproben erfasst werden.

Mit der Zählrahmenmethode sind alle mit dem bloßen Auge erkennbaren Teile (etwa >5mm) erfasst worden; eine Aufnahme des **Größenspektrums** erfolgte nicht (stattdessen wurde das Gesamtgewicht erfasst). Das Größenspektrum wird bei den in PimoPa genutzten Methoden nur beim Strandmüllmonitoring aufgenommen; durch Schätzung erfasst werden dort die Größenklassen < 1cm, 1-10cm und >10cm auf der gesamten Oberfläche eines 100 m langen Strandabschnitts vom Fuß der Dünen bis zur Wasserkante.

Bei der Analyse der Ergebnisse der Zählrahmenmethode wird deutlich, dass signifikante Unterschiede nur vereinzelt identifiziert werden konnten. Das gilt nicht nur bei der Analyse von Untereinheiten wie Strandzonen, Saisons etc., sondern auch bei stärkerer Aggregation von Daten und der dann recht hohen Probenzahl. Es lassen sich kaum Muster in der Verteilung etc. identifizieren; auch bei Aggregation aller (Nordsee-) Daten nicht. Die Untersuchung der beiden Ostseestrände zeigt im Vergleich mit den Nordseestränden, dass die Methode eine deutlich geringere Belastung durch einen erhöhten Anteil von Nullfunden, aber auch durch geringere mittlere Anzahlen und Gewichte erfassen kann. Durch die hohe Variabilität ist die statistische Absicherung von Unterschieden als signifikant mit der konzipierten Beprobungsdichte jedoch nur begrenzt erreichbar.

Die Datenstruktur wird einerseits durch die hohe Anzahl von Nullfunden (> 90%) und andererseits durch relativ wenige deutlich erhöhte Einzelfunde geprägt. Ursachen für die hohe Zahl von Nullfunden ist zum einen die relative Seltenheit auch von kleinen Partikeln bzw. die zu geringe erfasste Flächengröße und zum anderen die sehr unterschiedlichen vorkommenden Partikelgrößen, die auch die fehlende Korrelation zwischen Anzahl und Gewicht verursachen.

Bisher ist es unklar, ob die unterschiedlichen Partikelgrößen allein durch die mechanischen und physikalischen Belastungen (z.B. Wellenschlag, Sandflug, Temperatur) im Wasser und am Strand entstehen oder ob diese bereits mit einem solchen Größenspektrum emittiert werden (s. dazu auch Fitz & Fleet 2017). Plausibel ist, dass beide Pfade vorkommen und gleichsinnig wirken, also zu einer immer geringeren Partikelgröße und am Ende zur Auflösung führen. Das würde bedeuten, dass ein Eintrag in das Gewässer bzw. an den Strand auch mit unterschiedlichen Partikelgrößen erfolgt (wie die Untersuchungen auch zeigen) und die Partikel, wenn kein Neueintrag erfolgen würde, nach einer variablen Zeitspanne verschwunden sind (auch das deuten die Beobachtungen an, da offensichtlich keine Akkumulation über längere Zeit erfolgt). Untersuchungen zur Degradation von Paraffinen liegen nicht vor (Suaria et al. 2018). Es erscheint plausibel, dass das Material eine gewisse Beständigkeit hat, aber im Bereich von Monaten durch UV-Strahlung, mechanischen Abrieb (Strand) und biologischen Abbau einem deutlichen Schwund unterliegt.

Die zusätzlich zum zufälligen Probenraster vor Ort augenscheinlichen und dann gezielt beprobten „**hot spots**“, also Bereiche mit höheren Anzahlen und/oder Gewichten, zeigten an den einzelnen Stränden eine sehr hohe saisonale und interannuelle Variabilität; mittlere Anzahlen und Gewichte dieser Proben lagen aufgrund der gezielten Aufsuchung im Mittel natürlich deutlich über der der zufälligen Stichproben. Aufgrund der unterschiedlichen Ansätze von Zufallsstichproben und beproben augenscheinlicher hot spots entstehen ganz unterschiedliche Datensätze, die getrennt ausgewertet und dargestellt werden müssen. Für ein langfristiges Monitoring könnte die Aufnahme von hot spots u.E. entfallen.

Die gleichzeitige Aufnahme der Parameter **Anzahl und Gewicht** zeigt, dass beide Parameter nur schwach korreliert sind; ein Grund sind vermutlich die nur ganz vereinzelt Funde größerer Teile mit hohem Gewicht; möglicherweise auch die hohe Zahl von Nullfunden. Die schwache Korrelation ist voraussichtlich auch wesentlich darauf zurückzuführen, dass am Strand lediglich das Feuchtgewicht erhoben wird. Dies bedeutet, dass das Paraffin je nach Wetterlage unterschiedlich Feucht ist und auch unterschiedlich viel Sandanhaftungen hat.

Dies führt insgesamt dazu, dass trotz des systematischen Ansatzes signifikante Unterschiede kaum identifiziert werden konnten. Aber auch bei Berücksichtigung nicht signifikanter, aber deutlicher Unterschiede zwischen den differenzierten Einheiten lassen sich kaum Hinweise auf Verteilungsmuster identifizieren. Dies könnte bedeuten, dass solche Muster, abgesehen von langfristigen Veränderungen der Gesamtbelastung, auch gar nicht existieren, sondern die Belastung wesentlich von Zufall und lokalen, möglicherweise temporären Charakteristika geprägt wird. Das Verständnis der Prozesse, die zu der Variabilität führen, bleibt jedoch insgesamt noch unklar.

2.6.5 Einschätzung der Ergebnisse

Unter der Annahme, dass es Aufgabe des MSRL-Monitorings sein soll, die langfristige Veränderung der Belastung mit Paraffinen zu beschreiben und diese damit einer Bewertung zugänglich zu machen, sollte das Monitoring das Vorkommen und wenn möglich auch die Menge des Paraffins systematisch und reproduzierbar erfassen und die vorhandene große Variabilität durch ein ausreichend großes N handhabbar machen.

Die Erfassung erfolgt mit dem konzipierten und hier getesteten Zählrahmenansatz systematisch und der methodische Ansatz ist klar definiert, so dass auch bei der Bearbeitung durch wechselnde ProbennehmerInnen die subjektiven Unterschiede vermutlich relativ gering sind; ein entsprechender Test dazu ist allerdings bisher nicht erfolgt. Die Analyse der gewonnenen Daten zeigt allerdings, dass bisher aufgrund der großen Variabilität und des resultierenden großen Standardfehlers trotz des bereits recht großen N_s statistisch signifikante Unterschiede auch bei deutlich unterschiedlichen Mittelwerten kaum identifiziert werden konnten.

Diese Herausforderung ist jedoch auch bei den anderen Methoden prinzipiell ähnlich und könnte durch entsprechende Anpassungen der Methode reduziert werden. Grundsätzlich scheint die Methode aufgrund ihres systematischen, klar definierten Ansatzes bei entsprechender Fokussierung und weiterer Erhöhung des Probenahmeaufwandes für ein langfristiges Monitoring geeignet.

2.7 Begleitsubstanzen in Paraffinwachs

2.7.1 Einleitung und Aufgabe

Bei Paraffinwachs in der Meeresumwelt handelt es sich um ein Produkt, welches aus Mineralöl erzeugt wird und daher Anteile von umweltschädlichen Substanzen enthalten kann (z.B. Polyzyklische aromatisch Kohlenwasserstoffe (PAK), zyklische und verzweigte Verbindungen, etc.). Negative Auswirkungen bzw. Wassergefährdungen hängen von der Art dieser Substanzen ab.

Laut UEG (2014) stammt das Paraffinwachs auf der Meeresoberfläche oder angelandet am Strand aus Tankreinigungen von Schiffen, die industrielles Rohparaffin transportieren. Diese Rohprodukte besitzen naturgemäß einen niedrigen Reinheitsgrad und beinhalten damit noch hohe Gehalte an den obigen Begleitsubstanzen.

Eine weitere Quelle von Begleitsubstanzen kann von jenen eingesetzten Chemikalien stammen, welche die Reinigung der Tanks an Bord unterstützen sollen. Zusätzlich zur Wärme (beheizte Tanks) werden diverse Gemische als Lösemittel eingesetzt, die das Paraffin lösen sollen. So wird auch Treibstoff, wie z.B. Schiffsdiesel, für diese Zwecke verwendet.

Im Folgenden wurden exemplarisch einige Paraffinfunde auf ihre chemischen Begleitstoffe hin untersucht.

2.7.2 Methodik

Für diese Untersuchung wurden 10 Proben ausgewählt, die räumlich und zeitlich voneinander entfernt genommen wurden, wozu der Probenbestand der am BSH gesammelten Paraffinwachse verwendet worden ist (s. Abb. 73). Bei der Auswahl der Proben wurde darüber hinaus auf deren Färbung (bräunlich/gelblich bis weiß) geachtet, welche ein Anzeichen für die Reinheit der Substanzen sein könnte. Zwei der untersuchten Proben („vipo_216b“ und „vipo_217“) stammen von der

Meeresoberfläche der deutschen Nordsee, alle anderen acht Proben von Stränden der deutschen Nordseeküste.

Die chemische Analyse wurde mittels der Gaschromatographie durchgeführt, gekoppelt mit einem Massenspektrometer (GCMS). Prinzipien der GC werden in Kap. 2.3.2.2 erläutert. Alle Proben wurden nach ECfS (2012) aufgearbeitet und mittels GCMS vermessen. Diese Methode wird in der Ölforenstik im BSH eingesetzt und erfasst qualitativ 130 Einzelsubstanzen und Isomergemische, darunter auch PAKs mit 2 bis 4 Ringen, schwefelhaltige Verbindungen sowie geradkettige (n-Alkane) und verzweigte Kohlenwasserstoffe (iso-Alkane).



Abb. 73: Ausgewählte Paraffinwachsproben zur Untersuchung auf Begleitsubstanzen.
© BSH Ölforenstik

2.7.3 Ergebnisse

Die verwendete Analysenmethode erlaubt den qualitativen Nachweis (im Konzentrationsbereich von mg/L) von 130 Markersubstanzen, die üblicherweise in Rohölen und davon erzeugten Produkten (z.B. Kraftstoff) zu finden sind.

Von diesen Markersubstanzen konnten abgesehen von den n-Alkanen nur sehr wenige Substanzen nachgewiesen werden. Die Auswertung erfolgte mit dem Fokus auf die umweltrelevanten Substanzen, vor allem die Gruppe der PAKs die mit 26 Vertretern in der Analyseverfahren berücksichtigt werden.

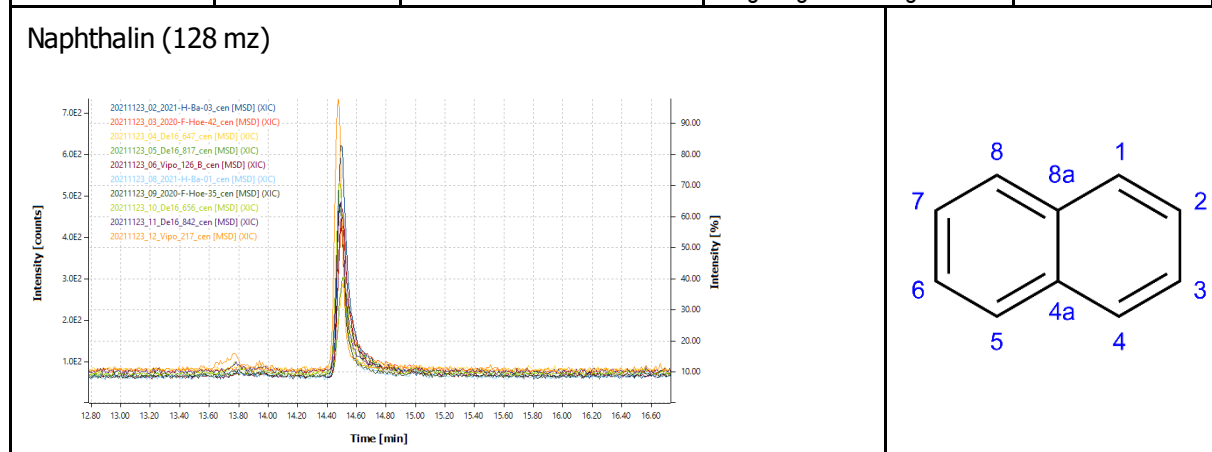
In allen Proben konnten qualitativ folgende 5 PAK-Spezies mit 2 bis 4 Ringen in unterschiedlichen Gehalten nachgewiesen werden:

- Naphthalin (2 Ringe)
- Phenanthren (3 Ringe)
- Fluoranthen (3 Ringe)
- Pyren (4 Ringe)
- C4-Dibenzothiophene (2 Ringe, enthält Schwefel)

Für Mensch und Organismen sind PAK eine besorgniserregende Stoffgruppe (Brandt & Einhenkel-Ale 2016). Viele PAK haben krebserregende, erbgutverändernde und/oder fortpflanzungsgefährdende Eigenschaften (Crone & Tolstoy 2010). Einige PAK sind gleichzeitig persistent, bioakkumulierend und toxisch für Menschen und andere Organismen. Einen Überblick der Eigenschaften der in der vorliegenden Untersuchung nachgewiesenen PAK's gibt Tab. 17.

Tab. 17: Eigenschaften der nachgewiesenen PAK's

Name	Chemische Summenformel	Wassergefährdungsklasse	Gefahrenhinweise	Gefahrensymbol
Naphthalin	C ₁₀ H ₈	WGK 3: stark wassergefährdend	Endzündbarer Feststoff, kann vermutlich Krebs erzeugen, Gesundheitsschädlich bei Verschlucken, Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung	
Phenanthren	C ₁₄ H ₁₀	WGK 2: wassergefährdend	Sehr giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung, Gesundheitsschädlich bei Verschlucken	
Fluoranthen	C ₁₆ H ₁₀	WGK 2: wassergefährdend	Gesundheitsschädlich bei Verschlucken, Sehr giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung	
Pyren	C ₂₀ H ₁₂	WGK 2: wassergefährdend	Sehr giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung	
C4-Dibenzothiophene	C ₁₂ H ₈ S	WGK 3: stark wassergefährdend	Gesundheitsschädlich bei Verschlucken, Sehr giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung	



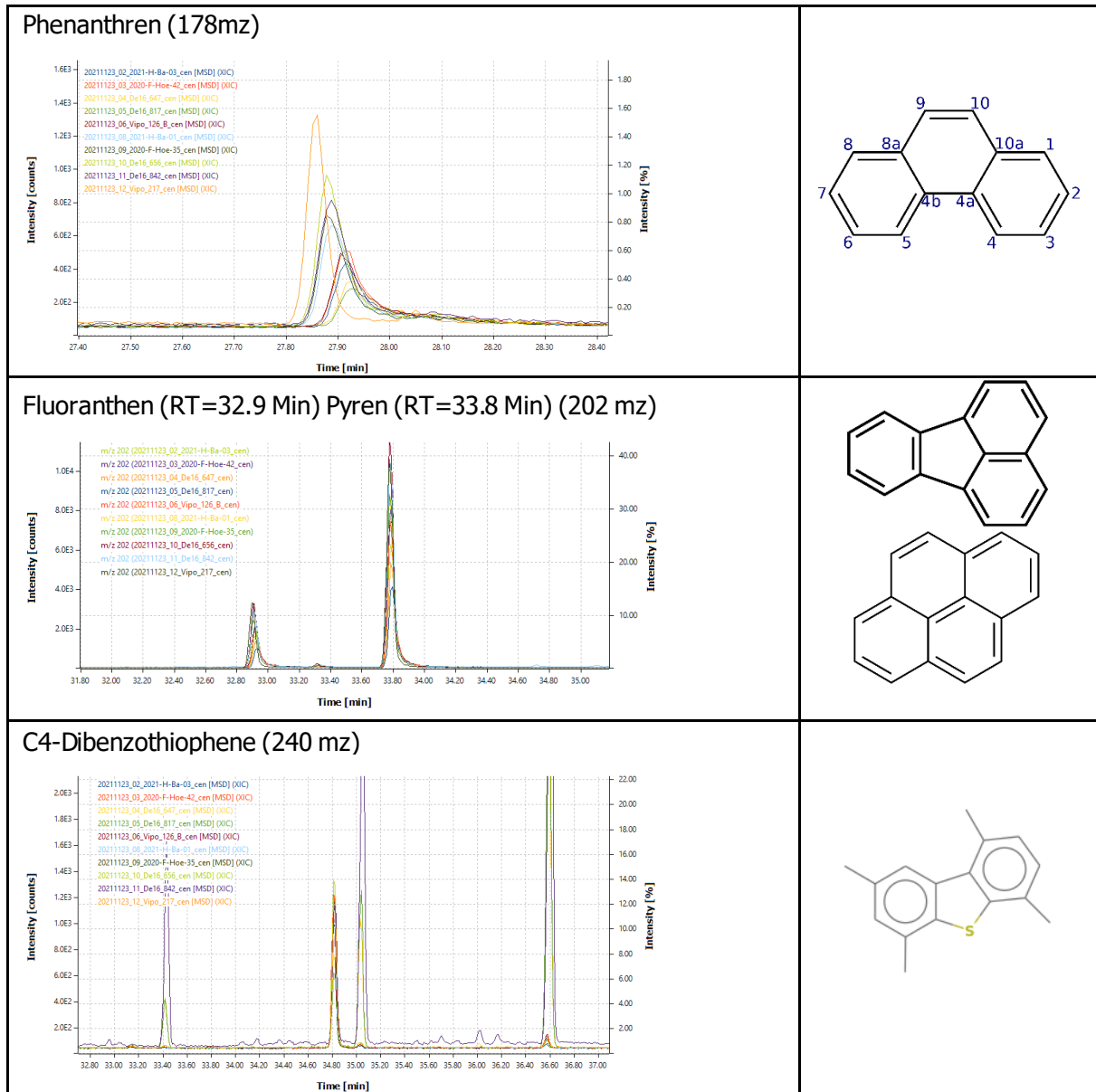


Abb. 74: Massen-Chromatogramme ausgewählter PAKs. Abgebildet sind die Massenspuren aller Proben überlagert, womit deutlich wird, dass die Substanzen in allen Proben vorkommen, wenn auch in unterschiedlichen Gehalten

2.7.4 Einschätzung der Ergebnisse

In Paraffinwachs finden sich noch Substanzen, die aus den mineralischen Rohölen stammen, aus denen es erzeugt wurde. Zu diesen Substanzen zählen auch die nachgewiesenen Vertreter der PAKs, die als wassergefährdend oder sogar stark wassergefährdend eingestuft sind.

Die unterschiedliche Färbung der Wachse (hell/weiß vs. gelblich/bräunlich) kann mit dem Gehalt an PAKs und einer damit einhergehenden Reinheit nicht erklärt werden.

Hervorzuheben sind die Begleitsubstanzen der Probe *De16_842* (s. Abb. 73). In dieser Probe wurde ein Substanzinventar nachgewiesen, dass typisch für Kraftstoff wie Marinediesel ist. Es ist davon auszugehen, dass dieses Paraffinwachs in einen weitreichenden Kontakt mit einem Kraftstoff kam, z.B. durch den Einsatz von Kraftstoff als Reinigungsmittel. Der Einsatz solcher Reinigungsmittel verstärkt somit das Vorkommen umweltrelevanter Substanzen in der Meeresumwelt deutlich.

Die vorliegende Untersuchung basiert auf einer geringen Anzahl von Proben (n=10 Proben) und ist damit nicht repräsentativ für die Bandbreite der potenziell in Paraffinwachsen auftretenden Begleitsubstanzen. Trotzdem gibt sie einen sehr guten ersten Überblick und lässt die Bedeutung des Problems erkennen (alle räumlich und zeitlich voneinander entfernten Proben sind betroffen). Es wird empfohlen zukünftig die Begleitsubstanzen von Paraffinwachsen, ob produktionsbedingt oder nachträglich beaufschlagt, vertieft zu betrachten.

3. Übersicht zu den Ergebnissen

3.1 Raum-Zeit-Muster der Mengen

3.1.1 Komplexe Schadstoffunfälle

Größere Paraffinanlandungen werden als Komplexer Schadstoffunfall (KSU) bezeichnet und vom Havariekommando für Nord- und Ostsee dokumentiert, wenn eine aufzunehmende Menge von 30 m³ Paraffinabfall (bzw. alternativ eine erhebliche Bedeckung von Ufer und / oder Böschungen mit Paraffin auf einer Länge von mindestens 10 km) überschritten wird.

Die Zusammenstellung der Ereignisse von 2007 bis Ende 2021 zeigt, dass sich an der deutschen Nordsee in diesem Zeitraum drei größere Anspülungen ereignet haben (2009, 2014 und 2016). An der Ostsee waren es insgesamt sechs größere Anspülungen (eine in 2007, zwei in 2010 (mit derselben Verschmutzungsquelle), zwei in 2012 und eine in 2014). Die aufgenommenen Mengen Paraffin-Sandgemisch liegen zwischen 11t bzw. 32,5 m³ und 75t und 138 m³ (je nach Bekämpfungsmethoden und Entsorgungsweg wird die Menge in t bzw. m³ angegeben).

Es handelt sich also um relativ seltene Ereignisse sehr unterschiedlichen Umfangs. Es ist plausibel, dass Ereignisse dieser Größenordnung an den deutschen Küsten mit großer Wahrscheinlichkeit erkannt werden; die Erfassungssicherheit ist also hoch. Trendberechnungen sind aufgrund der Seltenheit und großen Mengenvariabilität nicht sinnvoll möglich; Hinweise auf sehr deutliche Veränderungen in der Eintrittsfrequenz (positiv wie negativ) würden die Daten jedoch ermöglichen. Bedeutsam ist in diesem Zusammenhang, dass es v.a. diese Ereignisse sind, die in der Öffentlichkeit wahrgenommen werden. Unklar ist, welche Bedeutung diese Ereignisse für den Gesamteintrag haben.

3.1.2 Lokale Anspülungen

Im Rahmen von PimoPa ist ein System definiert worden, mit dem die Schwere der gemeldeten Anspülungen in 5 Kategorien klassifiziert werden kann; dies erfolgt in allen Küstenbundesländern in ähnlicher Weise (die unterschiedlichen Küstenlängen werden bisher nicht berücksichtigt).

In MV wurden zwischen 2012 und 2021 zwischen 0 und 3 Ereignisse/Jahr aus allen 5 Kategorien gemeldet (Mittelwert 1,4 Ereignisse/a). Der Mittelwert über die Jahre 2012-16 (1,8 Ereignisse/a) liegt etwas über dem Mittelwert über die Jahre 2017-21 (1,2 Ereignisse/a).

In SH (nur Nordsee) wurden zwischen 2016 und 2021 zwischen 2 und 52 Ereignisse/Jahr aus 4 Kategorien (keine KSU) gemeldet (Mittelwert 17,1 Ereignisse/a). Der Mittelwert über die Jahre 2016-18 (16 Ereignisse/a) liegt deutlich unter dem Mittelwert über die Jahre 2019-21 (25 Ereignisse/a). Die starke Zunahme wird v.a. durch die Kategorie „kleine Anspülungen“ in 2021 verursacht.

In NDS wurden zwischen 2007 und 2018 zwischen 0 und 19 Ereignisse/Jahr aus allen 5 Kategorien gemeldet (Mittelwert 3,4 Ereignisse/a). Für 2018 zeigen die Ergebnisse eine starke Zunahme aller Kategorien; die Kategorie „kleine Anspülungen“ taucht erstmals und in hoher Zahl auf. Es ist anzunehmen, dass es diese kleinen Anspülungen vorher ebenfalls gab, sie jedoch nicht dokumentiert worden sind. In 2021 wurden im Erfassungszeitraum (April bis Dezember) zwischen 0 und 11 Ereignissen pro Monat dokumentiert (durchschnittlich 3,5 Anspülungen/ Monat, insgesamt 32 Anspülungen in 9 Monaten). Mit Ausnahme von mittleren Anspülungen im April und Juni 2021, die z.T. zeitnah an mehreren Stränden entlang der Küste auftraten, waren die Meldungen v.a. durch kleine Anspülungen geprägt.

Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass die Ereignismeldungen in MV (Ostsee) deutlich seltener sind als in den beiden anderen Bundesländern (Nordsee) und die Meldungen in SH deutlich häufiger sind als in NDS. Da in den Meldungen aus NDS die Kategorie „kleine Anlandungen“ erst 2018 erstmals und dann in sehr hoher Zahl auftaucht ist es plausibel, dass der Unterschied zwischen SH und NDS (auch) erfassungsbedingt ist. Die etwas höheren Zahlen in Niedersachsen in 2018 sind vermutlich auch in Zusammenhang mit der Anfrage der Landesregierung in 2018 zu sehen, ebenso wie in 2021 mit den spezifischen Abfragen zu Anspülungen im Rahmen von PimoPa.

Hinweise auf eine deutliche Veränderung über die Zeit ergeben sich aus den Ergebnissen unter Berücksichtigung der erfassungsbedingten Einflüsse nicht.

3.1.3 Wasseroberfläche

Die Erfassung schwimmender Teile auf See wird in der vorliegenden Studie v.a. für die Analyse der chemischen Zusammensetzung genutzt; Angaben zu Mengen werden nicht gemacht.

Bei den insgesamt 103 im Projektzeitraum durchgeführten Schleppfahrten (SF) (73 Nordsee; 29 Ostsee; jeweils überwiegend AWZ) wurde bei 73 SF paraffinartiges Probenmaterial gefunden; 30 SF bzw. 29,1% waren Nullfunde). Auf ca. 2/3 der SF wurde also Material gefunden; dies ist als deutlicher Hinweis auf eine weite Verbreitung zu werten (s. auch Fitz & Fleet 2017). Der Anteil der Nullfunde für die Nordsee betrug 23,0%, der für die Ostsee 44,8%.

3.1.4 Eissturmvögel

Der Datensatz 2002-2019 ergibt, dass 22% der 818 untersuchten Eissturmvögel paraffinähnliche Stoffe im Magen hatten; das durchschnittliche Gewicht pro Vogel betrug 0,3 g. Die Variabilität der Menge in den Proben ist hoch; die Werte betragen zwischen 0 und 34 g. In den Niederlanden wurden in 21% von 1101 untersuchten Vögel paraffinähnliche Stoffe in den Mägen gefunden; das durchschnittliche Gewicht betrug 0,8 g (van Franeker et al. 2019; Datenreihe seit 1979).

Die Messreihe für die deutsche Nordseeküste zeigt über den gesamten Datensatz (2002 bis 2019) einen abnehmenden Trend im Gewicht paraffinähnlicher Stoffe in den Mägen der Eissturmvögel; der trotz der hohen Variabilität signifikant ist. Die übergreifenden 5-jährigen arithmetischen Mittel zeigen 3 Phasen: hohe Werte von 2002 bis 2008 (ca. 4,5 g/Magen); deutlich niedrigere Werte etwa

zwischen 2009 und 2014 (< 0,1 g/Magen) und wieder etwas erhöhte Werte seit etwa 2015 (ca. 0,2 g/Magen). Diese Phasen spiegeln sich begrenzt auch in der relativen Fundhäufigkeit wider.

3.1.5 Strandmüllmonitoring

Aus dem OSPAR-Strandmüllmonitoring standen Daten von 2002 bis 2021 für 4 Nordsee-Strände (Sylt, Scharhörn, Juist und Minsener Oog) zur Verfügung. Für die Ostseeküste (nur MV) liegen aus der Zeit von Oktober 2011 bis Dezember 2020 Daten von 22 Stränden zur Auswertung vor.

Nordsee

Zwischen 2002 und 2021 wurden insgesamt 261 Erfassungen durchgeführt, bei denen bei 24 % (63) Paraffine gefunden wurden; 76% waren Nullfunde. Die Unterschiede der relativen Fundhäufigkeit zwischen den Stränden sind groß: Sylt 52,9%; Scharhörn 29,4%, Minsener Oog 2,8%; Juist 13,0%. Es deutet sich damit eine Abnahme von Nordost nach Südwest an. Die Ursache der geringen Frequenz auf Minsener Oog ist unklar und die Daten sind in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt.

Die langzeitliche Veränderung sowohl der Fundhäufigkeiten als auch der Mengen an den drei Nordseestränden Sylt, Scharhörn und Juist zeigt gewisse Ähnlichkeiten. Die Werte beider Parameter liegen an allen drei Stränden im Zeitraum 2002-2011 deutlich (z. T. signifikant) niedriger als im Zeitraum 2012-2021 (Paraffinstücke pro Meter Strand: Sylt 3,9 und 23,7; Scharhörn 1,5 und 3,0; Juist 0,8 und 12,6).

Die Fundhäufigkeit der differenzierten 3 Größenklassen ist unterschiedlich: kleinere Stücke (<1cm) wurden in 58%, mittelgroße Stücke (1-10cm) in 92% und große Stücke (>10cm) in ca. 33% der Verschmutzungsfälle gefunden. Auffällig ist, dass kleinere Stücke seltener gefunden wurden als mittelgroße Stücke. Dies ist ein methodisches Problem, da insbesondere kleinere Paraffintelle auf den z.T. sehr großen Strandflächen übersehen werden und wenig im Fokus des ganz überwiegend auf Makromüll abgestellten Monitorings stehen.

Ostsee

Zwischen 2011 und 2020 wurden insgesamt 633 Erfassungen durchgeführt, bei denen bei 4,1 % (26) Paraffine gefunden wurden; 95,9 % waren Nullfunde. Die relative Fundhäufigkeit variiert zwischen 0 und 24,1 %; ein räumliches Muster deutet sich nicht an (an 11 der 22 je 100 m langen Monitoringstrände wurden Stücke gefunden). Insgesamt wurden nur 74 Stücke aus den 3 Größenklassen dokumentiert: < 1 cm 13 Teile; 1–10 cm 55 Teile; > 10 cm 6 Teile. Auch das Strandmüllmonitoring bestätigt also die sehr viel geringere Belastung der Ostsee im Vergleich zur Nordsee.

3.1.6 Zählrahmen

Die Erfassung mittels Zählrahmen ist als Methode im Rahmen des Projektes mit dem Ziel konzipiert worden, eine reproduzierbare und systematische Erfassung der zeitlichen und räumlichen

Variabilität der dispersen Belastung mit Paraffinen auf verschiedenen Skalen zur Verfügung zu stellen, die für ein langfristiges Monitoring dieses Belastungspfades geeignet ist.

Die Erfassung mittels Zählrahmen (1x1 m) wurde an Nord- und Ostsee über einen Zeitraum von 2 Jahren (2020-2021) testweise durchgeführt. Sie erfolgt 4mal/a in allen 4 Jahreszeiten. Es wurden 6 Strände beprobt: an der Nordsee Juist-Hammersee, JH (7 Termine), Juist-Wilhelmshöhe, JW (5 Termine), Baltrum, BA (6 Termine) und Sylt-Hörnum, HÖ (7 Termine); an der Ostsee Darß-Rehberge, DR (7 Termine) und Rügen-Nordstrand, RN (7 Termine). Das Erfassungsdesign war an allen beprobten Stränden identisch; u.a. wurden überall 3 vertikale Strandzonen getrennt erfasst. Es wurden alle mit bloßem Auge erkennbaren Paraffinteile (i.d.R. > 5 mm) berücksichtigt.

In ca. 90 % der Nordseeproben ($N_{\text{ges.}} = 653$) wurde kein Paraffin nachgewiesen; die Unterschiede zwischen den Stränden JH, BA und HÖ waren relativ gering; am Strand JW wurde davon deutlich abweichend fast kein Paraffin gefunden. Bei den beiden Ostseestränden lag der Anteil der Nullproben bei fast 100%: in Darß-Rehberge wurde kein Paraffin registriert; am Nordstrand auf Rügen wurde nur in einer von insgesamt 180 Proben ein Brocken nachgewiesen.

Die Erfassung der Menge erfolgte zum einen über die „Anzahl Brocken“/m², die im Mittelwert an den verschiedenen Stränden deutlich unterschiedlich waren: JH 1,18; JW 0,05; BA 0,24; HÖ 0,19; DR 0,00; RN 0,01. Auf Juist-Hammersee lag der Mittelwert mit 1,18 Brocken/Stichprobe deutlich am höchsten; an den Ostseestränden DR und RN wurden keine bzw. fast keine Nachweise erbracht. Die Erfassung der Menge über das Gewicht (JH 0,90; JW 0,03; BA 0,10; HÖ 0,31; DR 0,00; RN 0,02 g/m²) ergab, dass der Unterschied zwischen Nord- und Ostsee dem bzgl. der Anzahlen entspricht, dass aber die Belastung an den Nordseestränden über den Parameter Gewicht eine z.T. deutlich andere Verteilung zwischen den Stränden zeigt (relativ höhere Belastung an HÖ) als für den Parameter Anzahl. Deutlich wird auch, dass die interannuellen Unterschiede groß sein können.

Ein Südwest-Nordost-Gradient der Anzahlen oder Gewichte zwischen Juist und Sylt ist nicht zu erkennen; sehr deutlich ist jedoch der Unterschied zwischen Nord- und Ostsee.

Die Beprobung entlang des Vertikalgradienten (obere, mittlere und unterer Strandzone) an den Nordseestränden zeigt für die vorliegenden Daten sowohl für den Parameter Anzahl als auch das Gewicht kein klares Verteilungsmuster, sondern deutet eher eine zufällige Verteilung an.

Die interannuelle Variabilität lässt sich auf der Grundlage der beiden bisher mit der Zählrahmenmethode untersuchten Jahre noch nicht beurteilen. Deutlich wird jedoch, dass die Unterschiede zwischen den Jahren z.T. deutlich, z.T. aber auch gering sind und für die beiden Parameter Anzahl und Gewicht nicht gleichlaufend sind. So lag das Gewicht der erfassten Teile 2020 an allen Stränden deutlich aber statistisch nicht signifikant über dem in 2021. Die mittlere Anzahl von Teilen liegt dagegen in 2021 deutlich über der aus 2020 (ebenfalls statistisch nicht signifikant).

Die saisonalen Unterschiede sind insgesamt gering.

Die zusätzlich zum zufälligen Probenraster beprobten, vor Ort augenscheinlichen und dann gezielt beprobten „hot spots“, also Bereich mit höheren Anzahlen, zeigten an den einzelnen Stränden eine sehr hohe saisonale und interannuelle Variabilität; Anzahlen und Gewichte dieser Proben lagen

aufgrund der gezielten Aufsuchung im Mittel methodisch bedingt deutlich über der der zufälligen Stichproben.

3.1.7 Vergleich der Erfassungen

Ein eindeutiges Ergebnis zeigt sich im **Vergleich der Belastung zwischen Nord- und Ostsee**: die Belastung an der Nordsee ist sehr deutlich höher als an der Ostsee. Dieser Befund wird von den verschiedenen Methoden weitgehend gestützt. So liegen die Zahlen der Meldungen von lokalen Anspülungen für die Nordsee deutlich über der für die Ostsee (nur MV). Der Anteil der Nullfunde bei der Beprobung der Wasseroberfläche war an der Ostsee etwa doppelt so hoch wie an der Nordsee. Noch deutlicher sind die Unterschiede im Rahmen des Strandmüllmonitorings und der Zählrahmen. Im Widerspruch dazu steht die Anzahl von komplexen Schadstoffereignissen; zwischen 2007 und Ende 2021 wurden an der deutschen Nordsee 3 KSU, an der Ostsee dagegen 6 (bzw. 5, da zwei KSU durch einen Vorfall verursacht wurden) registriert. Dies kann als Hinweis gewertet werden, dass KSU für sich alleine stehend für die Beschreibung der Gesamtbelastung weniger geeignet ist.

Die **Unterschiede zwischen den vier Nordseestationen** (Zählrahmen) waren während der beiden beprobten Jahre groß, das gilt sowohl für den Parameter Anzahl als auch das Gewicht. Ein Südwest-Nordost-Gradient der Anzahlen oder Gewichte zwischen Juist und Sylt ist nicht zu erkennen; die größten Unterschiede bestehen zwischen den beiden auf Juist beprobten Stationen. Das Strandmüllmonitoring beprobt seit 20 Jahren 4 Strände auf Sylt, Scharhörn, Minsener Oog und Juist. Die Unterschiede der gefundenen Teileanzahl von Paraffin steigt dort nicht nur über die Jahre an, sie weist auch starke Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Anzahl der Paraffinstücke pro Erfassung für die untersuchten Strände auf: Sylt 13,8; Scharhörn 2,3; (Minsener Oog <1); Juist 6,7. Es zeigt sich damit auch bei dieser Methode, anders als bei den Beobachtungen in Fitz & Fleet (2017), kein klarer Südwest-Nordost-Gradient. Wie bei der Zählrahmenmethode (dort JW) fällt auch beim Strandmüllmonitoring ein einzelner Standort durch sehr geringe Belastung auf. Das deutet auf die Möglichkeit hin, dass dies nicht methodische Ursachen hat, sondern die räumliche Verteilung noch unterschiedlicher ist als erwartet. Es lassen sich anhand der vorliegenden Daten also keine klaren räumlichen Verteilungsmuster identifizieren. Vermutlich sind Unterschiede v.a. Ergebnis von Zufall und der spezifischen lokalen hydrodynamischen Situation. Deutlich werden auch die großen Unterschiede bei den Parametern Anzahl und Gewicht; beide liefern recht unterschiedliche Verteilungsbilder der Belastungen.

U.W. erstmalig ist für Paraffin eine systematische Untersuchung entlang des **Vertikalgradienten** verschiedener Strände durchgeführt worden (Methode Zählrahmen); es wurde zwischen oberer, mittlerer und unterer Strandzone differenziert. Dabei repräsentiert die untere Strandzone die jeweilige, bei der Probenahme aktuellen Hochwasserlinie; die obere Strandzone den Dünen- oder Klifffuß. Obwohl die Mittelwerte über alle Nordsee-Stationen für die Anzahlen einen klaren Gradienten mit der höchsten Belastung in der unteren Strandzone und Richtung Dünenfuß abnehmenden Dichten zeigen (nicht signifikant), zeigt sich bei genauerer Betrachtung kein klares Muster. Der „scheinbare“ Gradient ergibt sich wesentlich aus der Verteilung am Strand JW mit ihren hohen Werten in der unteren Strandzone; an den Stränden von Baltrum und Sylt ist der Gradient bei insgesamt deutlich niedrigeren Werten gegenläufig. Für den Parameter Gewicht zeigt die Belastung über alle Stationen den höchsten Wert in der mittleren Strandzone und weicht damit

vom Verteilungsbild für die Anzahlen ab. Die Verteilung über die verschiedenen Strandzonen zeigt also für die vorliegenden Daten sowohl für den Parameter Anzahl als auch das Gewicht kein klares Verteilungsmuster, sondern deutet eher eine zufällige Verteilung an, die von der lokalen Situation, von erhöhten Einzelwerten und der hohen Zahl von Nullproben geprägt ist.

Die **interannuelle Variabilität** ist für die Parameter Anzahl und Gewicht bei allen Methoden groß. Bei den Methoden für die bereits längere Datenreihen vorliegen (v.a. Strandmüllmonitoring, lokale Anspülungen), ergeben sich jedoch trotz der hohen Variabilität zumindest Hinweise auf Trends, die recht übereinstimmend für die Jahre 2010 bis 2020 höhere Belastungen plausibel machen als für den Zeitraum 2000-2010.

Die Zählrahmen zeigen, dass die **saisonalen Unterschiede**, auch aufgrund der strandübergreifend hohen Anzahl von „Null-Werten“, insgesamt gering. Möglicherweise sind die Fundzahlen in Winter (Parameter Anzahl) und Frühjahr (Parameter Gewicht) etwas höher. Auswertungen anderer Methoden zur Saisonalität im Rahmen von PimoPa liegen nicht vor.

3.2 Chemische Zusammensetzung

In diesem Projekt wurden diverse Verfahren zur Probengewinnung verwendet. Darunter solche, die sich schon länger in der Anwendung befinden (z.B. das Beprobieren mittels Schleppnetz) aber auch solche, die erst im Rahmen des Projektes konzipiert und erstmalig eingesetzt wurden (z.B. die Zählrahmenmethode für die Probenahme am Strand). In bereits etablierten Erfassungsmethoden, welche unabhängig von PimoPa durchgeführt werden, wird eine chemische Analytik durchgeführt, die mehr Substanzarten bzw. deren Mischungen identifizieren kann, als die Analysemethodik, die im Rahmen von PimoPa vorgesehen war. Die Ergebnisse aus den etablierten Erfassungen besitzen deshalb i.d.R. einen größeren Umfang bzw. identifizieren mehr Substanzen.

Dies führt zu verschiedenen Detailtiefen in den Ergebnissen der jeweiligen Abschnitte, je nachdem welche Verfahren angewendet wurden. Damit wird ein Vergleich der Ergebnisse zwischen den Verfahren zunächst komplexer, doch lassen sich so auch die Potentiale der Methoden in den Verfahren hinsichtlich der möglichen Erfassung verschiedener, ggf. relevanter Schadstoffe und –gruppen erkennen.

Die betrachteten Verfahren besitzen alle das Potential Stoffe zu erfassen, die die chemischen und physikalischen Eigenschaften teilen, die sie zu persistenten aufschwimmenden Stoffen machen. Allerdings erlaubt erst die chemische Analyse die abgesicherte Differenzierung der Substanzen.

In Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** wurde gezeigt, dass ein Drittel der Probenfunde auf der Wasseroberfläche zwar von der Natur her den persistenten aufschwimmenden Stoffe entspricht, jedoch nicht den bekannten Vertretern zugeordnet werden konnte. Mit einer Verfeinerung der chemischen Analysemethoden kann die Leistungsfähigkeit deutlich gesteigert werden, da so auf weitere Vertreter dieser Verschmutzungs-klasse, die in der Zukunft ggf. reglementiert werden oder für die eine Reglementierung angestrebt wird, sehr schnell eingegangen werden kann. Auf vereinheitlichte und abgestimmte Methoden sollte bei der Etablierung eines Monitorings unbedingt geachtet werden.

Die Analyse der **chemischen Zusammensetzung** von Proben aus der Zählrahmenuntersuchung (einer Teilmenge des Datensatzes) ergab, dass die Stoffgruppe Paraffin (PW) deutlich die Zusammensetzung der Proben dominiert: die Funde bestanden zu 80-90% aus Paraffin. Eine Ausnahme ist die Station Juist-Hammersee (die auch durch besonders hohe Fundanzahlen in 2021 eine Sonderstellung einnimmt; s.o.), in der Paraffin nur ca. 20% der Funde ausmachte; ca. 70% waren „andere bekannte Substanzen“ (ABS), die an den Stränden JW und Hö nur zu ca. 10% und an Ba/BaN gar nicht gefunden wurden. Die Gruppe Andere unbekannte Substanz (AUS) ist mit Anteilen von 5-15% in den Funden dokumentiert. Die Gruppen Kunststoff(artig) (KA) und Pflanzenfett (PF) wurden gar nicht gefunden.

Tab. 18 gibt einen Überblick über die Zusammensetzung des Materials aus den verschiedenen Untersuchungen. Die Analyse der lokalen Anspülungen in SH in 2021 ergab für 28 Anspülungen, dass sich ca. 50% dieser Anspülungen ausschließlich aus Fettalkoholen zusammensetzte, weitere rund 36% aus Paraffin (z.T. mit Beimengungen). Diese Substanzen bestimmen das Bild deutlich. Allerdings ließen sich die Fettalkohole nur in einem relativ kurzen Zeitraum beobachten (April-Mai 2021), dann jedoch an der gesamten deutschen Nordseeküste. Lediglich etwa 7% der Anspülungen bestanden ausschließlich aus Ethylenoligomeren und rund 4% aus Pflanzenfett.

Die Analyse eines Teils der lokalen Anspülungen in NDS in 2021 (21 gemeldete Anspülungen wurden chemisch untersucht) ergab, dass sich knapp zwei Drittel (62%) der Anspülungen aus Fettalkoholen (s.o.; nur im Frühjahr 2021) zusammensetzen und knapp 30% aus Paraffin (mit Beimengungen).

Die Analyse des in den Mägen von Eissturmvögeln gefundenen Materials ergab, dass 51% der Vogelmägen Paraffin zumindest anteilig enthielten und 25% ausschließlich Pflanzenfett enthielten.

Die stichprobenartige Beprobung der Wasseroberfläche in AWZ und Küstenmeer ergab, dass in der Gesamtzusammensetzung Paraffin (z.T. mit Beimengungen anderer Stoffe) bei 59% aller Schleppfahrten identifiziert wurde, gefolgt von Pflanzenfett (11%). AUS und ABS wurden auf ca. 30% der Schleppfahrten identifiziert.

Die Zusammenschau zeigt trotz der z.T. differierenden Analytik, dass der Anteil der Paraffine (z.T. mit Beimengungen) in den verschiedenen Probenahmen überwiegend über 50% betrug. Eine Ausnahme sind die lokalen Anspülungen sowohl in Niedersachsen als auch in Schleswig-Holstein in 2021 mit Anteilen von ca. 30%. Ursache ist vermutlich das Auftreten von Fettalkoholen nur in diesen Proben in 2021; der Anteil erreichte 52 bzw. 64%.

Tab. 18: Orientierende Übersicht über die chemische Zusammensetzung des mit den verschiedenen Methoden gewonnenen Materials (relative Anteile).
(ABS=andere bekannte Substanzen; AUS=andere unbekannte Substanzen. Angaben in % in den mit den verschiedenen Methoden gewonnenen Proben.

	Lokale Anspü. SH (2021)	Lokale Anspü. NDS (2021)	Eissturmvögel (1993-2018)	Zählrahmen (2020-21)	Wasseroberfläche (2020-21)
Paraffinwaxse (z.T. mit anderen Stoffen)	36	29	51	74	59
Pflanzenfette (z.T. mit anderen Stoffen)	4		25		11
Ethylenoligomere	7				
Schmierstoffe					
Fettalkohole (nur in 2021; (z.T. mit anderen Stoffen)	53	62			
ABS			4	17	und AUS: 30
AUS			19	9	
andere		9			

Begleitsubstanzen in Paraffinwachs

Eine orientierende Untersuchung von 10 Paraffinfunden bestätigte, dass sich in diesen Paraffinen noch aus dem Ausgangsmaterial (mineralischen Rohölen) stammende Substanzen wie PAKs finden lassen, die z.T. als wassergefährdend oder sogar stark wassergefährdend eingestuft sind. In einer Probe wurde ein Substanzinventar nachgewiesen, dass typisch für Kraftstoff wie Marinediesel ist. Es ist davon auszugehen, dass dieses Paraffin in einen weitreichenden Kontakt mit einem Kraftstoff kam, z.B. durch den Einsatz von Kraftstoff als Reinigungsmittel. Der Einsatz solcher Reinigungsmittel verstärkt somit das Vorkommen umweltrelevanter Substanzen in der Meeresumwelt deutlich.

4. Übersicht und Vergleich der verschiedenen Monitoringmethoden

4.1 Übersicht

Im Rahmen des Pilotprojektes sind verschiedene mögliche Erfassungsmethoden angewendet bzw. Daten aus laufenden Monitoringprogrammen ausgewertet worden, die in den verschiedenen vorangegangenen Kapiteln ausführlich vorgestellt worden sind. Dazu gehören Methoden, die speziell im Projekt entwickelt und im Rahmen des Projektes getestet worden sind (Zählrahmen) und die verstreut vorliegende Daten v.a. zu größeren Funden gesammelt und z.T. systematisiert haben (Komplexe Schadstoffunfälle; lokale Anspülungen). Die Beprobung der Wasseroberfläche ist bereits vor dem Projekt getestet und jetzt im Projekt eingesetzt worden. Paraffine werden an den deutschen Küsten aber auch seit z.T. vielen Jahren im Rahmen mehrerer Monitoringprogramme mit erfasst, ohne dabei unbedingt jeweils im Fokus gestanden zu haben. Auch diese Daten sind zusammengeführt und ausgewertet worden (Eissturmvogel, Strandmüllmonitoring).

