

Sonderdruck



Steigerung der Effektivität und Verbesserung der Messtechnik

## PureBau – Hocheffiziente Baumaterialien zum photokatalytischen Stickstoffoxidabbau

Horst Purwin, Michael Köther, Rainer Hövel, Leverkusen, Sandra Weigel, Berlin, Michael Bruse, Essen, Roland Herzog, Thomas Koch und Norbert Bendzko, Leverkusen

## Steigerung der Effektivität und Verbesserung der Messtechnik

# PureBau – Hocheffiziente Baumaterialien zum photokatalytischen Stickstoffoxidabbau

Horst Purwin, Michael Köther, Rainer Hövel, Leverkusen, Sandra Weigel, Berlin, Michael Bruse, Essen, Roland Herzog, Thomas Koch und Norbert Bendzko, Leverkusen

### 1 Motivation und Ziele des Projekts

Die zunehmende Luftverschmutzung ist ein weltweites Problem in urbanen Ballungsräumen, da dort die festgelegten Emissionsgrenzwerte für Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ) häufig überschritten werden. Die Ursachen dieser Verschmutzung sind zu rd. 30 % dem Fahrzeugverkehr, zu rd. 30 % den Haushalten und zu rd. 40 % der Industrie und Energiegewinnung zuzuschreiben, da in allen drei Bereichen zum großen Teil fossile Brennstoffe verwendet werden.

Zur Vermeidung der durch die Brennstoffe bedingten Luftverschmutzung ist langfristig ein vollständiger Wechsel zu alternativen Energieträgern wie Wasserstoff, Solarenergie oder Windkraft erforderlich. Für eine kurzfristige Verbesserung kommen derzeit verschiedene, zum Teil stark kontrovers diskutierte Maßnahmen zum Einsatz wie beispielsweise Geschwindigkeitsreduzierungen oder Fahrverbote in Städten, mit denen eine maximale Reduzierung der Stickstoffoxidbelastung von im Mittel 6 % möglich sind.

Ein alternativer, wesentlich attraktiverer Lösungsansatz bildet demgegenüber die Luftreinigung mit photokatalytischen Baumaterialien. Diese Materialien enthalten einen Photokatalysator wie z.B. Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ), der ähnlich wie Solarzellen infolge von UV-Strahlung Photoelektronen produziert. Diese Anregung führt u.a. zu einer Radikalbildung der an der Oberfläche des  $\text{TiO}_2$  absorbierten Moleküle, zu denen beispielsweise Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) und Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) zählen. Diese Radikale sind wiederum in der Lage, z.B. Stickstoffoxide in Nitrate umzuwandeln.

Die Photokatalyse bietet somit eine vielversprechende Teillösung für das weltweit in den Ballungsräumen verbreitete Problem der Luftverschmutzung, wobei diese neben der Reduzierung der Stickstoffoxide auch zu einer Verringerung der Konzentration verschiedener gasförmig vorkommender organischer Moleküle bei-

trägt. Basierend auf dieser Aussicht wurde das Projekt PureBau – Untersuchung von Werkstoffsystemen für photokatalytisch hocheffiziente Baustoffe ins Leben gerufen. Das Ziel dieses Projekts war die Steigerung der Effektivität und Effizienz verschiedener bisher auf dem Markt erhältlicher, photokatalytischer Baumaterialien in Form von Zementen, Betonpflastersteinen, Fassadenfarben und auch Dachziegeln für die praktische Anwendung. Um dies zu erreichen, wurden Zusammenhänge zwischen dem photokatalytischen Stickstoffoxidabbau und der Zusammensetzung der Baumaterialien sowie Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Bestandteilen gesucht, um das Verständnis für die ablaufenden Prozesse zu verbessern und die Funktion der Baumaterialien zu optimieren.

Darüber hinaus sollte basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen ein robustes Handmesssystem erarbeitet werden, um die photokatalytische Aktivität einer Werkstoffoberfläche sowohl im Labor als auch im Feld eindeutig und vergleichbar bestimmen zu können.

