Mustafa Eskiner (Autor)

Konzept zur Bestimmung der Krafstoffqualität für den Betrieb in Plug-in Hybridfahrzeugen

https://cuvillier.de/de/shop/publications/8419

Copyright:
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: https://cuvillier.de

1 Einleitung

Während der Kraftfahrzeugbestand in Deutschland seit 1999 bis 2016 mit ca. 50 bis 55 Millionen Fahrzeugen nahezu konstant blieb (BWVI, 2016), ist in den Schwellenländern eine deutliche Zunahme zu verzeichnen. Am Beispiel von China wird dieser rasante Anstieg deutlich: Der Kraftfahrzeugbestand lag 2008 bei ca. 51 Millionen Fahrzeugen und stieg bis 2015 auf über 160 Millionen Fahrzeuge (Oica, 2017). Doch nicht nur im Straßenverkehr sind solchen Wachstumsszenarien zu beobachten. Die Luftfahrt verzeichnet ähnliche Trends: So ist besonders im asiatischen Raum mit einem deutlichen Anstieg im Luftverkehrsaufkommen bis 2036 zu rechnen (Boeing, 2017). In Zukunft wird der Wunsch nach individueller Mobilität in westlichen Ländern auf hohem Niveau bleiben und in Schwellenländern weiter steigen. Die Mobilität ist aber gefährdet, wenn nicht alternative Energieträger in den Fokus rücken und fossile Energieträger wie Öl substituieren.

Obgleich, wie allgemein bekannt, dem steigenden Ölverbrauch eine sinkende Explorationsmenge gegenüber steht, sind die tatsächlich zur Verfügung stehenden Ressourcen und Reserven noch in ausreichend hohen Mengen vorhanden (BGR, 2016; Karanfil und Omgba, 2017). Das politische Bestreben die Abhängigkeit von Kraftstoffimporteuren zu senken, eine nachhaltige Energieversorgung im Mobilitätssektor zu gewährleisten und das gesteigerte kollektive ökologisches Bewusstsein der Menschen nehmen wohl eine zentralere Rolle ein (BMUB, 2009, 2014). So führen die durch den Transportsektor verursachten Treibhausgase, wie Kohlenstoffdioxid, Distickstoffmonoxid und Methan zur globalen Erderwärmung. Zudem tragen weitere Schadstoffe, wie Feinstaub und Ozon, zur Luftverschmutzung und den damit verbundenen gesundheitlichen Risiken bei. (UBA, 2016; WHO, 2005; EPA, 2016)

Es sind daher effektive Maßnahmen notwendig, um die Umweltbelastungen zu lösen und die globale Erderwärmung zu stoppen. Auf nationaler Ebene wurden in der Vergangenheit schon politische Maßnahmen eingeleitet, um fossile Energieträger zu schonen und damit einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisen. So wurde die Mineralölwirtschaft im Biokraftstoffquotengesetz (BioKraftQuG) der Bundesregierung zu einer Mindestquote an Biokraftstoffen verpflichtete. Dabei wurde eine Gesamtquote als Beimischung oder in reiner Form zu fossilen Kraftstoffen festgelegt: Der Biokraftstoffanteil betrug ab 2007 beginnend noch 1,2 % und sollte bis 2015 8 % erreichen (BioKraftQuG, 2007). 2009 wurden Teile des Biokraftstoffquotengesetzes durch das *Gesetz zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen* ersetzt: Die Gesamtquote an Biokraftstoffen, bezogen auf den Energieinhalt, wurde bis 2009 auf 5,25 % (statt 6,25 %) und bis 2015 auf 6,25 % (statt 8 %) angepasst. Ab 2015 wurde statt der Quotenreglung nunmehr auf die durch Biokraftstoffe vermiedenen Treibhausgasemissionen eingegangen, die in der BImSchG §37a festgelegt wurden (2014): Dieser betrug ab dem Jahr 2015 3,5 % und soll bis 2020 auf 6 % erhöht werden.

