

Comparative study on air-purifying concrete products

Eine vergleichende Untersuchung von luftreinigenden Betonprodukten

Autoren



• Motivated by the promising results of the research on photocatalytic materials and their possible use in building materials, numerous products for air purification have been introduced to the European market in recent years. However, a comprehensive scientific description is often limited to the advertised product, and there is a lack of comparative paving block tests carried out under uniform conditions. This article describes such a study.

Dipl.-Ing. Götz Hüsken
Studium Bauingenieurwesen mit der Spezialisierungsrichtung konstruktiver Ingenieurbau an der Bauhaus-Universität Weimar; Diplomarbeit zum Thema des nichtlinearen Tragverhaltens von Holz unter longitudinaler Druckbelastung; seit 2005 Doktorand an der Universität Twente (Enschede, Niederlande).
g.huesken@ctw.utwente.nl



The use of titanium dioxide in concrete products provides an environmental advantage to mass-produced items, such as paving blocks. This article focuses on the products' air-purifying capability, rather than on their self-cleaning properties, as the degradation of nitrogen oxides is considered an unused potential in areas under high traffic loads. In these areas, compliance with future requirements becomes crucial as the entering into force of Council Directive 1999/30/EC [1] will reduce the maximum permissible values for nitrogen dioxide and oxides of nitrogen by 20% from January 2010.

Dipl.-Ing. Martin Hunger
Studium Bauingenieurwesen in der Vertiefungsrichtung Baustoffe und Sanierung an der Bauhaus-Universität Weimar; wissenschaftlicher Assistent am F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde, seit Anfang 2005 als Doktorand an der Universität Twente.
m.hunger@ctw.utwente.nl

Products containing titanium dioxide have been commercially available since the middle of the 1990s. Production of the first paving blocks containing titanium dioxide started in 1997 in Japan [2]. For air-purifying purposes, the European market offers various concrete products for paving applications, which are protected by European patents [3, 4]. Thickness, porosity and surface texture of the functional surface layer are claimed by the patents in different ways, and therefore vary in much the same way as the applied concentration of titanium dioxide in the products. Beyond the use of titanium dioxide in paving blocks to degrade organic and inorganic pollutants, photocatalytic materials are also used in noise barrier walls and cementitious slurries for asphalt sealing [5].

Due to the difference in the claimed techniques and application methods [3, 4], the photocatalytic properties of the available products differ widely, too. These products show varying amounts of titanium dioxide while the patents also protect the application of titanium dioxide blends in the crystal modification of anatase and rutile.

A comparative assessment in terms of the efficiency of different products as well as application techniques has not yet been carried out for the European market. This comparison of various products is extremely difficult as different testing procedures are used by the manufacturers to examine their products. Yet the assessment of photocatalytic products using comparable measurement standards under uniform conditions appears to be of vital importance in order to help prospective buyers with the selection process and to determine basic parameters for modeling the on-site performance of these products under varying environmental conditions.

• Beeinflusst durch die Erfolg versprechenden Forschungsergebnisse an fotokatalytischen Materialien und deren mögliche Anwendung in Baumaterialien, wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Betonprodukte zur Luftreinigung auf den europäischen Markt gebracht. Eine ausführliche wissenschaftliche Beschreibung ist in den meisten Fällen auf das beworbene Produkt beschränkt und vergleichbare Untersuchungen unter einheitlichen Randbedingungen für Pflastersteine sind nicht vorhanden. In diesem Artikel wird eine solche vergleichende Studie vorgestellt.

Die Verwendung von Titandioxid in Betonprodukten führt zu einem ökologischen Vorteil von Massenprodukten wie z. B. Pflastersteinen. In diesem Artikel soll die Aufmerksamkeit eher auf den luftreinigenden Effekt gerichtet werden als auf selbstreinigende Fähigkeiten, da der Abbau von Stickoxiden ein ungenutztes Potenzial für Gebiete mit hohem Verkehrsaufkommen darstellt. In solchen Gebieten ist eine Erfüllung der zukünftigen Grenzwerte als kritisch anzusehen, da durch das Inkrafttreten der europäischen Richtlinie 1999/30/EG eine Reduzierung der jetzigen Grenzwerte um 20% für Stickstoffdioxid und Stickoxide ab Januar 2010 verbunden ist.

