

AEROSIL[®], AEROXIDE[®] und SIPERNAT[®] für die Baustoffindustrie

Technische Information 1398



Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung _____	3
Eigenschaften von AEROSIL® pygener Kieselsäure und SIPERNAT® Spezialkieselsäure und AEROXIDE® pyrogenem Titandioxid _____	4
AEROSIL® und SIPERNAT® in Beton _____	5
AEROSIL® und SIPERNAT® in Putz und Mörtel _____	7
Verwendung von AEROXIDE® pyrogenem Titandioxid für fotokatalytische Anwendungen in der Bauindustrie _____	9
Schlussfolgerungen _____	10
Literatur _____	11

Einleitung

Die Bauindustrie ist mit ihrer Vielfalt an Bauobjekten in den Bereichen Technik, Industrie, Infrastruktur, Öffentlichkeit und Wohnungsbau weltweit einer der wichtigsten und am stärksten vertretenen Industriezweige. Das jährliche Bauvolumen beläuft sich auf Millionen von Kubikmetern, und der jährliche Umsatz der Bauindustrie übersteigt 1000 Milliarden Euro weltweit. Es kommen eine Vielzahl von Baustoffen zum Einsatz, wobei Beton, Putz und Mörtel eine herausragende Rolle spielen. Zusammen mit Stahl ist Beton weltweit der wichtigste Baustoff für Ingenieurbauten sowie Objekte im öffentlichen und infrastrukturellen Sektor. Einen bedeutenden Anteil hat Beton auch am Wohnungsbau, wo er zusammen mit Holz und Steinen ebenfalls eine wichtige Rolle spielt. Putz und Mörtel werden meist zum Schutz der Bauten vor Umwelteinflüssen, zur Wärmedämmung oder zu Dekorationszwecken eingesetzt.

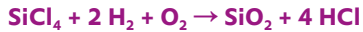
Beton, Putz und Mörtel sind Mehrkomponentensysteme, die aus chemisch reaktiven Substanzen hergestellt werden. Art und Ablauf der chemischen Reaktionen haben einen entscheidenden Einfluss auf die physikalische und chemische Struktur der Baustoffe. So werden zum Beispiel die mechanische Festigkeit, die Wasserdurchlässigkeit und die Dauerhaftigkeit beeinflusst. Physikalische Eigenschaften der Rohstoffe können unter anderem einen großen Einfluss auf die Aushärungszeit von Beton, auf die Oberflächenbeschaffenheit von ausgehärtetem Putz und die Fließfähigkeit von Trockenmörtel haben. Evonik Industries AG bietet mit ihrem umfassenden Portfolio von AEROSIL® pyrogener Kieselsäure und AEROXIDE® pyrogenen Metalloxid-Typen sowie SIPERNAT® Spezialkieselsäure leistungsfähige Additive für die Herstellung moderner Baustoffe. Durch den Einsatz von AEROSIL®, AEROXIDE® und SIPERNAT® lassen sich folgende Effekte erzielen:

- Erhöhung der Frühfestigkeit von Beton
- Vergleichmäßigung der Qualität von ultrahochfestem Beton
- Verbesserung der mechanischen Festigkeit von Porenbeton
- Reduzierung des Entmischens bei selbstverdichtendem Beton
- Verbesserung der Fließeigenschaften von Pulvermischungen
- Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Putz
- fotokatalytische Oberflächen zum Abbau von Stickoxiden in Innenstädten
- Reduzierung der Schmutzaufnahme auf Putz- oder Betonoberflächen

Die Produkte und deren Verwendung werden in den folgenden Kapiteln im Detail erläutert.

Eigenschaften von AEROSIL® pyrogener Kieselsäure, SIPERNAT® Spezialkieselsäure und AEROXIDE® pyrogenem Titandioxid

AEROSIL® pyrogene Kieselsäure ist ein hochreines, sehr feines Siliziumdioxid. Der Herstellungsprozess basiert auf der kontinuierlichen Flammenhydrolyse von Siliziumtetrachlorid nach der folgenden chemischen Reaktion:



Bei Synthesetemperaturen von mehr als 1000°C laufen komplexe Prozesse wie Nukleation, Koagulation, Oberflächenwachstum und Aggregation ab, die zu einer fraktalartigen Morphologie der Siliziumdioxidpartikel führen. Diese Morphologie zeichnet sich dadurch aus, dass zahlreiche sehr feinteilige und nahezu kugelförmige Primärteilchen durch kovalente Bindungen miteinander verbunden sind und sogenannte Aggregate bilden. Durch Filtration vom Gasstrom abgetrennt, bilden die Aggregate mikrometergroße Agglomerate, die durch physikalische Wechselwirkungen zusammengehalten werden und mit geeigneter Verarbeitungstechnik wieder redispersiert werden können. AEROSIL® pyrogene Kieselsäure ist vollständig amorph, wie aus Untersuchungen mit Hilfe der Röntgenbeugung [1] hervorgeht. Im Gegensatz dazu ist das aus Titan-tetrachlorid hergestellte AEROXIDE® Titandioxid kristallin und enthält sowohl eine Anatas- als auch eine Rutilphase.

AEROSIL® und AEROXIDE® werden auch als wässrige Dispersionen unter dem Handelsnamen AERODISP® angeboten.