Tab. 19 gibt eine Übersicht über die verschiedenen im Rahmen des Projektes angewendeten Methoden, ihre räumliche Anwendung, den administrativen Rahmen und ihre Durchführung.

Tab. 19: Übersicht über die Anwendung der Methoden in verschiedenen Teilräumen von Nord- und Ostsee und ihren administrativen Rahmen.

	NS NDS	NS SH	OS SH	OS MV	AWZ N+O	admin. Rahmen	Durch- führung	Ort der Belastung
Komplexe Schadstoffunfälle	X	X	X	X	X	Havarie- kommando	laufend	Strand
Lokale Anspülun- gen	X	X	-	X	-	Länder	PimoPa, z.T. laufend	Strand
Wasseroberfläche	X	X	X	X	X	BSH	PimoPa	Wasser- oberfläche
Eissturmvoegel Mageninhalt	X	X	-	-	-	OSPAR + Länder	Fortfüh- rung ungeklärt	Mageninhalt
Strandmüllmoni- toring	X	X	X	X	-	OSPAR + Länder	laufend	Strand
Zählrahmen- Erfassung	X	X	-	X	-	Länder	PimoPa	Strand

Es wird deutlich, dass sehr unterschiedliche Methoden genutzt worden sind. Sie sind entweder auf die Erfassung sehr großer bzw. größerer örtlicher Einträge, die je nach Umfang aktiv beseitigt werden (komplexe Schadensfälle, lokale Anlandungen) oder auf die Erfassung der dispersen Belastung entweder auf See an der Wasseroberfläche oder nach Ablagerung am Strand (Strandmüllmonitoring, Zählrahmen) ausgerichtet. Eine Besonderheit stellt das Monitoring der Belastung von Eissturmvögeln durch Paraffine dar, da es den Eingang der Stoffe in die Nahrungskette dokumentiert. Eine Übersicht über die ausgewerteten Datensätze gibt Tab. 20.

Tab. 20: Übersicht über die mit den verschiedenen Methoden erhobenen, im Bericht ausgewerteten Datensätze.

	Zeitraum	Mengeneinheit	Fundhäufigkeit	Saisonalität	Chem. Zusammensetzung
Komplexe Schadstoffunfälle	2007 - 2021	t bzw. m ³ beseitigtes Material	-	-	Ja
Lokale Anspülungen	MV: 2012-21 SH: 2016-21 NDS: 2007-18 & 2021 BSH: 2014-21	5 Klassen, integriert versch. Einheiten	-	-	teilweise
Wasseroberfläche	2020-21	Qualitativ	Ja	-	Ja
Eissturmvogel Mageninhalt	2002-19	g/Magen	Ja	-	teilweise
Strandmüllmonitoring	NS: 2002-21 OS: 2011-20	Teile/Strandabschnitt (3 Größenklassen)	-	ja	Nein
Zählrahmen-Erfassung	2020-21	g/m ² ; Teile/m ²	ja	ja	Ja

4.2 Eignungskriterien

Eignungskriterien für eine für ein langfristiges Monitoring geeignete und zu empfehlende Freilandmethode müssen sowohl zu validierende Qualitätsaspekte wie Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit als auch praktische Aspekte wie Durchführbarkeit und Aufwand umfassen. Eine geeignete Methode muss die Belastung in einem für eine Bewertung erforderlichen Umfang erfassen (Sensitivität); ggf. kann auch die Nutzung von Proxy-Variablen ein angemessener Weg sein. Wichtig ist auch, dass mit der Methode die natürliche Variabilität ausreichend genau abgeschätzt

werden kann, um Veränderungen über die Zeit identifizieren zu können (Sensitivität). Letztendlich muss die Messung einen nach Art und Umfang für die Bewertung geeigneten Parameter liefern.

Nachfolgend werden die hier wichtigsten Eignungskriterien kurz charakterisiert.

Sensitivität: Eine geeignete Methode muss die Belastung in einem für eine Bewertung erforderlichen Umfang erfassen können (Sensitivität); die Änderung der Belastung muss also zu einer entsprechenden Veränderung der Messgröße führen (ggf. kann auch die Nutzung von Proxy-Variablen ein angemessener Weg sein). Da sowohl die Emissionen, die Transportwege, die Anlandungsorte (Immission) und die Veränderung des Materials während dieser Prozesse sehr variabel und nur z.T. bekannt sind, ist dieses Kriterium nicht trivial und nur eingeschränkt zu beurteilen.

Quantifizierung: Um Veränderungen der Belastung über die Zeit beschreiben zu können, sind quantitative Messdaten erforderlich, deren Fehler und Streuung bekannt sein sollte. Dies ist bei den in PimoPa ausgewerteten Daten nur eingeschränkt der Fall. Zum Teil handelt es sich um Schätzdaten, z.T. ist der methodische Fehler nicht bekannt. Die meisten Methoden weisen einen hohen Anteil von Nullproben auf.

Validierung: Kriterien einer guten Messmethode sind Richtigkeit (accuracy, Abweichung vom „wahren“ Wert aufgrund eines systematischen Fehlers) und Genauigkeit (precision, Maß für die Reproduzierbarkeit unabhängig voneinander ermittelter Messwerte aufgrund der zufälligen Streuung von Messwerten). Entsprechende Informationen liegen für die hier angewendeten Methoden nicht vor; sind für Freilanddaten aber auch nur eingeschränkt zu generieren.

Variabilität: Statistische Auswertungen sind eigentlich erst dann möglich, wenn es Wiederholungen oder Replikate gibt, mit denen die natürliche Variabilität erfasst und quantifiziert werden kann. Dieses „Rauschen“ ist bei Freilanddaten meist hoch und erschwert entsprechend die statistisch abgesicherte Identifikation des „wahren“ Wertes. Auch dies ist nur bei einem Teil der Methoden möglich und/oder bisher Teil der Methode.

Durchführbarkeit: die praktische Durchführbarkeit der bei einer bestimmten Methode erforderlichen (Freiland-) Untersuchungen unterliegt bestimmten Risikofaktoren wie wetterbedingten Ausfällen, Geräte- oder Personalausfall. Da es für langfristige Datenreihen wichtig ist Datenlücken soweit wie möglich zu vermeiden, ist eine Einschätzung des methodenspezifischen Risikos solcher Ausfälle ein relevantes Kriterium.

Effektivität: Jedes langfristige Monitoring muss ein angemessenes Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen; der Nutzen der erhobenen Daten mit ihren spezifischen Einschränkungen muss also in einem vernünftigen Verhältnis zum Erhebungsaufwand stehen, ohne dass es dafür starre Kriterien geben kann.

Monitoring laufend, längere Datenreihe vorhanden: Unter der Annahme, dass es zentrale Aufgabe des MSRL-Monitorings sein soll die langfristige Veränderung der Belastung mit Paraffinen zu beschreiben und diese damit einer Bewertung zugänglich zu machen, ist das Vorhandensein längerer Datenreihen relevant. Für einen Teil der Methoden liegen bereits ca. 20-jährige Datensätze vor, so dass, bei allen methodischen Einschränkungen, Hinweise auf Veränderungen über die

Zeit bereits abgeleitet werden können. Für die neu entwickelten Methoden wird es entsprechend lange dauern, bis solche Aussagen möglich sein werden.

4.3 Einschätzung der Eignung

Nachfolgend werden auf der Grundlage der oben formulierten Eignungskriterien und der zu den einzelnen Methoden vorliegenden Ergebnisse (s. Kap. 2) Einschätzungen zur Eignung der verschiedenen Methoden gemacht, mit ihnen die Belastung so zu erfassen, dass eine Bewertung im Rahmen der MSRL möglich wird.

Das vorangegangene Kapitel hat deutlich gemacht, dass alle Methoden ihre spezifischen Stärken und Schwächen haben. Sie erfassen unterschiedliche „Belastungsorte“ (Strand, Wasseroberfläche, Eissturmvogel) und unterschiedlich starke Ereignisse (sehr große Mengen, lokale Anlandungen, disperse Belastung). Sie sind z.T. implementiert mit bereits langer Laufzeit, z.T. sind sie erst entwickelt worden. Sie integrieren bei der Erfassung über eine größere Fläche oder differenzieren kleinräumiger. Sie sind durch die Zählung von Partikeln quantitativ oder durch Schätzungen halbquantitativ; z.T. wird das Größenspektrum aufgenommen, z.T. das Gewicht. Sie arbeiten z.T. mit, z.T. ohne Replikate. Sie nutzen z.T. Informationen, die in anderen Zusammenhängen ohnehin erhoben werden, z.T. müssten sie neu eingeführt werden.

Den Methoden gemeinsam ist, dass sie Freilanddaten erheben und damit den dabei typischen Einschränkungen und Unsicherheiten unterliegen, dass sie einem hohen subjektiven Faktor unterliegen und von wechselnden Personen ausgeführt werden. Sie sind bisher kaum auf ihre Validität hin geprüft worden und werden z.T. von den durchführenden Institutionen selbst als nur eingeschränkt geeignet eingeschätzt. Alle Methoden weisen also gemeinsame und/oder spezifische Schwächen auf. Nichtsdestotrotz hat die vorliegende Pilotstudie deutlich werden lassen, dass sich durch die Zusammenschau der verschiedenen Ergebnisse ein recht konsistentes Gesamtbild der Belastung und ihrer Veränderung über die Zeit ergibt.

KSU

Stärken: lange Datenreihe; erfasst große Ereignisse auf der gesamten Küstenlänge, die auch in der Öffentlichkeit wahrgenommen werden (deren relative Bedeutung als Eintragspfad aber unsicher ist). Daten werden ohnehin erhoben. Erfassungssicherheit hoch. Hinweise auf sehr deutliche Veränderungen in der Eintrittsfrequenz (positiv wie negativ) möglich.

Schwächen: liefert keine Informationen über kleinere Ereignisse oder disperse Belastung. Aufgrund der Seltenheit der Ereignisse sind Aussagen über Veränderungen nur bei Zusammenfassung größerer Zeiträume möglich. Angaben semiquantitativ.

Maßnahmen: zentrale Dokumentation muss sichergestellt werden

Die Statistik von KSU kann zusammen mit anderen Methoden einen Beitrag zum Monitoring der langfristigen Veränderung der Belastungssituation liefern. Eine gesonderte Erfassung scheint vor dem Hintergrund der Bedeutung von KSU in der Öffentlichkeit bedeutsam.

Lokale Anspülungen

Stärken: lange Datenreihe; erfasst unterschiedlich große Ereignisse (deren relative Bedeutung als Eintragspfad aber unsicher ist) auf der gesamten Küstenlänge. Langfristige Aussagen über räumliche und zeitliche Veränderungen (und ggf. Intensität) sind aufgrund der geografischen Lokalisation und der Frequenz durch die in PimoPa entwickelte Kategorisierung eingeschränkt möglich.

Schwächen: liefert keine Informationen über disperse Belastung (inklusive Nullfunde). Hoher subjektiver Faktor vor Ort. Erfassungssicherheit eingeschränkt.

Maßnahmen: Erfassungsgrößen vor Ort müssen weiter vereinheitlicht, Erfassung vor Ort und Meldewege müssen verstetigt und eine Erfassung muss sichergestellt werden. Ausgrenzung von KSU (als Klasse 5 bisher berücksichtigt) erforderlich, um Doppelerfassung zu vermeiden.

Die Daten zu den lokalen Anspülungen in allen drei Bundesländern liefern einen guten Überblick zu den Anspülungen von Paraffin an den Küsten, auch wenn sich die Meldewege in den einzelnen Bundesländern z.T. unterschiedlich darstellen. Das pragmatische und relativ einfach anzuwendende im Rahmen von PimoPa entwickelte Klassifizierungssystem erlaubt dennoch Vergleiche der Intensität der Anspülungen zwischen den Bundesländern und gibt trotz methodischer Schwächen Hinweise auf langfristige Veränderungen.

Wasseroberfläche

Stärken: Methode, die die disperse Belastung auf See erfasst. Aussagen über zeitliche Veränderungen sind bei entsprechend ausgebauter Beprobungsfrequenz grundsätzlich möglich. Quantitative Erhebung möglich. Klare Methodik liegt vor.

Schwächen: muss neu implementiert werden; aufwändig, da schiffsgestützt. Ergebnisse stark abhängig von der Wetterlage vor und während der Beprobung. Solange nur geringe Stichprobenumfänge möglich, Repräsentativität sehr gering. Quantitative Bestimmung auf See schwer durchführbar und bislang nicht erfolgt.

Maßnahmen: Implementierung erforderlich.

Durch eine Intensivierung dieser Beprobung wäre eine Datengrundlage zu schaffen, die für die Bewertung im Sinne der MSRL verwendet werden kann und als einzige Methode die disperse Belastung auf See mindestens als „presence-absence“ direkt erfasst. Eine Intensivierung der Beprobung ist grundsätzlich möglich, wenn notwendige Kapazitäten geschaffen werden.

Eissturmvoegel

Stärken: lange Datenreihe; Methodik etabliert; für Trendanalysen trotz relativ geringem N geeignet; indiziert v.a. Belastung auf See, von OSPAR entwickelte Auswertungstools können weitestgehend übernommen werden

Schwächen: nur Nordsee; N relativ gering

Maßnahmen: Integration der Methodik in bestehendes OSPAR-Protokoll bzw. Finanzierung der bislang ehrenamtlich vorgenommenen Dokumentation und Analyse.

Die lange Datenreihe ist trotz vorhandener Schwächen für ein Dauermonitoring geeignet. Durch bereits weitläufig etablierte Protokolle, den Einsatz des Eissturmvogels als OSPAR- und seit kurzem auch MSRL-Indikator für Müll in Biota und an der Meeresoberfläche in der Nordsee bedarf es wenig zusätzlichen Aufwandes.

Strandmüllmonitoring

Stärken: lange Datenreihe; verschiedene Probenahmeorte Nord- und Ostsee; erfasst disperse Belastung am Strand. Aussagen über quantitative zeitliche Veränderungen sind eingeschränkt möglich. Differenziert unterschiedliche Größenklassen.

Schwächen: Hoher subjektiver Faktor vor Ort (vermutlich hoher Schätzfehler). Deutliche Unterschätzung kleiner Partikel.

Maßnahmen: Weiterentwicklung und Konkretisierung des Erfassungsprotokolls unter Wahrung der Anschlussfähigkeit an den bereits vorhandenen Datensatz. Kombination mit Zählrahmen prüfen (s. dazu Hinweise in Kap. 2.2.5).

Die quantitativen Daten sind aufgrund vorhandener Schwächen nur eingeschränkt geeignet, um das Vorkommen von Paraffinen belastbar zu beschreiben. Allerdings erscheint es möglich, durch eine Standardisierung und Maßnahmen die Aussagekraft zu verbessern. Da Änderungen des OSPAR-Protokolls komplex und langwierig sind wird stattdessen vorgeschlagen sich auf „presence-absence“-Aussagen zu fokussieren. Diese werden bereits über das aktuelle Protokoll belastbar erfasst. Dieses Vorgehen kann auch rückwirkend auf die vorliegenden Daten angewendet werden und sichert so die Verwendbarkeit der vorliegenden langen Datenreihe.

Zählrahmen

Stärken: verschiedene Probenahmeorte Nord- und Ostsee; erfasst disperse Belastung. Systematische und konkrete Methodik; auch Gewicht wird aufgenommen; Aussagen über zeitliche Veränderungen werden eingeschränkt möglich sein. Quantitative Daten; subjektiver Faktor vermutlich relativ gering.

Schwächen: zu starke räumliche Differenzierung an den Probenahmeorten; liefert keine Informationen über sehr große Ereignisse. Gewicht wird als Feuchtgewicht erhoben, schwacher Zusammenhang mit lokalen Anspülungen, sehr hoher Anteil von Nullfunden, hohe Variabilität. Großer Erhebungsaufwand, keine langfristige Datenreihe vorhanden.

Maßnahmen: Vereinfachung der Methodik; Kombination mit Strandmüllmonitoring prüfen.

Die Erfassung erfolgt mit dem konzipierten und hier getesteten Zählrahmenansatz systematisch und der methodische Ansatz ist klar definiert, so dass auch bei der Bearbeitung durch wechselnde ProbenehmerInnen die subjektiven Unterschiede vermutlich relativ gering sind; ein entsprechender Test dazu ist bisher nicht erfolgt. Die Analyse der gewonnenen Daten zeigt allerdings, dass bishe r

aufgrund der großen Variabilität und des resultierenden großen Standardfehlers trotz des bereits recht großen N statistisch signifikante Unterschiede nur bei stark unterschiedlichen Mittelwerten identifiziert werden konnten.

Diese Herausforderung ist jedoch auch bei den anderen Methoden prinzipiell ähnlich und könnte durch entsprechende Anpassungen der Methode reduziert werden.

Allerdings weist die Methode weitere Nachteile auf: sie ist zum einen bisher nicht etabliert und ihre Einführung erfordert deshalb zusätzliche Ressourcen. Zum anderen liegt keine längere Datenreihe vor, die für die Einordnung der Ergebnisse genutzt werden kann. Vor diesem Hintergrund halten wir eine Etablierung dieser Methode hier nicht für sinnvoll.

5. Hinweise zur Bewertung und einem Monitoringkonzept

5.1 Einschätzung der Wirksamkeit von MEPC.315(74)

Im Rahmen des Projektes PimoPa soll auch eine erste Einschätzung zur Wirksamkeit der MARPOL-Änderung bzgl. persistenter aufschwimmender Stoffe und Tankwaschungen (MEPC.315(74)) erarbeitet werden. Dazu ist zu prüfen, ob sich aus den in PimoPa analysierten Datensätzen Hinweise auf eine bereits feststellbare Wirksamkeit ergeben.

Hintergrund ist die Änderung der MARPOL Anlage II, welche am 1. Januar 2021 in Kraft getreten ist (MEPC.315(74)). Die Regelung sieht vor, dass nach Entladen von persistenten aufschwimmenden Stoffen („persistent floater“; Definition MARPOL Anlage II, Regulation 1, § 23), worunter auch Paraffin und paraffinähnliche Stoffe zählen, im Hafen des beschriebenen Gebiets (unter anderem Nordatlantik, Nord- und Ostsee) eine Vorwäsche zu erfolgen hat. Das Waschwasser der ersten Spülung ist an Land in einer Auffangeinrichtung zu entsorgen, bis der Tank leer ist. Mit der neu aufgenommenen Definition von persistenten aufschwimmenden Stoffen sind nun mehr Stoffe von der Verpflichtung zu Vorwäschen in Häfen betroffen als in den bisherigen Regelungen. Die Wirksamkeit der Änderung von MARPOL Anlage II sollte durch ein Monitoring überprüft werden. Dazu muss die Situation vor Inkrafttreten der Richtlinie mit der Situation nach Inkrafttreten der Richtlinie (01.01.2021) verglichen werden (www.bsh.de).

Die Datenanalysen in PimoPa haben bei allen Methoden die sehr hohe räumliche und zeitliche Variabilität nicht nur bei Großereignissen, sondern auch bei der Erfassung lokaler Anspülungen oder der dispersen Belastung deutlich werden lassen. Im Folgenden werden die in PimoPa ausgewerteten Datensätze hinsichtlich der Frage geprüft, ob sie Hinweise auf mögliche Wirkungen der veränderten Regelung enthalten.

- Die Erfassung von KSU zeigt, dass bereits mehrere Jahre vor Inkrafttreten der neuen MARPOL-Regeln kein Ereignis in der Nord- und Ostsee verzeichnet wurde, so dass das Nichtauftreten auch in 2021 nicht als Hinweis gewertet werden kann.
- Die Analyse der Frequenz und Schwere lokaler Anspülungen zeigt für den Datensatz schleswig-holsteinische Nordsee (2016 bis 2021) in 2021 eine starke Erhöhung der Anlandungen verglichen mit dem Vorjahr und auch gegenüber dem Mittel von 2016 bis 2020. Der Datensatz aus der niedersächsischen Nordsee berücksichtigt Daten bis 2021, die für 2021 höhere Zahlen zeigen als für die Vorjahre. Anhand dieser Methode lässt sich also kein Hinweis auf eine Reduzierung der Anlandungen ableiten.
- Die Analyse der Belastung an der Wasseroberfläche fokussiert auf die chemische Zusammensetzung und enthält keine Daten zur Partikelmenge.
- Der Datensatz zur Belastung der Mägen von Eissturmvögeln enthält nur Daten bis einschließlich 2019, so dass daraus kein Hinweis entstehen kann.

- Der hier verwendete Datensatz des Strandmüllmonitorings für die drei Nordseestrände Sylt, Juist und Scharhörn endet im Januar 2021; der für die Ostseestrände im Dezember 2020, so dass daraus keine Hinweise derzeit zu generieren sind.
- Der für die Auswertung berücksichtigte Datensatz des Zählrahmenmonitorings umfasst die Jahre 2020 und 2021. Hinsichtlich der erfassten Anzahl von Brocken wurden bei einer hohen räumlichen Variabilität im Jahr 2021 mit durchschnittlich 1,2 Brocken/m² deutlich mehr Paraffine erfasst als im Jahr 2020 (0,22 Brocken/m²). Aufgrund der hohen Variabilität sind die Ergebnisse statistisch allerdings als zufällig einzuordnen. Das mittlere Gewicht der erfassten Brocken/Station lag im Jahr 2020 übergreifend bei 0,31 g/m²; im Folgejahr betrug das Gewicht durchschnittlich 0,14 g/m². Aufgrund der räumlichen und zeitlichen Variabilität sind die Unterschiede statistisch als zufällig einzuordnen. Es kann auf der Datenbasis nicht ausgeschlossen werden, dass der Rückgang des mittleren Gewichts der Funde von 2020 auf 2021 ein Hinweis auf eine veränderte Emissionssituation ist; diese Veränderung kann jedoch auch zufällig sein.

Die Analyse der vorhandenen Datensätze zeigt, dass diese aufgrund der wenigen in 2021 erhobenen Daten keine belastbaren Hinweise zur Wirksamkeit von MEPC.315(74) liefern können. Der Datensatz zu KSU ist aufgrund der geringen Frequenz der Ereignisse nicht geeignet. Der Datensatz zum Strandmüllmonitoring in SH zeigt eine deutliche Zunahme der Belastung in 2021, der Datensatz aus dem Zählrahmenmonitoring zeigt für die Anzahl der Funde eine Zunahme, für das Gewicht der Funde eine Abnahme. Ursache für die wenigen Hinweise ist v.a., dass die Implementation der MARPOL-Anpassung erst zum 01.01.2021 erfolgte und dem Projekt Daten aus 2021 deshalb nur für einen Teil der Methoden zur Verfügung standen. Die Daten weisen trotzdem darauf hin, dass in 2021 weiterhin ähnliche und z.T. auch höhere Paraffinwerte gefunden worden sind. Bisher scheint die Neuregelung also nicht zu einer Abnahme der Anlandungen geführt zu haben.

5.2 Einschätzung der aktuellen Belastungssituation im Sinne der MSRL (D10)

Nachfolgend werden die Ergebnisse des Pilotvorhabens zum quantitativen Vorkommen und zur qualitativen Zusammensetzung der Paraffine in Nord- und Ostsee als ökologische Belastung der marinen Umwelt vor dem Hintergrund der Anforderungen der MSRL eingeschätzt.