Produkte mit Titandioxid sind kommerziell seit Mitte der 1990er-Jahre verfügbar. Die Produktion der ersten Pflastersteine mit Titandioxid begann im Jahre 1997 in Japan [2]. Auf dem europäischen Markt sind zum Zwecke der Luftreinigung verschiedene Betonprodukte als Pflasterbelag erhältlich, die durch europäische Patente geschützt sind [3, 4]. Die Dicke, Porosität sowie die Oberflächenstruktur der funktionellen Decklage ist durch die Patente in unterschiedlicher Art geschützt und variiert daher im selben Maße wie die verwendeten Konzentrationen des Titandioxids in den Produkten. Neben der Verwendung von Titandioxid in Pflastersteinen zum Abbau von organischen und anorganischen Substanzen werden fotokatalytisch aktive Materialien ebenfalls in Schallschutzwänden und Zementmörtelsystemen zur Asphaltbehandlung verwendet [5].

Aufgrund der Unterschiede in den patentierten Techniken und Anwendungsmethoden variieren die fotokatalytischen Eigenschaften der verfügbaren Produkte in einem weiten Bereich. Diese Produkte weisen unterschiedliche Gehalte an Titandioxid auf. Zugleich ist auch die Verwendung von Gemischen aus Titandioxid in der Kristallmodifikation von Anatase und Rutil durch die Patente geschützt.

Eine vergleichende Beurteilung in Bezug auf die Effizienz verschiedener Produkte sowie Anwendungstechniken wurde bislang für den europäischen Markt noch nicht durchgeführt. Eine solche Gegenüberstellung von

In this article, a comparative study on the NO_x degradation on photocatalytically active concrete surfaces is presented. For this purpose, a representative selection of products commercially available on the European market has been considered. In addition, a testing procedure is described, which is recommended as a standard method to assess these types of products. The testing procedure described in this article largely corresponds to the draft version of the TC 206/SC N ISO standard [6].

Description of samples

For the purpose of conducting this comparative study, concrete product suppliers were requested to provide suitable paving block samples. In addition to the tested paving blocks listed in **Table 1**, a cement mortar slurry system which is used for asphalt finishing treatment has been tested in order to extend this survey to other types of air-purifying products.

The D 1, D 2, D 3 and D 5 sample series all represent paving blocks received from different producers. All paving blocks were produced in double-layer technique and subjected to the previous uses indicated in **Table 1**. Samples referred to as D 4 represent a cement mortar slurry which used to fill the open cavities of asphalt surfaces. Due to the mode of application, only a small percentage of the total area can be considered an active surface. The producer of the slurry seal provided thin slabs of hardened slurry showing a smooth top side and a rough texture at the bottom surface.

Measurements

The air-purifying capability of the concrete was evaluated by a controlled degradation of nitric oxide (NO) along the reactive surface of the paving blocks. Therefore, a test setup was developed that was composed of a UV-A source, a reactor cell, an NO_x analyzer and a gas mix and supply unit. Using the latter, a gas flow of $Q = 3 \text{ L/min}$ was conveyed into the reactor cell containing the paving block. The gas was composed of synthetic air containing 1 ppmv of NO. Relative humidity was kept constant at 50%. For illumination purposes, a UV-A source was deployed which generated a uniform irradiance of 10 W/m^2 at the sample surface. The paving block was hermetically sealed in a reactor box, allowing the gas to laminarily flow along the reactive surface through a slit of 3 mm in height and 100 mm in width (see **Fig. 1**). In order to allow the UV-A radiation to pass into the reactor, a cover lid made of borosilicate glass was used. After passing the paving block, the gas was fed into a chemiluminescent NO_x analyzer where the quantities of NO, NO₂ and NO_x were determined. A more detailed description of the setup is provided in [7].

Data analysis

Using the above-mentioned measurement method, all samples listed in **Table 1** have been measured, and the degradation of NO has determined for all series of tests. The further assessment of measurement data was conducted as a three-stage analysis. For this purpose, the course of nitric oxide degradation was assessed for a number of five-minute intervals uniformly distributed across the total measurement period. **Fig. 2** graphically illustrates this procedure used for the degradation of NO at an arbitrarily chosen sample. The degradation rate [%] in the assessed time range was calculated by means of the ratio between actual conversion at a particular point in

Sample denomination Bezeichnung	No. of samples Anzahl	Type of sample Art der Probe	Description Beschreibung
D 1_1, D 1_2	2	Paving block Pflasterstein	Taken from uncovered outside storage Bewitterte Außenlagerung
D 2_1, D 2_2	2	Paving block Pflasterstein	Taken from outside testing area Entnommene Proben einer Testfläche
D 3_1 – D 3_3	3	Paving block Pflasterstein	Samples taken from production Proben aus dem Fertigungsprozess
D 4_1 – D 4_3	3	Asphalt slurry seal Zementmörtel	Thin slabs of cast slurry seal Dünne Platten des gegossenen Zementmörtels
D 5_1	1	Paving block Pflasterstein	Samples taken from production Proben aus dem Fertigungsprozess

Table 1 Denomination and description of tested paving block samples.

