

3 Projektziel

Die begrenzten Ressourcen fossiler Energieträger und die Klimafolgen der bei ihrer Verbrennung freigesetzten Treibhausgase verlangen nach alternativen, erneuerbaren und CO₂-neutralen Kraftstoffen. Gleichzeitig muss sichergestellt sein, dass Verbrennungsmotoren auch bei Verwendung biogener Kraftstoffe die strengen Abgasnormen erfüllen und keinen erhöhten Verschleiß zeigen. Dies stellt bei biogenen Kraftstoffen aufgrund der Vielzahl der verwendeten Rohstoffquellen, Herstellungsverfahren und natürlichen Schwankungen der Rohstoffe bezüglich des Gehalts an den einzelnen Inhaltsstoffen eine besondere Herausforderung dar. Es ist deshalb von großer ökonomischer und ökologischer Bedeutung Parameter zu definieren, die zukünftige Kraftstoffe einhalten müssen, um bei hohem Wirkungsgrad den Motorverschleiß und den Schadstoffausstoß so gering wie möglich zu halten. Dabei werden die physikalischen und chemischen Eigenschaften biodieselhaltiger Blends so modifiziert, dass sie für neue und bestehende Motorkonzepte hinsichtlich der Verbrennung und der Emissionen eingesetzt werden können.

4 Ablaufplan

Für die Parametrierung werden Mehrkomponentenmischkraftstoffe untersucht. Fossiler Dieselkraftstoff dient dabei als Basiskomponente. Als Vertreter der Kraftstoffe der ersten Generation werden als Produkte aus Pflanzenölen neben ausgewählten Fettsäuremethylestern (FAME) auch hydrierte Pflanzenöle (HVO) eingesetzt, die als vorerst letzte Entwicklungsstufe dieser Gruppe angesehen werden können. Als Kraftstoffe der zweiten Generation werden Substanzen verwendet, die unabhängig von Pflanzenöl über die Fischer-Tropsch-Synthese und über die Holzverzuckerung zugänglich sind. In systematischen Voruntersuchungen werden die Substanzen der in Frage kommenden Stoffgruppen auf Eignung als Kraftstoffkomponenten untersucht. Auf diese Weise wird eine Basis für eine Komponentenauswahl mit hohem Potenzial geschaffen.

Im ersten Schritt werden die physikalischen und chemischen Kenngrößen der definierten Kraftstoffe analysiert. Im zweiten Schritt werden im Rahmen von Motorversuchen durch Ansteuern unterschiedlicher Betriebspunkte neben den gesetzlich limitierten Messdaten auch nicht limitierte Emissionsparameter bestimmt. Hierzu zählt neben der Untersuchung der Partikelgrößenverteilung auch die Ermittlung des Gehalts an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und Carbonylen. Als Motoren werden für die Untersuchung ein Einzylinder-Testmotor und ein Nutzfahrzeugmotor mit Euro IV-Norm verwendet. Spezielle Kraftstoffanalysen bei dem analytischen Dienstleister Analytik-Service GmbH (ASG) stützen sowohl eine mögliche Modellbildung als auch die Kraftstoffauswahl. Des Weiteren werden auch neuartige Verfahren im Bereich der Kraftstoffanalytik eingeführt. Bei vielversprechenden Er-

gebnissen ist auch eine optionale Überprüfung des gewählten Kraftstoffes in einem Euro VI-Motor bedacht. Es ergibt sich folgendes Modell zur Durchführung (Abbildung 4-1).



Abbildung 4-1: Modell zur Durchführung des Projekts (Stufe 5 ist optional.)

Die erzeugten Kraftstoffe werden auch für das Projekt der Hochschule Coburg „Fluoreszenzspektroskopische Charakterisierung und Identifizierung von Kraftstoffgemischen zur Entwicklung eines Kraftstoffsensors“ (Förderkennzeichen: 22004710) eingesetzt (Fan und Krahl, 2012).

5 Physikalisch-chemische Betrachtung von Kraftstoffkomponenten

Die Ausgangsfragestellung dieses Projekts kann in zwei Bereiche unterteilt werden. Einerseits soll aufgrund der Untersuchung physikalisch-chemischer Parameter ein optimiertes Modell zur Kraftstoffentwicklung ermöglicht werden, andererseits soll aber auch ein realisierbarer Multikomponentenkraftstoff mit hohem regenerativem Anteil gefunden werden. Besonders für den zweiten Bereich wurden daher Kraftstoffe gesucht, die bereits am Markt vorhanden bzw. durch Neuausrichtung der Produktpalette zugänglich sind.