Im Gegensatz zu AEROSIL® wird SIPERNAT® Spezialkieselsäure in einem Naßverfahren hergestellt [2]. Dabei wird eine Natriumsilikatlösung (auch „Wasserglas“ genannt) mittels Schwefelsäure neutralisiert und es entstehen feinteilige Siliziumdioxid-Partikel gemäß der nachfolgenden Reaktion:



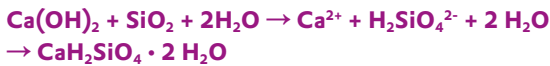
Nach dem Waschen, Filtrieren und Trocknen erhält man mikrometergroße Partikel mit einer schwammartigen Struktur, die sich wie bei den pyrogenen Kieselsäuren aus sehr kleinen Primärpartikeln zusammensetzen. Ähnlich wie AEROSIL® ist SIPERNAT® Spezialkieselsäure amorph und hat eine hohe spezifische Oberfläche. Dadurch sind beide Produkte in puzzolanischen Reaktionen sehr reaktiv.

In den folgenden Kapiteln sind die wichtigsten Effekte, die mit pyrogenen und gefällten Kieselsäuren in Baustoffen erreicht werden können beschrieben. Eine Übersicht über häufig in Baustoffen eingesetzte Kieselsäuren und Titandioxide ist in **Tabelle 1** zu finden. Die in Baustoffen erzielbaren Effekte sind in **Tabelle 2** zusammengefasst.

AEROSIL® und SIPERNAT® in Beton

Für die Verwendung von AEROSIL® und SIPERNAT® in Beton sprechen viele Gründe. Ein wichtiger Effekt ist, dass durch das Hinzufügen auch nur geringer Mengen dieser hochdispersen Kieselsäuren die Frühfestigkeit von Beton erhöht wird. Wie im Folgenden erklärt wird, lässt sich dieser Effekt durch die hohe puzzolanische Reaktivität der feinteiligen Kieselsäuren erklären:

In Portlandzement findet die puzzolanische Reaktion von Calciumhydroxid und Siliziumdioxid – hier in Form der Kieselsäure – in wässriger Umgebung statt. Als Ergebnis dieser Reaktion entsteht Calciumsilikathydrat.



Das Reaktionsprodukt Calciumsilikathydrat – gewöhnlich mit CSH abgekürzt – weist eine faserige Struktur auf, die für eine mechanische Verbindung der Betonbestandteile sorgt. Die Bildung und die Konzentration von CSH-Phasen sind somit entscheidend für die Betonfestigkeit. Da AEROSIL® oder SIPERNAT® eine größere spezifische Oberfläche bieten als die gemeinhin verwendeten SiO₂-Quellen wie beispielsweise Flugasche, wird die puzzolanische Reaktion selbst durch kleine Mengen dieser Kieselsäuren entscheidend beschleunigt.

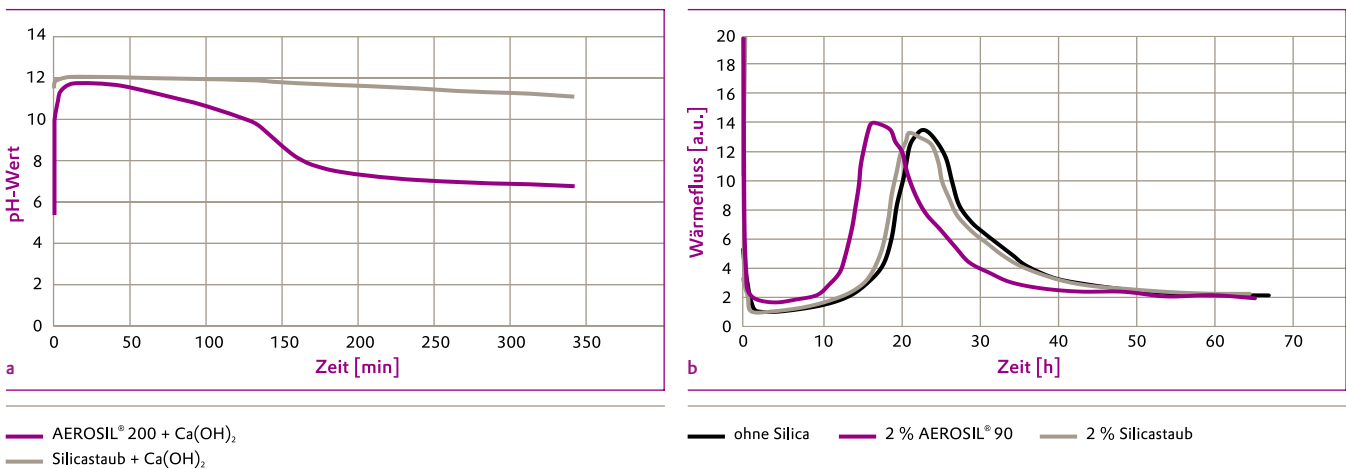
AEROSIL® pyrogene Kieselsäure und SIPERNAT® Spezialkieselsäure sind nicht zu vergleichen mit dem häufig verwendeten Silicastaub, der auch Mikrosilica genannt wird. Silicastaub besteht aus kugelförmigen nicht-aggregierten Partikeln mit einer spezifischen Oberfläche von lediglich einigen Quadratmetern pro Gramm. In der Regel wird Silicastaub zur Erhöhung der Dichte und Festigkeit des ausgehärteten Betons in hohen

Konzentrationen dem Zement zugegeben. Im Gegensatz zu Silicastaub haben AEROSIL® und SIPERNAT® eine spezifische Oberfläche von hundert oder mehr Quadratmetern pro Gramm. Aufgrund der größeren spezifischen Oberfläche ist die puzzolanische Reaktivität der synthetischen Kieselsäuren um ein Vielfaches höher als die von Silicastaub. Durch diese höhere Reaktivität wird eine größere Frühfestigkeit erreicht, eine Steigerung der Festigkeit nach 24 Tagen oder Dichteerhöhung des ausgehärteten Betons wird jedoch nicht beobachtet.

