

Einführung synthetischer Kraftstoffe in NRW am Beispiel GTL

Anwendungspotenziale, ökologische, energiewirtschaftliche
und industriepolitische Implikationen,
Entwicklungsstufen und resultierende Chancen



Kurzfassung

Vorwort

In den kommenden Jahren wird der Bedarf an zukunftsfähigen Kraftstoffen sowie einer Diversifizierung der Energie-Rohstoffe stetig zunehmen. Der Verkehrssektor ist wie kein anderer Bereich mit über 90 % fast vollständig von einem Energieträger, Erdöl, abhängig. Die Herausforderungen im Verkehr sind vielfältig: neben dem Klimawandel und der Notwendigkeit zur Reduktion von Treibhausgasen, besteht Handlungsbedarf in Bezug auf die lokale Luftreinhaltung. Zudem lassen auch die weiter anhaltenden Preissteigerungen als Folge der Verknappung der Ressource Erdöl, sowie die zunehmende Sorge um Lieferengpässe aufgrund der geopolitischen Lage der Vorkommen den Ruf nach alternativen Kraftstoffen laut werden.

Eine Vielzahl dieser alternativen Kraftstoffe wird derzeit intensiv diskutiert: angefangen bei den Biokraftstoffen der ersten Generation als kurzfristiger Option zur Diversifizierung der Rohstoffbasis, bis hin zur langfristigen Umstellung des Verkehrssektors auf Wasserstoff. Zwischen beiden Optionen bieten synthetische Kraftstoffe unter dem Oberbegriff XTL die Chance, schon mittelfristig einen Beitrag zur Kraftstoffversorgung zu leisten.

In der vorliegenden Screening-Studie werden zum Thema „Einführung synthetischer Kraftstoffe in Nordrhein-Westfalen“ relevante Entscheidungsgrößen auf verschiedenen Ebenen der Energie-, Klima- und Industriepolitik in NRW aufgearbeitet und bewertet. Das Projekt im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Energie (MWME) des Landes Nordrhein-Westfalen leistet damit einen Beitrag zur Einschätzung des Potenzials und der Effekte, die durch GTL in und für NRW erzielt werden können. Die Untersuchungen sind vom Wuppertal Institut in Kooperation mit der FEV Motorentechnik GmbH und dem Institut für Verbrennungskraftmaschinen der RWTH Aachen durchgeführt worden. Das Projekt ist dabei durch die Shell International Petroleum Co Ltd und die RWE Power AG unterstützt worden.

Wuppertal, Aachen, November 2008

Dipl.-Ing. Karin Arnold (Koordination)
Dr.-Ing. Manfred Fishedick
Dr. Karl-Otto Schallaböck

Wuppertal Institut

für Klima Umwelt Energie

Postfach 100 480, 42004 Wuppertal
Tel.: +49 (0)202 2492 286 (Fax: 198)
Email: karin.arnold@wupperinst.org

Dipl.-Ing. Andreas Janssen
Dr.-Ing. Christoph Bollig
Dr.-Ing. Matthias Lamping

FEV Motorentechnik

Institut für Verbrennungskraftmaschinen RWTH Aachen

Schinkelstr.8; D-52062 Aachen
Tel. +49 (241) 80 -98362 (-92630 Fax)
E-Mail: janssen@vka.rwth-aachen.de

1	EINLEITUNG	1
1.1	Was ist eigentlich GTL?.....	1
1.2	Leitfragen im Projekt.....	2
2	IN WELCHEM RAHMEN LÄSST SICH DIE BEREITSTELLUNG VON GTL DARSTELLEN?	3
2.1	CO ₂ -Emissionen: Trägt GTL zum Klimaschutz bei?.....	3
2.2	Potenziale und Kapazitäten:	
	wie viel GTL kann dem Markt zur Verfügung stehen?	4
2.3	Wirtschaftlichkeit: welche Produktkosten und -preise können erwartet werden?...6	
3	FAHRZEUGPERFORMANCE: MINDERUNG LOKALER SCHADSTOFFE DURCH DEN EINSATZ VON GTL	8
4	GTL IN NRW: ERSTE EINSATZBEREICHE	11
4.1	Identifizieren von Erstanwender – Flotten.....	11
4.2	Mengengerüst GTL	12
4.3	Lokale Schadstoffreduktion	13
5	AKTEURSANALYSE: WELCHE AKTEURE PROFITIEREN IN NRW UND IM INTERNATIONALEN KONTEXT?	15
5.1	Beitrag von GTL zur Energie- und Klimaschutzstrategie Nordrhein-Westfalens..	15
5.2	Blick über die Grenze: internationale Kooperationsmöglichkeiten.....	16
6	ALTERNATIVEN ZU GTL: ELEKTROFAHRZEUGE UND XTL	17
6.1	XTL-Kraftstoffe auf Basis von Biomasse und Kohle: Vergleich zu GTL und konventionellem Diesel	17
6.2	Batteriebetriebene Elektroantriebe	18
7	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	20
8	LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS	22

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1: Well-to-Wheel Emissionen von GTL und konventionellen Kraftstoffen im Vergleich	4
Abbildung 2-2: Derzeitige und zukünftige erwartete Produktionskapazität von GTL im Vergleich zum Dieselabsatz in Deutschland und NRW.....	5
Abbildung 2-3: Gegenüberstellung der technischen Produktionskosten und Marktpreise „ab Rotterdam“ von GTL und konventionellem Diesel	7
Abbildung 3-1: Emissionsminderungspotenziale der relevanten Luftschadstoffe für Nutzfahrzeuge mit der Zertifizierungsstufe Euro III	8
Abbildung 3-2: Vergleich der Applikationsstrategien für GTL- und dieselbetriebene Fahrzeuge nach Bosch /18/.....	10
Abbildung 4-1: Mengengerüst GTL: Ermittelte Nachfrage aus den betrachteten Anwendungsfällen in den Regionen Rhein-Ruhr und Rhein-Sieg	12
Abbildung 4-2: Graphische Darstellung möglicher Erst- Einsatzbereiche und potentielle Nachfrage an GTL in NRW.....	12
Abbildung 4-3: Relative Emissionsminderungen für Partikel.....	13
Abbildung 4-4: Relative Emissionsminderungen für Stickoxide	14
Abbildung 6-1: Well-to-Wheel Emissionen an Treibhausgasen der XTL-Kraftstoffe im Vergleich	17
Abbildung 6-2: Bereitstellungskosten der XTL-Kraftstoffe im Vergleich	18

1 Einleitung

In den kommenden Jahren wird der Bedarf an zukunftsfähigen Kraftstoffen und einer Diversifizierung der Energie-Rohstoffe stetig zunehmen. Der Verkehrssektor ist wie kein anderer Bereich mit über 90 % fast vollständig von einem Energieträger, Erdöl, abhängig. Weiter anhaltende Preissteigerungen als Folge der Verknappung dieser Ressource, sowie die zunehmende Sorge um Lieferengpässe aufgrund der geopolitischen Lage der Vorkommen lassen den Ruf nach alternativen Kraftstoffen laut werden.

Neben diesen Aspekten der Kraftstoffbereitstellung müssen auch Fragestellungen im Zusammenhang mit der Nutzung von Kraftstoffen berücksichtigt werden. Hier sind vor allem die Herausforderungen durch den Klimawandel und die Notwendigkeit zur Reduktion von Treibhausgasen sowie Handlungsbedarf in Bezug auf die lokale Luftreinhaltung zu nennen. Dieser letztgenannte Aspekt ist einer der wesentlichen Treiber für die Weiterentwicklung möglichst sauberer Verbrennungs-, sowie Abgasbehandlungsverfahren. Die Entwicklung von sauber verbrennenden Kraftstoffen, so genannten Designer-Kraftstoffen gehört in diesen Forschungsbereich: mittels Verfahren wie z.B. der Fischer-Tropsch-Synthese bietet sich die Chance, synthetische Kraftstoffe mit definierten Eigenschaften zu produzieren, die optimal an die Anforderungen im Motor angepasst werden können.

1.1 Was ist eigentlich GTL?

Eine Vielzahl an alternativer Kraftstoffe wird derzeit intensiv diskutiert: angefangen bei den Biokraftstoffen der ersten Generation als kurzfristiger Option zur Diversifizierung der Rohstoffbasis, bis hin zur langfristigen Umstellung des Verkehrssektors auf Wasserstoff. Zwischen beiden Optionen bieten synthetische Kraftstoffe unter dem Oberbegriff XTL die Chance, schon mittelfristig einen Beitrag zur Kraftstoffversorgung zu leisten. Zur Herstellung kann eine breite Palette an Rohstoffen genutzt werden:

- BTL = Biomass-to-Liquid auf Basis von Biomasse
- GTL = Gas-to-Liquid auf Basis von Erdgas
- CTL = Coal-to-Liquid auf Basis von Kohle

Unabhängig vom Einsatzstoff sind dabei die Endprodukte aus der Fischer-Tropsch (FT)–Synthese in ihrer Zusammensetzung identisch. Aufgrund der Unterschiede der eingesetzten verschiedenen Rohstoffe sind mit dem jeweils produzierten Kraftstoff aber – betrachtet über die gesamte Erzeugungs- und Nutzungskette – dennoch unterschiedliche Vor- und Nachteile verbunden: Potenziale, Kosten und Treibhausgas- (THG) Emissionen der drei Prozesse sind stark unterschiedlich zu bewerten.

Unter den XTL-Optionen ist GTL diejenige, die kurz- bis mittelfristig das höchste Marktpotenzial aufweist. Bereits heute sind Anlagen im großtechnischen Maßstab realisiert worden, wie z.B. an einem Standort der Shell AG in Bintulu (Malaysia). Weitere Anlagen sind etwa in Qatar im Bau. Die Rahmenbedingungen und Effekte, die mit BTL und CTL verbunden sind, werden im Rahmen des Projekts nur knapp betrachtet; der Fokus der Untersuchung liegt auf GTL.

1.2 Leitfragen im Projekt

Die vorliegende Arbeit leistet einen Beitrag zu der Einschätzung, in wie weit GTL als alternativer Kraftstoff einen Baustein im zukünftigen Kraftstoffmix in Nordrhein-Westfalen darstellen kann. Die Untersuchung orientiert sich dabei an folgenden Fragestellungen:

- Welche Effekte (THG Minderung, Kosten) können durch die Bereitstellung von GTL erzielt werden und wie hoch sind die Erzeugungspotenziale (Kap.2)?
- Welche Effekte können durch die Umsetzung im Motor erreicht werden (Kap. 3)?
- Wo in NRW sind aussichtsreiche Erst-Einsatzbereiche für den Einsatz von GTL (Kap.4)?
- Welche Akteure profitieren in NRW und im internationalen Kontext von einer Markteinführung (Kap.5)?
- Welche Alternativen und Ergänzungen gibt zu GTL (Kap.6)?
- Welche Implikationen ergeben sich für NRW (Kap.7)?

Bei der Untersuchung steht die Berücksichtigung der besonderen Position von Nordrhein-Westfalen als Energieland Nr. 1 und Technologiestandort immer im Fokus.

2 In welchem Rahmen lässt sich die Bereitstellung von GTL darstellen?

Die Herausforderungen, denen es sich im Bereich der alternativen Kraftstoffe zu stellen gilt, sind vielfältig: so besteht in den Bereichen sowohl des Klima-, als auch des Umweltschutzes dringender Handlungsbedarf. Aber auch die hohe Abhängigkeit von Importen sowie die starken Preissteigerungen sind wichtige Treiber bei der Suche nach Alternativen und Ergänzungen zu den bestehenden konventionellen Kraftstoffen.

In den folgenden Abschnitten 2.1 bis 2.3 werden die Effekte der Bereitstellung des Kraftstoffs GTL in Bezug auf die Klimawirksamkeit, die zu erwartenden Produktionspotenziale als Maß für die mengenmäßige Bedeutung des Kraftstoffs, sowie bezüglich der Kosten der Produktion und erwartbare Marktpreise dargestellt. Im anschließenden Kapitel 3 werden die Auswirkungen auf den lokalen Umweltschutz durch die verbesserte Verbrennung im Motor aufgearbeitet.

2.1 CO₂-Emissionen: Trägt GTL zum Klimaschutz bei?

Mit der Bereitstellung von GTL sind – wie bei annähernd jedem technischen Prozess – Emissionen von Treibhausgasen durch den Einsatz von (fossiler) Energie verbunden. Wird in einem ersten Schritt nur die Bereitstellung des Kraftstoffs (*Well-to-Tank*) betrachtet, wird deutlich, dass dieser Abschnitt der gesamten Prozesskette verglichen mit der Bereitstellung von konventionellem Diesel mit den rund 1,6 fachen Emissionen verbunden ist [CONCAWE/EUCAR, 2007; Shell/Sasol, 2008].