Tabelle 1 Bezeichnung und Beschreibung der untersuchten Pflastersteinproben.

verschiedenen Produkten ist äußerst schwierig, da unterschiedliche Testverfahren von den jeweiligen Herstellern verwendet werden, um ihre Produkte zu überprüfen. Jedoch ist die Beurteilung von fotokatalytischen Produkten unter Berücksichtigung einheitlicher Randbedingungen von großer Bedeutung, da so dem potenziellen Kunden bei dessen Auswahl geholfen werden kann und durch die Bestimmung grundlegender Produktparameter die Modellierung des örtlichen Verhaltens dieser Produkte unter veränderlichen Umweltbedingungen ermöglicht werden kann.

Nachfolgend wird eine vergleichende Studie zum Abbau von Stickoxiden an fotokatalytisch aktiven Betonoberflächen präsentiert. Hierfür wurde eine repräsentative Auswahl an verfügbaren Produkten des europäischen Marktes berücksichtigt. Des Weiteren wird ein Testverfahren beschrieben, welches zur Beurteilung solcher Produkte als Standard empfohlen wird. Das vorgestellte Testverfahren orientiert sich am Entwurf des ISO-Standards TC 206/SC N [6].

Beschreibung der Probekörper

Für die Durchführung der Vergleichsstudie wurden geeignete Pflastersteine bei Lieferanten für Betonprodukte angefragt. Zusätzlich zu den untersuchten Pflastersteinen der **Tabelle 1** wurde ein Zementmörtelsystem zur Asphaltbehandlung in die Untersuchung mit einbezogen, um den Rahmen dieser Studie auf andere Produkte zur Luftreinigung zu erweitern.

Die Probekörper der Serie D 1, D 2, D 3 und D 5 repräsentieren Pflastersteine von verschiedenen Produzenten. Alle Pflastersteine wurden zweischichtig mit funktioneller Vorsatzschicht hergestellt und weisen die in **Tabelle 1** gegebene Vorgeschichte auf. Proben mit der Bezeichnung D 4 entsprechen einem Zementmörtelsystem zum Füllen der oberflächennahen Hohlräume von Asphaltflächen. Aufgrund der Anwendungsweise kann daher nur ein geringer Prozentsatz der Gesamtfläche als aktive Oberfläche betrachtet werden. Der Hersteller des Zementmörtelsystems stellte dünne Platten der erhärteten Suspension zur Verfügung. Diese Proben verfügen über eine glatte Oberseite und eine raue Unterseite.

Messungen

Die Bewertung des luftreinigenden Potenzials erfolgte durch einen kontrollierten Abbau von Stickstoffmonoxid entlang der reaktiven Oberfläche des Pflastersteins. Zu diesem Zweck wurde ein Versuchsaufbau entworfen, be-



Prof. dr. ir. Jos Brouwers
Studium Maschinenbau an der Technischen Universität Eindhoven (Niederlande);
Masterarbeit zu nichtlinearen dynamischen Vorgängen;
ab 1986 arbeitete er an der Entwicklung von Kunststoffprodukten und deren Produktionsprozessen für das Forschungszentrum von Akzo Nobel in Arnheim;
1990 Promotion zum Thema des Wärme- und Stoffaustauschs in Kunststoffwärmetauschern und Kunststoffkondensatoren; seit 1992 an der Universität Twente in den Interessensfeldern nachhaltiges Bauen und Baustoffe tätig.
h.j.h.brouwers@ctw.utwente.nl