Auch für die Zeit nach 2020 steht der Klimaschutz in vielen Ländern ganz weit oben auf der Agenda. Es soll eine weitgehende Entkopplung von fossilen Energieträgern bis 2050 erreicht werden, um die globale Erderwärmung auf maximal 1,5 bis 2 °C zu begrenzen, wie im Pariser Klimaabkommen am 12. Dezember 2015 gefordert. Der Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung dient hier als Vorgabe, um das Pariser Klimaabkommen auf nationaler Ebene mit strategischen Zielen und Maßnahmen umzusetzen (BMUB, 2016). In ihm ist auch festgelegt, dass bis 2050 gegenüber 1990 die Treibhausgasemissionen im Transportsektor – und auch in allen anderen Bereichen (Industrie, Energiewirtschaft, Landwirtschaft etc.) – auf 80 bis 95 % gesenkt werden sollen (BMUB, 2016). Zwar wird der Plan 2020, 2025 und auch danach noch inhaltlich geschärft, ist in ihm aber schon im Transportsektor eine klare Richtung zu erkennen: So ist freilich der Ausbau der Infrastruktur für die Elektromobilität ein wesentlicher Kernpunkt, um die Energiewende auch erfolgreich einleiten zu können (BMUB, 2016). Neben ausreichend vorhandenen Ladestationen muss auch der regenerative Anteil in der Stromproduktion erhöht werden: Gemessen am Bruttostromverbrauchs in Deutschland betrug der Anteil des regenerativen Stroms weniger als 40 % (BMWi, 2017; Strom Report, 2017). Solange der für die Elektromobilität benötigte Strom zum Aufladen der Batterie nicht vollständig regenerativ erzeugt werden kann, wird die Elektromobilität nicht wesentlich zur Reduktion der CO_2-Emissionen beitragen können (Heintzel, 2018b). Trotzdem bietet die Elektromobilität schon jetzt einen wesentlichen Vorteil: So kann lokal emissionsfrei gefahren werden und Städte, die besonders durch Abgase belastet sind, geschont werden. Ein Nachteil der Elektrofahrzeuge ist derzeit jedoch noch die begrenzte Reichweite. Zwar betrug die durchschnittliche Reichweite aller verkauften Elektrofahrzeuge im Jahre 2016 270 km (Köllner, 2017), es handelt sich hierbei jedoch um Angaben, die am Rollenprüfstand mithilfe des *Neuen Europäischen Fahrzyklus* (Abk.: NEFZ) bestimmt wurden. Zusätzliche Lasten, wie beispielsweise eine zugeschaltete Klimaanlage oder Heizung, die sich negativ auf die Reichweite auswirken, werden mit dieser Prüfmethode nicht berücksichtigt (Schaufenster Elektromobilität, 2018). Die tatsächliche Reichweite von Elektrofahrzeugen dürfte daher im Realbetrieb deutlich darunter liegen. Zudem wird die von der Bundesregierung ursprünglich geplante Zulassung von einer Millionen Elektrofahrzeugen bis 2020 bzw. sechs Millionen bis 2030 wohl nicht erreicht werden. Es kann daher angenommen werden, dass im Straßenverkehr der Verbrennungsmotor in den nächsten Jahrzehnten als Hauptantriebsart erhalten bleiben (Shell, 2014; Zeit, 2017).

Um das lokale Emissionsproblem in Städten trotzdem angehen zu können, ohne dabei auf Reichweite verzichten zu müssen, sind Fahrzeugkonzepte wie Plug-in Hybridfahrzeuge als Brückentechnologie sehr vielversprechend. Eine Kombination aus Verbrennungsmotor und Elektromotor, dessen Batterie an der Steckdose aufgeladen werden kann, verknüpft die Vorteile beider Antriebsarten. Für Kurzstrecken, z.B. im innerstädtischen Betrieb, reicht die Reichweite der Batterie aus, sodass dort emissionsfrei gefahren werden kann. Erst wenn hohe Leistungsreserven notwendig werden, z.B. während Autobahnfahrten oder Überholmanövern, wird der Verbrennungsmotor unterstützend zugeschaltet.

Zusätzliche Umweltpotenziale ergeben sich, wenn der Verbrennungsmotor im Plug-in Hybridfahrzeug mit regenerativen Kraftstoffen betrieben wird: Konventionelle Biokraftstoffe, die in Konkurrenz mit Nahrungsmitteln stehen, müssen, wie im Klimaschutzplan 2050 gefordert, durch fortschrittliche Kraftstoffe, wie Biokraftstoffe aus Rest- und Abfallstoffen oder aus regenerativen Strom erzeugte Kraftstoffe (CO_2-neutrale Kraftstoffe), ersetzt werden (BMUB, 2016). So wird in einer Mitteilung der Europäischen Kommission auf die Notwendigkeit von fortschrittlichen Kraftstoffen, inklusive dem Ausbau der dazugehörigen Infrastruktur, hingewiesen, der mit ca. 600 Mio. Euro Fördermitteln subventioniert werden soll (Europäische Kommission, 2016). Nicht zuletzt sind fortschrittliche Kraftstoffe dort notwendig, wo auch in den nächsten Jahrzenten auf konventionelle Antriebe gesetzt werden muss – hierzu zählen beispielsweise die Schiff- und Luftfahrt (BMUB, 2016).