Um zu einer umfassenden Bewertung der Treibhausgasemissionen durch den Einsatz von GTL-Kraftstoff zu gelangen, müssen aber neben den Emissionen aus der Bereitstellung auch die Effekte durch die Verbrennung im Motor betrachtet werden. Es wird daher an dieser Stelle auf die Ergebnisse der *Tank-to-Wheel* Betrachtung vorgegriffen, soweit sie den Verbrauch an Kraftstoff und den damit einher gehenden CO₂-Ausstoß (als hier einzigem relevanten Treibhausgas) betreffen. Weitere Ausführungen zum Vorgehen der Untersuchung und der Erkenntnisse bezüglich der sonstigen Luftschadstoffe finden sich im folgenden Kapitel 3.

Aus verschiedenen Studien wurden die Einsparpotenziale von GTL-Kraftstoff für die relevanten Emissionen zusammengetragen. Die Möglichkeiten durch motorseitige Veränderungen der Hardware wurden dabei nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigen, dass

- der Kraftstoffverbrauch infolge des geringeren volumetrischen Heizwertes von GTL gegenüber konventionellem Diesel um ungefähr 2 % ansteigt;
- die CO₂ Emissionen im Fahrzeug aufgrund des günstigeren H/C Verhältnisses von GTL im Vergleich zu konventionellem Diesel aber um 3 % - 5 % reduziert werden können.

Die zusammenfassende *Well-to-Wheel* Betrachtung basiert auf dem Mittelwert von 4 % und Einsatz in Mittelklasse-Fahrzeugen (Angenommener Stand der Technik: 2010, nach [CONCAWE/EUCAR, 2007]). Dabei ist für den Betrieb mit konventionellem Diesel ein Fahr-

zeug mit Dieselpartikelfilter (DPF) gewählt worden, während angenommen wird, dass diese Ausstattung bei Betrieb mit GTL nicht notwendig ist (siehe Kapitel 3).

Die Well-to-Wheel Ergebnisse sind in Abbildung 2-1 veranschaulicht: GTL-Kraftstoff leistet keinen Beitrag zum Klimaschutz durch Reduktion von CO₂-Emissionen. Allenfalls durch die Zukunfts-Option GTL inklusive *Carbon Capture & Storage* (CCS) können die Treibhausgasemissionen im Vergleich zu konventionellem Diesel gesenkt werden. Zum Thema CCS finden sich ausführliche Informationen z.B. bei [Fischedick et. al, 2007].

Ebenfalls wird deutlich, dass die Umsetzung im Motor, über die gesamte Kette betrachtet, einen weit größeren Einfluss auf die Gesamtbilanz hat als die Kraftstoffbereitstellung. Potenziell können daher weitere Verbesserungen der gesamten Bilanz durch den Einsatz in angepassten Motor erzielt werden. Im Rahmen der vorliegenden Studie konnten diese nicht näher betrachtet werden.

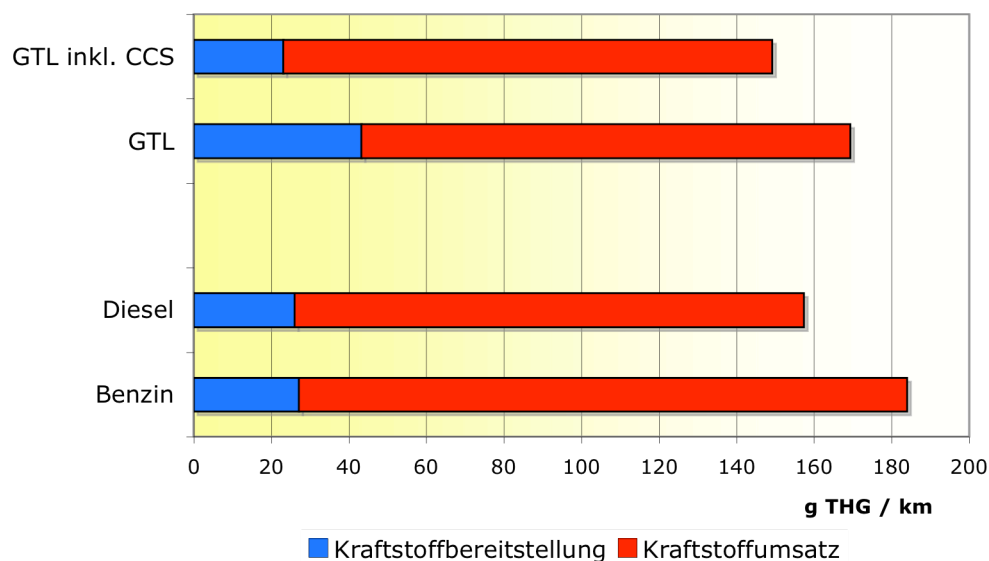


Abbildung 2-1: Well-to-Wheel Emissionen von GTL und konventionellen Kraftstoffen im Vergleich

2.2 Potenziale und Kapazitäten: wie viel GTL kann dem Markt zur Verfügung stehen?

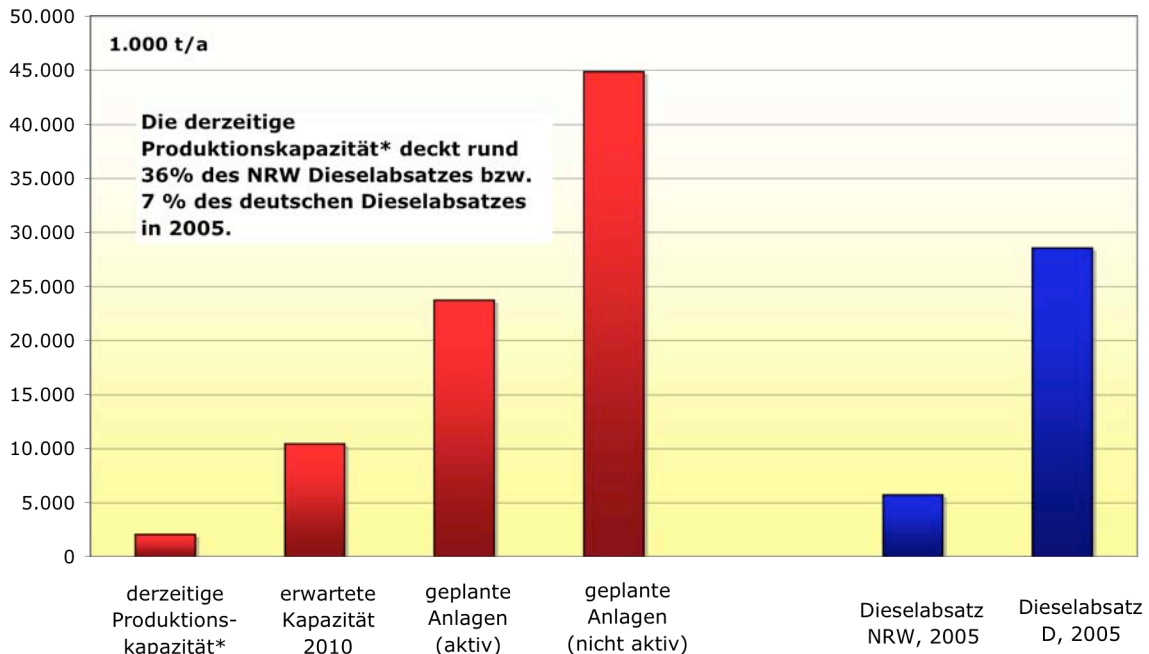
Der Rohstoff Erdgas, aus dem GTL hergestellt wird, ist eine fossile und damit endliche Ressource. Die Diskussion um die Reichweite und Verfügbarkeit von Erdgas wird durchaus kontrovers geführt und ist auch aufgrund der Datenlage teils noch mit Unsicherheiten behaftet: während z.B. nach [BGR, 2006] oder [BP, 2008] erhebliche Reserven an Erdgas bis über die Hälfte unseres Jahrhunderts hinaus prognostiziert werden, ist laut [Laherre, 2004] und [Zittel & Bünger, 2008] das Fördermaximum schon überschritten.

Um das Potenzial an GTL-Kraftstoff abzuschätzen, dass kurz- bis mittelfristig zur Verfügung stehen kann, sind aber nicht so sehr die Reserven an Erdgas der ausschlaggebende Faktor, als vielmehr die technische Produktionskapazität von GTL-Anlagen. Als großmaßstäbliche Technik erfordert der Aufbau einer neuen Produktionsstätte einen erheblichen finanziellen

und zeitlichen Aufwand. Zudem ist die Technik der Fischer-Tropsch-Synthese als wesentlichem Bestandteil der XTL-Produktion weltweit in den Händen weniger Akteure. Aus diesen Gründen ist die Untersuchung der weltweit bestehenden, im Bau befindlichen sowie der geplanten Produktionsanlagen ein wichtiges Indiz für die Mengen an GTL, die in den kommenden Dekaden erwartet werden können.

In der Vergangenheit sind verschiedene Verfahren der Fischer-Tropsch-Synthese entwickelt worden, die sich grob nach der Betriebstemperatur in Hoch- und Niedertemperatur-Verfahren einteilen lassen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird ausschließlich die Niedertemperatur-Synthese betrachtet, da die Schlüsselprodukte der Hochtemperatur-Synthese Chemikalien sind, Kraftstoff dagegen eher als Nebenprodukt einzustufen ist.

Eine Aufstellung der weltweiten GTL-Anlagen in den unterschiedlichen Stadien der Produktion und Planung findet sich bei [PEFC, 2008]. Abbildung 2-2 stellt die derzeitige und zukünftige erwartete Produktionskapazität an GTL in kumulierter Form dar: die derzeitige Kapazität wird vor allem aus der Shell Anlage in Bintulu (Malaysia) und der Sasol Anlage Oryx (Quatar) gebildet. Zusätzlich wird in Südafrika GTL in Hochtemperaturverfahren produziert, das – wie oben dargelegt – in diesem Zusammenhang allerdings nicht betrachtet wird. Unter der Bezeichnung „erwartete Kapazität 2010“ sind sowohl die derzeit bestehenden Anlagen aufgeführt, als auch die, die nach Angaben der Betreiber bis 2010 in Betrieb genommen werden sollen. Dabei handelt es sich vor allem um das Shell Projekt „Pearl“ in Quatar sowie das Sasol-Chevron Projekt „Escravos“ in Nigeria.



* Nicht berücksichtigt: Hochtemperatur-Synthese in Südafrika, da keine Kraftstoff-Produktion

Abbildung 2-2: Derzeitige und zukünftige erwartete Produktionskapazität von GTL im Vergleich zum Dieselabsatz in Deutschland und NRW

Unter „geplante Anlagen (aktiv)“ sind die Anlagen gelistet, die im aktiven Planungsstatus sind, während „geplante Anlagen (nicht aktiv)“ zusätzlich die Projekte auflistet, die derzeit nicht aktiv verfolgt werden. Insbesondere diese Zahl der letztgenannten Projekte (nicht im

aktiven Planungsstatus) ist auffällig hoch. Das ist darin begründet, dass eine Vielzahl von Projekten angedacht und auch begonnen worden ist, bevor die tatsächliche technische und wirtschaftliche Machbarkeit endgültig bewiesen worden ist. Das technische Upscaling von kleineren Anlagen wie Bintulu auf die Größenordnung von Pearl oder Oryx II ist nach heutigem Stand zwar abgeschlossen, trotzdem werden beide Projekte insbesondere bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit genau beobachtet, bevor an anderen Standorten weitere Investitionsentscheidungen fallen.

Verglichen mit dem Dieselaussatz in NRW im Jahr 2005 [MWV, 2008] (abgeschätzt mit einem Fünftel des deutschen Bedarfs), beträgt die derzeitige globale Produktionskapazität also rund ein Drittel. Wird die Kapazität wie erwartet bis 2010 ausgeweitet, könnte der Bedarf an Dieselmotorkraftstoff in NRW (bei alleiniger Abnahme des produzierten GTL-Kraftstoffs) theoretisch zu 180 % gedeckt werden. Für den zunächst vorgesehenen Einsatz in Nischenanwendungen ist die derzeitige Produktionskapazität damit ausreichend.

2.3 Wirtschaftlichkeit: welche Produktkosten und -preise können erwartet werden?

Die Wirtschaftlichkeit eines neuen Produktes ist für alle potenziellen Neuanwender von wesentlicher Bedeutung und wird daher im Folgenden kurz abgeschätzt. Dabei ist sorgfältig nach Kosten und Preisen zu unterscheiden: die technischen Produktkosten von GTL beziehen sich auf die reine Umwandlung des Rohstoffs Erdgas in den flüssigen Kraftstoff. Neben den reinen Erzeugungskosten entstehen Aufwendungen für die Infrastruktur und Verteilung des Kraftstoffs in und nach NRW. Diese sind vereinfachend in einem ersten Schritt ebenso wenig berücksichtigt worden wie die Vermarktung von Koppelprodukten aus der Fischer-Tropsch-Synthese (Grundöle, Wachse, etc.)

Die Betrachtung beruht vor allem auf den technischen Daten von GTL-Anlagen [DB, 2008; Shell/Sasol, 2008; Vliet, Faaji&Turkenburg 2007; Boerringter, 2006; Chemlink, 1997] sowie einer Abschätzung der Erdgaskosten nach [Supersberger, 2007; Clingendael, 2004; IELE, 2003]. In einer Sensitivitätsberechnung stellt sich heraus, dass die Kapital- und Betriebskosten einen leicht höheren Einfluss auf die Produktkosten haben als die Rohstoffkosten. Dieses Verhältnis ist bei der Produktion von konventionellem Kraftstoff umgekehrt, was auf das komplexere Verfahren der Fischer-Tropsch-Synthese im Vergleich zu einer konventionellen Raffinerie zurückzuführen ist.

Das kann auch aus Abbildung 2-3 gefolgert werden: hier sind auf der linken Seite die technischen Produktkosten von GTL und konventionellem Diesel einander gegenübergestellt. Es ist allerdings zu beachten, dass diese Berechnungen nur zu einem überschlägigen Vergleich dienen können, da für die Kosten der Förderung von Rohöl ein weltweiter Durchschnitt von rund 25 US\$/bbl angesetzt worden ist [BP, 2008]. Abhängig von den Förderregionen schwankt dieser Wert von ca. 14 US\$/bbl im Mittleren Osten bis zu 47 US\$/bbl in westlichen Ländern [BP, 2008], was für einen Vergleich von GTL und konventionellem Diesel ebenfalls beachtet werden muss. Für alle ökonomischen Berechnungen ist der Bezugszeitraum Ende 2007 angesetzt worden. Eine ökonomische Analyse der Chancen und Risiken der Pearl GTL Anlage durch [DB, 2008] zeigt, dass steigende Rohölpreise die Wirtschaftlichkeit von GTL positiv beeinflussen – erst unterhalb eines Spotmarktpreises von 40 US\$/bbl Rohöl ist die Produktion von GTL nicht mehr ökonomisch rentabel.

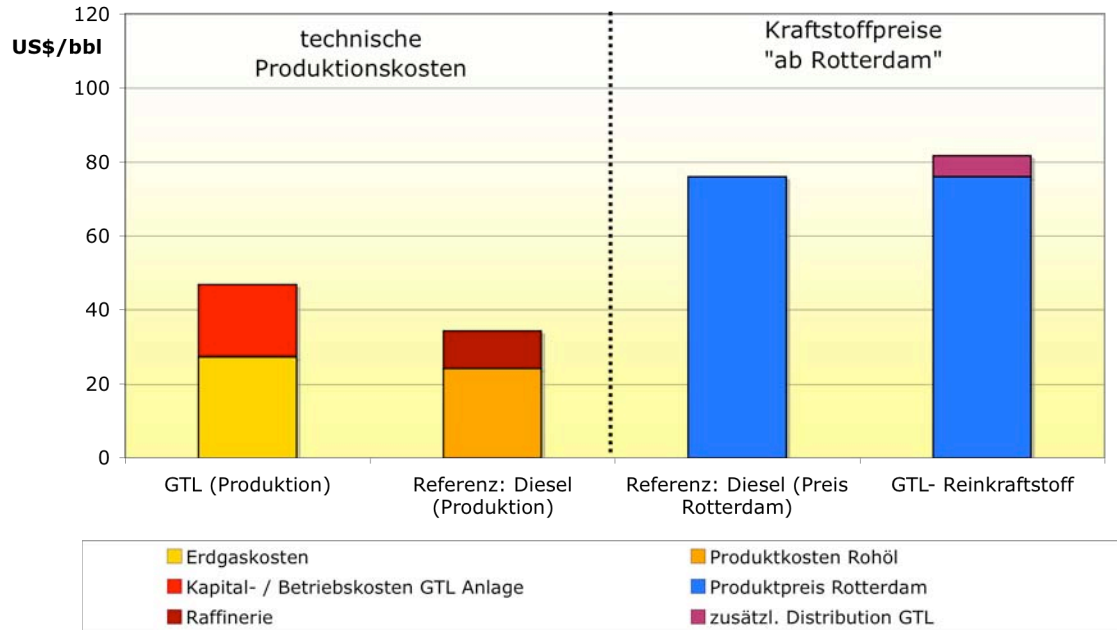


Abbildung 2-3: Gegenüberstellung der technischen Produktionskosten und Marktpreise „ab Rotterdam“ von GTL und konventionellem Diesel

Die technischen Produktkosten sind aber nicht ausschließlich bestimmend für den Preis, zu dem das Produkt angeboten wird. Für den europäischen Markt sind die Preise in Rotterdam als wichtigstem europäischem Umschlagplatz für alle Kraftstoffe ausschlaggebend. Einen Hinweis auf die zu erwartenden Preise, die auch für GTL-Kraftstoff zu zahlen sein werden, gibt daher der Preis für konventionellen Diesel, der eine Untergrenze auch für andere, alternative Kraftstoffe setzt. Nach [BP, 2008] sind gegen Ende des Jahres 2007 in Rotterdam rund 76 US\$/bbl gezahlt worden.

Wird GTL in Europa auf den Markt gebracht, sind Aufwendungen für die zusätzlich erforderliche Distribution zu zahlen. Diese richten sich in der Höhe danach, ob der Kraftstoff „pur“ oder als Beimischung angeboten werden soll, sowie in welchen Mengenströmen er gehandelt wird. Die Distributionskosten sind entsprechend für geringe Mengenströme an reinem GTL am höchsten.

Die Bandbreite der zu erwartenden Kosten werden von [Shell, 2008] mit 5 – 10 % der Referenzpreise angegeben. Da nähere Angaben zu Angebotsform und Menge in NRW zu diesem Zeitpunkt noch nicht vorliegen, ist mit dem mittleren Wert gerechnet worden. Die Kraftstoffpreise „ab Rotterdam“ sind auf der rechten Seite von Abbildung 2-3 dargestellt.

3 Fahrzeugperformance: Minderung lokaler Schadstoffe durch den Einsatz von GTL

Zur Bewertung des Potenzials von GTL Dieselkraftstoff auf die motorischen Eigenschaften, insbesondere auf das Emissionsverhalten unterschiedlichster Fahrzeugklassen, wurde eine Vielzahl an Literaturstudien ausgewertet. Der Fokus lag dabei auf den beschriebenen Effekten verschiedener Feldtest mit GTL in allen Euro Stufen, sowohl im Bereich der Personenkraftwagen als auch im Nutzfahrzeugsektor.

Die Studien liefern dabei ein Band an Ergebnissen, die sich hinsichtlich der motorischen Potenzialbewertungen teilweise unterscheiden. Die Ursachen hierfür liegen neben den natürlichen Streuungen bei experimentellen Messungen an der Verwendung verschiedener Hardware sowie an unterschiedlichen Abstimmungen der Fahrzeuge. Für die Weiterberechnung ist daher neben der Angabe einer minimalen und maximalen Emissionsminderung die Ausweisung eines statistischen Mittels sinnvoll. Insbesondere für den Bereich der Nutzfahrzeuge gilt, dass nur wenige Daten verfügbar sind.

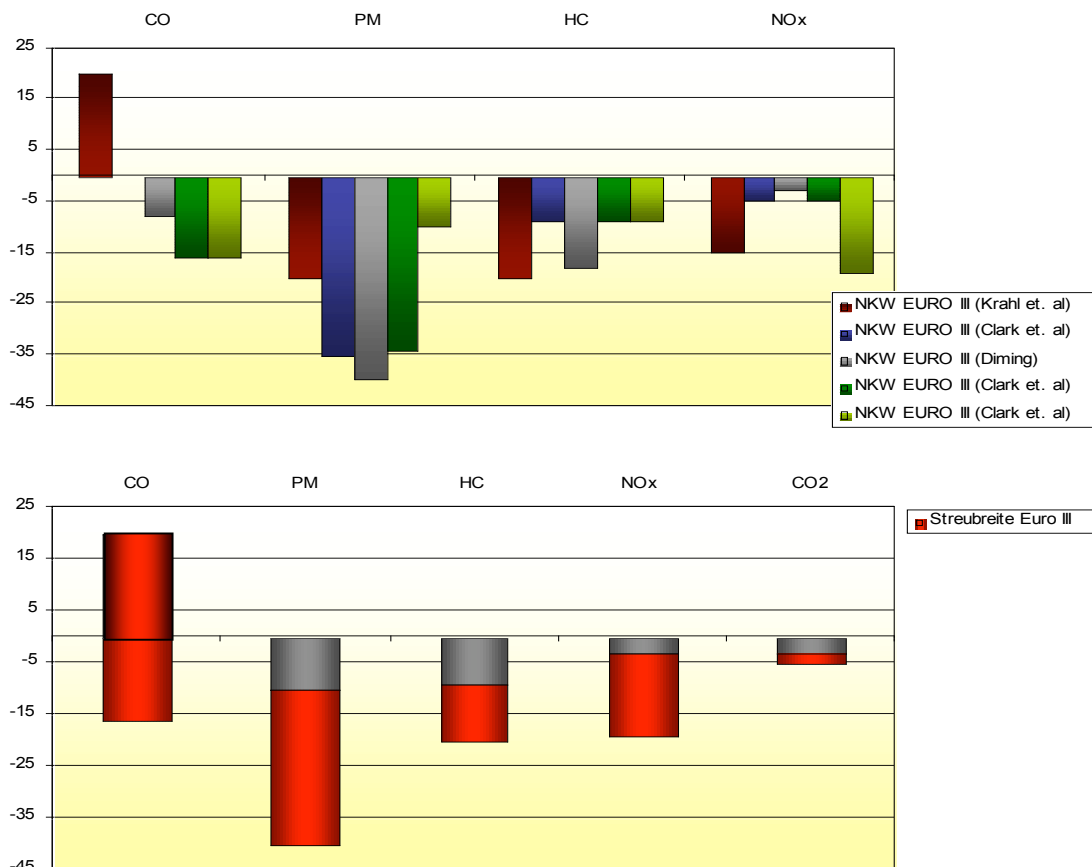


Abbildung 3-1: Emissionsminderungspotenziale der relevanten Luftschadstoffe für Nutzfahrzeuge mit der Zertifizierungsstufe Euro III

Die in dieser Studie präsentierten Ergebnisse beziehen sich auf Fahrzeuge, deren Brennverfahren nicht auf den GTL Dieselkraftstoff abgestimmt wurden. Ein zusätzliches Potenzial für speziell angepasste Motoren wird dadurch noch nicht berücksichtigt. Beispielhaft sind in

Abbildung 3-1 die Emissionsminderungspotenziale für die relevanten Luftschadstoffe für Nutzfahrzeuge mit der Zertifizierungsstufe Euro III dargestellt. Hervorzuheben ist das um bis zu 40 % geringere Emissionsniveau bei den Partikelemissionen. Eine Gewichtung der Studien führt hierbei zu einem Mittelwert von 28 %. Auch bei den Stickoxidemissionen ist ein Reduktionspotenzial von 17 % auszumachen. Ebenfalls abgebildet ist das aus den Studien resultierende Streuband für diese Fahrzeug- und Emissionsklasse.

Durch verbesserte Abgasnachbehandlungssysteme fallen die Emissionsminderungspotenziale von GTL (verglichen mit Diesel), über den verschiedenen Zertifizierungsstufen der Fahrzeuge unterschiedlich aus. Die Potenziale der Rohemissionen verhalten sich jedoch ähnlich. Insgesamt können durch den Einsatz von GTL ohne motorseitige Veränderungen folgende Effekte bei Nutzfahrzeugen und Bussen erreicht werden:

- Die Partikelemissionen können bei Fahrzeugen ohne Dieselpartikelfilter um bis zu 30 % reduziert werden, bei einer Bandbreite von 10 – 40 %. Bei der Evaluierung der Ergebnisse sollte berücksichtigt werden, dass Partikel und Stickstoffemissionen einander beeinflussen und bei Serienfahrzeugen dieses Verhältnis werksseitig eventuell anders eingestellt wird.
- Die Stickoxidemissionen bewegen sich bei einem Einsatz von GTL-Kraftstoff um bis zu 25 % unterhalb des Dieselniveaus.
- GTL Kraftstoff kann den Geräuschpegel um bis zu 2 dB, abhängig vom Motorbetriebspunkt reduzieren.