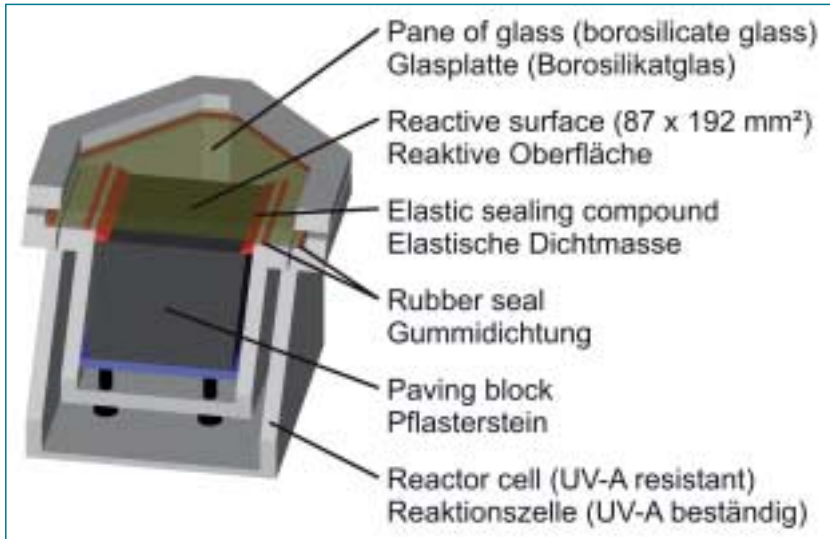


Fig. 1 Schematic diagram of the reactor cell.

Abb. 1 Schematische Darstellung der Reaktionszelle.

time (Con_{beg} , Con_{avg} , Con_{end}) and the total possible degradation of NO (Con_{tot}), as follows:

$$Deg_{beg} = \frac{Con_{beg}}{Con_{tot}} \cdot 100 \quad (\text{Equation 1})$$

whereby the actual conversion is determined by integrating the associated graph within the time limits by using the trapezoidal rule:

$$Con_{beg} = \sum_{i=1}^n \frac{t_{i+1} - t_i}{2} (v_i + v_{i+1}) \quad \forall t_i \in [t_{beg}, t_{beg} + 5 \text{ min}] \quad (\text{Equation 2})$$

This approach is sufficiently precise, given that the time interval $[t_i, t_{i+1}]$ amounts to five seconds. Here, the first time interval for the beginning of conversion (Con_{beg}) started when the sample placed in the reactor was first exposed to UV-A radiation, and lasted five minutes. This way, the slope of conversion up to the maximum degradation rate is taken into account, and thus determines the first numerical value. The second time frame (Con_{avg}) represents the conversion after half of the total time of UV-A exposure. This five-minute period includes the chronometric mid-point of the measurement. For the last time interval (Con_{end}), the last five minutes prior to switching off the UV-A source were considered. The delayed decrease of the degradation process after reaching the obvious inflection point is explained by the inertia of the system as a whole. As a matter of principle, no further conversion can take place after removing the UV-A source. Already formed hydroxyl radicals can still trigger an oxidation of NO_x but only until they are consumed. For this reason, the degradation of NO without UV-A exposure is not assessed.

Discussion

In general, it can be observed that the degradation of NO starts immediately after exposing the system to UV-A radiation. The maximum degradation rate depends on boundary conditions such as relative humidity and irradiance, as well as on other characteristics of the respective sample, e. g. surface texture and TiO₂ content. After having achieved the maximum degradation rate at the begin-

stehend aus einer UV-A-Lichtquelle, einer Reaktionszelle, einer NO_x Analyseeinheit sowie einer Vorrichtung zum Mischen und Bereitstellen des Gases. Ein Volumenstrom von $Q = 3 \text{ l/min}$ wurde in die Reaktionszelle eingeleitet. Das Testgas bestand aus synthetischer Luft mit einer Konzentration von 1 ppmv NO. Die relative Luftfeuchtigkeit wurde konstant bei 50 % gehalten. Die Bestrahlung der Probe erfolgte mit einer UV-A-Lichtquelle, die eine gleichmäßige Bestrahlungsstärke von 10 W/m^2 auf der Probenoberfläche erzeugte. Der Pflasterstein wurde in der Reaktionszelle luftdicht eingesetzt, sodass sich eine laminare Strömung nur entlang der aktiven Probenoberfläche in einem Spalt von 3 mm Höhe und 100 mm Breite ausbilden kann (siehe Abb. 1). Eine Glasscheibe aus Borosilikatglas wird verwendet, um einen ungehinderten Durchgang der UV-A-Strahlung in die Reaktionszelle zu ermöglichen. Nach dem Lichteinfall durch die Reaktionszelle wird das Gas durch einen Chemilumineszenz-Stickoxidanalysator geleitet, um die Konzentration von NO, NO₂ und NO_x zu bestimmen. Eine detailliertere Beschreibung des Versuchsaufbaus kann [7] entnommen werden.