Motivation und Zielsetzung

Erkennung der Kraftstoffalterung

Obwohl der Dieselmotor derzeit aufgrund des Abgasskandals stark in der Kritik steht, halten OEM an Plug-in Hybrid Varianten fest, die mit Dieselmotoren betrieben werden. So sind einige dieselbetriebene Plug-Hybridfahrzeuge schon auf dem Markt bzw. ist deren Markteinführung geplant: Hierzu zählen die Modelle C-, E- und S-Klasse von Daimler (Strenkert et al., 2018; Schäfer, 2018), V60, XC60, S90 und V90 von Volvo (volvocars.com, 2018), das Modell Q7 e-tron von Audi (audi.de, 2018). Schließlich bietet Landrover ebenfalls Plug-in Hybrid Fahrzeuge, die optional mit Otto- oder Dieselmotoren betrieben werden können. (landrover.de, 2018). Gegenüber den mit Ottokraftstoffen betriebenen Plug-in Hybridfahrzeugen bieten die dieselbetriebenen Varianten deutliche Verbrauchsvorteile (Diezemann et al., 2012). Außerdem können sie bei der Einhaltung der zukünftigen CO_2-Ziele unterstützen (Merkle, 2018; Schaub et al., 2018). Insbesondere wenn der Dieselmotor mit CO_2-neutralen Kraftstoffen betrieben wird, sind mit ihm deutliche Emissionsminderungen möglich (Burkert, 2018; Avolio et al., 2017).

Allerdings wird der Kraftstoff in Plug-in Hybridfahrzeugen weit kritischeren Bedingungen ausgesetzt als bei konventionellen Fahrzeugen: So sind im allgemeinen Fahrprofil der Europäer der überwiegende Anteil (ca. 80 %) aller gefahrenen Kilometer Kurzstrecken (<50 km) (Wallentowitz und Freialdenhoven, 2011). Die kurzen Fahrtzyklen im Alltag genügen, um den Akkumulator stationär am Stromnetz aufzuladen. Dies hat zur Folge, dass der Kraftstoff in Plug-in Hybridfahrzeugen länger verbleibt. Kraftstoffe, die über einen längeren Zeitraum einem Wärmeeintrag und Sauerstoff ausgesetzt sind, können Alterungsprodukte bilden, die insbesondere bei Dieselkraftstoffen mit Biodiesel-Anteilen zur Bildung von Ablagerungen führen und an kritischen Bauteilen wie Injektoren oder Filtereinheiten die Betriebssicherheit des Fahrzeuges gefährden können (Besser et al., 2017; Christensen und McCormick, 2014; deMan et al., 1987; Flitsch et al., 2014; Kumar et al., 2018; Ogawa et al., 2009; Schmidt, 2014; Schaper, 2017; Fang und McCormick, 2006). Erschwerend kommt hinzu, dass der Kraftstoff im Tank