Im Folgenden soll die Auswirkung der hohen puzzolanischen Reaktivität von AEROSIL® am Beispiel von AEROSIL® 200 und AEROSIL® 90 mit einer spezifischen Oberfläche von 200 m²/g bzw. 90 m²/g verdeutlicht werden. Dazu wurde in **Abbildung 1 a** und **b** die Reaktivität von AEROSIL® 200 und AEROSIL® 90 mit der Reaktivität von Silicastaub verglichen.

Abbildung 1 a zeigt, dass der pH-Wert in Gemischen mit Calciumhydroxid und AEROSIL® 200 wesentlich schneller sinkt als in einer Mischung mit der gleichen Menge Silicastaub. Die Abnahme des pH-Wertes ist charakteristisch für die sinkende Calciumhydroxid-Konzentration und verläuft proportional zur Bildung der CSH-Phasen. In **Abbildung 1 b** wird die Entwicklung des Wärmeflusses in Frischmörtel dargestellt. Daraus geht eindeutig hervor, dass durch Zusatz von 2% AEROSIL® 90 Wärme wesentlich schneller freigesetzt wird als durch die gleiche Menge Silicastaub, was ebenfalls die deutlich höhere puzzolanische Reaktivität von AEROSIL® belegt.

Abbildung 1 Entwicklung des pH-Wertes in SiO₂-Ca(OH)₂-Gemischen mit und ohne AEROSIL® (a). Wärmefluss in Frischmörtel in Abhängigkeit von der Zeit – mit und ohne AEROSIL® (b)



In der **Abbildung 2a** zugrundeliegenden Untersuchung wurde die Druckfestigkeit eines Mörtels auf Basis von CEM I 52,5 R in Abhängigkeit von der Zeit analysiert. Durch die beschleunigte Bildung der CSH-Phasen kommt es zu einer höheren Frühfestigkeit. Der Zusatz von 0,7% AEROSIL® 200 (bezogen auf den Zementgehalt) erhöht über den gesamten untersuchten Zeitraum die Druckfestigkeit des Betons um etwa 5 MPa. Dieser Effekt lässt sich zur Beschleunigung von Bauprozessen oder in Fertigteilwerken nutzen.

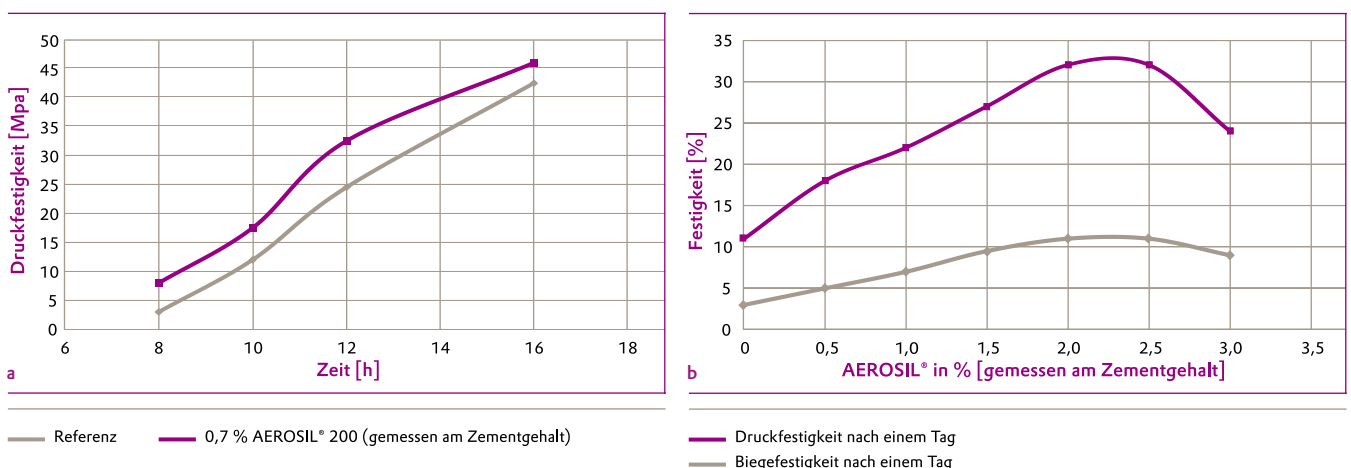
Der Einfluss von AEROSIL® auf die mechanischen Eigenschaften des Betons hängt stark vom AEROSIL® Gehalt ab, wie **Abbildung 2 b** veranschaulicht. Der selbstverdichtende Mörtel wurde mit einem Zementgemisch, das auch sehr feinen Zement enthält, hergestellt. Durch den Zusatz von AEROSIL® 200 zur Formulierung nehmen sowohl die Druck- als auch die Biegefestigkeit des selbstverdichtenden Mörtels zu. Allerdings ist nur eine Zunahme bis 2%–2,5% AEROSIL® 200 (bezogen auf den Zementgehalt) zu beobachten, wohingegen ein weiterer Zusatz von AEROSIL® 200 zu einer Abnahme der Druck- und Biegefestigkeit führt. Dieses nicht-lineare Verhalten ist bei der Formulierung von Betonen zu beachten.

