

D G M K

Forschungsbericht

616-2

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

Teil 2:
AdBlue-Erprobung
in Labor- und Feldtesten
AdBlue-Logistik



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 3-936418-32-2

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
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.

DGMK-Forschungsbericht 616-2

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

Teil 2: AdBlue-Erprobung in Labor- und Feldtesten AdBlue-Logistik

Kurzfassung:

Um die verschärften Abgasnormen für Dieselmotoren schwerer Nutzfahrzeuge zu erfüllen, die die Europäische Union für die Jahre 2005 und 2008 (Euro 4 bzw. 5) erlassen hat, hat die europäische Automobilindustrie sich auf das Verfahren der „*selektiven katalytischen Reduktion*“ (SCR-Verfahren) geeinigt. Mit dieser Methode ist es möglich, die Stickoxid-Emissionen um die erforderlichen 60 % gegenüber den heutigen Standards zu reduzieren. Außerdem hat sie sich darauf geeinigt, „*AdBlue*“, eine wässrige Harnstoff-Lösung, als Reduktionsmittel zu verwenden, das benötigt wird, um die Stickoxide in elementaren Stickstoff umzusetzen. Die ersten, mit der SCR-Technologie ausgerüsteten Nutzfahrzeuge werden ab 2005 auf den Markt gebracht.

Dieser Forschungsbericht erläutert die Wirkungsweise der SCR/Harnstoff-Technologie und beschreibt physikalische, chemische und ökologische Eigenschaften von Harnstoff und AdBlue. Er fasst die Ergebnisse von Labor- und Feldtesten zusammen, die durchgeführt wurden, um die technischen und logistischen Anforderungen der neuen Technologie zu untersuchen, und schildert erste Erfahrungen, die an öffentlichen Tankstellen mit einer AdBlue-Zapfanlage gewonnen wurden. Schließlich schildert er, was für den Aufbau eines europaweiten, flächendeckenden Verteilungsnetzes für AdBlue erforderlich ist.

Berichtsumfang:	27 Seiten, 3 Tabellen, 4. Abbildungen, 4 Anhänge, 13 Literaturstellen
Laufzeit:	2003 – 2004
Autor:	Dr. Wolf-Peter Trautwein, Hamburg
Projektkoordination:	Dr. B.-R. Altmann, DGMK, Hamburg
DGMK-Fachausschuss:	Lagerung, Transport und Verteilung
DGMK-Fachbereich:	Verarbeitung und Anwendung
Veröffentlichung:	Hamburg, Februar 2005

Projektbegleitung:

A. Aehle, ELAFLEX Tankstellentechnik GmbH, Hamburg
M. Angelopoulos, ESSO Deutschland GmbH, Hamburg
E. Auer, AMI Agrolinz Melamine International GmbH, A – Linz
Dr. K. E. Austmeyer, HORN GmbH & Co. KG, Flensburg
J.-U. Brandis, UNITI e.V. , Hamburg
J. Ebner, Daimler Chrysler AG, Stuttgart
H. T. Ebner, VDA Verband der Automobilindustrie e.V., Frankfurt
G. Emmerling, MAN Nutzfahrzeuge AG, Nürnberg
M. Frankrone, Yara Industrial GmbH, Oberhausen
A. Graf Bülow, BfT e.V., Bonn
M. Günther, Tankschutz Bott GmbH, Bad Brückenau
L. Hahn, OMV Deutschland GmbH, Landshut
J. Heise, Union Technik GmbH & Co. KG, Duisburg
P. Jagnow, Dresser Europe GmbH, Einbeck
H.-J. Kalisch, ESSO Deutschland GmbH, Hamburg
F.-J. Kersting, Gilbarco GmbH & Co KG, Salzkotten
S. Kunter, FAFNIR GmbH, Hamburg
B. Krause, Umweltbundesamt, Berlin
H. Maahsen, TOKHEIM GmbH, München
M. Øverlie, Yara International ASA, N - Oslo
P. Pröhl, SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Lutherstadt Wittenberg
G. Sasse, Mineralölwirtschaftsverband e.V., Hamburg
M. Schmidt, Shell Global Solutions (Deutschland) 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
Dr. J. Seiler, VDA Verband der Automobilindustrie e.V., Frankfurt
T. Spietczack, Shell Deutschland Oil GmbH, Hamburg
Dr. M. Stöckli, Iveco Motorenforschung GmbH, CH – Arbon
P.M.J. Thomassen, Kuwait Petroleum Research & Technology B.V., NL – Hoogvliet
Dr. K. von Kurnatowski, SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Lutherstadt Wittenberg
F. Weidner, BASF AG, Ludwigshafen



German Society for Petroleum and Coal
Science and Technology

DGМК-Research Report 616-2

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

Part 2: Laboratory and Field Test Results of AdBlue AdBlue Logistics

Abstract:

In order to comply with stringent exhaust gas emission standards issued by the European Union for 2005 and 2008 for diesel engines of HD (heavy duty) commercial vehicles, the European automobile industry has chosen the „*selective catalytic reduction*“ (SCR) technology. By this method, nitrogen oxide (NO_x) emissions can be reduced by 60 % vis-à-vis current standards. In addition they agreed to use „*AdBlue*“, an aqueous solution of urea, as a reducing agent, which is needed to reduce the oxides of nitrogen into elementary nitrogen. The first vehicles equipped with this new technology will be launched in January 2005.

This report explains the mechanism of the SCR/urea technique and outlines production as well as physical, chemical and environmental properties of urea and AdBlue. It summarizes the results of laboratory and field tests, which were run in order to investigate the technical and logistical requirements of this new technique, and it describes first experiences gained at public service stations, which have been equipped with an AdBlue filling station. Finally, the report reflects on what is needed for the build-up of an AdBlue distribution network.

Length of the report:	27 pages, 3 tables, 4. figures, 4 annexes, 14 references
Duration:	2003 – 2004
Author:	Dr. Wolf-Peter Trautwein, Hamburg
Project Coordination:	Dr. B.-R. Altmann, DGМК, Hamburg
DGМК Committee:	Storage, Transportation and Distribution
DGМК Division:	Refining and Product Application
Published:	Hamburg, February 2005

Projectadvisors:

A. Aehle, ELAFLEX Tankstellentechnik GmbH, Hamburg
M. Angelopoulos, ESSO Deutschland GmbH, Hamburg
E. Auer, AMI Agrolinz Melamine International GmbH, A – Linz
Dr. K. E. Austmeyer, HORN GmbH & Co. KG, Flensburg
J.-U. Brandis, UNITI e.V. , Hamburg
J. Ebner, Daimler Chrysler AG, Stuttgart
H. T. Ebner, VDA Verband der Automobilindustrie e.V., Frankfurt
G. Emmerling, MAN Nutzfahrzeuge AG, Nürnberg
M. Frankrone, Yara Industrial GmbH, Oberhausen
A. Graf Bülow, BfT e.V., Bonn
M. Günther, Tankschutz Bott GmbH, Bad Brückenau
L. Hahn, OMV Deutschland GmbH, Landshut
J. Heise, Union Technik GmbH & Co. KG, Duisburg
P. Jagnow, Dresser Europe GmbH, Einbeck
H.-J. Kalisch, ESSO Deutschland GmbH, Hamburg
F.-J. Kersting, Gilbarco GmbH & Co KG, Salzkotten
S. Kunter, FAFNIR GmbH, Hamburg
B. Krause, Umweltbundesamt, Berlin
H. Maahsen, TOKHEIM GmbH, München
M. Øverlie, Yara International ASA, N - Oslo
P. Pröhl, SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Lutherstadt Wittenberg
G. Sasse, Mineralölwirtschaftsverband e.V., Hamburg
M. Schmidt, Shell Global Solutions (Deutschland) 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
Dr. J. Seiler, VDA Verband der Automobilindustrie e.V., Frankfurt
T. Spietczack, Shell Deutschland Oil GmbH, Hamburg
Dr. M. Stöckli, Iveco Motorenforschung GmbH, CH – Arbon
P.M.J. Thomassen, Kuwait Petroleum Research & Technology B.V., NL – Hoogvliet
Dr. K. von Kurnatowski, SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Lutherstadt Wittenberg
F. Weidner, BASF AG, Ludwigshafen

