

AEROXIDE® – Pyrogene Metalloxide



AEROXIDE® – Pyrogene Metalloxide

Neben AEROSIL® pygener Kieselsäure stellt Evonik seit vielen Jahren großtechnisch AEROXIDE® pyrogene Metalloxide, insbesondere pyrogenes Aluminiumoxid und pyrogenes Titandioxid her. Diese unterscheiden sich durch ihre hohe Reinheit, ihre Struktur und wertvolle anwendungstechnische Eigenschaften z. T. deutlich von entsprechenden, auf anderen Wegen gewonnenen Metalloxiden.

Die vorliegende Broschüre soll einen Überblick geben über die Herstellung, die Eigenschaften und die Anwendung dieser Produkte. Sie ersetzt damit in völlig überarbeiteter und aktualisierter Form die frühere Schriftenreihe Nr. 56, „Hochdi-

spere Metalloxide nach dem AEROSIL®-Verfahren“ und Schriftenreihe Nr. 80, „Titandioxid P 25 Herstellung – Eigenschaften – Anwendung“.

Wie die Marke AEROSIL® steht auch AEROXIDE® für Erfahrung, Forschergeist und eine Value-Added-Produkt-Philosophie. Diese Philosophie zeichnet sich aus durch exzellente Kundennähe, durch ein globales Produktions- und Vertriebsnetzwerk und damit ein Höchstmaß an Sicherheit und Zuverlässigkeit, innovative Technologien, breites Produktportfolio und Innovationskraft, Vertrauen und langjährige Geschäftsbeziehungen und nicht zuletzt das Streben nach kontinuierlicher Verbesserung.



Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1. Einleitung | 8 |
| <hr/> | |
| 2. Herstellung | 12 |
| <hr/> | |
| 2.1 Herstellungsprozess | 12 |
| 2.2 Mischoxide und Oxidgemische | 14 |
| 2.3 Oberflächenbehandelte Produkte | 15 |
| 2.4 AEROPERL® – granuliert pyrogene Oxide | 17 |
| 2.5 Dispergierung von AEROXIDE® pyrogenen Metalloxiden | 18 |
| | |
| 3. AEROXIDE® – pyrogene Aluminiumoxid Produkte | 22 |
| <hr/> | |
| 3.1 Aufbau und Eigenschaften | 22 |
| 3.2 Aluminiumoxidhaltige Mischoxidtypen und Oxidgemische | 25 |
| 3.3 Oberflächenbehandeltes Aluminiumoxid | 26 |
| 3.4 Granuliertes Aluminiumoxid | 27 |
| 3.5 Aluminiumoxid dispersionen | 28 |
| 3.6 Anwendungstechnische Effekte | 31 |
| 3.6.1 Fließhilfsmittel in pulverförmigen Stoffen | 31 |
| 3.6.2 Pulverlacke | 33 |
| 3.6.3 Lithium-Ionen-Batterien | 35 |
| 3.6.4 Ink-Jet-Papierbeschichtungen | 37 |
| 3.6.5 Leuchtstoffröhren | 39 |
| 3.6.6 Sonstige Anwendungen | 39 |
| | |
| 4. AEROXIDE® - pyrogene Titandioxid-Produkte | 42 |
| <hr/> | |
| 4.1 Aufbau und Eigenschaften | 42 |
| 4.2 Titandioxidhaltige Mischoxidtypen | 45 |
| 4.3 Oberflächenbehandeltes Titandioxid | 46 |
| 4.4 Granuliertes Titandioxid | 47 |
| 4.5 Titandioxid dispersionen | 49 |

| | |
|--|-----------|
| 4.6 Anwendungstechnische Effekte | 51 |
| 4.6.1 Katalysatorträger | 51 |
| 4.6.2 Photokatalytische Reaktionen | 52 |
| 4.6.3 Toner | 54 |
| 4.6.4 Hitzestabilisator für Silikone | 57 |
| 4.6.5 Sonstige Anwendungen | 59 |
| 5. Qualität und Produktsicherheit | 62 |
| 5.1 Qualitätskontrolle | 62 |
| 5.2 Produktsicherheit | 63 |
| 6. Handhabung und Verpackung | 66 |
| 6.1 Handhabung von AEROXIDE® Produkten | 66 |
| 6.2 Verpackungen von AEROXIDE® Produkten | 67 |
| 6.3 Lagerfähigkeit von AEROXIDE® | 68 |
| 6.4 Sicherheitstechnik | 69 |
| 6.5 Weltweite Verfügbarkeit | 70 |
| 7. Anhang | 74 |
| 7.1 Auflistung: physikalisch-chemische Kenndaten pyrogener Metalloxide | 74 |
| 7.2 Literaturverzeichnis | 77 |
| 7.3 Glossar | 78 |

Sind Sie wie Evonik Feuer und Flamme für innovative Metalloxide?

Einleitung



1
Einleitung

2
Herstellung

3
AEROXIDE®-
pyrogene Aluminiumoxid Produkte

4
AEROXIDE®-
pyrogene Titandioxid-Produkte

5
Qualität und Produktsicherheit

6
Handhabung und Verpackung

7
Anhang

1. Einleitung

Evonik ist einer der größten Hersteller von nanostrukturierten Metalloxiden, vertrieben unter dem Produktnamen AEROXIDE®. Das Unternehmen verfügt über große Erfahrung auf diesem Gebiet und hat das Herstellungsverfahren, die Hochtemperaturflammenhydrolyse, vor über 75 Jahren ursprünglich zur Herstellung von AEROSIL® pyrogener Kieselsäure entwickelt. Inzwischen wurde das Verfahren immer weiter optimiert und auf eine ganze Reihe anderer verdampfbarer Metallverbindungen übertragen.

Heute bietet Evonik eine Vielzahl von Oxiden und Mischoxiden u. a. von Silicium, Aluminium und Titan im industriellen Maßstab an. Das Einbringen von kleinen Mengen weiterer Oxide eröffnet

zusätzliche Anwendungsmöglichkeiten (Tabelle 1). Durch die besondere Herstellung der Oxide über die Hochtemperaturflammenhydrolyse (siehe Kapitel 2) zeichnen sich alle Verbindungen durch eine hohe Reinheit aus. Die Parameter des Erzeugungsprozesses lassen sich heute so exakt steuern, dass Größe und Morphologie der entstehenden Teilchen einstellbar sind. Verschiedene AEROXIDE®-Typen unterscheiden sich so z. B. bezüglich der Primärpartikelgrößenverteilung, der Struktur und der spezifischen Oberflächen. Zunächst fallen die pyrogenen Oxide immer als hydrophile Produkte an. An der Oberfläche der Partikel tragen sie OH-Gruppen, wodurch sie eine hohe Affinität zu Wasser aufweisen und sich daher vollständig benetzen lassen.

Die pyrogenen Metalloxide können durch Umsetzung der Hydroxygruppen an der Oberfläche mit Organosilanen nachbehandelt werden. Eine Auswahl der daraus resultierenden hydrophoben Metalloxide und deren Anwendung zeigt Tabelle 2.

Pyrogene Metalloxide stehen heute großtechnisch zur Verfügung. Sie erfüllen in vielfältigen Anwendungen wichtige Aufgaben: Als Hilfsstoffe sorgen sie für die funktionale Sicherheit von Prozessen und Produkten. Als Zusätze helfen sie, bestehende Eigenschaftsprofile zu verbessern und zu erweitern. Als reine Rohstoffe ermöglichen sie ganz neue Produkte.

Tabelle 1

Auswahl pyrogener hydrophiler Metalloxide und ihre Anwendungen

| Pyrogene Metalloxide | Produktnamen | Beispiele für Anwendungen |
|---|---|--|
| Pyrogene Kieselsäure (SiO ₂) | AEROSIL® pyrogene Kieselsäure | Free Flow Additiv, Rheologiesteuerung in Farben und Lacken, Polyesterharzen, Verstärkung für Silikone, Klebstoffe, Wärmeisolation, Kosmetik, etc. |
| Pyrogene Aluminiumoxide (Al ₂ O ₃) | AEROXIDE® Alu C, AEROXIDE® Alu 65, AEROXIDE® Alu 130 | Photo Ink-jet Papierbeschichtung, Leuchtstoffröhren, keramischer Binder, Pulverlacke, Additive für Li-Ionen Batterien, Fließhilfsmittel in pulverförmigen Stoffen, Polymerfolien |
| Pyrogene Titandioxide (TiO ₂) | AEROXIDE® TiO ₂ P 25, AEROXIDE® TiO ₂ P 90 | Katalysatorträger, Photokatalyse, Toner, Silikone, Additive für Li-Ionen Batterien |
| Pyrogene Siliciumdioxid-Aluminiumoxid Mischoxide | AEROSIL® MOX 80, AEROSIL® MOX 170 | Textil- und Papier-Beschichtungen, Gießereitechnik, Zellglas, Katalysatoren |
| Physikalische Mischungen von pyrogenem Siliciumdioxid und pyrogenem Aluminiumoxid | AEROSIL® COK 84 | Pigmentpasten, wasserbasierte Lacksysteme, wässrige Klebstoffe |
| Mit Eisenoxid dotierte Titandioxide | AEROXIDE® TiO ₂ PF 2 | Hitzestabilisierung für Silikone |

Tabelle 2

Auswahl hydrophober pyrogener Metalloxide und ihre Anwendungen

| Hydrophobe pyrogene Metalloxide | Produktname | Beispiele für Anwendungen |
|---|--|--|
| Pyrogene Kieselsäure (SiO ₂) | AEROSIL® R Typen | Kleb- und Dichtstoffe, Farb- und Lacksysteme, Toner, Entschäumer, Silikone, Schmierfette, etc. |
| Pyrogenes Aluminiumoxid (Al ₂ O ₃) | AEROXIDE® Alu C 805 | Pulverlacke, Toner, Additive für Li-Ionen Batterien, Kunststoffpulver, Polymerfolien |
| Pyrogenes Titandioxid (TiO ₂) | AEROXIDE® TiO ₂ T 805, AEROXIDE® TiO ₂ NKT 90 | Toner, Silikone |
| Pyrogene Siliciumdioxid-Titandioxid Mischoxide | AEROXIDE® STX 501, AEROXIDE® STX 801 | Toner |

Herausragende Merkmale pyrogener Metalloxide sind die hohe chemische Reinheit und die große spezifische Oberfläche.

Die spezifische Oberfläche ist auch eine Funktion der Dichte des Oxids selbst. Im Vergleich zu SiO₂ weisen die pyrogenen Metalloxide eine höhere Reindichte (eigentliche Materialdichte des jeweiligen Oxides) auf. Daher

müssen die Primärteilchen kleiner sein, um die gleiche spezifische Oberfläche zu erreichen.

In Tabelle 3 sind unterschiedliche Oxid-Typen im Vergleich mit den jeweiligen Reindichten dargestellt.

Tabelle 3

Zusammenhang zwischen Oxid-Typ und Dichte. Die hier genannten Daten sind typische Werte und stellen keine Spezifikation dar.

| Pyrogenes Oxid | BET Oberfläche in m ² /g | Reindichte in g/cm ³ |
|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| AEROSIL® 90 | 90 | 2,2 |
| AEROXIDE® Alu C | 100 | 3,4 |
| AEROXIDE® TiO ₂ P 90 | 90 | 3,9 |

Heute stehen pyrogene Metalloxide nicht nur als Pulver, sondern auch als verdichtete Pulver mit höherer Schüttdichte, als Granulate und in Form von Dispersionen zur Verfügung, was die Anwendungsmöglichkeiten erhöht und die Verarbeitbarkeit erleichtert.

Sie möchten hochwertige Partikel, die in einem einzigartigen Verfahren hergestellt werden?

Herstellung

Herstellungsprozess | Mischoxide und Oxidgemische | Oberflächenbehandelte Produkte | AEROPERL® – granuliert pyrogene Oxide | Dispergierung von AEROXIDE® pyrogenen Metalloxiden



1
Einleitung

2
Herstellung

3
AEROXIDE®-
pyrogene Aluminiumoxid Produkte

4
AEROXIDE®-
pyrogene Titandioxid-Produkte

5
Qualität und Produktsicherheit

6
Handhabung und Verpackung

7
Anhang

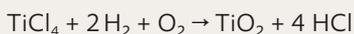
2. Herstellung

2.1 Herstellungsprozess

Beim klassischen pyrogenen Prozess werden alle Edukte in die Gasphase überführt und als homogenes Gasgemisch der Knallgasflamme zugeführt. Zur Herstellung von pyrogenen Kieselsäure werden nach dieser Methode Chlorsilane, wie z. B. Siliciumtetrachlorid zu Siliciumdioxid umgesetzt. Auch andere Metallchloride lassen sich verdampfen und werden in einem Verfahren, das dem Herstellprozess von AEROSIL® ähnelt, zu Metalloxiden umgesetzt (Abbildung 1).