Datenauswertung

Die in Tabelle 1 aufgeführten Proben wurden mit der zuvor erläuterten Versuchsdurchführung getestet und der Abbau von NO wurde für alle Testserien bestimmt. Die weitere Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgte in drei Stufen. Zu diesem Zweck wurde der Verlauf des Stickstoffmonoxidabbaus in Zeitabschnitten zu je fünf Minuten Dauer untersucht, die gleichmäßig über den Messzeitraum verteilt sind. Abb. 2 veranschaulicht schematisch dieses Vorgehen für den Abbau von NO an einer beliebigen Probe. Die Abbaurate [%] im bewerteten Zeitabschnitt errechnet sich aus dem Verhältnis von momentanem Umsatz am spezifischen Zeitpunkt (Con_{beg} , Con_{avg} , Con_{end}) zum größtmöglichen Abbau (Con_{tot}) von NO entsprechend:

$$Deg_{beg} = \frac{Con_{beg}}{Con_{tot}} \cdot 100 \quad (\text{Gleichung 1})$$

worin sich der momentane Umsatz aus der Integration des zugehörigen Graphen in den zeitlichen Grenzen durch Verwendung der Trapezregel:

$$Con_{beg} = \sum_{i=1}^n \frac{t_{i+1} - t_i}{2} (v_i + v_{i+1}) \quad \forall t_i \in [t_{beg}, t_{beg} + 5 \text{ min}] \quad (\text{Gleichung 2})$$

ergibt. Dieser Ansatz ist hinreichend genau, unter Berücksichtigung der Dauer des Zeitintervalls $[t_i, t_{i+1}]$ von fünf Sekunden. Das erste Zeitintervall zu Reaktionsbeginn (Con_{beg}) wird durch den Bestrahlungsbeginn und eine anschließende Zeitspanne von fünf Minuten festgelegt. Auf diese Weise lässt sich der Verlauf des Abbaus bis zum Erreichen der maximalen Abbaurate charakterisieren und der erste numerische Wert wird dadurch festgelegt. Das zweite Zeitfenster (Con_{avg}) ergibt sich aus der Hälfte der UV-A-Belichtungszeit. Dieses fünfminütige Intervall beinhaltet den zeitlichen Mittelpunkt der Messung. Für das letzte Zeitintervall (Con_{end}) werden die letzten fünf Minuten vor dem Ausschalten der Lichtquelle betrachtet. Die verzögerte Abnahme des Abbauprozesses nach Erreichen des offensichtlichen Wendepunktes ist durch die Trägheit des Systems gegeben. Grundsätzlich kann es zu keiner weiteren Stoffumwandlung nach dem Entfernen der Lichtquelle kommen. Bereits gebildete Hy-

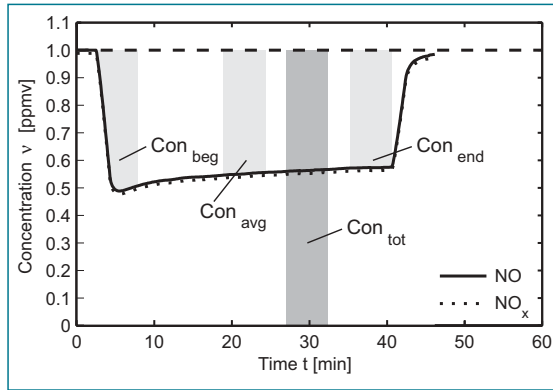


Fig. 2 Explanation of the analysis approach for the description of the course of conversion.

Abb. 2 Erläuterung zur Auswertung der Versuchsergebnisse.

ning of the measurement, the process will slightly slow down and approach a constant limiting value for the remainder of the measurement period. Finally, after switching off the UV-A source, the conversion process stops, and the initial gas concentration is obtained again.

The analysis of the measurement data showed that a wide range of degradation rates could be obtained for the paving stones assessed. In Fig. 3, the degradation of NO is given for every sample series. This graph shows the mean degradation rates of all measured samples forming part of one series (see Table 2). Samples of the D 2 series achieved by far the highest degradation rates and thus provided the highest air purification capability demonstrated in this test. With markedly lower degradation rates, the D 1 series followed in this sequence. Finally, the D 3 and D 5 series only achieved low conversion rates. For these products, it appears questionable if the significantly increased production cost and higher market prices can be justified by the minor degradation rates shown.

As mentioned earlier, a correlation was found between the progress of the beginning conversion, the maximum degradation rate and the decline of conversion during the measurement. For all samples with high maximum conversion rates, it was shown that the maximum conversion rate was reached quickly while a more significant decline from maximum conversion to a constant value was also documented. However, the decline of the maximum degradation rate to a constant conversion level was found in all cases. This effect could be explained by an initial saturation of the reactive surface by end products and particularly by intermediate products such as nitrogen dioxide.

