

DIN EN 15522-2:2025-07 (D)

Identifizierung von Ölverschmutzungen - Mineralöl und verwandte Produkte - Teil 2: Analytische Methodik und Interpretation der Ergebnisse, basierend auf GC-FID- und GC-MS-Analysen bei niedriger Auflösung; Deutsche Fassung EN 15522-2:2023+A1:2025

Inhalt	Seite
Europäisches Vorwort.....	18
Einleitung	20
1 Anwendungsbereich.....	23
2 Normative Verweisungen	23
3 Ä) Begriffe und Abkürzungen Ä 1).....	24
3.1 Allgemeines.....	24
3.2 Vergleich von Proben.....	26
3.3 Abkürzungen	27
4 Strategie zur Identifizierung der Quellen von Ölverschmutzungen.....	28
4.1 Allgemeines.....	28
4.2 Grundlage für zuverlässige Schlussfolgerungen – Numerische Vergleiche.....	28
5 Allgemeine Laboratoriumsanweisungen.....	30
5.1 Probenahme und Probenvorbereitung.....	30
5.2 GC-FID- und GC-MS-Analyse	30
5.3 Schlussfolgerungen und Berichterstattung	32
6 Probenvorbereitung.....	32
6.1 Allgemeines.....	32
6.2 Visuelle Untersuchung und Beschreibung von Proben.....	32
6.3 Vorbereitung.....	33
6.3.1 Probenlagerung	33
6.3.2 Wasserproben	34
6.3.3 Ölproben von einem Ethylentetrafluorethylen(ETFE)-Netz	35
6.3.4 Dickflüssiges Öl und emulgierte Ölproben	35
6.3.5 Teerklumpen und emulgierte Klumpen	35
6.3.6 Proben von verölten Vögeln, Fischen und anderen Tieren sowie aus der Vegetation	35
6.3.7 Sediment.....	36
6.4 Aufreinigung der Proben	36
6.4.1 Allgemeines.....	36
6.4.2 Entfernung von Partikeln	36
6.4.3 Fällung von Asphaltenen.....	38
6.4.4 Aufreinigung von biogenen Materialien über eine Aluminiumoxid-Säule.....	38
6.4.5 Aufreinigung über eine Silicagel- oder Florisil®-Säule	38
6.5 Empfohlene Injektionskonzentration	39
7 Charakterisierung und Bewertung der Analysedaten.....	40
7.1 Allgemeines.....	40
7.2 Charakterisierung mittels GC-FID — Stufe 1	41
7.2.1 Allgemeines.....	41
7.2.2 Bewertung des Einflusses der Alterung auf den Vergleich von Proben.....	42
7.2.3 Verhältnisse acyclischer Isoprenoide — Stufe 1.2.....	45
7.2.4 Kriterien für Stufe 1.....	46
7.2.5 Schlussfolgerungen für Stufe 1.....	46