Wie bei der Herstellung von Siliciumdioxid lassen sich auch für die Herstellung anderer pygener Oxide in der Knallgasflamme ($2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$) einfache Reaktionen formulieren, wie hier an den Beispielen von Titandioxid und Aluminiumoxid gezeigt:

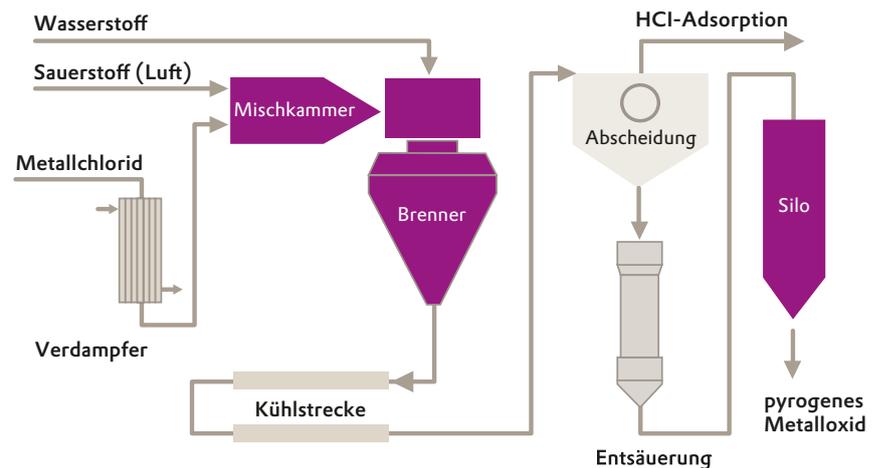
Als Nebenprodukt fällt bei beiden



Beispielen Chlorwasserstoffgas an.

Der Prozessverlauf ist in Abbildung 1 schematisch gezeigt. Das Metallhalogenid, in der Regel ein Metallchlorid, muss im ersten Verfahrensschritt in die Gasphase überführt werden, dann wird der gasförmige Rohstoff mit Luft und Wasserstoff gemischt. Das homogene Gasgemisch wird dem Brenner zugeführt und die Hydrolyse

Abbildung 1



Prozess zur Herstellung von AEROXIDE® pyrogenen Metalloxiden (Fließschema)

des Metallhalogenids findet statt. Die Bildung des pyrogenen Metalloxids ist in der Flamme bereits nach dem Bruchteil einer Sekunde abgeschlossen. Das pyrogene Oxid fällt als Feststoff in einem Gemisch aus heißen Gasen an. Das entstandene Aerosol wird zunächst abgekühlt, bevor im nächsten Verfahrensschritt die Trennung des Feststoffs von den korrosiven Gasen erfolgt. In einem letzten Verfahrensschritt, der Entsäuerung, wird verbliebener Chlorwasserstoff von der Oberfläche des Metalloxids entfernt. Das hydrophile Endprodukt kann anschließend verpackt werden. Das anfallende Chlorwasserstoffgas des Abgasstromes kann als Rohstoff zur Synthese von Chlorsilanen verwendet werden. Somit fallen bei dem Prozess zur Herstellung von Metalloxiden keine Nebenprodukte an.

In verschiedenen Forschungsarbeiten wurde das Verfahren bereits auf zahlreiche Metalle und Halbmetalle übertragen. Die Voraussetzung ist immer die Verdampfbarkeit des als Edukt eingesetzten Metallhalogenids. Kommerziell erhältlich sind derzeit die Oxide von Aluminium und Titan.

Die wichtigsten Eigenschaften der AEROXIDE®-Produkte werden bereits in der Flamme festgelegt. Der Herstellprozess kann durch Variieren der Konzentration der Reaktionspartner, der Flammtemperatur und der Verweilzeit des Gases im Verbrennungsraum gesteuert werden. Dabei werden die Teilchengröße, die Teilchengrößenverteilung, die spezifische Oberfläche und die Oberflächenbeschaffenheit der pyrogenen Hydrolyseprodukte beeinflusst. Je nach Prozessführung kann

man also unterschiedliche AEROXIDE® Produkte erhalten.

Die Struktur von pyrogenen Oxiden lässt sich vereinfacht mit einem „Tröpfchenmodell“ erklären (Abbildung 2). Für dieses stark vereinfachte Modell gilt die Annahme, dass die Reaktionsgase die Flamme als einen Raum mit zunächst stark ansteigender und dann absinkender Temperatur durchlaufen.

In der Flamme bilden sich mit Beginn der Hydrolyse kleinste Tröpfchen (Nukleide) aus dem jeweiligen Metalloxid. Dem Modell nach kollidieren die Nukleide miteinander und verschmelzen zu größeren Tröpfchen. Diese größeren Tröpfchen können ebenfalls

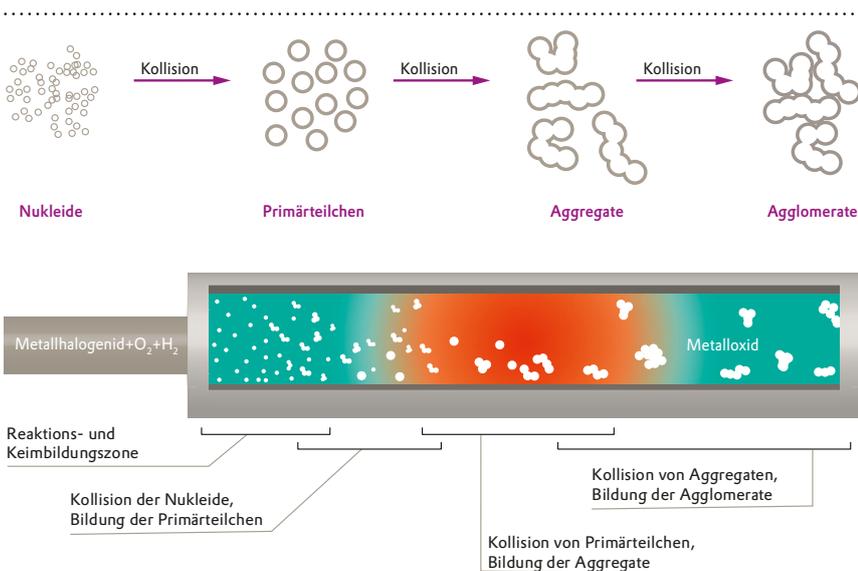
kollidieren und stetig an Größe und Gewicht gewinnen. Es kommt zur Abnahme der Anzahl der Tröpfchen und somit auch zur Abnahme der Stoßhäufigkeit. Es wird vorausgesetzt, dass die Flamme heiß genug ist, damit die Tröpfchen in flüssigem Zustand vollständig koaleszieren. Zum Bildungsmechanismus pygener Oxide siehe auch Literatur [1] [2]. Sobald die Tröpfchen in einen kälteren Bereich der Flamme gelangen, erhärten sie teilweise. Kollisionen zwischen diesen Tröpfchen (= Primärteilchen) führen dann nicht mehr zum vollständigen Verschmelzen zu größeren Tropfen. Es kommt lediglich zum partiellen Zusammenschmelzen der Primärteilchen. Es bilden sich Aggregate, die aus den Primärteilchen (den anfänglichen

Tröpfchen) bestehen. Die Aggregate erhärten in kälteren Bereichen der Flamme vollständig. Bei Kollisionen von Aggregaten ist nun auch ein nur teilweises Verschmelzen nicht mehr möglich. Stattdessen lagern sich die Aggregate, nur durch schwache Wechselwirkungen vermittelt, aneinander. Es kommt zur Bildung der Agglomerate.

Durch geeignete Verfahrensführung lassen sich hochreine Metalloxide mit speziellen Eigenschaftsprofilen herstellen. Im Gegensatz zur pyrogenen Kieselsäure, welche amorph ist, fallen die Oxide von Aluminium und Titan (teil) kristallin an. Die anteilige Zusammensetzung der vorliegenden Kristallphasen kann in weiten Bereichen über die Prozessführung gesteuert werden.

Evonik versteht und nutzt den pyrogenen Prozess als ein flexibles und variables Verfahren. Aus den entsprechenden Vorstufen lassen sich pyrogene Oxide vieler Elemente des Periodensystems mit besonderen Eigenschaften in hoher Reinheit herstellen.

Abbildung 2



Einfaches Modell der Partikelgenese in der Flamme schematisch dargestellt

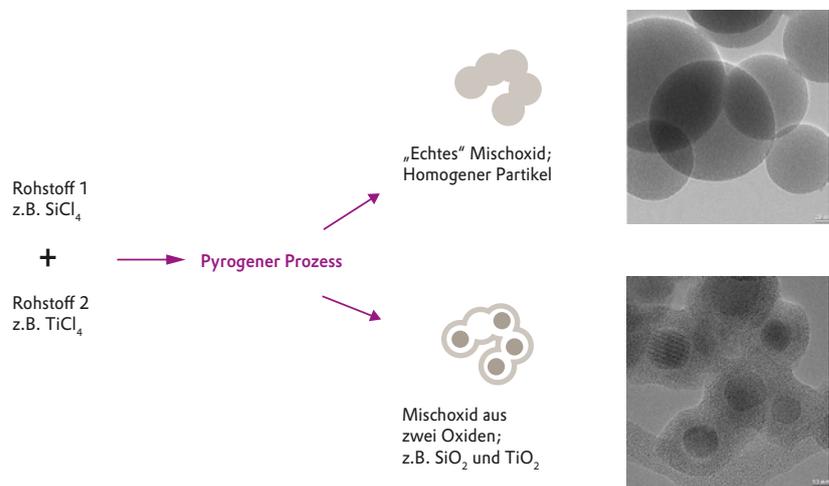
2.2 Mischoxide und Oxidgemische

Die Flexibilität des pyrogenen Prozesses erlaubt auch die direkte Herstellung von echten Mischoxiden in einem simultanen Prozessschritt. Dazu werden der Flamme mehrere Edukte (z. B. SiCl_4 und TiCl_4) zugeführt, die dann gleichzeitig hydrolysiert werden und so ein Mischoxid bilden. Je nach Auswahl der Edukte und der eingestellten Flammenparameter können sehr unterschiedliche Produkte mit besonderen Eigenschaften hergestellt werden.

Die Zusammensetzung der Mischoxide kann über weite Bereiche des Molenbruches eingestellt werden. Der Aufbau des Oxidpartikels wird durch die gewählte Zusammensetzung stark beeinflusst. Durch Zugabe einer nur geringen Menge eines zweiten Ausgangsstoffes, entstehen meist homogene Teilchen. In diesen liegt das in geringer Menge vorliegende Metalloxid/Metallion homogen verteilt in der Basisoxidmatrix vor (Abbildung 3, obere Aufnahme).

Mischoxide mit höheren Anteilen eines zweiten Metalloxids können ebenfalls hergestellt werden, wenn die zweite Komponente in einem entsprechend höheren Anteil der Flamme zudosiert wird. Dabei können dann homogene Partikel (Primärpartikel oder Aggregate) oder auch Partikel in denen Bereiche mit unterschiedlichen Stöchiometrien vorliegen, erhalten werden. Es ist also auch möglich, spezielle Morphologien in der Flamme zu erzeugen. Bekannt sind hier vor allem Kern-Hülle-Strukturen z. B. bei Siliciumdioxid-Titandioxid-Mischoxiden. Ein kristalliner Titandioxidkern wird dabei

Abbildung 3



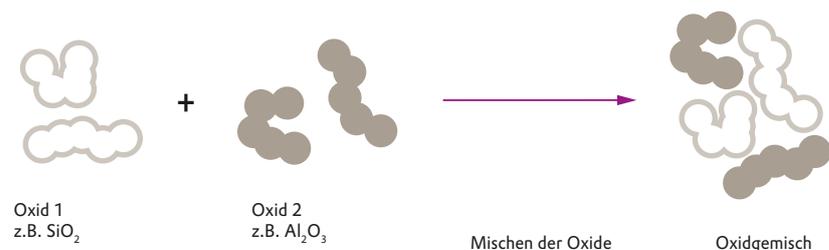
Mischoxide und Kern-Hülle-Morphologie

von einer amorphen Siliciumdioxidschicht umhüllt (Abbildung 3: untere Aufnahme).

Wie bereits erwähnt, müssen Mischoxide, wie sie in der Flamme entstehen können, von Oxidgemischen unterschieden werden. Oxidgemische sind physikalische Mischungen von pyrogenen Oxiden. Hier werden die Oxide unabhängig voneinander hergestellt und anschließend in einem

Mischvorgang zu einem Oxidgemisch vereinigt. Die zwei Ausgangsoxide verwachsen dabei nicht, daher bestehen die Primärpartikel und Aggregate jeweils nur aus einem Oxidtyp. Die Agglomerate hingegen können aus beiden Oxidtypen bestehen. Schematisch wird die Herstellung eines Oxidgemisches in Abbildung 4 verdeutlicht. Der wichtige Unterschied zwischen Mischoxiden und Oxidgemischen wird in Abbildung 5 dargestellt.

Abbildung 4



Ein Oxidgemisch wird durch Mischen von zwei pyrogenen Oxiden gebildet

Abbildung 5



Vergleich von Mischoxiden und Oxidgemischen

Die Unterschiede im Aufbau zwischen pyrogenen Mischoxiden und pyrogenen Oxidgemischen führen zum Teil zu gegenläufigen anwendungstechnischen Effekten.