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Summary	3
1. Einführung: Anlass und Ziel	5
1.1 Euronormen zur Reduzierung von Abgasemissionen	5
1.2 Das Verfahren der selektiven katalytischen Reduktion	6
1.3 Technische und logistische Anforderungen	8
2. Eigenschaften von Harnstoff und AdBlue	9
2.1 Harnstoff	9
2.2 AdBlue	9
3. AdBlue-Erprobung in Pilot- und Laborversuchen	11
3.1 Stabilitätsteste	11
3.2 Praxisteste	12
3.3 Materialverträglichkeit	12
3.4 Emulsionstest	12
3.5 Fazit	12
4. Fahrzeugteste mit SCR/Harnstoff-Technik	13
4.1 Funktionserprobungen von DaimlerChrysler	13
4.1.1 Wintererprobung im Frühjahr 2003 in Rovaniemi, Finnland	13
4.1.2 Wintererprobung 2003/04 in Rovaniemi, Finnland	14
4.1.3 Sommererprobung 2004 in Spanien	14
4.1.4 Fazit	15
4.2 Funktionserprobungen von MAN	15
4.2.1 Sommer-Erprobungen 2003 und 2004	15
4.2.2 Winter-Erprobung 2003/2004:	15
5. Erprobung von AdBlue an öffentlichen Tankstellen	17
5.1 OMV Tankstelle in Dingolfing, Bayern	17
5.2 Total Tankstellen in Berlin und Stuttgart	18
6. Logistik	21
7. Schlussfolgerungen	23
8. Literaturverzeichnis	25
9. Anhänge	27

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 insgesamt 60 % und die von Partikeln um 80 % gegenüber den zur Zeit geltenden Grenzwerten verlangen (Euro 4 und Euro 5).

Nach Erprobung und Vergleich 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 elementaren Stickstoff und Wasserdampf, also natürliche Bestandteile unserer Atmosphäre, umgesetzt werden. Die europäische Automobilindustrie hat sich ferner darauf verständigt, einheitlich eine wässrige Lösung von Harnstoff als Reduktionsmittel einzusetzen, die unter der Bezeichnung „AdBlue“ vertrieben werden soll.

Im vorliegenden Bericht werden Wirkungsweise und Vorteile der SCR/Harnstoff-Technologie beschrieben. Maßgeblich für den Beschluss der Nutzfahrzeughersteller ist die Tatsache, dass diese Technik nach heutiger Kenntnis das einzige Verfahren darstellt, welches die erforderliche Absenkung aller Abgasemissionen auf das Niveau von Euro 5 bei gleichzeitiger Optimierung des Motors hinsichtlich Leistungsverhalten und Kraftstoffverbrauch ermöglicht. Außerdem ist dieses Verfahren bei allen Motoren anwendbar.

Der Bericht beschreibt außerdem Eigenschaften und Umweltverhalten sowohl des Harnstoffs als auch seiner wässrigen Lösung. AdBlue ist gemäß den europäischen Einstufungsrichtlinien bei ordnungsgemäßer Verwendung ungefährlich für Mensch, Tier und Umwelt. Beim Umgang mit AdBlue sind Werkstoffe mit entsprechender Chemikalienbeständigkeit zu verwenden. An Produktion, Transport und Lagerung von AdBlue werden außerdem besonders strenge Qualitätsanforderungen gestellt, damit der SCR-Katalysator durch das Reduktionsmittel nicht in seiner Wirksamkeit beeinträchtigt wird.

Im Rahmen dieses Projektes wurden einige Pilot- und Laborteste durchgeführt, mit denen die Lager- und thermische Stabilität sowie die Verträglichkeit von AdBlue mit anderen Materialien untersucht wurden. AdBlue ist unter normalen Lagerungsbedingungen eine stabile Lösung, die sich gut handhaben lässt, hochlegierte Stähle sowie eine Reihe von Kunststoffen und Dichtungsmaterialien nicht angreift und mit Kraftstoffen keine stabilen Emulsionen bildet.

Die europäische Automobilindustrie hat in ausgedehnten Fahrzeugtesten die Eignung der SCR-Technologie zur Herabsetzung der NO_x-Emissionen sowie der AdBlue-Lösung als Reduktionsmittel untersucht. Der Bericht beschreibt die Testergebnisse, die vor allem unter extremen klimatischen Bedingungen ermittelt wurden und die Eignung dieses Verfahrens bestätigten.

Im Laufe des Jahres 2003 wurden die ersten öffentlichen Tankstellen mit einer AdBlue-Zapfanlage ausgerüstet. Die hierbei gemachten Erfahrungen bestätigten die gute Lagerstabilität und leichte Handhabbarkeit des Produktes.

Mehrere große, europäische Hersteller von Nutzfahrzeugen werden ihre schweren LKWs ab Januar 2005 in einer SCR-Version anbieten. Mit einem AdBlue-Tank von 100 l Kapazität ausgerüstet, haben solche Fahrzeuge eine Reichweite von rund 6000 km. Zwei Drittel der schweren LKWs in Deutschland werden an betriebseigenen Tankstellen betankt, wo sie dann auch mit AdBlue versorgt werden könnten. Für eine flächendeckende europaweite Versorgung der übrigen Fahrzeuge würde es ausreichen, wenn die Mineralölwirtschaft entlang der Hauptverkehrsrouten einige Tankstellen mit entsprechenden AdBlue-Zapfsäulen ausrüsten würde. Ab 2006 werden auch leichtere LKWs (ab ca. 6 t zGG) und Busse mit SCR-Technik auf den Markt kommen. Für diese Fahrzeuge reichen dann betriebseigene Tankstellen der Fuhrparks und wenige öffentliche Tankstellen entlang der Hauptverkehrswege allein nicht mehr für eine flächendeckende AdBlue-Versorgung aus.

Inzwischen werden AdBlue-Zapfanlagen angeboten, die von einfachen mobilen Füllsystemen bis zu voll integrierten Tankanlagen mit Lagertank, beheizten Leitungen, Pumpen und standardisierten Zapfpistolen reichen. Die europäischen Hersteller von AdBlue haben internationale Kooperationsverträge mit Vertriebspartnern, die sich auf die Distribution von Chemikalien spezialisiert haben, abgeschlossen.

Damit sollte zumindest für die Anlaufphase die flächendeckende Versorgung der schweren Nutzfahrzeuge mit AdBlue europaweit gesichert sein.

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 emission reduction of 60 % for nitrogen oxides and of 80 % for particulate matter will be required.

After testing and comparing 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, in the presence of a reducing agent, converts nitrogen oxides into nitrogen and water, which are natural components of our atmosphere. The European automobile industry has also agreed on **one** reducing agent: an aqueous solution of urea, which will be distributed under the trade name „*AdBlue*“.

This report describes the mechanism and advantages of the SCR/urea technology. The main reason for the decision of the manufacturers of HD vehicles was the fact that this technique, according to current knowledge, appears to be the only method, which enables the necessary decrease of all exhaust gas emissions to the level of Euro 5, while maintaining engine optimization with regard to performance and fuel economy. Furthermore this method can be applied to all types of engines.

In addition this report describes properties and environmental impact of urea as well as its aqueous solution. According to the European product classification guideline, AdBlue poses no serious risk to humans, animals or the environment, if properly handled. Materials used in direct contact with AdBlue must be checked for compatibility with this product. For production, transportation and storage of AdBlue very stringent quality requirements have to be observed, in order to avoid impairment of the efficiency of the SCR catalyst.

Within the scope of this project, a number of pilot and laboratory tests has been conducted, to investigate storage and thermal stability as well as compatibility of AdBlue with other materials. Under correct storage conditions, AdBlue is a stable, easy to handle solution, which does not attack highly alloyed steel, various plastic materials or seals and which does not form stable emulsions with fuel.

In extended vehicle tests, the European automobile industry has investigated the suitability of the SCR technology for decreasing NO_x emissions and of AdBlue as a reducing agent. This report describes test results which were achieved under extreme climatic conditions thus confirming the suitability of the method.

In the course of 2003, the first public service stations have been equipped with AdBlue filling devices. The experiences, gained since then, have confirmed good storage stability and easy handling of the product.

The important European manufacturers of commercial vehicles will offer HD trucks equipped with the SCR/urea technology starting in January 2005. With an AdBlue tank of 100 l capacity, such vehicles have a travelling range of about 6,000 km. In Germany, two thirds of the HD trucks are refuelled at private filling stations of the larger fleet owners, where they could also refuel AdBlue. For an area covering Europe-wide supply of the other vehicles, it would be sufficient, if the mineral oil trade would equip a number of their public service stations with AdBlue filling devices along the main expressways. Starting in 2006, it is planned to also offer lighter trucks and busses with SCR technique. At that time, private filling stations of larger fleet owners

and some public service stations along the main expressways alone may not be sufficient for an area covering AdBlue supply.