Zur Einhaltung der in den letzten Jahren vom Gesetzgeber geforderten strengen Regulierung der Partikelemissionen sind Fahrzeughersteller gezwungen, in allen ihren mit Diesel betriebenen Fahrzeugen ab Euro V einen Dieselpartikelfilter (DPF) einzubauen. Dadurch emittieren neuere Fahrzeuge faktisch keine Russpartikel mehr. Dementsprechend bezieht sich die Emissionsminderung bei den Partikeln infolge der Verwendung von GTL nur auf Fahrzeuge, die nicht mit einem DPF ausgerüstet sind. Trotzdem birgt synthetischer GTL Kraftstoff auch oder gerade eben bei diesen Fahrzeugen ein hohes Potenzial. Durch eine längerfristige Optimierung von Fahrzeugen mit GTL können sowohl das Brennverfahren als auch die komplexe Abgasnachbehandlung an den Kraftstoff angepasst werden. Dies kann sowohl auf der Software als auch auf der Hardwareseite geschehen. In Abbildung 3-2 ist beispielhaft eine mögliche Applikationsstrategie für ein auf GTL Kraftstoff umgerüstetes Fahrzeug dargelegt. Bereits durch Verwendung von GTL Kraftstoff sinken sowohl die Partikel- (von 0.09 auf 0.05 g/kWh) als auch die Stickoxidemissionen (von 4.5 auf 4.0 g/kWh). Eine Rekalibrierung auf Euro IV führt bei gleichem Partikelniveau zu deutlich geringeren Stickoxidemissionen (8.5 im Vergleich zu 5.5 g/kWh). Durch den Einsatz von Systemen zur Stickoxidreduzierung kann bei Verwendung von GTL das Euro V Niveau erreicht werden, während die gleiche Abgasnachbehandlung bei Diesel nur für eine Euro IV Zertifizierung genügt. Für eine Euro V Zertifizierung sind aufwendigere und damit teurere Systeme erforderlich.

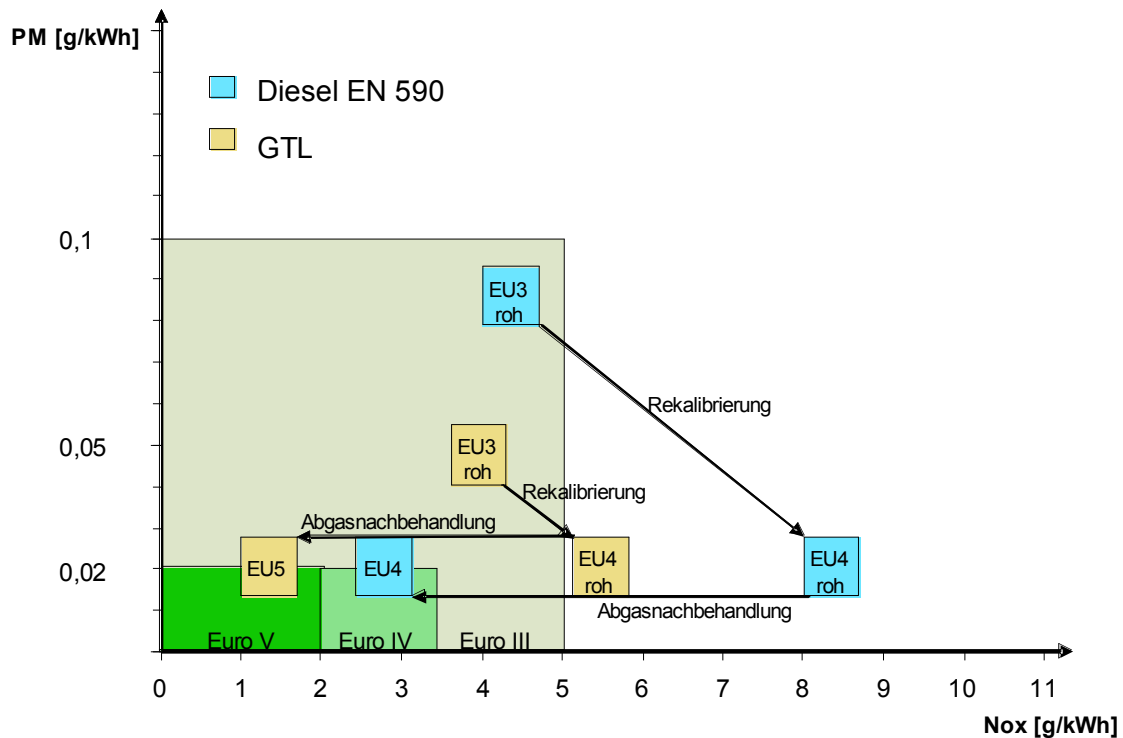


Abbildung 3-2: Vergleich der Applikationsstrategien für GTL- und dieselbetriebene Fahrzeuge nach Bosch /18/

Mögliche Hardware Anpassungen beinhalten das Absenken des Verdichtungsverhältnisses (möglich durch die höhere Cetanzahl und damit verbunden eine bessere Zündwilligkeit von GTL), eine Injektorneuauslegung und eine Anpassung der Kolbenmuldengeometrie. Sämtliche Änderungen, sowohl Software- als auch Hardwareseitig führen jedoch dazu, dass das Fahrzeug ausschließlich mit GTL betrieben werden kann.

Hersteller sehen bei der Kombination von Hardware und Softwareanpassungen ein Reduktionspotenzial bei den Stickoxiden von bis zu 70 %, verglichen mit konventionellem Dieselmotorkraftstoff. Zusammenfassend lässt sich festhalten: GTL birgt sowohl bei älteren als auch bei heutigen und zukünftigen Fahrzeugen ein großes Potenzial bei der Minderung lokaler Schadstoffe.

4 GTL in NRW: erste Einsatzbereiche

Nachdem in den vorigen Abschnitten allgemein gültige Eigenschaften des Kraftstoffs GTL eingeführt worden sind, sollen im Folgenden die spezifischen Effekte auf erste Anwendungsfälle in NRW untersucht werden. Die Abschätzung wird dabei in zwei Stufen durchgeführt:

- **Erster Schritt: Abschätzung eines Mengengerüsts GTL**

Um den Aufbau einer Versorgungsinfrastruktur zu rechtfertigen, ist eine Mindestmenge an GTL-Nachfrage erforderlich. Diese wird anhand von statistischem Datenmaterial für definierte Fahrzeugflotten abgeschätzt.

- **Zweiter Schritt: Ableitung der Reduktion lokaler Luftschadstoffe**

Die Ermittlung der Reduktionsmöglichkeiten lokaler Luftschadstoffe erfolgt für einen Teilbereich der betrachteten Flotten. Zu diesem Zweck sind in diesem Teilbereich detaillierte Daten zur Flottenzusammensetzung erhoben worden. Diese Ergebnisse sind ohne weitere Untersuchungen nicht auf andere Flotten übertragbar.

Die Untersuchung liefert damit zwei Ergebnisse in unterschiedlicher Qualität: Eine Abschätzung über die nachgefragte Menge, und eine genaue Erfassung der Schadstoffreduktion in einem Teilbereich. Der erste Schritt ist insbesondere von Bedeutung, da eine gewisse Mindestmenge an GTL-Kraftstoff notwendig ist, um ein Engagement von Seiten des Kraftstoffbereitstellers zu aktivieren. Die Abschätzungen dienen dazu, einen Überblick über mögliche Erst-Anwendungsgebiete zu bekommen und sollten vor Planung eines Feldtests im Einzelfall validiert werden.

4.1 Identifizieren von Erstanwender – Flotten

Als Zielgebiet für die Betrachtung ist innerhalb NRWs die Europäische Metropolregion Rhein-Ruhr als bevölkerungsreichste Metropolregion in Deutschland gewählt worden. Sie wird im Wesentlichen von den beiden Gebieten „Rhein-Ruhr“ (auch: „Ruhrgebiet“) und „Rhein-Sieg“ gebildet. Innerhalb dieser Gebiete sind verschiedene aussichtsreiche Flotten als mögliche Anwendungsfälle untersucht worden, die in einer ersten Auswertung in die Kategorien „geeignete Erst-Anwender“ und „weniger geeignete Erst-Anwender“ eingeteilt wurden. Ein wesentliches Kriterium ist die zentrale Betankung einer Flotte mit ausreichenden Mengenströmen, da nur so der Aufbau einer eigenen Infrastruktur gewährleistet werden kann.

Als geeignete Erstanwender sind im ersten Schritt Busflotten des öffentlichen Personen-Nahverkehrs (ÖPNV) und Flotten von Entsorgungsbetrieben identifiziert worden. Der Bodenverkehr an Flughäfen erfüllt ebenfalls die Bedingung eines ausreichenden Dieselbedarfs in einem klar abgegrenzten Versorgungsgebiet. Als weniger geeignet sind Taxi-Flotten, Polizeifahrzeuge und die Flotte des Landesbetriebs Strassen NRW (kleinteilige Strukturen, keine zentrale Betankung) sowie Fahrzeuge der Grünflächenämter und Feuerwehrfahrzeuge (geringe jährliche Fahrleistung) zunächst aus der näheren Untersuchung ausgeschlossen worden.

In einem nächsten Schritt erfolgt die Ausweitung der Betrachtung auf den Teil des Schienen-Güter-, sowie Personenverkehrs in NRW, der mit Diesellokomotiven bedient wird. Perspektivisch ist auch die Einbeziehung der (Binnen-)Schifffahrt möglich.

4.2 Mengengerüst GTL

In Abbildung 4-1 ist der ermittelte potenzielle Bedarf an GTL-Kraftstoff aus den betrachteten Anwendungsfällen aufgelistet. Es wird deutlich, dass der höchste Kraftstoffbedarf bei den Busflotten des ÖPNV liegt. Insgesamt ist über alle geeigneten Erstanwender mit rund 170.000 t /a eine potenzielle Nachfrage identifiziert worden, die ausreichend erscheint, um ein weiteres Engagement von Seiten des Kraftstoffbereitstellers zu aktivieren.

		ÖPNV	Entsorger	Flughäfen	gesamt
Rhein-Ruhr	t GTL /a	82.022	10.676	179	92.877
Rhein-Sieg	t GTL /a	65.325	8.464	3.575	77.364
gesamt Nachfrage	t GTL /a	147.347	19.140	3.754	170.241

Abbildung 4-1: Mengengerüst GTL: Ermittelte Nachfrage aus den betrachteten Anwendungsfällen in den Regionen Rhein-Ruhr und Rhein-Sieg

Neben dem Zielgebiet der Metropolregion Rhein-Ruhr sind außerdem weitere, einzelne Städte als potenzielle Anwendungsgebiete untersucht worden. Die jeweils nachgefragten Mengen sind in Abbildung 4-2 räumlich dargestellt. Mit Blick auf die Karte wird deutlich, dass der Einsatz in der zentralen Metropolregion aus zwei Gründen vorteilhafter erscheint: zum einen ist die kumulierte Menge deutlich höher als es an jedem der einzelnen Standorte der Fall ist; zum anderen ist hier im Vergleich zu den anderen Standorten eine Versorgungsinfrastruktur über die Flüsse Rhein und Ruhr vergleichsweise einfach aufzubauen.

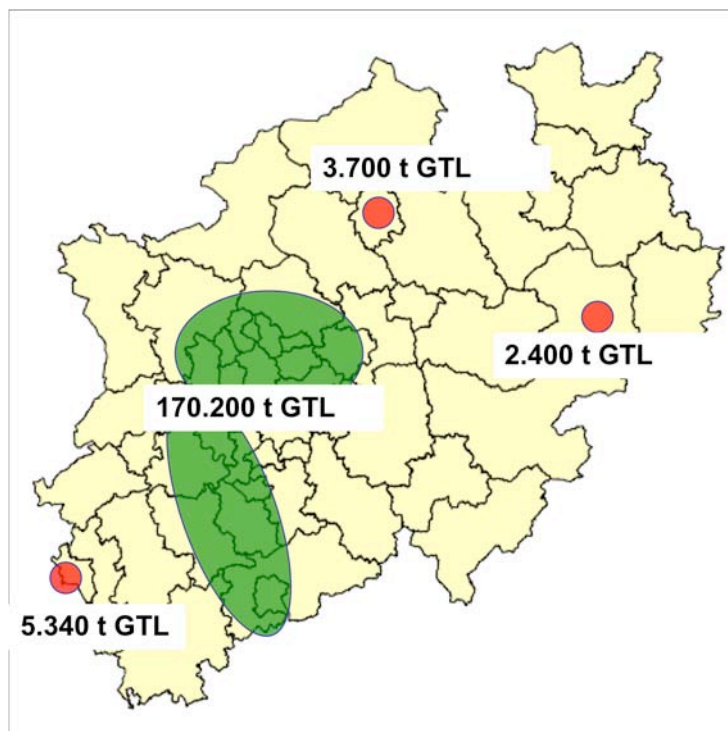


Abbildung 4-2: Graphische Darstellung möglicher Erst- Einsatzbereiche und potentielle Nachfrage an GTL in NRW

In einem folgenden Schritt sind die Betrachtungen ausgeweitet und um den Schienenverkehr im Großraum NRW ergänzt worden. Durch die Einbeziehung des Schienenverkehrs auf Ba-

sis von Diesellokomotiven können der potenziellen Nachfrage an GTL zusätzlich rund 33.600 t/a im Güter-, sowie ca. 57.000 t/a im Personenverkehr zum Mengengerüst hinzugezählt werden.

4.3 Lokale Schadstoffreduktion

Aus den ermittelten Streubändern werden konkrete Emissionsminderungen der Luftschadstoffe für den Ballungsraum Ruhrgebiet, unter der Annahme, dass eine Teilmenge von 1139 Bussen des dortigen ÖPNV vollständig auf GTL umgestellt werden, berechnet. Die dafür erforderlichen Daten wie die Flottenzusammensetzung (unterteilt in die jeweiligen Euro Stufen), die jährliche Laufleistung und die prozentuale Ausrüstung mit Dieselpartikelfiltern wurde seitens des Verkehrsverbund Rhein-Ruhr (VRR) zur Verfügung gestellt. Die Daten zu streckenbezogenen Emissionsfaktoren von Linienbussen entstammen einer Studie des österreichischen Umweltbundesamtes [27].