Beispiele für Mischoxidprodukte sind die $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ -Mischoxide AEROSIL[®] MOX 80, AEROSIL[®] MOX 170 und die $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ -Mischoxide VP TiO₂ 1580 S und VP TiO₂ 545 S.

Im AEROXIDE[®] TiO₂ PF 2 liegt Titan-dioxid mit 1–3 % Eisenoxid vor.

Ein Beispiel für ein Oxidgemisch ist AEROSIL[®] COK 84, welches aus 84 % einer pyrogenen Kieselsäure und 16 % eines pyrogenen Aluminiumoxides besteht.

Details zu den Eigenschaften der Mischoxide sind in den Kapiteln 3.2 und 4.2 zu finden.

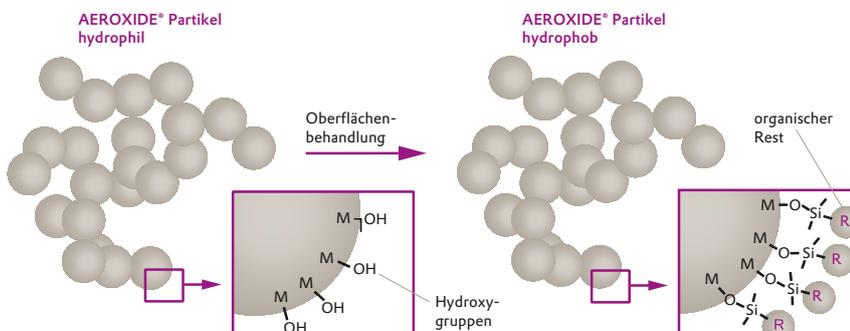
2.3 Oberflächenbehandelte Produkte

Bei den bisher beschriebenen Produkten handelt es sich um Verbindungen, die direkt aus dem pyrogenen Prozess gewonnen werden. Aufgrund der frei zugänglichen Hydroxygruppen (z. B. Si-OH, Ti-OH oder Al-OH) auf der Partikeloberfläche, sind die so erzeugten Produkte hydrophil – lassen sich

also mit Wasser benetzen. Für etliche Anwendungen, in denen spezielle Eigenschaften benötigt werden, bedarf es eines Nachbehandlungsschrittes: hydrophile pyrogene Oxide können so umgewandelt werden, dass sie wasserabweisend also hydrophob werden.

Das hydrophobe Verhalten kommt durch die Reaktion von hydrophilen Hydroxygruppen mit organischen Resten zustande (Abbildung 6). Diese organischen Gruppen sind nach dem Behandlungsschritt fest auf der Oberfläche verankert (kovalent gebunden). Diese Oberflächenmodifikation kann nicht rückgängig gemacht werden, ohne die Struktur des pyrogenen Oxides insgesamt zu verändern.

Abbildung 6



Schematische Darstellung der Umsetzung eines hydrophilen zu einem hydrophoben Metalloxid mit $M = \text{Al}$ oder Ti .

Auf den ersten Blick unterscheiden sich hydrophile und hydrophobe pyrogene Metalloxide nicht voneinander, beide sind feinteilige, weiße Pulver. Bei genauerer Betrachtung, z. B. bei Mischungsversuchen mit Wasser zeigen sich jedoch die elementaren Unterschiede: Während hydrophile Produkte vollständig mit Wasser benetzbar sind, können hydrophobe Produkte nicht mit Wasser vermischt werden (Abbildung 7).

Dieses wasserabweisende Verhalten entsteht durch die Verankerung von organischen Resten auf der Oberfläche des pyrogen hergestellten Metalloxids. Die nachfolgende Abbildung 8 zeigt beispielhaft die Oberflächengruppen der hydrophoben Metalloxide AEROXIDE® Alu C 805 und AEROXIDE® TiO₂T 805:

Neben Alkylgruppen lassen sich aber auch komplexere organische Verbindungen, die funktionelle Gruppen aufweisen können, auf der Oberfläche verankern.

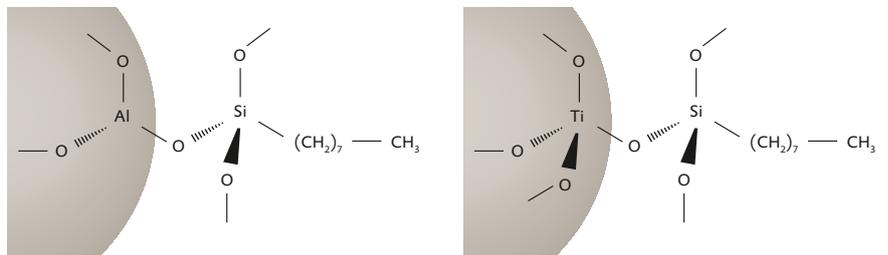
Durch die Oberflächenbehandlung resultieren vollkommen andere physikalisch-chemische Eigenschaften verglichen mit nicht-nachbehandelten AEROXIDE®-Produkten. Dies erweitert die Einsatzmöglichkeiten von pyrogenen Metalloxiden, und es ergeben sich Anwendungsfelder in verschiedensten industriellen Bereichen z. B. für Silikone, Tonerprodukte, Pulverlacke, Kunststoffpulver und viele weitere.

Abbildung 7



Wasser mit hydrophilem (links) und hydrophobem (rechts) pyrogenem Metalloxid

Abbildung 8



Auswahl von zwei hydrophoben AEROXIDE® Typen mit den jeweiligen Oberflächengruppen.

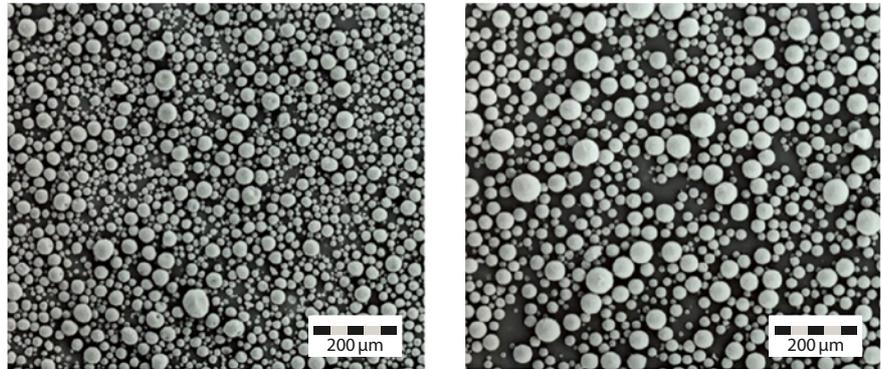
2.4 AEROPERL® – granuliert pyrogene Oxide

Eine weitere Produktgruppe aus dem umfangreichen Portfolio an pyrogenen Oxiden von Evonik sind die AEROPERL® Typen. Hierbei handelt es sich um Granulate. Durch ein speziell auf pyrogene Oxide abgestimmtes Granulationsverfahren ist es möglich, Granulate zu erzeugen, deren mittlere Partikelgröße im Bereich von ca. 10–40 µm liegt. Die Kugelform der Granulate, unabhängig von der chemischen Zusammensetzung, lässt sich gut in Abbildung 9 erkennen (links das auf Titandioxid basierende Material, rechts das aus Aluminiumoxid).

AEROPERL® Typen zeichnet sich vor allem durch hervorragende Fließeigenschaften, gute Einarbeitbarkeit und staubarme Handhabung aus, wodurch sich die Einsatzmöglichkeiten von pyrogenen Oxiden erheblich erweitern. Die nachfolgende Abbildung 10 zeigt die Fließeigenschaften von AEROXIDE® TiO₂ P 25 und des entsprechenden Granulats VP AEROPERL® P 25/20.

Durch das Herstellungsverfahren ist auch für das Granulat eine hohe Reinheit gewährleistet. Im Gegensatz zu den pulverförmigen AEROXIDE® Ausgangsmaterialien weisen die AEROPERL® Produkte eine Porenstruktur auf. Aufgrund dieser „inneren Porosität“ sind sie in der Lage, große Mengen verschiedenster Substanzen aufzunehmen und somit beispielsweise als Trägermaterial zu fungieren. Die Porosität kommt durch Meso- und Makroporen zustande. Der Anteil der Mikroporen liegt unter der Nachweisgrenze (Tabelle 4).

Abbildung 9



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von VP AEROPERL® P 25/20 (links) und VP AEROPERL® Alu 100/30 (rechts)

Abbildung 10



Fließeigenschaften von AEROXIDE® TiO₂ P 25 (links) und VP AEROPERL® P 25/20 (rechts)

Im Vergleich zu den entsprechenden AEROXIDE® Produkten mit der gleichen spezifischen Oberfläche (BET) ist die Stampfdichte bis zu zehnfach erhöht, was für Transport und Lagerung dieser Produkte vorteilhaft ist. Bessere Handhabung und schnellere Einarbeitung erweitern die Einsatzmöglichkeiten dieser Produkte.

Anwendungen für AEROPERL® pyrogene Metalloxidgranulate finden sich z. B. in der Katalysatorherstellung, in der Keramik- und in der Papierindustrie. Weitere Informationen zu den AEROPERL® Produkten sind in den Kapiteln 3.4 und 4.4 dieser Broschüre, sowie in der Technischen Information 1341 zu finden [3].

Tabelle 4

Porenvolumina von ausgewählten AEROPERL® Produkten. Die hier genannten Daten sind typische Werte und stellen keine Spezifikation dar.

| Porenvolumen | Einheit | VP* AEROPERL® P 25/20 | VP* AEROPERL® Alu 100/30 | AEROPERL® 3375/20 |
|--|--------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------|
| Mesoporen, bestimmt durch BJH (2–50 nm) | cm ³ /g | ca. 0,4 | ca. 1,0 | ca. 1,0 |
| Makroporen, bestimmt durch Hg-Intrusion (50 nm–1 µm) | cm ³ /g | ca. 0,2 | ca. 0,3 | ca. 0,1 |

*VP = Entwicklungsprodukt. Die Kommerzialisierung ist abhängig von der Rückmeldung des Marktes.

2.5 Dispergierung von AEROXIDE® pyrogenen Metalloxiden

In einer Vielzahl von Anwendungen wird das pyrogene Metalloxid in einer flüssigen Formulierung verwendet. Dazu muss das pulverförmige Material in einer flüssigen Phase homogen dispergiert werden. Im folgenden Abschnitt wird die Dispergierung von AEROXIDE® pyrogenen Metalloxiden im Detail beschrieben. Außerdem bietet Evonik kommerziell bereits dispergierte AEROXIDE® Typen unter dem Markennamen AERODISP® an. Details zu den AERODISP® Typen finden sich in den Kapiteln 3.5 und 4.5 zu den jeweiligen Metalloxiden.

Bedingt durch die spezielle Teilchenstruktur/-morphologie ist die Stampfdichte von pyrogen erzeugten Metalloxiden relativ niedrig. Um Staubbildung zu vermeiden müssen diese lockeren Pulver sehr sorgfältig gehandhabt werden. Prinzipiell ist zwar auch die manuelle Zugabe von Pulvern z. B. aus Säcken zur flüssigen Phase möglich, dann sollte jedoch für eine ausreichende Absaugung der entstehenden Stäube gesorgt werden. Staubbärmer

lassen sich die Produkte mit Hilfe eines Saugrohres direkt aus der Verpackung in entsprechende Ansatzbehälter fördern. Geeignete Aggregate sind z. B. von der Firma Ystral (Leitstrahlmischer mit Produkteinsaugung, oder Aggregate der Conti TDS Reihe) erhältlich. Um gelöste Gase in der Dispersion zu vermeiden und aus Sicherheitsbetrachtungen im Rahmen des Explosionsschutzes empfiehlt sich der Einsatz eines Vakuumdissolvers. Detaillierte Information finden Sie in unserer Technischen Information 1279 [4].

Um das Produkt bei der Dispergierung zu desagglomerieren, muss Energie aufgewendet werden. (Zur Struktur von AEROXIDE® pyrogenen Metalloxiden siehe auch Abbildung 2). Diese Energie kann in Form von Scherenergie oder direktem Prallkontakt eingebracht werden. In einem milden Rührprozess sind nur geringe Energieeinträge möglich. Ein Dissolver kann bei richtiger Fahrweise zur Desagglomeration genutzt werden. Hierzu ist es erforderlich, die optimale

Viskosität einzustellen. Die Viskosität einer Dispersion ist zum einen von der Viskosität der verwendeten Flüssigkeit abhängig, zum anderen von der Konzentration, der spezifischen Oberfläche sowie der Struktur des Pulvers.

Die optimale Viskosität ist bei der Dissolverdispergierung dann erreicht, wenn der sogenannte „Donut Effekt“ eintritt. Bei richtiger Auslegung des Dissolvers (Durchmesser des Behälters, Durchmesser der Dissolverscheibe und Abstand der Dissolverscheibe vom Boden), ausreichender Drehzahl und steigender Konzentration wird bei der Betrachtung der Oberfläche der Dispersion im Behälter eine Produktwulst in Form eines „Donut“ sichtbar (Abbildung 11).