auch weiteren Stoffen wie Rost, Wasser, durch die Belüftung des Tanks eingetragenem Staub und metallischem Abrieb ausgesetzt ist (Reif, 2010), die die Alterung noch weiter forcieren können. Dass solche Alterungsszenarien nicht unwahrscheinlich sind, zeigen entsprechende Realbeispiele aus dem Raumwärmemarkt, wo das Dieselkraftstoff ähnliche Heizöl mehrere Monate gelagert wurde und Ablagerungen bildete (Kerkering, 2014). Auch in saisonal genutzten Booten, wo in der Überwinterungszeit der Dieselkraftstoff mehrere Monate im Tank verbleibt, kann z.B. bei erhöhtem Wassereintrag im Kraftstoff ein mikrobieller Befall zu Schäden am Motor führen (marinafuehrer.adac.de, 2015; sea-help.eu, 2013). Ein Teilaspekt dieser Arbeit ist es daher, einen geeigneten und kostengünstigen Sensor zu entwickeln, der alternde Dieselkraftstoffe frühzeitig erkennt. Hierzu wurde ein Prototyp auf Basis der dielektrischen Spektroskopie entwickelt (Permittivitätssensor), dass in einer lab-on-a-Chip Variante als Onboard-Sensor für den Betrieb in Plug-in Hybridfahrzeugen geeignet ist. Das Ziel bestand darin, unterschiedliche Alterungsstufen im Kraftstoff sensorisch zu erkennen, Temperaturabhängigkeiten des Sensorsignals unter Berücksichtigung verschiedener Alterungsstufen zu identifizieren und die sensorisch erlangten Ergebnisse mit laboranalytischen Verfahren abzusichern. Hierzu wurden die für die petrochemische Analyse zur Verfügung stehenden Methoden, wie Rancimat-Methode zur Bestimmung der Oxidationsstabilität, GPC-RI Untersuchungen zur Bestimmung hochmolekularer Anteile und Säurezahl verwendet. Ergänzend soll für gealterte Kraftstoffe, die zur Ablagerung neigen, ein Verfahren zur Ermittlung der Stabilität in Suspensionen entwickelt werden.

Erkennung der Kraftstoffzusammensetzung

Zusätzlich zu den hohen Verweilzeiten ist auch mit einer variablen Kraftstoffzusammensetzung zu rechnen: In der Norm EN 590 (Dieselkraftstoff) bzw. EN 228 (Ottokraftstoff) sind die Anforderungen und die jeweiligen Prüfverfahren an den jeweiligen Kraftstoff vorgegeben, sodass Kraftstoffe, die diese Norm erfüllen, eigentlich sicher betrieben werden können. Innerhalb dieser Normvorgaben ist eine variable Zusammensetzung der Kraftstoffmischung trotzdem sehr wahrscheinlich, die beispielsweise durch die Erdöl-Lagerstätte vorgegeben ist. Das Motormanagement ist für Referenzkraftstoffe mit gleichbleibender Qualität ausgelegt. In dieser Anpassungsstrategie wird die Kraftstoffvariabilität üblicherweise nicht berücksichtigt. Es ist jedoch hinreichend bekannt, dass die Kraftstoffmischung einen wesentlichen Einfluss auf das Emissionsverhalten des Fahrzeuges hat (Heintzel, 2018a; Pabst, 2015; Jeihouni et al., 2011). Die Komplexität beschränkt sich dabei nicht nur auf unterschiedliche Biodieselkonzentrationen im Dieselkraftstoffe, wie sie derzeit weltweit vorliegen (Naumann et al., 2016). Ebenso sind Unterschiede im Verzweigungsgrad der Alkane, aber auch im Aromatengehalt Faktoren, die einen erheblichen Einfluss auf die Cetanzahl und damit das Emissionsverhalten haben. Weil die Konversionsverfahren zur Herstellung von fortschrittlichen Kraftstoffen sehr vielfältig sind (siehe Kapitel 2), werden die Komplexität und Variabilität der finalen Kraftstoffmischung in Zukunft noch weiter steigen. Im Ergebnis wird das Verbrennungs- und Emissionsverhalten des Motors mit von der Kraftstoffmischung vorgegeben. Durch eine geeignete Anpassungsstrategie des

Motormanagements kann das Emissionsverhalten auf die aktuell getankte Kraftstoffmischung angepasst und optimiert werden (Fournel et al., 2007; Lunati und Fournel, 2008; Munack und Krahl, 2003).

Es ergibt sich daraus eine weitere Aufgabenstellung für diese Arbeit: So soll ein Konzept vorgestellt werden, das variable Kraftstoffzusammensetzungen erkennen kann. Dabei wurden ausschließlich für den Dieselbetrieb geeignete Kraftstoffe betrachtet, obwohl durchaus auch für Ottokraftstoffe angewandt werden kann. Die Komplexität von Kraftstoffmischungen soll durch die Verwendung von Mischungsplänen (Mixture Design), einem Teilgebiet der statistischen Versuchsplanung, reduziert und multisensorisch untersucht werden. Für die Multisensor Anwendung sollen die Signale des in dieser Arbeit entwickelten Permittivitätssensors mit Daten aus der NIR-Spektroskopie fusioniert und multivariat untersucht werden.