Die im Rahmen dieser Studie berücksichtigte Flottenzusammensetzung des VRR kann nur eine Momentaufnahme aus dem Juni 2008 darstellen, da die jährliche Änderung der Fahrzeugzusammensetzung mit 10 – 15 % relativ hoch ist. Trotzdem ist heute noch rund 58 % der betrachteten Busflotte nicht mit einem Dieselpartikelfilter ausgestattet. Das mögliche Partikelreduktionspotenzial durch den Einsatz von GTL ist dadurch nach wie vor beachtlich.

In Abbildung 4-4 werden die relativen Einsparpotenziale der schädlichen Partikelemissionen gezeigt. Dazu wurden bei der Berechnung alle Busse der VRR Teilflotte berücksichtigt. Das Einsparpotenzial an Partikeln liegt zwischen 30 % und 15 %, mit einem über die Studien gemittelten Wert von 24 %. Das Reduktionspotenzial ist über den verschiedenen Regionen nahezu konstant. Werden nur die Fahrzeuge ohne DPF mit GTL betankt, können die Partikelemissionen um den gleichen absoluten Wert gesenkt werden (1,3t – 2,5t), die dazu benötigte GTL Kraftstoffmenge würde um ungefähr 40 % reduziert. Allerdings würde das Stickoxidreduktionspotenzial nicht vollständig ausgeschöpft.

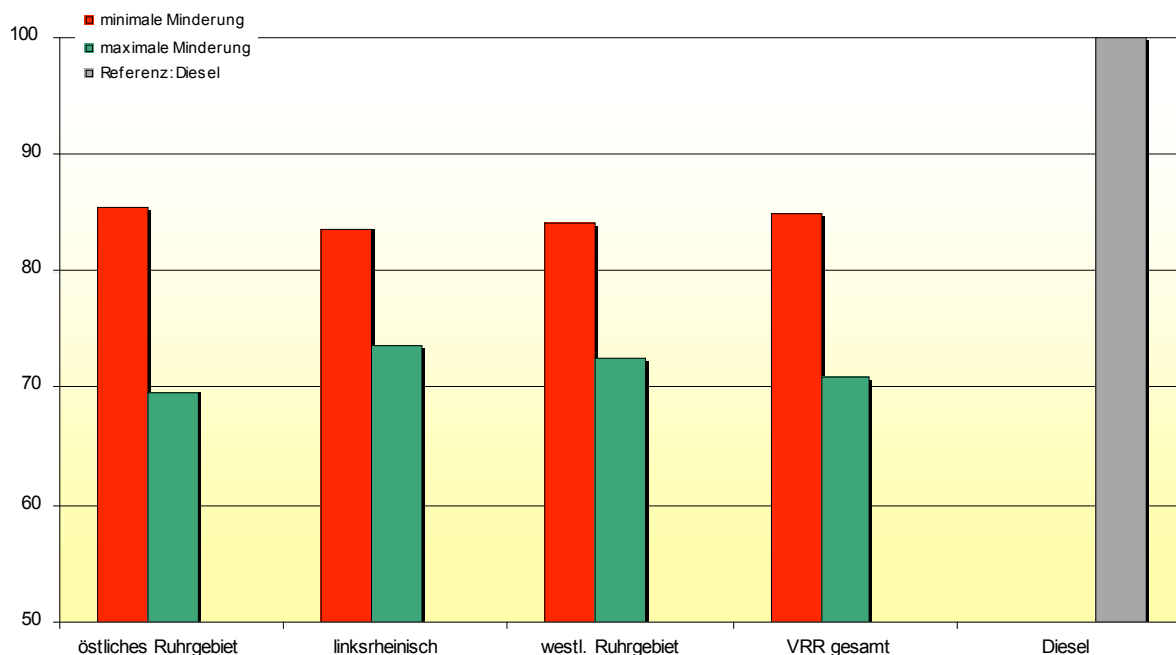


Abbildung 4-3: Relative Emissionsminderungen für Partikel

Das jährliche Einsparpotenzial an Stickoxiden im betrachteten VRR Gebiet liegt zwischen 27 % und 11 %, mit einem Durchschnittswert von 16 % (vergleiche auch Abbildung 4-4). Das Stickoxidreduktionspotenzial ist unabhängig von der Verwendung von Partikelfiltern, solange keine Rekalibrierung vorgenommen wird. Durch eine Rekalibrierung könnten die Stickoxide zusätzlich weiter gesenkt werden (vgl. dazu auch Kapitel 3).

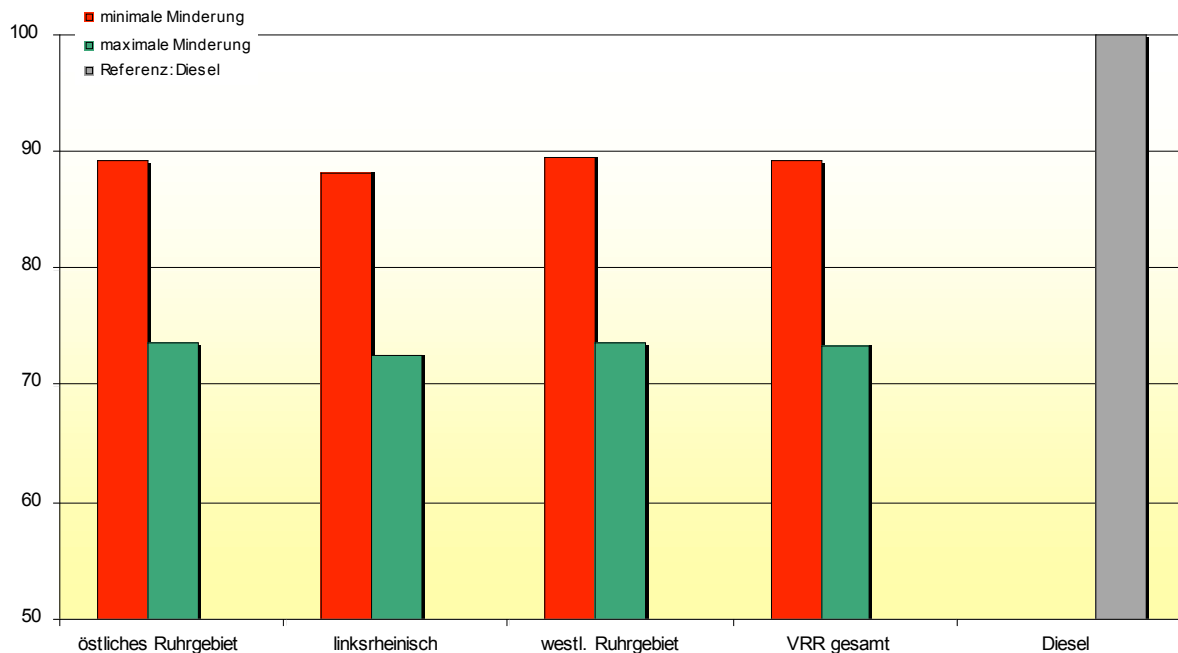


Abbildung 4-4: Relative Emissionsminderungen für Stickoxide

5 Akteursanalyse: welche Akteure profitieren in NRW und im internationalen Kontext?

NRW als „Energie- und Technologiestandort Nr. 1“ und Technologiestandort ist im Zusammenhang mit GTL und BTL in vielen Bereichen breit aufgestellt. Auf mehreren Ebenen sind Akteure im Land präsent und verankert, die sich bereits mit XTL-Kraftstoffen beschäftigen, interessiert am Einsatz des Kraftstoffs sind und in diesem Bereich aufgrund ihrer bisherigen Aufstellung ein weiteres Betätigungsfeld finden können. Aufgrund der Vielzahl an Akteuren rund um die Vergasung, Gasaufbereitung bzw. im Anlagenbau sowie in der Dieselforschung ist die Möglichkeit des Zusammenschlusses und der Plattformbildung rund um XTL-Kraftstoffe in und aus NRW gegeben.

Strategien und Projekte zur Markteinführung sollten die Möglichkeiten zur Zusammenarbeit nutzen und auf eine breite Basis der Kooperation von Kraftstoff-Anbietern, Flottenbetreibern, Herstellern sowie Politik gestellt werden. Dabei gibt es auf Landesebene verschiedene Möglichkeiten, die Einführung eines alternativen Kraftstoffs positiv zu begleiten. Ein denkbarer und pragmatischer Ansatz ist z.B. die Erteilung von Fahrerlaubnissen in Umweltzonen.

Formal ist solch eine Ausnahmegenehmigung an den unmittelbaren Effekt (also die Minderung lokaler Emissionen) durch einen veränderten Antrieb oder Kraftstoff gekoppelt, nicht an den Einsatz des Antriebs oder Kraftstoffs als solchen. Demnach müssen verschiedene Voraussetzungen erfüllt werden, um eine Plakette zur Einfahrt in die Umweltzone zu erhalten:

- Es muss eine (Vor-)Norm vorliegen, welche die Kraftstoffbeschaffenheit garantiert;
- Es muss eine TÜV Zertifizierung über die erreichte Schadstoffminderung vorliegen;
- Es muss auf technischem Wege garantiert werden, dass das Fahrzeug ausschließlich mit dem benannten und zertifizierten Kraftstoff betankt wird. Das kann z.B. in der Form von gesonderten Tank- und Einfüllstutzen geschehen.

Dieses Vorgehen scheint für erste Feldtests praxisfern und wenig geeignet. Eine politische Förderung der Einführung von GTL könnte daher z.B. darin bestehen, das beschriebene Prozedere zu vereinfachen und eine pragmatische Lösung zumindest für eine Übergangszeit zu erlauben. Weiterhin denkbar sind positive politische Signale etwa in Hinblick auf die Bildung einer XTL-Plattform zur Förderung des Innovationsstandortes NRW.

5.1 Beitrag von GTL zur Energie- und Klimaschutzstrategie Nordrhein-Westfalens

In der Energie- und Klimaschutzstrategie des Landes Nordrhein-Westfalen [MWME, 2008], die im April 2008 beschlossen worden ist, ist die Einführung von GTL-Kraftstoff ausdrücklich genannt. Durch Einsatz des Kraftstoffs kann allerdings (wie in Abschnitt 2.1 erläutert) kein Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden. Die Markteinführung fügt sich aber in die folgenden Punkte in die Strategie ein, die durch Einsatz von GTL unterstützt werden können:

- Verminderung der Erdölabhängigkeit im Verkehr
- Diversifizierung des Kraftstoffmixes;

- Stärkung wichtiger Innovationspfade der automobilen Technologie;
- Brückenfunktion für weitere Lösungen auf der Basis von Biomasse und für den späteren Übergang zu Wasserstoff;
- Potenzial zur späteren Einführung weiterer synthetischer Kraftstoffe (XTL);
- Potenzieller Schwerpunkt in den Clustern „Energie“ sowie „Energieforschung“;
- Erweiterung des Einzugsgebiets in Richtung Niederlande (Randstad)

5.2 Blick über die Grenze: internationale Kooperationsmöglichkeiten

Die Bedeutung von Rotterdam als Drehscheibe und Anlandestation für alle Kraftstoffe ist in Abschnitt 2.3 bereits angeklungen. In dieser Hinsicht kann eine Kooperation zwischen NRW und den Niederlanden bezüglich der Infrastruktur und Logistik vorteilhaft sein. Die niederländische „Randstad“ wird durch insgesamt mehr als 20 Städte und Gemeinden gebildet, darunter neben Rotterdam Amsterdam, Haarlem, Den Haag, Utrecht und andere. Hier werden bereits Anwendungen für GTL getestet; darunter z.B. der Einsatz in ÖPNV Bussen sowie im Fährverkehr.

Im Sinne eines europäischen Projekts kann die gemeinsame bzw. parallele Markteinführung von GTL in Erstanwender-Flotten in NRW und den Niederlanden zudem zu einer erhöhten Sichtbarkeit des Kraftstoffs führen. Außerdem erhöhen sich die potentiell nachgefragten Mengenströme, so dass aufgrund des Skaleneffekts eine Hebelwirkung auf die Wirtschaftlichkeit erzielt werden kann. Die Wirksamkeit der gemeinsamen Markteinführung wird durch die bessere Wirtschaftlichkeit des Kraftstoffs erhöht.

GTL-Kraftstoff kann weltweit dort zum Einsatz kommen, wo aufgrund der lokalen Luftverschmutzung durch den Straßenverkehr Handlungsbedarf besteht. In den urbanen Ballungsräumen, den so genannten MegaCities ist dieser Handlungsbedarf am Größten. Daher und wegen des generell starken Interesses an zusätzlichen Kraftstoffen bietet sich China für weitere Projekte an. Im Rahmen der *German-Chinese-Sustainable-Fuel Partnership* (GCSFP) sowie weiterer bestehender Vernetzungen nach China können sich internationale Kooperationen ergeben.