Auch bei der Dispergierung mit anderen Dispergieraggregaten wie Rotor/Stator, Kugelmöhlen, Homogenisatoren oder Knetern ist immer auf den für das Verfahren und das genutzte Aggregat optimalen Viskositätsbereich zu achten.

Abbildung 11



Dissolverdispersion mit sichtbarem „Donut Effekt“

Sind die herrschenden Energiedichten ausreichend hoch, so kann auch die Aggregatstruktur des Pulvers teilweise aufgebrochen werden; dabei entstehen kleinere Aggregate. Hierzu eignen sich z. B. Perlmühlen mit sehr kleinen Mahlkörpern ($< 0,5$ mm), die mit einer ausreichend langen Vermahldauer und hoher Mahlenergie bereits in der Lage sind, Dispersionen mit einer mittleren Teilchengröße von unter 100 nm zu erzeugen. In vielen praxisrelevanten Beispielen liegt die Aggregatgröße zwischen 100 und 500 nm. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass auch die Oberfläche der Mahlkugeln nicht mehr zu vernachlässigen ist und das Mahlkugelmateriale das Produkt kontaminieren kann.

Eine gute Dispergierung allein ist jedoch noch nicht ausreichend, um eine langzeitstabile Dispersion herzustellen. Eine wichtige Rolle für die Stabilität spielt unter anderem die Oberflächenladung der dispergierten Partikel. Abbildung 12 zeigt die Zetapotentiale für Siliciumdioxid, Aluminiumoxid

und Titandioxid in Abhängigkeit vom pH Wert. Am isoelektrischen Punkt ist keine Abstoßung der dispergierten Teilchen durch gleiche elektrische Ladung vorhanden und daher die Gefahr der Reagglomeration am größten. Oftmals muss durch Additive dafür gesorgt werden, dass auch nach der Vermahlung der Partikel die erreichte Feinheit erhalten bleibt und diese nicht reagglomerieren. Diese Additive können die Zetapotentiale der dispergierten Partikel verändern oder auch eine sterische Stabilisierung bewirken.

Nicht für alle Kunden lohnt sich dieser verfahrenstechnische Aufwand und das Auffinden geeigneter Additive. Evonik bietet daher eine breite Palette pyrogener Kieselsäure Typen und Metalloxide in bereits dispergierter Form in wässriger oder lösungsmittelbasierter Phase unter der Bezeichnung AERODISP® an.

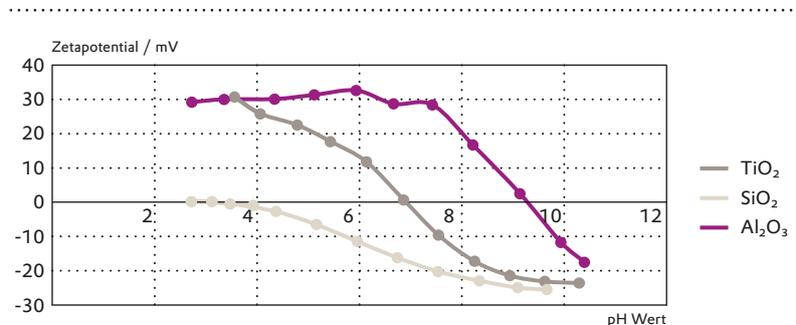
Durch gezielte Kombination von Dispergiertechnologien, mit dem Know-How zur Verwendung von Additiven als Stabilisatoren sowie Zusätzen zur Oberflächenmodifikationen kann eine breite Palette

an stabilen Dispersionen mit hohem Feststoffgehalt angeboten werden.

Darüber hinaus hat Evonik eine spezielle Hochenergievermahlung entwickelt. Diese erlaubt es, kontaminationsfrei Dispersionen herzustellen, bei denen die Aggregate der pyrogenen Metalloxide bis in den Bereich unter 100 nm zerkleinert sind. Diese AERODISP® Typen sind durch ein „X“ in der Produktbezeichnung kenntlich gemacht. Ein wesentlicher Vorteil der hochenergievermahlten Dispersionen ist der hohe Feststoffgehalt bei gleichzeitig niedriger Viskosität. Beispiele für diese Produktklasse sind die Aluminiumoxid dispersion AERODISP® W 640 ZX oder die Titandioxid dispersion AERODISP® W 740 X. Details zu diesen Dispersionen sind in den Kapiteln 3.5 und 4.5 zu finden.

Weitere Informationen über die Dispersionen von Evonik finden Sie in der Produktübersicht zu AERODISP® Produkten [5].

Abbildung 12



Zetapotentialkurven von reinem AEROXIDE® Alu C, AEROXIDE® TiO₂ P 25 und AEROSIL® 200, jeweils in 10 %iger Dispersion in VE-Wasser.

Sie wollen ein Aluminiumoxid mit den einzigartigen Eigenschaften eines pyrogenen Materials?

AEROXIDE® – pyrogene Aluminiumoxid Produkte

Aufbau und Eigenschaften | Aluminiumoxidhaltige Mischoxidtypen und Oxidgemische | Oberflächenbehandeltes Aluminiumoxid | Granuliertes Aluminiumoxid | Aluminiumoxid dispersionen | Anwendungstechnische Effekte



.....
1
Einleitung
.....

2
Herstellung
.....

3
AEROXIDE®-
pyrogene Aluminiumoxid Produkte
.....

4
AEROXIDE®-
pyrogene Titandioxid-Produkte
.....

5
Qualität und Produktsicherheit
.....

6
Handhabung und Verpackung
.....

7
Anhang
.....

3. AEROXIDE® – pyrogene Aluminiumoxid Produkte

3.1 Aufbau und Eigenschaften

Aluminiumoxid kommt hauptsächlich in zwei Modifikationen vor. In der thermodynamisch stabilen α -Form und in der metastabilen γ -Form. Die letztgenannte kann kristallographisch in die γ -, δ - und θ -Untergruppen unterteilt werden. Die α -Form entsteht, wenn Aluminiumoxid auf mehr als 1250 °C erhitzt wird. Die anderen Formen entstehen z. B. durch Wasserabspaltung aus Aluminiumhydroxiden bei weniger als 1000 °C. Im γ -Aluminiumoxid bilden die Sauerstoffionen eine kubisch dichteste Kugelpackung, deren Oktaeder- und Tetraederlücken statistisch mit Aluminiumionen besetzt sind (spinell-ähnlich). Das α -Aluminiumoxid basiert hingegen auf einer hexagonal dichtesten Kugelpackung, in der 2/3 der Oktaederlücken Aluminiumionen enthalten.

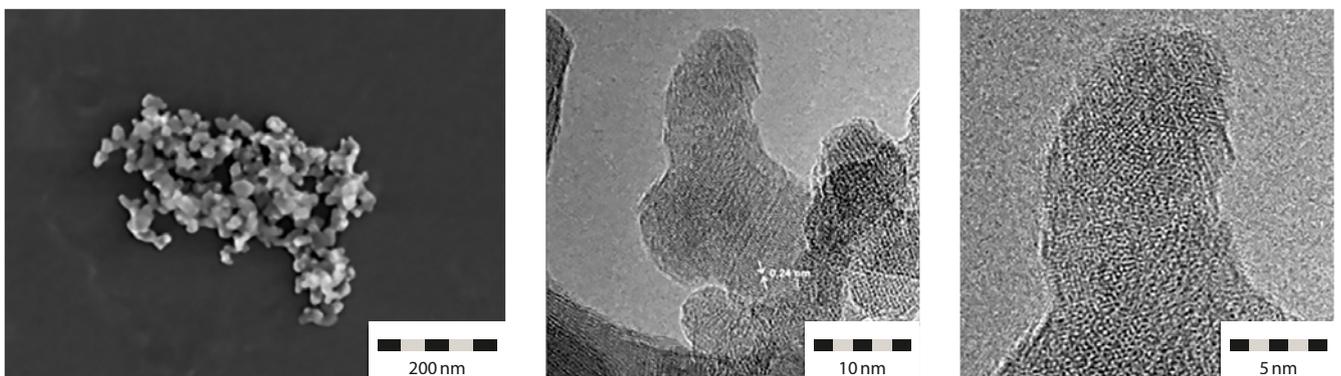
Seit 1953 produziert Evonik (ehemals Degussa) AEROXIDE® Alu C nach dem pyrogenen Verfahren. Dieses Material hat eine spezifische Oberfläche von etwa 100 m²/g und wird für eine vielfältige Anzahl unterschiedlicher Anwendungen eingesetzt (siehe Abschnitt 3.6). Um noch besser auf die verschiedenen Anforderungen der Kunden eingehen zu können, bietet Evonik außerdem mit AEROXIDE® Alu 65 und AEROXIDE® Alu 130 sowohl ein Produkt mit niedrigerer als auch ein Produkt mit höherer spezifischer Oberfläche an. Die kurzen Verweilzeiten in der Knallgasflamme schließen die Bildung von α -Aluminiumoxid aus. In den Produkten AEROXIDE® Alu C, AEROXIDE® Alu 65 und AEROXIDE® Alu 130 werden die Übergangsphasen γ , δ und θ in verschiedenen Verhält-

nissen gefunden. Diese Kristallstrukturen sind metastabil und können bei ausreichend hoher Temperatur in α -Aluminiumoxid übergehen.

Tabelle 5 listet die physikalisch-chemischen Daten der Produkte im Vergleich auf. Abbildung 13 zeigt den Aufbau von AEROXIDE® Alu C anhand von REM und TEM Aufnahmen. Es ist deutlich sichtbar, dass kristalline Primärpartikel zu größeren Struktureinheiten zusammengelagert sind.

Die im pyrogenen Prozess hergestellten Aluminiumoxide unterscheiden sich hauptsächlich durch ihre fraktale Struktur von Aluminiumoxiden alternativer, insbesondere wässriger Routen. Die durch Fällung von Aluminiumhydroxid aus Aluminat-Lösung und anschlie-

Abbildung 13



REM Bild (links) und (HR)TEM Aufnahmen (mittig und rechts) von AEROXIDE® Alu C. Die einzelnen Kristallebenen sind deutlich zu erkennen. [6]

Tabelle 5

Physikalisch-chemische Daten der pyrogenen Aluminiumoxide. Die hier genannten Daten sind typische Werte und stellen keine Spezifikation dar.

| Eigenschaft | Einheit | AEROXIDE® Alu 65 | AEROXIDE® Alu C | AEROXIDE® Alu 130 |
|--|-------------------|------------------|-----------------|-------------------|
| BET Oberfläche | m ² /g | 55–75 | 85–115 | 110–150 |
| pH-Wert (4% aq. Dispersion) | | 4,5–6,0 | 4,5–5,5 | 4,4–5,4 |
| Trocknungsverlust (2h @ 105 °C) | % | ≤ 5,0 | ≤ 5,0 | ≤ 5,0 |
| Stampfdichte | g/l | ca. 50 | ca. 50 | ca. 50 |
| Gehalt an Al ₂ O ₃ | % | ≥ 99,8 | ≥ 99,8 | ≥ 99,8 |

ßender Kalzinierung hergestellten Aluminiumoxide bestehen aus kompakten Teilchen in der Größenordnung von Mikrometern. Hochoberflächige Aluminiumoxid/Aluminiumhydroxid-Gele (z. B. Pseudo-Böhmit) weisen im Gegensatz zu AEROXIDE® Alu C einen hohen Anteil an innerer Oberfläche sowie eine deutlich andere Struktur auf.

Pyrogenes Aluminiumoxid hat auf der Oberfläche Hydroxygruppen, die in Wasser schwach alkalisch reagieren. IR-spektroskopisch können bei einem hydratisierten Aluminiumoxid fünf verschiedene Arten von OH-Gruppen nachgewiesen werden, die sich durch die Anzahl der benachbarten Sauerstoffatome unterscheiden.

Bei vollständiger Entfernung des Wassers befinden sich an der Teilchenoberfläche Aluminiumionen, die von fünf Sauerstoffionen koordiniert sind und LEWIS-Säurezentren darstellen. Sie können LEWIS-Basen (z. B. Pyridin) anlagern oder durch Aufnahme von Wasser wieder Hydroxygruppen bilden.

Ein entscheidender Unterschied von pyrogenem Aluminiumoxid zu pyrogener Kieselsäure ist die kationische (positive) Oberflächenladung über einen sehr großen pH-Bereich (siehe Abschnitt 2.5, Abbildung 12). Dies wird in einigen Anwendungen (siehe Abschnitt 3.6) genutzt.

Die Hydroxygruppen auf den Aggregatoberflächen sind auch für die Verdickungs- und Thixotropierungswirkung von pyrogenen Aluminiumoxiden in Flüssigkeiten verantwortlich. Die einzelnen Teilchen treten dabei über die Hydroxygruppen miteinander in Wechselwirkung und bilden ein dreidimensionales Netz aus, das sich

mechanisch durch Rühren oder Schütteln abbauen lässt und im Ruhezustand rekombiniert. In unpolaren Flüssigkeiten ist dieser Effekt besonders stark ausgeprägt. Dieser Verdickungsmechanismus wurde ursprünglich für AEROSIL® postuliert und hat sich dort als brauchbare Arbeitsgrundlage erwiesen.

Zur Verdickung und Thixotropierung von polaren Flüssigkeiten hat sich eine Kombination von AEROSIL® und AEROXIDE® Alu C bewährt. Auch in diesem Falle wird ein Raumnetz gebildet, jedoch dürfte die Wechselwirkung zwischen den unterschiedlichen Teilchen elektrostatischer Natur sein, da sich die AEROSIL®-Teilchen durch Dissoziation der sauren Silanolgruppen im Gegensatz zum AEROXIDE® Alu C negativ aufladen. Durch die Wechselwirkung von anionischen und kationischen Oberflächen sind die

mechanisch durch Rühren oder Schütteln abbauen lässt und im Ruhezustand rekombiniert. In unpolaren Flüssigkeiten ist dieser Effekt besonders stark ausgeprägt. Dieser Verdickungsmechanismus wurde ursprünglich für AEROSIL® postuliert und hat sich dort als brauchbare Arbeitsgrundlage erwiesen.

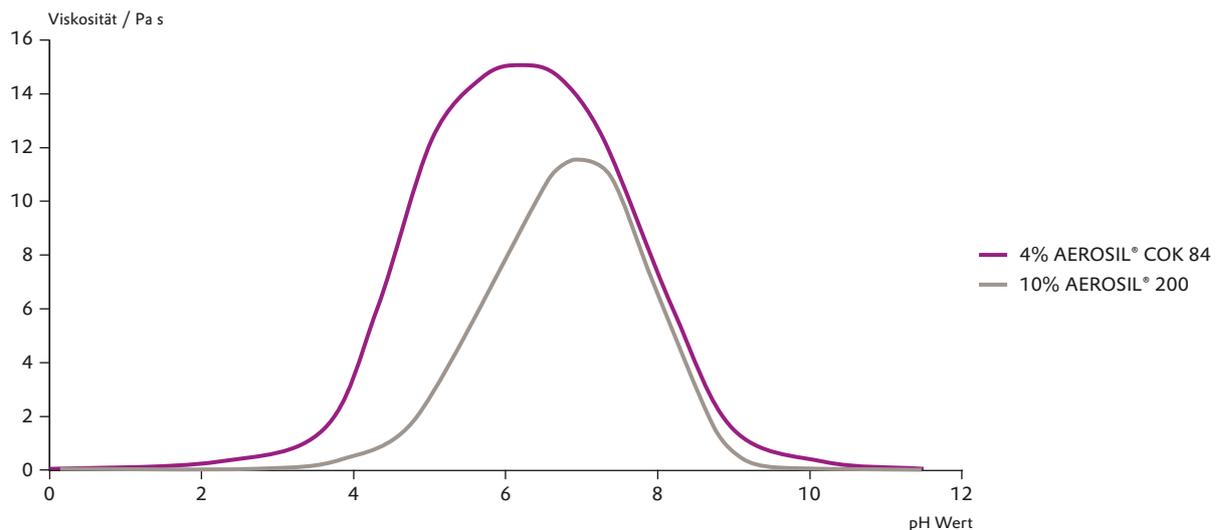
wirkenden Kräfte hier besonders groß. Dieser Effekt kann besonders gut erreicht werden mit Hilfe von AEROSIL® COK 84, einer fertig vorbereiteten physikalischen Mischung von pygener Kieselsäure und pyrogenem Aluminiumoxid. (Abbildung 14). In anderen Flüssigkeiten oder flüssigen Systemen muss das Mischungsver-

hältnis mit der größtmöglichen Wirksamkeit von Fall zu Fall neu ermittelt werden.

Auch im trockenen Zustand neigt AEROXIDE® Alu C im Gegensatz zu AEROSIL® zu einer elektrostatisch positiven Aufladung. Eine Erklärung hierfür ist die hohe Dielektrizitäts-

konstante von etwa 5. Gemäß der Coehnschen Regel lädt sich beim Kontakt zweier Stoffe derjenige mit der höheren Dielektrizitätskonstante elektrisch positiv auf. Dieser Effekt spielt in zahlreichen Anwendungen eine Rolle. Details hierzu werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.

Abbildung 14



Verdickungswirkung von AEROSIL® COK 84 (4% ige Dispersion) gegenüber AEROSIL® 200 (10% ige Dispersion)

3.2 Aluminiumoxidhaltige Mischoxidtypen und Oxidgemische

Die pyrogenen Mischoxide AEROSIL® MOX 80 sowie AEROSIL® MOX 170 werden analog zu dem bereits beschriebenen pyrogenen Verfahren hergestellt und können als echte Mischoxide von Al₂O₃ und SiO₂ auf molekularer Ebene angesehen werden. Das Aluminiumoxid, das zu ca. 1 % enthalten ist, wird während des Herstellungsprozesses direkt in die Primärteilchen des Basisoxids (SiO₂) eingebaut. Die beiden Produkte unterscheiden sich durch ihre spezifische Oberfläche voneinander (siehe Tabelle 6).

Diese Mischoxide sind auf Grund der geringen Verdickungswirkung in

wässrigen Systemen beliebt bei der Herstellung von hochgefüllten Dispersionen. Die Dispersionen lassen sich hervorragend für die folgenden Anwendungen verwenden:

- Papierbeschichtungen
- Textilbeschichtungen
- Gießereitechnik
- Spinnfaserherstellung

Mit VP Alu 560 S und VP Alu 590 S bietet Evonik außerdem zwei aluminiumreiche Mischoxide an, die sich durch eine gegenüber reinem Aluminiumoxid erhöhte thermische Stabilität auszeichnen.

Im Gegensatz dazu ist das bereits in Kapitel 3.1 beschriebene AEROSIL® COK 84 eine physikalische Mischung aus einer pyrogenen Kieselsäure und einem pyrogenen Aluminiumoxid. Die Primärpartikel bestehen entweder aus reinem SiO₂ oder aus reinem Al₂O₃. AEROSIL® COK 84 eignet sich zur effizienten Verdickung von wässrigen und anderen polaren Flüssigkeiten. Das genannte Oxidgemisch lässt sich daher hervorragend in folgenden Anwendungen einsetzen:

- Pigmentpasten
- Wasserbasierende Lacksysteme
- Wässrige Klebstoffe

Tabelle 6

Physikalisch-chemische Daten einiger nach dem pyrogenen Verfahren hergestellten pyrogenen Mischoxide und Oxidgemische. Die hier genannten Daten sind typische Werte und stellen keine Spezifikation dar.

| Eigenschaft | Einheit | AEROSIL® MOX 80 | AEROSIL® MOX 170 | AEROSIL® COK 84 | VP* Alu 560 S | VP* Alu 590 S |
|--|-------------------|--|--|--|--|--|
| Chemische Zusammensetzung | | SiO ₂ /Al ₂ O ₃ | SiO ₂ /Al ₂ O ₃ | SiO ₂ /Al ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ /SiO ₂ | Al ₂ O ₃ /SiO ₂ |
| BET Oberfläche | m ² /g | 60–100 | 140–200 | 155–215 | 40–80 | 70–110 |
| pH-Wert | | 3,6–4,5 | 3,6–4,5 | 3,6–4,3 | 4,5–6,5 | 4,5–6,5 |
| Trocknungsverlust (2h 105°C) | % | ≤ 1,5 | ≤ 1,5 | ≤ 1,5 | n. a. | n. a. |
| Stampfdichte | g/l | ca. 60 | ca. 50 | ca. 50 | ca. 50 | ca. 40 |
| Gehalt an Al ₂ O ₃ | % | 0,3–1,3 | 0,3–1,3 | 14–18 | ca. 95 | ca. 95 |
| Gehalt an SiO ₂ | % | ≥ 98,3 | ≥ 98,3 | 82–86 | ca. 5 | ca. 5 |

* Entwicklungsprodukte tragen die Bezeichnung VP im Produktnamen. Die Kommerzialisierung ist abhängig von der Rückmeldung des Marktes.

3.3 Oberflächenbehandeltes Aluminiumoxid

Ein oberflächenbehandeltes, hydrophobes Aluminiumoxid ist unter der Bezeichnung AEROXIDE® Alu C 805 erhältlich. Dieses Produkt trägt an der Oberfläche chemisch gebundene Octylgruppen. Die physikalisch-chemischen Daten sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Anwendungstechnisch stellt es eine Alternative zum hydrophoben AEROSIL® dar und kommt zum Beispiel in Tonern zum Einsatz, in welchen triboelektrische Eigenschaften gefordert sind, die von Kieselsäure Typen nicht

erbracht werden können. Auch kommen Anwendungen in Frage, in denen die Eigenschaften von AEROXIDE® Alu C genutzt werden sollen, die aber eine bessere Kompatibilität zu einer organischen Matrix benötigen (z. B. in Polymerfolien).

Daneben kommt AEROXIDE® Alu C 805 aufgrund seiner besonderen Eigenschaften in folgenden Bereichen zum Einsatz:

- in Pulverlacken zur Erhöhung der elektrostatischen Aufladung und

Verbesserung der Fließfähigkeit, besonders in feuchtigkeitsempfindlichen Systemen

- in Kunststoffpulvern (z. B. PVC), um die elektrostatische Aufladung beim Mischen und Verarbeiten zu reduzieren, um ein Aneinanderhaften zu verhindern und um das Pulver vor Feuchtigkeit zu schützen
- als Additiv in Li-Ionen-Batterien (z. B. in Separatorfolien oder Polymerelektrolyten)

Tabelle 7

Physikalisch-chemische Daten von AEROXIDE® Alu C 805. Die hier genannten Daten sind typische Werte und stellen keine Spezifikation dar.

| Eigenschaft | Einheit | AEROXIDE® Alu C 805 |
|--|-------------------|---------------------|
| BET Oberfläche | m ² /g | 75–105 |
| pH-Wert (4% aq. Dispersion) | | 3,0–4,5 |
| Trocknungsverlust (2h @ 105°C) | % | ≤2,0 |
| Stampfdichte | g/l | ca. 50 |
| Gehalt an Al ₂ O ₃ | % | ≥95,0 |
| C-Gehalt | % | 3,5–4,5 |

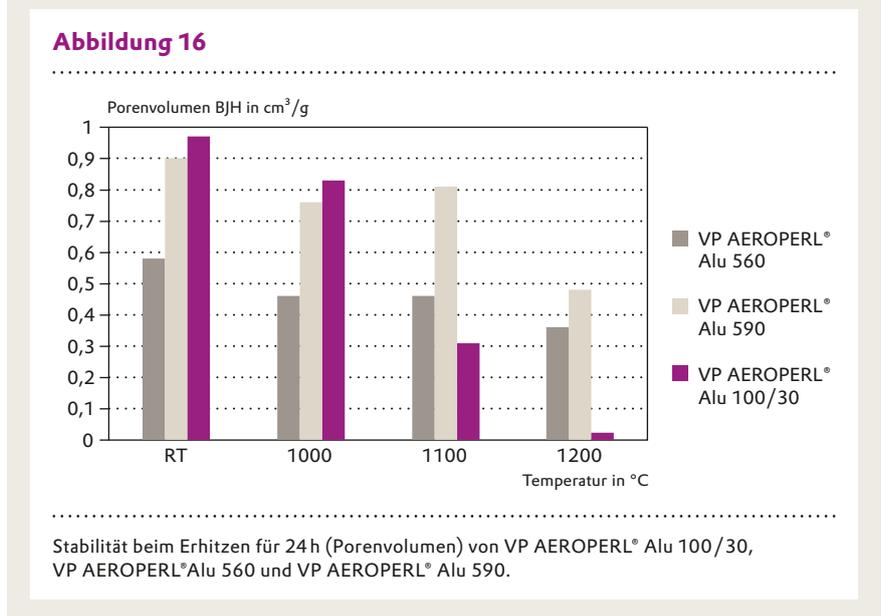
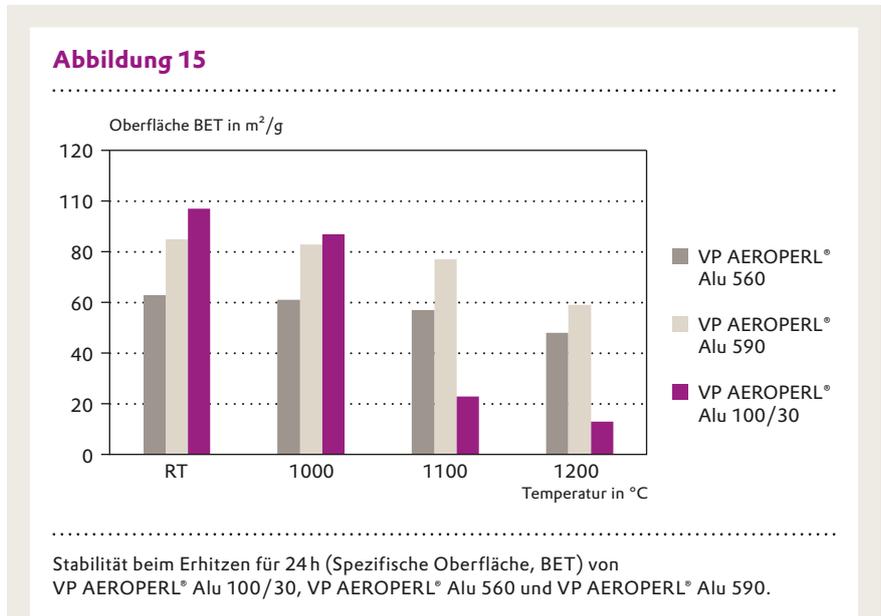
3.4 Granuliertes Aluminiumoxid

Pyrogene Aluminiumoxide und Aluminium-Silicium-Mischoxide sind auch in granulierter Form erhältlich. Die kugelförmigen Partikel erlauben eine einfachere Handhabung und Dosierung im Vergleich zu den pulverförmigen Produkten (siehe auch Abschnitt 2.4). Ein weiteres herausragendes Merkmal dieser granulierten AEROPERL® Produkte ist der hohe Grad an Porosität. Dadurch eignen sich diese Produkte hervorragend sowohl als Trägermaterial als auch für die Adsorption von Metalllösungen, die anschließend weiter umgesetzt werden. Aufgrund dieser Eigenschaften sind AEROPERL® Produkte insbesondere für den Bereich der heterogenen Katalyse interessant.

Reines Aluminiumoxid ist in granulierter Form als VP AEROPERL® Alu 100/30 erhältlich. Es zeichnet sich durch ein hervorragendes Fließverhalten, eine hohe chemische Reinheit und eine staubarme Handhabung aus. Die mittlere Partikelgröße der kugelförmigen Granulate beträgt ca. 30 µm. Anwendung findet es in Keramik- und Papierprodukten und als Katalysatorträgermaterial.

Basierend auf den pulverförmigen Aluminium-Silicium-Mischoxiden VP Alu 560 S und VP Alu 590 S (siehe Abschnitt 3.2) wurden die granulierten Formen VP AEROPERL® Alu 560 und VP AEROPERL® Alu 590 entwickelt.

Sowohl die pulverförmigen Produkte VP Alu 560 S und VP Alu 590 S als auch die AEROPERL® Produkte VP AEROPERL® Alu 560 und VP AEROPERL® Alu 590 weisen eine



exzellente thermische Stabilität auf. Beim Erhitzen auf 1200 °C für 24 h zeigen diese neuen AEROPERL® Entwicklungsprodukte nur einen leichten Rückgang der spezifischen Oberfläche (BET) und des Porenvolumens (siehe

Abbildung 15 und Abbildung 16). VP AEROPERL® Alu 100/30 sintert hingegen bei Temperaturen über 1000 °C, woraus ein starker Rückgang der spezifischen Oberfläche (BET) und des Porenvolumens resultiert.

Neben den aluminiumreichen Aluminium-Silicium-Mischoxiden mit einer höheren thermischen Stabilität, bietet Evonik auch ein siliciumreiches Mischoxid mit einer höheren thermischen Stabilität an:

AEROPERL® 3375/20 besteht hauptsächlich aus Siliciumdioxid mit einem sehr geringen Anteil an Aluminiumoxid, was zu einer Erhöhung der thermischen Stabilität auf bis zu 1200 °C führt.

Die Eigenschaften der auf Aluminiumoxid und Aluminium-Silicium-Mischoxiden basierenden AEROPERL® Produkte sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8

Physikalisch-chemische Daten der auf Aluminiumoxid und Aluminium-Silicium-Mischoxiden basierenden AEROPERL® Produkte. Die hier genannten Daten sind typische Werte und stellen keine Spezifikation dar.

| Eigenschaft | Einheit | VP* AEROPERL® Alu 100/30 | VP* AEROPERL® Alu 560 | VP* AEROPERL® Alu 590 | AEROPERL® 3375/20 |
|--|-------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|
| BET Oberfläche | m ² /g | 85–115 | 50–80 | 70–100 | 60–80 |
| pH-Wert (4% aq. Dispersion) | | 4,0–6,0 | 4,0–6,0 | 4,0–6,0 | 3,5–6,5 |
| Trocknungsverlust (2 h @ 105 °C) | % | ≤ 2,5 | ≤ 2,5 | ≤ 2,5 | ≤ 2,0 |
| Stampfdichte | g/l | ca. 500 | ca. 575 | ca. 500 | ca. 600 |
| Gehalt an SiO ₂ | % | – | ca. 5 | ca. 5 | ≥ 99% |
| Gehalt an Al ₂ O ₃ | % | ≥ 99,6 | ca. 95 | ca. 95 | 0,08–0,30 |

* Entwicklungsprodukte tragen die Bezeichnung VP im Produktnamen. Die Kommerzialisierung ist abhängig von der Rückmeldung des Marktes.

3.5 Aluminiumoxid dispersionen

Für manche Anwendungsgebiete ist es vorteilhaft, eine Dispersion der pyrogenen Aluminiumoxide einzusetzen. Dies ist der Fall, wenn zum Beispiel – zusammen mit anderen Komponenten – ein Schlicker zubereitet oder ein Formkörper beschichtet bzw. imprägniert werden soll. Die anwendungstechnischen Eigenschaften und die Stabilität einer Dispersion

hängen in erster Linie vom Dispergierzustand, d. h. von der Größe der tatsächlich in der Flüssigkeit vorliegenden Teilchen, dem spezifischen Gewicht des dispergierten Oxids, sowie der Stabilisierung über Additive ab.

Mit AERODISP® W 630, AERODISP® W 440 und AERODISP® W 925 werden drei wässrige Dispersionen

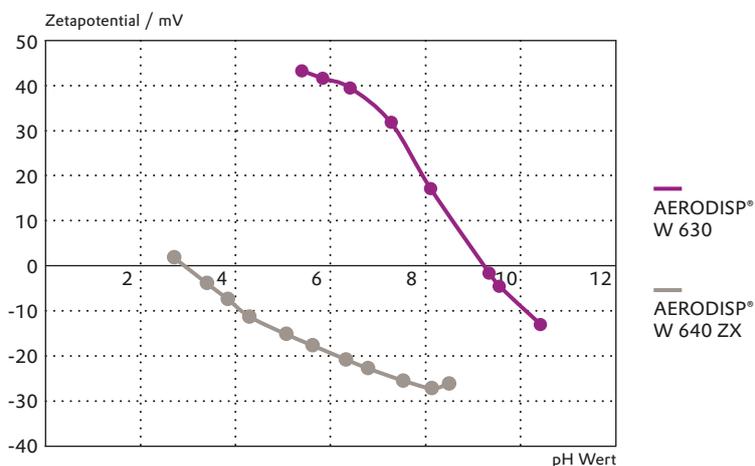
auf Basis von AEROXIDE® Alu C, AEROXIDE® Alu 65 sowie AEROXIDE® Alu 130 angeboten, die als direkte Alternative für die Verwendung der entsprechenden Pulver genutzt werden können. Die Dispersionen enthalten als Hilfsmittel zur Stabilisierung lediglich einen Puffer auf Basis von Essigsäure, der einen konstanten pH-Wert von ca. 4 garantiert.

An diesem Punkt ist die Stabilität der Dispersionen am höchsten, da die deutlich positiv geladenen Aluminiumoxid-Teilchen sich gegenseitig abstoßen und so eine Reagglomeration verhindert wird (siehe Kapitel 2.5, Abbildung 12).

Es gibt aber auch Fälle, in denen der Anwender eine Dispersion benötigt, die in basischen Systemen stabil ist. Hierfür hat Evonik eine spezielle Stabilisierung entwickelt, bei der die Oberfläche des Aluminiumoxids gezielt so modifiziert ist, dass nun anionische, d. h. negativ geladene Teilchen vorliegen. Eine solche Dispersion ist AERODISP® W 640 ZX. Abbildung 17 zeigt vergleichend die Zetapotentialkurve dieses Produktes im Vergleich zu AERODISP® W 630.

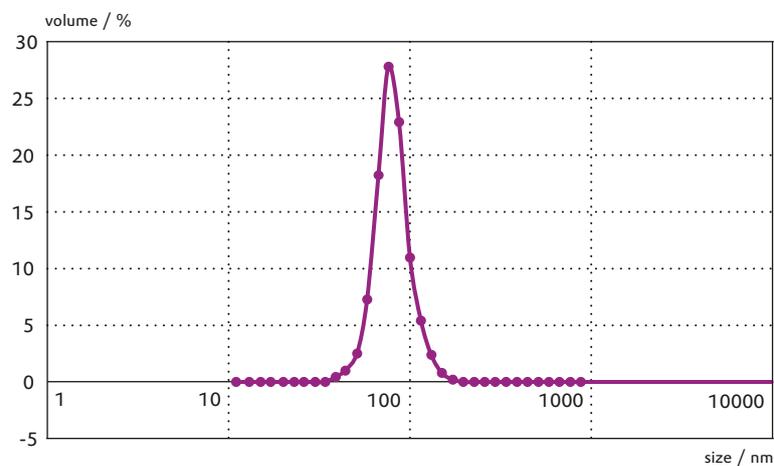
AERODISP® W 640 ZX ist auch in anderer Hinsicht ein besonderes Produkt. Hier wurde durch eine spezielle Hochenergievermahlung die mittlere Teilchengröße auf 80 nm reduziert. Dies macht sich makroskopisch in der deutlich geringeren Viskosität der Dispersion bemerkbar. Abbildung 18 zeigt die Teilchenverteilung von AERODISP® W 640 ZX gemessen mittels statischer Lichtstreuung.

Abbildung 17



Zetapotentialkurven von AERODISP® W 630 und AERODISP® W 640 ZX

Abbildung 18



Teilchengrößenverteilung von AERODISP® W 640 ZX mittels statischer Lichtstreuung

In der folgenden Tabelle sind einige Beispiele für aluminiumoxidbasierte AERODISP®-Typen zusammengestellt.

Weitere Informationen finden Sie in unserer Produktübersicht AERODISP®

Tabelle 9

Physikalisch-chemische Daten von ausgewählten wässrigen Aluminiumoxid-Dispersionen. Die hier genannten Daten sind typische Werte und stellen keine Spezifikation dar.

| Eigenschaft | Einheit | AERODISP® W 440 | AERODISP® W 630 | AERODISP® W 925 | AERODISP® W 640 ZX | AERODISP® W 450 ZX |
|------------------------------------|-------------------|---------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Al ₂ O ₃ Typ | | AEROXIDE® Alu 65 | AEROXIDE® Alu C | AEROXIDE® Alu 130 | AEROXIDE® Alu C | AEROXIDE® Alu 65 |
| Feststoffgehalt | % | 40 | 30 | 25 | 40 | 50 |
| pH-Wert | | 3,0–5,0 | 3,0–5,0 | 3,0–5,0 | 6,0–9,0 | 6,0–9,0 |
| Viskosität | mPa·s | ≤ 1000 | ≤ 2000 | ≤ 1000 | ≤ 70 | ≤ 100 |
| Dichte | g/cm ³ | 1,38 | 1,26 | 1,20 | 1,39 | 1,53 |
| Aggregatgröße (d50) | nm | 120 | 140 | 110 | 80 | 80 |

3.6 Anwendungstechnische Effekte

Die wichtigsten Anwendungen werden nachfolgend kurz beschrieben. Die Aufstellungen erheben keinen

Anspruch auf Vollständigkeit und sollen die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten dieser Produkte veranschaulichen.

3.6.1 Fließhilfsmittel in pulverförmigen Stoffen

Hersteller und Anwender von Pulvern arbeiten mehr und mehr mit automatisierten Prozessen. Voraussetzung hierfür ist eine gute Fließfähigkeit der Pulver, die ein sauberes und gleichmäßiges Dosieren ermöglicht. Auch ein Verbacken während der Lagerung muss ausgeschlossen werden. Dennoch gibt es viele pulverförmige Produkte, die eine schlechte Fließfähigkeit aufweisen und bei Lagerung zum Verklumpen neigen, was zu unerwünschten Ausfallzeiten führt. AEROSIL® und AEROXIDE® bieten eine effiziente Möglichkeit, diese Probleme zu lösen und die Produktivität zu erhöhen.

Die Fließfähigkeit von Pulvern wird durch das Verhältnis von Haftkräften,

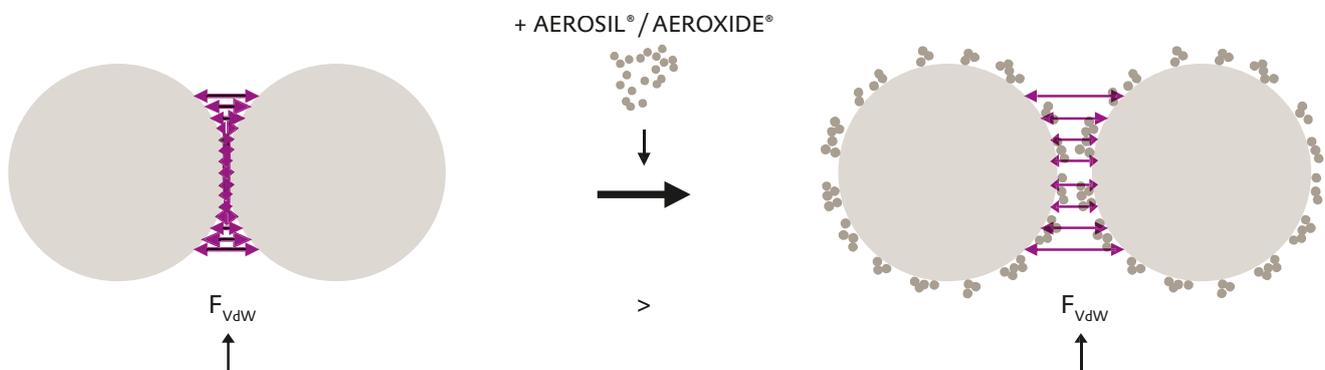
sog. Van-der-Waals Kräften, und der Schwerkraft beeinflusst. In allen Pulvern sind Van-der-Waals Kräfte wirksam. Diese Kräfte sind im Verhältnis zur Gewichtskraft umso größer, je kleiner die Teilchen sind. Aus diesem Grund zeigen feinteilige Pulver eine schlechtere Fließfähigkeit als grobteilige.

Daneben gibt es weitere Gründe für ein schlechtes Fließverhalten: Flüssigkeit auf der Oberfläche von Pulverteilchen, wie Wasser oder Öl (z. B. in hygroskopischen oder fetthaltigen Pulvern), hält diese über die Oberflächenspannung zusammen. Des Weiteren können ungleichmäßig geformte Teilchen miteinander

verhaken, und manche Pulver neigen dazu, sich statisch aufzuladen und an den Wandungen von Rohrleitungen oder Mischern zu haften.

AEROSIL® und AEROXIDE® sind aufgrund Ihrer Feinteiligkeit in der Lage, die Partikel des in seiner Fließfähigkeit zu verbessernden Pulvers (im Folgenden als Wirtspulver bezeichnet) zu umhüllen. Hierbei wirken sie als Abstandhalter zwischen den einzelnen Pulverteilchen, trennen sie voneinander und vermindern so die Haftkräfte [7] [8].

Abbildung 19

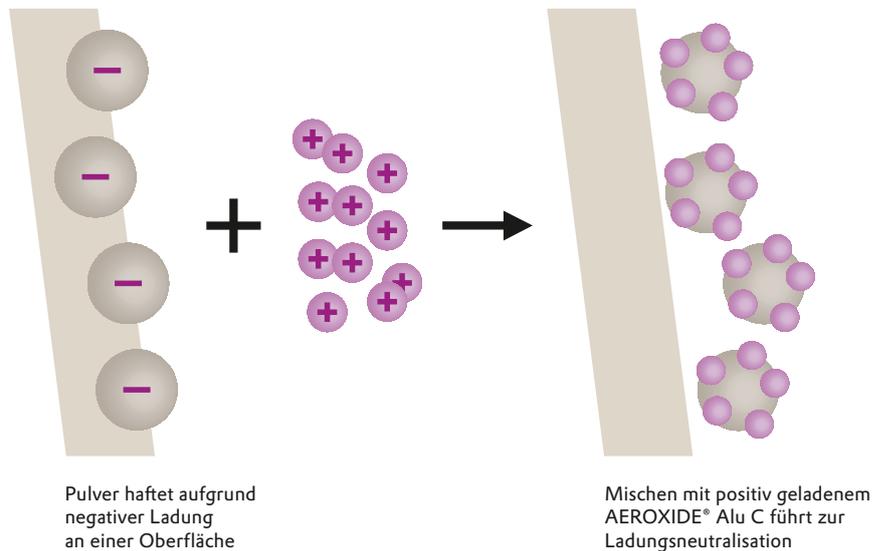


AEROSIL® bzw. AEROXIDE® Aggregate wirken als Abstandhalter und vermindern die Van-der-Waals-Kräfte (F_{v_{dw}}) zwischen Pulverteilchen.

Wenn eine elektrostatische Aufladung die Fließfähigkeit eines Pulvers beeinträchtigt, können pyrogene Aluminiumoxide vom Typ AEROXIDE® Abhilfe schaffen. Viele nichtleitende Pulver, insbesondere Polymerpulver und -granulate neigen dazu, sich negativ aufzuladen und aufgrund dieser Aufladung an Oberflächen anzuhaften. AEROXIDE® Alu 65, AEROXIDE® Alu C und AEROXIDE® Alu 130 neigen dagegen, wie bereits in den Kapiteln 3.1 und 3.6.2 erläutert, zu einer positiven elektrostatischen Aufladung und können so die negative Aufladung des Wirtspulvers in vielen Fällen kompensieren. Dies führt dann zu einem insgesamt neutralen Pulver, das deutlich weniger an Oberflächen anhaftet. Der Effekt lässt sich schematisch wie folgt verdeutlichen.

Abbildung 21 zeigt den oben schematisch verdeutlichten Effekt am Beispiel eines Polypropylengranulats.

Abbildung 20



Schematische Darstellung der Ladungsneutralisation durch AEROXIDE® Alu C

Abbildung 21



Polypropylengranulat ohne (links) und mit 0,5% AEROXIDE® Alu C.

3.6.2 Pulverlacke

Aufgrund des anhaltenden Trends, hin zu umweltfreundlichen Lacksystemen, wächst der Markt für Pulverlack weiterhin deutlich schneller als der für konventionelle Flüssiglacke. AEROSIL® pyrogene Kieselsäure sowie die pyrogenen Aluminiumoxide AEROXIDE® Alu C, AEROXIDE® Alu 130 oder das hydrophobe AEROXIDE® Alu C 805

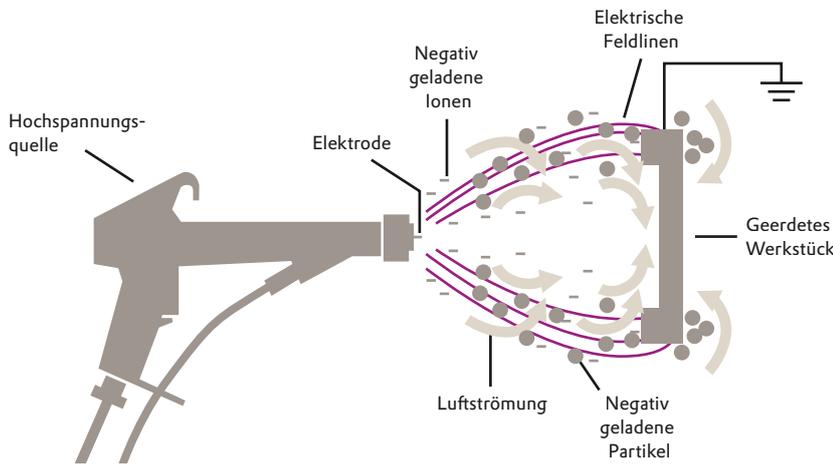
sind dafür bekannt, dass sie die Verarbeitbarkeit, Qualität, Aussehen und die Leistungsfähigkeit von Pulverlacken deutlich verbessern können.

Um die Wirkung von pyrogenen Metalloxiden in Pulverlacken zu verstehen, muß man die Besonderheiten des „Elektrostatischen Auftragsver-

fahrens (ESTA)“ kennen. Die Pulverpartikel werden hierbei elektrostatisch aufgeladen und setzen sich auf dem geerdeten Werkstück ab.

Es gibt drei grundsätzliche Methoden der Ladungsübertragung:

Abbildung 22



Schematische Darstellung des Corona Verfahrens

a) Corona-Verfahren:

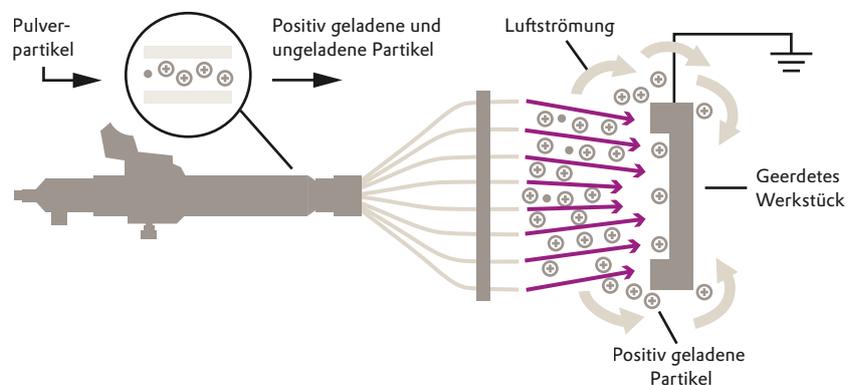
Am Austritt einer Lackierpistole befindet sich eine Elektrode. Durch die anliegende Hochspannung wird die Umgebungsluft ionisiert, was zu der namensgebenden, bläulichen Leuchterscheinung führen kann.

Die Pulverlackpartikel werden in einem Luftstrom durch die Sprühpistole und die ionisierte Luft gefördert und nehmen durch einige Luftionen auch deren negative Ladung auf. Anschließend folgen die Pulverpartikel den Feldlinien des elektrischen Felds zum Werkstück, was den „Overspray“ reduziert.

b) Tribo-Verfahren:

Die Sprühpistole ist mit einem Kunststoff (i. d. R. PTFE) ausgekleidet. Beim Fördern des Pulverlacks im Luftstrom reiben die Pulverlackpartikel an der Kunststoffauskleidung und es kommt zur Ladungstrennung. Geeignete Pulverlacke nehmen hierbei eine positive Ladung an.

Abbildung 23

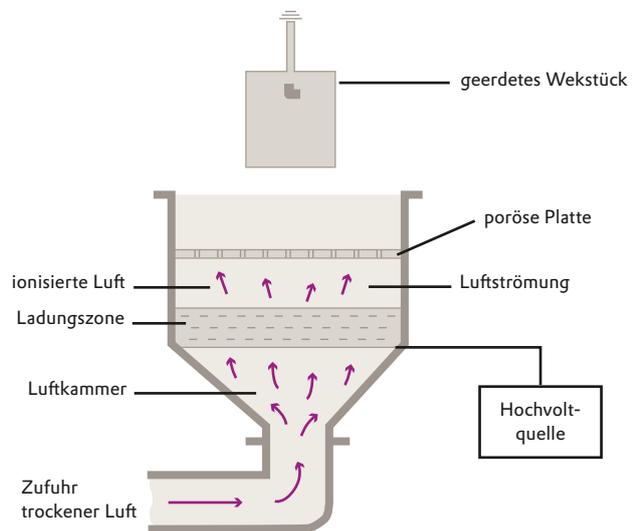


Schematische Darstellung des Tribo Verfahrens

c) Wirbelschicht-Verfahren:

Hierbei befindet sich der Pulverlack in einem Behälter und wird durch Luft, die durch eine poröse Bodenplatte strömt, fluidisiert. Durch Anlegen einer Hochspannung an die Bodenplatte werden die Pulverlackpartikel elektrostatisch aufgeladen. Das geerdete Werkstück wird in die Wirbelschicht getaucht und mit Pulverlack beschichtet.

Abbildung 24



Schematische Darstellung des Wirbelschicht-Verfahrens

Allen Verfahren gemeinsam ist, dass nach der Auftragung der Pulverlack als lockere Schicht auf dem Werkstück liegt und ggf. leicht abgewischt werden kann. Daher werden die Werkstücke direkt nach der Beschichtung in einen Ofen befördert, wo der Pulverlack schmilzt, einen geschlossenen Film bildet und bei höheren Temperaturen vernetzt und härtet.

Entscheidend für die Handhabbarkeit, Steuerung und Güte von Pulverlackbeschichtungen sind Fließverhalten, Aufladbarkeit und Filmbildungsverhalten.

Bereits die Zumischung eines Massenanteils von 0,1 – 0,3 % der pyrogenen Oxide kann folgende Eigenschaften des Pulverlackes verbessern:

- Verbesserte Fließigenschaften der Rohstoffe bei der Herstellung von Pulverlacken (homogener Zustrom aller Lackbestandteile in den Extruder). Um die Fließigenschaften des fertigen Pulverlackes einzustellen, ist eine weitere Zugabe von Rieselhilfsmittel nötig.
- Verbesserung der Lagerstabilität der Pulverlacke (kein Verklumpen des fertigen Pulverlackes).
- Verhinderung der Feuchtigkeitsaufnahme von Pulverlacken (durch hydrophobe Oberflächenbehandlung des pyrogenen Metalloxids).
- Verbesserung der Dosierbarkeit und Verarbeitung (durch verbessertes Fließverhalten). Hierbei ist eine Zugabe des Rieselhilfsmittels vor der Vermahlung des Pulverlackes sinnvoll, da eine homogene Verteilung und gleichmäßige Bedeckung der Oberfläche entscheidend ist.
- Verbesserte Kantenbeschichtung der Substrate durch gleichmäßigere Auftragung.
- Ermöglichung des Tribo-Verfahrens (durch Einsatz von elektrostatisch positiv aufladbaren Metalloxiden).