In the meantime AdBlue filling equipment is offered, ranging from smaller mobile filling systems to fully integrated filling stations with storage tank, heated pipes, pumps and standardized filling nozzles. The European producers of AdBlue have entered into contracts with distributors of chemicals to establish a Europe-wide distribution network for AdBlue.

Thus the area covering supply of HD vehicles with AdBlue should be secured – at least for the initial phase.

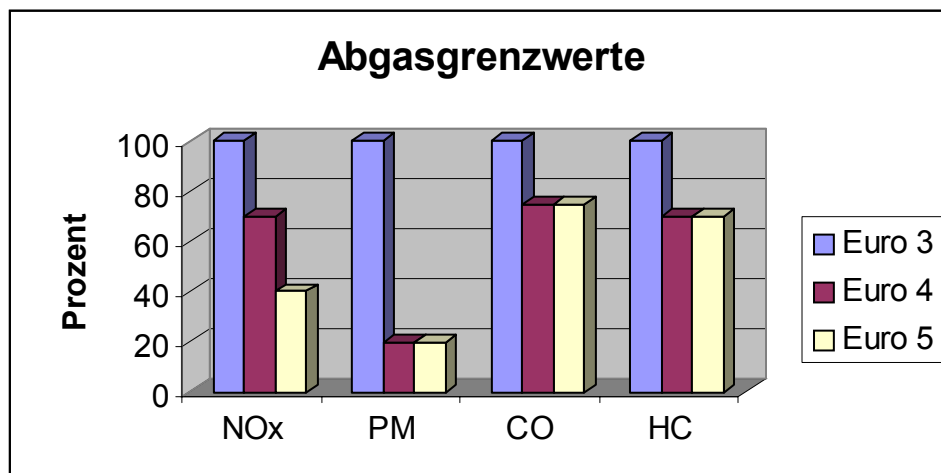
1. Einführung: Anlass und Ziel

1.1 Euronormen zur Reduzierung von Abgasemissionen

Der DGMK Forschungsbericht 616-1 vom September 2003 behandelte das Thema „AdBlue als Reduktionsmittel für die Absenkung der Stickoxid-Emissionen (NO_x) aus Nutzfahrzeugen mit Dieselmotor“ [1]. Wie dort erläutert, hat das Parlament der EU Ende 1999 verschärfte Abgasnormen für Dieselmotoren von Nutzfahrzeugen verabschiedet, nach denen die NO_x-Emissionen in zwei Schritten ab 2005 (Euro 4) und 2008 (Euro 5) um jeweils 30% gegenüber den seit 2001 geltenden Grenzwerten von Euro 3 abgesenkt werden müssen. Auch für die übrigen Schadstoffe: Kohlenmonoxid (CO), unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) und vor allem für Partikel (PM), gelten ab 2005 deutlich strengere Werte (siehe Tab. 1 und 2).

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 (PM)	0,1	0,02	0,02

Tab. 1: Abgasgrenzwerte der EU Norm 99/96/EG für schwere Nutzfahrzeuge (>3,5 t; > 85 kW) in g/kWh [2]



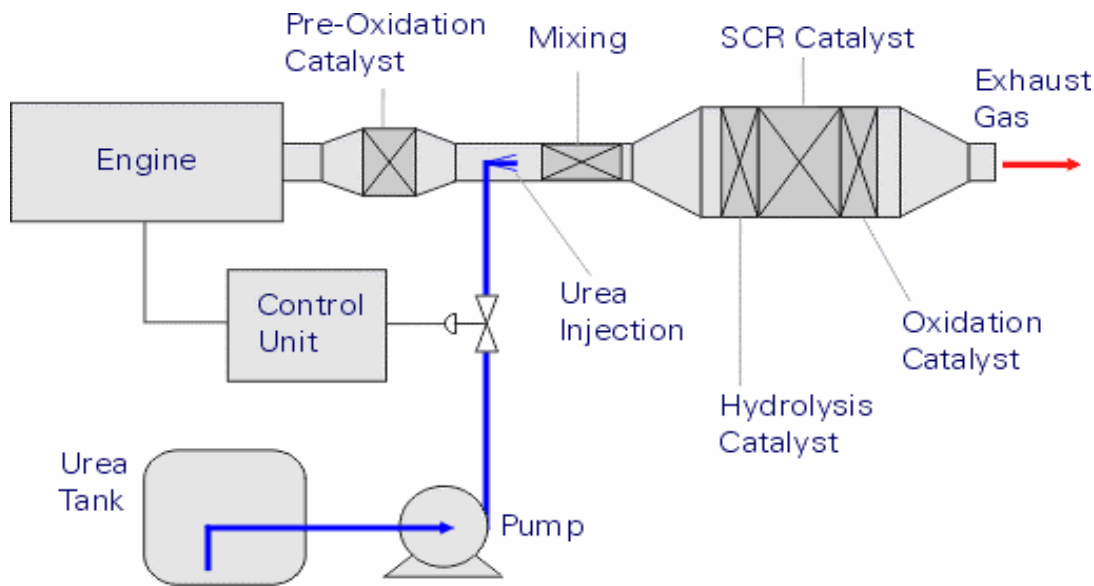
Tab. 2: Abgasgrenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge in Prozent gegenüber dem gegenwärtigen Euro 3 Standard

Während die Grenzwerte von Euro 4 noch mit verschiedenen Maßnahmen eingehalten werden können, z.B. mit Abgasrückführung und Partikelfilter, stellt die gleichzeitige Absenkung von NO_x - und Partikel-Emissionen auf die Werte von Euro 5 ein technisches Problem dar, das nach dem derzeitigen Stand der Kenntnisse nur mit einer einzigen Methode erreicht werden kann, die im nachfolgenden Absatz beschrieben wird [3].

1.2 Das Verfahren der selektiven katalytischen Reduktion

Nach Erprobung und Vergleich verschiedener technischer Möglichkeiten haben sich die europäischen Hersteller der schweren Nutzfahrzeuge auf ein Verfahren zur Einhaltung der verschärften NO_x -Werte geeinigt: die „*selektive katalytische Reduktion*“ (SCR-Verfahren) [4]. Als Reduktionsmittel dient dabei Ammoniak (NH_3), das aber wegen seiner Aggressivität und Giftigkeit nicht als solches, sondern in Form einer harmlosen Substanz verwendet wird, die das NH_3 erst im Abgasstrom freisetzt. Dazu hat sich die europäische Automobilindustrie darauf verständigt, einheitlich eine 32,5 %ige, wässrige Lösung von Harnstoff als Reduktionsmittel einzusetzen, die unter der Bezeichnung „*AdBlue*“ vertrieben wird.

Bei Anwendung der SCR-Technologie kann der Motor unter optimaler Einstellung betrieben werden. Das minimiert den Kraftstoffverbrauch und damit die CO_2 -Emissionen sowie den Ausstoß aller Schadstoffe außer NO_x . Nachdem die Verbrennungsgase den Motor verlassen haben, durchströmen sie zuerst einen Oxidationskatalysator. Dort werden unverbrannte Kohlenwasserstoffe, Kohlenmonoxid und Partikel möglichst vollständig und NO teilweise zu NO_2 oxidiert (bei einem Mischungsverhältnis $\text{NO}:\text{NO}_2$ von 1:1 verläuft die anschließende Reduktion am schnellsten). Danach sprüht eine von einer Kontrolleinheit gesteuerte Pumpe AdBlue aus einem separaten Tank in den heißen Abgasstrom, wo es zu NH_3 und CO_2 hydrolysiert. In der eigentlichen selektiven Reduktion reagiert dann das NH_3 mit dem NO/NO_2 -Gemisch zu Stickstoff und Wasser, also zu normalen Bestandteilen unserer Atemluft. Die Reaktion erfolgt an einem Katalysator, der aus Übergangsmetallverbindungen auf einem keramischen Träger besteht. In einem nachgeschalteten zweiten Oxidationskatalysator können unverbrauchte NH_3 -Anteile umgesetzt werden (siehe Abb. 1):



Chemische Reaktionen:

- Partielle Oxidation $2 \text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_2$
- Harnstoff-Hydrolyse $(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NH}_3 + \text{CO}_2$
- Stickoxid-Reduktion $\text{NO} + \text{NO}_2 + 2\text{NH}_3 \rightarrow 2 \text{N}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$

Abb. 1: Schema eines kombinierten Systems zur Abgasbehandlung auf Basis der SCR Methode [4]

Die europäischen Nutzfahrzeughersteller haben sich auf die SCR/Harnstoff-Technologie geeinigt, weil dieses Verfahren eine Reihe von Vorteilen besitzt, die keine andere, zurzeit bekannte Methode bietet [5]:

- Der Motor kann unter optimaler Einstellung betrieben werden, weil die dabei reichlich entstehenden Stickoxide in einem zweiten Schritt nachmotorisch in elementaren Stickstoff überführt werden.
- Die optimale Motoreinstellung führt zu besserem Leistungsverhalten (ca. 5 % niedrigerem Kraftstoffverbrauch) und daher zu weniger CO₂-Emissionen.
- Der Ausstoß aller Schadstoffe (NO_x, PM, CO und CH) wird gleichzeitig erniedrigt, und damit werden die strengen Anforderungen von Euro 4 und 5 erfüllt.
- Die SCR/Harnstofftechnologie funktioniert mit jedem Motor und mit Dieselkraftstoff unterschiedlicher Qualität.
- Die SCR-Methode arbeitet wartungsfrei; sie ist für die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs ausgelegt.
- SCR hat keinen Einfluss auf die Wartungs- und Ölwechselintervalle der Fahrzeuge.
- In einigen europäischen Ländern gibt es für Fahrzeuge mit SCR-Technologie bereits jetzt finanzielle Anreize, wie ermäßigte Autobahngebühren (10 statt 12 Cent/km in Deutschland ab 2005, in der Schweiz und Österreich geplant), niedrigere Steuern oder bevorzugte Abschreibungsraten (Niederlande).

Mittel- und langfristig ist eine technisch und wirtschaftlich vertretbare Alternative zur SCR-Technik für die Erfüllung der Euro 5 Norm nicht in Sicht. Dieses Verfahren bietet die kostengünstigste Lösung hinsichtlich Umweltschutz und Leistungsfähigkeit.

1.3 Technische und logistische Anforderungen

Nachdem sich die europäische Automobilindustrie auf die SCR/Harnstoff-Technologie festgelegt hatte, erwartete sie von Mineralölindustrie und Handel, dass diese das dafür benötigte AdBlue – möglichst in gleicher Weise wie die Kraftstoffe – über das öffentliche Tankstellennetz europaweit und flächendeckend zur Verfügung stellen. Daraus ergab sich eine Reihe ungeklärter Fragen im Hinblick auf technische und logistische Anforderungen:

- Standardisierung und Qualitätssicherung der AdBlue-Lösung (von der Auslieferung des Produktes vom Hersteller bis zur Abgabe an der Zapfsäule)
- Anlieferung und Lagerung von AdBlue an der Tankstelle
- Temperatureffekte (Kristallisation, Hydrolyse) und Lagerstabilität
- Werkstoffverträglichkeit (Metalle, Betonfahrbahnen, Dichtmaterialien)
- Verhalten im Leichtflüssigkeitsabscheider
- Schnittstelle Zapfventil/Einfüllstutzen für die AdBlue-Betankung

Zur Klärung dieser Fragen wurden von der Automobil- und der Mineralölindustrie verschiedene Labor-, Tankstellen- und Fahrzeugteste durchgeführt, deren Ergebnisse im vorliegenden Forschungsbericht 616-2 beschrieben werden (Kapitel 3 bis 5). Außerdem werden in diesem Bericht einige Überlegungen zur europaweiten Versorgung der schweren Nutzfahrzeuge mit AdBlue angestellt (Kap. 6).

2. Eigenschaften von Harnstoff und AdBlue

2.1 Harnstoff

Wegen der Bedeutung des Harnstoffes für die Anwendung des SCR-Verfahrens seien hier noch einmal die wichtigsten Eigenschaften dieser Substanz und ihrer wässrigen Lösung zusammengefasst (siehe auch DGMK-Forschungsbericht 616-1 mit den dort angeführten Literaturstellen).

Harnstoff ist eine farb- und geruchslose, kristalline Substanz, die in großen Mengen synthetisch aus Ammoniak und Kohlendioxid gewonnen und vor allem in der Landwirtschaft als Düngemittel und Futtermittelzusatz sowie in der Kunststoff-, Textil-, Pharma- und Spanplattenindustrie eingesetzt wird. Harnstoff sowie seine wässrigen Lösungen (z. B. AdBlue) sind von geringer akuter Toxizität, bei Haut- und Augenkontakt nicht reizend, sensibilisierend, krebserregend oder mutagen und daher auch kein Gefahrstoff im Sinne der Gefahrstoff-Verordnung. Harnstoff ist nach dem Chemikaliengesetz nicht kennzeichnungspflichtig, gilt als nur schwach wassergefährdend und ist biologisch leicht abbaubar. Harnstoff ist kein Gefahrgut und unterliegt nicht der Störfall-Verordnung. Die Substanz wurde vom Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe der Gesellschaft Deutscher Chemiker in die Gruppe III eingeordnet; das sind Stoffe, die nach derzeitigem Kenntnisstand ein geringes Gefährdungspotenzial für Mensch und Umwelt darstellen [6].

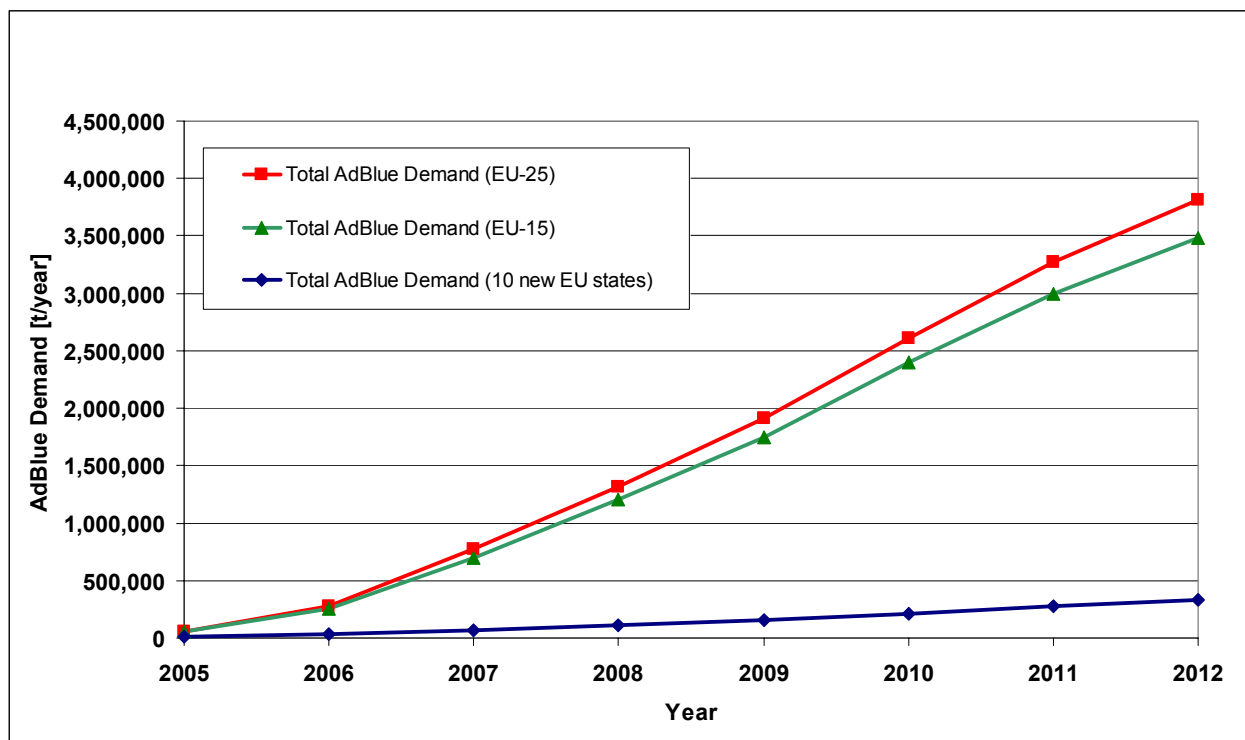
2.2 AdBlue

AdBlue ist eine 32,5 %ige Lösung von technisch reinem Harnstoff in demineralisiertem Wasser. Die Konzentration wurde gewählt, weil bei diesem Harnstoff-Gehalt der Kristallisationspunkt mit minus 11 °C ein Minimum erreicht (eutektisches Mischungsverhältnis). An die Reinheit der Lösung werden besondere Anforderungen, nicht nur bei Produktion, sondern auch bei Umschlag, Transport und Lagerung gestellt: AdBlue muss frei von Metall-Ionen sein (z.B. Na, K, Mg, Ca, Al und insbesondere Schwermetalle), weil deren Salze die Poren des keramischen Trägermaterials verstopfen oder die aktiven Zentren des Katalysators vergiften und damit unwirksam machen können [7]. AdBlue ist nicht brennbar, kann aber beim Erhitzen Ammoniak freisetzen. AdBlue ist (wie Harnstoff) gemäß EU-Chemikalien-Richtlinie 67/548/EU in jeder Hinsicht ungefährlich [8]. Es sollte allerdings getrennt von Nitraten und Nitriten gelagert werden.