7.3	Charakterisierung mittels GC-MS — Stufe 2	46
7.3.1	Allgemeines.....	46
7.3.2	Visuelle Begutachtung und allgemeine Charakterisierung — Stufe 2.1.....	47
7.3.3	Aufbereitung der GC-MS-Ergebnisse — Stufe 2.2.....	47
7.4	Aufbereitung der Ergebnisse unter Anwendung des MS-PW-Plots — Stufe 2.2	48
7.4.1	Allgemeines.....	48
7.4.2	PW-Plot-Berechnungen.....	48
7.4.3	Bewertung der Variabilität der Analyse und Peakintegration.....	49
7.4.4	Bewertung der Alterung	50
7.5	Aufbereitung der Ergebnisse unter Verwendung diagnostischer Verhältnisse — Stufe 2.2	52
7.5.1	Allgemeines.....	52
7.5.2	Berechnung diagnostischer Verhältnisse.....	53
7.5.3	Normative diagnostische Verhältnisse	53
7.5.4	Analysefehler.....	58
7.5.5	Übereinstimmungskriterium für Verhältnisse	59
7.5.6	Kriterien für die Auswahl, den Ausschluss und die Bewertung diagnostischer Verhältnisse	60
7.6	Schlussfolgerungen.....	64
8	Berichterstattung.....	66
8.1	Allgemeines.....	66
8.2	Interne Dokumentation — technischer Bericht.....	66
8.3	Identifizierungsbericht — zusammenfassender Bericht.....	67
9	Qualitätssicherung.....	68
Anhang A (normativ) GC-FID-Analyse.....		69
A.1	Allgemeines.....	69
A.2	Analysestandards für GC-FID-Analysen	69
A.2.1	N-Alkane.....	69
A.2.2	Injektionskonzentration für die GC-FID des Standards.....	70
A.2.3	Lagerung von häufig verwendeten Standardlösungen	70
A.3	Vorgeschlagene gerätetechnische Bedingungen	70
A.4	Maßnahmen zur Verbesserung und Verifizierung der Genauigkeit des Verfahrens — GC- FID	71
A.4.1	Massendiskriminierung.....	71
A.4.2	Säulenauflösung	72
A.4.3	Linearität	74
A.4.4	Mittlere Konzentration.....	75
A.4.5	Varianz.....	75
A.4.6	GC-FID-Sequenz.....	75
Anhang B (normativ) GC-MS-Analyse.....		77
B.1	Allgemeines.....	77
B.2	Analysestandards für GC-MS-Analysen	78
B.2.1	Allgemeines.....	78
B.2.2	Bei jeder Sequenz zu verwendendes Rohöl.....	78
B.2.3	Ölmischung.....	78
B.2.4	Analysestandards für PAK-Homologe	79
B.2.5	FAME.....	79
B.2.6	Lagerung von häufig verwendeten Standardlösungen	79
B.3	Vorgeschlagene gerätetechnische Bedingungen	79
B.3.1	GC-Bedingungen für den Austausch von Analyseergebnissen.....	79
B.3.2	GC-MS-Bedingungen für die Analyse mit vollständiger Abtastung	82
B.3.3	MS-Vorbereitung für die Analyse mit selektiver Ionenregistrierung (SIM)	83
B.4	Maßnahmen zur Verbesserung und Verifizierung der Genauigkeit des GC-MS-Verfahrens	84
B.4.1	Relative Retentionszeit	84
B.4.2	Massendiskriminierung.....	84
B.4.3	Peaksymmetrie und Säulenauflösung.....	84
B.4.4	Muster	85

B.4.5	Linearität.....	85
B.4.6	Mittlere Konzentration.....	85
B.4.7	Varianz.....	86
B.4.8	Probenanalyse mit GC-MS.....	86
Anhang C (informativ) Angaben zur Präzision.....		87
C.1	Allgemeines.....	87
C.2	Präzision des MS-PW-Plots.....	87
C.3	Präzision des Verhältnisvergleichs	88
C.4	Vergleichbarkeit.....	90
C.5	Auswirkung der Art des Verhältnisses auf die RSD.....	91
C.6	Beispiel für die Berechnung von Paar-Verhältnissen in Excel®.....	92
C.7	Berechnung der Verdunstungslinie für den MS-PW-Plot in Excel®	93
Anhang D (normativ) Bewertende Berichterstattung unter Anwendung von Übereinstimmungsfestlegungen oder Wahrscheinlichkeitsverhältnissen.....		95
D.1	Allgemeines.....	95
D.2	Übereinstimmungsfestlegungen	95
D.3	Wahrscheinlichkeitsverhältnisse (LR).....	96
Anhang E (normativ) Liste von mit GC-MS-SIM analysierten Verbindungen und Verbindungsgruppen		98
E.1	Allgemeines.....	98
E.2	Verbindungen.....	99
E.2.1	Allgemeines.....	99
E.2.2	Verbindungsart.....	104
E.3	Normative Verhältnisse und informative Verhältnisse	105
Anhang F (informativ) Chromatogramme und Verhältnisse von mit GC-MS-SIM analysierten Verbindungen und Verbindungsgruppen		109
F.1	Allgemeines.....	109
F.2	Alkane	110
F.3	Cyclohexane und polycyclische Alkane.....	111
F.4	Monoaromatische und polyaromatische Verbindungen.....	116
F.4.1	Alkylbenzole und Alkyltoluole.....	116
F.4.2	PAK, Alkyl-PAK und S-PAK	116
F.4.3	Triaromatische Sterane.....	127
F.5	FAME.....	127
Anhang G (informativ) Allgemeine Zusammensetzung von Ölen — Chemische Gruppen		131
G.1	Allgemeines.....	131
G.2	Kohlenwasserstoffe	132
G.3	Aliphatische Verbindungen.....	132
G.3.1	Allgemeines.....	132
G.3.2	Paraffine.....	132
G.3.3	Naphthene.....	133
G.4	Aromatische Verbindungen	133
G.5	Heteroatomhaltige organische Verbindungen	133
G.5.1	Allgemeines.....	133
G.5.2	Harze	134
G.5.3	Asphaltene	134
Anhang H (informativ) Alterung von auf dem Wasser oder an Land freigesetzten Ölen		135
H.1	Allgemeines.....	135
H.2	Alterungsprozesse	135
H.2.1	Alterung von auf dem Wasser freigesetzten Ölen.....	135
H.2.2	Alterung von auf dem Wasser schwimmenden Ölen, die an Land gestrandet sind, oder von Ölverschmutzungen an Land.....	137
H.2.3	Vermischen und Verunreinigung.....	137
H.2.4	Dispersion.....	138
H.2.5	In-situ-Verbrennung	140