Die Reaktivität und Morphologie von AEROSIL® pyrogener Kieselsäure und SIPERNAT® Spezialeisensäure sind für eine gleichmäßige Qualität von ultrahochfestem Beton von Vorteil. Wie in [3] dargestellt, konnte eine Druckfestigkeit von 150 MPa nach 28 Tagen mit guter Wiederholbarkeit erreicht werden. Ultrahochfester Beton ist ein Beton mit hoher Dichte, der herausragende mechanische Eigenschaften aufweist.

Porenbeton ist im Hinblick auf die Dichte das genaue Gegenteil. Das Volumen der Poren im Inneren dieses Betons ist extrem hoch. Dadurch verfügt er über ein geringes Gewicht und weist gute Wärmedämmeigenschaften auf. Eine weitere Verbesserung dieser Dämmeigenschaften ist durch die weitere Erhöhung der Porosität und den Zusatz von AEROSIL® pyrogener Kieselsäure zum Ausgleich des mechanischen Festigkeitsverlustes möglich. In der Regel sind 2%–3% AEROSIL® 200 zur Erhöhung der Druckfestigkeit von ausgehärtetem Porenbeton um den Faktor 2 ausreichend.

Auch wenn **Abbildung 1** und **2** nur Ergebnisse für AEROSIL® pyrogene Kieselsäure zeigen, sind ähnliche Effekte mit SIPERNAT® Produkten, wie SIPERNAT® 22 S oder SIPERNAT® 320 DS festzustellen. Die hohe puzzolanische Reaktivität ist jedoch nicht nur von der zugänglichen Reaktionsoberfläche abhängig, sondern auch von der Homogenität der Kieselsäure-Verteilung im Gemisch. Aufgrund der kleineren Aggregatgröße ist bei AEROSIL® prinzipiell eine homogenere Verteilung im Betongemisch zu erreichen als bei SIPERNAT®. Allerdings sind für AEROSIL® Produkte Mischvorrichtungen mit einer höheren Scherenergie erforderlich, um die Agglomerate zu zerteilen. Daher kann SIPERNAT® die bevorzugte Wahl sein, wenn solche Mischvorrichtungen nicht zur Verfügung stehen.

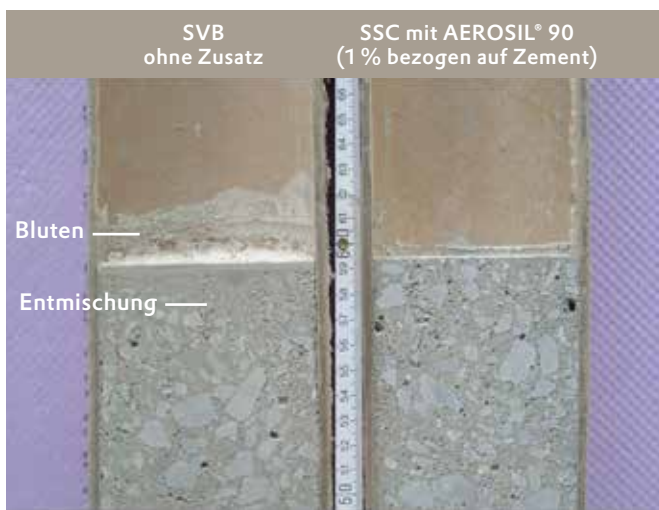
Abbildung 2 Einfluss von AEROSIL® auf die Betonfestigkeit. Entwicklung der Druckfestigkeit von Mörtel auf Basis von CEM I 52,5 R mit der Zeit (a). Einfluss des AEROSIL® Gehalts auf die Festigkeit von selbstverdichtendem Mörtel (b)



AEROSIL® und SIPERNAT® in Putz und Mörtel

Weiterhin ist es wichtig zu erwähnen, dass der Zusatz von AEROSIL® pyrogener Kieselsäure einen starken Einfluss auf die Rheologie von Frischbeton hat. Diese Änderung der Konsistenz wirkt sich positiv auf die gleichmäßige Verteilung der Bestandteile in hochfließfähigem Beton, wie z. B. selbstverdichtendem Beton (SVB) aus. AEROSIL® stabilisiert SVB gegen Sedimentation von groben Bestandteilen im Anfangsstadium der Aushärtung. Durch AEROSIL® kann auch das sogenannte „Bluten“ (siehe **Abbildung 3**) reduziert werden.

Abbildung 3 Einfluss von AEROSIL® auf die Homogenität von Beton



Es ist jedoch zu beachten, dass durch den Einsatz von AEROSIL® Typen mit hoher spezifischer Oberfläche (AEROSIL® 200, AEROSIL® 300) die Viskosität von Frischbeton zunimmt. Ist eine Begrenzung der Viskosität erforderlich, sollten AEROSIL® Typen mit einer niedrigen spezifischen Oberfläche, beispielsweise AEROSIL® 90 mit $90 \text{ m}^2/\text{g}$, zum Einsatz kommen.

