

D G M K
Forschungsbericht
616-1

AdBlue als Reduktionsmittel für
die Absenkung der NO_x-Emissionen aus
Nutzfahrzeugen mit Dieselmotor



Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft
für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V.

Das diesem DGMK-Forschungsbericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aus Mitteln der DGMK Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V. gefördert.

Die DGMK und die Bearbeiter haben das Vorhaben mit wissenschaftlicher Genauigkeit und Sorgfalt durchgeführt. Es wird keine Gewähr für die Anwendbarkeit der in diesem Bericht mitgeteilten Ergebnisse übernommen.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des auszugsweisen Nachdrucks, der Herstellung von Mikrofilmen und der fotomechanischen Wiedergabe, nur mit ausdrücklicher schriftlicher Genehmigung der DGMK.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of
DGMK

Als Manuskript gedruckt.

ISSN 0937-9762
ISBN 3-936418-08-X

Preis: EUR 50,00
(DGMK-Mitglieder 50 %)
zzgl. ges. MwSt.

Verbreitung und Verkauf nur durch:



Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft
für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V.

Kapstadtring 2, 22297 Hamburg
Postfach 60 05 49, 22205 Hamburg
Telefon: (040) 63 90 04-31/33/32
Telefax: (040) 63 00 736
Bankverbindung:
Dresdner Bank AG, Hamburg, Konto 9 085 166 00
(BLZ 200 800 00)

Amtsgericht Hamburg 69 VR 6898



Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft
für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V.

DGМК-Forschungsbericht 616-1

AdBlue als Reduktionsmittel für die Absenkung der NO_x-Emissionen aus Nutzfahrzeugen mit Dieselmotor

Kurzfassung:

Das Parlament der Europäischen Union hat für die Jahre 2005 und 2008 verschärfte Abgasnormen für Dieselmotoren von schweren Nutzfahrzeugen (EURO 4 und EURO 5) verabschiedet.

Nach Vergleich und Erprobung verschiedener technischer Möglichkeiten haben sich die europäischen Hersteller von schweren Nutzfahrzeugen auf ein Verfahren, die „selektive katalytische Reduktion“ (SCR) und ein Reduktionsmittel „wässrige Harnstofflösung“ (AdBlue) geeinigt.

Die europäische Automobilindustrie plant, ab dem Jahr 2004 schwere Nutzfahrzeuge mit der SCR-Technik sukzessive auszurüsten.

Die Automobilindustrie geht davon aus, dass die Mineralölwirtschaft das Reduktionsmittel AdBlue über ein separates Betankungssystem an ihren öffentlichen Tankstellen schließlich flächendeckend zur Verfügung stellt.

Der Bericht schildert die Aktivitäten nationaler und internationaler Gremien, die sich mit der Einführung der SCR/Harnstoff-Technik befassen. Er beschreibt die noch ungeklärten Fragen im Hinblick auf die neuen technischen und logistischen Anforderungen.

Die Studie berücksichtigt die vorliegenden Informationen mit Stand bis Juli 2003.

Berichtsumfang:	29 Seiten, 3 Tabellen, 1 Abbildung, 21 Literaturhinweise, 7 Anhänge
Laufzeit:	2002 – 2003
Autor:	Dr. Wolf-Peter Trautwein, Hamburg
Projektbegleitung:	M. Angelopoulos, ESSO Deutschland GmbH, Hamburg E. Auer, Agrolinz Melamin GmbH, A - Linz F. F. Behrens, VDA Verband der Automobilindustrie e.V., Frankfurt J.-U. Brandis, UNITI e.V., Hamburg A. Graf Bülow, BfT e.V., Bonn J. Ebner, Daimler Chrysler AG, Stuttgart G. Emmerling, MAN Nutzfahrzeuge AG, Nürnberg M. Frankrone, Hydro Gas and Chemicals GmbH, Oberhausen Dr. T. Gottschalk, ELAFLEX Tankstellentechnik GmbH & Co, Hamburg M. Günther, Tankschutz Bott GmbH, Bad Brückenau Dr. G. Hagenow, Deutsche Shell GmbH, Hamburg L. Hahn, OMV Deutschland GmbH, Landshut H.-J. Kalisch, ESSO Deutschland GmbH, Hamburg B. Krause, Umweltbundesamt, Berlin Dr. K. von Kurnatowski, SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Lutherstadt Wittenberg M. Øverlie, Hydro Gas and Chemicals, N - Oslo P. Pröhl, SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Lutherstadt Wittenberg G. Sasse, Mineralölwirtschaftsverband e.V., Hamburg Dr. P. Saueremann, Deutsche BP AG ARAL Forschung, Bochum M. Schmidt, Deutsche Shell GmbH, Hamburg P. Schnell, Total Deutschland GmbH, Berlin B. Scholtissek, Deutsche BP AG ARAL Forschung, Bochum Dr. B. Schulwitz, GMA-Ges. für Mineralöl-Analytik und Qualitätsmanagement mbH + Co. KG, Hamburg M. Schulz, Dresser Europe GmbH, Einbeck T. Spietzack, Shell & DEA Oil GmbH, Hamburg P.M.J. Thomassen, Kuwait Petroleum Research & Technology B.V., NL – Hoogvliet
Projektkoordination:	Dr. B.-R. Altmann, DGМК, Hamburg
DGМК-Fachausschuss:	Lagerung, Transport und Verteilung
DGМК-Fachbereich:	Verarbeitung und Anwendung
Veröffentlichung:	Hamburg, September 2003



Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft
für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V.

DGMK-Research Report 616-1

AdBlue as a Reducing Agent for the Decrease of NO_x Emissions from Diesel Engines of Commercial Vehicles

Abstract:

The Parliament of the European Union has issued stricter emission standards (Euro 4 and 5) for diesel engines of HD (heavy duty) commercial vehicles for the years 2005 and 2008.

After comparing and testing various technical options the European manufacturers of HD commercial vehicles have agreed on one method, the „selective catalytic reduction“ (SCR) and on one reducing agent, *AdBlue*, an aqueous solution of urea.

The European automobile industry plans to successively equip HD vehicles with the SCR technology. The automobile industry assumes that mineral oil industry and trade will make available the reducing agent AdBlue via a separate tanking system at their public service stations – eventually in a balanced distribution throughout Europe.

This report describes the activities of national and international committees engaged in the introduction of the SCR/urea technology. It also outlines questions as yet unresolved with respect to the new technical and logistic requirements.

Length of the report:	29 pages, 3 tables, 1 figure, 21 references, 7 annexes
Duration:	2002 – 2003
Author:	Dr. Wolf-Peter Trautwein, Hamburg
Projectadvisors:	M. Angelopoulos, ESSO Deutschland GmbH, Hamburg E. Auer, Agrolinz Melamin GmbH, A - Linz F. F. Behrens, VDA Verband der Automobilindustrie e.V., Frankfurt J.-U. Brandis, UNITI e.V., Hamburg A. Graf Bülow, BfT e.V., Bonn J. Ebner, Daimler Chrysler AG, Stuttgart G. Emmerling, MAN Nutzfahrzeuge AG, Nürnberg M. Frankrone, Hydro Gas and Chemicals GmbH, Oberhausen Dr. T. Gottschalk, ELAFLEX Tankstellentechnik GmbH & Co, Hamburg M. Günther, Tankschutz Bott GmbH, Bad Brückenau Dr. G. Hagenow, Deutsche Shell GmbH, Hamburg L. Hahn, OMV Deutschland GmbH, Landshut H.-J. Kalisch, ESSO Deutschland GmbH, Hamburg B. Krause, Umweltbundesamt, Berlin Dr. K. von Kurnatowski, SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Lutherstadt Wittenberg M. Øverlie, Hydro Gas and Chemicals, N - Oslo P. Pröhl, SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Lutherstadt Wittenberg G. Sasse, Mineralölwirtschaftsverband e.V., Hamburg Dr. P. Sauermann, Deutsche BP AG ARAL Forschung, Bochum M. Schmidt, Deutsche Shell GmbH, Hamburg P. Schnell, Total Deutschland GmbH, Berlin B. Scholtissek, Deutsche BP AG ARAL Forschung, Bochum Dr. B. Schulwitz, GMA-Ges. für Mineralöl-Analytik und Qualitätsmanagement mbH + Co. KG, Hamburg M. Schulz, Dresser Europe GmbH, Einbeck T. Spietzack, Shell & DEA Oil GmbH, Hamburg P.M.J. Thomassen, Kuwait Petroleum Research & Technology B.V., NL – Hoogvliet
Project Coordination:	Dr. B.-R. Altmann, DGMK, Hamburg
DGMK Committee:	Storage, Transportation and Distribution
DGMK Division:	Refining and Product Application
Published:	Hamburg, September 2003