Sample Probe	Degradation rate [%] Abbaurrate [%]			Sample Probe	Degradation rate [%] Abbaurrate [%]		
	Deg _{beg}	Deg _{avg}	Deg _{end}		Deg _{beg}	Deg _{avg}	Deg _{end}
D 1_1	14.2	15.9	15.9	D 3_3	5.2	6.6	6.7
D 1_2	7.0	8.3	8.2	D 4_1 (coarse) (grob)	31.0	34.0	32.2
D 2_1	41.1	44.6	42.4	D 4_1 (fine/fein)	2.1	2.8	2.7
D 2_2	37.6	41.3	38.7	D 4_2 (coarse) (grob)	32.4	33.5	30.9
D 3_1	5.0	6.6	6.6	D 4_3 (coarse) (grob)	32.3	37.7	36.4
D 3_2	5.2	6.6	6.5	D 5_8	2.5	4.0	4.1

Table 2 Degradation rates for tested samples.

Tabelle 2 Abbauraten der untersuchten Proben.

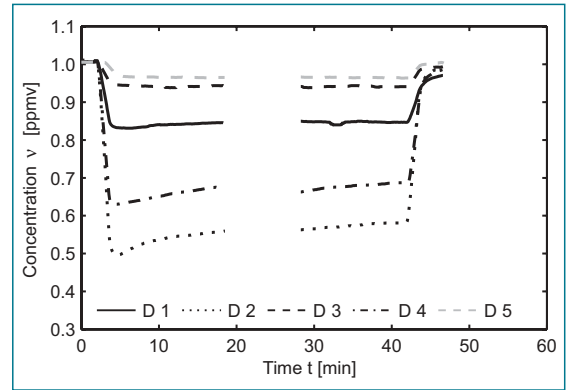


Fig. 3 Degradation of nitric oxide (NO) over time.

Abb. 3 Zeitlicher Verlauf des Abbaus von Stickstoffmonoxid (NO).

droxylradikale können aber noch NO_x oxidieren, jedoch nur so lange, bis sie verbraucht wurden. Aus diesem Grund wird der Abbau von NO ohne UV-A-Bestrahlung nicht betrachtet.

Diskussion

Im Allgemeinen kann ein sofortiger Abbau von NO nach dem Einschalten der UV-A-Quelle festgestellt werden. Weiterhin sind maximale Umsatzraten abhängig von Randbedingungen wie relativer Luftfeuchtigkeit, Strahlungsintensität sowie andere die Probe betreffende Eigenschaften (Oberflächencharakteristik und Titandioxidgehalt). Nachdem zu Beginn der Messung eine maximale Abbaurrate erreicht wurde, nimmt diese leicht ab und nähert sich während des verbleibenden Messzeitraumes einem konstanten Grenzwert an. Nach dem Ausschalten der UV-A Bestrahlung stoppt der Umwandlungsprozess und die Eingangsgaskonzentration wird wieder erreicht.

Die Analyse der Messergebnisse ergibt ein weites Spektrum an Umsatzraten für die untersuchten Pflastersteinprodukte. In Abb. 3 ist der Abbau von NO für alle Testserien anhand der gemittelten Abbauraten aller Proben einer Serie dargestellt (vgl. Tabelle 2). Die Proben der Serie D 2 erreichen dabei die mit Abstand höchsten Umsatzraten und weisen somit die besten Luftreinigungseigenschaften auf. Mit deutlich niedrigeren Raten folgen die Proben der Serie D 1. Letztlich folgen die Serien D 3 und D 5 mit allgemein nur geringen Umwandlungsraten. Für diese Produkte scheint es fragwürdig, ob deutlich erhöhte Produktionskosten sowie höhere Marktpreise mit den nur geringen nachgewiesenen Abbauraten gerechtfertigt werden können.

Wie zuvor bereits erwähnt, wurde ein Zusammenhang zwischen der anfänglichen Umsatzgeschwindigkeit, der maximalen Abbaurrate und dem Abfall der Umsatzrate während der Messung gefunden. Bei allen Proben mit hohen maximalen Umsatzraten wurden ein schnelles Erreichen der maximalen Umsatzrate sowie ein deutlicher Abfall vom maximalen Stoffumsatz auf einen konstanten Wert festgestellt. Ein Abfall der maximalen Abbaurrate zu einer konstanten Stoffumwandlung wurde dabei in allen Fällen gefunden. Diese Erscheinung könnte mit einer anfänglichen Sättigung der reaktiven Oberfläche durch Reaktionsendprodukte sowie auch durch Zwischenprodukte wie Stickstoffdioxid erklärt werden.