H.3	Bewertung der Alterungsprozesse	141
H.3.1	Verdunstung	141
H.3.2	Lösung.....	144
H.3.3	Photooxidation.....	146
H.3.4	Biologischer Abbau.....	152
H.3.5	Umverteilung von Wachsen.....	155
H.3.6	Vermischen	160
H.3.7	Verunreinigung.....	162
H.3.8	In-situ-Verbrennung	163
Anhang I (informativ) Charakteristische Merkmale von verschiedenen Ölarnten bei der		
	Identifizierung von Ölverschmutzungen.....	165
I.1	Allgemeines.....	165
I.2	Rohöl	165
I.2.1	Allgemeines.....	165
I.2.2	Analyse	166
I.3	Destillatreibstoff (Gasöl, Dieselkraftstoff, Kraftstoff Nr. 2, biogene Brennstoffe, GTL).....	172
I.3.1	Allgemeines.....	172
I.3.2	Analyse, GC-Screening	173
I.3.3	GC-MS-Analyse.....	175
I.3.4	Biogene Brennstoffe.....	178
I.3.5	Erzeugnisse aus GTL-Prozessen	180
I.4	Schmieröl.....	181
I.4.1	Allgemeines.....	181
I.4.2	Analyse	182
I.5	Schweröl (HFO, Bunkeröl C, Kraftstoff Nr. 6) und schwefelarmes Schweröl	186
I.5.1	Allgemeines.....	186
I.5.2	Analyse	188
I.6	Ölrückstände (Bilgenöl, Schlamm, Schmutzwasser)	196
I.6.1	Allgemeines.....	196
I.6.2	Analyse	197
I.7	Schlussfolgerung	201
Anhang J (informativ) Beispiel für eine externe Dokumentation — Identifizierungsbericht über		
	einen Ölverschmutzungsfall	203
J.1	Allgemeines.....	203
J.2	Angaben zur Probe	203
J.3	Analytisches Verfahren	203
J.3.1	Verfahren.....	203
J.3.2	Verdünnung/Extraktion	203
J.3.3	Analysen.....	203
J.4	Ergebnisse	203
J.5	Auswertung.....	204
J.5.1	Allgemeines.....	204
J.5.2	Übereinstimmung	204
J.5.3	Wahrscheinliche Übereinstimmung	204
J.5.4	Nicht eindeutig.....	204
J.5.5	Nicht-Übereinstimmung	204
J.6	Schlussfolgerungen.....	205
Anhang K (informativ) Beispiel für eine interne Dokumentation — Technischer Bericht über		
	einen Ölverschmutzungsfall	206
K.1	Allgemeines.....	206
K.2	Angaben zur Probe	206
K.2.1	Proben.....	206
K.2.2	Kontaktdaten.....	206
K.2.3	Auftrag.....	207
K.2.4	Fotografie(n) der Proben.....	207
K.3	Probenvorbereitung und -analysen	207

K.4	Qualitätssicherung.....	210
K.5	GC-FID-Ergebnisse — Stufe 1	211
K.5.1	GC-FID-Chromatogramme — Stufe 1.1	211
K.5.2	GC-FID, numerische Vergleiche — Stufe 1.2	213
K.5.3	GC-FID, Schlussfolgerungen	219
K.6	GC-MS-Ergebnisse — Stufe 2	219
K.6.1	Allgemeines	219
K.6.2	GC-MS-Chromatogramme — Stufe 2.1	219
K.6.3	GC-MS, numerische Vergleiche — Stufe 2.2.....	221
K.6.4	Visuelle Begutachtung	228
K.6.5	Übergreifende Schlussfolgerungen	229
	Literaturhinweise	230