2 Theoretischer Teil

Der Inhalt des theoretischen Teils ergibt sich wie folgt: Zu Beginn werden die Zusammensetzung und Herstellung von fossilen und biogenen Dieselkraftstoffen dargestellt (Kapitel 2.1). Anschließend werden mögliche Reaktionswege während der Alterung solcher Kraftstoffe (Kapitel 2.2) und Kraftstoffzusätze vorgestellt (Kapitel 2.3). Die theoretischen Hintergründe zur Sensorik, die die Alterung und Zusammensetzung von Kraftstoffmischungen erkennen soll, wird in Kapitel 2.4 vorgestellt. Die während der Alterung entstehenden unlöslichen Oxidationsprodukte können eine instabile Suspension bilden. Als mögliches Verfahren zur messtechnischen Analyse einer instabilen Suspension (Sedimentationsanalyse) eignet sich die dielektrischen Spektroskopie (Pettersen und Sjöblom, 1996; Pettersen et al., 1997; Pettersen et al., 1998). Ergänzend zur Erkennung der Kraftstoffalterung und -zusammensetzung wird die dielektrische Spektroskopie daher außerdem zur Sedimentationsanalyse verwendet. Die theoretischen Hintergründe zur Untersuchung der Stabilität einer Suspension wird in Kapitel 2.5 vorgestellt. Mithilfe von Mischungsplänen wird ein statistisches Verfahren vorgestellt, das die Komplexität von herkömmlichen Kraftstoffmischungen durch die Verwendung von Modellsubstanzen wesentlich vereinfacht (Kapitel 2.6). Mit diesem Verfahren werden im späteren Verlauf der Arbeit außerdem instabile Mischungen identifiziert. Ergänzend werden die aus Mischungsplänen erhaltenen Kraftstoffformulierungen als Kalibrierdatensatz für eine multivariate Datenanalyse verwendet, um im späteren Verlauf der Arbeit unbekannte Kraftstoffmischungen zu identifizieren (Kapitel 2.7). Abschließend werden die theoretischen Ansätze der polymorphen Phasenumwandlung an Kraftstoffen anhand von Theorie und Beispielen dargestellt (Kapitel 2.8).

2.1 Kraftstoffe

2.1.1 Dieselkraftstoffe

Dieselkraftstoffe sind komplexe Gemische aus Kohlenwasserstoffen und gehören zu den Mitteldestillaten. Hierbei handelt es sich um Produkte, die während der Erdölfraktionierung im mittleren Siedebereich zwischen 180 – 360 °C gewonnen werden. Neben unverzweigten Alkanen (n-Alkane) und verzweigten Alkane (iso-Alkane), besteht Dieselkraftstoff aus Cycloalkanen und aromatischen Kohlenwasserstoffen. Insgesamt sind über 300 verschiedene Kohlenwasserstoffverbindungen aufzufinden. Die durchschnittliche Molekülgröße liegt im Bereich um 10 bis 20 Kohlenstoffatome pro Molekül. (Mollenhauer und Tschöke, 2007) Die Spezifikation für Dieselkraftstoffe ist in der EN 590 festgelegt und in der Tabelle 1 dargestellt:

Tabelle 1: Dieselkraftstoff-Spezifikation nach EN 590 (Auszug)

Eigenschaften	Einheit	Grenzwerte		Prüfverfahren
		min.	max.	
Cetanzahl		51,0	-	EN ISO 5165
				EN 15195
				EN 16144
				EN 16715
Dichte bei 15 °C	kg/m³	820,0	845,0	EN ISO 3675 oder
				EN ISO 12185
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe	% (m/m)	-	8,0	EN 12916
Schwefelgehalt	mg/kg	-	10,0	EN ISO 20846
				EN ISO 20884
Wassergehalt	% (m/m)		0,020	EN ISO 12937
Fettsäure-Methylestergehalt	% (V/V)	0	7,0	EN 14078
Oxidationsstabilität	g/m³	-	25	EN ISO 12205
	h	20	-	EN 15751
Viskosität bei 40 °C	mm²/s	2,000	4,500	EN ISO 3104