Obwohl die Messwerte der Serie D 4 die zweithöchsten Umsatzraten aufweisen, nehmen die dazugehörigen

Although the D 4 series showed the second highest conversion rates, the tested slurry seal samples have a special status within this analysis. In this case, it must be considered that, for later application of this slurry seal, the actual active surface will be reduced by the percentage of the asphalt matrix. Series D 4 represents the only sample which does not correspond to the surface in its final application. For the purpose of a direct comparison, a sample of cut asphalt containing the slurry seal and having been in service for a sufficiently long period would have been required.

Earlier in this article, it was explained that samples of the D 4 series, i.e. the asphalt slurry seal, have been tested on their rough bottom sides since this more accurately represented their actual use. In order to verify this assumption and to investigate the influence of the surface structure on the degradation rate, these samples have been additionally tested on their smooth top sides. In contrast to the bottom, almost no conversion effects were seen on the smooth top side. This difference can be explained by the smaller total specific surface area on the smooth side and by the possibility of surface laitance occurring on the side, which would also cover the active surface of the titanium dioxide particles and therefore block them from being involved in NO conversion.

Conclusion

In summary, the European market provides a great variety of products with air-purifying capabilities. However, their

Proben eine Sonderstellung innerhalb dieser Untersuchung ein. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass der reaktive Zementmörtel bei seiner späteren Anwendung im Asphalt nur einen Anteil der Gesamtfläche (entsprechend der oberflächlichen Porosität) ausmacht. Die Proben der Serie D 4 stellen daher die einzigen Testflächen dar, die nicht der späteren Einbausituation entsprechen. Für einen direkten Vergleich wäre deshalb eine ausgebautete Probe des behandelten Asphalts notwendig, der für hinreichend lange Zeit einer Nutzung unterlag.

Die Proben der Serie D 4 wurden, wie vorab beschrieben mit der rauen Unterseite getestet, da dies eher der Nutzungssituation entsprach. Um diese Annahme zu überprüfen, wurde anhand dieser Proben der Einfluss der Oberflächentextur auf die gemessenen Umsatzraten untersucht, indem auch die glatte Oberseite gemessen wurde. Im Gegensatz zur rauen Rückseite, konnten auf der glatten Vorderseite nur sehr geringe Umsätze gemessen werden. Dieser Unterschied kann durch eine geringere Oberfläche der glatten Seite und das Vorhandensein eines Zementschleiers auf der Seite erklärt werden. Dieser Zementschleier würde auch die aktive Oberfläche der Titandioxidpartikel bedecken und diese somit nicht an der Umsetzung von NO teilnehmen lassen.

Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der europäische Markt eine Vielzahl von Produkten mit luftreinigenden Eigenschaften anbietet, deren Effizienz im

efficiency with respect to NO_x degradation was found to vary considerably. While there are products achieving mean degradation rates of about 40% under the optimum laboratory conditions described above, other products show almost no or only an insignificant effect.

For this reason, the assessment of such concrete products for intended construction projects appears useful as already minor differences in nitric oxide degradation have a significant impact on the theoretical total area conversion on large paved surfaces. With respect to the various measurement impacts and different testing procedures, it is suggested to agree on a common testing standard, for example the approach outlined in this article [6].

A detailed explanation of the factors having an influence on test results would exceed the scope of this article. However, only minor variations of UV-A irradiance, gas flow velocity, relative humidity or pollutant concentration may lead to a considerable change in measuring results, and therefore make it impossible to establish a comparison [2, 7, 8].

In this respect, the surface structure was also found to have a major influence. In addition, more fundamental research on the influencing factors is necessary to reliably model the degradation processes. In this context long-term experiments to evaluate the duration and sustainability of the nitric oxide degradation process are of particular interest.

The findings presented in this article will thus be used as a basis for ongoing measurements, which is why the samples have now been exposed to outdoor weathering. Also, any existing correlations between laboratory results and field experiments should be analyzed. To this end, a reaction model is currently being developed in order to interpret the specific reaction parameters.

Götz Hüsken, Martin Hunger, Jos Brouwers

Acknowledgment

The authors wish to express their sincere thanks to the European Commission (I-Stone Project, Proposal No. 515762-2) and the following sponsors of the research group: Bouwdienst Rijkswaterstaat, Rokramix, Betoncentrale Twenthe, Betonmortelcentrale Flevoland, Graniet-Import Benelux, Kijlstra Beton, Struyk Verwo Groep, Hülskens, Insulinde, Dusseldorp Groep, Eerland Recycling, Enci, Provincie Overijssel, Rijkswaterstaat Directie Zeeland, A&G Maasvlakte (chronological order of joining).