Mörtel und Putze finden in der Bauindustrie breite Anwendung zum Schutz vor Umwelteinflüssen und werden zur Abdichtung, Instandsetzung sowie zu Dekorationszwecken eingesetzt. Putze sind Mehrkomponentensysteme, die aus Bindemitteln, Pigmenten, Füllstoffen und funktionalen Additiven bestehen. Die Aushärtung eines solchen Mehrkomponentensystems ist häufig mit einer Migration des Füllstoffs und der Pigmentpartikel durch den Putz hindurch, einer Volumenänderung (z. B. Schwindung) sowie einem Wasser- und Gastransport durch die Poren verbunden. Hierdurch entstehen Spannungsgradienten, durch die es zu Materialschäden wie Rissen kommen kann. Dies kann nachfolgend zu Materialversagen führen, Reparaturarbeiten erforderlich machen und unerwartete Kosten verursachen.

Aufgrund seiner Aggregatstruktur und -größe kann AEROSIL® pyrogene Kieselsäure während des Aushärtens des Putzes als Stabilisierungs- und Verstärkungsmittel wirken. AEROSIL® fördert dabei die Ausbildung einer homogenen Porenstruktur, die beim Aushärten weitaus schwindungsstabiler ist. **Abbildung 4** zeigt die Wirkung von AEROSIL® in einem Silikatputz.

Abbildung 4 Wirkung von AEROSIL® auf die Putzstruktur

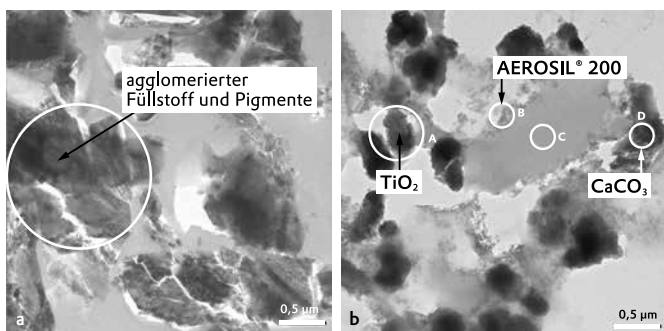


Die Formulierung ohne Zusatz von AEROSIL® 200 weist eine vergleichsweise raue Oberfläche mit makroskopischer Rissbildung auf. Unter Einwirkung von Luftfeuchtigkeit, Regen oder Schnee begünstigen diese Risse das Eindringen von Wasser in den Putz. Die Risse vergrößern sich mit der Zeit und führen zu Materialversagen und einer erhöhten Schmutzaufnahme. Der mit gleicher Menge an Pigmenten und Füllstoffen und Zusatz von nur 1,5% AEROSIL® 200 hergestellte Putz weist hingegen eine völlig andere Oberflächenstruktur auf. Sie ist glatter und lässt keine makroskopischen Risse erkennen.

Eine Untersuchung dieser Putze mittels Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) in **Abbildung 5** zeigt, dass durch AEROSIL® pyrogene Kieselsäure eine homogenere Verteilung des Füllmaterials (CaCO_3) und der Pigmentpartikel (TiO_2) erreicht wird:

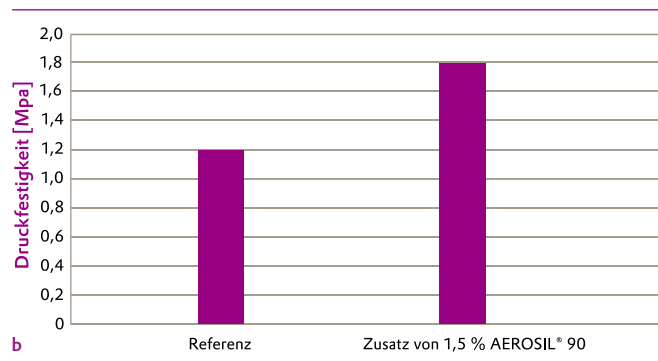
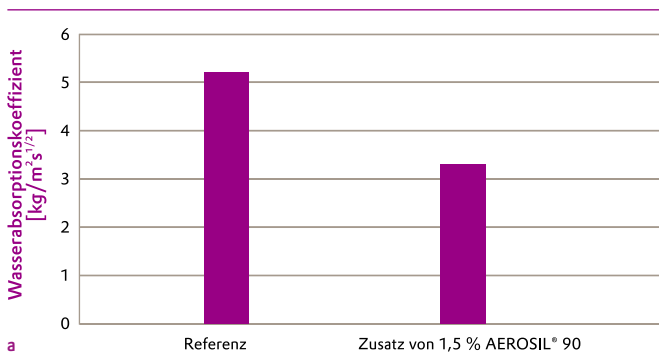
Bei dem als Referenz verwendeten Putz ohne Zusatz pyrogener Kieselsäure ist eine starke Agglomeration von Füllstoff und Pigmenten festzustellen (**Abbildung 5a**). Im Gegensatz hierzu sind die Füllstoffpartikel in dem unter Zusatz von AEROSIL® 200 hergestellten Putz (**Abbildung 5b**) feinverteilt.

Abbildung 5 Wirkung von AEROSIL® auf die Putzstruktur (5a: kein Zusatz, 5b: Zusatz von 1,5% AEROSIL® 200). Bei der mit C gekennzeichneten großen Fläche in der Aufnahme rechts handelt es sich um einen Karbonfilm des TEM-Rasters



Ferner zeigt der Zusatz von AEROSIL® eine positive Wirkung auf die mechanischen Eigenschaften von Kalkmörtel, wie in **Abbildung 6b** zu erkennen ist. Hier wird gezeigt, dass durch den Zusatz von 1,5 % AEROSIL® 90 zum Kalkmörtel die Druckfestigkeit um bis zu 50 % verbessert wird. Gleichzeitig verringert sich die Wasserabsorption um etwa 50 % (**Abbildung 6a**). Sowohl die Verringerung der Wasserabsorption als auch die Zunahme der Druckfestigkeit wirken sich zweifellos förderlich auf die Lebensdauer des verwendeten Kalkmörtels aus.

