

# Anlage

## Aktueller Entwicklungsstand im Bereich der Kraftstoffe

### ***Dieselmkraftstoff***

In Bezug auf Dieselmkraftstoffe hat der Bussektor erheblich von der Tatsache profitiert, dass die Antriebssysteme für schwere Nutzfahrzeuge derselben Produktfamilie angehören. Folglich kann man erstens erwarten, dass die Entwicklung zügig weitergeht, und zweitens können auch die Entwicklungskosten, die an die Kunden weitergegeben werden, erheblich gesenkt werden. Allerdings kann im Zusammenhang mit der Erfüllung der EURO-IV, EURO-V- oder gar EEV-Norm ein weiterer Kostenanstieg erwartet werden. In vielen Fällen sind eine Nachrüstung mit den besten verfügbaren Techniken zur Abgasnachbehandlung und die Verwendung von schwefelfreiem Diesel ausreichend. Die großen Motorenhersteller setzten wahlweise auf die eine oder andere der beiden Alternativen zur Emissionsreduzierung (Katalysatoren – bei EGR- und CRT-Systemen werden unverbrannte Kohlenwasserstoffe oxidiert und Partikel gefiltert, während bei SCR-Systemen Stickoxide mit Hilfe von Harnstofflösungen reduziert werden), sodass eine Phase der Marktaufspaltung (bei den Dieselmotoren) und infolgedessen auch eine neue Bewertungsperiode eröffnet wurden. Zudem wurden auch einige Anwendungen von Diesel-Wasser-Emulsionen zum Zwecke der NO<sub>x</sub>-Reduzierung dokumentiert.

Wie bereits festgestellt, ist diese Reduzierung der Emissionen mit Hilfe von Katalysatoren nur aufgrund der drastischen Senkung des Schwefelgehalts im Dieselmkraftstoff möglich, was wiederum zu einem starken Anstieg der Produktion von Wasserstoff geführt hat, der bei den meisten Verfahren zur Schwefelreduzierung benötigt wird.

### ***Erdgas - CNG***

Die Ökobilanz von Erdgas ist äußerst positiv: Sieht man von den unverbrannten Kohlenwasserstoffen ab, dann entspricht Erdgastechnologie bereits der EEV-Norm. Im Hinblick auf die Kohlendioxidemissionen bietet der Gasbetrieb keine Vorteile. Zudem sind die Beförderungskapazität und die Verfügbarkeit wegen des Mehrgewichts der Gastanks und wegen der regelmäßig erforderlichen Inspektionen und Tests etwas niedriger. Die Anschaffungskosten dieser Fahrzeuge sind in den letzten Jahren nicht gesunken. Die Mehrkosten haben damit nach wie vor eine Größenordnung von 20 bis 25 %, wobei darin die oftmals hohen Investitionen für feste Anlagen (Betankungseinrichtungen, Sicherheit etc.) noch gar nicht enthalten sind.

Allerdings folgt die Preisentwicklung beim Erdgas nicht demselben Muster wie die flüssigen fossilen Kraftstoffe. So verspüren einige Betreiber wegen der günstigen Preisdifferenz zwischen CNG und Dieselmkraftstoff (auf Kilometerbasis) bereits ein wenig Erleichterung.

Wie verschiedene Erfahrungen aus den USA in letzter Zeit gezeigt haben, ist es auch möglich, Biogas oder selbst Erdgas in Dieselmkraftstoff umzuwandeln. Das Verfahren wird als „Gas-to-Liquids“ oder auch *GtL* bezeichnet. Solche Kraftstoffe können dann von herkömmlichen Dieselmotoren verwendet werden.

### ***Flüssiggas - LPG***

In Bezug auf LPG hat sich die Situation in den letzten Jahren nicht sonderlich verändert: Die Verwendung dieses Kraftstoffs rechtfertigt sich nach wie vor dadurch, dass Unmengen von LPG nutzlos abgefackelt werden müssen. Die Erfahrungen, die von einer Reihe von Betreibern berichtet werden, sind absolut positiv, doch viele Staaten zögern aus Gründen der Sicherheit noch mit der Genehmigung dieses Kraftstoffs. LPG-Fahrzeuge kosten etwa 15-20 % mehr als Dieselfahrzeuge und erfordern auch hohe Erstinvestitionen. Die Nutzung dieser Technologie ist daher auf die finanzielle Förderung durch die lokalen Behörden zurückzuführen.

### ***Biokraftstoffe***

Biomasse kann in unterschiedlicher Weise als Kraftstoff für den Straßenverkehr genutzt werden:

- *Pflanzenöle in Reinform oder durch Transesterifizierung in Biodiesel umgewandelt*: Sie werden als alternativer Dieselmkraftstoff, als Zusatz oder als reiner Biodiesel verwendet. Dieses Produkt kann auch durch die Verarbeitung von gebrauchten Speisefetten erzeugt werden, sofern ein gutes Sammelsystem vorhanden ist.

