

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 |