6 Alternativen zu GTL: Elektrofahrzeuge und XTL

Wie eingangs bereits dargestellt, eröffnet die Fischer-Tropsch-Synthese die Möglichkeit, den gleichen XTL Kraftstoff auf Basis verschiedener Rohstoffe bereitzustellen. Neben Erdgas können mit sowohl Biomasse als auch Kohle zwei weitere unterschiedliche Rohstoffe genutzt werden, die zwar das gleiche Endprodukt mit denselben Potenzialen zur Minderung lokaler Luftschadstoffe bieten, aber in ihrer Klimawirkung sehr unterschiedliche Effekte erzielen. In den folgenden Abschnitten werden zunächst die XTL-Kraftstoffe BTL und CTL kurz charakterisiert. Dabei stehen die Aspekte der Klimawirksamkeit sowie der Kosten beider Kraftstoffe im Vordergrund. Für weitere Ausführungen sei bezüglich BTL auf [Arnold et.al, 2006; Leible et.al, 2006; Ising, 2004], für CTL auf z.B. [Cicero, 2007; NETL, 2007] verwiesen.

Es gibt aber neben synthetischen Kraftstoffen noch andere Optionen, um lokale Schadstoffe aus dem Verkehrssektor zu reduzieren. Im weiteren Ausblick kann z.B. der zurzeit viel diskutierte batteriebetriebene Elektroantrieb eine Rolle spielen, auf den in Abschnitt 6.2 kurz eingegangen wird. Eine differenzierte Darstellung der unterschiedlichen Ausführungen (als Plug-In, Parallel-, Serien- oder reiner Hybrid) kann in diesem Rahmen nicht erfolgen. Ebenso wenig wird in diesem Zusammenhang der Einsatz von Brennstoffzellen diskutiert. Als weiterführende Literatur dienen z.B. [Kendall, 2008; Kalhammer et.al, 2007; Pehnt, Höpfner & Merten, 2007].

6.1 XTL-Kraftstoffe auf Basis von Biomasse und Kohle: Vergleich zu GTL und konventionellem Diesel

Abbildung 6-1 zeigt die Well-to-Wheel Emissionen von Treibhausgasen der verschiedenen XTL-Kraftstoffe im Vergleich zu konventionellem Diesel. Die Berechnung basieren für GTL auf dieser Arbeit, für die übrigen Kraftstoffe auf [CONCAWE/EUCAR, 2007] und folgen der in Abschnitt 2.1 vorgestellten Methodik.

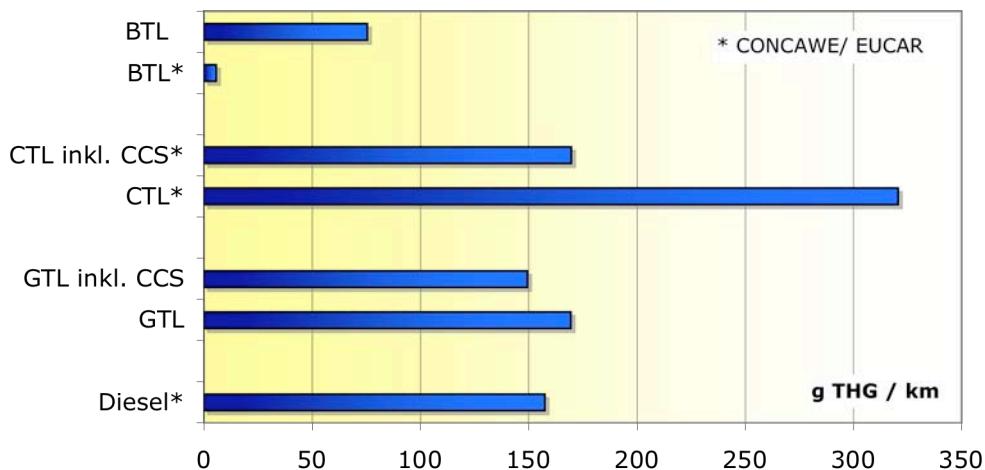


Abbildung 6-1: Well-to-Wheel Emissionen an Treibhausgasen der XTL-Kraftstoffe im Vergleich

Bezüglich der Treibhausgasemissionen lassen sich die drei betrachteten XTL-Kraftstoffe klar hierarchisieren: Während GTL annähernd gleiche Emissionen aufweist wie konventioneller Diesel und durch BTL eine große Minderung erzielt wird, stellt der Einsatz von CTL eine er-

hebliche Mehrbelastung des Klimas dar. Für BTL sind dabei zwei Varianten aufgeführt, denen jeweils eine unterschiedliche Prozessführung zugrunde liegt: während das Verfahren nach [CONCAWE/EUCAR, 2007] auf ausschließlich regenerativer Prozessenergie beruht, ist im zweiten Fall nach [Arnold et al, 2006] der praxisnahe Fall des Einsatzes von fossiler Hilfsenergie angenommen worden.

Eine ähnliche klare Struktur wie für die THG Emissionen, allerdings mit umgekehrten Vorzeichen, ergibt sich für die Bereitstellungskosten von XTL: BTL ist aufgrund des kleineren Anlagenmaßstabs sowie des teureren Rohstoffs Biomasse die Option, welche die höchsten Bereitstellungskosten erwarten lässt. Die BTL Kosten sind stark von den Rohstoffpreisen in einem knappen Markt abhängig und unterliegen daher starken regionalen und temporären Schwankungen.

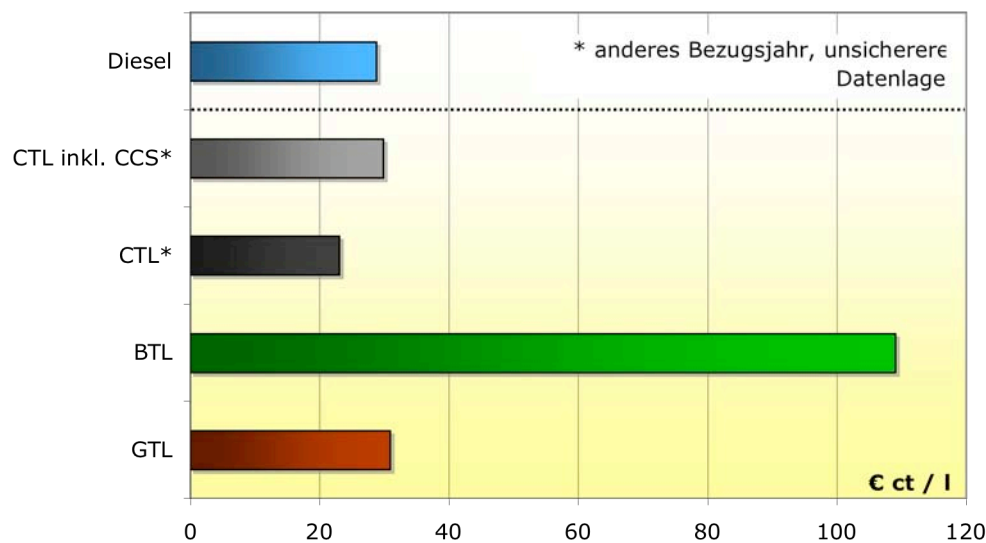


Abbildung 6-2: Bereitstellungskosten der XTL-Kraftstoffe im Vergleich

Für GTL sind die Marktpreise ab Rotterdam (also zuzüglich des Distributionsaufschlags) angesetzt, um eine Vergleichbarkeit mit den eher regional erzeugten Kraftstoffen BTL und CTL zu erreichen. Die Datenlage für die relativ sehr günstigen Bereitstellungskosten von CTL [Williams et. al, 2006, SSEB, 2006] bezieht sich mit den USA auf einen anderen Bezugsraum und sind nur eingeschränkt vergleichbar.

6.2 Batteriebetriebene Elektroantriebe

Ein Vorteil der batteriebetriebenen Elektroantriebe liegt ebenfalls in der Minderung lokaler Luftschadstoffe im Verkehrssektor. Der größte Vorteil des Elektroantriebs wird im Bereich der innerstädtischen PKW-Nutzung erwartet. Diese Option steht damit nicht in direkter Konkurrenz zum Einsatz von XTL-Kraftstoffen, sondern stellt in Hinblick auf die Reduktion lokaler Luftschadstoffe eine strategische Ergänzung dar. Im Einzelnen ist bezüglich des Einsatzes von Elektroantrieben festzuhalten:

- Die Emissionen von Treibhausgasen, die dem Betrieb zuzurechnen sind, sind direkt von zwei Faktoren abhängig: zum einen der angenommenen Leistungsdaten des Antriebs (darunter etwa die Batterie, der angenommenen Eigenverbrauch, der Ladevorgang, die Speicher etc.), zum anderen von der Art der Stromerzeugung. Nach heutiger Sicht kann ein Verbrauch von rund 16 – 20 kWh/100km erreicht werden [Eaves& Eaves, 2004; Pehnt, Höpfner & Merten, 2007]. Wird der eingesetzte Strom ausschließlich aus Kohle gewonnen, sind die THG Emissionen vergleichbar mit denen eines konventionellen Dieselmotors, für den heutigen Strommix aus dem bestehenden Kraftwerkspark etwas geringer. Durch einen steigenden Anteil erneuerbarer Energien sowie weiterer Effizienzsteigerungen bei der Stromerzeugung kann im Ausblick eine Klimaentlastung erreicht werden. Möglicherweise bietet sich mit der Zukunftsoption CCS (*Carbon Capture & Storage*) weiteres Minderungspotenzial.
- Luftschadstoffe fallen nicht konzentriert in den Städten an, sondern werden auf die Erzeugungsseite der Strombereitstellung verschoben. Dadurch ergeben sich effizientere Reduktionsmöglichkeiten im größeren Maßstab. Lokal haben die Emissionen keine Bedeutung.
- Mit der direkten Nutzung elektrischen Stroms steht prinzipiell eine Vielzahl von Energiequellen als Rohstoffbasis für den Verkehrssektor zur Verfügung. Für den Betrieb erster Nischenanwendungen ist bei Nutzung der Schwachlastzeiten (Beltankung über Nacht) zunächst die bestehende Stromerzeugungskapazität ausreichend.

Die Technologien der Infrastruktur zur Stromverteilung und die des Elektroantriebs stehen prinzipiell zur Verfügung. Es besteht aber noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf bezüglich der Stromspeicherung im Fahrzeug, sowie insbesondere hinsichtlich einer Senkung der Fahrzeugkosten. Der Elektroantrieb hat die Marktreife derzeit nicht erreicht. Batteriebetriebene Elektroantriebe können somit erst langfristig und insbesondere im innerstädtischen PKW-Bereich eine sinnvolle Option sein.

7 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Der Einsatz von GTL als alternativem Kraftstoff bietet bereits ohne Änderung am Fahrzeug eine Option zur Reduktion von lokalen Luftschadstoffemissionen wie Partikeln und Stickoxiden. Dagegen wird mit dem Kraftstoff kein Beitrag zum Klimaschutz durch Vermeidung von Treibhausgasemissionen geleistet. Allenfalls durch die Zukunftsoption der Bereitstellung inklusive CO₂-Abscheidung (CCS) kann eine Minderung von Treibhausgasen erreicht werden.

GTL steht derzeit und auch im Ausblick nur in begrenzten Mengen zur Verfügung. Dies resultiert nicht so sehr aus einer Rohstoffknappheit, sondern aus den Grenzen des Ausbaus von Produktionskapazitäten. Die derzeit global produzierte Menge an GTL entspricht rund 36 % des Dieselbedarfs in NRW in 2005; die weltweit erwartete Produktionskapazität im Jahr 2010 wäre ausreichend, um rund das 1,8 fache des Dieselbedarfs in NRW von 2005 zu decken. Für den zunächst vorgesehenen Einsatz in Nischenanwendungen ist die derzeitige Produktionskapazität ausreichend. GTL kann daher als ein Baustein im zukünftigen Kraftstoffmix betrachtet werden.

Die reinen Produktkosten von GTL liegen derzeit über denen der konventionellen Kraftstoffe. Für die Distribution innerhalb Europas (also „ab Rotterdam“) orientieren sich die Kosten für alternative Kraftstoffe aber an denen der konventionellen Referenz. Es wird erwartet, dass GTL zu Preisen vermarktet wird, die denen des konventionellen Kraftstoffs zuzüglich der Aufwendungen für zusätzliche Distribution entsprechen. Die Angebotsform (ob als Reinkraftstoff oder als Beimischung) sowie die nachgefragten Mengenströme haben einen bedeutenden Einfluss auf die Höhe dieser zusätzlichen Aufwendungen.

Der Einsatz von GTL soll zunächst vor allem in zentral betankten Flotten erfolgen und so bestimmte Nischenanwendungen bedienen. Im Vordergrund stehen derzeit Nutzfahrzeuge, die vorrangig in Ballungsgebieten betrieben werden, da hier der Vorteil der lokalen Schadstoffminderung von besonderer Bedeutung ist. Im Rahmen des Projekts konnten nur wenige ausgewählte Einsatzbereiche betrachtet werden. Aus dieser Teilmenge ist in NRW eine potentielle Nachfrage identifiziert worden, die groß genug scheint, um eine Markteinführung zu realisieren. Für die Umsetzung ist eine genauere Analyse der jeweiligen Akteure und der konkret nachgefragten Mengen durchzuführen.

Für eine erfolgreiche Markteinführung bzw. Flottenversuche ist das Zusammenspiel von Flottenbetreibern, Automobilindustrie, Kraftstoffbereitstellern, OEM und Politik wesentlich. NRW ist mit einer großen Anzahl an Automobil-Zulieferindustrie sowie einer anerkannten Diesel-Forschungslandschaft gut aufgestellt, um auch international an einer Markteinführung von GTL mitzuwirken.

Im weiteren Ausblick kann XTL-Kraftstoff auch auf Basis von Biomasse oder Kohle, eventuell zukünftig auch aus biogenen Reststoffen und Abfällen, bereitgestellt werden. Diese Optionen sind rohstoffseitig stark unterschiedlich zu bewerten:

- Da die Biomassepotenziale durch vielfältige Nutzungskonkurrenzen stark eingeschränkt werden, können auch für BTL nur begrenzte Mengen an Kraftstoff erwartet werden. Die Produktionskosten werden aufgrund des teureren Rohstoffs sowie der kleineren Dimension der Erzeugungsanlagen deutlich höher liegen als für GTL.

Durch den Einsatz des regenerativen Rohstoffs können Treibhausgasemissionen vermieden werden.

- Kohle ist als Rohstoff für CTL in größeren Mengen und zu geringeren Kosten verfügbar als Biomasse. Das Klima wird durch Ausstoß von Treibhausgasen erheblich mehr belastet als durch den Einsatz konventioneller Kraftstoffe.
- Aufgrund der unterschiedlichen Anwendungsfelder zu XTL stellen Elektroantriebe eine strategische Ergänzung im Bemühen um lokale Schadstoffminderung dar. Der Klimaeffekt ist von der Art der Stromerzeugung abhängig.

Die vorliegende Studie leistet einen Beitrag zur Einschätzung des Potenzials und der Effekte, die durch den Einsatz von GTL in NRW erzielt werden können. Ausgehend von den dargestellten Untersuchungen lassen sich folgende Handlungsempfehlungen festhalten:

Bis zum Vorliegen einer Norm für GTL sollte die Politik den Einsatz von GTL mit pragmatischen Lösungen unterstützen. An einer solchen Norm wird international bereits gearbeitet; diese Arbeiten sollten mit Hochdruck fortgeführt werden.

Der Einsatz von GTL kann als Mittel zur unmittelbaren Reduktion von lokalen Luftschadstoffen dienen und sollte dabei politisch unterstützt werden. Das in dieser Studie abgeschätzte Potenzial zur Minderung lokaler Luftschadstoffe durch den Einsatz von GTL sollte durch Feldtests exemplarisch verifiziert werden.

Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich eines ganzheitlichen Konzepts zur Luftreinhaltung, das sowohl die Reduktion von Partikel-, als auch die Stickoxidemissionen einschließt. Insbesondere letztere werden im Ausblick an Bedeutung gewinnen. In diesem Zusammenhang sind monetäre Benefits durch den Einsatz von GTL („NO_x-Vermeidungskosten“) zu untersuchen.

Ebenfalls besteht Bedarf an weiterer, vertiefter Forschung zu den zu erwartenden Effekten durch den Einsatz von XTL in adaptierten Motoren. Als Übergang zu einer zukünftigen Hardwareanpassung sollten die Möglichkeiten der Rekalibrierung bestehender Motoren durch Softwareänderungen ausgelotet werden. Auch diese sollten im Praxistest genauer untersucht werden.

Feldtests und auch Einführungsstrategien für den alternativen Kraftstoff sollten mit allen Beteiligten (Kraftstoff-Anbieter, Flottenbetreiber, OEM, Politik) abgestimmt werden, da eine erfolgreiche Markteinführung wesentlich von der Kooperation aller Akteure abhängig ist. Um dies zu erreichen, kann die Einrichtung und Förderung einer „XTL-Plattform“ hilfreich sein.

8 Literatur- und Quellenverzeichnis

Tabelle 1: Verzeichnis zu den Kapiteln 2, sowie 4- 6

Arnold et. al [2006]	K. Arnold, T. Grube, S. Ramesohl, R. Menzer, R. Peters: Strategische Bewertung der Perspektiven synthetischer Kraftstoffe auf Basis fester Biomasse in NRW, Wuppertal / Jülich, 2006
AWM, [2008]	Persönliche Mitteilung: AWM Abfallwirtschaftsbetriebe Münster, Herr Tork, Mai 2008
BGR [2006]	H. Rempel, S. Schmitz, U. Schwarz-Schampera, B. Cramer, H.-G. Babies, C. Dyroff: Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover 2006
BImSchV [2002]	Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen), 13. BImSchV, http://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_13_2004/index.html , Zugriff am 21. Mai 2008
Block [2006]	Dr. Karsten Block, Zentrum für nachwachsende Rohstoffe NRW im Landwirtschaftszentrum Haus Düsse, persönliches Gespräch im Februar 2006
BMVBS [2004]	BMVBS (2004): Die Kraftstoffstrategie – Alternative Kraftstoffe und innovative Antriebe, in: Bundesregierung: Perspektiven für Deutschland – Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung, Fortschrittsbericht 2004.
BMWi [2008]	BMWi: Energie in Deutschland. Trends und Hintergründe zur Energieversorgung in Deutschland. BMWi; Berlin, Mai 2008
Boerrigter [2006]	H. Boerrigter: Economy of Biomass-to-Liquids (BTL) plants. An engineering assessment; ECN, May 2006
BP [2008]	BP Statistical Review of world energy, Juni 2008
Chemlink [1997]	Chemlink: Gas to Liquids Technology worldwide; http://www.chemlink.com.au/gtl.htm ; publiziert 1997, letzter Zugriff am 15. Mai 2008
China Institut [2005]	China Institute (2007): Coal-to-liquid project being developed in China, http://www.ufoaweb.ualberta.ca/chinainstitute/ , Zugriff am 5. Juni 2008
Cicero [2007]	D. Cicero: Hydrogen and Syngas Program Overview, Powerpoint-Präsentation, Pittsburgh, 2007
Clark et al [2006]	Clark, Lampreia, Stradling, Schmidt, Shell: Emissions Performance of Shell GTL Fuel in the Context of Future Fuel Specifications, SAE Paper 2006
Clingendael [2004]	Clingendael International Energy Programme: Natural Gas Supply for the EU in the short to medium term, 2004

- CONCAWE / EUCAR [2007] CONCAWE, EUCAR, JRC (2007): Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context; <http://ies.jrc.cec.eu.int/Download/eh>.
- DB [2008] Deutsche Bank: Royal Dutch Shell plc. 2008
- Dongen & Kanaar [2006] Dongen, Ad van; Kanaar, Marco (2006): Co-gasification at the Buggenum IGCC Power Plant. Discussion Paper eingereicht für die DGMK-Fachbereichstagung "Energetische Nutzung von Biomassen"
- Dry [2002] Dry, M.E. (2002): The Fischer-Tropsch Process: 1950-2000. Catalyst Today Nr.71.
- Eaves & Eaves [2004] S. Eaves; J. Eaves: A Cost Comparison of Fuel-Cell and Battery Electric Vehicles. Journal of Power Sources, 130(1-2), page 208-212 (2004)
- EIA [2006] Energy Information Administration: Performance Profiles of Major Energy Producers, <http://www.eia.doe.gov/emeu/perfpro/tab12.htm> , Zugriff am 25. Juli 2008
- EIA [2007] Energy Information Administration: International Energy Outlook, http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/nat_gas.html, Zugriff am 21. Januar 2008
- Entsorgungsbetriebe [2008] Persönliche Mitteilungen: AWB Abfallwirtschaftbetriebe Köln GmbH & Co.KG; BEST AöR, Bottroper Entsorgung und Stadtreinigung; ESR Entsorgung GmbH Essen; USB Umweltservice Bochum GmbH; Gelsenrein/Gelsendienste, Gelsenkirchen; EDG Entsorgung Dortmund GmbH; ESR - Entsorgungsbetrieb Stadt Recklinghausen; Wirtschaftsbetriebe Duisburg; ESW Wuppertal; ASG Wesel; Technik-Kreis Rhein-Ruhr, Abt. Fuhrpark-Management. Ansprechpartner: Bert Schröer, AWISTA Gesellschaft für Abfallwirtschaft und Stadtreinigung mbH, Düsseldorf; Mai 2008
- Fischedick et. al. [2007] M. Fischedick, N. Supersberger, D. Schüwer, A. Esken, A. Pastowski, P. Viebahn, J. Nitsch, A. Bandi, U. Zuberbühl, O. Edenhofer: Ökologische Einordnung und strukturell-ökonomischer Vergleich regenerativer Energietechnologien mit anderen Optionen zum Klimaschutz, speziell der Rückhaltung und Entsorgung von Kohlendioxid bei der Nutzung fossiler Primärenergien. WI, DLR, ZSW, PiK; Wuppertal, Dezember 2007
- Flughäfen [2008] Persönliche Mitteilungen: Flughafen Düsseldorf, Herr Mayer; Flughafen Dortmund, Herr Wilms, Mai 2008
- GVSt [2007] GVSt (2007): EU-JRC-Studie: Angebotsperspektiven des Kohleweltmarktes unsicher, Fakten-Analysen-Argumente Nr. 41
- Hafner [2004] M. Hafner: Assessment of internal and external gas supply options for the EU, evaluation of the supply costs of new natural gas supply projects to the EU and an investigation of related financial requirements and tools; Observatoire Mediteraneen de l'Energie, Sophia Antipolis, 2004

- Handelsblatt [2007] Handelsblatt (2007): Neue Kraftwerke werden immer teurer, Nr. 171, 5. September
- Hofbauer et. al [2003] Hofbauer, H., Bolhàr-Nordenkampf, M., Kaltschmitt, M., Vogel, A., Evaluierung der Biomassevergasung im Hinblick auf die Produktion von Fischer-Tropsch-Kraftstoffen. Technische Universität Wien
- HPV [2006] HypoVereinsbank: Verflüssigtes Erdgas (LNG) – Ein Markt im Fokus. München / Hamburg, 2006
- IEA [2006] IEA (2006): World Energy Outlook 2006.
- IEA [2007a] IEA (2007a): Energy Balances of OECD Countries 2004-2005, 2007 Edition
- IEA [2007b] IEA (2007b): Coal Information 2007
- IELE [2003] Institute for Energy, Law & Enterprise IELE: Introduction to LNG; University of Houston Law center, Houston, 2003
- Ising [2004] Ising, M., Vergasung von Biomasse für KWK im mittleren Leistungsbereich. VGB PowerTech 11/2004
- Kalhammer et.al [2007] F.R. Kalhammer; B.M. Kopf; D.H. Swan; V.P. Roan; M.P. Walsh: Status and Prospects for Zero Emissions Vehicle Technology. Prepared for State of California Air Resources Board Sacramento, California, Sacramento, California, 2007
- Kaltschmitt et. al [2003] Kaltschmitt, M., Merten, D., Fröhlich, N., Nill, M., Energiegewinnung aus Biomasse. Expertise für das WBGU-Hauptgutachten „Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit“, Berlin, Heidelberg 2003
- KBA [2007] Kraftfahrzeugbundesamt: Der Fahrzeugbestand in Deutschland 2007. Presse-Mitteilungen Nov. 2007 (Angaben zu Diesel: Aug. 2007)
- Kendall [2008] G. Kendall: Plugged in: The End of the Oil Age. World Wide Fund for Nature, Brüssel, 2008
- Kurevija et al [2007] T. Kurevija, N. Kukulj, D. Rajkovic: Global prospects of syntenic diesel fuel produced from hydrocarbon ressources in oil & gas exporting countries. Zagreb, 2007
- Laherre [2004] J. Laherre: Oil and Natural Gas Resource Assessment: Production Growth Cycle Models. Encyclopedia of Energy, Bd. 4, S. 617 – 631, 2004
- Landtag NRW [2006] Antwort der Landesregierung auf die Kleine Anfrage 645: Feinstaubbelastung in den Städten des Landes und Ausrüstung der ÖPNV-Busflotte mit Dieselerusspartikelfiltern. Drucksache 14/1612, Düsseldorf, 2006
- Landtag NRW [2007] Antwort der Landesregierung auf die Kleine Anfrage 1956: Schrottautos bei der Kripo. Drucksache 14/5581, Düsseldorf, 2007
- LANUV [2008 a] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW: Bewertungsmaßstäbe wichtiger Luftschadstoffe für Genehmi-