Der GES für den Deskriptor 10 ist bisher sowohl für Nord- wie Ostsee nur qualitativ definiert: „der gute Umweltzustand für den Deskriptor „Abfälle im Meer“ ist erreicht, wenn Abfälle und deren Zersetzungsprodukte keine schädlichen Auswirkungen auf die Meereslebewesen und Lebensräume haben. Weiterhin sollen Abfälle und deren Zersetzungsprodukte nicht die Einwanderung und Ausbreitung von nicht-einheimischen Arten unterstützen“. Es geht also wesentlich um die Einschätzung, ob und wenn ja wie stark die aktuelle Belastungssituation mit Paraffinen schädliche Auswirkungen auf die Meeresumwelt haben. Dies erfolgt nachfolgend auf der Grundlage der im Projekt generierten und bereits vorliegender Erkenntnisse sowie der MSRL-Indikatoren D10C1 (Zusammensetzung, Menge und räumliche Verteilung von Abfällen an der Küste, in der Oberflächenschicht der Wassersäule und auf dem Meeresboden), D10C3 (Aufnahme von Abfällen durch Meerestiere) und D10C4 (Negative Beeinträchtigung von Meerestieren infolge von Abfällen im Meer)

Zum quantitativen Vorkommen und zur Zusammensetzung von Paraffinen in Nord- und Ostsee (D10C1)

Die Ergebnisse des Pilotprojektes zu D10C1 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Belastung der Ostsee ist im Vergleich zur Nordsee deutlich niedriger;
- Paraffine lassen sich kontinuierlich auf der Wasseroberfläche der Nordsee, an den Stränden der Nordseeinseln und in den Mägen von Eissturmvögeln (die sich v.a. auf der Hohen See ernähren) nachweisen;
- Die Belastung der Nordsee ist in den letzten 10 Jahren deutlich höher als in den 10 Jahren davor; die Ergebnisse des Monitorings Eissturmvogel unterstützen dieses Ergebnis nur teilweise;
- Räumliche Muster des Vorkommens und der Zusammensetzung der Paraffine lassen sich (bisher) nicht identifizieren;
- Die (semi-) quantitativen Ergebnisse der verschiedenen Methoden lassen sich nur eingeschränkt vergleichen;
- Die Variabilität der quantitativen Belastung ist auf den verschiedenen untersuchten räumlichen und zeitlichen Skalen (saisonal, interannuell, zwischen verschiedenen Probenahmeorten und Strandzonen) sehr hoch;

Zu den ökologischen und ökotoxikologischen Auswirkungen von Paraffinen in der marinen Umwelt (D10C3 und D10C4)

- Die 10 auf Begleitstoffe untersuchten Paraffinproben enthielten alle als wassergefährdend eingestufte Chemikalien;
- Die Belastung setzt sich oftmals aus verschiedenen Stoffgruppen in räumlich und zeitlich variablen Anteilen zusammen, deren toxisches Potential auch durch Begleitstoffe wie PAK unterschiedlich ist;
- Das Wissen zu Geschwindigkeit und Verlauf der Zerkleinerungs- und Abbauprozesse der Belastung unter verschiedenen Randbedingungen ist weiterhin begrenzt; eine biologische Abbaubarkeit ist für die Hauptbestandteile anzunehmen, wobei die Dauer unbekannt ist. Eine Abbauprozesszeit von Monaten bis Jahren ist in Abhängigkeit der Rahmenbedingungen nicht auszuschließen;
- Das Wissen zu den ökotoxikologischen Auswirkungen der Belastung in der marinen Umwelt und durch Nahrungsaufnahme ist weiterhin begrenzt; Paraffin als Rohprodukt kann noch problematische Substanzen aus dem Rohöl enthalten, aus welchem es gewonnen wurde; eine akute Toxizität durch Paraffine ist wenig plausibel; die Begleitstoffe können ein Risiko für Mensch und Umwelt darstellen (z.B. krebserregende oder wassergefährdende Stoffe);

Zur Frage, ob die derzeitige Belastung „schädliche Auswirkungen auf die Meereslebewesen und Lebensräume“ haben kann

Paraffine sind ubiquitär in der deutschen Nordsee; in der Ostsee werden sie deutlich seltener gefunden (die disperse Belastung sowohl auf See als auch an den Stränden ist in der Nordsee deutlich höher als an der Ostsee). Mehrere Methoden machen plausibel, dass die Belastung der Nordsee in den letzten 10 Jahren deutlich höher war als in den 10 Jahren davor; die Ergebnisse des Monitorings Eissturmvogel unterstützen dieses Ergebnis allerdings nur teilweise. Die mit den verschiedenen Methoden und Parametern (Partikelanzahl, Gewicht, Größenspektrum) generierten Angaben lassen sich insgesamt nur eingeschränkt vergleichen. Bisher liegen keine Vorschläge für Grenzwerte o.ä. vor und das Wissen dazu ist derzeit auch noch nicht ausreichend. Auch belastbare Kenntnisse über die ökotoxikologische Relevanz dieses Pfades liegen bisher nicht vor. Allerdings haben auch die orientierenden Analysen in PimoPa bestätigt, dass das in das Meer emittierte Paraffin unterschiedliche Konzentrationen toxischer, langlebiger Begleitstoffe aufweist, die, anders als das biologisch abbaubare Paraffin selbst, auch langfristig in der Meeresumwelt akkumulieren. Unter Vorsorgegesichtspunkten muss deshalb die aktuelle Annahme sein, dass die in das Meer emittierten Paraffine über diesen sowie weitere Pfade (v.a. Aufnahme als Nahrung) schädliche Auswirkungen auf die Meereslebewesen und Lebensräume haben.

5.3 Vorschlag zu einem zukünftigen Monitoring und einem Bewertungsverfahren für die MSRL

Ausgangslage

Es ist auch Aufgabe des Pilotprojektes, aufbauend auf den erzielten Ergebnissen, Hinweise zu einem zukünftigen Monitoring und einem möglichen MSRL-Bewertungsverfahren zu geben. Dabei gehen wir davon aus, dass beide Entwicklungsschritte iterativ zu gehen sind, da sie sich gegenseitig bedingen. Nachfolgend wird die Ausgangslage charakterisiert und eine Reihe von Grundannahmen formuliert:

- Paraffine werden in unterschiedlicher Zusammensetzung, Größe und Dichte regelmäßig in der marinen Umwelt gefunden; die Mengen könnten sich in den letzten 10 Jahren in der Nordsee vergrößert haben; an der Ostsee ist die Belastung deutlich geringer
- Die akuten und chronischen Auswirkungen in der Umwelt sind bisher nur wenig untersucht; schädliche Auswirkungen auf die Meeresumwelt sind plausibel
- Es stehen verschiedene Monitoringverfahren mit unterschiedlichen Stärken und Schwächen zur Verfügung; mit einem Teil der Verfahren sind bereits längere Datenreihen generiert worden
- Primäres Ziel des Monitorings muss die Erfassung der langfristigen Veränderungen der in die marine Umwelt emittierten bzw. dort befindlichen Paraffinmengen sein; relevante Parameter sind deshalb die, mit denen die Veränderung der Mengen erfasst werden kann (Anzahl Partikel, Anteil Nullfunde, Gewicht, Größenspektrum)
- Wissenslücken zu Dynamik, kleinräumiger Verteilung und Schädlichkeit sollten in gesonderten Projekten und nicht als Teil des Monitorings geschlossen werden

- Aufgrund der plausiblen Annahme einer Schädlichkeit von Paraffinen in der Meeresumwelt muss eine Reduktion der Emissionen und in der Folge der in der Meeresumwelt vorhandenen Mengen Ziel von Maßnahmen auch im Rahmen der MSRL sein
- Ein Schwellenwert, bis zu dem die in der Umwelt vorhandenen Mengen reduziert werden müssen, lässt sich aktuell fachlich nicht definieren.

Es geht also zum einen darum, die Methoden zu definieren, mit denen diese Veränderungen der in der Meeresumwelt vorhandenen Mengen bestimmt werden können. Zum anderen geht es darum, wie diese Veränderungen bewertet werden können.

Anforderungen der MSRL

Die Grundsätze des MSRL-Monitorings sind in BMU (2020) definiert. Laut Beschluss der Kommission (2017/848/EU) gehören zu den unter dem Deskriptor D10 „Abfälle im Meer“ in der Meeresumwelt zu überwachenden Abfällen auch „Chemikalien“ und dort auch die Stoffgruppen Paraffin, Wachs, Öl und Teer. Ein Monitoring und eine Bewertung im Sinne des Artikels 8 der MSRL soll danach durchgeführt werden, wenn sie schädliche Auswirkungen auf die Meereslebewesen und Lebensräume haben können. Vor diesem Hintergrund sieht BMU (2021a) ein Monitoring von Paraffinen für die Nordsee (ANSDE_MP_262 - Erfassung von Paraffinen und anderen "Persistent Floatern") und BMU (2021b) entsprechend für die Ostsee vor, die (vorerst) die in PimoPa zusammengestellten und angewendeten Methoden umfassen.

Hinweise zur Ausgestaltung aus der EU-Perspektive geben Walmsley et al. (2017) in dem für die Kommission erstellten Dokument „Guidance for Assessments Under Article 8 of the Marine Strategy Framework Directive, Integration of assessment results“.

Ansatz

Die Paraffinbelastung manifestiert sich v.a. an den Stränden und dort in unterschiedlichen Mengen und Größenklassen. Da über die Partikelgrößen der schiffsbürtigen Paraffine bei der Emission und auch Art und Geschwindigkeit ihrer Größenveränderung während der Drift keine Informationen vorliegen ist es für ein Monitoring der Belastung erforderlich, sowohl größere und mittlere Einzelereignisse als auch die disperse Belastung zu dokumentieren, um so ein Gesamtbild zu erhalten. Die im Projekt angewendeten Methoden fokussieren jeweils auf bestimmte Aspekte dieses Gesamtbildes. Die Erfassung großer Einzelereignisse (KSU) beschreibt seltene (aktuell >> 1 Jahr) Vorkommen, die aktiv bekämpft werden, die meist eher großräumig sind und die in der Öffentlichkeit wahrgenommen werden. Wie groß ihr Beitrag zur Gesamtmission ist, ist unklar. Die Erfassung sog. lokaler Anspülungen beschreibt gelegentliche bis häufigere (>1/Jahr; in 2021 > 30 in NDS und > 50 in SH) Vorkommen, die in einzelnen Fällen aktiv bekämpft werden und die meist kleinräumig sind. Ihr Beitrag zur Gesamtmission ist unklar. Die Erfassung der dispersen Belastung erfolgt über verschiedene Methoden mit dem Ziel, aus dem Vorkommen an bestimmten Akkumulationsorten ein Bild des ubiquitären Vorkommens in der Umwelt zu generieren.

Vor dem Hintergrund der im Rahmen von PimoPa erarbeiteten Übersicht über Monitoringverfahren und Belastungssituation halten wir einen Ansatz für angemessen, der verschiedene Methoden und Bewertungsparameter kombiniert. Aus unserer Sicht leistet kein einzelner Ansatz die Erfassung der Umweltbelastung durch Paraffine. Ein Grund sind die spezifischen Stärken und v.a. auch Schwä-

chen der verschiedenen Monitoringmethoden und der durch sie erzeugten Daten; ein anderer die verschiedenen Immissionsformen bzw. -pfade. Wir gehen davon aus, dass eine Kombination von Methoden und Bewertungsparametern zum einen die Schwächen der verschiedenen Methoden partiell ausgleichen und Ergebnisse plausibilisieren und zum anderen ein vollständigeres Bild der Belastung entstehen lassen wird. Ziel muss es sein, langfristige Veränderungen der großräumigen Immissionsituation soweit wie möglich quantitativ beschreiben zu können.

Vorschlag Monitoring- und Bewertungskonzept

Vor diesem Hintergrund werden folgende Ansätze als Langzeitmonitoring von Paraffinen und anderen persistenten aufschwimmenden Stoffen für die deutsche Nord- und Ostsee vorgeschlagen:

- Dokumentation komplexer Schadstoffunfälle (KSU) in Zusammenhang mit Paraffinen
- Dokumentation und Auswertung lokaler Anspülungen (bei mittleren und großen Anspülungen)
- Quantitative Erfassung von Paraffinen in den Mägen von Eissturmvögeln (nur Nordsee)
- Präsenz von Paraffinen an der Wasseroberfläche
- Präsenz von Paraffinen im regulären Strandmüllmonitoring

In ihrer Kombination sind diese Ansätze für ein Langzeitmonitoring geeignet, da sie gemeinsam mit vertretbarem Aufwand alle wesentlichen Aspekte abbilden (herausragende Einzel- und lokalbegrenzte Ereignisse sowie disperse Belastung; Küste, offene See und Biota). Darüber hinaus berücksichtigen sie vielfältige Synergien mit anderen Monitoringprogrammen, um die anfallenden zusätzlichen Kosten zu minimieren. Die im Rahmen von PimoPa entwickelte Zählrahmenmethode wird v.a. wegen des hohen zusätzlichen Erfassungsaufwandes nicht für das Monitoring empfohlen.

Der entwickelte Vorschlag für die 5 Messgrößen wird nachfolgend operationalisiert, indem jeweils der zu erhebende Indikator, ein möglicher Schwellenwert und eine Konkretisierung des oder der Monitoringverfahren zur Erhebung des Indikators soweit möglich skizziert wird. Wie die einzelnen Messgrößen zukünftig zu einer Gesamtbewertung verschnitten werden sollten, ist noch offen. Eine Methode zur Verschneidung kann erst entwickelt werden, sobald ausreichend belastbare Daten zur Verfügung stehen. Alle folgenden Vorschläge sind noch im Detail abzustimmen bzw. weiter zu entwickeln.

Eine (einfache) chemische Analyse mittels FTIR zur Differenzierungen von Paraffin und anderen persistenten aufschwimmenden Stoffen sollte zumindest für einen Teil der im Rahmen des Monitorings gewonnen Proben erfolgen, um mögliche Veränderungen der großen beobachteten chemischen Heterogenität des Materials zu dokumentieren.

Zu D10C1: Zusammensetzung, Menge und räumliche Verteilung von Paraffinen in Nord- und Ostsee

Messgröße/Indikator 1: Anzahl Paraffin-KSU-Meldungen/Jahr

Schwellenwert (Vorschlag): Im MSRL-Berichtszeitraum tritt kein Paraffin-KSU auf

Monitoringverfahren: Dokumentation der komplexen Schadenslagen des Havariekommandos. Daten seit 2007 für Nord- und Ostsee vorhanden; für statistische Trendanalyse allerdings nur

begrenzt geeignet, da relativ wenige Ereignisse; Vorteil: lange Datenreihe. Kriterien für „komplexe Schadenslage“ sind definiert. Stringente, zentrale und verpflichtende Dokumentation erforderlich.

Messgröße/Indikator 2: Anzahl lokaler Anspülungen der Kategorie 2 (mittel) und 3 (groß) pro Jahr

Schwellenwert (Vorschlag): bis ein Schwellenwert entwickelt und definiert ist, abnehmende Anzahl lokaler Anspülungen der Kategorien 2 und 3 in der Nordsee; keine Zunahme der entsprechenden Werte an der Ostsee.

Monitoringverfahren: Erhebung und Dokumentation der lokalen Anspülungen (wird bisher nicht stringent dokumentiert und gemeldet) entsprechend der in PimoPa definierten (halbquantitativen) Klassen (nur Kategorien 2 und 3); Daten z.T. seit 2007 vorhanden, sowohl Nord- wie Ostsee; für statistische Trendanalyse allerdings nur begrenzt geeignet, da relativ wenige Ereignisse; Vorteil: Synergien mit bestehenden Erfassungen vorhanden, recht lange Datenreihe. Zusätzlich Abgleich und ggf. Ergänzung mit „maritimen Ereignismeldungen“ zu Paraffin sinnvoll. Meldewege unterschiedlich pro Bundesland: Nordsee-NDS: Meldungen des NLWKN-GB1 ausreichend (Kategorie 2 und höher i.d.R. erfasst), Meldewege für Monitoring etablieren; Nordsee-SH: etablierte Meldewege fortführen; Ostsee-MV: Meldewege wie bei PimoPa getestet etablieren; Ostsee-SH: Meldewege etablieren. Erforderlich: konsequente, zentrale Dokumentation und Meldung.

Messgröße/Indikator 3: Präsenz von Paraffinen in Schleppfahrten in der Nordsee/in der Ostsee, ergänzt durch die chemische Zusammensetzung.

Schwellenwert (Vorschlag): relativer Anteil (%) der Schleppfahrten/Jahr mit Präsenz von Paraffinen unterhalb eines noch zu bestimmenden Wertes.

Monitoringverfahren: Wir schlagen vor, ein qualitatives Monitoring der Wasseroberfläche zu etablieren und die Daten zukünftig über „Presence/Absence“ als ergänzenden beschreibenden Parameter heranzuziehen. Vorteil: Nutzung von Synergien mit bestehenden schiffbasierten Erfassungen. Eine Intensivierung im Bereich der Küstengewässer wäre wünschenswert.

Messgröße/Indikator 4: Präsenz von Paraffinen im Strandmüllmonitoring

Schwellenwert (Vorschlag): relativer Anteil (%) der Strandmüllfassungen/Jahr mit Präsenz von Paraffinen unterhalb eines noch zu bestimmenden Wertes.

Monitoringverfahren: Das Strandmüllmonitoring sieht zwar standardmäßig die semi-quantitative Erfassung von Paraffin als Teil der harmonisierten OSPAR-Vorgaben vor, wird aber zumindest an der deutschen Nordsee als nicht ausreichend belastbar für Paraffin gesehen und daher nicht empfohlen. Stattdessen wird vorgeschlagen die Daten zukünftig über „Presence/Absence“ als ergänzenden beschreibenden Parameter heranzuziehen. Insbesondere an der Ostsee würde dies zu hilfreichen Zusatzinformationen bzw. zu einer Art „Frühwarnsystem“ führen. Erfassung entsprechend der regional bei OSPAR und HELCOM abgestimmten Vorgaben für das Strandmüllmonitoring; Synergie mit vorhandenem Monitoring (Daten werden ohnehin bereits erfasst). Dieses Vorgehen kann auch rückwirkend auf die vorliegenden Daten angewendet werden und sichert so die Verwendbarkeit der vorliegenden langen Datenreihe.

Zu D10C3 und D10C4: Aufnahme von Paraffinen durch Meerestiere, sowie die ökologischen und ökotoxikologischen Auswirkungen von Paraffinen

Messgröße/Indikator 5: Gewicht von Paraffin in Mägen von Eissturmvögeln pro Jahr

Schwellenwert: Schwellenwert für Paraffin analog zum Schwellenwert für Müll in Mägen von Eissturmvögeln zu entwickeln, möglichst über regionale Kooperation („über einen Zeitraum mindestens 5 aufeinanderfolgenden Jahren haben bei einem Probenumfang von mindestens 100 untersuchten Exemplaren weniger als 10% der Eissturmvögel mehr als 0,1 g Plastikpartikel im Magen) Nur Nordsee, da die Art in der Ostsee nur vereinzelt vorkommt.

Monitoringverfahren: Synergien mit dem vorhandenen OSPAR Monitoring zu „Plastikmüll in Mägen von Eissturmvögeln“, seit 2002 erhobene Daten über das Verschlucken (auch) von Paraffinen. Vorteil: lange Datenreihe liegt vor; erfasst disperse Belastung in Biota und auf See (Wasseroberfläche).

6. Fazit und Ausblick

Mit der vorliegenden Pilotstudie wurde eine Vielzahl von Methoden entwickelt bzw. getestet, um zukünftig den Zustand der deutschen Meeresgewässer in Bezug auf Paraffin (persistente aufschwimmende Stoffe) einschätzen zu können. Im Ergebnis haben sich folgende Ansätze bewährt:

- Dokumentation komplexer Schadstoffunfälle (KSU) in Zusammenhang mit Paraffinen
- Dokumentation und Auswertung lokaler Anspülungen (bei mittleren und großen Anspülungen)
- Mageninhalte von Eissturmvögeln (nur Nordsee)
- Erfassungen an der Wasseroberfläche
- Präsenz von Paraffinen im regulären Strandmüllmonitoring

In ihrer Kombination werden sie als Langzeitmonitoring von Paraffinen und anderen persistenten aufschwimmenden Stoffen für die deutsche Nord- und Ostsee vorgeschlagen, da sie gemeinsam mit vertretbarem Aufwand alle wesentlichen Aspekte abbilden (herausragende Einzel- und lokalbegrenzte Ereignisse sowie disperse Belastung; Küste, offene See und Biota). Darüber hinaus berücksichtigen sie vielfältige Synergien mit anderen Monitorings, um die anfallenden zusätzlichen Kosten zu minimieren. Es wird empfohlen den erarbeiteten Monitoring-Vorschlag über die Ministerien als Teil des nationalen MSRL-Monitorings zu etablieren und weiterzuentwickeln. Der Vorschlag sollte dazu mit den relevanten Institutionen (BLANO-Gremien wie u.a. Fach AG AiM, Kora und BLANO, sowie HK, Ministerien, etc.) abgestimmt werden.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis der Pilotstudie ist, dass in allen zehn Paraffinproben, die exemplarisch auf potenzielle Begleitstoffe hin untersucht wurden (Kap. 2.7), diese auch nachgewiesen wurden. Alle waren wassergefährdend oder stark wassergefährdend. Auch wenn die ökotoxikologischen Wirkungen von Paraffinen oftmals kontrovers diskutiert werden, weist das Ergebnis zu den Begleitstoffen auf eine Quelle einer Meeresgefährdung hin, die bislang nicht ausreichend berücksichtigt wurde.

Zur Wirkung von MEPC.315(74) zeigt die vorliegende Studie, dass trotz der am 1.1.2021 in Kraft getretenen angepassten Vorgaben für Vorwaschverfahren in der Tankschiffahrt (MEPC.315(74)) auch 2021 neben vielen kleinen Anspülungen noch immer einige größere Anspülungsereignisse an den Stränden der deutschen Nordsee auftraten. Ob diese Einträge aus legalen Tankwaschungen oder aus illegalen Emissionen stammen, lässt sich über ein Umweltmonitoring jedoch nicht belastbar klären. Gegenwärtig gibt es keinen Überblick wieviel Paraffin jährlich legal oder illegal in die Nordsee eingetragen wird. Unter dem Vorsorgeansatz und auch aus ästhetischen Gründen ist Paraffin in der Meeresumwelt jedoch als kritisch zu sehen. Nur bei einem vollständigen Verbot von Einleitungen dieser Art wäre das Vorkommen von Paraffin in der Umwelt eindeutig auf eine Rechtswidrigkeit zurückzuführen.

Darüber hinaus führt Paraffin in der Meeresumwelt zu hohen Kosten bei Kommunen und Ländern, zum einen für Reinigungsarbeiten, zum anderen da Paraffinanspülungen negative Auswirkungen auf Tourismus und das Image der Strandkommunen als Erholungsort haben können (potenziell weniger Anmeldungen). Entsprechend hat das Thema eine hohe Aufmerksamkeit seitens der

Medien, der Bevölkerung, der behördlichen Gremien und der Politik (z.B. Landtagsbefassungen in Niedersachsen, MEPC). Zukünftig sollten Wege gefunden werden, wie das Paraffinvorkommen in der Meeresumwelt möglichst vollständig vermieden werden kann. Es wird daher vorgeschlagen konkrete Lösungsansätze für die Praxis zusammenzustellen, die zu einer Reduktion des Vorkommens von Paraffinen in der Meeresumwelt führen können und diese anschließend in die politische Umsetzung zu überführen. In einem ersten Schritt könnte dies z.B. von Bund und Ländern in ihren jeweiligen Zuständigkeitsbereichen getrennt durchgeführt und anschließend über den KOA-SUB/BLANO oder andere relevante Gremien bundesweit harmonisiert werden.

Die aus einem Monitoring möglichen Erkenntnisse können einen wertvollen Beitrag dazu leisten, die Belastung der Meeresumwelt mit Paraffinen zu dokumentieren und Maßnahmenanfordernisse zukünftig nachvollziehbar mit Daten zu begründen. Gerade vor dem Hintergrund aktueller Richtlinien und Diskussionen trägt ein Paraffin-Monitoring zur Umsetzung nationaler, europäischer und internationaler Regelwerke bei (z.B. MSRL). Bereits im Verlauf des Projekts war das nationale und internationale Interesse an PimoPa groß. Letztendlich würde Deutschland mit der Etablierung eines solchen Monitorings eine Vorreiterrolle einnehmen, welche als Best-Practice für andere Länder dienen kann.