Bilder

Bild 1	— Protokoll/Entscheidungsschema für die Identifizierung von Ölverschmutzungen	31
Bild 2	— Analyseergebnisse aus einer Untersuchung, die sich mit Dieselkraftstoff/Biodiesel befasst. Das Chromatogramm der Probe des Oberflächenwassers zeigt einen allmählichen Verlust leichterer Verbindungen.....	44
Bild 3	— MS-PW-Plot von Doppelinjektionen eines Rohöls der Sorte Brent.....	49
Bild 4	— MS-PW-Plot, der die Auswirkung der Alterung auf eine Verschmutzungsprobe im Verhältnis zur Probe ihrer Quelle aufzeigt	51
Bild 5	— Protokoll/Entscheidungsschema für die Bewertung von diagnostischen Verhältnissen	61
Bild 6	— Berechnung des Signal-Rausch-Verhältnisses	62
Bild 7	— Beispiel für kombinierte Analyseergebnisse beim Vergleich von zwei Verschmutzungsproben mit einem Öl von der Quelle. Ergebnisse beruhen auf dem in Anhang J und Anhang K erörterten Fall.....	65
Bild A.1	— GC-FID-Chromatogramm einer n-Alkan-Standardmischung mit einer Konzentration von jeweils 5 mg/l	72
Bild A.2	— Teile von GC-FID-Chromatogrammen einer n-Alkan-Standardmischung mit einer Konzentration von jeweils 5 mg/l.....	73
Bild A.3	— Berechnung der Auflösung für n-C17 und Pristan	74
Bild C.1	— Kumulierte Standardabweichung von MS-PW-Plots, normiert auf T-M-Phe bzw. Hopan	87
Bild C.2	— Beispiel in Excel® für die Berechnung der RSD von Paar-Verhältnissen.....	92
Bild C.3	— Verdunstungslinie auf der Grundlage von $L_{rt} = 10$, $H_{rt} = 20$, $L \% = 0$ und $H \% = 100$	94
Bild E.1	— In Tabelle E.2 aufgeführte Verbindungen, sortiert nach Verbindungsart und Retentionszeit. Die in einem normativen Verhältnis verwendeten Verbindungen sind mit x gekennzeichnet.....	105
Bild F.1	— n-Alkane und verzweigte Alkane	110
Bild F.2	— n-Alkylcyclohexane	111

Bild F.3 — Decaline	112
Bild F.4 — Adamantane, Cx 11 bis 13	113
Bild F.5 — Diamantane, Cx 15 bis 16	113
Bild F.6 — Bicyclische Sesquiterpane, Cx 13 bis 16	114
Bild F.7 — Sterane und Diasterane, Cx 27 bis 31	114
Bild F.8 — Tricyclische Terpene, Cx 21 bis 25, und Hopane, Cx 29 bis 36	116
Bild F.9 — Alkylbenzole (oben) und Alkyltoluole (unten)	116
Bild F.10 — Benzothiophene	117
Bild F.11 — Tetralin und 2-Methyltetralin	117
Bild F.12 — Octahydroanthracen und Octahydrophenanthren, Cx 17 bis 18	118
Bild F.13 — Naphthaline	119
Bild F.14 — Biphenyl, Acenaphthylen, Acenaphthen und Dibenzofuran	120
Bild F.15 — Fluorene	121
Bild F.16 — Anthracene und Phenanthrene	122
Bild F.17 — C3-Phenanthrene	122
Bild F.18 — C4-Phenanthrene mit Reten und BNT Cx 22 bis 25	123
Bild F.19 — Dibenzothiophene	124
Bild F.20 — Fluoranthene/Pyrene	125
Bild F.21 — Benz(a)anthracen und Chrysene	126
Bild F.22 — Höhere aromatische Verbindungen Cx 28 bis 32	126
Bild F.23 — Triaromatische Sterane Cx 24 bis 33	127
Bild F.24 — Mit GC-FID und GC-MS analysierte FAME	128
Bild F.25 — GC-MS-Analyse mit vollständiger Abtastung eines Dieselkraftstoffs mit Biodiesel	129
Bild F.26 — Extraktionseffizienz der FAME mit DCM für eine Florisil®-Aufreinigungssäule	130
Bild G.1 — GC-FID-Chromatogramm eines russischen Rohöls	131
Bild G.2 — Die chemische Zusammensetzung von Ölen. Einteilung in chemische Gruppen	132
Bild H.1 — Natürliche Alterungsprozesse von Öl auf See (Daling et al., 1990) [91]	136
Bild H.2 — Relative Bedeutung von Alterungsprozesse von Öl auf See im Zeitverlauf (übernommen von Mackay et al., 1983) [92]	136