### 2 Konzept und Ergebnisse des Projekts PureBau

Basierend auf den Zielen ergaben sich für das Projekt drei Schwerpunkte, die das Auffinden von Einflussfaktoren auf den Stickstoffoxidabbau, die Anpassung der Baumaterialien und die Entwicklung eines geeigneten Messsystems umfassten. Die Bearbeitung dieser Schwerpunkte erfolgte durch ein interdisziplinäres Konsortium, das sich

aus den Industriepartnern Kronos International, Inc. (Konsortialführer), F.C. Nüdling Betonelemente GmbH & Co. KG, Dyckerhoff GmbH, Erlus AG, Keimfarben GmbH, Omnicron-Lasersage Laserprodukte GmbH, der privaten Forschungseinrichtung kiwa GmbH, dem Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik sowie den Hochschulen Leibniz Universität Hannover (Institut für Technische Chemie), Technische Universität Berlin (Institut für Bauingenieurwesen) und Technische Universität Braunschweig (Institut für Hochfrequenztechnik) zusammensetzte. Die im Rahmen des Projekts gewonnenen Erkenntnisse sind im Folgenden zusammengefasst.

#### 2.1 Einflussfaktoren auf den photokatalytischen Stickstoffoxidabbau in Baumaterialien

Einen erheblichen Einfluss auf die erreichbare photokatalytische Abbaurate weist die Darreichungsform und die Art des Photokatalysators auf, sodass diese auf das jeweilige Baumaterial abzustimmen sind. Hinsichtlich des Zements bzw. Betons konnte weiterhin eine Steigerung des Abbaus durch die Verwendung kleiner Korngrößen sowie von optimierten Korngrößenzusammensetzungen festgestellt werden, während zudem der Zugabezeitpunkt des Photokatalysators sowie die angesetzte Mischenergie entscheidend sind. Einen negativen Einfluss auf den photokatalytischen Schadstoffabbau an Betonoberflächen hat hingegen die Carbonatisierung. Unabhängig ist der photokatalytische Abbau bei Betonen und Zementen nach den gewonnenen Ergebnissen von der Zugabe verschiedener Zusatzmittel wie Fließmittel, Verzögerer, Beschleuniger oder Luftporenbildner.

#### 2.2 Steigerung der photokatalytischen Abbaurate verschiedener Baumaterialien

Basierend auf den festgestellten Zusammenhängen erfolgte die Entwicklung neuer Photokatalysatoren sowie eine Optimierung der Zusammensetzung und Herstellungsverfahren der verschiedenen Baumaterialien. Auf diese Weise konnte eine erhebliche Steigerung der Effektivität aller betrachteter Baumaterialien erreicht werden, was in Bild 1 grafisch gezeigt ist. Mithilfe der im PureBau-Projekt gewonnenen Erkenntnisse wurde entsprechend diesem Bild eine

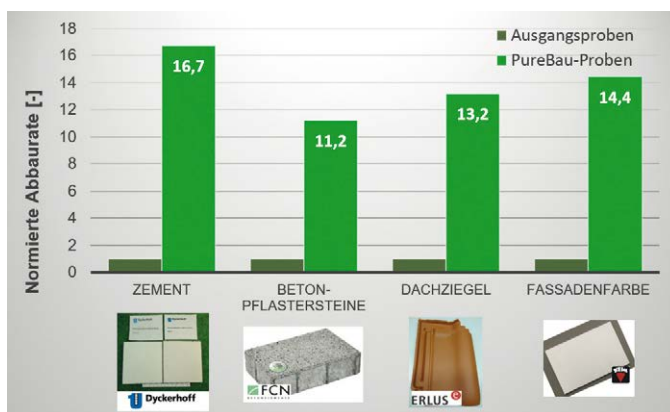
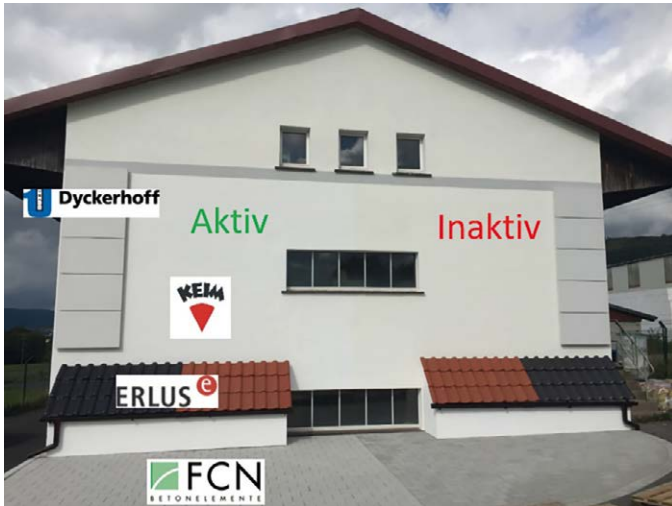