Aus den Ergebnissen von PimoPa haben sich folgende offene Fragen und Hinweise zu weiteren Schritten herauskristallisiert, die bei einer zukünftigen Etablierung des Monitorings berücksichtigt werden sollten:

Datenerhebung

- Weitere Konkretisierung bzw. Etablierung der ausgewählten Monitoringansätze (Kap. 5). Als Kernpunkte seien genannt a) KSU zu Paraffin vom HK zukünftig regulär zu dokumentieren b) für lokale Anspülungen die aufgezeigten bundeslandspezifischen Meldewege verwaltungstechnisch zu verankern (sofern nicht bereits erfolgt), c) die Finanzierung des Monitorings zu Müll/Paraffin in Mägen von Eissturmvögeln langfristig sicherzustellen (Finanzierung läuft Ende 2022 aus), d) Paraffine an der Wasseroberfläche zukünftig auch in den Küstengewässern zu erfassen (ggf. über Synergien mit bestehenden Monitorings).
- Ausweitung der Anzahl der Labore, die chemische Untersuchungen zu Paraffinen und deren Begleitstoffe im Rahmen des Monitorings durchführen, um zukünftig Funde schneller analysieren zu können. Hierzu ist eine Harmonisierung des methodischen Vorgehens inkl. Workshops erforderlich.
- Etablierung einer gemeinsamen, koordinierten Datenhaltung für das Paraffinmonitoring für die beteiligten Institutionen von Bund und Ländern.

Forschungsbedarf zu Paraffinen

- Untersuchungen zur Persistenz, sowie dem Fragmentierungs- und Abbauverhalten von Paraffinen in der Meeresumwelt, um das Monitoring zukünftig gezielt anpassen zu können. Dies betrifft auch die zugrundeliegenden physikalischen, biologischen und chemischen Mechanismen (u.a. Effekte von Sonne, Wind, Sandflug, Wellenschlag auf die Zerkleinerung, Verbreitungsmechanismen, etc.).

- Untersuchungen zur Schadwirkung von Paraffinen und ihrer Begleitstoffe in der Meeresumwelt, inklusive der Identifizierung dieser Begleitstoffe, der Wassergefährdung und der Ökotoxikologie.
- Aufbau einer nationalen chemischen Referenzbibliothek für die chemische Identifizierung von Paraffinen über FTIR-Analysen, unterstützt durch einen Austausch von Behörden und wissenschaftlichen Institutionen.

Verminderung der Emissionen

Für eine umfassende fachliche und technische Diskussion zu einem Verbot der Einleitung von Paraffinen auf See und zur Steigerung der Effizienz und möglichen Anpassungen der seit 2021 geltenden Regelungen zu den Tankwaschungen (MEPC.3154(74)) wird auf MEPC verwiesen, in dem auch Deutschland über das BMDV vertreten ist und die deutsche Position dazu koordiniert (siehe MEPC 77/Inf.9 und die nationalen und internationalen Diskussionen dazu). Folgende Hinweise, die sich aus PimoPa ergeben:

- Durchführung optimierter Kontrollen der Tankwaschungen inkl. des Restlenzverfahrens in den Häfen, sowie v.a. Ermittlungen der in den Tanks nach der Vorwäsche verbleibenden Paraffinmengen, mit dem Ziel der Überprüfung der Effektivität von MEPC.315(74).
- Durchführung von Untersuchungen an Bord der Tankschiffe auf See zur Identifizierung der Mengen an Paraffinen, die über legale Tankwaschungen auf See auch nach Inkrafttreten der aktuellen Regelungen (MEPC.315(74)) ins Meer eingetragen werden. Ziel ist die Optimierung der Beurteilungsgrundlage und eine Steigerung der Effizienz aktueller Regularien.
- Sicherstellung, dass die von der Durchführung der technisch komplexen und anspruchsvollen Vorwaschmethoden inkl. Restlenzverfahren betroffenen Mitarbeiter im Hafen und auf Schiffen zu Best-Practice-Methoden ausgebildet und unterwiesen sind. Maßnahmen zur Förderung des Bewusstseins des maritimen Sektors für die Bedeutung des maritimen Umweltschutzes sollten zukünftig verstärkt durchgeführt werden (siehe MSRL-Maßnahme UZ5-11).
- Entwicklung und Einführung einer Verursacheridentifizierung für auffällige Anspülmengen von Paraffinen, ähnlich der etablierten Ölforensik.
- Erarbeitung weiterer konkreter, praxistauglicher Lösungsansätze auf Bundes- und Länderebene für die Politik.

Bewertung

- Fortführung des in Kap. 5 vorgestellten Monitoringvorschlags, Sammlung und Evaluierung weitere Erfahrungen und Ergebnisse sowie ggf. Anpassung einzelner Aspekte, mit dem Ziel auf Basis einer langfristigen Datenreihe zukünftig eine belastbare Bewertung zu ermöglichen.
- Weitere Entwicklung von GES-Schwellenwerten („Good Environmental Status“) für die Bewertung des Vorkommens und der Verbreitung von Paraffinen im Meer für die Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie sowie von Verrechnungsmethoden der Ergebnisse der einzelnen Erfas-

sungsansätze. Für die Festlegung von GES-Schwellenwerten sind Kenntnisse zu Schadwirkungen erforderlich (s.o.).

Kommunikation und Informationsverbreitung

- Ausweitung und Sicherstellung eines Informations- und Erfahrungsaustausch der involvierten Organisationen, wie z.B. Gemeinden, Umwelt- und Schifffahrtsverbänden und Behörden (z.B. Wasserschutzpolizei, BG-Verkehr, BSH, Ministerien, HK, Fachbehörden) mit dem Ziel einer behördenübergreifenden Bekämpfung der wiederkehrenden Anspülungen von Paraffin an den Küsten.

Finanzierung

- Bereitstellung von Finanzmitteln sowohl für Personal- als auch für Sachmittel (Koordination, Auswertung, Berichterstellung, Laborbedarf, etc.) und Vergaben zur Durchführung des Monitorings und Bearbeitung der offenen (Forschungs-)Fragen. Ziel ist die langfristige Etablierung des Monitorings für Paraffine an der deutschen Nord- und Ostsee unter Berücksichtigung vielfältiger Synergien bereits etablierter Monitoringansätze.

Literatur

- BESCHLUSS (EU) 2017/848 DER KOMMISSION vom 17. Mai 2017 zur Festlegung der Kriterien und methodischen Standards für die Beschreibung eines guten Umweltzustands von Meeresgewässern und von Spezifikationen und standardisierten Verfahren für die Überwachung und Bewertung sowie zur Aufhebung des Beschlusses 2010/477/EU. - ABl. L 125 vom 18.05.2017, S. 43-74.
- BMU (2020): Umsetzung der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie. Aktualisierung der Überwachungsprogramme gemäß § 45f Abs. 1 WHG zur Umsetzung von Art. 11 MSRL- Teil A - Rahmenkonzept
- BMU (2021a): Aktualisierung Überwachungsprogramme Art. 11 MSRL - Reporting 2020 - Nordsee - D10 - Abfälle im Meer
- BMU (2021b): Aktualisierung Überwachungsprogramme Art. 11 MSRL - Reporting 2020 - Ostsee - D10 - Abfälle im Meer
- Boonstra M. & M. Hougee (2018): OSPAR Beach Litter Monitoring In the Netherlands 2012-2017 - Annual Report. The North Sea Foundation, SDN Utrecht, pp 35 doi <http://publicaties.minienm.nl/documenten/ospar-beach-litter-monitoring-in-the-netherlands-2012-2017-annual-report>
- Brandt, M. & D. Einheckel-Ale (2016): Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. Umweltschädlich! Giftig! Unvermeidbar? Hrsg. UBA. Link: www.umweltbundesamt.de/Publikationen/polyzyklische-aramatische-kohlenwasserstoffe.
- Camphuysen, C. J., H. Barrevelldà, G. Dahlmann & J. van Franeker (1999): Seabirds in the North Sea Demobilized and Killed by Polyisobutylene (C₄H₈)_n (PIB). - Marine Pollution Bulletin Vol. 38, No. 12, 1171-1176.
- Camphuysen, C. J., S. Schouten & A. Gronert (2010): Mystery spill of Polyisobutylene (C₄H₈)_n off the Dutch coast affecting seabirds in March 2010. – Seabird 23, 143-145.
- CBD (Secretariat of the Convention on Biological Diversity and the Scientific and Technical Advisory Panel – GEF) (2012): Impacts of Marine Debris on Biodiversity: Current Status and Potential Solutions, Montreal, Technical Series No. 67, 61 pages
- Chrastansky, A., U. Callies & D.M. Fleet (2009): Estimation of the impact of prevailing weather conditions on the occurrence of oil-contaminated dead birds on the German North Sea coast.- Environ Pollut 157(1): 194-198.
- Crone T.J. & M. Tolstoy (2010): Magnitude of the 2010 Gulf of Mexico oil leak. Science 330(6004):63
- ECfS (European Committee for Standardisation) (2012): Oil spill identification. Waterborne petroleum and petroleum products. Part 2: Analytical methodology and interpretation of results based on GC- and GC-MS low resolution analyses. European Committee for Standardisation Cen/tr 15522-2

- Fitz, N. & D.M. Fleet (2017): Untersuchungen zur Präsenz von Paraffinwachs in der Meeresumwelt mit besonderem Augenmerk auf Strandverschmutzungen. - Endbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben: Untersuchungen über verölte Seevögel und Strandverölungen. S. 75
- Guse, N., S. Weiel, N. Markones & S. Garthe (2012): OSPAR Fulmar Litter EcoQO - Masse von Plastikmüllteilen in Eissturmvogelmägen. Forschungs- und Technologiezentrum Westküste (FTZ), Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Büsum, Germany, pp 10
- Gyres.org (2021): <https://www.5gyres.org/trawl-resources> (Abgerufen am 23.09.2021)
- KIMO (Kommunernes International Miljøorganisation) (2017): KIMO International Annual Report 2017, pp. 19.
- Lorenz, C., M. Schafberg, L. Roscher, M.S. Meyer, S. Primpke, U.R. Kraus & G. Gerdtts (2021): Paraffin and other petroleum waxes in the southern North Sea. Marine Pollution Bulletin, Vol. 162, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111807>
- MEPC77/INF.9 (2021): Findings on improved prewash procedures for solidifying or high-viscosity substances (paraffin waxes), sub. 17.9.2021 by the Netherlands.
- MSRL Richtlinie 2008/56/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 2008 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Meeresumwelt (Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie). ABl. L 164 vom 25.6.2008, S. 19-40.
- OSPAR (2010): Guideline for Monitoring Marine Litter on the Beaches in the OSPAR Maritime Area. OSPAR Commission, ISBN 90-3631-973
- OSPAR (2015): Guidelines for Monitoring of plastic particles in stomachs of fulmars in the North Sea area, OSPAR Commission Agreement 2015-03, pp 26 doi <http://www.ospar.org/convention/agreements?q=fulmar&t=32281&a=&s>
- OSPAR EIHA (2017): Analysis of the presence of "pollutants" from shipping in OSPAR Beach Litter Survey beaches. Meeting of the Environmental Impact of Human Activities Committee (EIHA) Cork (Ireland): 3 – 7 April 2017
- Pohlmann, T. (2006): A meso-scale model of the central and southern North Sea: consequences of an improved resolution. Cont. Shelf Res. 26, 2367–2385.
- Provencher, J.F., A.L. Bond, S. Avery-Gomm, S.B. Borrelle, E.L. Bravo Rebolledo, S. Hammer, S. Kühn, J.L. Lavers, M.L. Mallory, A. Trevail & J.A. van Franeker (2017): Quantifying ingested debris in marine megafauna: a review and recommendations for standardization. Analytical Methods 9: 1454-1469 doi <http://dx.doi.org/10.1039/c6ay02419j>
- RESOLUTION MEPC.315(74) (adopted on 17 May 2019): Amendments to the annex of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the protocol of 1978 relating thereto; Amendments to MARPOL Annex II (Cargo residues and tank washings of persistent floating products).
- Schulz, M. N., D. Fleet, & M. Matthies (2013): A multi-criteria evaluation system for marine litter pollution based on statistical analyses of OSPAR beach litter monitoring time series.- Mar Environ Res 92: 61-70.

- Suaria, G., S. Aliani, S. Merlino & M. Abbate (2018): The occurrence of paraffin and other petroleum waxes in the marine environment: A review of the current legislative framework and shipping operational practices.- *Front. Mar. Sci.* 5: 94. doi: 10.3389/fmars.2018.00094
- Thiel, M., I. A. Hinojosa, T. Joschko & L. Gutow (2011): Spatio-temporal distribution of floating objects in the German Bight (North Sea), *Journal of Sea Research* 65 (3) 368-379, ISSN 1385-1101, <https://doi.org/10.1016/j.seares.2011.03.002>.
- UEG (2014): Verschmutzung von Nord- und Ostsee durch Paraffin. – Unabhängige Umweltexpertengruppe „Folgen von Schadstoffunfällen“ (UEG) beim Havariekommando, Stellungnahme vom 22. Juli 2014, 12 S.
- Van Franeker, J. A. & A. Meijboom (2002): LITTER NSV, marine litter monitoring by Northern Fulmars; a pilot study. - *Green World Research, Alterra-rapport 401*, Wageningen, Alterra, 72 pp.
- Van Franeker, J.A. (2004): Save the North Sea Fulmar Litter EcoQO manual Part 1: Collection and dissection procedures. Alterra, Wageningen, pp 38 doi <http://edepot.wur.nl/40451>
- Van Franeker, J. A., C. Blaize, J. Danielsen, K. Fairclough, J. Gollan, N. Guse et al. (2011): Monitoring plastic ingestion by the northern fulmar *Fulmarus glacialis* in the North Sea. - *Environ. Pollut.* 159, 2609–2615. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.06.008>
- Van Franeker, J.A. & K.L. Law (2015): Seabirds, gyres and global trends in plastic pollution. *Environmental Pollution* 203: 89-96 doi
- Van Franeker J. A., S. Kühn, M. Kotterma & C. Kwadijk (2019): Monitoring van paraffine-achtige stoffen op Nederlandse stranden en in magen van Noordse Stormvogels. Wageningen Marine Research rapport C001/19, Den Helder, The Netherlands. pp 32. <https://doi.org/10.18174/467759>
- Van Franeker J. A., S. Kühn, T. Anker-Nilssen, E. W. Edwards, F. Gallien, N. Guse et al. (2021): New tools to evaluate plastic ingestion by northern fulmars applied to North Sea monitoring data 2002–2018. *Marine Pollution Bulletin* 166: 112246 doi <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112246>
- VDR (Verband Deutscher Reeder) (o. Jahr): Transportregularien und praktische Durchführung von Tankreinigungen für flüssiges Paraffin in Bulk.- VDR Praxisbericht (s. Anlage 1)
- Walmsley, S.F., A. Weiss, U. Claussen & D. Connor (2017): Guidance for Assessments Under Article 8 of the Marine Strategy Framework Directive, Integration of assessment results. ABPmer Report No R.2733, produced for the European Commission, DG Environment, February 2017.

Anhang

- Anlage 1: Beitrag VDR (Verband Deutscher Reeder) Praxisbericht - Transportregularien und praktische Durchführung von Tankreinigungen für flüssiges Paraffin in Bulk.
- Anlage 2: Protokoll der lokalen Erfassungen in Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen
- Anlage 3: Übersicht gemeldeter lokaler Anspülungen an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns 2012-2020/2021
- Anlage 4: Übersicht gemeldeter lokaler Anspülungen an der Küste Schleswig-Holsteins 2016-2021
- Anlage 5: Übersicht gemeldeter Anspülungen von Paraffin in Niedersachsen von 2007-2018
- Anlage 6: Gemeldete Anspülungen von Paraffin in Niedersachsen von April 2021 – Oktober 2021
- Anlage 7: Lokale Anspülungen / Strandfunde
- Anlage 8: Zusammensetzung der Verschmutzungen der einzelnen Schleppfahrten
- Anlage 9: Paraffin in Mägen von Eissturmvögeln
- Anlage 10: Details zu 5-Jahresmittelwerten paraffinähnlicher Stoffe in Mägen von Eissturmvögeln, gestrandet an deutschen Küsten zwischen 2002 und 2019
- Anlage 11: Strandmüllmonitoring
- Anlage 12: Disperse Belastung: Zählrahmen-Erfassung
- Anlage 13: Disperse Belastung: Zählrahmen-Erfassung
- Anlage 14: Disperse Belastung: Zählrahmen-Erfassung

Anlage 1



Verband
Deutscher
Reeder

Transportregularien und praktische Durchführung von Tankreinigungen für flüssiges Paraffin in Bulk

Flüssiges Paraffin ist eine gängige Ladung für Tankschiffe, insbesondere für Chemikaliertanker. Weiterhin wird Paraffin in Containern transportiert und befindet sich ebenfalls in neuen sehr niedrigrschwefeligen Bunkerkraftstoffen, sogenannten Ultra Low Sulphur Fuel Oils (ULSFO).

Gemäß dem IBC Code handelt es sich als flüssige Ladung vorwiegend um die folgenden Produkte:

- Paraffin Wax, semi-refined (Kategorie X) oder highly-refined (Kategorie Y)
- n-Alkanes (C10-C20), (Kategorie Y)
- Hydrocarbon wax (Kategorie X)

Weitere Synonyme sind Paraffin, Paraffin Jelly oder Mineral Wax.

Im Folgenden werden diese Produkte zur Vereinfachung Paraffin genannt.

Der Transport von Paraffin in Bulk in flüssiger oder verflüssigter Form fällt unter die Bestimmungen von MARPOL Annex II. Vereinfacht ausgedrückt muss damit jedes Paraffin als Chemikalie deklariert und behandelt werden.

Das Tankreinigungskonzept der Chemikaliertanker basiert darauf, die Restmengen in den Tanks sehr stark reduzieren zu können (in den meisten Fällen max. 75l / Tank). Nach dem Löschen ist für Paraffin in nordeuropäischen Häfen seit dem 01.01.2021 ein Pre-Wash durchzuführen, also eine Vorwäsche mit heißem Wasser, das zurück an Land zu geben ist (MARPOL Annex II, Reg. 13, neu: 7.1.4 und 9).

Die verbliebenen Spuren in den Tanks werden während der Ballastreise¹ unter Einhaltung einer Mindestgeschwindigkeit und eines Mindestabstands zur Küste direkt nach See gewaschen und über einen Unterwasserauslass eingeleitet. Der direkte Eintrag vermeidet die Akkumulation und ggf. das Mischen von verschiedenen Chemikalienresten an Bord und ist damit ein wichtiger Beitrag zur Schiffssicherheit. Eine Abgabe solcher gemischten Abwässer, die teilweise noch mit Reinigern versetzt werden müssen, wäre eine große Herausforderung für die Staaten, die entsprechende Entsorgungsmöglichkeiten anbieten müssten. Das Halten solcher Abwässer an Bord würde zudem die Ladungskapazität reduzieren und den CO₂-Footprint des Transports verschlechtern.

Zur Tankreinigung können heute fast alle Chemikaliertanker auf festinstallierte automatische Tankwaschmaschinen zurückgreifen. Bei schwierigen Ladungswechseln

¹ Als Ballastreise bezeichnet man die Reise vom letzten Löschhafen (Entladehafen) zum nächsten Ladehafen. Auf dieser Reise ist das Schiff ohne Ladung unterwegs und nur mit Ballastwasser aus Stabilitätsgründen „beladen“.



Verband
Deutscher
Reeder

werden zusätzlich mobile Tankwaschmaschinen genutzt und auch zusätzlich direkte Reinigungen mit Hochdruckreinigern in den Tanks von der Crew durchgeführt.

Unter Einhaltung der oben genannten Regularien und Verfahren kann u.a. vermieden werden, dass Paraffinflocken an die Strände der Nord- und Ostsee gespült werden.

Beispiel einer Vorwäsche am Terminal nach der Entladung:

Die Verfahren der Vorwäsche gleichen sich darin, dass für das Entfernen des Paraffins in der Regel nur heißes Wasser, welches über dem Schmelzpunkt von Paraffin liegt, zur Tankreinigung eingesetzt wird.

Für einen beispielhaften Tanker (39.000 BRZ, 185m Länge, 32m Breite) bedeutet dies:

- Angenommene Ladungsmenge: ca. 40.000 cbm
- Restmenge Paraffin: ca. 1 cbm (nach Löschvorgang und vor der Vorwäsche)
- Anfallende Waschwassermenge: ca. 100 cbm
- Waschwassertemperatur: 70°-80° C; bei Tankern mit einem Coating², z.B. Epoxy oder Phenolic Epoxy besteht in diesen Temperaturbereichen häufig ein Maximalwert.

Bei den Vorwäschen für erstarrende Ladungen gibt es zwei Verfahren, nämlich Vorwäschen mit und ohne Wiederverwendung des Wassers.

1. Ablauf des Tankwaschens ohne Wiederverwendung des Reinigungsmediums

- Die Tanks sollen schnellstmöglich nach dem Entladen gewaschen werden.
- Die Tanks sollen mit rotierenden Tankwaschmaschinen mit ausreichend Druck betrieben werden, um alle Tankoberflächen ausreichend zu reinigen.
- Die im Tank befindliche Flüssigkeit muss einen kontinuierlichen Fluss zur Pumpe haben. Falls dieses nicht zu erreichen ist, soll das Verfahren unter zwischenzeitlichem Strippen³ der Tanks ggf. mehrfach wiederholt werden.
- Die Tanks sollen im Fall von Paraffin mit heißem Wasser über 70 Grad gewaschen werden.
- Die Mindestmenge an zu nutzendem Wasser ist in MARPOL festgelegt und wird in den P&A Manuals⁴ der Schiffe tabellarisch erfasst.

² Laderraumbeschichtung/Anstrich

³ Die letzte Stufe beim Pumpen von Flüssigkeiten aus einem Tank oder einer Rohrleitung. Um dies zu erreichen, ist es oft notwendig, das Schiff zu Krängen, um Saugverluste zu vermeiden. In der Regel hilft auch eine Vertrimmung des Schiffes nach Achtern (Erhöhung des hinteren Tiefgangs im Verhältnis zum vorderen).

⁴ Procedures and Arrangements (P&A) Manual nach MARPOL Anlage II Anhang IV. Enthält schiffsspezifisches Verfahrensanweisungen und Anleitungen für die Beförderung schädlicher flüssiger Stoffe in Bulk. U.a. beinhaltet das P&A Manual Beschreibungen der Ausrüstung und Einrichtung des Schiffes, Ladungsentladeverfahren, Verfahren im Zusammenhang mit der Reinigung von Ladetanks und der Beseitigung von Rückständen



Verband
Deutscher
Reeder

- Nach der Vorwäsche werden die Tanks und alle Leitungen sorgfältig gestrippt³.

2. Ablauf des Tankwaschens mit Wiederverwendung des Reinigungsmediums

- Die Tanks sollen schnellstmöglich nach dem Entladen gewaschen werden.
- Das Waschen der Tanks unter Wiederverwendung des Wassers kann zum Zwecke der Reinigung mehrerer Tanks erwogen werden. Hierbei soll vermieden werden, dass der Ladungsanteil im Waschwasser nicht zu hoch wird, z.B. 5% nicht überschreitet.
- Das wiederverwendete Wasser soll nur für gleiche oder ähnliche Ladungen verwendet werden.
- Die Tanks sollen mit rotierenden Tankwaschmaschinen mit ausreichend Druck betrieben werden, um alle Tankoberflächen ausreichend zu reinigen. Die Rückführung des Waschmediums kann zum identischen Tank oder z.B. über einen separaten Slop-tank⁵ erfolgen.
- Der Durchsatz an Waschmedium ist zu definieren und muss den Bestimmungen von MARPOL entsprechen.
- Die Tanks sollen im Fall von Paraffin mit heißem Wasser über 70 Grad gewaschen werden.
- Nach der Vorwäsche werden die Tanks und alle Leitungen sorgfältig gestrippt². Vielfach schließt sich eine weitere Spülung der Tanks und Leitungen mit frischem Waschmedium an. Die verwendete Menge soll mindestens den Tankboden bedecken sowie die Leitungen, Pumpen und Filter spülen können.