Harnstofflösung greift einige Werkstoffe (z. B. Kupfer, Zink und unlegierte Stähle) an. Deshalb dürfen für Behälter-, Leitungs- und Pumpenmaterialien nur beständige Werkstoffe, wie hoch legierte austenitische Stähle, verschiedene Kunststoffe (z.B. Polyethylen, -propylen, -isobutylen, und -fluorethylen, Viton etc) und Kunststoffbeschichtungen in Metallbehältern verwendet werden. Unlegierte und verzinkte Stähle sowie Kupfer und kupferhaltige Legierungen sind dagegen nicht geeignet. Wegen der bei -11 °C beginnenden Kristallisation der AdBlue-Lösung müssen Lagertanks, Zapfsäulen und Ventile im Winter entsprechend isoliert und gegebenenfalls beheizt werden.

Die europäischen Harnstoffhersteller haben im Rahmen der CEFIC eine „*Richtlinie zur Qualitätssicherung*“ erstellt, in der die empfohlenen Bedingungen für Umschlag, Transport und Lagerung der wässrigen Harnstofflösung beschrieben werden, um die AdBlue-Qualität von der Produktion bis zum Vertrieb an den Endverbraucher sicherzustellen. Dieses Dokument ist im Anhang 9.1 in der Fassung vom 15.07.2004 aufgeführt. Die jeweils neueste Fassung ist aus dem Internet erhältlich [8].

Wie die europäischen Harnstoffhersteller versichern, reichen ihre Produktionskapazitäten aus, um den Bedarf an AdBlue in Europa, der nach der letzten Schätzung der ACEA von anfänglich ca. 280.000 t im Jahre 2006 auf nahezu 4 Mio t in 2012 steigen wird, zu decken [ACEA Mitteilung vom 02.11.2004].



Tab. 3: AdBlue-Bedarf in der Europäischen Union nach einer Schätzung der ACEA vom November 2004

3. AdBlue-Erprobung in Pilot- und Laborversuchen

Im Rahmen des DGMK Forschungsprojektes 616 hat die Aral Forschung in Bochum im Jahre 2003 folgende Versuche durchgeführt:

1. Stabilitätsteste
 - Lagerstabilität
 - Thermische Stabilität (NH₃-Bildung)
2. Praxisteste
 - Handhabung: Zapfpistole/Verschüttungen/Tropfmengen/Reinigung
 - Winterbetrieb (Temperaturen zwischen -4 und -8 °C)
 - Sommerbetrieb (Temperaturen bis zu 32 °C)
3. Materialverträglichkeit
 - Beton
 - Metalle und Kunststoffe
 - Dichtmaterialien
4. Emulsionstest
 - Trennung von DK- und AdBlue-Mischungen

Diese Versuche zeigten folgende Ergebnisse:

3.1 Stabilitätsteste

In Lagertesten bei Raumtemperatur über einen Zeitraum von einem halben Jahr zeigte AdBlue keine signifikanten Änderungen der in der DIN V 70 070 vorgegebenen Qualitätsmerkmale. Nach Abschluss der Teste waren alle spezifizierten Werte innerhalb der von der DIN Norm vorgeschriebenen Grenzen.

In Lagertesten bei erhöhter Temperatur ergab sich ein etwas anderes Bild: Während bei einer Lagertemperatur von 50 °C nur ganz geringe Mengen von Ammoniak gebildet wurden, stieg der NH₃-Gehalt der AdBlue-Lösung bei 70 °C nach ca. 100 Stunden langsam über den von der DIN Norm spezifizierten Grenzwert von 0,2 Gew.-% und erreichte nach 350 Stunden einen Wert von 1,4 Gew.-% NH₃ (siehe Anhang 9.2). AdBlue ist also in diesen Aral-Versuchen bei Lagertemperaturen bis 50 °C relativ stabil; bei höheren Temperaturen setzt jedoch zunehmend eine hydrolytische Spaltung des Harnstoffes ein.

3.2 Praxisteste

Für die Praxisteste war auf dem Gelände der Aral-Forschung ein IBC-Behälter aufgestellt und mit AdBlue befüllt worden. Die Handhabung der Harnstoff-Lösung erwies sich als problemlos. Verschmutzungen durch geringe Tropfmengen, die beim Abfüllen mit einer Zapfpistole entstanden, konnten leicht entfernt werden. Nur wenn Tropfmengen auf Beton (B35) nicht innerhalb weniger Tage beseitigt wurden, konnte es zu Fleckenbildung kommen.

Der Sommerbetrieb bei Temperaturen bis zu 30 °C bestätigte die Laborversuche zur thermischen Stabilität von AdBlue. Abgesehen von ganz geringer Geruchsbildung traten keine nennenswerten Veränderungen oder Belästigungen durch AdBlue auf (der Geruchsschwellenwert für NH₃ liegt bei 10 - 20 ppm [9]).

Ein echter Winterbetrieb konnte nicht erprobt werden, da die Außentemperaturen – 8 °C nicht unterschritten und damit der Kristallisationspunkt von AdBlue von –11 °C nicht erreicht wurde. Bis zu der Temperatur von – 8 °C, die an mehreren Tagen vorlag, waren keine Probleme zu verzeichnen.

3.3 Materialverträglichkeit

AdBlue-Lösung wurde für 6 Wochen mit B 35 Betonwürfeln und –platten in Kontakt gebracht. Danach wurde die Lösung auf ihren Gehalt an Calcium untersucht. Dabei zeigte sich, dass AdBlue nicht mehr Ca aus dem Beton herauslöst als Wasser in der gleichen Zeit, d.h. dass AdBlue diese Betonart, die z.B. an Tankstellen als Pflaster eingesetzt wird, nicht mehr als Wasser angreift.

Die Versuche zur Verträglichkeit von AdBlue mit verschiedenen Metallen und Kunststoffen bestätigten die in der DIN V 70 070 gemachten Angaben. Als Beispiel für Fugen-Dichtmaterialien wurde Polysulfid untersucht, das sich als stabil erwies.

3.4 Emulsionstest

Um zu überprüfen, ob AdBlue mit Vergaser- oder Dieseldieselkraftstoff stabile Emulsionen bildet, was unter Umständen das Trennverhalten eines Leichtflüssigkeitsabscheiders einer Tankstelle beeinträchtigen könnte, wurden Mischungen von AdBlue und Dieseldieselkraftstoff nach einer Aral-Hausmethode untersucht: Dazu wurde ein AdBlue/DK-Gemisch mit einem Turax 30 sec lang bei 11.000 Umdrehungen pro Minute verrührt. Die so erzeugte Emulsion wurde anschließend 5 min lang bei 1.600 rpm zentrifugiert. Danach hatte sie sich wieder vollständig in eine wässrige und eine Kohlenwasserstoff-Phase getrennt. Probleme durch den Mitriss von Kraftstoff aus dem Flüssigkeitsabscheider sind nach den Erfahrungen der Aral daher nicht zu befürchten.

3.5 Fazit

Zusammenfassend zeigen die Pilot- und Laborteste der Aral Forschung, daß AdBlue bei korrekter Lagerung auch über längere Zeiträume eine stabile Lösung ist, die sich gut handhaben lässt, Beton, legierte Stähle, Kunststoffe und Dichtungen nicht angreift und mit Kraftstoffen keine stabilen Emulsionen bildet.