Inhalt

0	Zusammenfassung/Summary	1
1	Grundlagen zur Nachbehandlung von NFZ-Dieselabgasen	5
1.1	Euronormen zur Reduzierung von Abgasemissionen	5
1.2	Senkung der Abgasemissionen	6
1.3	Das SCR-Verfahren	7
1.4	Harnstoff als Reduktionsmittel	7
1.5	Kombiniertes Abgasbehandlungssystem auf der Grundlage des SCR-Verfahrens	8
2	Harnstoff/AdBlue: Herstellung und Eigenschaften	9
2.1	Wissenschaftshistorischer Exkurs	9
2.2	Herstellung und Verwendung von Harnstoff	9
2.3	Eigenschaften und Umweltverhalten von Harnstoff	10
2.4	Herstellung und Verwendung von AdBlue	10
2.5	Eigenschaften und Umweltverhalten von AdBlue	11
2.6	Standardisierung von AdBlue	11
3	Bedarfsprognose und Wirtschaftlichkeit von AdBlue	13
3.1	Bedarfsprognose von AdBlue	13
3.2	Wirtschaftlichkeit von AdBlue	13
4	Nationale und internationale Aktivitäten	15
4.1	Verband der Automobilindustrie (VDA)	15
4.2	Dachverband der Europäischen Automobilindustrie (ACEA)	16
4.3	Europäischer Verband der Petroleum-Industrie (EUROPIA)	17
4.4	Entwicklung in den USA	17
4.5	Entwicklung in Japan	17
4.6	Zapfventilhersteller	18
4.7	Tankbehälter	18
5	Infrastruktur für AdBlue - Forderungen der Automobilindustrie - Konsequenzen für die Mineralölwirtschaft	19
5.1	Überlegungen und Forderungen der Automobilindustrie	19
5.2	Konsequenzen für die Mineralölwirtschaft	20
6	Darstellung notwendiger Entwicklungen	21
7	Schlussfolgerungen	23
8	Literatur	25
9	Verzeichnis der Abkürzungen	27
10	Anhänge	29

0 Zusammenfassung

Das Parlament der Europäischen Union hat für die Jahre 2005 und 2008 verschärfte Abgasnormen für Dieselmotoren von schweren Nutzfahrzeugen verabschiedet, die für die Emission von Stickoxiden eine Reduktion um 60 % und die von Partikeln um 80 % gegenüber den zur Zeit geltenden Grenzwerten verlangen (EURO 4 und EURO 5).

Nach Vergleich und Erprobung verschiedener technischer Möglichkeiten haben sich die europäischen Hersteller der schweren Nutzfahrzeuge auf ein Verfahren zur Einhaltung dieser Grenzwerte geeinigt: die „selektive katalytische Reduktion“ (SCR-Verfahren), bei der die Stickoxide in Gegenwart eines Reduktionsmittels in unschädlichen Stickstoff und Wasserdampf umgesetzt werden. Die europäische Automobilindustrie hat sich darauf verständigt, einheitlich eine wässrige Lösung von Harnstoff als Reduktionsmittel einzusetzen, die unter der Bezeichnung „AdBlue“ vertrieben werden soll.

Maßgeblich für diesen Beschluss der Nutzfahrzeughersteller ist die Tatsache, dass die SCR/Harnstoff-Technik das einzige Verfahren darstellt, welches die erforderliche Absenkung der Abgasemissionen bei gleichzeitiger Optimierung des Motors hinsichtlich Leistungsverhalten und Kraftstoffverbrauch ermöglicht. Außerdem ist dieses Verfahren bei allen Motoren anwendbar.

Im vorliegenden Bericht werden Herstellung, Eigenschaften und Umweltverhalten sowohl des Harnstoffs als auch seiner wässrigen Lösung beschrieben. Die Lösung ist korrosiv, weshalb bei ihrer Handhabung bestimmte Materialien verwendet werden müssen. Produktqualität und Eigenschaften von AdBlue sind in der Norm DIN 70070 definiert, die die Grundlage für einen späteren EN- oder ISO-Standard bilden soll.

Nach einer Umfrage des Verbandes der Automobilindustrie wird der jährliche Bedarf an AdBlue für den Einsatz in schweren Nutzfahrzeugen von über 2,5 Mio t im Jahre 2012 prognostiziert. Faktoren, die die Kosten von AdBlue bestimmen, sind vor allem die Energie- und Rohstoffkosten zur Herstellung des Harnstoffs sowie die Distributivkosten für AdBlue, die wiederum durch die Art der Verteilung und die damit eventuell verbundenen Investitionen an der Tankstelle beeinflusst werden.

Der vorliegende Bericht schildert die Aktivitäten nationaler und internationaler Gremien, die sich mit der Einführung der SCR/Harnstoff-Technik befassen. Berücksichtigt wurden die Informationen bis Juli 2003.

Die europäische Automobilindustrie plant, ab dem Jahr 2004 Lastkraftwagen über 3,5 t mit dem SCR-Katalysator auszurüsten. Nach ihren Vorstellungen soll die Versorgung dieser Fahrzeuge mit AdBlue in drei Phasen erfolgen: anfangs über die Betriebstankstellen größerer Fahrzeugflotten, dann auch über Autobahn-Knotenpunkte und schließlich europaweit und flächendeckend auch über das öffentliche Tankstellennetz der Mineralölkonzerne und -händler. Sie geht dabei davon aus, dass AdBlue über ein separates Betankungssystem zur Verfügung gestellt wird.

Mineralölindustrie und -handel müssen entscheiden, ob sie das für die SCR/Harnstoff-Technik benötigte Reduktionsmittel an ihren Tankstellen anbieten und die dafür erforderlichen Investitionen für zusätzliche Tanks, Leitungssysteme und Zapfvorrichtungen aufbringen wollen, oder ob sie es bevorzugen, AdBlue in ortsbeweglichen Behältern vorzuhalten, aus denen die LKW-Fahrer dann ihre AdBlue-Tanks auffüllen können.

Der Bericht schildert die noch ungeklärten Fragen im Hinblick auf technische und logistische Anforderungen und die zu ihrer Klärung von der DGMK initiierten Feldtests, deren Ergebnisse in einem Folgebericht 616-2 beschrieben werden sollen.

Summary

The Parliament of the European Union has issued stricter emission standards (Euro 4 and 5) for HD diesel engines for the years 2005 and 2008. Compared to current limits an emissions reduction of 60 % for nitrogen oxides and of 80 % for particulate matter will be required.

After comparing and testing various technical options the European manufacturers of HD commercial vehicles have agreed on **one** method for meeting these standards: the „*selective catalytic reduction*“ (SCR technology), which converts nitrogen oxides into innocuous nitrogen and water in the presence of a reducing agent. The European automobile industry has also agreed on **one** reducing agent: an aqueous solution of urea, which shall be distributed under the trade name „*AdBlue*“.

The main reason for this decision of the HD commercial vehicle industry was the fact that the SCR/urea technology appears to be the only method which enables the necessary decrease of exhaust emissions while maintaining engine optimization with regard to performance and fuel economy. Furthermore this method can be applied to all engines.

The present report describes the production, properties and environmental impact of urea as well as of its aqueous solution. Since the solution is corrosive, certain materials are required for its handling. Product quality and properties of AdBlue are defined in the DIN standard 70070, which should form the basis for a later EN or ISO standard.

According to a survey of the Association of the Automobile Industry (VDA), the annual demand for AdBlue for the use in HD commercial vehicles is estimated to increase from initially 500 t to over 2.5 million t in the year 2012. The cost of AdBlue is mainly determined by the costs of energy and raw materials in the production of urea, also by the costs for distribution; the latter depend on the means of distribution and the investments probably required at the service stations.

The present report describes the activities of national and international committees working on the introduction of the SCR/urea technology. Beginning in the year 2004, the European automobile industry plans to equip their HD trucks with the SCR converters. It is proposed that the supply of these vehicles with AdBlue will be accomplished in three phases: initially by filling stations of larger fleet owners, followed by filling stations along magistrale routes in Europe and finally also by public filling stations in a balanced distribution in Europe. The automobile industry assumes that AdBlue will be distributed through a separate tanking system.

Mineral oil industry and trade will have to decide whether they will offer the reducing agent required for the SCR/urea technology, at their service stations, and whether they will invest in the necessary infrastructure of additional tanks, piping, pumps and filling nozzles, or whether they prefer to supply AdBlue in mobile containers, from which the truck drivers can fill up their AdBlue tanks.