Bild H.3 — Natürliche Alterungsprozesse von auf dem Wasser schwimmendem Öl, das Land erreicht hat, und von Ölverschmutzungen an Land	137
Bild H.4 — Chemische Dispersion, angewendet durch Sprühen eines Dispergiermittels mit einer Reihe von Düsen auf eine Verschmutzung	139
Bild H.5 — Auswirkung von chemischer Dispersion auf eine dünne Schicht aus Rohöl auf dem Wasser	139
Bild H.6 — Unmittelbar nach dem Aufbringen des Dispergiermittels entnommenes Öl	140
Bild H.7 — Verbrennung von Öl, das innerhalb einer Ölsperre gesammelt ist, auf dem Wasser	141
Bild H.8 — Beispiel für den verdunstungsbedingten Verlust von auf See freigesetzten Ölen. Alterungsvorgänge im Laboratorium im Vergleich zu Feldbeobachtungen (Haltenbanken, Feldversuch, 1989)	142
Bild H.9 — MS-PW-Plot, normiert auf Hopan, der die Auswirkung der Verdunstung darstellt	143
Bild H.10 — Die Abreicherung von wasserlöslichen Komponenten aus Öltröpfchen aus Unterwasser-Freisetzungen	145
Bild H.11 — Auswirkung der Sonneneinstrahlung auf C1-Fluoranthene/Pyrene (Cx 22 bis 24, m/z 216)	147
Bild H.12 — MS-PW-Plot, der die Auswirkung von 3 h Sonnenlicht im Winter aufzeigt	147
Bild H.13 — GC-FID-Ergebnisse des Versuchs zur Photooxidation nach einer Einwirkung von 3 h	148
Bild H.14 — GC-MS-Ergebnisse des Versuchs zur Photooxidation für 1 h (A) und 3 h (B) im Freien und für 7 h (C) hinter einer doppelt verglasten Fensterscheibe	151
Bild H.15 — Auswirkung der Sonneneinstrahlung auf C1-Fluoranthene/Pyrene (m/z 216) in Rohöl	151
Bild H.16 — MS-PW-Plot von HFO, das drei Monate Sonnenlicht und Meerwasser ausgesetzt war	152
Bild H.17 — Als MS-PW-Plot dargestellter biologischer Abbau von Dieselkraftstoff/Biodiesel im Boden nach 48 h, 720 h und 1 296 h	155
Bild H.18 — Beispiel für einen angenommenen Mechanismus zur Umverteilung von Wachsenkomponenten	155
Bild H.19 — Beispiel für eine Umverteilung der chemischen Zusammensetzung (Wachsenanreicherung/-abreicherung) von auf See freigesetztem Öl	156
Bild H.20 — Frisches Öl auf See im Vergleich zu gealtertem Öl auf See	157
Bild H.21 — MS-PW-Plot, in dem die Verschmutzungsprobe von der Boje aus dem RR-2016 bezogen auf eine Probe der experimentellen Ölverschmutzung verglichen wird	157
Bild H.22 — GC-FID-Chromatogramme der Quelle und der Verschmutzung aus dem RR-2016	158
Bild H.23 — In Teerklumpen, die nach einer Freisetzung von HFO in Meerwasser von etwa 25 °C am Strand gefunden wurden, festgestellte Wachsenabreicherung (B) und Wachsenanreicherung (C)	159