5.1 Fossile Komponente Dieselkraftstoff

Die Einbeziehung einer fossilen Komponente ist notwendig, da besonders im Übergang zu einem vollkommen regenerativen Kraftstoff der Bedarf durch regenerative Quellen nicht zu 100% gedeckt werden kann. Dies ist ein weiterer wichtiger Aspekt, der für die Entwicklung regenerativer Multikomponentenkraftstoffe spricht. Ein zu 100% regenerativer Kraftstoff ist aus ökologischer und ökonomischer Sicht langfristig nur dann realisierbar, wenn die Produktionslasten auf möglichst viele Produkte ver-

teilt sind. Zum Vergleich sind sowohl DK, ein nach der Norm DIN EN 590 zugelassener fossiler Referenzdieselmotorkraftstoff der Firma Haltermann mit Aromatenanteil von bis zu 25%, als auch MK1 angegeben, ein nicht nach der Norm zugelassener besonders niedrig siedender sogenannter „Schweden-Diesel“ mit stark vermindertem Aromaten-Anteil, der für die arktische Region optimiert wurde. Eine Problematik zum Schwefelgehalt (Gairing et al., 1997) ist gemäß Norm bei beiden Sorten nicht mehr gegeben. Die Unterschiede der beiden Kraftstoffe zeigen sich deutlich im Destillationsverlauf (Abbildung 5-1).

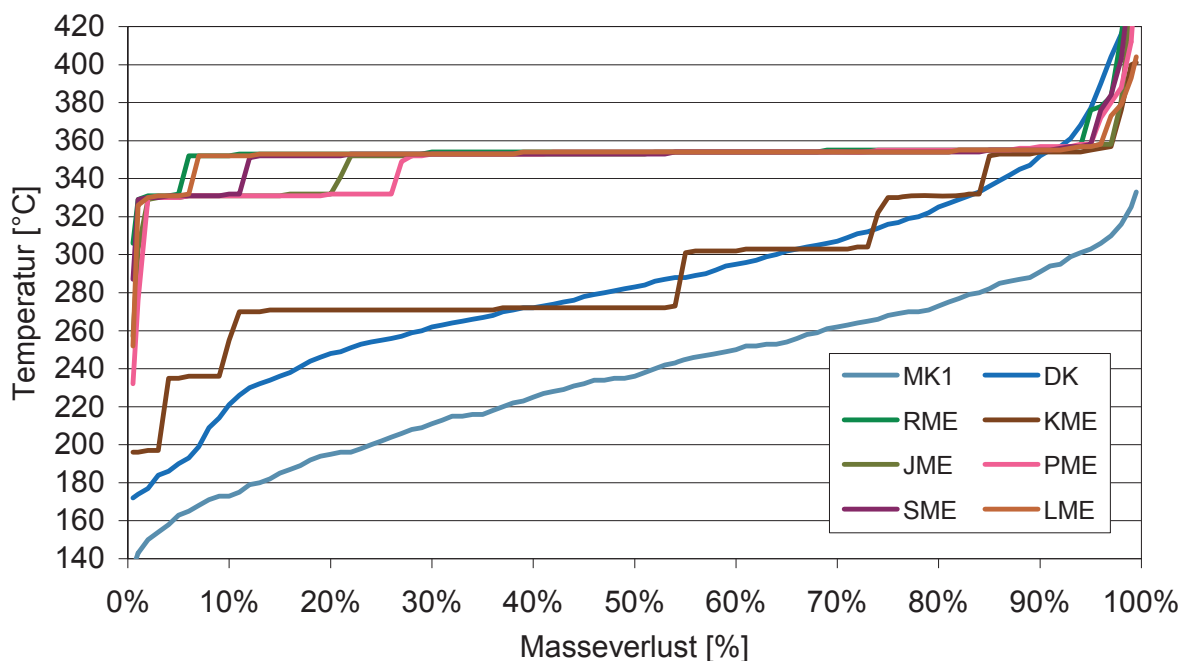


Abbildung 5-1: SimDist-Analysen von MK1, DK, HVO, RME (Rapsölmethylester), KME (Kokosnussölmethylester), JME (Jatrophaölmethylester), PME (Palmölmethylester), SME (Sojaölmethylester), LME (Leinölmethylester)

Bei den dargestellten SimDist-Analysen handelt es sich um einen mit Gaschromatographie-Massenspektrometrie-Kopplung (GC-MS) simulierten Siedeverlauf.

5.2 Kraftstoffe aus Pflanzenölen

Diese Kraftstoffe haben den Vorteil, dass mit dem Rohstoff Pflanzenöl bei entsprechend ausgerichteter Agrarwirtschaft große Erträge möglich sind. In Hinblick auf eine wachsende Weltbevölkerung und eine Verringerung des zur Verfügung stehenden Ackerlands ist ein Anstieg des in der Öffentlichkeit diskutierten Teller/Tank-Konflikts jedoch absehbar.

5.2.1 Fettsäuremethylester (FAME)

FAME stellen die 1. Generation von Kraftstoffen, die auf Pflanzenölen basieren. Sie sind genormt nach DIN EN 14214. Gemäß Dieselmotorkraftstoffnorm DIN EN 590 darf ihr

Anteil maximal 7% in Dieselkraftstoff betragen. Eine entsprechende Quote wird zurzeit eingehalten (BioKraftQuG, 2006). Mit Erhöhung des FAME-Anteils tritt seine in Bezug auf den fossilen Dieselkraftstoff meist schlechtere Siedelage in den Vordergrund. Ein Ansatz zur Verbesserung des Siedeverhaltens durch Metathese-Reaktion (Miao et al., 2011) wurde in einer eigenen Studie (Munack et al., 2013) bearbeitet. Lediglich KME zeigt im Vergleich zu den anderen aufgeführten FAME-Kraftstoffen eine wesentlich niedrigere Siedelinie. Als weiterer negativer Effekt von FAME-Kraftstoffen kann die Neigung zu einer Präzipitatbildung in Blends mit Dieselkraftstoff gesehen werden (Krahl et al., 2009). Es liegt dann keine Lösung der Komponenten, sondern die Ausbildung einer weiteren Phase als Trübung vor. Hierbei handelt es sich um Oligomere, die als Alterungsprodukte durch Autoxidation der FAME-Kraftstoffkomponenten auftreten. Für deren Ausbildung wird die unterschiedliche Reaktivität der einzelnen Fettsäuren (Schönborn, 2009) verantwortlich gemacht. Hierbei verursachen Doppelbindungen bzw. benachbarte Doppelbindungen (Tabelle 5-1) im Molekül reaktive allylische bzw. besonders reaktive bis-allylische Positionen von Wasserstoffatomen (Osmont et al., 2007).

Tabelle 5-1: Fettsäurespektren ausgewählter Pflanzenöle – D.b. steht für die Anzahl von Doppelbindungen (Mittelbach und Remschmidt, 2004)

D.b.	Fettsäure	Summenformel	Rapsöl	Kokosöl	Leinöl
0	Laurinsäure	$C_{12}H_{24}O_2$	-	46 - 47 %	-
0	Myristinsäure	$C_{14}H_{28}O_2$	-	17 - 20 %	-
0	Stearinsäure	$C_{18}H_{36}O_2$	1 - 2 %	3 %	9 - 16 %
1	Ölsäure	$C_{18}H_{34}O_2$	55 - 65 %	7 - 8 %	14 - 20 %
2	Linolsäure	$C_{18}H_{32}O_2$	20 - 26 %	2 %	15 - 25 %
3	Linolensäure	$C_{18}H_{30}O_2$	8 - 10 %	-	59 - 63 %

Dadurch wird eine Reihe von inter- und intramolekularen Reaktionen möglich, die Gegenstand aktueller Forschung sind. Mit steigenden Mehrfachbindungsanteilen ist dieser Bezug auch vereinfacht zugänglich über die Iodzahl (Herbinet et al., 2010) (Abbildung 5-2).

Der eigentliche Effekt des Ausfallens von Oligomeren scheint auf eine Veränderung der Polarität zurückzugehen [Munack et al., 2009; Munack et al., 2011 (2)]. Während die Bestandteile des fossilen Dieselkraftstoffs unpolar sind, wird mit dem Sauerstoff der Estergruppe beim FAME-Kraftstoff schon die Polarität erhöht. Es ist bekannt, dass mit dem Grad der Oligomerisierung die Polarität weiter ansteigt. Eine Löslichkeit der Oligomere ist folglich prinzipiell in der leicht polaren Matrix gegeben; agiert der gealterte FAME-Kraftstoff aber als Beimischungskomponente, tritt die unpolare Hauptkomponente in den Vordergrund, und die Oligomere fallen aus.

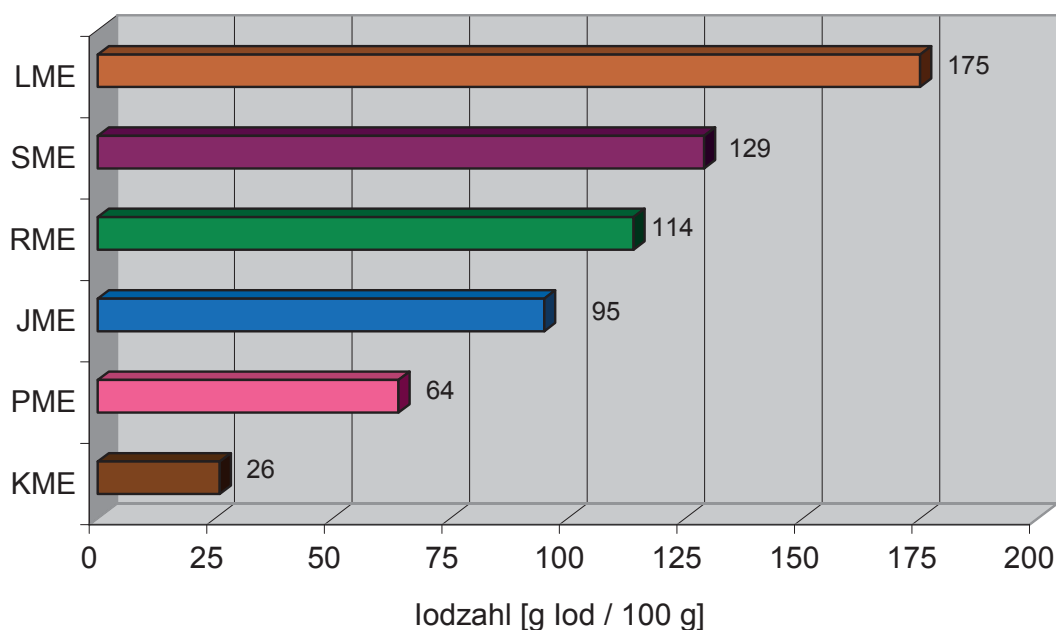


Abbildung 5-2: Iodzahlen ausgewählter FAME-Kraftstoffe entsprechend Kraftstoffanalysen

Ähnliches wird auch im Bereich des Motoröls beobachtet. Aufgrund einer im Gegensatz zum Dieselmotorkraftstoff stark erhöhten Siedelinie bei entsprechenden FAME-Kraftstoffen wird ein Anreichern von Alterungsprodukten im Motoröl beobachtet (Richter, 2008), was eine Präzipitatbildung auch in diesem Bereich zur Folge hat (Schumacher, 2010).

Eine hohe Iodzahl bedingt einen hohen Anteil ungesättigter Positionen mit Kohlenstoffatomen höherer Oxidationszahlen. Es sinken die Parameter Cetanzahl und Cetanindex als weiterer Effekt, womit ein besonderer Einfluss dieser Größe auch auf das Verbrennungsverhalten gegeben ist (Graboski et al., 2003).

Ausgewählt wurden KME und LME als die Kraftstoffe mit dem geringsten und höchsten Wert für die Iodzahl bzw. für den Anteil besonders reaktiver bis-allylischer Wasserstoff-Positionen. RME wurde aufgrund des heimischen Raps-Anbaus und wegen seiner mittleren Stellung bezüglich dieses Parameters verwendet. Lässt man KME aufgrund seiner schlechten Zugänglichkeit als eine realistische heimische Beimischungskomponente außer Acht, so ist es folglich generell notwendig, mit steigendem regenerativem Anteil, insbesondere bezogen auf die Siedelinie (Garbe, 2001), für den niedrig siedenden Bereich eine alternative Komponente bzw. ein Gemisch von Komponenten zu definieren. Hierfür denkbar sind sowohl der Einsatz von Biomasse über Fischer-Tropsch-Prozesse als auch ein zur Veresterung alternativer Prozess zur Umsetzung von Pflanzenölen. Als Beispiel sei hier HVO (hydrotreated vegetable oil) genannt, ein Kraftstoff, der in Zusammenarbeit mit der Firma Neste Oil, der Hochschule Coburg und einer Reihe von anderen Partnern vom Thünen-Institut für Agrartechnologie bereits getestet wurde [Krahl et al., (2012) (2)] und aktuell unter dem Begriff „Diesel Regenerativ“ erprobt wird.

5.2.2 Hydrotreated Vegetable Oil (HVO)

HVO kann als die vorerst letzte Entwicklung von Kraftstoffen angesehen werden, die auf Pflanzenölen basieren. Entsprechend der Generationsbezeichnung für FAME, kann HVO im Bereich der Pflanzenöle als 2. Generation bezeichnet werden. Durch regenerativ gewonnenen Wasserstoff wird das Pflanzenöl katalytisch durch eine Kombination aus Hydrierung, Decarboxylierung und Isomerisierung zu einem Mix aus verzweigten und unverzweigten Alkanen im Bereich der Siedelinie des Dieselkraftstoffs (Abbildung 5-4) umgewandelt. Propan ist dabei ein kommerzielles Nebenprodukt (Abbildung 5-3).