4. Fahrzeugteste mit SCR/Harnstoff-Technik

4.1 Funktionserprobungen von DaimlerChrysler

Bereits im Vorfeld der Entscheidung für das SCR-Verfahren hat DaimlerChrysler zehn Mercedes-Benz-Nutzfahrzeuge über insgesamt 3,2 Mio Streckenkilometer erfolgreich erprobt [10]. Nachfolgend werden jüngere Versuche beschrieben, die vor allem die Eignung des Verfahrens unter extremen klimatischen Bedingungen untersuchen sollten.

4.1.1 Wintererprobung im Frühjahr 2003 in Rovaniemi, Finnland

Die Fahrzeugergebnisse der ersten Wintererprobung von DaimlerChrysler in Finnland lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Komponenten haben größtenteils ihre Wintertauglichkeit bewiesen.
- Die Aufheizung des AdBlue-Systems über das Kühlwasser ist zielführend
- Das Gesamtsystem der Fahrzeuge muss noch optimiert werden; insbesondere ist die Beheizung unter extremen Bedingungen weiter zu verbessern.
- Zur Bewertung des Gesamtsystems werden zusätzliche Untersuchungen in einer Kältezelle und weitere Tests geplant.

Für die dabei verwendeten AdBlue-Tankstellen ergab sich folgendes:

- In der Kältezelle liefen die Betankungen bis zu Temperaturen von -20 °C ohne Beanstandung.
- Bei den anschließenden Versuchen in Finnland wurde der Tankinhalt auf über 10 °C beheizt. Trotzdem kam es zu gelegentlichen Ausfällen von Zapfpistole und Pumpe.
- Die Outdoor-Version der AdBlue-Tankstelle funktionierte bis -20 °C zufrieden stellend. Bei Temperaturen zwischen -30 und -34 °C sind Leitungen und Pumpen eingefroren, wobei es zu einem Riss eines Impellerzahnrades gekommen ist. Nach Austausch des Zahnrades und nachdem die Tanktemperatur durch Erhöhung der Heizleistung auf mehr als 24 °C gestiegen war, arbeitete die Zapfanlage wieder zufrieden stellend.

4.1.2 Wintererprobung 2003/04 in Rovaniemi, Finnland

Nach einer Vorerprobung von vier Fahrzeugen und zwei Tankstellen wurden die Fahrzeuge in der Zeit vom 15.12.03 bis 22.01.04 abgestellt. In dieser Zeit wurden vier Einfrierzyklen mit komplettem Einfrieren und Auftauen absolviert. Beim anschließenden Start und Betrieb traten keine Probleme auf. Allerdings benötigte die Kühlwasserheizung unter diesen Bedingungen ca. zwei Stunden, um den Inhalt eines großen, vollständig durchgefrorenen AdBlue-Tanks wieder vollständig aufzutauen. Durch die Anordnung der Heizleitungen war jedoch eine AdBlue-Entnahme aus dem Tank je nach Bedingungen schon nach einer Aufheizzeit von ca. 15 Minuten möglich. Da es auch bei sehr niedrigen Temperaturen zwei bis drei Tage dauert, bis ein AdBlue-Tank vollständig durchgefroren ist, sollten diese Aufheizzeiten in der Praxis keine Probleme bereiten. Denn Nutzfahrzeuge befinden sich in der Regel im Dauerbetrieb, bei dem die Tankfüllung durch das Kühlwasser des Motors auf hinreichend hoher Temperatur gehalten wird. Vom 23.01. bis 16.02.2004 wurde dann eine erfolgreiche Fahrerprobung von insgesamt zwölf Euro-4-Fahrzeugen bei Temperaturen bis zu -20 °C durchgeführt.

Zur Betankung wurden beheizte mobile Tankstationen der Firmen Bott (1000 l IBC) und UCON (1000 l Container) eingesetzt. Die Elaflex-Zapfpistole besaß einen Magnetverschluss, dessen Endabschaltung noch zu verbessern war (zu große Tropfmengen).

4.1.3 Sommererprobung 2004 in Spanien

Fünfzehn Euro-4-LKWs der Typen Actros, Axor und Atego sowie zwei Stadtbusse, ein Unimog und ein Econic wurden in der Zeit vom 05.07. bis 02.08.2004 in Granada bei Außentemperaturen zwischen $+30\text{ °C}$ und $+44\text{ °C}$ erprobt. Hierbei wurden fast 100.000 km zurückgelegt.

Dabei gab es keine Funktionsstörung und keine Ausfälle in der Abgasnachbehandlung. Es wurden wieder Tankanlagen von Bott und UCON mit Elaflex-Zapfventilen eingesetzt. Das AdBlue war von der Fa. Yara hergestellt worden.

Bei dieser Erprobung wurden insgesamt 1.400 l AdBlue benötigt. Dabei verbrauchten die schweren Fahrzeuge zwischen 1,4 und 2,0 l/100 km, die leichten 0,8 bis 1,4; das entspricht 4 bis 5 % des DK-Verbrauchs.

Bei der Erprobung konzentrierte man sich auf folgende Schwerpunkte:

- Funktion der Dosierung: Die Steuerung der Dosieranlage war in Ordnung. Es gab dort auch keine Undichtigkeiten. Kleinere Undichtigkeiten an anderen Stellen konnten behoben werden.
- Prüfung der AdBlue-Tankanlagen an Bord der Fahrzeuge unter großer Hitze und Straßeneinsatzbedingungen: Die Fahrzeuge waren mit Aluminiumtanks (AlMg₃-Legierung) ausgerüstet, deren Fassungsvermögen zwischen 25 und 110 l lag. Es traten keine Funktionsstörungen der Tankanlage auf, selbst wenn die Temperaturen im Fahrzeugtank bei direkter Sonneneinstrahlung 40 bis 50 °C erreichten. Es wurden keine Undichtigkeiten im Bereich der Tanks und keine Geruchsbeanstandungen aus ihrer Be- und Entlüftung beobachtet.

- Funktionsmessung der SCR-Anlage bei hohen Außentemperaturen: Die Anlage funktionierte einwandfrei; alle aufgetretenen Temperaturen lagen im Sollwertbereich. Weder der Katalysator noch die umliegenden Bauteile erreichten unzulässige Temperaturen.
- Prüfung des Betankungsvorganges: Die Pumpenleistung der Tank-Anlage lag bei 30 l/min. Nach Optimierung der Zapfpistole durch die Fa. Elaflex war die Pistolenabschaltung bei vollem Tank nicht zu beanstanden. Lediglich das ausströmende Restvolumen ist trotz der Magnetsicherung der Pistole noch zu groß. Bei den Betankungen traten keine Geruchsbelästigungen auf.

4.1.4 Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die SCR-Technologie eine zuverlässige Methode zur Reduzierung der NO_x-Emissionen ist, die auch unter den extremen Bedingungen eines Winters in Finnland und eines Sommers in Südspanien ohne Probleme funktioniert.

4.2 Funktionserprobungen von MAN

Die Firma MAN führte folgende Fahrzeugerprobungen mit AdBlue durch:

4.2.1 Sommer-Erprobungen 2003 und 2004

Ein mit SCR-Technologie ausgerüsteter LKW fuhr im Sommer 2003 drei Wochen lang durch Spanien. Der AdBlue-Tank aus Kunststoff (IBC) wurde auf dem Auflieger des Fahrzeugs mitgeführt. Trotz hochsommerlicher Temperaturen erfolgte die Betankung ohne besondere Probleme. Es wurde auch keine auffallende Geruchsentwicklung beobachtet. Seit dem 22.7.2004 läuft das Fahrzeug wieder in Südspanien. Auch hierbei gab es keine technischen Probleme oder Geruchsbelästigungen bei der Betankung.

4.2.2 Winter-Erprobung 2003/2004:

Ein Fahrzeug mit SCR-System fuhr im Winter 2003/04 drei Wochen lang durch Schweden. Es wurde von einer Container-Tankstelle vor Ort ohne Probleme betankt. Selbst bei Temperaturen von -32 °C war die Betankung möglich. Die Beheizung des AdBlue-Tanks über das Motor-Kühlwasser reichte aus, um die AdBlue-Lösung auch bei Außentemperaturen unter -30 °C flüssig zu halten.