Bild H.24 — MS-PW-Plots und Verhältnisdiagramm des Vergleichs von drei Dieselkraftstoffmischungen.....	161
Bild H.25 — Vergleich der Rückstände einer In-situ-Verbrennung von ULSFO mit der Quelle	164
Bild I.1 — GC-FID-Chromatogramm von Rohöl mit Retentionszeitintervallen von relevanten Verbindungsgruppen	166
Bild I.2 — GC-FID-Chromatogramme von zwei Proben aus massiver Ölverschmutzung an den deutschen und niederländischen Stränden (oben) und möglichen Quellen (unten).....	167
Bild I.3 — GC-FID-Chromatogramme von vier venezolanischen Rohölen, die die allgemeine Schwankungsbreite von Rohölen auf n-Paraffinbasis (oben links) bis zu Rohölen auf Naphthenbasis (unten rechts) darstellen.....	168
Bild I.4 — Overlay der Hopane (m/z 191) von Rohöl von Oseberg C und Oseberg S (unten), subtrahierte Ionenchromatogramme (oben); 25-Norhopan ist gekennzeichnet.....	168
Bild I.5 — Overlay der Hopane (m/z 191) von Rohöl von Oseberg C und Rohöl Arabian heavy (unten), subtrahierte Ionenchromatogramme (oben); 25-Norhopan ist gekennzeichnet... 169	169
Bild I.6 — Beispiele für komplexere Hopan-Cluster.....	169
Bild I.7 — Hopane (m/z 191) von 4 nigerianischen Rohölen (Forcados, Oso, Odudu, Bonny Light), die verhältnismäßig hohe Konzentrationen von Oleanan aufweisen	170
Bild I.8 — Gaschromatogramme von vier nigerianischen Rohölen.....	170
Bild I.9 — Hopane (m/z 191) von Rohöl aus Angola, Cabinda und Nemba (oben), Kongo, Djeno, und Gabun, Mandji, (unten)	171
Bild I.10 — Gaschromatogramm von Dieselkraftstoff für Schiffe mit Retentionsintervallen von relevanten Verbindungsgruppen	173
Bild I.11 — Gaschromatogramm eines typischen Destillatreibstoffes für Schiffe. Die Einhüllende der n-Alkane und der UCM, von n-C17, Pristan, n-C18, Phytan und n-C25 sind dargestellt.....	174
Bild I.12 — Gaschromatogramme von Leichtölproben, die Unterschiede in den in Bild I.11 angeführten Parametern aufweisen (Pristan und Phytan liegen zwischen 5 min und 5,5 min).....	174
Bild I.13 — Gaschromatogramme eines stark gealterten Destillatreibstoffes (Verschmutzungsprobe, oben) und des ursprünglichen Erzeugnisses (unten)	175
Bild I.14 — Verschmutzungsproben von verschiedenen Leichtölverschmutzungen, die unterschiedliche Grade der Alterung aufweisen.....	176
Bild I.15 — Gaschromatogramm von einem schwedischen Kraftstoff für Fahrzeuge.....	176
Bild I.16 — Ionenchromatogramme von m/z 216 von zwei verschiedenen Proben und Peakidentifizierung	177
Bild I.17 — Vergleich von Ionenchromatogrammen von m/z 234 (oben) und m/z 240 eines frischen (links) und eines stark gealterten Destillatreibstoffes	178
Bild I.18 — Gaschromatogramme von Verbindungen, die in gegenwärtigen Kraftstoffen für Landfahrzeuge vorkommen.....	179

Bild I.19 — GC-FID-Chromatogramme A: GTL-Dieselmotortreibstoff, B: Paraffin auf GTL-Basis, C: Paraffin auf Rohölbasis.....	180
Bild I.20 — Gaschromatogramm von Schmieröl mit Retentionsintervallen von relevanten Verbindungsgruppen	181
Bild I.21 — Flussdiagramme für Lösemittelraffination und Hydrocracking	182
Bild I.22 — Gaschromatogramme von verschiedenen Schmierölen	183
Bild I.23 — Hopane (m/z 191) von verschiedenen Schmierölen	183
Bild I.24 — Sterane (m/z 217) von verschiedenen Schmierölen	184
Bild I.25 — Ionenchromatogramme von m/z 231 von typischem Schmieröl im Vergleich zu einem typischen Rohöl (Rohöl von Oseberg) unten.....	185
Bild I.26 — Ionenchromatogramme von m/z 231 von Schmierölen.....	185
Bild I.27 — GC-FID-Chromatogramme	187
Bild I.28 — Beispiel-GC-FID-Chromatogramme	189
Bild I.29 — GC-FID-Chromatogramme von verschiedenen HFO	190
Bild I.30 — GC-FID-Chromatogramme von HFO-Proben, die unterschiedliche Mengen an aromatischen Verbindungen aus Spaltprozessen enthalten.....	190
Bild I.31 — GC-FID-Chromatogramme von IFO380 (oben links), IFO180 (oben rechts) und zwei IFO30-Bunkerölen (unten).....	191
Bild I.32 — Ionenchromatogramme von m/z 192 (C1-Phenanthrene, M-Anthracen) von HFO.....	191
Bild I.33 — Ionenchromatogramme von m/z 234 (C4-Phenanthrene, Benzonaphthothiophene) von HFO.....	192
Bild I.34 — Ionenchromatogramme von m/z 192 (C1-Phenanthrene, M-Anthracen) von HFO.....	192
Bild I.35 — Ionenchromatogramme von m/z 234 (C4-Phenanthrene, Benzonaphthothiophene) von HFO.....	193
Bild I.36 — GC-FID- und Ionenchromatogramme von m/z 192 und m/z 234 von zwei verschiedenen HFO	194
Bild I.37 — Ionenchromatogramme von m/z 191 und m/z 217 von zwei verschiedenen HFO	194
Bild I.38 — GC-FID- und Ionenchromatogramme von m/z 191, m/z 217, m/z 192 und m/z 234 eines russischen Rohöls (linke Seite) und eines HFO (rechte Seite).....	195
Bild I.39 — GC-FID-Chromatogramme von Bilgenproben, die von acht Fischereifahrzeugen in Verbindung mit einem Ölverschmutzungsfall in einem Fischereihafen entnommen wurden	197
Bild I.40 — GC-FID-Chromatogramme eines typischen Destillattreibstoffes (oben, in grün) und eines typischen Schweröls (unten, in grün), dargestellt zusammen mit den GC-FID-Chromatogrammen von 3 verschiedenen Schmierölen (in blau, rot und schwarz)	198
Bild I.41 — Ionenchromatogramme von m/z 191 (obere 4) und m/z 231 (untere 4)	199

Bild I.42 — GC-FID-Chromatogramme einer Verschmutzungsprobe (oben) und der entsprechenden Bilgenprobe (unten)	200
Bild I.43 — Hopane (m/z 191) und Sterane (m/z 217) einer Verschmutzungsprobe (obere Chromatogramme) im Vergleich zu einer Bilgenprobe von dem mutmaßlichen Verursacher der Verschmutzung	200
Bild I.44 — Gaschromatogramme von HFO-Proben von zwei verschiedenen Schiffen (oben) und von aus diesen Schiffen entnommenen Schlammproben (unten)	201
Bild I.45 — Ionenchromatogramme von m/z 231 der Bunker- und Schlammproben von Bild I.41 ..	201
Bild K.1 — Eingegangene Probengefäße	207
Bild K.2 — GC-FID-Chromatogramme der vier analysierten Proben	212
Bild K.3 — Overlay der Proben Bilge, Hauptmaschinenraum (punktierte Linie) mit Wasser 1	213
Bild K.4 — GC-PW-Plots der Duplikate, normiert auf den Mittelwert von n-C20 bis n-C24	214
Bild K.5 — Vergleiche von Isoprenoidverhältnissen zwischen den Duplikaten	215
Bild K.6 — GC-PW-Plot-Vergleiche, auf der Grundlage der mittleren Integrationswerte der Duplikate	215
Bild K.7 — GC-PW-Plot- und Verhältnis-Vergleiche	217
Bild K.8 — GC-PW-Plot-Vergleiche Wasser — Bilge, vorderer Maschinenraum	218
Bild K.9 — Ionenchromatogramme der Proben Bilge, Hauptmaschinenraum (m/z 191 und m/z 231) und Bilge, vorderer Maschinenraum (m/z 191)	220
Bild K.10 — Das Vorhandensein von FAME (m/z 74) in den vier Proben	221
Bild K.11 — MS-PW-Plots und Verhältnisdiagramme	222
Bild K.12 — Vergleich der Duplikate von FAME C20:1 und FAME C20:0 der Probe Bilge, Hauptmaschinenraum	223
Bild K.13 — MS-PW-Plots und Verhältnisdiagramme des Vergleichs von Wasser 2 bezüglich der Quelle Bilge, vorderer Maschinenraum	224
Bild K.14 — MS-PW-Plots der kombinierten Ergebnisse von Duplikaten der Proben Wasser 2 und Bilge, Hauptmaschinenraum	225
Bild K.15 — Gestörtes Muster von C1-Chrysenen der Probe Bilge, Hauptmaschinenraum und der Wasserproben bezüglich Rohöl	226
Bild K.16 — MS-PW-Plots der kombinierten Ergebnisse von Duplikaten der Proben Wasser 1 und Bilge, Hauptmaschinenraum	227
Bild K.17 — Verhältnisdiagramme der kombinierten Duplikate der beiden Wasserproben und der Probe von der Quelle Bilge, Hauptmaschinenraum	228