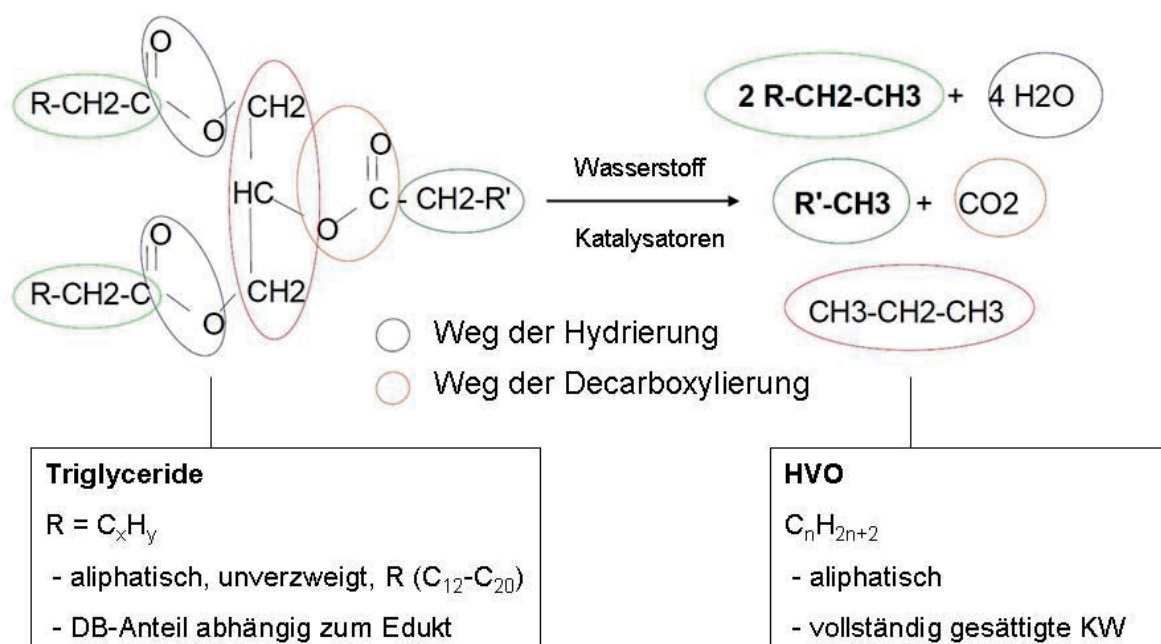


Abbildung 5-3: Reaktionsschema zur Herstellung von HVO (nach Oja, 2008)

Durch das Entfernen der Carboxygruppe und der Doppelbindungsanteile wird die Reaktivität im Vergleich zum Fettsäuremethylester deutlich reduziert. Problematische Oligomerbildungen, wie sie zuvor im Zusammenhang mit FAME-Kraftstoffen beschrieben wurden, sind daher ausgeschlossen. Durch die zusätzlich ablaufende Isomerisierung wird ein bestimmter Verzweigungsanteil und damit eine ausreichende Kältefestigkeit gewährleistet. Ein Aromatenanteil ist beim HVO im Gegensatz zum Dieselkraftstoff, bei dem dieser bis auf Werte von 25% ansteigen kann, nicht vorhanden. Dies führt jedoch dazu, dass die Beimischung von HVO bezogen auf die Dieselkraftstoffnorm DIN EN 590 nur in Hinblick auf die zu geringe Dichte begrenzt ist. Da die Produktion von Wasserstoff mit einem hohen Energieaufwand verbunden ist, ist es in Hinblick auf die Nachhaltigkeit notwendig, diese Energie aus regenerativen Quellen zur Verfügung zu stellen. Nur wenige Regionen sind dazu zurzeit in der Lage. Eine schnelle globale Einsatzmöglichkeit des Verfahrens ist daher unwahrscheinlich. Des Weiteren ist der in der Öffentlichkeit diskutierte Teller/Tank-Konflikt zu nennen. Da langfristig bei einer ansteigenden Weltbevölkerung global mit einem Rück-

gang urbarer Flächen zu rechnen ist, wird diese Problematik in Zukunft eher verschärft und durch die Abholzung von Regenwäldern zusätzlich beschleunigt. Folglich gibt es eine aktuelle Bestrebung auch Altöle und Algenöle als Ausgangsstoffe für die HVO- und Biodiesel-Produktion einzubeziehen (z.B. Diesel R33). Aufgrund der überzeugenden chemischen und physikalischen Eigenschaften wurde HVO als Kraftstoff für die Untersuchungen ausgewählt. Auf Algenöl bzw. auf Altöl basierende Kraftstoffe standen für das Projekt noch nicht zur Verfügung.

5.3 Kraftstoffe, die nicht auf Pflanzenöl basieren

Es ergibt sich langfristig die Notwendigkeit Kraftstoffe stärker unabhängig von Agrarprodukten zu synthetisieren. Aber auch kurzfristig steht in Hinblick auf die Ökobilanz eine effektivere Nutzung der ganzen Pflanze im Fokus. Neben der Holzverzuckerung kann auch bei Fischer-Tropsch-Prozessführung die komplette Biomasse und damit eingeschlossen der sonst nur schwer zugängliche Anteil an Lignocellulose für die Kraftstoffproduktion nutzbar gemacht werden.