Anmerkung: Die Firma MAN hat sich entschieden, die Anforderungen von Euro 4 durch eine Alternative zur SCR-Technologie zu erfüllen, und zwar durch eine weiterentwickelte gekühlte Abgasrückführung und ein Partikelabscheidesystem im Edelstahl-Schalldämpfer.

5. Erprobung von AdBlue an öffentlichen Tankstellen

Im Jahre 2003 sind in Deutschland die ersten drei öffentlichen Tankstellen mit einer AdBlue-Zapfanlage ausgerüstet worden:

- OMV Tankstelle in Dingolfing, Bayern. Eröffnung am 3.3.2003
- Total Tankstelle in Berlin. Eröffnung am 10.10.2003
- Total Tankstelle in Stuttgart. Eröffnung am 19.11.2003

Außerdem gibt es in Österreich die erste Autobahntankstelle mit AdBlue-Betankung, die OMV im Sommer 2004 an der Innautobahn in Vomp, Tirol, eröffnet hat. Mittlerweile hat OMV bereits weitere öffentliche Autobahntankstellen eröffnet: Schnellendorf in Deutschland und Prostejov in der Tschechischen Republik. OMV hat darüber hinaus angekündigt, dass sie planen, bis Ende 2007 europaweit 67 Tankstellen mit AdBlue-Zapfsäulen auszurüsten. Zusätzlich wird OMV ab Januar 2005 an 81 Autobahn-Tankstellen in 10 Ländern AdBlue in 10 l Gebinden anbieten.

Im Folgenden wird über die Erfahrungen beim Umgang mit AdBlue und über die Untersuchungsergebnisse berichtet.

5.1 OMV Tankstelle in Dingolfing, Bayern

Die Firma OMV, Wien, hatte sich Anfang 2003 bereiterklärt, im Rahmen des DGMK-Projektes 616-2 eine AdBlue-Zapfanlage an ihrer Tankstelle in Dingolfing, Bayern, für einen Feldtest einzurichten (Abb. 2). Am 3. März 2003 wurde die AdBlue-Teststation der Firma Bott in Betrieb genommen, die schon in Finnland bei den Feldtesten von DaimlerChrysler verwendet worden war (siehe Kap. 4.1). Sie besteht aus einem oberirdischen IBC-Behälter aus Kunststoff, der mit 1.000 l AdBlue der Firma AMI Agrolinz Melamine International GmbH gefüllt war, und aus einer Zapfanlage mit Zapfpistole der Firma Elaflex. Insgesamt wurden 11 LKWs bis zum 7.10.2003 betankt. Am 16.2.2004 wurde der IBC-Behälter durch einen neuen mit frischer AdBlue-Lösung ersetzt.



Abb. 2 OMV-Tankstelle Dingolfing

Zur Qualitätskontrolle der AdBlue-Lösung wurden nach Bedarf Proben gezogen: direkt beim Produzenten sowie mit der Zapfpistole aus dem IBC-Behälter der Tankstelle in Dingolfing. Die Analyseergebnisse der Proben (siehe Anhang 9.3) zeigen, dass auch nach einem Jahr Lagerung alle Werte der AdBlue-Lösung praktisch unverändert und damit innerhalb der DIN Spezifikation blieben.

Mit diesen Versuchen wurde die Eignung der Bott-Tankanlage und die Stabilität der AdBlue-Lösung demonstriert. Es gab keine Geruchsbelästigungen durch Ammoniak, lediglich geringfügige Kristallausscheidungen an den Stellen, an denen das Wasser aus der Lösung verdunsten konnte, z.B. am Zapfventil und am Einfüllstutzen.

5.2 Total Tankstellen in Berlin und Stuttgart

Im Oktober 2003 eröffnete die Total an einer Tankstelle in Berlin ihre erste integrierte AdBlue-Zapfanlage und einen Monat später eine weitere in Stuttgart (siehe Abb. 3 und 4). Die Bauarbeiten wurden durch die Firma Union Technik durchgeführt. Die AdBlue-Lösung wird in beschichteten unterirdischen Tanks gelagert. Die Zuleitungen zur Zapfsäule sind beheizt. Die integrierte Zapfanlage wurde von der Fa. Dresser-Wayne entwickelt. Laut den Ergebnissen der von den Firmen Dresser und Union Technik monatlich durchgeführten Untersuchungen der Zapfsäulen laufen beide Anlagen ohne technische Probleme.



Abb. 3 Mustertankstelle von TOTAL, Berlin Alt-Mahlsdorf



Abb. 4 Mustertankstelle von TOTAL, Stuttgart Ulmenstraße

SKW Piesteritz lieferte die AdBlue-Lösung und analysierte monatlich AdBlue-Proben aus beiden Tanks (siehe Anhang 9.4). Wie die Ergebnisse zeigen, sind alle untersuchten Werte praktisch konstant und innerhalb des von der DIN V 70 070 spezifizierten Bereichs geblieben. Es erfolgte keine Hydrolyse; die Schwermetallgehalte lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Dies zeigt, dass die AdBlue-Lösung bei korrekter Lagerung auch über ein Jahr lang stabil ist.

6. Logistik

Zur erfolgreichen Einführung der SCR/Harnstoff-Technologie bei schweren Dieselfahrzeugen, mit der einige LKW-Hersteller schon 2005 beginnen werden, erwartet die Automobilindustrie, dass die Mineralölwirtschaft das dafür benötigte AdBlue in ausreichender Menge und Qualität schließlich flächendeckend in ganz Europa bereitstellt. Dabei geht sie von einer stufenweisen Einführung aus, bei der das Produkt zunächst vorwiegend an Betriebs tankstellen größerer Fahrzeugflotten erhältlich sein wird, später dann an den Tankstellen wichtiger Autobahnknotenpunkte und schließlich flächendeckend über das bestehende öffentliche Tankstellennetz für LKW-Betankung. Der Aufbau einer solchen Infrastruktur, vor allem in der letzten Stufe, wäre für die Mineralölwirtschaft mit erheblichen Investitionen für die Ausrüstung der Tankstellen mit zusätzlichen Tanks, Leitungssystemen, Pumpen und Zapfvorrichtungen verbunden. Deshalb werden hier einige Überlegungen darüber angestellt, was für eine europaweite flächendeckende Versorgung der schweren Nutzfahrzeuge mit AdBlue benötigt wird.

Hierzu seien einige Zahlen über den deutschen Markt angeführt: Im Jahre 2003 wurden 27,9 Mio t Dieselkraftstoff verbraucht, davon 25,1 Mio t im Straßenverkehr. Rund 70 % des Gesamt-DK-Verbrauchs (entsprechend 20 Mio t) entfallen auf Nutzfahrzeuge. Die Betreiber dieser Nutzfahrzeuge (ca. 3,6 Mio Stück in Deutschland, davon 10 % mit mehr als 6 t Zuladung) betanken ihre Wagen zu rund zwei Dritteln an eigenen Betriebs tankstellen, deren Zahl (ohne Landwirtschaft) ungefähr 3.500 beträgt. Rund 20 % der Nutzfahrzeuge tanken an Autohöfen und lediglich 10 % an öffentlichen Tankstellen [11].

Bei einer DK-Tankgröße des Nutzfahrzeuges von 1.000 l und einem durchschnittlichen DK-Verbrauch von 34 l/100 km entspricht das einer Reichweite von fast 3.000 km, also der Entfernung Kopenhagen – Palermo oder Paris – Moskau. Der AdBlue-Verbrauch beträgt rund 5% des DK-Verbrauchs. Mit einem 100 l Tank für AdBlue könnte das Fahrzeug also die Strecke Kopenhagen – Palermo hin- und zurückfahren, ohne diesen Betriebsstoff nachtanken zu müssen. Auch bei kleineren Tankgrößen werden die Fahrten der LKWs so geplant, dass ein Tanken außerhalb der eigenen Betriebshöfe nicht erforderlich wird.

DaimlerChrysler hat außerdem angekündigt, dass sie für die Übergangszeit, in der AdBlue noch nicht überall erhältlich sein wird, ihre großen Fernlaster mit extragroßen AdBlue-Tanks mit einem Fassungsvermögen von 145 l anbieten werden, die dann eine Reichweite von fast 10.000 km hätten [12].

Aus diesen Überlegungen folgt, dass rund zwei Drittel aller schweren LKWs in Deutschland selbst für Fahrten quer durch Europa ihren AdBlue-Bedarf an den eigenen Tankstellen der Betriebshöfe decken können, wenn der jeweilige Spediteur dort die entsprechenden Voraussetzungen für die AdBlue-Betankung schafft.