3. Minimale Waschwassermengen während der Vorwäsche

Die minimal für eine Vorwäsche zu nutzende Waschwassermenge wird errechnet über die Menge an Ladungsresten im Tank, die Tankgröße und die Ladungseigenschaften. Die minimale Menge errechnet sich mit folgender Formel:

- $Q = k (15r0,8 + 5r0,7 \times V/1000)$, wobei
 Q = die erforderliche Mindestmenge in cbm
 r = die Restmenge pro Tank in cbm. Der Wert r ist der Wert aus dem Stripping-Effizienz-Test, aber soll weitere festgelegte Werte, die abhängig von der Tankgröße sind, nicht unterschreiten.
 V = Tankvolumen in cbm
 K = Faktor in Abhängigkeit der MARPOL-Kategorisierung des Produktes
 Kategorie X, Substanz nicht erstarrend, geringe Viskosität, $k = 1.2$
 Kategorie X, Substanz erstarrend oder hohe Viskosität, $k = 2.4$
 Kategorie Y, Substanz nicht erstarrend, geringe Viskosität, $k = 0.5$

⁵ Tank welcher speziell für die Sammlung von Tankentleerungen, Tankwäschen und anderen öligen Mischungen bestimmt ist.



Verband
Deutscher
Reeder

Kategorie Y, Substanz erstarrend oder hohe Viskosität, $k = 1.0$

4. Nachfolgende Reinigung auf See

Die später folgende Reinigung auf See wird durch die Anforderungen der Folgeladung bestimmt. In vielen Fällen muss unter Nutzung von genehmigten Reinigungsmitteln der Tank gewaschen und anschließend getrocknet werden. Hierbei ist es auch üblich, dass die Besatzung in den Tanks mit Hochdruckgeräten reinigt oder den Tank manuell trockenwischt. Falls es die nachfolgenden Ladungen erfordern, müssen die Tanks zudem mit Nitrogen oder einem anderen Inertgas beschickt werden.

Die aus dieser Reinigung resultierenden Waschwässer dürfen in den meisten Seegebieten unter Einhaltung einer Mindestgeschwindigkeit von sieben Knoten (bei selbstangetriebenen Schiffen) und maximalen Einleitungsrate mit einer Entfernung von mindestens 12 Seemeilen von Land und mindestens 25m Wassertiefe eingeleitet werden. Hierdurch sollen negative Einflüsse auf die Küsten vermieden werden.

Die Menge des nach einer Reinigung auf See für eine Einleitung verbliebene Paraffin, entspricht für das angenommene Beispiel von 40.000cbm, dem Ladungsrest von ca. einem Kubikmeter Paraffin nach Beendigung der Löscharbeiten, minus des über die Vorwäsche im Hafen entsorgten Anteils. Da es über diesen nach der Vorwäsche verbliebenen Anteil der Ladungsreste keine Erhebungen gibt, lässt sich keine genauere Aussage über die nach See zu entsorgende Restmenge machen.

Erläuterung	
<p>Verschiedentlich kommt es an deutschen Küsten zu Anspülungen von Paraffinen oder ähnlichen Substanzen. In dem von den Meeresumweltschutzbehörden der Küstenländer initiierten und finanzierten Projekt „Pilotmonitoring und Bewertung von Paraffinen und anderen „persistent floaters“ an Küsten von Nord- und Ostsee in Deutschland (PimoPa)“ werden zusammen mit dem BSH zusammen derartige Anspülungen nun erstmals umfassend erfasst und bewertet. Auch die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Reduzierung des Eintrags solcher Substanzen soll überprüft werden.</p> <p>Mittlere bis kleine lokale Anspülungen von Paraffin oder ähnlichen Substanzen werden bisher nicht zentral erfasst. Diese laufen in der Regel bei den Landkreisen, kreisfreien Städten bzw. Gemeinden vor Ort auf. Solche Informationen sind jedoch wichtig, um die Gesamtbelastung durch Paraffin und ähnliche Substanzen an unseren Küsten zu erfassen. Nur mit Unterstützung der Gemeinden und Handelnden vor Ort kann geklärt werden, ob die aktuellen Maßnahmen ausreichen.</p> <p>Wir würden uns daher über eine Zusammenarbeit mit Ihnen sehr freuen. Bitte dokumentieren Sie Anspülungen von Paraffinen und ähnlichen Substanzen im Protokoll und übermitteln Sie dieses an die untenstehende Kontaktperson. Vielen Dank! Zu Beginn jedes Quartals werden die Daten von der Kontaktperson auch direkt bei Ihrer Institution abgefragt.</p>	
Bitte senden Sie das ausgefüllte Protokoll an:	
Kontaktperson	Kirsten Dau
Institution	NLWKN
Adresse	Heinestraße 1, 26919 Brake
Telefon	04401-926-102
E-Mail	kirsten.dau@nlwkn.niedersachsen.de
Zur Beachtung	
<p>Die Übersendung des Protokolls dient lediglich den Zielen des Projektes "Pimopa" (erfassen und bewerten von Anspülungen, überprüfen von Vermeidungsmaßnahmen). Etwaige Verantwortlichkeiten zur Räumung und Entsorgung von Anspülungen bleiben davon unberührt.</p>	

Anlage 3

Mecklenburg-Vorpommern

Übersicht gemeldeter lokaler Anspülungen an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns 2012-2020/2021 mit Mengenangaben soweit bekannt (schwarz: laborbestätigt, grau: nicht laborbestätigt, n.b.: nicht bekannt, Klassifizierung: 1: kleine Anspülung, 2: mittlere Anspülung, 3: große Anspülung, 999: Anspülung vorhanden, aber mit unbekannter Menge)

Datum	Fundort	Substanz	Menge/ Strandlinie	Klasse*
21./27.02.2012	Fischland-Darß, Hiddensee	Paraffin	11 t/ 25 km	KSU
03.04.2012	Warnemünde	Paraffin	20 l/ 2,25 km	2
19.12.2012	Darß; Prerow	industrielle Harze	5 Stk./	1
27./30.04.2014	Rügen; Tromper Wiek, Jasmund	Paraffin	32,5 m ³ / 10 km	KSU
23.03.2015	Rügen; Tromper Wiek	Paraffin	vereinzelt/ 9 km	1
21.10.2015	Rügen; Wittow	Paraffin	streckenweise/ 11 km	999
12.05.2016	Usedom	Schmierfett	vereinzelt/ 4 km	2
17.06.2016	Rügen; Zudar	Schmierfett	10 kg/ 4 km	2
25.08.2016	Hiddensee; Gellen	Paraffin	Einzelfund/	1
01.08.2017	Darß; Weststrand	Paraffin		999
16.08.2017	Darß; Weststrand	Paraffin	2 Stk./	1
20.-24.05.2018	Rügen; Zudar, Stahlbrode, Wampen	Schmierfett	95 kg/ 15 km	2
11.02.2019	Dierhagen	n.b.	alle 5 m/	2
29.01.2021	Zingst	Fettalkohole	100 l/ 1,5 km	2

Anlage 4

Schleswig-Holstein

Übersicht gemeldeter lokaler Anspülungen an der Küste Schleswig-Holsteins 2016-2021 mit Mengenangaben soweit bekannt (schwarz: laborbestätigt, grau: nicht laborbestätigt, n.b.: nicht bekannt). Klassifizierung: 1: kleine Anspülung, 2: mittlere Anspülung, 3: große Anspülung, 999: Anspülung vorhanden, aber mit unbekannter Menge. Auf eine weiterführende Beschreibung der Funde (sofern vorhanden) wird aus Platzgründen verzichtet.

Datum	Gebiet	Gebiets-Code	Substanz	Länge verschmutzter Abschnitt [m/km]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: 0 - 1 [cm]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: 1 - 10 [cm]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: > 10 [cm]	Klasse	Klasse (Zusammenfassung)
03.08.2016	Trischen	IT	Paraffin	4 km	20-30	0,3-0,5		3	3
07.12.2016	Hallig Süderoog	IH8	Paraffin	150 m	10.000?	2		999	999
28.02.2017	Festlands-vorländer Nordfriesland	12VN6b	Paraffin	50 m		0,1	0,04	1	1
02.03.2017	Sylt	IS15	Paraffin	1,5 km		1	1	2	2
13.05.2017	Vorländer Westerhever	VE31	Paraffin	300 m		10	3	1	1
10.06.2017	Insel Sylt	IS16	Paraffin	3 km		1		2	2
23.06.2017	Vorländer Westerhever	VE321	Paraffin	500 m	24		1	2	2
26.06.2017	Festlands-vorländer Nordfriesland	12Vn6a/b	Paraffin	300m		0,02		1	1
			Paraffin	20m		2		1	
			Paraffin	20m		0,66		1	
26.06.2017	Vorländer Westerhever	VE322	Paraffin	0,3 m			1	1	
01.07.2017	Vorländer Westerhever	VE31	Paraffin	300 m		5	1	1	
10.05.2018	Festlands-vorländer Nordfriesland	VN721	Paraffin	0,01 m			1	1	
12.05.2018	Amrum	IA 2-32	Paraffin	2 km		5		2	2
05.07.2018	Sylt	IS17	Paraffin	1 m			1	1	
29.07.2018	Hallog Hooge	12IH6a	Paraffin	10 m	2	1		1	1
			Paraffin	100 m		5	1	1	
			Paraffin	150m	2	3		1	
28.08.2018	Sylt	IS12	Paraffin	2 km		100	1	3	3
05.09.2018	Hallig Hooge	IH61	Paraffin	7,5 m	250	92	12	1	1
05.09.2018	Nordfriesische Außensände	SN13	Paraffin	4 km	30	60	1	3	3
07.09.2018	Sylt	IS16	Paraffin	5 km	40	20	1	3	3

Datum	Gebiet	Gebiets-Code	Substanz	Länge verschmutzter Abschnitt [m/km]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: 0 - 1 [cm]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: 1 - 10 [cm]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: > 10 [cm]	Klasse	Klasse (Zusammenfassung)
10.09.2018	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	6 km	607	491	3	999	999
10.09.2018	Föhr	IF42	Paraffin	2,4 km	897	487	1	999	999
10.09.2018	Vorland St. Peter Ording	VE511	Paraffin	2 km	13	14	2	2	2
15.09.2018	Langeness	IH12 & IH22	Paraffin	2,5 km	2	1	0,01	2	2
15.09.2018	Hallig Oland	IH22	Paraffin	400 m	-	20	-	2	2
16.09.2018	Langeness	IH112	Paraffin	1 km	1	0,2	-	1	1
16.09.2018	Vorland St. Peter Ording	VE52	Paraffin	500 m	4	17	1	2	2
08.11.2018	Festlands-vorländer Nordfriesland	VN721	Paraffin	1,6 km	15	1	0,004	2	2
24.11.2018	Festlands-vorländer Nordfriesland	VN721	Paraffin	1,6 km	4	3	0	2	2
15.12.2018	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	25 m	0	5	0	1	1
			Paraffin	5 m			1	1	
			Paraffin	20 m		25	5	1	
			Paraffin	3 m	32	12	0	1	
			Paraffin	1 m	1	2		1	
			Paraffin	1 m	0	1	0	1	
			Paraffin	3 m	1	2	0	1	
11.01.2019	Sylt	IS17	Paraffin	200 m	5			1	1
06.03.2019	Sylt	IS13	Paraffin	6 km		1		2	2
20.03.2019	Sylt	IS12	Paraffin	7 km		1		2	2
		IS13		6 km		1		2	
16.04.2019	Sylt	IS17	Paraffin	200 m	10	5		1	1
09.07.2019	Sylt	IS17	Paraffin	200 m	20	20		1	1
17.08.2019	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	110m	1	10	0	1	1
			Paraffin	14m	0	8	0	1	
			Paraffin	10m	0	12	1	1	
			Paraffin	5m	0	5	0	1	
06.09.2019	Amrum	IA32	Paraffin	1 km	ca.20		5	2	2
06.09.2019	Sylt	IS15	Paraffin	500m	15	15	2	2	2
06.09.2019	Sylt	IS16	Paraffin	500m	15	15	2	2	
07.09.2019	Amrum	IA32	Paraffin	500 m			5	2	2

Datum	Gebiet	Gebiets-Code	Substanz	Länge verschmutzter Abschnitt [m/km]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: 0 - 1 [cm]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: 1 - 10 [cm]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: > 10 [cm]	Klasse	Klasse (Zusammenfassung)
01.10.2019	Vorländer Westerhever	VE31	Paraffin	1 m	-	1	-	1	1
04.10.2019	Vorländer Westerhever	VE321	Paraffin	2 km	0,5	0,1	-	1	1
06.10.2019	Vorländer Westerhever	VE321	Paraffin	1 m		1	-	1	1
14.01.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	11 m		3		1	1
			Paraffin	2 m	1	1		1	
			Paraffin	3 m		2	1	1	
			Paraffin	6 m	3	8		1	
24.04.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	4m		2		1	1
			Paraffin	2m		1		1	
22.06.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	4m	1	1	0,5	1	1
			Paraffin	1 m	2			1	
28.07-01.08.2020	Vorländer Westerhever	VE31	Paraffin	1,5 m	1	1		1	1
			Paraffin	1 m	3			1	
			Paraffin	1 m	3			1	
28.07-01.08.2020	Vorländer Westerhever	VE31	Paraffin	800 m		15		2	2
			Paraffin	600 m	5	14	1	2	
			Paraffin	4000 m	3	20	1	2	
20.08.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	1 m	4	1		1	1
			Paraffin	1,5 m	1	2		1	
			Paraffin	2,5 m	2	2		1	
			Paraffin	1 m	3			1	
03.09.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	3 m	5	1		1	1
			Paraffin	3,5 m	1	5		1	
			Paraffin	5,5 m	6	4		1	
03.10.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	1 m		1		1	1
			Paraffin	6 m	2	4		1	
			Paraffin	2 m	2			1	
			Paraffin	6 m	4	6	1	1	
17.10.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	1 m		1		1	1
			Paraffin	2 m	1	1		1	
			Paraffin	2 m		2		1	
			Paraffin	3 m	3	4		1	
01.11.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	3 m	2	1		1	1
01.11.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	2 m		3		1	
01.11.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	2 m		2		1	

Datum	Gebiet	Gebiets-Code	Substanz	Länge verschmutzter Abschnitt [m/km]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: 0 - 1 [cm]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: 1 - 10 [cm]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: > 10 [cm]	Klasse	Klasse (Zusammenfassung)
01.11.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	22 m	2	18	5	1	
16.11.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	2 m		1	1	1	1
16.11.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	1 m			1	1	
16.11.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	3 m	1	3		1	
01.12.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	2 m	1	1		1	1
31.12.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	6 m	1	5	1	1	
31.12.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	2 m		1	1	1	
31.12.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	3 m		4	1	1	
31.12.2020	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	1 m		1		1	
28.01.2021	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	2 m		2		1	1
			Paraffin	3 m	1	2		1	
			Paraffin	6 m	4	8		1	
12.02.2021	Hallig Hooge	IH6a	Paraffin	1 m	1			1	1
			Paraffin	3 m	1	2		1	
			Paraffin	2 m	2	3	2	1	
28.02.2021	Hallig Hooge	IH6a	Paraffin	6 m		6		1	1
			Paraffin	3 m	1	2	1	1	
02.03.2021	Hallig Hooge	IH112	Paraffin	20 cm		1		1	1
14.03.2021	Hallig Hooge	IH6a	Paraffin	1 m		1		1	1
29.03.2021	Hallig Hooge	IH6a	Paraffin	10 m	2	7	1	1	1
			Paraffin	2 m		2		1	
06.04.2021	Amrum	IA42 / IA51	Fettalkohol Paraffin	1 km	0,1	0,1	0,001	1	1
06.04.2021	Hallig Süderoog	IH8	Fett- Alkohol, Ethylen- oligomer, Paraffin					999	999
07.04.2021	Vorland St. Peter Ording	VE52	Paraffin	80 m	8	1		1	1
		VE54	Paraffin	60 m	100	3		1	
12.04.2021	Sylt	IS15	Paraffin	80 m	13	21		1	1
12.04.2021	Vorland Hauke- Haien-Koog	VN41	Paraffin	0,5 m		3	1	1	1
13.04.2021	Hallig Hooge	IH6a	Paraffin	10 m	1	8	2	1	1
			Paraffin	6 m		6		1	
			Paraffin	13 m		14		1	
			Fett- alkohol	19 m	11	114	1	1	

Datum	Gebiet	Gebiets-Code	Substanz	Länge verschmutzter Abschnitt [m/km]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: 0 - 1 [cm]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: 1 - 10 [cm]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: > 10 [cm]	Klasse	Klasse (Zusammenfassung)
13.04.2021	Sylt	IS15	Paraffin	50 m	12	2		2	2
14.04.2021	Sände Dithmarschen	SD1	Fettalkohol	100 m	2	20	0	1	1
15.04.2021	Vorland Friedrichskoog-Nord	VD3	Fett-Alkohol, Ethylen-oligomer	100 m	50	20	4	1	1
16.04.2021	Vorland Eider-Büsum	VD111	Fettalkohol	1 km		1		1	1
20.04.2021	Nordfriesische Außensände	SN3	Fettalkohol					999	999
27.04.2021	Sände Dithmarschen	SD1	Fettalkohol	50 m	1	20		1	1
27.04.2021	Vorland Eider-Büsum	VD12	Fettalkohol	10 m		1		1	1
28.04.2021	Amrum	IA42	Ethylen-oligomer, Paraffin	150 m		2		1	1
28.04.2021	Vorland Eider-Büsum	VD12	Fettalkohol	3 m		1		1	1
			Fettalkohol	100 m	20	50	2	1	
07.05.2021	Vorland Husum-Everschops	VE12	Fettalkohol	1 m			1	1	1
08.05.2021	Vorland Eider-Büsum	VD1	Fettalkohol	15 km	2	5		2	2
09.05.2021	Pellworm	IP13	Fettalkohol	500 m	2	0-1	0	1	1
27.05.2021	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	1 m		1		1	1
			Fettalkohol	8 m	9	5		1	
			Paraffin	27 m	14	38		1	
			Paraffin	14 m	3	44	3	1	
27.05.2021	Vorland Eider-Büsum	VD111	Fettalkohol	2 km		5		2	2
28.05.2021	Sände Dithmarschen	SD1	Fettalkohol			1		1	1
01.06.2021	Vorland Friedrichskoog-Nord	VD3	Paraffin	10 m		8		1	1
10.06.2021	Vorland St. Peter Ording	VE54	Pflanzenfett	30 cm			1	1	1
11.06.2021	Vorland Eider-Büsum	VD12	Fettalkohol	500 m			1	1	1

Datum	Gebiet	Gebiets-Code	Substanz	Länge verschmutzter Abschnitt [m/km]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: 0 - 1 [cm]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: 1 - 10 [cm]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: > 10 [cm]	Klasse	Klasse (Zusammenfassung)
23.06.2021	Amrum	IA42	Ethylen-oligomer	50 m	80			1	1
09.08-10.08.2021	Sylt	IS15	Paraffin	3,5 km	2	8	3	2	2
			Paraffin	40 m	0,1	0,4	0,15	1	
12.08.2021	Nordfriesische Außensände	SN13	Paraffin	1 m		1		1	1
10.08.2021	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	5 m		10		1	1
			Paraffin	50 m		45	4	1	
			Paraffin	15 m		20	1	1	
			Paraffin	4 m	3	1	2	1	
			Paraffin	14 m	4	3	4	1	
23.08.2021	Nordfriesische Außensände	SN13	Paraffin	1 m		1		1	1
			Paraffin	1 m		1		1	
13.09.2021	Föhr	IF12	Paraffin	100-500 m			1	1	1
			Paraffin	100-500 m			1	1	
			Paraffin	100-500 m		1		1	
08.09.2021	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	100 m	1	6	1	1	1
			Paraffin	50 m		10	1	1	
			Paraffin	1 m		1		1	
			Paraffin	100 m		12		1	
08.09.2021	Vorland Hallig Hamburg	VN63	Fettalkohol	4 m	18	70	2	1	1
		VN62		5 m	0	15	1	1	
18.09.2021	Amrum	IA32	Ethylen-oligomer	2 m			2	1	1
				2 m			1	1	
24.09.2021	Amrum	IA32	Paraffin	0,1 m		1		1	1
25.09.2021	Sylt	IS17	Paraffin	350 m	6	5	7	1	1
			Paraffin	50 m	15	2	1	1	
08.10.2021	Hallig Hooge	IH62	Paraffin	10 m			2	1	1
05.10.2021	Nordfriesische Außensände	SN13	Paraffin	1 m			1	1	1
10.10.2021	Vorland Husum-Everschops	VE12	Paraffin	3 km	0	4	1	2	2
19.10.2021	Nordfriesische Außensände	SN13	Paraffin	1 m			2	1	1

Datum	Gebiet	Gebiets-Code	Substanz	Länge verschmutzter Abschnitt [m/km]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: 0 - 1 [cm]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: 1 - 10 [cm]	Anzahl Klumpen pro Meter in der Größe: > 10 [cm]	Klasse	Klasse (Zusammenfassung)
22.10.2021	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	10 m	6	3		1	1
			Paraffin	1 m			1	1	
			Paraffin	1 m			1	1	
			Paraffin	7 m	6			1	
			Paraffin	1 m		2		1	
			Paraffin	1 m		1		1	
			Paraffin	20 m		1	1	1	
06.11.2021	Hallig Hooge	12IH6a	Paraffin	3 m	1	1		1	1
			Paraffin	1 m		1		1	
			Paraffin	2 m		1	1	1	
13.10.2021	Amrum	IA42	Paraffin	20 cm			1	1	
07.11.2021	Langeneß		Paraffin	10 m		1		1	
23.11.2021	Sylt	IS17	Paraffin	50 m	0	15		1	
24.11.2021	Amrum	IA42	Paraffin	3 km		1	1	2	2
26.11.2021	Amrum	IA32	Paraffin	1 km		1	1	2	2

Anlage 5

Niedersachsen

Übersicht gemeldeter Anspülungen von Paraffin in Niedersachsen von 2007-2018 (Quelle: Drucksache 18/2470).
Klassifizierung: 1: kleine Anspülung, 2: mittlere Anspülung, 3: große Anspülung, 999: Anspülung vorhanden, aber mit unbekannter Menge

