



Kevin Schaper (Autor)

# **Entwicklung von Multikomponentenblends für Dieselmotoren mit hohem regenerativen Anteil bei Verwendung von 1-Alkoholen und Tributylcitrat nach Maßgabe der Dieselmotorenstoffnorm DIN EN 590**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7496>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>



# Inhalt

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>Kurzfassung</b> .....  | <b>14</b> |
| <b>2</b>   | <b>Motivation</b> .....   | <b>14</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Exposition 2015</b> .....  | <b>14</b> |
| <b>3</b>   | <b>Zielsetzung</b> .....  | <b>23</b> |
| <b>4</b>   | <b>Dieselmotortreibstoffforschung: Theorie, Material und Methoden</b> ..... | <b>24</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Kraftstoffanalytik</b> .....   | <b>24</b> |
| 4.1.1      | Mischbarkeit und COSMO.....   | 26        |
| 4.1.2      | Dichte und kinematische Viskosität .....                                    | 27        |
| 4.1.3      | Kältestabilität (CFPP-Wert, Cloudpoint und Kältewechseltest) .....          | 28        |
| 4.1.4      | Wassergehalt, Wasserlöslichkeit und Wasseraufnahmeverhalten.....            | 29        |
| 4.1.5      | Siedeverhalten (atmosphärisch und SimDist) .....                            | 29        |
| 4.1.6      | Flammpunkt .....  | 31        |
| 4.1.7      | Dampfdruckverhalten .....   | 31        |
| 4.1.8      | Zündwilligkeit: Cetanzahl und Cetanindex .....                              | 32        |
| 4.1.9      | Zündtemperatur .....  | 34        |
| 4.1.10     | Materialtest (Kunststoff) .....   | 34        |
| 4.1.11     | Sonstige Parameter gemäß DIN EN 590 .....                                   | 35        |
| <b>4.2</b> | <b>Kraftstoffkomponenten</b> .....  | <b>37</b> |
| 4.2.1      | Dieselmotortreibstoff (fossil) .....  | 38        |
| 4.2.2      | Additive .....  | 40        |
| 4.2.3      | Fettsäuremethylester (FAME) .....   | 41        |
| 4.2.4      | HVO .....   | 45        |
| 4.2.5      | Fischer-Tropsch-Kraftstoffe (XtL).....                                      | 46        |
| 4.2.6      | Alkohole und n-Alkane (Literaturstudie) .....                               | 49        |
| 4.2.7      | Citratester: Triethylcitrat und Tributylcitrat .....                        | 60        |
| <b>4.3</b> | <b>Kraftstoffalterung (spezielle Kraftstoffanalytik)</b> .....              | <b>63</b> |
| 4.3.1      | Alterung ungesättigter Fettsäuremethylester (Literaturstudie) .....         | 64        |
| 4.3.2      | Parameter und Verfahren mit Bezug zur Oxidationsstabilität .....            | 78        |
| 4.3.3      | Alterung im Einspritzprüfstand (Methodenentwicklung) .....                  | 79        |



|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 4.3.4      | Alterung im Batch-Reaktor (Methodenentwicklung).....                                 | 82         |
| 4.3.5      | Nachweis der Alterung mit UV/Vis-Spektroskopie (Methodenentwicklung) ...             | 85         |
| 4.3.6      | Präzipitat-Test (optisch und spektroskopisch) .....                                  | 86         |
| 4.3.7      | Präzipitat-Test (gravimetrisch) (Methodenentwicklung) .....                          | 87         |
| 4.3.8      | Lagerstabilität (UV) .....   | 88         |
| <b>4.4</b> | <b>Motoren und Betrieb .....</b>   | <b>88</b>  |
| 4.4.1      | Dieselmotorische Verbrennung.....  | 88         |
| 4.4.2      | Farymann-Einzyliermotor (Farymann 18 W) .....  | 89         |
| 4.4.3      | Euro III (Daimler OM 906 LA).....  | 91         |
| 4.4.4      | Euro IV (Daimler OM 904 LA) .....  | 92         |
| <b>4.5</b> | <b>Emissionsanalytik .....</b>   | <b>94</b>  |
| 4.5.1      | Kohlenstoffmonoxid (CO) .....  | 97         |
| 4.5.2      | Stickoxide (NO <sub>x</sub> ) .....  | 97         |
| 4.5.3      | Kohlenwasserstoffe (HC).....   | 99         |
| 4.5.4      | Partikel- und Teilchenmasse (PM/TM).....   | 100        |
| 4.5.5      | Partikelgrößenverteilung .....   | 103        |
| 4.5.6      | Ammoniakschlupf (NH <sub>3</sub> ) .....   | 104        |
| 4.5.7      | Carbonyle (Aldehyde und Ketone) .....  | 105        |
| 4.5.8      | Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK).....                              | 106        |
| 4.5.9      | Mutagenität (Bakterieller Rückmutationstest, Ames-Test).....                         | 110        |
| <b>5</b>   | <b>Ergebnisse und Diskussion.....</b>  | <b>113</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Einleitung.....</b>   | <b>113</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Kraftstoffanalytik .....</b>  | <b>115</b> |
| 5.2.1      | Mischbarkeit.....  | 117        |
| 5.2.1.1    | <i>Citratester: Triethylcitrat (TEC) und Tributylcitrat (TBC).....</i>               | <i>117</i> |
| 5.2.1.2    | <i>Langkettige Fettalkohole: 1-Dodecanol, Cetyl-, Stearyl- und Oleylalkohol.....</i> | <i>117</i> |
| 5.2.1.3    | <i>Zusammenfassung.....</i>  | <i>119</i> |
| 5.2.2      | Kältefestigkeit (CFPP-Wert, Cloudpoint, Kältewechseltest).....                       | 119        |
| 5.2.2.1    | <i>Langkettige Fettalkohole in binären Blends (Tieftemperaturlagerung).....</i>      | <i>119</i> |
| 5.2.2.2    | <i>Alkohole und Alkane in ternären Blends (CFPP-Wert) .....</i>                      | <i>121</i> |
| 5.2.2.3    | <i>Fließverbesserer in RME und binären Blends bei Kältewechsel .....</i>             | <i>124</i> |



|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 5.2.2.4    | Zusammenfassung.....  | 127        |
| 5.2.3      | Wasseraufnahmeverhalten .....   | 127        |
| 5.2.3.1    | FAME-Kraftstoffe und binäre Blends.....                                   | 128        |
| 5.2.3.2    | Alkohole und Alkane in ternären Blends .....                              | 130        |
| 5.2.3.3    | Zusammenfassung.....  | 132        |
| 5.2.4      | Siedeverhalten (atmosphärische Destillation) .....                        | 132        |
| 5.2.4.1    | FAME-Kraftstoffe .....  | 133        |
| 5.2.4.2    | Einfluss von RME und Alkoholen auf den Siedeverlauf .....                 | 134        |
| 5.2.4.3    | Zusammenfassung.....  | 136        |
| 5.2.5      | Flammpunkt .....  | 136        |
| 5.2.5.1    | Reinkraftstoffe und Kraftstoffkomponenten.....                            | 137        |
| 5.2.5.2    | Alkohole und Alkane in ternären Blends .....                              | 137        |
| 5.2.5.3    | Zusammenfassung.....  | 140        |
| 5.2.6      | Dampfdruckverhalten .....   | 140        |
| 5.2.6.1    | Alkohole in binären und ternären Blends.....                              | 141        |
| 5.2.6.2    | Zusammenfassung.....  | 143        |
| 5.2.7      | Zündtemperatur .....  | 144        |
| 5.2.7.1    | Reinkraftstoffe und ternäre Blends mit Alkoholen und Alkanen.....         | 144        |
| 5.2.7.2    | Zusammenfassung.....  | 146        |
| 5.2.8      | Materialuntersuchung (Kunststoff) .....                                   | 146        |
| 5.2.8.1    | Ausgewählte Alkohole in ternären Blends.....                              | 147        |
| 5.2.8.2    | Zusammenfassung.....  | 150        |
| 5.2.9      | Zusammenfassung.....  | 150        |
| <b>5.3</b> | <b>Kraftstoffalterung (spezielle Kraftstoffanalytik).....</b>             | <b>153</b> |
| 5.3.1      | Präzipitatbildung und Lösungsvermittlereffizienz von Alkoholen und TBC .. | 153        |
| 5.3.1.1    | COSMO-Oberflächen und Sigma-Profile von TBC und 1-Octanol .....           | 153        |
| 5.3.1.2    | Lösungsvermittlereffizienz von ausgewählten Alkoholen und TBC.....        | 156        |
| 5.3.1.3    | Einfluss der Kraftstoffpolarität auf das Präzipitabildungsmaximum.....    | 160        |
| 5.3.1.4    | Auswirkung veränderter Alterungsparameter .....                           | 162        |
| 5.3.1.5    | Charakteristische Zeitabhängigkeit der Präzipitatbildung .....            | 163        |
| 5.3.1.6    | Zusammenfassung.....  | 165        |
| 5.3.2      | Alterung im Einspritzprüfstand .....                                      | 166        |
| 5.3.2.1    | Ausgewählte Kraftstoffe mit und ohne Oxidationsstabilisator .....         | 166        |
| 5.3.2.2    | Einfluss der Betriebsmoden bei RME-20 und RME-100.....                    | 170        |
| 5.3.2.3    | Zusammenfassung.....  | 173        |
| 5.3.3      | Alterung im Batch-Reaktor (UV/Vis-Spektroskopie).....                     | 173        |



|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 5.3.3.1    | <i>Einfluss von 1-Decanol auf einen RME-10-Blend mit n-Hexadecan</i> ..... | 175        |
| 5.3.3.2    | <i>RME-100 (Schutzgasatmosphäre) und Carotinoidabbau</i> .....             | 179        |
| 5.3.3.3    | <i>Einfluss von 1-Decanol auf einen RME-10-Blend mit DK</i> .....          | 183        |
| 5.3.3.4    | <i>Zusammenfassung</i> .....   | 186        |
| 5.3.4      | Lagerstabilität (Lichtbox-UV).....   | 186        |
| 5.3.4.1    | <i>Ausgewählte FAME-Kraftstoffe und binäre Blends mit DK</i> .....         | 186        |
| 5.3.4.2    | <i>Zusammenfassung</i> .....   | 190        |
| 5.3.5      | Zusammenfassung .....  | 190        |
| <b>5.4</b> | <b>Emissionsanalytik am Einzylindermotor (limitierte)</b> .....            | <b>192</b> |
| 5.4.1      | Cetanzahl-Betrachtung der Kraftstoffkomponentenauswahl .....               | 195        |
| 5.4.2      | Kettenlänge und Verzweigung: Alkane in ternären Blends .....               | 197        |
| 5.4.3      | HVO und GtL in ternären Blends .....                                       | 201        |
| 5.4.4      | KME, RME und LME in ternären Blends mit HVO und DK.....                    | 205        |
| 5.4.5      | 1-Octanol als Kraftstoffkomponente in binären Blends.....                  | 207        |
| 5.4.6      | 1-Octanol und TBC: Multikomponentenblends mit RME, HVO und DK .....        | 210        |
| 5.4.7      | 1-Decanol und Oleylalkohol in ternären Blends .....                        | 213        |
| 5.4.8      | Zusammenfassung .....  | 217        |
| <b>5.5</b> | <b>Emissionsanalytik am Einzylindermotor (nicht limitierte)</b> .....      | <b>217</b> |
| 5.5.1      | Carbonyl: 1-Decanol und Oleylalkohol in ternären Blends .....              | 218        |
| 5.5.2      | PAK: 1-Decanol und Oleylalkohol in ternären Blends .....                   | 219        |
| 5.5.3      | Zusammenfassung .....  | 223        |
| <b>5.6</b> | <b>Kraftstoffdesign und -analytik von REG50</b> .....                      | <b>223</b> |
| 5.6.1      | Kraftstoffanalytik von REG50 gemäß DIN EN 590 .....                        | 225        |
| 5.6.2      | Siedeverhalten .....   | 227        |
| 5.6.3      | Wasseraufnahmeverhalten .....  | 228        |
| 5.6.4      | Zündtemperatur .....   | 229        |
| 5.6.5      | Alterung im Einspritzprüfstand und Lagerstabilität (Lichtbox-UV).....      | 230        |
| 5.6.6      | Zusammenfassung .....  | 232        |
| <b>5.7</b> | <b>REG50 am Nutzfahrzeugmotor (limitierte Emissionen)</b> .....            | <b>233</b> |
| 5.7.1      | Limitierte Emissionen (CO, NO <sub>x</sub> , HC, PM) .....                 | 235        |
| 5.7.2      | Zusammenfassung .....  | 238        |
| <b>5.8</b> | <b>REG50 am Nutzfahrzeugmotor (nicht limitierte Emissionen)</b> .....      | <b>239</b> |



|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 5.8.1      | Ammoniak-Emissionen .....   | 240        |
| 5.8.2      | Partikelgrößenverteilung .....                                      | 240        |
| 5.8.3      | Carbonyl-Emissionen .....   | 241        |
| 5.8.4      | PAK-Emissionen .....  | 243        |
| 5.8.5      | Mutagenität (Ames-Test) .....                                       | 245        |
| 5.8.6      | Zusammenfassung .....   | 248        |
| <b>6</b>   | <b>Zusammenfassung.....</b>   | <b>250</b> |
| <b>7</b>   | <b>Ausblick.....</b>  | <b>259</b> |
| <b>8</b>   | <b>Anhang .....</b>   | <b>263</b> |
| <b>8.1</b> | <b>Literaturverzeichnis .....</b>                                   | <b>263</b> |
| <b>8.2</b> | <b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>                                  | <b>280</b> |
| <b>8.3</b> | <b>Kraftstoffanalysen .....</b>                                     | <b>283</b> |
| <b>8.4</b> | <b>Kraftstoffanalytik (technische Details).....</b>                 | <b>287</b> |
| <b>8.5</b> | <b>Motorbetriebsdaten (technische Details und Prüfzyklen) .....</b> | <b>288</b> |