Für diese Betriebstankstellen gibt es inzwischen mehrere Firmen, die entsprechende AdBlue-Betankungsanlagen mit:

- Containern mit Pumpentechnik, Beheizung, Zapfventil sowie
- Zapfanlagen mit Heizung, Durchflussmeseinrichtungen und Abrechnungssystemen

anbieten. Derartige Anlagen sind u. a. bei den Feldversuchen der Nutzfahrzeughersteller erfolgreich im Einsatz gewesen (Fa. Bott und Ucon; siehe Kap. 4).

Das verbliebene Drittel der Nutzfahrzeuge, das seinen Kraftstoff auf Autohöfen und an öffentlichen Tankstellen bezieht, wird dort auch AdBlue tanken wollen. Aber da diese Fahrzeuge dieselbe Reichweite haben wie die oben genannten, sollte ihre AdBlue-Versorgung über Autobahn-Tankstellen an den Haupttrouten hinreichend gesichert sein. Damit relativiert sich die Forderung der Automobilindustrie nach einer AdBlue-Versorgung in der dritten und letzten Stufe an praktisch allen öffentlichen Tankstellen. Die Mineralölwirtschaft könnte sich auf wesentliche Knotenpunkte entlang der Hauptverkehrsachsen konzentrieren, was zu einer erheblichen Reduzierung der Investitionskosten führt.

Im Juli 2004 haben sich die bedeutenden europäischen Harnstoffproduzenten (AMI, BASF, SKW Piesteritz und Yara International), Nutzfahrzeughersteller (DAF, DaimlerChrysler, Iveco, Renault und Volvo) sowie mehrere Mineralölgesellschaften (OMV, Total und CEPSA) in einer gemeinsamen Presseerklärung zum Konzept der SCR/Harnstoff-Technologie bekannt, die – nach ihren Worten – in idealer Weise ökonomische und ökologische Vorteile in sich vereint [13].

Die AdBlue-Produzenten (AMI, BASF, SKW Piesteritz und Yara) haben mit Vertriebsfirmen (OMV, Penta Chemikalien und ERC Technology, Kruse Chemie und Brenntag AG) Übereinkommen zum Aufbau eines bundes- bzw. europaweiten AdBlue-Verteilungssystems abgeschlossen, das die Versorgung sowohl der Betriebs- als auch der Autobahntankstellen sicherstellen könnte. Es werden dabei z.B. folgende Liefermöglichkeiten für AdBlue angeboten:

- im 10 Liter-Kanister, der vor allem als Ersatz- oder Reservekanister gedacht ist,
- im 1.000 Liter-Container (IBC), der mit Pumpentechnik, Beheizung, Zapfpistole oder kompletter Zapfanlage sowie Durchflussmengenähler und Abrechnungssystemen ausgerüstet werden kann und
- lose im Tankwagen zur Befüllung von 1.000 – 30.000 Liter Tankanlagen, die mit Heizung, Isolierung, Füllstandsanzeige, kompletter Einhausung, Zapfpistole oder kompletter Zapfanlage, Durchflussmengenähler sowie Abrechnungssystemen ausgerüstet werden können.

Der AdBlue-Bedarf schwerer Dieselfahrzeuge kann also flächendeckend und europaweit über die Betriebstankstellen der Speditionen sowie die Tankstellen und Autohöfe an den Hauptverkehrsachsen gesichert werden. Eine Ausrüstung der Tankstellen, die nicht regelmäßig von LKWs mit SCR-Systemen genutzt werden, ist somit nicht erforderlich.

7. Schlussfolgerungen

Die verschärften Abgasbestimmungen der EU, Euro 4 und 5, gelten für schwere Nutzfahrzeuge, und zwar ab 2005 bzw. 2008 für neue Fahrzeugtypen und jeweils ein Jahr später für alle Neufahrzeuge. Das Verfahren der selektiven katalytischen Reduktion hat sich in zahlreichen Erprobungen, nicht nur in stationären, sondern auch mobilen Anwendungen – selbst unter extremen klimatischen Verhältnissen - als eine zuverlässige und sichere Methode erwiesen, um diese strengen Grenzwerte einzuhalten.

Die ersten Automobilhersteller werden ab 2005 ihren Kunden schwere LKWs anbieten, die mit dieser Technologie ausgerüstet sind. Die europäischen Harnstoffproduzenten werden das für die SCR-Technologie benötigte AdBlue in ausreichender Qualität und Menge produzieren und haben Übereinkommen mit Vertriebspartnern über den Aufbau eines AdBlue-Distributionsnetzes abgeschlossen.

Zwei Drittel aller schweren LKWs in Deutschland werden, selbst für Fahrten quer durch Europa, ihren AdBlue-Bedarf an den eigenen Tankstellen der Betriebshöfe decken können, sofern die Spediteure die erforderlichen Voraussetzungen für eine AdBlue-Betankung geschaffen haben. Die übrigen Fahrzeuge werden an Autohöfen und öffentlichen Tankstellen versorgt werden.

Inzwischen haben erste Mineralölfirmen damit begonnen, einzelne ihrer Tankstellen mit AdBlue-Zapfvorrichtungen auszurüsten. Andere planen, an ihren Autobahn-Tankstellen AdBlue in 10 l Gebinden anzubieten. Wegen des relativ geringen AdBlue-Verbrauchs von weniger als 2 l/100 km können Fahrzeuge mit einem 100 l AdBlue-Tank Europa hin und zurück durchqueren, ohne diesen Betriebsstoff nachtanken zu müssen. Deshalb muss das Versorgungsnetz für AdBlue auch nicht allzu engmaschig angelegt werden.

Der schrittweisen Ausbreitung des SCR-Verfahrens in allernächster Zukunft steht also nichts im Wege.

8. Literaturverzeichnis

- [1] DGMK-Forschungsbericht 6161-1: AdBlue als Reduktionsmittel für die Absenkung der NO_x-Emissionen aus Nutzfahrzeugen mit Dieselmotor, Hamburg, September 2003
- [2] Richtlinie 1999/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13.06.1999 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
- [3] Selective Catalytic Reduction (Final Report), ACEA, Brüssel, 23.06.2003
- [4] Schema eines kombinierten Abgasbehandlungssystems auf Grundlage des SCR-Verfahrens, Mitteilung Shell Global Solutions GmbH, 2003
- [5] ACEA Statement on the Adoption of SCR Technology to Reduce Emissions Levels of Heavy Duty Vehicles, ACEA, Brüssel, 05.07.2003
- [6] BUA Stoffbericht Nr. 76, Oktober 1991, Gesellschaft Deutscher Chemiker, Verlag Chemie, Weinheim
- [7] DIN V 70070:2003, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, erschienen im Beuth Verlag, Berlin
- [8] CEFIC: Automotive Grade Urea – Quality Assurance Guidance Document, European Chemical Industry Council, Brüssel, 15.07.2004. Jeweils neueste Fassung unter <http://www.petrochemistry.net/Product & sector groups/Automotive grade urea>
- [9] MAK-Liste Ammoniak, Nachtrag von 1986 sowie W. S. Ferguson et al, J. occup. Med. 19, 319 (1977)
- [10] VDI nachrichten vom 06.09.2002
- [11] A. Münch, Brennstoffspiegel, Okt. 2004, S.34
- [12] Pressemitteilung von DaimlerChrysler vom 21.6.2004, Wörth
- [13] Gemeinsame Presseerklärung zu AdBlue: Hersteller von Harnstoff, Nutzfahrzeugen und Mineralölindustrie unter <http://www.BASF.de>

9. Anhänge

- 9.1 CEFIC: Automotive Grade Urea – Richtlinie zur Qualitätssicherung:
<http://www.petrochemistry.net/Product & Sector Groups/Automotive Grade Urea>
- 9.2 Thermische Stabilität von AdBlue bei 70 °C – Untersuchungen der Aral Forschung
- 9.3 AdBlue Analysenergebnisse und Diagramm der Lagerstabilität von AdBlue in der OMV-Tankstelle Dingolfing, Bayern, durchgeführt von AMI Agrolinz Melamine International GmbH
- 9.4 AdBlue Analysenergebnisse der Total Tankstellen in Berlin und Stuttgart, durchgeführt von SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH