

# 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 <b>Ä</b> ) Begriffe und Abkürzungen <b>Ä</b> 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
<b>Anhang C (informativ) Angaben zur Präzision.....</b>		<b>87</b>
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
<b>Anhang D (normativ) Bewertende Berichterstattung unter Anwendung von Übereinstimmungsfestlegungen oder Wahrscheinlichkeitsverhältnissen.....</b>		<b>95</b>
D.1	Allgemeines.....	95
D.2	Übereinstimmungsfestlegungen .....	95
D.3	Wahrscheinlichkeitsverhältnisse (LR).....	96
<b>Anhang E (normativ) Liste von mit GC-MS-SIM analysierten Verbindungen und Verbindungsgruppen .....</b>		<b>98</b>
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
<b>Anhang F (informativ) Chromatogramme und Verhältnisse von mit GC-MS-SIM analysierten Verbindungen und Verbindungsgruppen .....</b>		<b>109</b>
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
<b>Anhang G (informativ) Allgemeine Zusammensetzung von Ölen — Chemische Gruppen .....</b>		<b>131</b>
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
<b>Anhang H (informativ) Alterung von auf dem Wasser oder an Land freigesetzten Ölen .....</b>		<b>135</b>
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
<b>Anhang I (informativ) Charakteristische Merkmale von verschiedenen Ölarnten bei der</b>		
	<b>Identifizierung von Ölverschmutzungen.....</b>	<b>165</b>
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
<b>Anhang J (informativ) Beispiel für eine externe Dokumentation — Identifizierungsbericht über</b>		
	<b>einen Ölverschmutzungsfall .....</b>	<b>203</b>
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
<b>Anhang K (informativ) Beispiel für eine interne Dokumentation — Technischer Bericht über</b>		
	<b>einen Ölverschmutzungsfall .....</b>	<b>206</b>
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

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

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

<b>Bild H.24 — MS-PW-Plots und Verhältnisdiagramm des Vergleichs von drei Dieselkraftstoffmischungen.....</b>	<b>161</b>
<b>Bild H.25 — Vergleich der Rückstände einer In-situ-Verbrennung von ULSFO mit der Quelle .....</b>	<b>164</b>
<b>Bild I.1 — GC-FID-Chromatogramm von Rohöl mit Retentionszeitintervallen von relevanten Verbindungsgruppen .....</b>	<b>166</b>
<b>Bild I.2 — GC-FID-Chromatogramme von zwei Proben aus massiver Ölverschmutzung an den deutschen und niederländischen Stränden (oben) und möglichen Quellen (unten).....</b>	<b>167</b>
<b>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.....</b>	<b>168</b>
<b>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.....</b>	<b>168</b>
<b>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</b>	<b>169</b>
<b>Bild I.6 — Beispiele für komplexere Hopan-Cluster.....</b>	<b>169</b>
<b>Bild I.7 — Hopane (m/z 191) von 4 nigerianischen Rohölen (Forcados, Oso, Odudu, Bonny Light), die verhältnismäßig hohe Konzentrationen von Oleanan aufweisen .....</b>	<b>170</b>
<b>Bild I.8 — Gaschromatogramme von vier nigerianischen Rohölen.....</b>	<b>170</b>
<b>Bild I.9 — Hopane (m/z 191) von Rohöl aus Angola, Cabinda und Nemba (oben), Kongo, Djeno, und Gabun, Mandji, (unten) .....</b>	<b>171</b>
<b>Bild I.10 — Gaschromatogramm von Dieselkraftstoff für Schiffe mit Retentionsintervallen von relevanten Verbindungsgruppen .....</b>	<b>173</b>
<b>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.....</b>	<b>174</b>
<b>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).....</b>	<b>174</b>
<b>Bild I.13 — Gaschromatogramme eines stark gealterten Destillatreibstoffes (Verschmutzungsprobe, oben) und des ursprünglichen Erzeugnisses (unten) .....</b>	<b>175</b>
<b>Bild I.14 — Verschmutzungsproben von verschiedenen Leichtölverschmutzungen, die unterschiedliche Grade der Alterung aufweisen.....</b>	<b>176</b>
<b>Bild I.15 — Gaschromatogramm von einem schwedischen Kraftstoff für Fahrzeuge.....</b>	<b>176</b>
<b>Bild I.16 — Ionenchromatogramme von m/z 216 von zwei verschiedenen Proben und Peakidentifizierung .....</b>	<b>177</b>
<b>Bild I.17 — Vergleich von Ionenchromatogrammen von m/z 234 (oben) und m/z 240 eines frischen (links) und eines stark gealterten Destillatreibstoffes .....</b>	<b>178</b>
<b>Bild I.18 — Gaschromatogramme von Verbindungen, die in gegenwärtigen Kraftstoffen für Landfahrzeuge vorkommen.....</b>	<b>179</b>

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

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

## **Tabellen**

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

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