This report lists a number of as yet unresolved issues in the area of technical and logistic requirements and the field tests initiated by DGMK for their resolution. The results of these tests will be described in the follow-up report 616-2.

1 Grundlagen zur Nachbehandlung von NFZ-Dieselabgasen

1.1 Euronormen zur Reduzierung von Abgasemissionen

Das Parlament der Europäischen Union hat Ende 1999 verschärfte Abgaswerte für Dieselmotoren von Nutzfahrzeugen verabschiedet [1]: Die Abgasnorm Euro 4, die im Oktober 2005 in Kraft treten wird, schreibt Grenzwerte vor, die bei Stickoxiden (NO_x) um 30 %, bei Partikeln (Ruß) um 80 % unter denen der gegenwärtig geltenden Norm Euro 3 liegen. Im Jahre 2008 werden in einem zweiten Schritt (Euro 5) die NO_x-Grenzwerte noch einmal weiter abgesenkt. Auch die bei Dieselmotoren an sich schon recht niedrigen Abgaswerte für Kohlenmonoxid (CO) und unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) müssen nach der Abgasnorm Euro 4 reduziert werden.

Schadstoff	Euro 3 seit 2001	Euro 4 ab 2005	Euro 5 ab 2008
Stickoxide (NO _x)	5,0	3,5	2,0
Kohlenmonoxid (CO)	2,0	1,5	1,5
Unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC)	0,66	0,46	0,46
Partikel	0,1	0,02	0,02

Tab. 1: Abgas-Grenzwerte der EU Norm 99/96/EG für schwere Nutzfahrzeuge (>3,5 t; > 85 kW) in g/kWh

Hintergrund für diese Verschärfung der KFZ-Abgasvorschriften ist die EU-Luftqualitätsrichtlinie, die Luftverunreinigungen durch Industrieanlagen und Kraftfahrzeugverkehr weiter verringern soll. Im Jahre 1999 war der Straßenverkehr mit 51 % der Hauptemittent der Stickoxide; dagegen hatten Industriefeuerungen sowie Kraft- und Fernheizwerke mit 28 % nur einen relativ kleinen Anteil [2]. Sie bilden in der Atmosphäre Salpetersäure, die zusammen mit Schwefelsäure den sogenannten sauren Regen verursacht. In höheren Konzentrationen wirken Stickoxide bei längerer Einwirkung auf die Atemorgane des Menschen als Reizgase, und außerdem sind sie Ausgangsstoffe für die Bildung von Photo-Oxidantien wie Ozon.

Partikel enthalten polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH - *polycyclic aromatic hydrocarbons*), die z. T. als krebserregend gelten.

Deshalb sollen mit den neuen Abgasvorschriften der Euronormen 4 und 5 die Emissionen der Schadstoffe gesenkt werden.

1.2 Senkung der Abgasemissionen

Für die Senkung der Abgasemissionen gibt es eine Reihe verschiedener technischer Lösungen. Der VDA beschreibt in seinem Jahresbericht 2002 folgende Möglichkeiten:

- Innermotorische Maßnahmen: Brennraumgestaltung, Gemischaufbereitung/Zündung, Ventilsteuerung
- Dreiwegekatalysator zur Senkung der CO-, HC- und NO_x-Emissionen mit Betrieb des Motors im stöchiometrischen Verhältnis ($\lambda = 1$) bei Ottomotoren
- Katalysator und Betrieb des Motors mit Luftüberschuss ($\lambda > 1$) zur Senkung der NO_x-Emissionen
- Oxidationskatalysator zur Reduzierung der CO-, HC- und in gewissem Umfang der Partikel-Emissionen
- Abgasrückführung (EGR) zur Senkung der NO_x-Emissionen
- Speicherkatalysator mit gesonderter Regelung zur Reduzierung der NO_x-Emissionen
- Katalysator mit selektiver Reduktion (SCR) zur Senkung der NO_x-Emissionen (mit Additiv als Reduktionsmittel)
- Partikelfilter mit kontinuierlicher oder diskontinuierlicher Regeneration (mit oder ohne Additiv als Regenerationshilfe)

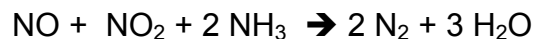
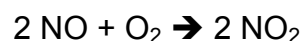
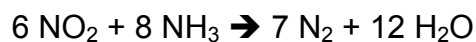
Diese verschiedenen Verfahren können teilweise miteinander kombiniert werden. Für einige dieser Techniken (Speicherkatalysator, SCR-Verfahren und Partikelfilter) ist laut VDA aber noch erhebliche Entwicklungsarbeit zu leisten [3].

Bei dem Versuch, Partikel- und Stickoxid-Emissionen von Dieselmotoren gleichzeitig zu verringern, kommt man jedoch in ein Dilemma, denn es besteht ein Zusammenhang zwischen der Bildung von NO_x einerseits und der Entstehung der übrigen Schadstoffe andererseits: Man kann die NO_x-Emissionen absenken, indem man durch Abgasrückführung (EGR – „*exhaust gas recycling*“), also durch eine innermotorische Maßnahme, die Temperatur im Brennraum erniedrigt. Dann nehmen jedoch die Emissionen von Partikeln, unverbrannten Kohlenwasserstoffen (HC) und Kohlenmonoxid (CO) zu; außerdem wird die Leistungscharakteristik der Dieselmotoren negativ beeinflusst und der Kraftstoffverbrauch und damit die CO₂-Emissionen steigen an. Optimiert man dagegen die Verbrennung im Motor hinsichtlich Wirkungsgrad, Leistungsverhalten und Rußbildung, steigen die NO_x-Werte so weit an, dass die zukünftigen Euro-Normen nicht eingehalten werden.

1.3 Das SCR-Verfahren

Einen Ausweg aus diesem Dilemma bietet das oben angeführte, als selektive katalytische Reduktion (SCR - „*selective catalytic reduction*“) bezeichnete Verfahren, bei dem die NO_x-Emissionen, die bei einer wirkungsgradoptimierten Verbrennung im Motor entstehen, nachmotorisch an einem Keramik-Katalysator mit Hilfe eines Reduktionsmittels in unschädliche Substanzen umgewandelt werden [4].

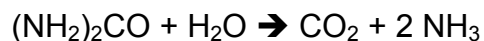
Als Reduktionsmittel kommt hierfür Ammoniak (NH₃) in Frage. Die chemische Reaktion, die sich dabei am Keramik-Katalysator im Abgasstrang hinter dem Motor abspielt, besteht in einer Reduktion der Stickoxide NO₂ und NO durch Ammoniak nach folgenden Gleichungen:



Wie man aus den Gleichungen ersehen kann, setzt sich Stickstoffdioxid (NO₂) direkt mit Ammoniak um, während Stickstoffmonoxid (NO) zunächst teilweise mit Sauerstoff (O₂) zu NO₂ oxidiert wird (die Reduktion der Gesamt-Stickoxide verläuft am schnellsten, wenn NO und NO₂ im Mischungsverhältnis 1:1 vorliegen). Bei dieser Reaktion entsteht neben Wasser(dampf) nur elementarer Stickstoff (N₂), der mit rund 80 % ohnehin den natürlichen Hauptbestandteil der Luft bildet.

1.4 Harnstoff als Reduktionsmittel

Ammoniak ist allerdings ein sehr aggressives und gesundheitsgefährdendes Gas. Sein Einsatz im Straßenverkehr würde nach Ansicht des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit die Erstellung eines umfangreichen Regelwerkes erforderlich machen, das z.B. den Umweltschutz, den Arbeitsschutz und die Verkehrssicherheit betrifft [5]. Deshalb zieht man es vor, NH₃ nicht als solches einzusetzen, sondern vielmehr harmlosere chemische Verbindungen, die NH₃ erst im Abgasstrom freisetzen. Harnstoff ist eine solche Substanz, die Ammoniak bei höherer Temperatur in Gegenwart von Wasserdampf nach folgender Gleichung bildet:



Auch der Harnstoff wird nicht als reine Substanz eingesetzt, denn er bildet ein festes weißes Pulver, das sich als solches im Abgasstrom nur schlecht exakt dosieren lässt. Vielmehr soll eine wässrige Lösung von Harnstoff verwendet werden, die im nächsten Kapitel näher beschrieben wird.