Tabellen

Tabelle 1 — Aufreinigungsmethode in Abhängigkeit zum äußeren Erscheinungsbild der Probe/des Extrakts	37
Tabelle 2 — Empfohlene Injektionskonzentrationen für verschiedene Ölarten	40
Tabelle 3 — Berechnung der Datenpunkte für den MS-PW-Plot. Beeinflussung des Fehlerbereichs durch Wahl einer der Proben als Referenz für die andere	50
Tabelle 4 — NR für Kondensat sowie leichte und mittelschwere Brennstoffe	54
Tabelle 5 — Normative DR für Schweröle und Rohöl	55
Tabelle 6 — Beispiel für einen Verhältnisvergleich auf der Grundlage der Wiederholgrenze	59
Tabelle A.1 — Zusammensetzung des zu Beginn und am Ende jeder Sequenz analysierten n-Alkan- und Isoprenoidstandards	70
Tabelle B.1 — Auswirkung der Änderung der Anfangszeit und/oder der Temperaturrate des Ofenprogramms	80
Tabelle B.2 — Empfohlene SIM-Bereiche	83
Tabelle C.1 — Ergebnisse von Doppelbestimmungen von RR-2017	88
Tabelle C.2 — Auswertung der durchschnittlichen Verhältniswerte von Doppelmessungen von 20 Laboratorien für Quelle B aus RR-2017	90
Tabelle C.3 — Auswirkung der Art des Verhältnisses auf die RSD der Verhältnisse	91
Tabelle C.4 — Excel®-Tabellen-Werte und -Berechnungen für die Verdunstungslinie	93
Tabelle D.1 — Beispiel für eine Skala von Schlussfolgerungen unter Verwendung von LR	97
Tabelle E.1 — Abkürzungen von Verbindungen (Verbindungsgruppen)	98
Tabelle E.2 — Verbindungen und Verbindungsgruppen, die für die normativen Verhältnisse (Bezeichnung fett gedruckt) und die informativen Verhältnisse verwendet werden	99
Tabelle E.3 — In Anhang E verwendete Codes für die Verbindungsart	104
Tabelle E.4 — Normative Verhältnisse	106
Tabelle E.5 — Informative Verhältnisse	107
Tabelle G.1 — Siedepunkte von n-Alkanen (auf der Grundlage von ISO 3924:2019)	133
Tabelle H.1 — Verdünnungsprüfung: Verbleibender prozentualer Anteil nach einem Monat	146
Tabelle H.2 — Alkyltoluole, verbliebener prozentualer Anteil nach 456 h im Vergleich zu 1 h	153
Tabelle I.1 — Obergrenzen des Gesamtschwefelgehalts von Kraftstoffen	171
Tabelle K.1 — Sequenz GC-FID F91203	208
Tabelle K.2 — Sequenz GC-FID und GC-MS FE91204	209
Tabelle K.3 — Überprüfung der Durchführung der FID-Sequenz	210

Tabelle K.4 — Überprüfung der Durchführung der GC-MS-Sequenz	211
Tabelle K.5 — Mittelwert und Standardabweichung der Datenpunkte der GC-PW-Plots der Duplikate.....	214
Tabelle K.6 — Mittelwert und Standardabweichung der gemittelten Datenpunkte der GC-PW-Plots zwischen den beiden Proben von der Quelle und zwischen den beiden Verschmutzungsproben	216
Tabelle K.7 — Mittelwert und Standardabweichung der gemittelten Datenpunkte der GC-PW-Plots zwischen den beiden Verschmutzungsproben und der Quelle Bilge, Hauptmaschinenraum	217
Tabelle K.8 — Mittelwert und Standardabweichung der gemittelten Datenpunkte der GC-PW-Plots zwischen den beiden Verschmutzungsproben und der Quelle Bilge, vorderer Maschinenraum	218
Tabelle K.9 — Paar-Verhältnis auf der Grundlage der Standardabweichung der relativen Differenzen zwischen den Verhältnissen der Probe Bilge, Hauptmaschinenraum	223