Danksagung

Die Autoren danken der Europäischen Kommission (I-Stone Projekt, Projekt-Nr. 515762-2) und den nachfolgenden Firmen der Sponsorengruppe für die Unterstützung der Forschungsarbeiten. Bouwdienst Rijkswaterstaat, Rokramix, Betoncentrale Twenthe, Betonmortelcentrale Flevoland, Graniet-Import Benelux, Kijlstra Beton, Struyk Verwo Groep, Hülskens, Insulinde, Dusseldorp Groep, Eerland Recycling, Enci, Provincie Overijssel, Rijkswaterstaat Directie Zeeland, A&G Maasvlakte (chronologische Reihenfolge des Beitritts).

Hinblick auf den Abbau von Stickoxiden jedoch sehr unterschiedlich ist. Während einige Produkte unter oben erwähnten Laborbedingungen mittlere Umsatzraten von 40 % erreichen, gibt es Betonwaren, die nur sehr geringe oder gar keine nennenswerten Umsätze erzielen.

Daher erscheint eine Beurteilung derartiger Betonprodukte im Vorfeld einer Baumaßnahme sinnvoll, da bereits kleine Unterschiede im Stickoxidabbau bei großen Pflasterflächen deutlichen Einfluss auf den theoretischen Umsatz der Gesamtfläche haben. Mit Hinblick auf die unterschiedlichen Messeinflüsse und unterschiedlichen Messverfahren wird vorgeschlagen, einen einheitlichen Teststandard, wie etwa den hier vorgestellten zu definieren [6].

Eine detaillierte Erläuterung der Einflüsse auf die Messung ist nicht Ziel dieses Artikels. Es sei jedoch erwähnt, dass bereits geringe Veränderungen der UV-A-Strahlungsintensität, der Durchflussrate, der relativen Feuchtigkeit sowie der Schadstoffeingangskonzentration das Messergebnis nachhaltig beeinflussen können und somit eine Vergleichbarkeit unmöglich machen [2, 7, 8].

Die Oberflächenstruktur wurde in diesem Zusammenhang ebenso als maßgeblicher Einflussfaktor identifiziert. Darüber hinaus ist weitere elementare Forschung über die die Messung beeinflussenden Faktoren notwendig, um eine zuverlässige Modellierung der Abbauprozesse vornehmen zu können. Hierbei ist im Speziellen die Durchführung von Langzeitexperimenten von Interesse, um Aussagen über die Dauerhaftigkeit des Stickoxid abbauenden Prozesses treffen zu können.

Die vorliegenden Messwerte werden zu einem späteren Zeitpunkt als Basis für weiterführende Messungen genutzt, daher wurden die getesteten Proben der freien Bewitterung ausgesetzt. Ebenso sollen auch Zusammenhänge zwischen Labormessungen und Feldexperimenten analysiert werden. In diesem Zusammenhang wird derzeit an einem Reaktionsmodell geforscht, um die spezifischen Reaktionsparameter zu interpretieren.

References/Literatur

- [1] The Council of the European Union: Council Directive 1999/30/EC (1999) – relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air, 1999
- [2] Beeldens, A.: Environmental Friendly Concrete Pavement Blocks: Air Purification in the Centre of Antwerp. Proceedings of 10th International Symposium on Concrete Roads, Brussels, 2006
- [3] Murata, Y.; Tawara, H.; Obata, H.; Murata, K.: NO_x-cleaning paving block. EP-patent 0786283 A1, Mitsubishi Materials Corporation, Japan, 1997
- [4] Cassar, L.; Cucitore, R.; Pepe, C.: Cement-based paving blocks for photocatalytic paving for the abatement of urban pollutants. EP-patent 1601626, Italcementi S.p.A., Italy, 2005
- [5] Cassar, L.; Beeldens, A.; Pimpinelli, N.; Guerrini, G. L.: Photocatalysis of cementitious materials. Proceedings of the International RILEM Symposium on Photocatalysis, Environment and Construction Materials, Florence, Italy, October, 2007
- [6] ISO TC 206/SC N: Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) ÷ Test method for air purification performance of photocatalytic materials ÷ Part 1: Removal of nitric oxide. draft version, 2004
- [7] Hüsken, G.; Hunger, M.; Brouwers, H. J. H.: Comparative study on cementitious products containing titanium dioxide as photocatalyst. Proceedings of the International RILEM Symposium on Photocatalysis, Environment and Construction Materials, Florence, Italy, October, 2007
- [8] Beeldens, A.: An environmental friendly solution for air purification and self-cleaning effect: the application of TiO₂ as photocatalyst in concrete. Proceedings of Transport Research Arena Europe – TRA, Göteborg, Sweden, June, 2006