Bild 1: Steigerung der photokatalytischen Abbauraten für verschiedene Baumaterialien



**Bild 2: PureBau-Freilanddemonstrator auf dem Gelände des Partners F.C. Nüdling in Seiferts**

deutliche Leistungssteigerung des photokatalytischen Abbaus um Faktoren von 11,2 bis zu 16,7 für die aus dem erarbeiteten Zement hergestellten Betonelemente, die Betonpflastersteine, die Fassadenfarbe und die Dachziegel erreicht.

Mit den im Rahmen des PureBau-Projekts erarbeiteten, hochaktiven Baumaterialien wurde auf dem Gelände des Partners F.C. Nüdling in Seiferts ein Freilanddemonstrator erstellt, der in Bild 2 dargestellt ist. In diesem Freilanddemonstrator sind die erarbeiteten Materialien den Witterungseinflüssen unmittelbar ausgesetzt, sodass durch eine regelmäßige Untersuchung und Bewertung der Baumaterialien der Einfluss der Witterung auf die Dauerhaftigkeit und das Langzeitverhalten des photokatalytischen Stickstoffoxidabbaus abgeleitet werden kann.

### 2.3 Messtechnik

Zusätzlich zu der erfolgreichen Anpassung der verschiedenen Baumaterialien wurde im Rahmen des Projekts PureBau ein Handmessgerät zur Bestimmung der photokata-

lytischen Aktivität verschiedener Materialien entwickelt. Dieses Handmessgerät umfasst neben einer vollautomatischen Messeinheit einen Folienträger mit einem speziell entwickelten Farbstoff, der durch eine chemische Reaktion mit den photokatalytischen Radikalen der Baustoffoberfläche abgebaut wird. Als Maß für die photokatalytische Aktivität wird der Farbstoffabbau pro Zeit gemessen. Dieses Messgerät wurde innerhalb des Projekts

nahezu bis zur Produktreife entwickelt, wobei derzeit noch ein zuverlässiger Hersteller für die Folien gefunden werden muss.

Neben dem Handmessgerät wurde im Rahmen des Projekts zudem ein Labormessgerät zur ortsaufgelösten Bestimmung der photokatalytischen Aktivität einer Baustoffoberfläche erarbeitet. Bei der erfolgreichen Messung wird eine modifizierte, photokatalytisch abbaubare Farbe auf die Oberfläche des Materials gedruckt, mit einer UV-Einheit bestrahlt und die aufgelöste Abbauintensität anschließend über ein Bildaufnahmesystem und eine entsprechende Messsoftware wiedergegeben.

### 3 Bedeutung für die Praxis

Durch die hohe Abbaurate und die verschiedenen Anwendungsgebiete bieten die im Rahmen des Projekts PureBau angepassten Baumaterialien eine vielversprechende Möglichkeit zur Reduzierung der Luftschadstoffe in unseren Städten. Durch die hocheffizienten Materialien ist bei einem flächigen Einsatz mit einer merklichen Reduzierung der Stickstoffoxide zu rechnen. Zur Veran-

schaulichung der erreichbaren Abbauraten erfolgte im Nachgang an das Projekt eine photokatalytische Simulationsrechnung, in der beispielhafte Straßenzüge und die darin erfolgende Stickstoffoxidentwicklung mit und ohne photokatalytische Materialien an den Bauwerken und Verkehrswegen modelliert wurde. Für diese Modellierung wurde ein Gebiet mit mehreren Straßenzügen betrachtet, das in Bild 3 gezeigt ist.