Abbildung 6 Einfluss von AEROSIL® pyrogener Kieselsäure auf die Eigenschaften von Kalkmörtel. Wasserabsorptionskoeffizient (a); Druckfestigkeit (b)



Durch Zusatz von AEROSIL® und SIPERNAT® kann nicht nur eine Verbesserung der Eigenschaften von frischem und ausgehärtetem Mörtel und Beton erreicht werden, sondern auch eine Verbesserung der Fließeigenschaften von Trockenmischungen wie Trockenmörtel. So werden AEROSIL® und SIPERNAT® in den verschiedensten Industriezweigen häufig als Antitackmittel verwendet. Aufgrund kleiner Partikelgrößen und hoher spezifischer Oberflächen sind diese Produkte leistungsstarke Abstandhalter und Feuchtigkeitsadsorber in Pulvergemischen. Durch diese Eigenschaften wird eine Reduzierung der interpartikulären Wechselwirkung im Gemisch erreicht, was zu einer verbesserten Fließfähigkeit der Pulver führt. Aufgrund dieser Fähigkeit zur Reduzierung der interpartikulären Wechselwirkung in Pulvergemischen werden AEROSIL® und SIPERNAT® auch in Mahlprozessen zu wirksamen Additiven. Eine detaillierte Beschreibung des Einsatzes von AEROSIL® und SIPERNAT® in Pulvergemischen ist in unseren Technischen Informationsschriften [4] und [5] zu finden.

Die Verwendung von AEROXIDE® pyrogenem Titandioxid für fotokatalytische Anwendungen in der Bauindustrie

Aufgrund der weltweit fortschreitenden Urbanisierung stellt die Verbesserung der Luftqualität in Städten in den kommenden Jahrzehnten eine der größten Herausforderungen dar. Durch die Verwendung von fotokatalytisch aktivem AEROXIDE® Titandioxid in Baustoffen, wie Beton, Pflastersteinen und Fassadenbeschichtungen, kann dabei ein nachhaltiger Beitrag zur Verbesserung der Luftqualität geleistet werden. Durch die Reaktion zwischen Fotoelektronen und Stickstoffmonoxid auf der Oberfläche des Titandioxids wird Stickstoffmonoxid (NO) zu Stickstoffdioxid (NO₂) oxidiert und anschließend weiter in Nitrat umgewandelt, das wasserlöslich ist und durch Regen abwaschen wird.

Das Prinzip des fotokatalytischen Abbaus von Stickoxiden aus der Luft unter Verwendung von Titandioxid lässt sich anhand der folgenden vereinfachten chemischen Reaktionen erklären.



Im ersten Schritt erfolgt unter Lichteinstrahlung eine Aktivierung der Elektronen vom Valenzband zum Leitungsband des Titandioxids. Die Bandlücken von Anatas und Rutil betragen 3,20 bzw. 3,02 eV. Somit können Anatas-Kristalle Licht mit einer Wellenlänge von unter 388 nm (UV-Bereich) und Rutil-Kristalle Licht mit einer Wellenlänge von unter 416 nm (sichtbarer Bereich) absorbieren. Durch die Reaktion von Fotoelektronen mit Wasser und Sauerstoff auf der Oberfläche des Titandioxids entstehen chemisch hochaktive Radikale. Diese Radikale reagieren mit dem Stickstoffmonoxid und wandeln es in mehreren Schritten in Nitrat um, das einfach mit dem Regen abgewaschen wird.

Evonik Industries AG bietet mit AEROXIDE® TiO₂ P 25 und AEROXIDE® TiO₂ P 90 sowie ihren wasserbasierten Dispersionen AERODISP® W 740 X und AERODISP® W 2730 X zwei für fotokatalytische Anwendungen hervorragend geeignete Titandioxid-Produkte an [6]. Aufgrund ihrer großen Oberfläche und somit niedrigen Primärpartikelgröße weisen AEROXIDE® TiO₂ P 25 und AEROXIDE® TiO₂ P 90 eine hohe fotokatalytische Aktivität, eine hohe chemische Reaktivität und fast keine Pigmenteigenschaften auf. Hierdurch unterscheiden sie sich deutlich von anderen auf dem Markt erhältlichen Titandioxiden.

Die fotokatalytischen Aktivität von AEROXIDE® TiO₂ P 25 wurde bei Bestrahlung mit Licht unterschiedlicher Wellenlänge unter Laborbedingungen untersucht (**Abbildung 7 a**). Drei LEDs mit unterschiedlichen Wellenlängen und einer geringen Linienbreite wurden hierfür ausgewählt. In einem geschlossenen Messaufbau wurde ein konstanter Gasstrom mit festgelegter NO-Konzentration über ein TiO₂-Substrat geführt. Wie deutlich zu sehen ist, nimmt die Konzentration von Stickstoffmonoxid bei sämtlichen untersuchten Wellenlängen deutlich ab. Bei Wellenlängen von 350 nm und 406 nm werden etwa 60% der Stickoxide aus dem Gasstrom abgebaut. Bemerkenswerterweise kann eine erhebliche Menge Stickstoffmonoxid selbst bei einer Wellenlänge von 453 nm abgebaut werden, die deutlich über der Adsorptions-Wellenlänge von sowohl Anatas als auch Rutil liegt.