Das Verfahren der selektiven katalytischen Reduktion mit Harnstoff als Reduktionsmittel hat sich bei der Abgas-Entstickung stationärer Einrichtungen, wie Kraftwerke und Müllverbrennungsanlagen, bereits in der Praxis bewährt. Für den Einsatz in mobilen Systemen wie Kraftfahrzeugen bedarf es aber – wie oben erwähnt – noch einiger Entwicklungsarbeit.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass prinzipiell auch andere NH_3 -abspaltende Verbindungen im SCR-Verfahren eingesetzt werden können. Hierzu zählt z.B. Ammoniumcarbamat, $\text{H}_2\text{NCOONH}_4$, dessen Eignung in einem Forschungsprojekt des Institutes für Chemische Technik an der Universität Karlsruhe untersucht wurde [6]. Außerdem können grundsätzlich auch ganz andere reduzierende Substanzen wie Erdgas oder höhere Kohlenwasserstoffe (z. B. Ottokraftstoff), verwendet werden, um Stickoxide im SCR-Verfahren in unschädlichen Stickstoff umzuwandeln.

1.5 Kombiniertes Abgasbehandlungssystem auf der Grundlage des SCR-Verfahrens

Um das Emissionsverhalten eines Dieselmotors zu optimieren, kann man folgende Vorrichtungen miteinander kombinieren: Die Abgase durchströmen hinter dem Motor zuerst einen Oxidationskatalysator, in dem NO teilweise zu NO_2 und unverbrannte Kohlenwasserstoffe zu CO_2 und Wasser oxidiert werden. Anschließend wird nach Zugabe des Harnstoffs und seiner Hydrolyse zu NH_3 und CO_2 das Gemisch von Stickstoffmonoxid und -dioxid am SCR-Katalysator zu unschädlichem Stickstoff und Wasser umgesetzt. Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt eine schematische Darstellung eines solchen kombinierten Abgasbehandlungssystems.

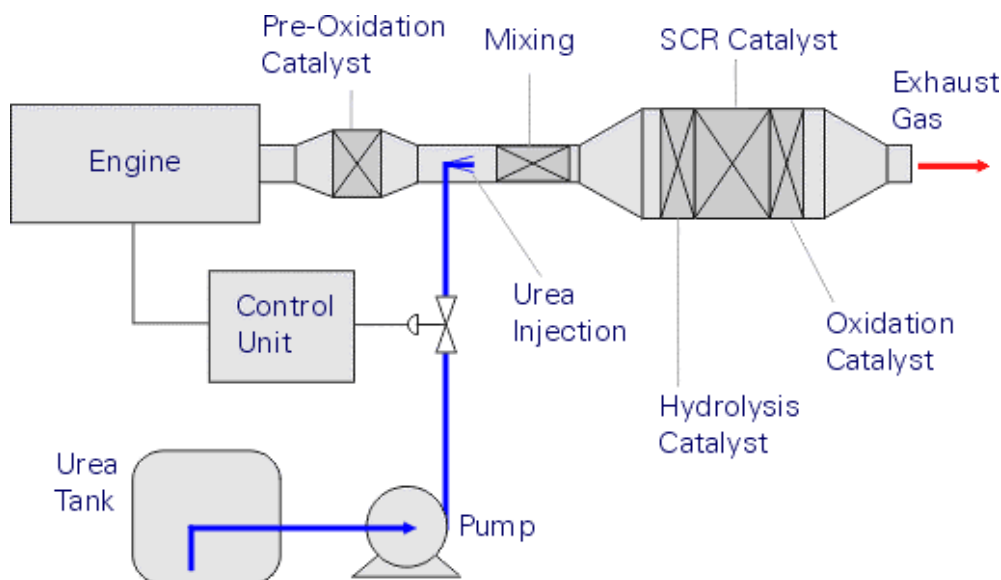


Abb. 1: Schema eines kombinierten Abgasbehandlungssystems auf Grundlage des SCR-Verfahrens [7]

Im September 2002 berichteten die VDI-Nachrichten, dass das SCR-Verfahren seine grundsätzliche Praxistauglichkeit im Rahmen eines vom bayerischen Staatsministerium für Landsentwicklung und Umweltfragen geförderten Feldversuches unter Beweis gestellt hat. Dabei sind zehn Mercedes-Benz-Nutzfahrzeuge, die mit SCR-Systemen ausgestattet waren, auf insgesamt 3,2 Mio Streckenkilometern erfolgreich erprobt worden [8]. Auch andere Automobil-Hersteller, wie MAN in Nürnberg, Renault in Lyon, Volvo Powertrain Corp. in Göteborg und Mack Truck Inc. in Hagerstown, USA, haben die Eignung des SCR-Verfahrens mit Harnstoff-Lösung als Reduktionsmittel in Feldtesten untersucht.

2 Harnstoff/AdBlue: Herstellung und Eigenschaften

2.1 Wissenschaftshistorischer Exkurs

Die chemische Substanz Harnstoff hat in der Geschichte der Naturwissenschaften eine besondere Rolle gespielt. Im Jahre 1828 gelang es dem Chemiker Friedrich Wöhler, „anorganisches“ Ammoniumcyanat durch Erhitzen in „organischen“ Harnstoff umzuwandeln. Damit war die damals gängige Theorie der „vis vitalis“ widerlegt, nach der es einer besonderen „Lebenskraft“ bedurfte, um organische Materie zu erzeugen. Diesen Markstein in der Geschichte der Chemie hat Wöhlers Freund Justus Liebig deshalb zu Recht als „den Anfang einer eigentlichen wissenschaftlichen organischen Chemie“ bezeichnet [9].

2.2 Herstellung und Verwendung von Harnstoff

Harnstoff, oder Kohlendäurediamid (engl. „urea“), mit der chemischen Formel $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, ist eine farb- und geruchlose, kristalline, in Wasser leicht lösliche chemische Verbindung. Sie bildet das Endprodukt des Eiweißstoffwechsels aller Säugetiere und damit auch des Menschen, der täglich 20 – 35 g dieser Substanz mit dem Harn ausscheidet [10].

Technisch wird Harnstoff in geschlossenen Anlagen unter Druck und erhöhter Temperatur aus Kohlendioxid und Ammoniak über Ammoniumcarbamat als Zwischenstufe nach folgender Gleichung hergestellt:



Die weltweiten Produktionskapazitäten von Harnstoff werden alljährlich von verschiedenen internationalen Verbänden und Institutionen aus dem Bereich der Düngemittelindustrie veröffentlicht; dazu gehören die European Fertilizer Manufacturers Association (efma), die International Fertilizer Industry Association (IFA) sowie das International Fertilizer Development Center (IFDC). Unter Berücksichtigung der dort angegebenen Kapazitäten und im Hinblick auf die geplante EU-Erweiterung ab 2004 ergibt sich daraus folgendes Bild:

Gebiet	Produktionskapazität in t
West-Europa (EU-Staaten)	ca. 5.000.000
- davon Deutschland	ca. 2.000.000
EU-Beitrittskandidaten (ab 2004)	ca. 5.600.000
Restl. Ost-Europa (ohne ehem. Sowjetunion)	ca. 600

Tab. 2: Gegenwärtige Harnstoff-Produktionskapazität [11]

Danach liegt die gegenwärtige Produktionskapazität in West-Europa bei ca. 5 Mio t, davon in Deutschland rund 2 Mio t. Haupthersteller sind hier die BASF AG in Ludwigshafen, die Hydro Agri Brunsbüttel GmbH sowie die SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH in Lutherstadt Wittenberg. Rund 80 % des so gewonnenen Harnstoffs werden als Düngemittel und Futtermittelzusatz in der Landwirtschaft eingesetzt, der Rest findet in der Kunststoff-, Textil- und Pharmaindustrie Verwendung [10].

2.3 Eigenschaften und Umweltverhalten von Harnstoff

Harnstoff ist von geringer akuter Toxizität und bei Hautkontakt nicht reizend; es sind weder sensibilisierende, krebserregende noch mutagene Wirkungen bekannt. Harnstoff ist im Anhang VI der GefStoffV nicht als Gefahrstoff aufgeführt und deshalb gemäß Chemikaliengesetz nicht kennzeichnungspflichtig. Er ist durch die Kommission zur Bewertung wassergefährdender Stoffe in die Wassergefährdungsklasse 1 (schwach wassergefährdend) eingestuft. Harnstoff unterliegt nicht der Störfall-Verordnung. Die Substanz wurde der Gruppe III zugeordnet, das sind Stoffe, die nach derzeitigem Kenntnisstand ein geringes Gefährdungspotenzial für die Allgemeinbevölkerung und die Umwelt darstellen [10]. Auf Grund seiner chemischen Eigenschaften muss Harnstoff getrennt von Nitriten gelagert und transportiert werden.