Datum	Fundort	Substanz	Beschreibung	Klassifizierung
11.09.2007	Borkum	Paraffin	Ca. 1,3 t	3
14.11.2007	Norderney	Paraffin	Ca. 5 m ²	3
14.11.2007	Baltrum	Paraffin	Ca. 1 m ³	2
14.11.2007	Langeoog	Paraffin	Ca. 2 m ³	3
27.05.2010	Brake/Weser	Wachsrückstände/Palmöl	Kleine, klumpige Wachsrückstände	999
08.06.2010	Spiekeroog	Paraffin	Keine Angabe	999
04.05.2012	Nordsee/ Weser Außenreedee	Vermutlich Paraffin	Weißliche Kleinstpartikel	999
18.06.2014	Borkum, (Juist, Norderney)	Paraffin	Zusammen auf allen drei Inseln ca. 1,5 m ³ . Interpretation: 0,5 m ³ pro Inseln	2
18.06.2014	Juist	Paraffin		2
18.06.2014	Norderney	Paraffin		2
21.09.-23.09.2014	Spiekeroog	Paraffin	Keine Menge bekannt	999
21.09.-23.09.2014	Norderney	Paraffin	Keine Menge bekannt	999
06.03.2015	Borkum	Paraffin	Keine Menge bekannt, 3 – 4 km Ausbreitung	2
5.-9.4.2015	Stadtgebiet Cuxhaven	Paraffin	80 l	2
22.03.2016	Wangerooge	Paraffin	Keine Menge bekannt	999
25.03.2016	Minsener Oog,	Paraffin	1,5 km Strandlänge, 3 größere Stücke > 10 cm, das Gros mm bis 1x1 cm	2
29.03.2016	Spiekeroog	Paraffin	3-4 km	2
26.05.2016	Baltrum	Paraffin	Keine Menge bekannt	999
01.06.2016	Borkum	Paraffin	10-15 km, ca. 75 t	KSU
03.06.2016	Juist	Paraffin	Gesamter Strand, alle 20-30 m ein Brocken	2
24.04.2017	Mellum	Paraffin*	20 fußballgroße Klumpen	2
29.06.2018	Baltrum	Paraffin	Keine Menge bekannt	999
09.07.2018	Juist	Paraffin	Keine Mengen bekannt	999
09.07.2018	Spiekeroog	Paraffin	Keine Mengen bekannt	999
09.07.2018	Wangerooge	Paraffin	Keine Menge bekannt	999
28.10.2018	Wangerooge	Paraffin	Nicht viel auf 100 m, einige große Brocken	1
29.10.2018	Minsener Oog	Paraffin	Keine Menge bekannt	999
29.10.2018	Spiekeroog	Paraffin	80 kg	2

Datum	Fundort	Substanz	Beschreibung	Klassifizierung
30.10.2018	Verschiedene ostfriesische Inseln	Paraffin*	Keine Menge bekannt	Angabe nicht berücksichtigt, da weder Raum noch Menge ausreichend präzisiert
11.2018	Brake-Oldenburg	Paraffin	Geringe Verschmutzung	1
2018	Borkum	Paraffin	Rund sechs Einsätze des Ortsamtsleiters, Mengen gering, lokale Paraffinanlandungen könnten durchaus noch mehr Ereignisse umfassen, werden wegen geringer Mengen aber nicht erfasst	1
2018	Borkum	Paraffin		1
2018	Borkum	Paraffin		1
2018	Borkum	Paraffin		1
2018	Borkum	Paraffin		1
2018	Borkum	Paraffin		1
2018	Borkum	Paraffin		1
28.10.2018	Stadtgebiet Cuxhaven	Paraffin	15m ³ vermischt mit Treibsel und Sand, sowie 30-40 l unvermischt	2
28.10.2018	Landkreis Cuxhaven	Paraffin	Ca. 20 l	2
02.11.2018	Neuwark	Paraffin	Zusammen auf allen drei Inseln 6,25 m ³ Sand-Treibsel-Trockengut Paraffingemisch aufgenommen, davon 50-70% Paraffin. Interpretation: bei 50% wären Paraffin wären dies max. 1m ³ Paraffin/Insel	2
02.11.2018	Scharhörn	Paraffin		2
02.11.2018	Nigehörn	Paraffin		2

Anlage 6

Gemeldete Anspülungen von Paraffin in Niedersachsen von April 2021 – Oktober 2021 (Legende Substanz - schwarz: laborbestätigt, grau: nicht laborbestätigt, n.b.: nicht bekannt). Klassifizierung: 1: kleine Anspülung, 2: mittlere Anspülung, 3: große Anspülung, 999: Anspülung vorhanden, aber mit unbekannter Menge

Funddatum	Fundort	Lage	Substanz	Beschreibung	Klassifizierung	Klassifizierung (Zusammenfassung)
28.04.2021	Borkum	Nordstrand, Hooge Hörn bis Deckwerk	Fettalkohol	Größe der Fundstücke bis zu 15 cm, weiß, Konsistenz wie Kerzenwachs, Entsorgung 120 l	2	2
28.04.2021	Juist	Nordstrand	Fettalkohol	sehr kleine Fundstücke, weiß, Entsorgung 20 l	2	2
28.04.2021	Norderney	am Badestrand in östliche Richtung	Fettalkohol	Größe der Fundstücke bis ca. 10 x 10 cm, weiß, Konsistenz wie Kerzenwachs, Entsorgung 7 l.	1	2
		Ostsende und Höhe Osthellerplatz		ca. 2 Klumpen/ m ² , Größe Brocken 10 – 40 cm, überwiegend > 10 cm, weiß, fest, Strandfläche ca. 5000 x 3 m	2	
28.04.2021	Baltrum	Nordstrand	Fettalkohol	Größe der Fundstücke sehr klein, weiß, Konsistenz wie Kerzenwachs, Entsorgung 5 l	1	1
28.04.2021	Langeoog	Katastrophenstrasse in Richtung Osten	Fettalkohol	Größe der Fundstücke bis zu 10 cm, weiß, Konsistenz wie Kerzenwachs, Entsorgung: 130 l, Strandlänge ca. 10 km	2	2
28.04.2021	Spiekeroog	Nordstrand in Richtung Osten	Fettalkohol	Größe der Fundstücke bis zu 10 cm, weiß, Konsistenz wie Kerzenwachs, Menge unbekannt, Strandlänge ca. 3 km	2	2

Funddatum	Fundort	Lage	Substanz	Beschreibung	Klassifizierung	Klassifizierung (Zusammenfassung)
28.04.2021	Wangerooge	Ostende bis Harlehörn	Fetalkohol	Größe der Fundstücke bis zu 10 cm, weiß, Konsistenz wie Kerzenwachs, Entsorgung 160 l	2	2
29.04.2021	Juist	Nordstrand zwischen Domäne Loog und Bill	Paraffin	1 Klumpen der Größe 1-10 cm, 6 Klumpen > 10 cm, überwiegend weiß, ein Klumpen von 80 cm mit bräunlich gelbe Farbe, Konsistenz fest, Strandfläche ca. 5000 x 4 m	1	1
29.04.2021	Bensersiel	Strandabschnitt mit Strandkörben	Paraffin	minimale Mengen, überwiegend geringe Größe, ca. 1000 m,	1	1
30.4.2021	Budjadingen	Eckwarderhöme beim Strandbad	ABS (Fetalkohol)	k.A.	999	999
30.04.2021	Budjadingen	Tossens, Friesenstrand	Paraffin	k.A.	999	999
04.05.2021	Budjadingen	Burhaver Groden	Paraffin	viele kleine Klumpen (ca. 0,5/m) der Größe 1- 10 cm, ca. 200 m,	1	1
		Langwarder Groden,	Paraffin	10 Klumpen einer Größe von 1- 10 cm, 3 Klumpen einer Größe von ca. 20 cm, Volumen ca. 7,5 l		
		Burhaver Siel	Paraffin	3 Klumpen einer Größe von 0- 1 cm, 5 Klumpen einer Größe von 1-10cm, Strandlänge ca. 500 m		
04.05.2021	Wangerooge	Nord- und Oststrand	Paraffin	1 Klumpen einer Größe von 1-10 cm, 35 Klumpen einer Größe > 35 cm, weiß, Strandfläche ca. 200 x 15 m	1	1

Funddatum	Fundort	Lage	Substanz	Beschreibung	Klassifizierung	Klassifizierung (Zusammenfassung)
06.05.2021	Mellum	Süd-, Nord- und Weststrand	Paraffin	flache Bruchstücke, weiß bis weiß-gelblich, 19 Klumpen einer Größe von 1-10 cm, 5 Klumpen > 10 cm, Volumen ca. 7,5 l, Strandfläche ca. 4500 x 20 m	1	1
24.05.2021	Juist	Nordstrand zwischen Badestrand Loog und Kurhaus	Paraffin	12 Klumpen einer Größe von 1-10 cm, rosa Färbung, feste Konsistenz, Strandfläche 2000 x 6 m	1	1
08.06.2021	Juist	Nordstrand zwischen Domäne Bill und Westspitze	Paraffin	sehr hohe Anzahl einer Größe von 0-1 cm, vereinzelt 1-10 cm, beige, Konsistenz fest bis wachsartig, Strandfläche ca. 1000 x 3 m	1	1
23.06.2021	Borkum	Nordstrand	Paraffin	Größe sehr klein, weiß, Konsistenz wie Kerzenwachs, Entsorgung 10 l	1	1
23.06.2021	Norderney	Nordstrand	Paraffin	weiß, sehr klein, Entsorgung 60 l	2	2
		Zwischen Ostende und Oase	Paraffin	lückiges Vorkommen, 0,1/m ² , kleine Teile einer Größe 1-10 cm, überwiegend um 5 cm. Hellgelb, Strandfläche 5000 x 2 m	1	
25.06.2021	Juist	Nordstrand, Spülsaum zwischen Domäne Loog und Hammersee	Paraffin	sehr viele sehr kleine < 1 cm, viele 1 < 10 cm, beige, Konsistenz wachsartig, Strandfläche ca. 1500 x 3 m,	2	2

Funddatum	Fundort	Lage	Substanz	Beschreibung	Klassifizierung	Klassifizierung (Zusammenfassung)
25.06.2021	Baltrum	Ostende	Paraffin	750 x 8 m, 19 Klumpen einer Größe von 0-1 cm, 218 Klumpen von 1-10 cm, 2 Klumpen > 10 cm, cremefarben mit unebener Oberfläche	1	1
		Strandübergang BK – Heim Baltrum	Paraffin	55 Klumpen einer Größe von 0-1 cm, 180 Klumpen von 1-10 cm, cremefarben mit sehr unebener Oberfläche, Strandfläche 200 x 1m		
1.7.2021	Budjadingen	Strand Burhave	Paraffin	weiß, wachsähnlich, Größe 0 – 1 cm, Strandabschnitt 1000 m	1	1
16.07.2021	Budjadingen	Langwarder Groden	Paraffin	12 Klumpen einer Größe von 1- 10 cm, 10 Klumpen einer Größe > 10 cm, Strandfläche 10 x 5 m,	1	1
9.8.2021	Mellum	Westplate	ABS (Fettalkohol)	1 Stück, große Platte ~18cm, hellweiß	1	1
		Südoststrand	ABS (Fettalkohol)	Vereinzelt, 4 kleinere Stückchen, hellweiß		
20.08.2021	Mellum	Südoststrand	ABS (Fettalkohol)	3 kleinere Stückchen, hellweiß, <5cm, 1,5-2cm dick	1	1
21.08.2021		Nordstrand	ABS (Fettalkohol)	3 größere dicke Platten, hellweiß, 15x15cm, 16x5cm, 5x5cm, alle ca. 5-6cm dick	1	
		Nordstrand	ABS (Fettalkohol)	2 größere dünne Platten, hellweiß, Müllaktion, 10x10cm, 5x6cm, alle ca. 2cm dick	1	
		Nordstrand	ABS (Fettalkohol)	1 Stück, großer bereits verwittert, hellweißer Brocken, 16x21x6cm	1	
		Nordstrand	ABS (Fettalkohol)	0,01 L, Schmierfett (blau)	1	

Funddatum	Fundort	Lage	Substanz	Beschreibung	Klassifizierung	Klassifizierung (Zusammenfassung)
21.08.2021	Mellum	Nordstrand	ABS (verwittertes HFO)	12 alte Ölbrocken, verwittert, schwarz	1	1
		Südstrand	ABS (verwittertes HFO)	10 alte schwarze, verwitterte Ölbrocken	1	
25.08.2021		Weststrand/Westplate	ABS (Verwittertes HFO)	frisch angespülte, schwarze Klumpen, 10 L	1	
23.08.2021	Mellum	Südstrand	Paraffin	5 kleinere gelbe Bröckchen	1	1
23.08.2021	Mellum	Balmoral-Sandbank	ABS (Fettalkohol)	2 kleinere, helle Stückchen, ca. 2cm dick, <5cm	1	1
			ABS (Fettalkohol)	1 größeres Wachsstück ca. 10 x 6 x 5,5 cm		
			ABS (Fettalkohol)	2 plattenartige Stücke, ca. 2cm dick, hellweiß, groß: ~8x10cm, kleines Stück: ~ 1x2cm		
27.08.2021	Baltrum	k.A.	12 Proben: ABS (Ethylenoligo- mer): 3, ABS (Fettalkohol): 5, Pflanzenfett 2, Paraffin: 2	k.A.	999	999
04.09.2021	Mellum	Nordstrand	ABS (Fettalkohol)	1 Stück, hellweiß, weiches Wachs, ca. 5x4x2cm	1	1
13.09.2021	Mellum	Weststrand	Paraffin	1 Stück, gelblicher Wachsbrocken, weich	1	1
		Nordstrand	Paraffin	1 Stück, leicht gelblich, <1cm		
			ABS (Fettalkohol)	1 Stück, hellweiß, ca 4cm		
			Paraffin	1 Stück, gelblich, sehr hartes Stück, riecht nach Erdöl, ca. 4x5x1cm		

Funddatum	Fundort	Lage	Substanz	Beschreibung	Klassifizierung	Klassifizierung (Zusammenfassung)
27.09.2021	Mellum	Weststrand, 100m- OSPAR-Abschnitt	Paraffin	1 Stück, ca. 10cm, größere Platte	1	1
		Weststrand, 100m- OSPAR Abschnitt	12 Brocken: ABS (Ethyloligo- mer): 2, Paraffin: 6, ABS (Fetalkohol): 2, Pflanzenfett 1, unbekannt 1	mehrere kleine Paraffinstückchen unterschiedlicher Form, Farbe, Größe		
13.10.2021	Mellum	Weststrand	ABS (verwittertes HFO)	Schwarze Klumpen, 5L	1	1

Anlage 7

zu Kap. 2.2.7 lokale Anspülungen Strandfunde

Meldungen zu einer Gewässer- oder Strandverunreinigung durch paraffinartige Stoffe in der Sammlung „Maritime Ereignismeldung Deutsche Küste“ durch Ermittlungsbehörden (Wasserschutzpolizeien, Zollverwaltung, Bundespolizei See etc.). Diese Meldungen werden zentral von dem GLZ-See (Gemeinsames Lagezentrum See im Maritimen Sicherheitszentrum Cuxhaven) gesammelt und gebündelt

Datum	Typ	Kommentar	Region	Ort
13.11.2014	Paraffinartig	fetthaltige Substanz	Hamburg	Travehafen Hamburg
13.11.2014	Paraffinartig	fetthaltige Substanz	Hamburg	Travehafen Hamburg
06.03.2015	Paraffin		Ostfriesische	Borkum, FKK Strand
06.03.2015	Paraffin		Ostfriesische	Borkum, FKK Strand
23.03.2015	Paraffin		Rügen Region	Rügen, Spülsaum
23.03.2015	Paraffin		Rügen Region	Rügen, Spülsaum
02.04.2015	Paraffin		Nordfriesische	St. Peter Ording und weitere Strände
02.04.2015	Paraffin		Nordfriesische	St. Peter Ording und weitere Strände
05.04.2015	Paraffin		Cuxhaven	östlicher Teil Grimmershörnbucht
05.04.2015	Paraffin		Cuxhaven	östlicher Teil Grimmershörnbucht
04.04.2016	Paraffinartig	fetthaltige Klumpen + Ölfilm	Elbe	Elbe zwischen den Tonnen 124 und 126.
04.04.2016	Paraffinartig	fetthaltige Klumpen + Ölfilm	Elbe	Elbe zwischen den Tonnen 124 und 126.
12.05.2016	Paraffinartig	Fetthaltige Klumpen,	Usedom Region	Küstenbereich bei Koserow / Insel Usedom,
12.05.2016	Paraffinartig	Fetthaltige Klumpen,	Usedom Region	Küstenbereich bei Koserow / Insel Usedom,
31.05.2016	Paraffin		Ostfriesische	Borkum, Strandbereich (Nordstrand) und
31.05.2016	Paraffin		Ostfriesische	Borkum, Strandbereich (Nordstrand) und
02.06.2016	Paraffin	(Fortschreibung)	Ostfriesische	gesamter Nordstrand von Borkum (vermutl. bis
02.06.2016	Paraffin	(Fortschreibung)	Ostfriesische	gesamter Nordstrand von Borkum (vermutl. bis
17.06.2016	Paraffin		Hamburg	Anleger der Firma VOPAK
17.06.2016	Paraffin		Hamburg	Anleger der Firma VOPAK
21.04.2017	Paraffin	wachsharten Substanz	Helgoland	Helgoländer Düne
21.04.2017	Paraffin	wachsharten Substanz	Helgoland	Helgoländer Düne
17.05.2017	Paraffinartig	vermutlich verbrauchtes	Nordsee	ca. 50 km westl. Helgoland; erste Teil:
17.05.2017	Paraffinartig	vermutlich verbrauchtes	Nordsee	ca. 50 km westl. Helgoland; erste Teil:
01.07.2017	Paraffinartig	fetthaltige, paraffinartige	Hamburg	Höhe des Övelgöner Ufers und am Hans-Leip-
01.07.2017	Paraffinartig	fetthaltige, paraffinartige	Hamburg	Höhe des Övelgöner Ufers und am Hans-Leip-
12.08.2017	Paraffin	Strandverschmutzung	Sylt	Westerland/Wenningstedt KKM 67-69.5
12.08.2017	Paraffin	Strandverschmutzung	Sylt	Westerland/Wenningstedt KKM 67-69.5
16.08.2017	Paraffin	Flockig, weiße	Zingst/Darß	Darßer Ort
16.08.2017	Paraffin	Flockig, weiße	Zingst/Darß	Darßer Ort
20.05.2018	Paraffinartig	rötliches Schmierfett,	Rügen Region	Südostküste der Halbinsel Zudar (Palmer Ort)
20.05.2018	Paraffinartig	rötliches Schmierfett,	Rügen Region	Südostküste der Halbinsel Zudar (Palmer Ort)
24.05.2018	Paraffinartig	rötliches Schmierfett	Rügen Region	Wampen, nordwestlich der Dänischen Wiek
24.05.2018	Paraffinartig	rötliches Schmierfett	Rügen Region	Wampen, nordwestlich der Dänischen Wiek
27.05.2018	Paraffinartig	Fettklumpen im Uferbereich,	Greifswald	Industrieafen Ladebow
27.05.2018	Paraffinartig	Fettklumpen im Uferbereich,	Greifswald	Industrieafen Ladebow
09.07.2018	Paraffinartig	Paraffinklumpen (feste erbsen-	Ostfriesische	Norderney, Baltrum, Juist
09.07.2018	Paraffinartig	Paraffinklumpen (feste erbsen-	Ostfriesische	Norderney, Baltrum, Juist
05.08.2018	Paraffinartig	Schmierfett	Ostsee	Greifswalder Bodden
05.08.2018	Paraffinartig	Schmierfett	Ostsee	Greifswalder Bodden
27.10.2018	Paraffin	1- 10cm große Brocken,	Nordsee	Nordseeküste im Bereich Cuxhaven /
27.10.2018	Paraffin	1- 10cm große Brocken,	Nordsee	Nordseeküste im Bereich Cuxhaven /
30.10.2018	Paraffin	Fortsetzung 301/18 302/18	Ostfriesische	Spiekeroog, Wangerooge, Langeoog
30.10.2018	Paraffin	Fortsetzung 301/18 302/18	Ostfriesische	Spiekeroog, Wangerooge, Langeoog
08.11.2018	Paraffin		Helgoland	Südstrand der Helgoländer Düne
08.11.2018	Paraffin		Helgoland	Südstrand der Helgoländer Düne
05.12.2018	Paraffinartig	paraffinartige Kügelchen	Hamburg	Övelgöner Elbstrand
05.12.2018	Paraffinartig	paraffinartige Kügelchen	Hamburg	Övelgöner Elbstrand
06.12.2018	Paraffin		Nordsee	Diverse Küstenabschnitte
06.12.2018	Paraffin		Nordsee	Diverse Küstenabschnitte
29.07.2019	Paraffin		Hamburg	Köhlfleethafen
29.07.2019	Paraffin		Hamburg	Köhlfleethafen
22.09.2019	Palmöl	Verklappungsfahrt	Nordsee AWZ	Verklappungsfahrt
22.09.2019	Palmöl	Verklappungsfahrt	Nordsee AWZ	Verklappungsfahrt
22.09.2020	Palmöl		Hamburg	Süderelbe
22.09.2020	Palmöl		Hamburg	Süderelbe
29.01.2021	Paraffin		Zingst/Darß	Strand des Ostseebades Zingst, Nr. 12
29.01.2021	Paraffin		Zingst/Darß	Strand des Ostseebades Zingst, Nr. 12
01.03.2021	Palmöl	Methyl-Esther auf	Nordsee AWZ	00.01.1900
28.04.2021	Paraffin	wachsartige Anlandungen	Ostfriesische	Wattengebiet vor den Inseln Spiekeroog,
22.06.2021	Paraffinartig	weiße / gelbliche	Ostfriesische	Stränden von Wangerooge, Langeoog, Baltrum
22.08.2021	Palmöl	Tankwaschfahrt „En Route“	Nordsee AWZ	ca. 185 km westlich Sylt

Anlage 8

zu Kap. 2.3: Zusammensetzung der Verschmutzungen der einzelnen Schleppfahrten

Details zu den Vorkommen paraffinartiger Substanzen in den Einzelnen der 103 Schleppfahrten (unterschieden anhand der Identifikationsnummer (vipo_id) im Projektzeitraum. Zur Auswahl der untersuchten Proben siehe Abschnitt 2.3.2.

