

## 1. Hintergrund

Der Straßenverkehr in Deutschland zählt zu dem größten Verursacher des Schadstoffs Stickoxid ( $\text{NO}_x$ ), das aktuell zu den meistdiskutierten politischen Themen in Deutschland geworden ist. Mit einem innovativen Einbauverfahren der STRABAG AG und mit Hilfe von titandioxidhaltigem Abstreumaterial können Asphaltstraßen die giftigen Stickoxide aus der Luft abbauen.

## 2. Funktion von Titandioxid

Eine der Eigenschaften von Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ) ist seine photokatalytische Aktivität, die die Umwandlung von Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) in wasserlösliches Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) ermöglicht. In Gegenwart von UV-Strahlung wird das Titandioxid aktiviert.

- „Aktivsauerstoffe“ werden gebildet, welche den chemischen Oxidationsprozess beschleunigen,
- Schadstoffe wie  $\text{NO}_x$  werden schneller zersetzt,
- aus  $\text{NO}_x$  werden wasserlösliche Nitrate gebildet,
- bei der Reaktion werden die  $\text{TiO}_2$ - Teilchen nicht verbraucht.

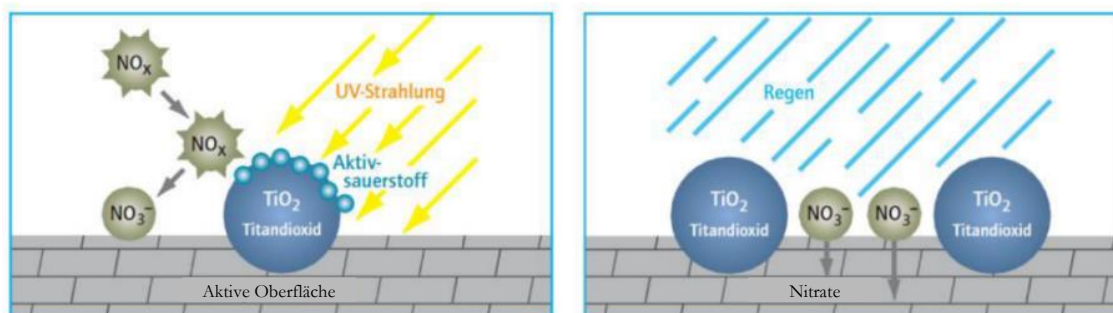


Abbildung 1: Funktion von Titandioxid in Gegenwart von UV-Strahlung

## 3. Das Abstreumaterial

### 3.1. Herstellung des Abstreumaterials

Das synthetisch hergestellte Abstreumaterial wird aus ultrahochfestem Beton (UHPC) hergestellt.

- Zunächst werden UHPC-Beton-Rohlinge hergestellt, die einen  $\text{TiO}_2$ -Anteil von etwa 1 % besitzen.
- Für die Verwendung des Abstreumaterials werden die Rohlinge auf eine 1/3 mm Körnung gebrochen.
- Da das Abstreumaterial ein Spezialprodukt ist und nur nach Anfrage hergestellt wird, beträgt die aktuelle Bestellzeit etwa acht Wochen.

### 3.2. Voruntersuchungen des Abstreumaterials

Gemäß einer Untersuchung durch die Technische Universität (TU) Darmstadt erfüllt das Abstreumaterial alle Anforderungen, die gemäß den **TL Gestein-StB 04** an Abstreumaterial gestellt werden und ist somit **für alle Belastungsklassen einsetzbar**. Die Ergebnisse und Anforderungen können in der folgenden Tabelle entnommen werden.

Eigenschaften	Anforderung gemäß TL Gestein-StB 04	Ergebnisse der Untersuchung
Widerstand gegen Zertrümmerung	SZ <sub>18</sub>	SZ <sub>18</sub>
Widerstand gegen Polieren	PSV(51)	PSV(52)
Widerstand gegen Frostbeanspruchung	F <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>
Widerstand gegen Frost-Tausalz-Bbeanspruchung	≤8 M.-%	0,6 M.-%
Affinität zu bitumenhaltigen Bindemitteln	Ist anzugeben	Abgelöstes Bitumen nach 24 h: 40 %

## 4. Umsetzung durch STRABAG

### 4.1. Einbindung des Abstreumaterials

Für eine anhaltende Wirkung muss das Abstreumaterial auf der Asphaltoberfläche dauerhaft eingebracht werden. Erreicht wird dies durch die frühzeitige Einbindung des Abstreumaterials in die noch heiße Fahrbahnoberfläche vor dem ersten Walzübergang.

- Dabei erhält lediglich die Straßenoberfläche (Deckschicht) eine „Veredelung“.
- Der Straßenaufbau sowie auch die Funktionen der Straße werden dabei nicht verändert bzw. bleiben erhalten.

Hierfür sind folgende Maschinen notwendig:

#### 4.1.1. Fertigerintegrierter Streuer

Zur frühzeitigen und dauerhaften Einbindung des Abstreumaterials hat die STRABAG einen Prototyp eines fertigerintegrierten Streuers entwickelt (siehe Abbildung 2).

- Der fertigerintegrierte Streuer ist ein Streuer-Modul, der am Fertiger direkt hinter der Einbaubohe angebracht wird.
- Durch eine elektrische Kopplung passt sich der Streuer an die Geschwindigkeit des Fertigers an, wodurch die Streumenge während des Einbaus gleich gehalten wird.
- Prozesssicherheit und eine gleichmäßige Abstreuerung ist jederzeit gegeben.
- Die ständige Weiterentwicklung ist bis heute der einzige Prototyp in Deutschland.
- Für eine vollflächige Abstreuerung ist nur eine geringe Menge des kostenintensiven Abstreumaterials notwendig – ca. 1,3 kg/m<sup>2</sup>

Die technischen Daten des Streuers können in der folgenden Tabelle entnommen werden.

Technische Daten – Fertigerintegrierter Streuer	
Streubreite	2,5 - 5,0 m ausfahrbar (mit Anbauteilen bis 8,0 m)
Streumenge	300 – 3.000 g/m <sup>2</sup>



Abbildung 2: Fertigerintegrierter Streuer im Einsatz

#### 4.1.2. Innovationsbunker

Um den fertigerintegrierten Streuer kontinuierlich ohne Unterbrechung des Einbauprozesses mit dem hochwertigen Abstreumaterial befüllen zu können, wurde ein innovatives Beschickungskonzept realisiert.

- Der Innovationsbunker besteht aus einem Asphalt- und einem Streumaterialbunker (siehe Abbildung 3) und ist ausgestattet mit Temperatur- und Füllstandsensoren.
- Eine hydraulische Klappe auf dem Streumaterialbunker ermöglicht eine getrennte Befüllung von Asphaltmischgut und Streumaterial
- Für die Befüllung des Innovationnbunkers wird zunächst der Asphaltbunker mit Asphaltmischgut befüllt, danach wird die Asphaltbeschickung kurzzeitig unterbrochen und der Streubunker mit einem Radlader mit Abstreumaterial versorgt
- Das Abstreumaterial wird mittels eines Förderbands an den Streuer hinter der Einbaubohe gefördert.

Die technischen Daten des Bunkers können in der folgenden Tabelle entnommen werden.

Technische Daten – Innovationsbunker	
Füllmenge des Asphaltbunkers	ca. 27 t
Füllmenge des Streumaterialbunkers	ca. 3,5 t – 4,0 t.

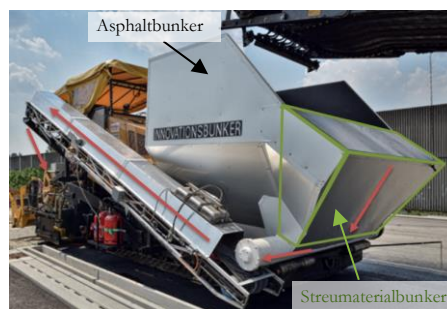


Abbildung 3: Beschickungskonzept

#### 4.1.3. Forschungsfertiger

Der Forschungsfertiger ist ein Dynapac DF 145 Fertiger, der für die Umsetzung der Forschungsprojekte zur Verfügung steht. Er enthält u. a. folgende Modifikationen:

- Modifizierungen für den Anbau des Fertigerintegrierten Streuers,
- Elektronische Koppelung zwischen Fertiger und Streuer,
- Modifizierungen für den Anbau des Innovationsbunkers sowie
- Modifizierungen für den Anbau des Förderbands

#### 4.2. Vertragliche Änderungen

Im Bauvertrag müssen lediglich Abschnitte zum Einsatz des Spezialfertigers mit integriertem Streuer und des Abstreumaterials hinzugefügt werden. Hierfür steht als Beispiel die folgende Vorlage zur Verfügung.

**Abstreumaterial aus ultrahochfesten Beton mit Titandioxid zur Reduzierung von Stickstoffdioxid, liefern und aufbringen**

*Abstreumaterial Körnung 1/3 aus ultrahochfestem Beton mit Titandioxid zur Reduzierung von Stickstoffdioxid, liefern, aufbringen und einwalzen. Aufbringung der Abstreuerung direkt hinter der Einbaubohle in voller Einbaubreite mit einer integrierten Fertigerabstreuerung in einem Arbeitsgang vor dem ersten Walzübergang. Überschüssiges Material nach Auskühlung entfernen.*

*Abstreumenge aus ultrahochfesten Beton mit Titandioxid: ca. 1,3 kg/m<sup>2</sup>.*

*An- und Abtransport, Einrichtung sowie Vorhaltung des Spezialfertigers mit integriertem Streuer sind inkludiert.*

#### 5. Messungen im Straßencanyon

Zur Messung des Abbaupotenzials wurde ein Straßencanyon realisiert (siehe Abbildung 4).

- Auf diesem Straßencanyon wurden zwei Asphaltflächen, eine mit gewöhnlichem Abstreumaterial (inaktive Fläche) und eine mit dem innovativen Abstreumaterial (aktive Fläche), realisiert.
- Leitungen, die an einem Diesellaggregat angebracht sind, wurden auf beiden Flächen in einem gleichen Muster angelegt um gleiche Schadstoffbelastungen auf beiden Flächen zu realisieren.
- Die resultierenden Stickstoffbelastungen auf den beiden Flächen sind vergleichbar zu den Belastungen in den Städten.
- Auf beiden Flächen wurden Luftmesseinrichtungen nach Norm EU14211 angelegt, die in einer Höhe von 3 m die Stickstoffkonzentrationen kontinuierlich aufsammeln (wie in der Realität auch) und diese Konzentration an zwei Messboxen leiten, welche die Konzentration messen.
- Die Differenz der Messwerte zwischen der aktiven und inaktiven Fläche beschreibt die Effektivität des Abbaus.
- **Abbaupotential: Bis zu 26 %** - nachgewiesen bei guten Bedingungen in einem Zeitraum von 5 Std.

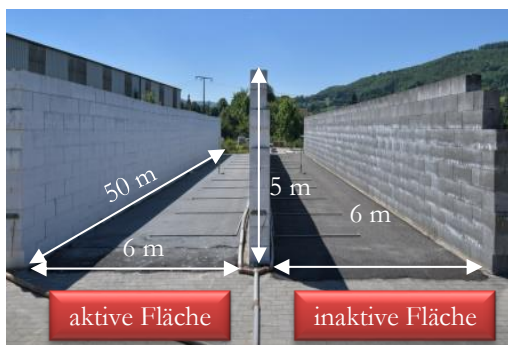


Abbildung 5: Straßencanyon



Abbildung 4: Luftmesseinrichtung und Abgasleitungen im Canyon

## 6. Messung des Abbaus in der Praxis

Um die Abbauleistung auf einer öffentlichen Straße nachzuweisen, könnten:

- Messungen in den Wochen vor sowie nach dem Einbau der Deckschicht mit dem Abstreumaterial durchgeführt und verglichen werden.
- Messungen auf der aktiven Untersuchungsstrecke und zeitgleich in den Bereichen vor oder hinter der Untersuchungsstrecke.
- Für die Messungen sollten Luftmessenrichtungen nach Norm EU14211 eingesetzt werden.

## 7. Nitratbildung

Beim Abbau von Stickoxiden bilden sich an der Straßenoberfläche Nitrats, die bei Regenereignissen von der Straße abgewaschen werden. Die Verweildauer von NO<sub>2</sub> in der Atmosphäre beträgt etwa zwei bis fünf Tage. Durch die wichtigsten Abbaewege für Stickstoffdioxid in der Atmosphäre entstehen entweder:

1. Ozon - für die Menschen und Umwelt schädlich,
2. NO - wird wieder in NO<sub>2</sub> umgewandelt,
3. Salpetersäure - führt zur Entstehung des so genannten sauren Regens, oder
4. Nitrat.

Durch den Einsatz des innovativen Abstreumaterials wird die Bildung von Nitrat beschleunigt (siehe Abbildung 1). Hierdurch wird die Stickoxidkonzentration in der Luft reduziert und damit auch die Umwandlung in die schädlichen Stoffe Salpetersäure und Ozon.

Das gebildete Nitrat ist wasserlöslich und wird über Niederschlagswasser den Klärwerken zugeführt.

Die dabei gebildete zusätzliche Nitratmenge wäre sehr gering wie die folgende Beispielrechnung für Stuttgart zeigt.

### 7.1. Beispielrechnung der Nitraterhöhung unter Einsatz von TiO<sub>2</sub>:

Eine Untersuchung der Nitratbildung des Abstreumaterials durch das Fraunhofer Institut und die TU Darmstadt ergab eine mittlere Nitratbildung von etwa **1,2 mg/Std. pro m<sup>2</sup>** aktiver Fläche.

- In der Regel wird das Straßen-Niederschlagswasser ebenso wie das Schmutzwasser in Klärwerken behandelt
- Klärwerke müssen anorganische Stickstoffe (N<sub>anorg</sub>) - als Summe von Ammonium, Nitrat und Nitrit - auf weniger als 13 mg/l abbauen

Würden in Stuttgart photokatalytische Straßen mit einer gesamten **Länge von 100 km** und einer durchschnittlichen **Breite von 3,5 m** eingebaut, so ergibt sich folgende Erhöhung:

Hauptklärwerk Stuttgart „Stuttgart-Mühlhausen“:

- Klärleistung: 60.000.000 m<sup>3</sup>/Jahr
- Ablaufleistung (N<sub>anorg</sub>): > 79 %
- Mittlere Ablaufkonzentration: 9,6 mg/l

- ⇒ **Nitraterhöhung: 0,005 mg/l**
- ⇒ **Ablaufkonzentration alt: 9,600 mg/l**
- ⇒ **Ablaufkonzentration neu: 9,605 mg/l**
- ⇒ Grenzwert: 13 mg/l

Die Stickstofferhöhung im Klärablauf liegt somit bei ca. 0,05 %. Der Grenzwert für die anorganischen Stickstoffe bleibt hierbei unberührt.

## 8. Fazit

Die bisher durch die Bundesregierung und die Kommunen ergriffenen Maßnahmen zur Reduzierung der Stickoxid-Emission haben nicht zu den gewünschten Ergebnissen geführt. Zu den Maßnahmen gehören u. a. Dieselfahrverbote, Parkgebühren, City-Maut, Einführung von Umweltzonen, Durchfahrtsperrungen für schwere Nutzfahrzeuge, usw., die alle negativen Einflüsse für die Verkehrsnutzer und Anlieger haben.

### Vorteile der STRABAG Verfahren

- Die Innovation kann kurzfristig eingebaut werden.
- Keine Nachteile für die Verkehrsnutzer und Anlieger.
- Die Straße erhält durch die innovativen Materialien und Einbautechniken nur eine „Veredelung der Fahrbahnoberfläche“.
- Das Abstreumaterial kann auf allen Walzasphalten dauerhaft eingebunden werden.
- Das Abstreumaterial liegt zweckmäßig direkt an der Emissionsquelle – der Bereich mit der höchsten Belastung, wo die höchste mögliche Wirksamkeit zum Abbau von Stickstoff erreicht werden soll.
- Für eine vollflächige Abstreuerung ist eine geringe Menge des kostenintensiven Abstreumaterials notwendig – ca. 1,3 kg/m<sup>2</sup>.
- Geplante Deckschichtsanierung können mit der Veredelung als zusätzliche Position kurzfristig in der Baupraxis umgesetzt werden.
- Alle bisherigen Straßenfunktionen bleiben erhalten.
- Es gibt keinen Einfluss auf den Straßenaufbau → Reine Veredelung der Asphaltdeckschicht durch das Abstreumaterial.