5.3.1 Fischer-Tropsch-Kraftstoffe

Es gibt mehrere Wege zu einem regenerativen Kraftstoff. Nach der Entwicklung der Umesterung von Pflanzenölen zum Methylester kann die HVO-Strategie als nächster Schritt gesehen werden, bei dem durch gezielte Veränderung des Ausgangsprodukts ein in physikalischer und chemischer Hinsicht verbesserter Kraftstoff resultiert. Eine gänzlich andere Strategie bietet die Biomasse-Vergasung in Kombination mit der Fischer-Tropsch-Synthese. Der große Vorteil dieser Variante ist die Möglichkeit der Verwendung von biogenen Abfällen. Eine mögliche Konkurrenz im Ackerbau von „Teller und Tank“ kann auf diese Weise vermieden werden. Zuerst wird bei der Biomasse-Vergasung der Ausgangsstoff zu Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff, dem sogenannten Synthesegas, umgesetzt und damit im Gegensatz zu der alternativen Vorgehensweise quasi komplett zerstört. Anschließend erfolgt durch die katalysierte Fischer-Tropsch-Synthese (Gregor, 1990) ein erneuter Aufbau zu Produkten, die auch als Kraftstoff verwendet werden können. Mögliche Produktgruppen sind n-Alkane als thermodynamisches Produkt und damit als Hauptprodukt mit Kettenlängen von C_1 bis C_{20} (Anderson et al., 2004). Als kinetisches Produkt und damit als Nebenprodukt können 1-Alkene angesehen werden. Hierbei kann es auch im Verlauf des Prozesses noch zu Umlagerungen der Doppelbindung kommen. Mit einem Anteil von 15 Gewichtsprozent sind ferner die mono-methyl-verzweigten Alkane zu nennen. Mit Anteilen von deutlich unter zehn Gewichtsprozent stellen die sauerstoffhaltigen Verbindungen, hauptsächlich lineare Alkohole und Aldehyde, die kleinste Gruppe. Über die gezielte Veränderung von Reaktionsbedingungen und durch den Einsatz von Katalysatoren und Promotoren kann die Produktbildung zu Gunsten von Produktgruppen optimiert werden (Tabelle 5-2).

Tabelle 5-2: Möglichkeiten zur Beeinflussung der Produktselektivität; (+) Zunahme mit steigendem Parameter; (-) Abnahme mit steigendem Parameter; (~) keine eindeutige Abhängigkeit (Fachinformationszentrum Chemie GmbH, 2011)

	T	P _(gesamt)	P _(H₂)	P _(CO)	P _(H₂O)	Kalium
Methanselektivität	+	-	+	-	-	-
Kettenlänge	-	+	-	+	+	+
Olefinselektivität	~	~	-	+	+	+
Alkoholsekktivität	-	+				+
Kettenverzweigung	+	-	~	~	~	-
Katalysatoraktivität	+	+	+	~, -	~, -	-
Kohlenstoffabscheidung	+	~				-

Um die Reaktivität bezüglich Abbauprozessen wie im Fall der FAME-Kraftstoffe zu senken, wird häufig ähnlich wie bei HVO eine Hydrierung durchgeführt. Es resultiert dann ein Kraftstoff mit langkettigen gesättigten Alkanen mit Verzweigungsanteil. Als Beispiel für einen solchen Kraftstoff wurde ein GtL-Kraftstoff (engl.: Gas to Liquid) gewählt. Sowohl die physikalischen als auch die chemischen Eigenschaften zeigen deutliche Parallelen zu HVO. Dies lässt sich auch an den in großen Bereichen ähnlichen Siedeverläufen erkennen (Abbildung 5-4).

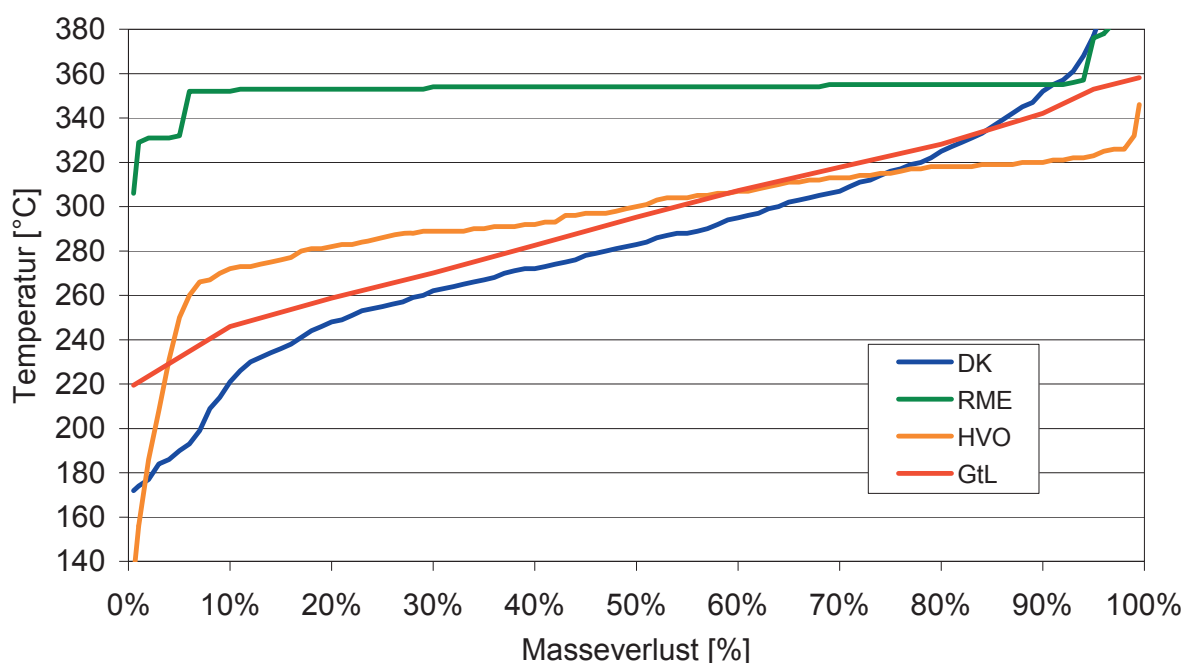


Abbildung 5-4: Siedeverläufe von DK, HVO, GtL und RME über SimDist-Verfahren

Der ausgewählte GtL-Kraftstoff hat wie HVO keinen Aromatenanteil und weist ähnliche Schwerpunkte der einzelnen Komponentengruppen im Bereich der Alkane und entsprechender Verzweigungsprodukte auf. Untersuchungen der Hochschule Coburg mit Gaschromatographie-Massenspektrometrie-Kopplung (GC-MS) deuten auf einen

geringeren Anteil an Verzweigungsprodukten für GtL hin, was eine Erklärung für den niedrigeren Wert für die Filtrierbarkeitsgrenze (CFPP-Wert) sein dürfte.

5.3.2 Ausgewählte Kohlenwasserstoffe und 1-Alkohole

Als Prototypen aus der Fischer-Tropsch-Synthese wurden die n-Alkane für eine nähere Untersuchung ausgewählt. Als wichtigstes Nebenprodukt wurden auch die 1-Alkene trotz der höheren Reaktivität gegenüber Alterungsprozessen in die Überlegungen einbezogen. Ferner wurden auch die 1-Alkohole genauer betrachtet. Ein Ansatz zur Lösung der bereits angesprochenen Problematik der alterungsbedingten Oligomerbildung bei FAME-Kraftstoffen kann im Einsatz von Stabilisatoren und Lösungsvermittlern liegen. Während Stabilisatoren durch das Abfangen von möglichen Radikalen die Oligomerbildung verhindern (Kalk, 2001), steigern Lösungsvermittler die Löslichkeit von bereits gebildeten Oligomeren in Blends. Da sie nicht als Katalysator wirken, ist ein Nachteil der Stabilisatoren die zeitlich begrenzte Wirksamkeit. Eigene Studien im Arbeitskreis deuten darauf hin, dass Fettalkohole als Lösungsvermittler ein großes Potenzial besitzen (Munack et al., 2012). Ermöglicht wird dieses Verhalten durch die polare Hydroxygruppe in Kombination mit dem unpolaren aliphatischen Rest. Neben anderen getesteten Alkoholen zeigte das 1-Octanol, welches über die Fischer-Tropsch-Synthese (Anderson, 1980) begrenzt zugänglich ist, besonders gute Ergebnisse.

Als physikalische Größen wurden für die Betrachtungen neben dem Flammpunkt, auch der Siedepunkt, das Dampfdruckverhalten und der Schmelzpunkt ausgewählt. Diese Größen sind gut zugänglich und besonders aussagekräftig im Hinblick auf wichtige Kriterien nach DIN EN 590 wie z.B. den Destillationsverlauf und die Filtrierbarkeitsgrenze (CFPP-Wert). Ferner wurde auch die Wasserlöslichkeit in die Überlegungen einbezogen, da durch die Polaritätssteigerung aufgrund einer Alkoholzugabe Einflüsse auf das Wasseraufnahmevermögen und damit zu dem nach DIN EN 590 limitierten Wassergehalt realistisch sind.

5.3.2.1 Schmelzpunkt-Betrachtung (Kohlenwasserstoffe und Alkohole)

Die Betrachtung der diversen Schmelzpunkte (Abbildung 5-5) zeigt, welche Substanzen schon bei Raumtemperatur Feststoffe sind. Sie sind dann nur bedingt als Beimischungskomponenten geeignet. Ferner deutet ein erhöhter Schmelzpunkt auch auf eine Absenkung der Temperaturstabilität bei tiefen Temperaturen hin in Anlehnung an die Filtrierbarkeitsgrenze (CFPP-Wert).

Die Schmelzpunkte der 1-Alkene sind deutlich niedriger als die der entsprechenden n-Alkane. Ein Einsatz der 1-Alkene als Kraftstoffkomponente scheint in dieser Beziehung unproblematisch. Der Einsatz höherer n-Alkane ist jedoch deutlich begrenzt. Bereits n-Tetradecan hat einen Schmelzpunkt oberhalb von 0 °C.

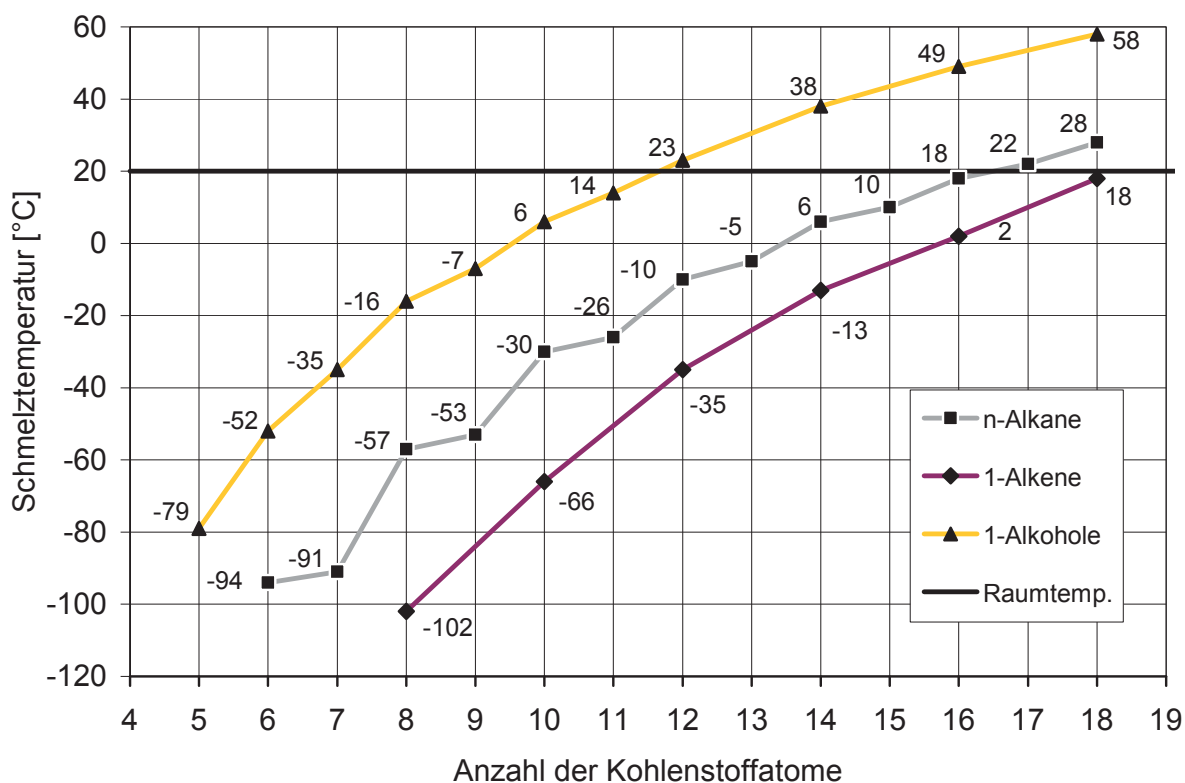


Abbildung 5-5: Schmelzpunkte der n-Alkane, 1-Alkene, 1-Alkohole ergänzt durch die Raumtemperatur von 20 °C (Merck, 2012)

Bei n-Octadecan liegt er sogar oberhalb der Raumtemperatur. Die 1-Alkohole haben noch einmal bezüglich der n-Alkane deutlich höhere Schmelzpunkte. Hier ist bereits der Schmelzpunkt des 1-Decanols oberhalb von 0 °C und der Schmelzpunkt des 1-Dodecanols oberhalb der Raumtemperatur. Auch die bereits angesprochenen Verzweigungsprodukte (Barat, 1971) der Fischer-Tropsch-Synthese sind vielversprechend, da sie bedingt durch die Struktur im Gegensatz zu den langkettigen unverzweigten Stoffgruppen deutlich niedrigere Schmelzpunkte besitzen. Da sie jedoch systematisch und kommerziell nur schwer zugänglich sind, konnten sie in diese Art der Betrachtung nicht einbezogen werden. Es wurde jedoch mit Isocetan (2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonan) eine Substanz gewählt, die die Erforschung des Einflusses von Verzweigung (Akihama et al., 2003; Nakakita et al., 2005) im Bereich der späteren Emissionsuntersuchungen ermöglichen soll.

5.3.2.2 Siedepunkt-Betrachtung (Kohlenwasserstoffe und Alkohole)

Die Betrachtung der Siedepunkte der angesprochenen Gruppen (Abbildung 5-6) ermöglicht die Abschätzung ihres Verhaltens bezüglich des Siedeverlaufs in Mehrkomponentenkraftstoffen. Ausgerichtet an der Siedelinie des Referenzdieselmotorkraftstoffs (DK) ist dann eine gezielte Auswahl einzelner Komponenten möglich, die ein Erreichen des DIN EN 590-Kriteriums zum Siedeverlauf wahrscheinlich macht.