Id	Paraffin	Pflanzenfett	AUS	ABS	Kunststoff	Ethylen	Schmierstoffe	aller außer Paraffin und Pflanzenfett
vipo_129	3	1	4	0	0	0	0	4
vipo_130	0	0	2	1	2	0	0	5
vipo_132	1	0	9	0	0	0	0	9
vipo_133	4	4	2	0	0	0	0	2
vipo_134	5	1	1	0	1	0	2	4
vipo_135	2	0	0	0	1	0	1	2
vipo_136	10	0	1	0	1	0	1	3
vipo_137	1	0	0	0	4	0	1	5
vipo_138	0	0	3	0	0	0	0	3
vipo_140	1	0	0	0	3	0	0	3
vipo_141	0	1	0	0	1	0	2	3
vipo_142	0	0	2	0	0	0	0	2
vipo_145	0	0	1	0	0	0	0	1
vipo_146	0	0	1	0	0	0	0	1
vipo_147	1	0	0	0	0	0	1	1
vipo_148	0	0	1	0	0	0	0	1
vipo_150	1	1	1	0	0	0	0	1
vipo_151	0	0	0	0	1	0	0	1
vipo_152	1	1	3	0	0	0	0	3
vipo_153	0	0	2	0	0	0	0	2
vipo_154	0	0	4	0	0	0	0	4
vipo_156	0	0	2	0	0	0	2	4
vipo_157	3	0	1	0	8	1	0	10
vipo_158	4	0	0	0	9	0	0	9
vipo_159	2	0	0	0	2	0	1	3
vipo_160	0	1	0	0	3	0	0	3
vipo_161	1	2	0	1	2	0	0	3
vipo_162	0	0	2	0	8	0	0	10
vipo_163	0	0	0	0	2	0	0	2
vipo_164	0	0	1	0	1	0	0	2
vipo_165	4	0	0	0	1	0	0	1
vipo_166	1	1	0	0	7	0	0	7
vipo_167	2	0	0	1	3	0	0	4

Id	Paraffin	Pflanzenfett	AUS	ABS	Kunststoff	Ethylen	Schmierstoffe	außer Paraffin und Pflanzenfett
vipo_168	0	0	0	1	0	0	0	1
vipo_170	0	2	1	0	1	0	0	2
vipo_171	0	0	0	0	2	0	0	2
vipo_173	1	0	0	0	10	1	0	11
vipo_174	1	0	0	0	2	2	0	4
vipo_175	0	2	0	0	0	2	0	2
vipo_176	0	3	0	0	0	0	0	0
vipo_177	1	1	1	0	0	0	0	1
vipo_179	0	0	0	0	1	0	0	1
vipo_185	4	0	2	0	0	0	0	2
vipo_188	1	0	2	0	0	0	0	2
vipo_193	3	0	0	0	0	0	0	0
vipo_194	1	0	2	0	0	0	1	3
vipo_195	0	0	1	0	0	0	0	1
vipo_196	1	1	1	0	0	0	0	1
vipo_197	1	2	1	0	0	0	0	1
vipo_198	0	1	1	0	0	0	0	1
vipo_201	1	1	1	0	0	0	0	1
vipo_202	0	1	1	0	0	0	0	1
vipo_203	1	2	0	0	0	0	0	0
vipo_204	1	3	1	0	0	0	0	1
vipo_205	3	0	1	0	0	0	0	1
vipo_206	3	0	0	1	0	0	0	1
vipo_207	1	0	0	1	0	0	0	1
vipo_208	5	0	1	0	0	0	0	1
vipo_209	1	1	1	2	0	0	0	3
vipo_210	1	0	1	0	0	0	0	1
vipo_211	0	2	1	0	0	0	0	1
vipo_212	2	1	1	0	0	0	0	1
vipo_213	1	0	0	2	0	0	0	2
vipo_214	1	0	0	2	0	0	0	2
vipo_215	1	0	0	1	0	0	0	1
vipo_216	1	0	2	2	0	0	1	5
vipo_217	3	0	1	1	0	0	0	2
vipo_218	0	0	1	1	0	0	0	2
vipo_219	0	0	1	1	0	0	0	2
vipo_222	0	0	1	0	0	0	0	1
vipo_226	1	0	0	1	0	0	0	1
vipo_229	0	0	2	0	0	0	0	2
vipo_230	0	0	1	0	0	0	0	1

Anlage 9

zu Kap. 2.4: Paraffin in Mägen von Eissturmvögeln

Details zum jährlichen Aufkommen paraffinähnlicher Stoffe in Mägen von 818 Eissturmvögeln, gestrandet an deutschen Küsten zwischen 2002 und 2019. Gegeben sind die Stichprobengröße (n), die Prozentzahl erwachsener Vögel (%ad), die Auftretshäufigkeit (%FO), die Durchschnittsanzahl mit Standardfehler, das Durchschnittsgewicht mit Standardfehler, das Maximalgewicht in einem einzelnen Vogel und das geometrische Durchschnittsgewicht

Jahr	Proben n	(% ad)	%FO	Durchschnittsanzahl n ± se	Durchschnittsgewicht g ± se	Maximalgewicht	Geometrisches Durchschnittsgewicht
2002	4	(50%)	25%	5.0 ± 5.0	0.01 ± 0.01	0.0	0.0016
2003	33	(23%)	24%	1.1 ± 0.5	1.21 ± 0.65	15.0	0.0026
2004	155	(77%)	30%	5.7 ± 2.2	0.54 ± 0.25	34.0	0.0033
2005	70	(61%)	33%	2.1 ± 0.5	0.29 ± 0.15	9.0	0.0026
2006	11	(50%)	18%	1.0 ± 0.9	0.19 ± 0.15	1.6	0.0024
2007	68	(24%)	18%	1.8 ± 1.2	1.06 ± 0.57	29.0	0.0020
2008	51	(43%)	14%	0.8 ± 0.4	0.25 ± 0.20	10.0	0.0011
2009	88	(51%)	7%	0.2 ± 0.1	0.06 ± 0.03	2.1	0.0004
2010	11	(36%)	9%	0.5 ± 0.5	0.04 ± 0.04	0.5	0.0007
2011	41	(32%)	17%	0.3 ± 0.1	0.01 ± 0.00	0.1	0.0007
2012	127	(21%)	24%	2.0 ± 0.5	0.03 ± 0.02	2.1	0.0011
2013	24	(37%)	29%	4.5 ± 2.3	0.05 ± 0.02	0.5	0.0024
2014	19	(21%)	21%	3.5 ± 3.0	0.01 ± 0.01	0.1	0.0009
2015	33	(25%)	12%	4.5 ± 3.8	0.11 ± 0.11	3.6	0.0005
2016	18	(41%)	22%	0.2 ± 0.1	0.01 ± 0.01	0.2	0.0009
2017	31	(29%)	19%	0.9 ± 0.6	0.35 ± 0.31	9.6	0.0011
2018	13	(25%)	23%	0.9 ± 0.8	0.03 ± 0.02	0.3	0.0017
2019	22	(45%)	27%	0.7 ± 0.5	0.32 ± 0.32	7.1	0.0010

Anlage 10

Details zu 5-Jahresmittelwerten paraffinähnlicher Stoffe in Mägen von Eissturmvögeln, gestrandet an deutschen Küsten zwischen 2002 und 2019. Gegeben sind die Stichprobengröße (n), die Prozentzahl erwachsener Vögel (%ad), die Auftrittshäufigkeit (%FO), die Durchschnittsanzahl mit Standardfehler, das Durchschnittsgewicht mit Standardfehler und das Maximalgewicht.

5-Jahresperiode	Proben n	(% ad)	%FO	Durchschnitts- anzahl n ± se	Durchschnitts- gewicht g ± se	Maximal- gewicht
2002_06	273	(65%)	30%	4.0 ± 1.3	0.53 ± 0.17	34.0
2003_07	337	(57%)	27%	3.6 ± 1.1	0.64 ± 0.18	34.0
2004_08	355	(58%)	26%	3.4 ± 1.0	0.53 ± 0.16	34.0
2005_09	288	(46%)	17%	1.2 ± 0.3	0.39 ± 0.15	29.0
2006_10	229	(40%)	12%	0.9 ± 0.4	0.40 ± 0.18	29.0
2007_11	259	(39%)	13%	0.8 ± 0.3	0.35 ± 0.16	29.0
2008_12	318	(35%)	16%	1.0 ± 0.2	0.07 ± 0.03	10.0
2009_13	291	(34%)	18%	1.3 ± 0.3	0.04 ± 0.01	2.1
2010_14	221	(26%)	23%	2.0 ± 0.5	0.03 ± 0.01	2.1
2011_15	243	(25%)	22%	2.4 ± 0.7	0.04 ± 0.02	3.6
2012_16	220	(25%)	23%	2.6 ± 0.7	0.04 ± 0.02	3.6
2013_17	124	(30%)	20%	2.9 ± 1.2	0.13 ± 0.08	9.6
2014_18	113	(28%)	19%	2.3 ± 1.2	0.14 ± 0.09	9.6
2015_19	117	(32%)	20%	1.8 ± 1.1	0.19 ± 0.11	9.6

Anlage 11

zu Kap. 2.5 Strandmüllmonitoring

Ergebnisse der statistischen Analyse der Trendanalyse 2002-2021 (lineares Permutationsmodell L-Permin R).

Legende: * signifikant bei $p < 0,05$

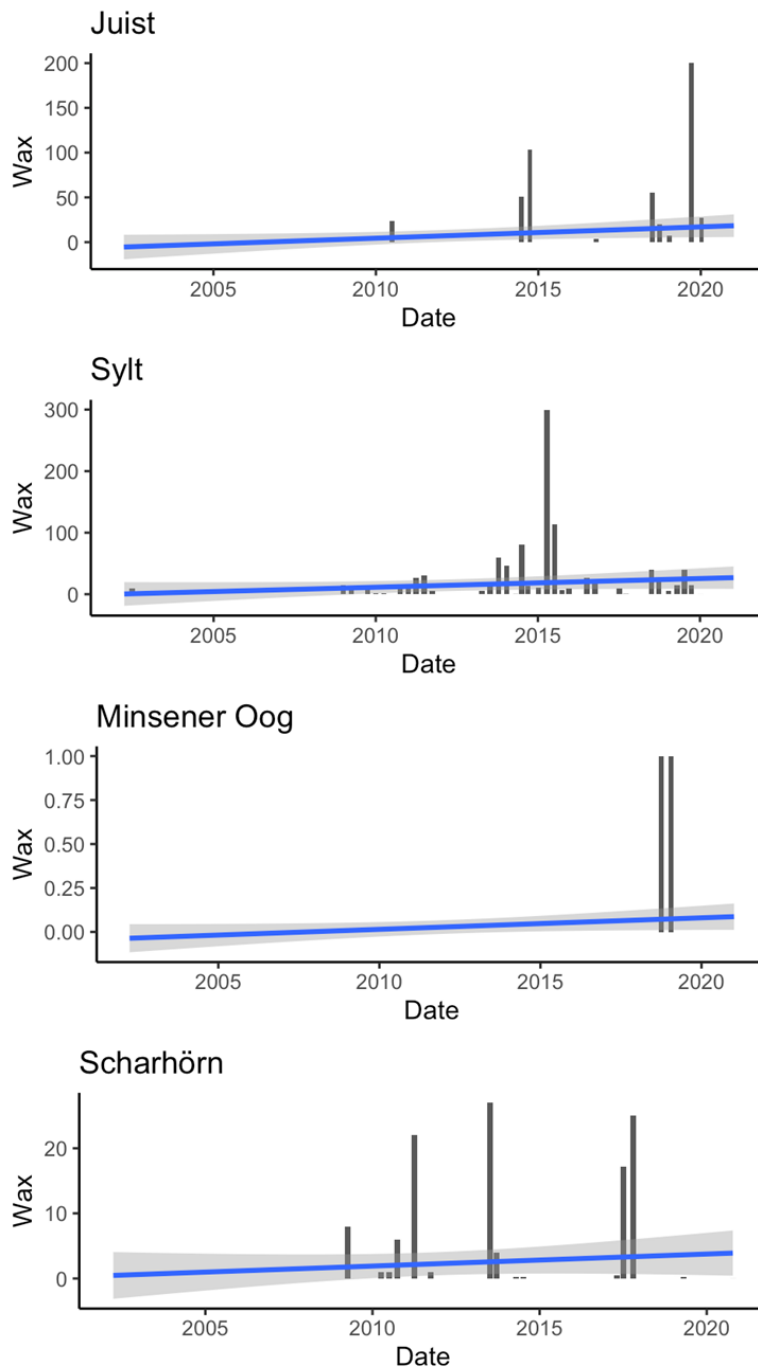
Insel	Adjusted R ²	p
Juist	0,047	0,041*
Sylt	0,024	0,106
Minsener Oog	0,032	0,072
Scharhörn	0,005	0,264

Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Test, Vergleich der mittleren Menge der pro Erhebung erfassten Anzahl an Paraffinteilen im Zeitraum 2002- 2011 mit 2012-2021.

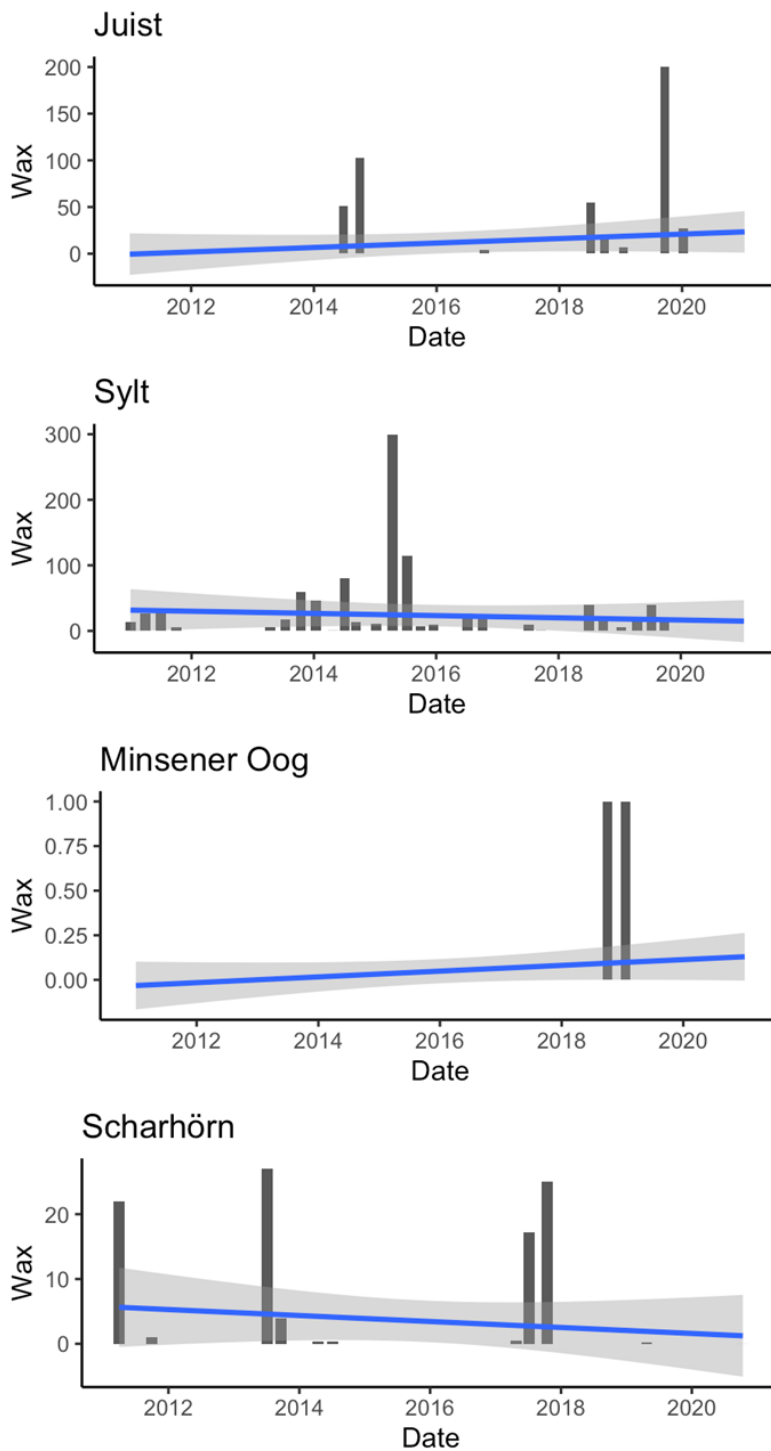
Legende: * signifikant bei $p < 0,05$

Insel	Chi ²	df	p
Juist	3,73	1	0,053
Sylt	18,29	1	$1,88 \times 10^{-5}$ *
Minsener Oog	1,48	1	0,222
Scharhörn	2,51	1	0,113

Zeitliche Entwicklung der Paraffinanspülungen (Anzahl/m) pro Erfassung auf vier OSPAR-Erfassungsstrecken von 2002-2021 (lineares Permutationsmodell L-Permin R).



Zeitliche Entwicklung der Paraffinananspülungen (Anzahl/m) pro Erfassung auf vier OSPAR-Erfassungstrecken von 2012- 2021 (lineares Permutationsmodell L-Permin R).



Anlage 12

zu Kap. 2.6.2.1 Disperse Belastung: Zählrahmen-Erfassung

Übersicht Erfassungsprotokoll für die Erfassungen am Strand mittels Zählrahmen (exemplarisch für Probennr. 1-24)

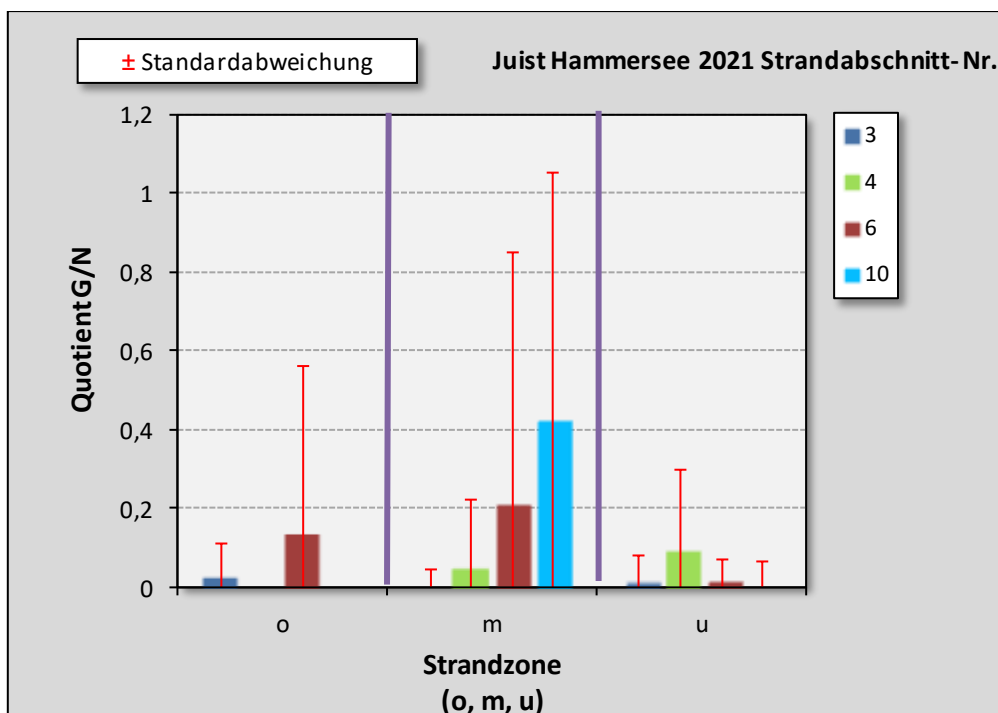
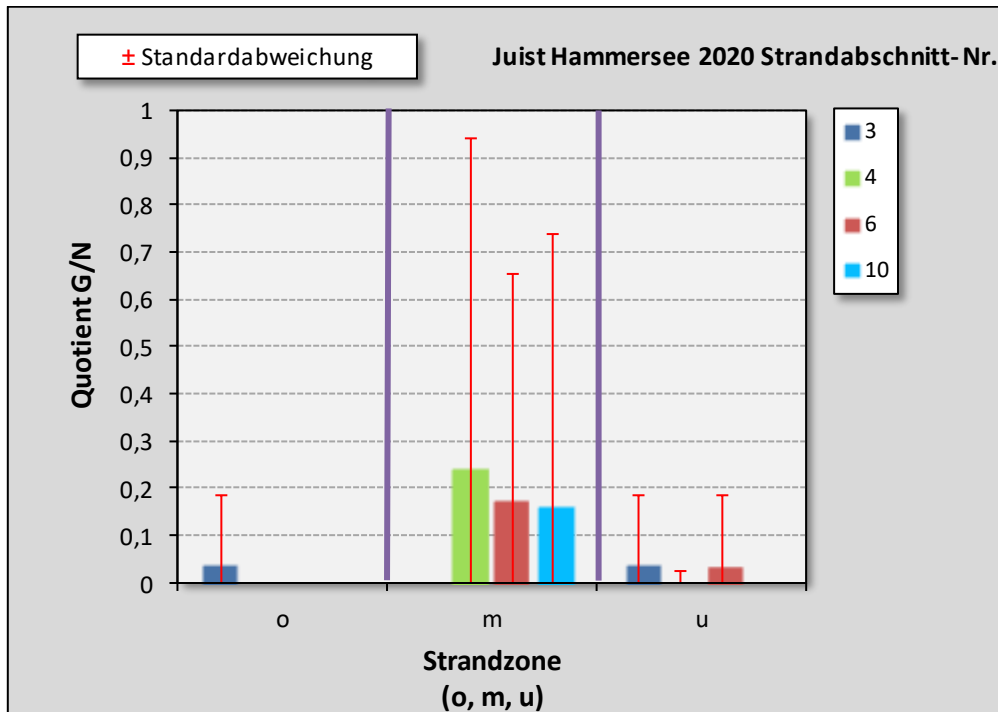
Spülsaummonitoring Nord- und Ostsee -Paraffinmonitoring-Protokoll-		Erfasser:	Datum:
Institution: Strand (1000 m): Kurzbeschreibung der aktuellen Strandsituation mit Skizze der Verteilung von Paraffinfunden in den Zonen am Strand (bei Bedarf Einzelskizze zu jedem Abschnitt auf der Rückseite):		Die Erfassung beeinflussende Faktoren bitte ankreuzen Wind: <input type="checkbox"/> Regen: <input type="checkbox"/> Schnee: <input type="checkbox"/> Eis: <input type="checkbox"/> Nebel: <input type="checkbox"/> Sandsturm: <input type="checkbox"/> Wasserstand: <input type="checkbox"/> Haben andere Faktoren die Ergebnisse beeinflusst?	Bemerkungen: Methodisches Vorgehen bei der Erfassung: Immer mit Einmalhandschuhen arbeiten! <i>Für jeden Strand (1000 m) werden 4 Strandabschnitte je 100m festgelegt, innerhalb derer eine zufällige Auswahl von je 3 Station (10x10 m) für jede Zone (u,m,o) erfolgt. Zusätzlich werden 3 Probenpunkte in Belastungsschwerpunkten (hs) vor Ort ausgewählt (Koordinaten unter Bemerkungen notieren).</i> <i>Jeweils Auslegen eines 1 m² Rahmens innerhalb der 10x10 m Station und Sichtung, ob es bei den Paraffinfunden unterschiedliche Arten (Fraktionen) gibt.</i> <i>Fraktionsweises Absammeln und Zählen aller Funde innerhalb des 1x1 m Rahmens.</i> <i>Ausbreiten der Funde in einer flachen Schale um Sandanhaftungen zu minimieren und Bestimmung der Masse in g pro Fraktion, wobei bei großer Menge die Wiegung mit Federwaage erfolgt (10 g Genauigkeit) und bei kleinen Mengen mit Feinwaage (1 g Genauigkeit)</i> <i>weniger als 1 g = < 1g; kein Fund = 0</i> <i>Gesamtprobe oder bei großen Mengen/Brocken fraktionsweise repräsentative Stücke als Unterprobe für die chemische Analytik in mit Probennummer Ort und Datum versehene Schnappdeckelgläser überführen.</i>
Hat es in den vergangenen 3 Monaten erkennbar neue Paraffinanlandungen gegeben ja: <input type="checkbox"/> nein: <input type="checkbox"/> unbekannt: <input type="checkbox"/>		aktueller Spülsaum erkennbar nein: <input type="checkbox"/> ja: <input type="checkbox"/> ältere Spülsaume erkennbar nein: <input type="checkbox"/> ja: <input type="checkbox"/> Paraffin vorhanden nein: <input type="checkbox"/> ja: <input type="checkbox"/> Belastungsschwerpunkte erkennbar nein: <input type="checkbox"/> ja: <input type="checkbox"/>	Anzahl Spülsaume: <input type="text"/> Unterschiedliche Arten/Fraktionen nein: <input type="checkbox"/> ja: <input type="checkbox"/>
Was ist in der folgenden Tabelle einzutragen?			
Parameter	- Angabe in Tabelle als	Parameter	- Angabe in Tabelle als
Proben Nr.	- Fortlaufende Nr	Station (10x10 Raster)	- Nr.
Abschnitt (100m)	- Festgelegte Nr.	Fraktion (bei unterschiedlichen Paraffinsorten bzw. Unterproben)	- pro Station Nr. fortlaufend
Zone (Strand)	- u = unterer Strand m = mittlerer Strand o = oberer Strand hs = hotspot	Anzahl	- Stückzahl Paraffin
		Menge	- Gewicht in g (pro Fraktion)

Spülsaummonitoring Nord- und Ostsee			Erfassungsstrecke (1000 m) und Erfasser:				Datum:
Proben Nr.	Abschnitt	Zone	Station	Fraktion	Anzahl	Menge [g]	Bemerkung (bei hotspot auch Koordinaten)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							

Anlage 13

zu Kap. 2.6.2.1 Disperse Belastung: Zählrahmen-Erfassung

Variabilität des Quotienten aus Brockengewicht und -anzahl an den Strandabschnitten der verschiedenen Strandzonen am Beispiel Juist Hammersee (Grundlage Quotient aus Gewicht & Anzahl Brocken). Daten: Brockengewicht differenziert nach Jahr, Strandzone und Strandabschnitt (saisonübergreifend gepoolt)



Anlage 14

zu Kap. 2.6.2.1 Disperse Belastung: Zählrahmen-Erfassung

mittleres Gewicht der Brocken für die verschiedenen Strände und Strandzonen (Grundlage Quotient aus Gewicht und Anzahl Brocken) (Strandabschnitt, Saison- und Jahres übergreifend gepoolt)