- *Bio-Ethanol*: Zuckerrüben, Getreide etc. kann fermentiert werden, um Alkohol herzustellen, der entweder als Zusatzstoff für Ottokraftstoffe oder als Kraftstoff in Reinform verwendet wird.
- *Biogas*: Ein Gasgemisch mit hohem Methangehalt, das man durch die Fermentierung von Biomasse und die anschließende Herausfilterung unnutzer oder schädlicher Nebenprodukte (Kohlendioxid, Schwefeloxide) erhält.
- Anhand des „Fischer-Tropsch-Verfahrens“ kann aus Biomasse Dieselkraftstoff produziert werden, was eine einfache Nutzung ermöglicht. In diesem Zusammenhang wird das Akronym *BtL* („Biomass to Liquids“) verwendet.

Allerdings gehen bei der Herstellung von Biodiesel bis zu 50 % und bei der Herstellung von Bio-Ethanol gar mehr als 50 % des CO<sub>2</sub>-Vorteils verloren. Doch bei einem Ölpreis von über EUR 70/Barrel wäre die Herstellung von Biokraftstoffen verglichen mit der Produktion von konventionellem Otto- und Dieselkraftstoff auf Erdölbasis kostendeckend. Im Allgemeinen ist davon auszugehen, dass für die Produktion von Biokraftstoffen aus Biomasse große Flächen von Agrarland benötigt werden, das aber nur in begrenztem Umfang zur Verfügung steht.

### **Wasserstoff und Brennstoffzellen**

Da Wasserstoff ein Element ist, das nur durch Fusion zerstört bzw. umgewandelt werden kann, könnte die allgemeine Nutzung von Wasserstoff die nachhaltige Lösung für alle Zeiten sein. Und weil Brennstoffzellen lediglich Wasserdampf produzieren, würden sich auch die Sorgen in Bezug auf (schädliche) Emissionen schlichtweg auflösen.

Wasserstoff kommt in freier Form nicht in der Natur vor und muss daher anhand einfacher aber energieintensiver chemischer Verfahren (Elektrolyse von Wasser, Dampfreformierung von Erdgas) aus den verfügbaren Verbindungen (Wasser und Kohlenwasserstoffe) gewonnen werden. Somit stellt sich die Frage der Nachhaltigkeit der Wasserstoffherstellung, die mit der Nachhaltigkeit der Produktion der elektrischen Energie und/oder mit dem Vorkommen von Erdgas verknüpft ist.

Die Verwendung von Wasserstoff als Kraftstoff für Fahrzeuge ist aber nicht auf Brennstoffzellen beschränkt. Wasserstoff ist auch ein perfekter Kraftstoff für konventionelle Ottomotoren. Dies wurde in mehreren Versuchen nachgewiesen, die verschiedene Motorenhersteller oder Betreiber durchgeführt haben. Infolgedessen soll diese Technologie im Rahmen einiger neuerer Programme auf EU-Ebene unter realen Betriebsbedingungen erprobt werden. Aufgrund der im Vergleich zu Brennstoffzellen erheblich niedrigeren Kosten von Verbrennungsmotoren scheint diese Lösung die geeignetste zu sein, bis schließlich Brennstoffzellen in der Anschaffung und im Betrieb durch künftige Entwicklungen deutlich günstiger sein werden. Bei der Verwendung von Wasserstoff in Verbrennungsmotoren entsteht NO<sub>x</sub>. Diese Emissionen können aber unter den Grenzwerten der einschlägigen Norm gehalten werden. Als Zwischenlösung sind auch Gemische aus Wasserstoff und Erdgas möglich.

### **Hybridfahrzeuge**

Hybridfahrzeuge erscheinen für die unmittelbare Zukunft als gangbare alternative Technologie und auch für die künftigen Brennstoffzellenbusse werden aus unterschiedlichen Gründen Hybridlösungen ins Auge gefasst. Was in diesem Fall als Hybrid bezeichnet wird, ist im Prinzip das Vorhandensein von zwei Quellen, aus denen die Fahrenergie entnommen wird. Dabei wird die volle Leistung erreicht, indem die Brennstoffzellenstacks zusätzlich durch die aus einem Energiespeichersystem stammende Leistung unterstützt werden. Bei den Energiespeichersystemen gibt es vielfältige Alternativen. Einige davon werden noch intensiv erforscht oder getestet (Supercaps, Supraleiter), während bei anderen noch Veränderungen notwendig sind (Schwungräder).

Da die Batterien während der Fahrt semikontinuierlich oder gar kontinuierlich aufgeladen werden, kann der Hauptenergielieferant (Motoren, Brennstoffzellen) viel kleiner (und billiger) sein als in einem konventionellen Fahrzeug.

Selbstverständlich hängt der Umfang der Kraftstoffeinsparungen von den Einsatzbedingungen der Fahrzeuge ab. Im Falle der Verbrennungsmotoren kann indessen ein nahezu konstanter Betriebsmodus (kontinuierliche Aufladung des Energiespeichers) die Emissionen erheblich reduzieren und zudem die Abgasnachbehandlung erleichtern. Was die Brennstoffzellen angeht, so ist eine höhere Leistung und eine Reduzierung ihrer Größe von höchstem Interesse.