Im Rahmen dieser Modellrechnung wurden sowohl an den Hauswänden als auch auf den Fahrbahnoberflächen der Hauptverkehrsstraßen photokatalytische Baumaterialien angesetzt. Die die Fahrzeuge repräsentierenden Stickstoffoxidquellen (NO und NO<sub>2</sub>) wurden entlang der Straßen verteilt. Den Ausgangspunkt für die Berechnung bildet ein Sommertag mit schwachen Winden um 8 Uhr morgens und die in unter diesen Bedingungen anfallenden Stickstoffoxidkonzentrationen. Entsprechend den Ergebnissen in Bild 3 ist durch die Herstellung photokatalytisch aktiver Oberflächen an den Fassaden und den Fahrbahnoberflächen eine erhebliche Reduktion der Stickstoffoxide möglich, die sich auch positiv auf die angrenzenden, nicht unmittelbar an den photokatalytisch aktiven Hauptverkehrsstraßen liegenden Stadtviertel auswirkt. An einem windstillen und somit sehr stark mit Stickstoffoxiden belasteten Sommertag könnte durch die Schaffung photokatalytischer Oberflächen ein mittlerer NO<sub>2</sub>-Abbau von bis zu 20 % erreicht werden. Bezogen auf das Jahresmittel ist anhand der durchgeführten Modellrechnungen eine Reduzierung von bis zu 8 % möglich, sodass die photokatalytische Luftreinigung sogar die Effizienz von z.B. Fahrverboten übersteigt.

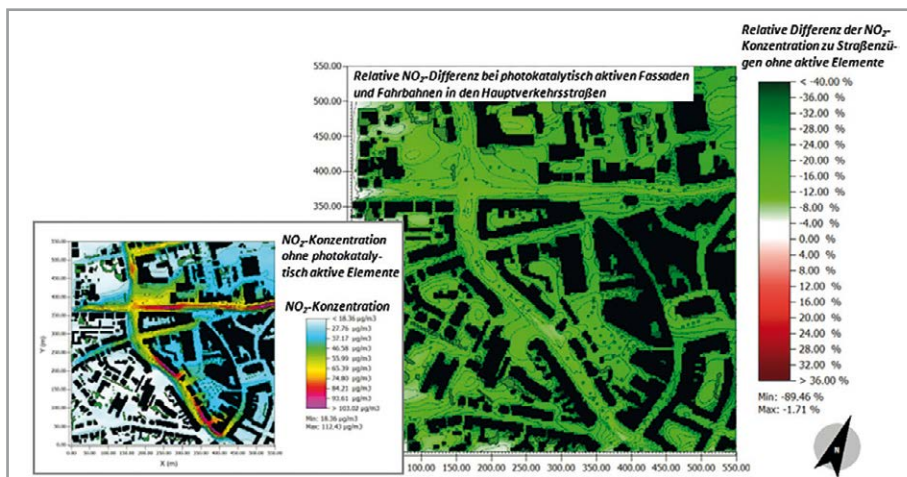
### 4 Schlussbetrachtung und Ausblick

Basierend auf den präsentierten Ergebnissen wird deutlich, dass das Projekt PureBau und die daraus gewonnenen Erkenntnisse und Materialien eine herausragende Bedeutung für viele städtische Lebensräume hat. Bei einem flächigen Einsatz der optimierten Materialien erlauben diese einen entscheidenden Beitrag zur Verbesserung der Lebensbedingungen in den urbanen Ballungsräumen.

Die im Rahmen des Projekts erarbeiteten Baumaterialien sind mittlerweile kommerziell erhältlich, sodass diese durch entsprechende Beschlüsse der Stadtverwaltungen und Eigner jederzeit in bauliche Maßnahmen einfließen können.

### Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei den Kollegen aus dem PureBau-Konsortium für den unermüdlichen Einsatz, beim Projektträger VDI für die ausgezeichnete Begleitung des Projekts sowie beim BMBF für die Finanzierung. Herzlichen Dank auch an Dr. Jörg Friedrich, Dr. Frank Mersch, Rene Müller, Ina Metz, Salematu Slippens und die anderen Mitarbeiter von Kronos, die zu den Ergebnissen beigetragen haben, sowie an Eike Blume, Christian Scheidt, Dr. Stephan Blöß und Dr. Lothar Elfenthal.



**Bild 3: Modellrechnung zur NO<sub>2</sub>-Reduzierung exemplarischer Straßenzüge an einem Sommertag mit schwachem Wind um 8 Uhr am Morgen**