Harnstoff und seine Abbauprodukte können durch Ausschwemmung aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in Oberflächengewässer gelangen. Die hohe Wasserlöslichkeit des Harnstoffs verhindert jedoch, dass es in der Natur zu einer nennenswerten Bodenadsorption oder Bioakkumulation kommt. Harnstoff ist biologisch abbaubar, wobei er in Umkehrung der oben angeführten Synthesereaktion wieder in Ammoniak und Kohlendioxid gespalten wird. Ersteres wird dabei von Mikroorganismen über Nitrit zu Nitrat umgewandelt (Nitrifikation) und steht dann der Pflanze als Stickstoffquelle wieder zur Verfügung. Darauf beruht die Wirkung des Harnstoffs als Düngemittel.

2.4 Herstellung und Verwendung von AdBlue

Für den Einsatz von Harnstoff im SCR-Verfahren ist wegen der leichteren Handhabung und genaueren Dosierbarkeit eine Lösung von technisch reinem Harnstoff in entsalztem Wasser vorgesehen, und zwar mit einem Harnstoffgehalt von 32,5 Gew%, weil bei dieser Konzentration der Kristallisationspunkt mit minus 11 °C ein Minimum erreicht (eutektisches Mischungsverhältnis).

Diese wässrige Harnstofflösung soll zukünftig unter der international anwendbaren Produktbezeichnung „AdBlue“ vertrieben werden. Der Name wurde gemeinsam von Vertretern der Mineralölwirtschaft, der chemischen Industrie, der Fahrzeugindustrie und deren Zulieferern nach sorgfältiger Abwägung aller Aspekte hinsichtlich Patentrecht und eingetragener Warenzeichen geschaffen [12]. AdBlue kann überall dort, wo Harnstoff in Großanlagen der chemischen Industrie produziert wird, unter Verwendung entsalzten Wassers hergestellt werden [AdBlue-Leaflet, Anhang 2].

2.5 Eigenschaften und Umweltverhalten von AdBlue

Ebenso wie der reine Harnstoff ist auch seine wässrige Lösung (AdBlue) nicht toxisch, weder Gefahrstoff noch Gefahrgut und in die niedrigste Wassergefährdungsklasse 1 eingeordnet. Lagerstabilitätsversuche mit der wässrigen Harnstoff-Lösung haben ergeben, dass unter praxisüblichen Lagerbedingungen keine nennenswerten Gehaltsveränderungen stattfinden [13]. Bei höheren Lagertemperaturen ($> 50^{\circ}\text{C}$) neigt AdBlue jedoch dazu, sich unter Bildung von Biuret, freiem Ammoniak sowie Ammoniumcarbonat und -carbamat zu zersetzen, was an der Ammoniak-Geruchsbildung leicht festzustellen ist. Bei Temperaturen unterhalb minus 11°C beginnt die AdBlue-Lösung, wie oben erwähnt, zu kristallisieren.

Die Beschreibung der Produkteigenschaften sowie die Sicherheitsdatenblätter sind im Anhang 1 aufgeführt.

Der Transport der Harnstoff-Lösung erfolgt in isolierten Straßentankfahrzeugen bzw. Kunststofftankpaletten (IBC). Die Harnstoff-Lösung ist korrosiv. Deshalb kommen als Behälter-, Leitungs- und Armaturenmaterialien nur beständige Werkstoffe wie hochlegierte austenitische Stähle, Aluminium, verschiedene Kunststoffe und Kunststoffbeschichtungen in Metallbehältern in Frage. Unlegierte und verzinkte Stähle, Kupfer und kupferhaltige Legierungen sowie verzinkte Stähle können für Harnstoff-Lösungen nicht verwendet werden [15].

Wegen der bereits im Kap. 2.4 erwähnten Eigenschaft der 32,5 %igen wässrigen Harnstoff-Lösung, bei der Temperatur von minus 11°C zu kristallisieren, müssen für den Fall, dass die Umgebungstemperatur unter diesen Wert sinkt, daher Lagertanks und gegebenenfalls Zapfsäulen und -ventile beheizt werden, um die Bildung von Kristallausscheidungen zu verhindern. Auch vor höheren Temperaturen ($> 50^{\circ}\text{C}$) ist AdBlue wegen der dann beginnenden Zersetzung zu schützen.

Wegen seiner guten Wasserlöslichkeit von 1.080 g/l ist davon auszugehen, dass der Harnstoff in einem Leichtflüssigkeitsabscheider in der wässrigen Phase verbleibt und mit dieser in die öffentliche Kanalisation und damit in die öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen gelangt. Dort wird er innerhalb weniger Tage vollständig biologisch abgebaut. Allerdings muss die gewässerschutzrechtliche Frage einer Einleitungsgenehmigung von Harnstofflösungen in die Kanalisation noch geprüft werden.

2.6 Standardisierung von AdBlue

Produktqualität und Eigenschaften der 32,5 %igen wässrigen Harnstoff-Lösung sind in der DIN Norm 70070 definiert. Mit diesem Standard liegt eine herstellerunabhängige und öffentlich verfügbare Qualitätsbeschreibung des Reduktionsmittels vor. Die DIN V 70070 ist mit Datum August 2003 erschienen und soll die Grundlage für einen späteren ISO-Standard bilden [15].

Ein Problem beim Umgang mit der Harnstoff-Lösung könnte die Aufrechterhaltung ihrer Qualität sein, insbesondere beim Transport. Transportbehälter werden oft mit phosphathaltigen Mitteln gereinigt, so dass Spuren davon in die AdBlue-Lösung geraten können. Dies muss jedoch unbedingt vermieden werden, weil es sonst zu einer Katalysatorvergiftung am Fahrzeug kommen kann.

3 Bedarfsprognose und Wirtschaftlichkeit von AdBlue

3.1 Bedarfsprognose von AdBlue

Der VDA hat den Bedarf an AdBlue für die Abgasreinigung nach dem SCR-Verfahren nach einer Umfrage unter allen europäischen Nutzfahrzeugherstellern wie folgt prognostiziert:

Jahr	2003	2004	2005	2006	2007
t / Jahr	500	6.600	60.000	350.000	640.000
Jahr	2008	2009	2010	2011	2012
t / Jahr	950.000	1.350.000	1.750.000	2.150.000	> 2.500.000

Tab. 3: Jährlicher Bedarf an 32,5 %iger Harnstoff-Lösung (AdBlue) für schwere Nutzfahrzeuge mit SCR-Technik in West-Europa [14]

Wie aus der Tabelle 3 ersichtlich, wird ein europäischer Jahresbedarf an AdBlue für die SCR-Technik in schweren Nutzfahrzeugen von anfangs ca. 500 t prognostiziert, der dann auf mehr als 2,5 Mio t im Jahre 2012 ansteigen soll; das entspräche dann ungefähr 15 % der gegenwärtigen europäischen Produktionskapazität für reinen Harnstoff. Dieser Schätzung liegt die Annahme zugrunde, dass der Bedarf an der Harnstoff-Lösung ca. 5 % des Kraftstoffverbrauchs beträgt. Wie der VDA betont, handelt es sich bei dieser Bedarfsvorhersage um eine sehr konservative Schätzung. Inzwischen liegt auch eine Bedarfsprognose von ACEA vor, die noch über die VDA-Prognose hinausgeht.

Wenn zu den gesetzlichen Auflagen hinsichtlich der Emissionsbegrenzung noch finanzielle Anreize hinzukommen, z. B. durch die emissionsabhängige LKW-Maut an Autobahnen oder durch eine entsprechende KFZ-Steuer, kann der AdBlue-Bedarf erheblich schneller ansteigen, als es in Tabelle 3 angegeben ist. Dasselbe gilt auch für den Fall, dass zusätzlich zu den schweren auch leichte Diesel-Nutzfahrzeuge und vor allem Diesel-Pkw mit der SCR-Technik ausgerüstet werden.

3.2 Wirtschaftlichkeit von AdBlue

Der Aufwand für die Herstellung des Harnstoffs wird vor allem durch Energie- und Rohstoffkosten (Rohöl, Erdgas) bestimmt. Hinzu kommen die Herstellungs- und Distributionskosten für AdBlue, die wesentlich durch die Art der Verteilung und die damit eventuell verbundenen Investitionen an der Tankstelle beeinflusst werden. Schließlich wird der Verbraucherpreis auch von der Nachfrage abhängen, d.h. davon, wie schnell und wie weit sich die SCR/Harnstoff-Technik im Markt durchsetzen kann.