- gungsverfahren;
<http://www.lanuv.nrw.de/gesundheit/bewertungsmasstabe.htm>,
 Zugriff am 31. März 2008
- LANUV [2008 b] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW:
 Luftreinhalte- und Aktionspläne;
<http://www.lanuv.nrw.de/luft/lrpallgemein.htm>, Zugriff am 3. März
 2008
- Leible et.al [2005] L. Leible, S. Kälber, G. Kappler: Entwicklung von Szenarien für
 die Bereitstellung land- und forstwirtschaftlicher Biomasse in
 zwei baden-württembergischen Regionen zur Herstellung von
 synthetischen Kraftstoffen; Forschungszentrum Karlsruhe, Insti-
 tut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsru-
 he, 2005
- Leible et. al [2006] Leible, L., Kälber, S., Kappler, G., Lange, S., Nieke, E.,
 Proplesch, P., Wintzer, B., Kraftstoffproduktion aus Stroh und
 Waldrestholz – dezentral oder zentral? In Proceedings: „Bione-
 energienutzung in Baden-Württemberg – Auf dem Weg zu nach-
 haltigen Alternativen“, 13. Februar 2006, Stuttgart, Haus der
 Wirtschaft, 2006
- Malcher et. al [2005] Malcher, L., Henrich, E., Leible, L., Wiemer, H.-J., Gaserzeu-
 gung aus Biomasse. Kurzfassung des Abschlussberichts, For-
 schungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe 2005
- MBV [2008] Persönliche Mitteilung des MBV (Ministerium für Bauen und
 Verkehr), Herr Wille, Mai 2008
- MUNLV [2008] Persönliches Gespräch mit C. Wappenschmidt, S. Termath, A.
 Brandt, MUNLV NRW, Düsseldorf, 20.6. 2008
- MWME [2008] Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie NRW: Mit
 Energie in die Zukunft – Klimaschutz als Chance. Energie- und
 Klimaschutzstrategie NRW; Düsseldorf, April 2008
- MWV [2008] Mineralölwirtschaftsverband e.V.: Mineralölzahlen Deutschland:
 Inlandsabsatz nach Produkten;
http://www.mwv.de/cms/front_content.php?idcat=10, Zugriff am
 18. Februar 2008
- NETL [2007] National Energy Technology Laboratory: Gasification World Da-
 tabase 2007. Current Industry Status. Robust Growth Forecast.
- Novem [2001] Novem: Inventory of biomass gasifier manufactures and installa-
 tions, EWAB Programme, 2001
- Padersprinter [2008] Persönliche Mitteilung von Padersprinter, Peter Bronnenberg,
 Mai 2008
- PEFC [2008] PFC Energy Gas Group: GTL Matrix, Januar 2008
- Pehnt, Höpfner & Merten [2007] M. Pehnt; U. Höpfner; F. Merten: Elektromobilität und Erneuer-
 bare Energien, Arbeitspapier im Projekt "Energiebalance"; Ifeu,
 Wuppertal Institut. Heidelberg, Wuppertal :, 2007
- Quinalin [2006] Zhuang, Qianlin (2006): Commercial Experience in China...
 GE's Gasification Technology, Präsentation beim Gasification

- Technologies Council, Oktober
- Ramesohl et.al [2005] S. Ramesohl, M. Kaltschmitt, W. Althaus, F. Burmeister et. al.: Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse; WI, IE Leipzig, FhG-Umsicht, GWI. Wuppertal, Leipzig, Oberhausen, Essen, 2005
- SCI [2008] Persönliche Mitteilung der SCI Verkehr GmbH, Hamburg, Juni 2008
- Shell [2008 a] Persönliche Mitteilung von Shell, London, April, 2008
- Shell [2008 b] Persönliche Mitteilung von Shell, London, April, 2008
- Shell, Sasol [2008] Persönliche Mitteilung Shell, London, April 2008
- SSEB [2006] Southern States Energy Board (2006): American Energy Security Study. Building a Bridge to Energy Independence and to a Sustainable Energy Future
- Statoil [2006] Statoil (2006): Gas-to-Liquids (GTL) Technology. Chemical Conversion of Natural Gas to Synthetic Diesel, Research & Technology Memoir, Nr. 8
- Steinbach et al [2006] Steinbach, Harndorf, Weberbauer, Thiel: Motorisches Potential von synthetischen Dieselmotoren, MTZ 02/2006
- Stucki [2003] S. Stucki, et. al.: Vom Holz zum Methan. In: ENET News Informationen zur Energieforschung Volume 7/2003. S.16, Bundesamt für Energie BFE, 2003
- Supersberger [2007] N. Supersberger: Szenarien eines diversifizierten Energieangebots in OPEC-Staaten am Beispiel Irans Strategien eines auf klimaschonenden Energieträgern basierenden Umstiegs. Dissertation zur Erlangung des Grades Doktor der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. Wuppertal, Februar 2007
- Taxiverband NRW [2008] Taxiverband NRW e.V; <http://www.taxi-verband-nrw.de/default.htm>, Zugriff am 14. April 2008
- Tijmensen [2000] Tijmensen, M.J.A., The production of Fischer Tropsch liquids and power through biomass gasification. Dissertationsschrift, Universität Utrecht, 2000
- Tijmensen et. al [2002] Tijmensen, M.J.A., Faaij, A.P.C., Hamelinck, C.N., Hardeveld, M.R.M. van, Exploration of the possibilities für production of Fischer Tropsch liquids and power via biomass gasification. Biomass and Energy 23 (2002) pp. 129 – 152
- VdV [2008] Persönliche Mitteilung des VdV (Verband deutscher Verkehrsunternehmen), Dipl.-Ing. Ralph Pütz, März 2008
- Vliet, Faaij & Turkenburg [2007] O. van Vliet, A. Faaij, W. Turkenburg: Developments in fischer-Tropsch diesel in a WTE chain perspective. International conference on transport and environment; Milan, 2007
- Vogel et. al [2004] Vogel, A., Bolhàr-Nordenkampf, M, Hofbauer, H., Systemkonzepte für die Produktion von Fischer-Tropsch-Biokraftstoffen. BWK Bd. 56 (2004) Nr. 3

VRR [2008] Persönliche Mitteilung des Verkehrsverbund Rhein-Ruhr AöR / KViV-Arbeitsgruppe 4, Technische Angelegenheiten, 8. Mai 2008

Williams et. al [2003] Williams, R.H./Larson, E.D. (2003): A Comparison of Direct and Indirect Liquefaction Technologies for Making Fluid Fuels from Coal. Energy for Sustainable Development (VII), Nr. 4, S. 103-129.

Williams et.al [2006] R. Williams, E. Larson, J. Haiming (2006): F-T Liquids Production from Coal and Coal+Biomass with CO₂ Capture and Alternative Storage Options: Aquifer CO₂ Storage vs CO₂-Enhanced Oil Recovery, Review Draft.

Zittel & Bünger [2008] W. Zittel, U. Bünger: Öl, Gas und Kohle – immer knapper, immer teurer? LBST München; Vortrag im Wuppertal Institut, August 2008

Tabelle 2: Verzeichnis zu Kapitel 3 und 4.3.

/1/ Herrmann, Keppeler, Frieß, DaimlerChrysler AG; Botha, Schaberg, Schnell, Sasol Technology: The Potential of Synthetic Fuels to meet Future Emission Regulation, Wiener Motorensymposium 2006

/2/ Keppeler, Frieß, Degen, Maly, DaimlerChrysler AG; Schaberg, Schnell, Sasol Technology: Impact of Synthetic Fuels Characteristics on Emissions and Engine Behavior, Esslingen, 2005

/3/ Krahl, Uni Coburg; Munack, Schröder, Stein, Herbst, Kaufmann, TU Braunschweig; Bünger, Uni Göttingen: Impact of Different Fossil and Biogenic Fuels on the Exhaust Gas and the Health Effects, Esslingen 2005

/4/ Steinbach, Harndorf, Khatchikian, Drewes, Kunz, Weber, Bosch; Louis, Shell: Synthetic versus Conventional Diesel: Evaluation of the Emission Perspectives of a Common Rail Engine using Thermodynamic Analysis and Spray Behavior Trials; Esslingen 2005

/5/ Steinbach, Harndorf, Weberbauer, Thiel, Bosch: Motorisches Potential von synthetischen Dieselmotoren, MTZ 02/2006

/6/ Clark, Lampreia, Stradling, Schmidt, Shell: Emissions Performance of Shell GTL Fuel in the Context of Future Fuel Specifications, SAE Paper 2006

/7/ Alleman, Eudy, National Renewable Energy Laboratory: Fuel Property, Emission Test and Operability Results from a Fleet of Class 6 Vehicles Operating on GTL and Catalyzed Diesel Particle Filters, SAE Paper 2004

/8/ Krahl, FH Coburg; Munack, Capan, Herbst, Kaufmann, Schröder, Stein, BfL Braunschweig; VDI-Bericht: Einfluss der Kraftstoffzusammensetzung auf limitierte und nicht limitierte Emissionen, 2004

- /9/ Geringer, TU Wien; Kutschera, Boestfleisch, Audi AG; VDI-Bericht: Verbesserungspotenziale alternativer Kraftstoffe an modernen Dieselmotoren, 2004
- /10/ Clark, Gainsborough, Jacometti, Louis, Warnecke, Shell: Der Einstieg in synthetische Kraftstoffe, Wiener Motorensymposium 2004
- /11/ Lepperhoff, Körfer, FEV; Pischinger, Busch RWTH Aachen; Keppeler, DaimlerChrysler AG; Schaberg, Schnell, Sasol : Potential of Synthetic Fuels in Future Combustion Systems for HSDI Diesel Engines, SAE Paper 2006
- /12/ Cherillo, Clark, Wedlock, Shell: Future Fuels and lubricant base oils from Shell Gas to Liquids technology, SAE Paper 2005
- /13/ Schaberg, Botha, Schnell, Sasol; Herrmann, Keppeler, Friess, DaimlerChrysler AG: HSDI Diesel Engine Optimisation for GTL Diesel Fuel, SAE Paper 2007
- /14/ Kitano, Sakata, Toyota; Clark, Shell: Effect of GTL Fuel Properties on DI Diesel Combustion, 14. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik 2005
- /15/ Tschöke, Uni Magdeburg: Dieselmischkraftstoffe mit Bioethanol und Biodiesel – Emissionen, Leistung und Verbrauch, CTI Fachkonferenz, München 2007
- /16/ Workshop “Erfahrungsaustausch GTL”, Volkswagen: GTL-Erfahrungen mit PKW, Essen 2008
- /17/ Prof. Lou Diming, Tongji Universität: Shell Synthetic Fuel Road Trial on City Bus and Taxi in Shanghai, China, 2008
- /18/ Stutzenberger, Bosch: Benefits of GTL Use in Modern CV Engines, Essen 2008
- /19/ Pucher, TU Wien: Neue Abgasgrenzwerte und Zertifizierungsmethoden für schwere Nutzfahrzeuge – Lkw, Wien 2003
- /20/ Clark, Unsworth, Shell: The Performance of Diesel Fuel Manufactured by the Shell Middle Distillate Synthesis Process, Esslingen 1999
- /21/ Clark, Virrels, Maillard, Schmidt, Shell: The Performance of Diesel Fuel Manufactured by Shell’s GTL Technology in the Latest Technology Vehicles, Esslingen 2001
- /22/ Clark, Battersby, Palmer, Stradling, Whale, Louis, Shell: The Environmental Benefits of Shell GTL Diesel, Esslingen 2003
- /23/ Clark, Louis, Stradling, Shell: Shell Gas to Liquids in the context of Future Engines and Future Fuels, Esslingen 2005
- /24/ Clark, Lampeira, Stradling, Wardle, Shell: Emissions Performance of Shell GTL Fuel in Future World Markets, Esslingen, 2007
- /25/ Norton, Vertin, NREL, Clark, Lyons, Gautam, WVU, Goguen, Eberhardt, DOE: Emissions from Buses with DDC 6V92 Engines

- Using Synthetic Diesel Fuel, SAE Paper 1999
- /26/ Norton, Vertin, NREL, Clark, Lyons, Gautam, WVU, Goguen, Eberhardt, DOE: Emissions from Trucks using Fischer-Tropsch Diesel Fuel, SAE Paper 1998
- /27/ Bundesumweltamt Österreich: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Wien 2004
- /28/ Lamping: Zusammenhang zwischen Schadstoffreduktion und Verbrauch direkteinspritzender Dieselmotoren, Dissertation, RWTH Aachen 2006
- /29/ Kleinscheck, Scania: Emission Tests with synthetic Diesel Fuels (GTL & BTL) with a modern Euro 4 (EGR) Engine, Tech. Akad. Esslingen 2005
- /30/ May, Ricardo: Development an Demonstration of Fischer-Tropsch Fueled Heavy-Duty Vehicles with Control Technologies for Reduced Diesel Exhaust Emissions, 9th Diesel Engine Emission Reduction Conference, Rhode Island 2003
- /31/ Bronnenberg, E.ON: Synthetische Biokraftstoffe in der Praxis: Erfahrungen des PaderSprinter mit BTL-Kraftstoffen, Kraftstoffkongress Berlin 2005