2.1.2 Weitere Kraftstoffe für die dieselmotorische Verbrennung

Biodiesel

Biodiesel (Abk. FAME, engl. Fatty-Acid-Methyl-Ester) sind umgeesterte Pflanzenöle (Triglyceride) aus z.B. Raps-, Soja, Palm-, Kokos oder Sonnenblumenöl. Durch die Umesterung wird eine Viskositätsabnahme erreicht, die notwendig ist, damit der Kraftstoff bei der Verbrennung im Dieselmotor einerseits homogen verteilt ist. Anderseits führen zu hohe Viskositäten dazu, dass die Einspritzpumpe aufgrund nicht ausreichender Komprimierbarkeit mit genügend Kraftstoff gefüllt werden kann, die ein Verlust der Leistung zur Folge haben kann (Knothe, 2005). Aus wirtschaftlichen Gründen eignet sich Methanol für die Umesterung am besten. Die Verwendung von Ethanol als Substitut für Methanol ist möglich und wird aufgrund hoher Zuckerrohrvorkommen in Brasilien in der Biodieselherstellung genutzt (Silva et al., 2011). Als Katalysatoren kommen Säuren oder Alkalimetalle infrage. Im Folgenden wird auf den Reaktionsmechanismus der Umesterung, unter Verwendung eines basischen Katalysators, näher eingegangen (siehe Abbildung 1):

Zu Beginn reagiert das Alkalimetall (z.B.: Natriummethanolat) mit dem Alkohol zu einem Alkoholat. Dieser ist in der Lage, einen nucleophilen Angriff auf das sp2-hybridisierte Kohlenstoffatom der Carbonylgruppe des Triglycerids durchzuführen. Daraufhin spaltet sich der erste Fettsäure-Alkyl-Ester ab, da der daraus entstehender Zustand energetisch günstiger ist. Als Zwischenprodukt entsteht neben dem Ester ein Diglycerid. Letztere reagiert nach dem gleichen Schema weiter mit dem Alkoholat, bis nur noch Glycerin übrig ist. Insgesamt benötigt man für die Umesterung von einem Mol Triglycerid drei Mol Methanol. Als Endprodukt entstehen drei Mol FAME und ein Mol Glycerin.

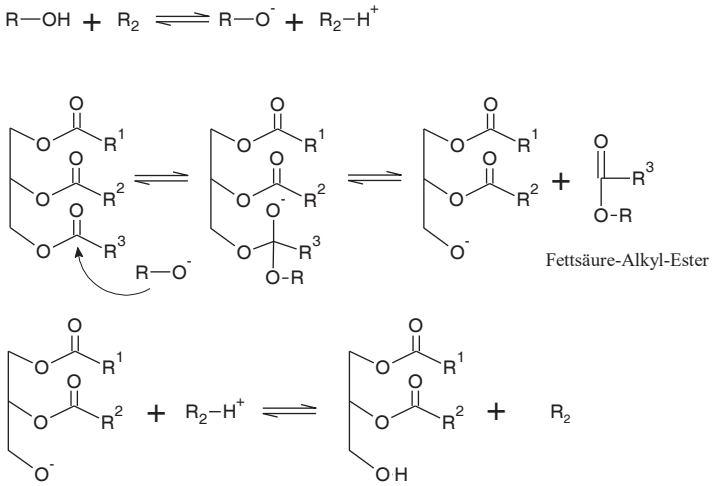

Abbildung 1: Reaktionsschema der Biodieselherstellung

Auf europäischer Ebene ist die FAME-Qualität durch die DIN EN 14214 festgelegt. Tabelle 2 zeigt einen Auszug aus dieser Norm. Auf zwei wesentliche Parameter aus dieser Norm wird in dieser Arbeit mehrfach eingegangen: Hierzu gehört zum einen die *Säurezahl.* Sie gibt die Menge an Kaliumhydroxid an, die notwendig ist, um freie Fettsäuren in 1 g FAME zu neutralisieren. Freie Fettsäuren entstehen während der Alterung z.B. durch Hydrolyse. Zum anderen wird die *Oxidationsstabilität* nach der Rancimat-Methode mehrfach bestimmt. Diese Methode wird in Kapitel **3.7** näher beschrieben.