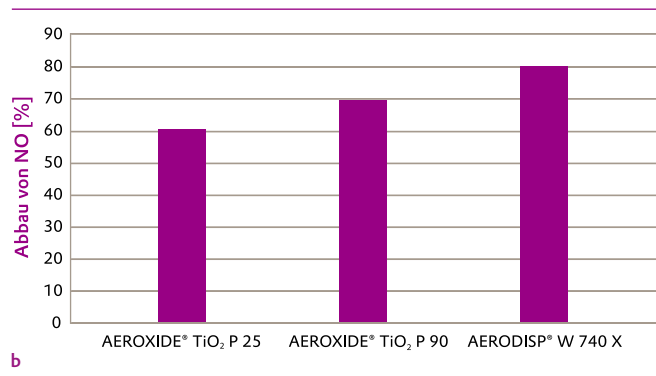
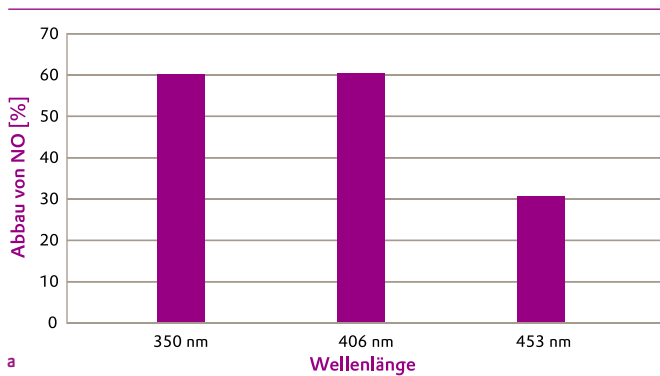
Ein Vergleich des NO-Abbaus von AEROXIDE® TiO₂ P 25 und AEROXIDE® TiO₂ P 90 ist in **Abbildung 7 b** dargestellt. Dieser Vergleich erfolgte bei einer Wellenlänge von 406 nm, also noch im sichtbaren Bereich des Spektrums. AEROXIDE® TiO₂ P 90 zeigt hierbei eine höhere Wirksamkeit als AEROXIDE® TiO₂ P 25, was sich durch eine höhere spezifische Oberfläche und somit größere Reaktionsoberfläche von AEROXIDE® TiO₂ P 90 erklären lässt. Das auf AERODISP® W 740 X basierende Substrat zeigt einen nochmal höheren NO-Abbau. Dies kann mit einer höheren Nutzbarkeit des Titandioxids für Strahlung und Oberflächenreaktionen begründet werden, die durch die ausgezeichnete Dispergierung erreicht wird.

Diese Ergebnisse bilden eine Grundlage für die fotokatalytische Anwendung von Titandioxid in der Bauindustrie. AEROXIDE® Titandioxid kann in Pflastersteinen, in Betonwänden, und in Dachziegeln als Bestandteil der Oberflächenschicht

verwendet werden. Diese Schicht sollte gerade dick genug sein, um mechanischen Belastungen und Erosion standhalten zu können, wobei bereits einige Millimeter ausreichen. Ein geringer prozentualer Anteil an Titandioxid in dieser Schicht genügt, um einen erheblichen Abbau von Stickoxiden zu erzielen. Die anwendungsfreundliche Verwendung von AERODISP® W 740 X soll hier noch einmal hervorgehoben werden: es lässt sich aufgrund seiner flüssigen Form leicht zu Frischbetonen hinzudosieren, ohne dass eine besondere Dispergiervorrichtung erforderlich ist. AEROXIDE® TiO₂ P 25 oder AEROXIDE® TiO₂ P 90 müssen hingegen intensiv dispergiert werden, um eine bestmögliche Effizienz erzielen zu können.

Abschließend sei noch erwähnt, dass die Titandioxide von Evonik ebenfalls dazu verwendet werden können, das Wachstum von Algen auf Oberflächen wie beispielsweise Betonfassadenelementen zu hemmen.

Abbildung 7 Fotokatalytische Wirksamkeit hinsichtlich des NO-Abbaus durch AEROXIDE® TiO₂-Produkte.
 (a) NO-Abbau durch AEROXIDE® TiO₂ P 25 bei verschiedenen Wellenlängen.
 (b) NO-Abbau durch verschiedene AEROXIDE® TiO₂ Produkte bei 406 nm.



Schlussfolgerungen

Die vorliegende Broschüre vermittelt einen Überblick über die mit AEROSIL® pyrogener Kieselsäure, SIPERNAT® Spezialeisensäure und AEROXIDE® pyrogenem Titandioxid zu erzielenden Wirkungen in Baustoffen. Durch ihre einzigartige Morphologie (Partikelgröße, Oberfläche und Phasenzusammensetzung) stellen diese Produkte vielseitige funktionale Additive dar, die zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften, der Handhabungseigenschaften und der Lebensdauer von Beton, Putz und Mörtel verwendet werden können. Als besonders umweltrelevanter Nutzen kann der Einsatz von fotokatalytisch aktivem AEROXIDE® Titandioxid zur Verbesserung der Luftqualität hervorgehoben werden. Eigenschaften von Kieselsäure oder Titandioxid und Empfehlungen zur Verwendung in Baustoffen sind je nach gewünschter Wirkung in den **Tabellen 1** und **2** zusammengefasst.

Tabelle 1 Eigenschaften von ausgewählten AEROSIL®, AEROXIDE® und SIPERNAT® Typen, die häufig in Baustoffen Verwendung finden

Produktname	Wechselwirkung mit Wasser	BET	Trocknungsverlust [%]	pH-Wert
AEROSIL® 90	hydrophil	90	<1,0	3,7–4,7 ¹
AEROSIL® 200	hydrophil	200	<1,5	3,7–4,7 ¹
AEROSIL® R 972	hydrophob	110	<0,5	3,6–5,5 ¹
AEROXIDE® TiO ₂ P 25	hydrophil	50	<1,5	3,5–4,5 ¹
AEROXIDE® TiO ₂ P 90	hydrophil	90	<4,0	3,2–4,5 ¹
SIPERNAT® 22 S	hydrophil	190	<6,0	6,5 ²
SIPERNAT® 320 DS	hydrophil	175	<6,0	6,3 ²

¹ Für eine 4%-ige Dispersion² Für eine 5%-ige Dispersion**Tabelle 2** Empfehlungen zur Verwendung von AEROSIL®, SIPERNAT® und AEROXIDE® Produkten

Anwendung	Empfohlene Produkte
Beton: Erhöhung der Frühfestigkeit	AEROSIL® 200, AEROSIL® 90, AERODISP® W 7520 P SIPERNAT® 22 S, SIPERNAT® 320 DS
Beton: Vergleichmäßigung der Qualität von Ultrahochfestbeton	AEROSIL® 90 SIPERNAT® 320 DS
Beton: Verbesserung der Homogenität von selbstverdichtendem Beton	AEROSIL® 200, AEROSIL® 90, AEROSIL® R 972 SIPERNAT® 22 S
Beton: Luftreinigung	AEROXIDE® TiO ₂ P 25, AEROXIDE® TiO ₂ P 90 AERODISP® W 740 X
Beton: Selbstreinigung, geringere Schmutzaufnahme	AEROXIDE® TiO ₂ P 25 AERODISP® W 740 X
Trockenmischungen wie Trockenmörtel: Antibackmittel, Fließhilfsmittel	AEROSIL® 200, AEROSIL® 90, AEROSIL® R 972 SIPERNAT® 22 S
Silikatputz: Erhöhung der Festigkeit, geringere Verschmutzungsanfälligkeit	AEROSIL® 200 AERODISP® W 7520 P
Putz: Selbstreinigung, geringere Verschmutzungsanfälligkeit	AEROSIL® 200 AERODISP® W 7520 P AEROXIDE® TiO ₂ P 25 AERODISP® W 740 X
Kalkmörtel: Erhöhung der Festigkeit	AEROSIL® 200 SIPERNAT® 22 S, SIPERNAT® 350

Literaturverzeichnis

- [1] TB 11 Fine Particles; AEROSIL® Fumed Silica
- [2] Specialty Silica – Overview Brochure
- [3] Schlussbericht zu dem vom BMBF finanzierten Projekt:
Nanotechnologisch optimierter, langlebiger, energieeffizienter und insbesondere anwendungsfreundlicher Hochleistungsbeton, BMBF, 2012
- [4] TI 1351: SIPERNAT® Spezialkieselsäure und AEROSIL® pyrogene Kieselsäure als Fließhilfsmittel und Antibackmittel
- [5] TI 1360: SIPERNAT® and AEROSIL® – an Essential in Industrial Powder Technology
- [6] TI 1243: AEROXIDE®, AERODISP® and AEROPERL® Titanium Dioxide as Photocatalyst

Unsere Informationen entsprechen unseren heutigen Kenntnissen und Erfahrungen nach unserem besten Wissen. Wir geben sie jedoch ohne Verbindlichkeit weiter. Änderungen im Rahmen des technischen Fortschritts und der betrieblichen Weiterentwicklung bleiben vorbehalten. Unsere Informationen beschreiben lediglich die Beschaffenheit unserer Produkte und Leistungen und stellen keine Garantien dar. Der Abnehmer ist von einer sorgfältigen Prüfung der Funktionen bzw. Anwendungsmöglichkeiten der Produkte durch dafür qualifiziertes Personal nicht befreit. Dies gilt auch hinsichtlich der Wahrung von Schutzrechten Dritter. Die Erwähnung von Handelsnamen anderer Unternehmen ist keine Empfehlung und schließt die Verwendung anderer gleichartiger Produkte nicht aus.

AEROSIL®, AERODISP®, AEROXIDE® und SIPERNAT® sind eingetragene Marken der Evonik Degussa GmbH.



EVONIK
INDUSTRIES

Europa / Mittlerer Osten /
Afrika / Latein Amerika

Evonik Industries AG
Inorganic Materials
Rodenbacher Chaussee 4
63457 Hanau
Germany

TELEFON +49 6181 59-12532
TELEFAX +49 6181 59-712532
ask-si@evonik.com
www.evonik.com

Nordamerika

Evonik Corporation
Inorganic Materials
299 Jefferson Road
Parsippany, NJ 07054-0677
USA

TELEFON +1 888 745-4227
TELEFAX +1 732 981-5275
ask-si-nafta@evonik.com

Asien / Pazifik

Evonik (SEA) Pte. Ltd.
Inorganic Materials
3 International Business Park
#07-18, Nordic European Centre
Singapore 609927

TELEFON +65 6 809-6877
TELEFAX +65 6 809-6677
ask-si-asia@evonik.com

Evonik. Kraft für Neues.