Da der Verbrauch an AdBlue ungefähr 5 % des Kraftstoffverbrauchs beträgt und die durch die Harnstofflösung ermöglichte Einsparung an Dieselkraftstoff in derselben Größenordnung liegt, müsste der Endverbraucherpreis für AdBlue unter dem des Dieselkraftstoffs liegen, damit für den Kunden auch ein finanzieller Anreiz für die Verwendung besteht. Ein weiterer Anreiz könnte eine steuerliche Entlastung oder eine emissionsabhängige, verringerte LKW-Maut sein, um zumindest eine Teilkompensation des Mehraufwandes bei den Fahrzeuginvestitionen zu erreichen.

Außerdem ist zu berücksichtigen, dass das Mitführen von AdBlue im Fahrzeug zu nicht unerheblichen Nutzlastverlusten führen wird.

4 Nationale und internationale Aktivitäten

Eine Reihe von Gremien der Automobil- und Mineralölindustrie sowie deren Verbände, Wissenschaftliche Gesellschaften, die KFZ-Teile- und Zubehörindustrie, die Harnstoffproduzenten, das Speditionsgewerbe, Umweltschutzbehörden und Universitäten beschäftigen sich auf nationaler und europäischer Ebene mit dem Thema „Absenkung der NO_x-Emissionen aus Dieselmotoren“ und speziell mit der SCR-Technik auf der Basis von Harnstoff-Lösung. Die Arbeiten der wichtigsten Gremien sollen hier kurz zusammengefasst werden:

4.1 Verband der Automobilindustrie (VDA)

Auf Antrag der Nutzfahrzeughersteller wurde Anfang 2001 vom VDA eine Ad-hoc-Arbeitsgruppe „Harnstoff-Logistik“ gebildet (später in AG „AdBlue“ umbenannt), in der sich die europaweit betroffenen Automobil- und Motorenhersteller zusammen mit Produzenten von Harnstoff und Betankungssystemen unter der Beteiligung der Mineralölwirtschaft und den Betreibern von Nutzfahrzeugen mit folgenden Themen befassen:

- Normung der Harnstoff-Lösung, Qualitätsanforderungen
- Betankungssysteme für Harnstofflösung
- Schnittstelle Harnstoffbetankung: Zapfventil/Einfüllstutzen
- Frostschutzmaßnahmen
- Harnstoff: Produktion und geschätzter Bedarf; Kosten
- Aufbau eines europaweit flächendeckenden Verteilernetzes zur Harnstoffbetankung
- Symbol und Handelsbezeichnung für die Harnstofflösung
- alternativer Einsatz von Ammoniak als Reduktionsmittel

Anlässlich der 59. Internationalen Automobil-Ausstellung im September 2002 in Hannover hat der VDA verkündet, dass sich die europäischen Hersteller der schweren Nutzfahrzeuge darauf geeinigt haben, zur Einhaltung der Euro 4 und 5 Grenzwerte bei NFZ-Dieselmotoren das SCR-Verfahren einzusetzen [16].

Wesentlicher Antrieb für die Einführung dieser Technik anstelle motorseitiger Maßnahmen ist die Tatsache, dass das SCR-Verfahren die einzige Methode darstellt, welche die Absenkung der Abgasemissionen bei gleichzeitiger Verbesserung des Leistungsverhaltens und Einsparung von Kraftstoff ermöglicht. Dies ist auch deshalb von Bedeutung, weil die vorgesehene Autobahngebühr für Nutzfahrzeuge von der Höhe der Emissionen abhängt. Auch die Einführung einer emissionsbezogenen KFZ-Steuer ist zur Zeit in der Diskussion. Ferner weist ACEA darauf hin, dass die SCR-Technik das einzige Abgas-Nachbehandlungsverfahren ist, das auf alle Motoren angewendet werden kann. Inwieweit die SCR-Technik auch in leichten Nutzfahrzeugen und in Personenkraftwagen angewendet werden wird, ist zur Zeit noch nicht abzusehen.

Die Vorstände der europäischen Nutzfahrzeughersteller hatten bereits auf ihrer vom VDA am 3.9.2001 einberufenen Sitzung in Frankfurt am Main nach Abwägung der fahrzeug- und sicherheitstechnischen Bewertung von Ammoniak und Harnstoff einstimmig eine Entscheidung für Harnstoff als Reduktionsadditiv getroffen, der als wässrige Lösung unter der Bezeichnung „AdBlue“ vertrieben werden soll [17]. Laut VDA hat das SCR-Verfahren mit Harnstoff als Reduktionsmittel einen Wirkungsgrad der NO_x-Minderung von über 80 %.

Wie der VDA mitteilt, werden die europäischen Hersteller von schweren Nutzfahrzeugen ab 2004/2005 Fahrzeuge anbieten, die mit dem SCR/AdBlue-System ausgerüstet sind, um die Anforderungen von Euro 4 des Jahres 2005 bzw. die von Euro 5 des Jahres 2008 zu erfüllen. Deshalb sollte nach den Vorstellungen des VDA spätestens im Jahr 2004 mit dem Aufbau einer Infrastruktur für die Versorgung dieser Fahrzeuge mit AdBlue begonnen werden. Ob und wann der SCR-Katalysator auch in leichteren LKWs und Diesel-PKWs installiert werden wird, lässt sich dagegen zur Zeit noch nicht absehen.

4.2 Dachverband der Europäischen Automobilindustrie (ACEA)

Auch der Verband der europäischen Automobil-Hersteller (ACEA) beschäftigt sich mit dem Thema SCR-Technik und Harnstoff. Nach einer Vereinbarung zwischen dem VDA und ACEA wird letzterer sich vor allem mit folgenden technischen und politischen Fragestellungen befassen [18]:

- Abgasvorschriften, Typpenehmigung
- Eigenüberwachungssysteme
- Einsatz in verschiedenen Fahrzeugkategorien von schweren Nutzfahrzeugen über leichte NFZs bis zu Personenkraftwagen
- Programme zur Unterstützung und Einführung der SCR-Technik in Verbindung mit Harnstoff

Der ACEA-Report „Selective Catalytic Reduction“ ist im Anhang 3 aufgeführt.

Inzwischen hat ACEA in einer Pressemitteilung vom 15.07.2003 noch einmal die Position der europäischen Nutzfahrzeughersteller zur SCR-Technik bekräftigt, siehe Anhang 4.

Außerdem haben ACEA und VDA eine gemeinsame Arbeitsgruppe mit Namen „WG Interface Filling Nozzle/Filler Neck for AdBlue“ gebildet, die sich mit der Schnittstelle zwischen Tankstelle und betanktem Fahrzeug befasst. Hierbei geht es vor allem um die Standardisierung von Zapfpistole und Einfüllstutzen und um die Vermeidung von Fehlbetankungen durch den Kunden, d.h. um irrtümliche Vermischung von AdBlue und Dieseldieselkraftstoff. Dazu hat ACEA einen Standard für den Einfüllstutzen für den AdBlue-Tank am Fahrzeug festgelegt, siehe Anhang 5.

4.3 Europäischer Verband der Petroleum-Industrie (EUROPIA)

EUROPIA sah noch eine Reihe von offenen Fragen im Zusammenhang mit der Einführung der SCR-Technik, um deren Beantwortung ACEA gebeten wurde:

- Was ist das SCR-System, welche Alternativen gibt es?
- Wie soll dieses System technisch und logistisch implementiert werden?
- Welche Beweise gibt es dafür, dass SCR notwendig ist, vorteilhaft und effektiv?
- Wird SCR es ermöglichen, die Umweltauflagen zu erfüllen?
- Werden alle Mitglieder von ACEA das SCR/Harnstoffsystem einführen?
- Ist dieses System eine Übergangslösung oder eine Option auf Dauer?
- Was ist ACEAs Zeitplan für die Einführung?
- Welche Kontrollmechanismen gibt es dafür, dass der Kunde das System auch benutzt?
- Gibt es nationale Sonderlösungen?
- Ist der Preis von AdBlue unter oder über dem von DK?

Diese Fragen hat ACEA im September 2002 beantwortet (siehe Anhang 6).

Inzwischen hat EUROPIA erklärt, dass sie den Fortschritt der Arbeiten in der DGMK-Arbeitsgruppe über die Implementierung der SCR/Harnstoff-Technik verfolgen will, vor allem hinsichtlich der Produktversorgung und -verteilung. EUROPIA will darüber hinaus innerhalb der europäischen Mineralölindustrie diejenigen Sachverhalte kommunizieren, die eine europaweite Betrachtung erfordern.

4.4 Entwicklung in den USA

Auch in den USA wird am Thema „Reduktion der NO_x-Emissionen aus Dieselmotoren“ gearbeitet; dort untersucht das US Department of Energy verschiedene Verfahren zur Abgasnachbehandlung. Arthur D. Little hat im Auftrag des National Renewable Energy Laboratory eine Studie mit dem Thema „Selective Catalytic Reduction - Urea Infrastructure Study“ erstellt, die über das Internet zugänglich ist [19].

Vertreter der amerikanischen Umweltbehörde (US EPA), US Nutzfahrzeughersteller und Nutzfahrzeugflotten-Organisationen haben derzeit einen differenzierten Standpunkt zur SCR-Technik. Zumindest wird SCR als eine Option zur Erreichung der neuen US-Abgasgrenzwerte 2007 diskutiert, verbunden mit der möglichen Kraftstoffverbrauchseinsparung [20].

4.5 Entwicklung in Japan

In Japan sollen neue Abgasbestimmungen für das Jahr 2007 erlassen werden, die in etwa den Anforderungen von Euro 4/5 entsprechen. MITI, das japanische „Ministerium für internationalen Handel und Industrie“, hat im Sommer letzten Jahres eine Arbeitsgruppe gegründet, die sich mit den verschiedenen technischen Möglichkeiten zur Abgasreinigung befassen soll. Man würde hier wie in den USA eine Lösung bevorzugen, die es gestattet, NO_x-Emissionen auch ohne den Einsatz eines Reduktionsmittels zu verringern [21].

4.6 Zapfventilhersteller

Als Ergebnis der Diskussionen in der ACEA/VDA-Arbeitsgruppe „Interface filling nozzle/filler neck for adblue“ hat die Firma Elaflex (Hamburg) ein AdBlue-Zapfventil (offenes System, Entlüftung AdBlue-Tank über Einfüllstutzen) entwickelt. Es ist als Standard ZVA-AdBlue mit folgenden technischen Daten erhältlich, siehe auch Anhang 7:

Förderleistung der Pumpe:	40 l / min
Pumpendruck:	2 – 3 bar
Außendurchmesser des Zapfventils:	19 mm
Innendurchmesser:	17 mm
Auslaufrohr:	70 mm

Die Firma IDENTIC AB (Schweden) wird ein AdBlue-Zapfventil entwickeln (geschlossenes System, davon getrennte Entlüftung des AdBlue-Tanks erforderlich), das eine elektronisch kontrollierte automatische Betankung gestatten soll.

4.7 Tankbehälter

Für die Ausrüstung von Werkstankstellen und Autohöfen sind spezielle AdBlue-Kleintankstellen entwickelt worden. Sie gibt es auch als kältefesteste Outdoor-Version, die für einen Einsatz bis ca. – 40 °C geeignet ist. Weitere Informationen sind im Internet, z. B. unter www.tankschutz-bott.de erhältlich.

5 Infrastruktur für AdBlue - Forderungen der Automobilindustrie - Konsequenzen für die Mineralölwirtschaft

5.1 Überlegungen und Forderungen der Automobilindustrie

Die Überlegungen und Forderungen der Automobilindustrie ergeben sich aus folgenden drei Ausgangspunkten:

1. Im Jahre 1999 verabschiedete die Europäische Union neue Richtlinien mit **verschärften KFZ-Abgaswerten**, die bei schweren Nutzfahrzeugen vor allem eine wesentliche Reduktion der NO_x- und Partikelemissionen in den Jahren 2005 bzw. 2008 erforderlich machen.
2. Um diese verschärften Anforderungen zu erfüllen, hat die europäische Automobilindustrie verschiedene technische Möglichkeiten untersucht und sich im September 2002 für die schweren Nutzfahrzeuge europaweit auf den Einsatz einer Technik geeinigt: der **selektiven katalytischen Reduktion**. Denn nur dieses Verfahren erlaubt es, die Abgas-Grenzwerte der Euro-Richtlinie einzuhalten, ohne gleichzeitig das Leistungsverhalten und den Kraftstoffverbrauch der Motoren zu beeinträchtigen.
3. Das SCR-Verfahren benötigt ein Reduktionsmittel für die Stickoxide. Hier hat sich die Autoindustrie auf eine chemische Substanz geeinigt: eine 32,5 %ige **wässrige Lösung von Harnstoff**, die unter der Handelsbezeichnung „AdBlue“ vertrieben werden soll.

Die europäische Automobilindustrie wird 2004 damit beginnen, ihre schweren Nutzfahrzeuge mit der SCR/Harnstoff-Technik auszustatten. Nach ihren Vorstellungen soll der Vertrieb der Harnstoff-Lösung „AdBlue“ dann in drei Phasen erfolgen:

1. Stufe: Versorgung über Betriebstankstellen größerer Fahrzeugflotten
2. Stufe: Ausrüstung von Autobahn-Knotenpunkten mit Zapfsäulen für AdBlue
3. Stufe: flächendeckende Versorgung über das bestehende Tankstellennetz

Es ist daran gedacht, zunächst nur schwere Nutzfahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 6 t mit der SCR-Technik auszurüsten, damit diese die ab 2005 geltenden verschärften Euro-Normen hinsichtlich der NO_x-Emissionen erfüllen können. In dieser Anfangsphase sollen die LKW nach Vorstellungen der Automobilindustrie an Betriebstankstellen von Spediteuren und anderen Betreibern größerer Fahrzeugflotten, später auch an Zapfsäulen an den Autobahn-Knotenpunkten mit „AdBlue“ versorgt werden. In einem dritten Schritt fordert die Automobilindustrie eine europaweite flächendeckende Versorgung der schweren Nutzfahrzeuge über das bestehende Tankstellennetz der Mineralölgesellschaften, das dann gegebenenfalls auch alle anderen mit SCR-Technik versehenen Dieselmotorkraftfahrzeuge einschließlich der Diesel-Pkw mit dem Reduktionsmittel versorgen könnte. Dazu müsste die Mineralölwirtschaft ihre Tankstellen mit den dafür nötigen und geeigneten Tankeinrichtungen, Leitungs- und Abgabesystemen ausrüsten.

In der Pressemitteilung des VDA vom 15.9.2002 heißt es dazu unter der Überschrift: *IAA: LKW-Chefingenieure fordern europaweites Tankstellennetz für Additiv: „Parallel zur Markteinführung der SCR-Fahrzeuge muss nun rasch die Logistik für AdBlue in Europa aufgebaut werden“.*

Die SCR/Harnstoff-Technik hat nach Meinung der Automobilindustrie ihre Eignung in erfolgreich durchgeführten Feldtesten erwiesen. Die Harnstoff-Produzenten können die erforderlichen Mengen von AdBlue in der benötigten Qualität liefern.

Angesichts der beabsichtigten Einführung der ersten SCR-Fahrzeuge im Jahre 2004 und des Inkrafttretens der Euronorm 4 im darauffolgenden Jahr erwartet die Automobilindustrie, dass die Mineralölwirtschaft unverzüglich mit den Planungen für den Aufbau der entsprechenden Infrastruktur für die Verteilung von AdBlue beginnt.

5.2 Konsequenzen für die Mineralölwirtschaft

Für Mineralölindustrie und -handel ergeben sich aus diesen Tatsachen folgende Konsequenzen: Sie müssen entscheiden,

1. ob sie das für die SCR-Technik benötigte Reduktionsmittel an ihren Tankstellen anbieten wollen und
2. ob sie entsprechend den Vorstellungen der Automobilindustrie dazu speziell für AdBlue geeignete, zusätzliche Tanks, Leitungssysteme und Zapfvorrichtungen installieren wollen oder
3. ob sie es bevorzugen, AdBlue in ortsbeweglichen Behältern vorzuhalten, aus denen die LKW-Fahrer dann ihre AdBlue-Tanks auffüllen können.

6 Darstellung notwendiger Entwicklungen

Mit der Forderung der Automobilindustrie, den Vertrieb von AdBlue in gleicher Weise wie die Kraftstoffversorgung über Tankstellen abzuwickeln, ergibt sich eine Reihe ungeklärter Fragen im Hinblick auf technische und logistische Anforderungen. Dazu gehören vor allem:

- Standardisierung und Qualitätssicherung der AdBlue-Lösung (von der Auslieferung des Produktes beim Hersteller bis zur Abgabe an der Zapfsäule)
- Anlieferung von AdBlue an die Tankstelle
- Lagerung von AdBlue an der Tankstelle
- bautechnisches/tanktechnisches Arrangement von AdBlue-Zapfsäule und Dieselsäule (Truck)
- Temperatureffekte (Kristallisation, Hydrolyse)
- Werkstofffragen
- Wassergefährdung/Leichtflüssigkeitsabscheider
- optimale Anfahrbarkeit an die AdBlue-Zapfsäule
- Schnittstelle Zapfventil/Einfüllstutzen für die AdBlue-Betankung
- Beständigkeit der Betonfahrbahnen gegen Tropfmengen von AdBlue
- Abrechnung mit dem Kunden an der Tankstelle
- eichfähiges Volumenmessgerät mit eichrechtlicher Zulassung

Um die vielfältigen Aspekte zu klären, wird seit März 2003 unter der Koordination der DGMK ein Feldtest an einer OMV-Tankstelle in Dingolfing/Bayern durchgeführt. Dabei sollen u. a. die vorgeschlagenen Lösungen auf ihre Anwendbarkeit (speziell in der Winterphase) getestet werden. Parallel zu diesem Feldversuch wird bei der Aral-Forschung ein Pilottest, u.a. in einer Klimakammer durchgeführt. Dabei sollen Tankvorgänge bei normalen und tiefen Temperaturen simuliert, die Tropfmengen festgestellt und das Verhalten von AdBlue im Leichtflüssigkeitsabscheider und auf Betonoberflächen untersucht werden. Ferner wird dort auch die Lagerstabilität der Harnstoff-Lösung bei unterschiedlichen Temperaturen im Bereich von -15 bis 70°C geprüft. Auf die Aktivitäten des VDA und der gemeinsamen ACEA/VDA Arbeitsgruppe wurde bereits in Kapitel 3 hingewiesen.

Über die Ergebnisse der von der DGMK initiierten Feldtests soll im DGMK-Forschungsbericht 616-2 berichtet werden (Veröffentlichung Mitte 2004). Dazu gehören u. a.:

- Feldtest an der OMV-Tankstelle in Dingolfing/Bayern
- Pilot- und Labortests bei der ARAL Forschung in Bayern
- Wintertests an speziell ausgerüsteten Tankstellen der Firmen SHELL und TOTAL
- Fahrzeugtests der NFZ-Hersteller DaimlerChrysler und MAN im Winter und Sommer 2003

7 Schlussfolgerungen

Die Technik der selektiven katalytischen Reduktion zur Verringerung der Stickoxid-Emissionen aus Abgasen in Kombination mit wässriger Harnstoff-Lösung als Reduktionsmittel hat sich in stationären Anlagen, z.B. bei der Erzeugung von elektrischer Energie und bei der Müllverbrennung, bewährt. Die Übertragbarkeit dieses Verfahrens auf mobile Systeme, vor allem Dieselmotoren schwerer Lastkraftwagen, ist durch eine Reihe von den Automobilherstellern erfolgreich durchgeführter Feldtests bewiesen. Hier noch bestehende offene Fragen sollen in weiteren, teilweise bereits angelaufenen Feldtests geklärt werden.

Die europäische Automobilindustrie plant angesichts der bevorstehenden Verschärfung der EU-Abgasvorschriften für schwere Nutzfahrzeuge die sukzessive Einführung dieser Technik auf dem Nutzfahrzeugsektor, und zwar gemäß einem Stufenplan, der die serienmäßige Einführung erster Fahrzeuge mit SCR-Technik bereits für das Jahr 2004 vorsieht.

Die Automobilindustrie geht davon aus, dass die Mineralölwirtschaft AdBlue über ein separates Betankungssystem an ihren öffentlichen Tankstellen schließlich flächendeckend zur Verfügung stellt. Die Tankstellenfirmen müssten jeweils entscheiden, ob sie die dafür erforderlichen Investitionen an ihrem Tankstellennetz vornehmen wollen. Angesichts dieser Kosten sollten Automobilindustrie und Mineralölwirtschaft jedoch vorher gemeinsam prüfen, ob AdBlue alternativ nicht auch in ortsbeweglichen Behältern dem Kunden zur Verfügung gestellt werden kann.

8 Literatur

- [1] Richtlinie 1999/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Dezember 1999 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus Selbstzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen und die Emission gasförmiger Schadstoffe aus mit Erdgas oder Flüssiggas betriebenen Fremdzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 88/77/EWG des Rates
- [2] Daten zur Umwelt 2000, Umweltbundesamt, Erich Schmidt Verlag, Berlin, S. 139
- [3] VDA Jahresbericht 2002, S. 162, Frankfurt/Main
- [4] Selective Catalytic Reduction (Final Report) ACEA, Brüssel, 23.06.2003
- [5] Schreiben BMU an VDA vom 07.06.2001
- [6] Bereitstellung von Ammoniak aus regenerativen Speichern zur katalytischen Stickoxidminderung in Diesel-Motorabgasen, Institut für Chemische Technik, Universität Karlsruhe, Forschungsbericht FZ KA-BW PLUS, Förderkennzeichen PEF 50970203, 2000
- [7] Schema eines kombinierten Abgasbehandlungssystems auf Grundlage des SCR-Verfahrens, Mitteilung Shell Global Solutions GmbH, 2003
- [8] VDI nachrichten vom 06.09.2002
- [9] J. Liebig: Poggendorfs Annalen Bd. 21, S. 29 (1831)
- [10] BUA Stoffbericht Nr. 76, Okt. 1991, Gesellschaft Deutscher Chemiker, Verlag Chemie, Weinheim
- [11] Harnstoff-Produktionskapazität (Quelle: efma, IFA und IFDC)
- [12] VDA WG AdBlue, Sitzungsprotokoll vom 15.11.2001
- [13] Mitteilung der Firma Agrolinz Melamin GmbH, A – Linz, 2003
- [14] VDA Umfrage vom 12.11.2002, Frankfurt/Main
- [15] DIN V 70070:2003, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, erschienen im Beuth Verlag, Berlin
- [16] VDA Pressemitteilung vom 15.09.2002, Frankfurt/Main
- [17] Common Agreement of European truck manufacturers on urea as the reduction additive for the implementation of SCR technique in Europe, vom 03.09.2001
- [18] VDA Jahresbericht 2002, S. 165, Frankfurt/Main
- [19] Arthur D. Little: Selective Catalytic Reduction – Urea Infrastructure Study: www.osti.gov/bridge, July 2002, NREL/SR-540-32689
- [20] Diesel Fuel NEWS, Vol. 7, No. 11, June 23, 2003
- [21] VDA WG AdBlue, Sitzungsprotokoll vom 13.11.2002

9 Verzeichnis der Abkürzungen

ACEA	Association des Constructeurs Européens d'Automobiles
BUA	Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe der Ges. Dt. Chemiker
DIN	Deutsche Industrienorm
EN	Euro Norm
EPA	Environmental Protection Agency, USA
EUROPIA	European Petroleum Industry Association
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
HC	hydrocarbons
IAA	Internationale Automobil-Ausstellung
IBC	International bulk container
ISO	International Standardization Organization
MITI	Ministry for International Trade and Industry, Japan
NFZ	Nutzfahrzeuge
PAH	polycyclic aromatic hydrocarbons
SCR	selective catalytic reduction
SiDBlatt	Sicherheitsdatenblatt
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

10 Anhänge

Anhang 1

- 1 a) Produktspezifikation,
Sicherheitsdatenblatt für AdBlue
erstellt von AgroLinz Melamin GmbH
- 1 b) Produktspezifikation,
Sicherheitsdatenblatt für AdBlue
erstellt von Hydro Gas and Chemicals GmbH
- 1 c) Produktspezifikation,
Sicherheitsdatenblatt für AdBlue
erstellt von SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH
- 1 d) Sicherheitsdatenblatt für AdBlue
erstellt von BASF AG

Anhang 2

AdBlue:

Faltblatt der AdBlue-Hersteller über das „Reduktionsmittel für die SCR-Abgasnachbehandlung von Dieselmotoren“

Anhang 3

ACEA-Report „Selective Catalytic Reduction“ The most promising technology to comply with the imminent Euro IV and Euro V emission standards for HD engines, 23 June 2003

Anhang 4

ACEA Statement on the Adoption of SCR-Technology to Reduce Emissions Levels of Heavy-Duty Vehicles

Anhang 5

Standard for Urea filler neck, ACEA-Mitteilung vom 18.07.2003

Anhang 6

ACEA's answers to EUROPIA questions
EUROPIA/ACEA-Meeting vom 09.09.2002, IAA NFZ-Messe, Hannover

Anhang 7

ZVA-AdBlue