Tabelle 2: Biodiesel-Spezifikation nach DIN EN 14214 (Auszug)

Eigenschaften	Einheit	Grenzwerte		Prüfverfahren
		min.	max.	
Fettsäure-Methylester-Gehalt	%(m/m)	96,5	-	EN 14103
Dichte bei 15 °C	kg/m³	860	900	EN ISO 3675 oder EN ISO 12185
Viskosität bei 40 °C	mm²/s	3,50	5,00	EN ISO 3104
Flammpunkt	°C	101	-	EN ISO 2719 oder EN ISO 3679
Cetanzahl	-	51,0	-	EN ISO 5165
Korrosionswirkung auf Kupfer (3 h bei 50 °C)	Korrosionsgrad	Klasse 1		EN ISO 2160
Oxidationsstabilität (bei 110 °C)	h	8,0	-	EN 14112 oder EN 15751
Säurezahl	mg KOH/g	-	0,50	EN 14104
Iodzahl	g Iod/100 g	-	120	EN 14111 oder EN 16300
Gehalt an Linolensäure-Methylester	% (m/m)	-	12,0	EN 14103
Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäure-Methylestern mit mehr als 4 Doppelbindungen	% (m/m)	-	1,00	EN 15779
Methanol-Gehalt	% (m/m)	-	0,20	EN 14110
Monoglycerid-Gehalt	% (m/m)	-	0,70	EN 14105
Diglycerid-Gehalt	% (m/m)	-	0,20	EN 14105
Triglycerid-Gehalt	% (m/m)	-	0,02	EN 14105
Gehalt an Gesamt-Glycerin	% (m/m)	-	0,25	EN 14105
Wassergehalt	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Gesamtverschmutzung	mg/kg	-	24	EN 12662

Pflanzenöle besitzen ein typisches Fettsäuremuster, das sich je nach Sorte des Pflanzenöls in der Kettenlänge und Anteil der Doppelbindungen unterscheidet (siehe Tabelle 3). Dabei ist das Fettsäuremuster der Pflanzenöle mit denen des Biodiesels identisch (Lang et al., 2001). Das Fettsäuremuster hat einen entscheidenden Einfluss auf physikalische- und chemischen Eigenschaften des umgeesterten Produkts (Hoekman et al., 2012; Pinzi et al., 2013; Ramírez-Verduzco et al., 2012; Ramos et al., 2009). Während beispielsweise ein hoher Anteil an Doppelbindungen die Kältestabilität verbessern kann, sind solche Kraftstoffe auch oxidationsanfälliger.

Tabelle 3: Fettsäuremuster verschiedener Pflanzenöle (Henkel, 1979)

Kettellänge der C-Kette:Anzahl der Doppelbindung	Bezeichnung	Trivialname	Rapsöl [%]	Kokosöl [%]	Sonnenblumenöl [%]	Palmöl [%]
6:0	Hexansäure	Capronsäure	-	0,5	-	-
8:0	Octansäure	Caprylsäure	-	8	-	-
10:0	Decansäure	Caprinsäure	-	-	-	-
12:0	Dodecansäure	Laurinsäure	-	48	-	2
14:0	Tetradecansäure	Myristinsäure	-	17	-	-
16:0	Hexadecansäure	Palmitinsäure	6	9	6	42
18:0	Octadecansäure	Stearinsäure	2	2	4	5
18:1	Octadecensäure	Ölsäure	62	7	28	41
18:2	Octadecadiensäure	Linolsäure	20	1,3	61	10
18:3	Octadecatri-ensäure	Linolensäure	9	-	-	-
20:0	Eicosansäure	Arachinsäure	-	-	0,5	-
20:1	Eicosensäure	Gadoleinsäure	-	-	-	-
22:1	Docosensäure	Erucasäure	2	-	-	-

Der Einsatz von reinem Biodiesel oder Pflanzenöl war bis 2006 für den Verbraucher in Deutschland noch sehr attraktiv, da dieser gegenüber fossilem Diesel steuerliche Vorteile genoss. Ab 2007 und mit Einführung des Biokraftstoffquotengesetz (BioKraftQuG) entfielen die steuerlichen Vorteile für Biodiesel (VDB, 2007; IHK Darmstadt Rhein Main Neckar, 2006; BioKraftQuG, 2007). Zugleich wurde mit dem entsprechenden Gesetz die Mineralölwirtschaft verpflichtet, eine Mindestquote an Biokraftstoffen in den Markt einzubringen (BioKraftQuG, 2007). Für Dieselkraftstoffe, die der EN 590 unterliegen, beträgt die maximal zulässige Beimischungsquote von Biodiesel im fossilen Diesel bis heute 7 %(V/V) (siehe auch Tabelle 1). Obgleich dies der durchschnittlichen Beimischungsquote in Europa entspricht, sind durchaus auch