Eine interne Studie in Zusammenarbeit mit der University of Western Ontario (Kanada), bei der auch innovative feinere Pulverlackpartikel (diese führen zu geringeren Filmstärken) untersucht wurden, zeigte, dass die beiden Produkte AEROXIDE® Alu C 805 und AEROXIDE® Alu 130 in den untersuchten Systemen noch weitere Vorteile bieten. Sowohl in den konventionellen als auch feinteiligen Pulverlacken auf Polyesterbasis zeigte AEROXIDE® Alu C 805 den größten positiven Einfluss auf die Fließeigenschaften von allen untersuchten pyrogenen Aluminiumoxiden.

Bezüglich des Abscheidegrades schnitt AEROXIDE® Alu 130 bei einem konventionellen Pulverlack am besten ab.

Detaillierte Informationen zur Verwendung von AEROXIDE® Produkten in Pulverlacken finden Sie in der Technischen Information 1340 [9].

Abbildung 25



AEROXIDE® Alu C verbessert allgemein die Performance von Pulverlacken; das Bild zeigt als Anwendungsbeispiel eine pulverlackbeschichtete Autofelge

3.6.3 Lithium-Ionen-Batterien

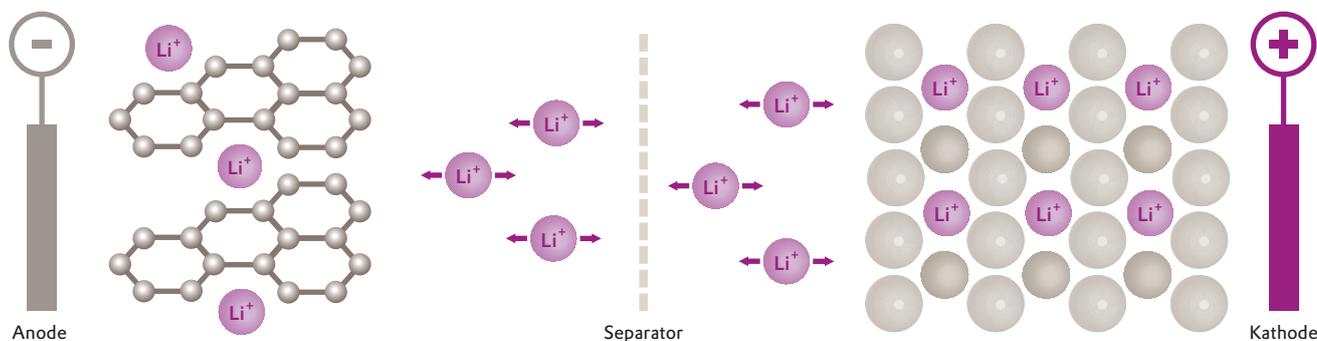
Lithium-Ionen-Batterien (LIB) sind heutzutage fester Bestandteil unseres Alltags. Hauptsächlich eingesetzt in der Unterhaltungselektronik und Computertechnik (Notebooks, Tablets, Smartphones, etc) haben sie inzwischen die veraltete Ni-MH Technologie nahezu vollständig abgelöst. Aber auch in der voranschreitenden Elektromobilität und

dem damit verbundenen stark ansteigenden Markt für Speichersysteme werden LIBs zunehmend eingesetzt.

Das Funktionsprinzip einer Li-Ionen-Batterie – unabhängig ob sie im Smartphone oder im Auto Verwendung findet – ist immer gleich: Beim Entladen der Batterie wandern Li-Ionen von der

Graphit-Anode durch den Separator zur Metalloxid-Kathode und geben so einen konstanten Entladestrom ab (beim Laden entsprechend andersherum). Das funktioniert mit einer sehr hohen Effizienz (wenig Ladungsverlust) und vor allem über viele Zyklen und Jahre äußerst konstant.

Abbildung 26



Schematische Darstellung des Aufbaus einer Lithium-Ionen Batterie

Die Anforderungen an LIBs, besonders für die Elektromobilität sind sehr hoch: Sie müssen einem hohen Sicherheitsstandard entsprechen, außerdem werden immer höhere Energiedichten gefordert. Das impliziert vor allem den Einsatz neuer Materialien – z. B. im Bereich der Elektroden, innerhalb des Separators oder auch im Elektrolyten.

Pyrogene Metalloxide des Typs AEROXIDE® Alu oder AEROXIDE® TiO₂ können als Additive in Lithium-Ionen-Batterien eingesetzt werden und zwar in folgenden Komponenten:

- Als keramische Beschichtung auf dem Polymer-Separator oder innerhalb des Separators (keramischer Füller) zur Erhöhung der Sicherheit sowie der Batterie-Performance
- Als Beschichtung auf dem Kathoden-

oder Anodenmaterial in Form einer Al₂O₃- oder TiO₂-Schicht (= künstliches „Solid Electrolyte Interface“) bei gleichzeitiger Erhöhung der Batterielebensdauer und der Performance

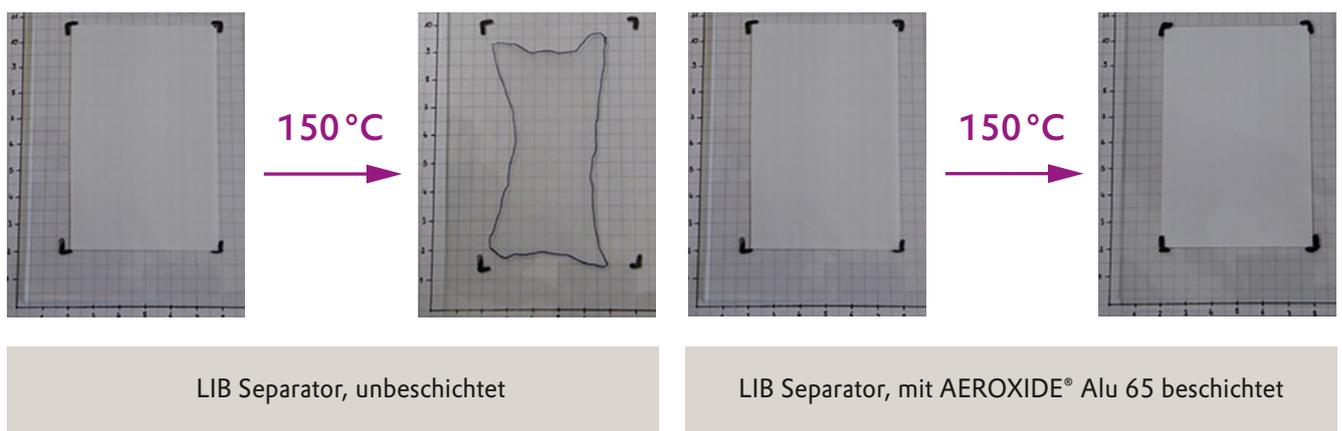
- Innerhalb von Feststoff-Polymer-Elektrolyten zur Verbesserung der Effizienz und Lebensdauer

Der Separator in einer LIB ist sehr dünn (ca. 25 µm), hochporös und besteht vorwiegend aus einem Polyolefin (z. B. Polyethylen und/oder Polypropylen). Es ist der einzige Bestandteil in der Zelle der einen direkten Kontakt und somit einen Kurzschluss zwischen Kathode und Anode unterbindet. Dieser Polymer-Separator ist allerdings recht anfällig gegenüber einem plötzlichen Temperaturanstieg in der Zelle (z. B. während eines Thermal Runaways). Ab ca. 140 °C beginnt

der Separator zu schrumpfen und es kommt zum direkten Kontakt der Elektroden – infolgedessen zum Kurzschluss und im schlimmsten Fall zur Entzündung des brennbaren Elektrolyten.

Eine keramische Beschichtung in Form einer sehr dünnen Schicht aus AEROXIDE® Alu C oder AEROXIDE® Alu 65 schränken den Schrumpf der porösen Membran bei erhöhten Temperaturen um ein Vielfaches ein und tragen somit zur Verbesserung des Sicherheitsstandards einer LIB-Zelle bei (Abbildung 27). Gleichzeitig erhöht die Additivierung des Separators mit pyrogenem Aluminiumoxid die Leistungsfähigkeit der Batterie, da durch die keramische Schicht die Kapazitätserhaltung der Zelle über viele hunderte Lade- und Entladezyklen verbessert wird.

Abbildung 27



Vergleich zweier LIB-Separatoren vor und nach Erhöhung der Temperatur auf 150 °C.

In den nächsten Jahren werden neue Materialien besonders im Bereich von Kathode und Anode zum Einsatz kommen, um die Energiedichte signifikant zu erhöhen. Damit einhergehend erhöht sich auch die angelegte Zellspannung, was vor allem Stress für Elektrodenmaterial und Elektrolyt bedeutet und letztendlich zu einer Performance-Verringerung sowie einem verkürzten Batterieleben führen kann. Eine Beschichtung der Elektrodenmaterialien mit pyrogenem Aluminiumoxid (z. B. AEROXIDE® Alu 130) oder auch Titandioxid (AEROXIDE® TiO₂ P 25) führt zu einer Verbesserung der Kapazitätserhaltung, sowie zu einer Erhöhung der Batterielebensdauer.

Die pyrogenen AEROXIDE® Aggregate lagern sich dabei zu einer Li-Ionen leitenden Schicht um die Elektrodenpartikel herum und bilden eine Art

künstliches „Solid Electrolyte Interface“ aus. Diese Schicht verringert die Zersetzung des Elektrolyten und stabilisiert außerdem die Elektrodenpartikel gegenüber dem angelegten hohen Zellpotential. Dieser positive Effekt kann bereits bei heutigen Kathodenmaterialien, wie z. B. dem Li-Cobalt-Oxid (vorwiegend in Consumer Electronics verwendet) beobachtet werden und führt zu einer erheblichen Verbesserung der Batterie-Performance und Lebensdauer.

Weiterhin können pyrogene Aluminium- und Titanoxide, bevorzugt die hydrophoben Varianten AEROXIDE® Alu C 805 und AEROXIDE® TiO₂ T 805, in Feststoff-Polymer-Elektrolyten zum Einsatz kommen. Bei dieser Variante der Li-Ionen Batterie werden flüssiger Elektrolyt und Separator durch ein Li-Ionen leitendes und elektrisch

isolierendes Polymer (z. B. Polyethylenoxid, PEO) ersetzt. Die Vorteile sind u. a. eine Erhöhung der Energiedichte, sowie die Vermeidung des ansonsten flüssigen und brennbaren Elektrolyten. Auch die Verwendung von reinem Li-Metall als Anode ist nun möglich. Allerdings muss eine solche Polymer-LIB bei erhöhten Temperaturen (mind. 60 °C) betrieben werden. Die pyrogenen Metalloxide können direkt in das Polymer eingearbeitet und anschließend zu dünnen Folien verarbeitet werden. Durch die Additivierung mit AEROXIDE® werden die Lebensdauer sowie die Effizienz der Polymer-Batterie verbessert. Des Weiteren kann die zum Betrieb notwendige erhöhte Temperatur verringert werden.

3.6.4 Ink-Jet-Papierbeschichtungen

Dank der modernen Tintenstrahltechnik kann heute jeder digitale Fotografien auf hochwertigen Fotopapieren in exzellenter Qualität selbst ausdrucken. Das Druckergebnis wird dabei entscheidend von den physikalischen und chemischen Eigenschaften der zu bedruckenden Oberfläche beeinflusst.

Durch den Einsatz von pyrogenem Aluminiumoxid in mikroporösen Papierbeschichtungen können die

Anforderungen an moderne Fotopapiere bestens erfüllt werden. Wegen ihrer einzigartigen Struktur, ihrer hohen spezifischen Oberfläche, der Teilchengrößen und der kationischen Oberflächenladung können folgende Eigenschaften gleichzeitig realisiert werden:

- **hoher Glanz**

Gemeinsam mit einem Binder bilden die sehr kleinen Aluminiumoxidpartikel (Aggregatgröße

ca. 100–200 nm) eine glatte Oberfläche mit hohem Glanz aus.

- **kurze Trocknungszeit für die Tinte**

Durch die fraktale Struktur der AEROXIDE® Aggregate wird ein dreidimensionales Netzwerk von Kapillaren aufgebaut, welches das Wasser aus der Tinte in die Aluminiumoxid-Schicht zur Wasseraufnahme weiterleitet.

▪ **photorealistische Auflösung**

Die Farbstoffe aus den Tintentropfen werden sofort nach Auftreffen auf dem Papier von den Aggregaten auf deren Oberfläche adsorbiert, die Flüssigkeit aus der Tinte wird nach unten abgeleitet. Dadurch verlaufen die Tintentröpfchen nicht, und Auflösungen von bis zu 2800 DPI werden erreicht.

▪ **hohe Farbbrillanz**

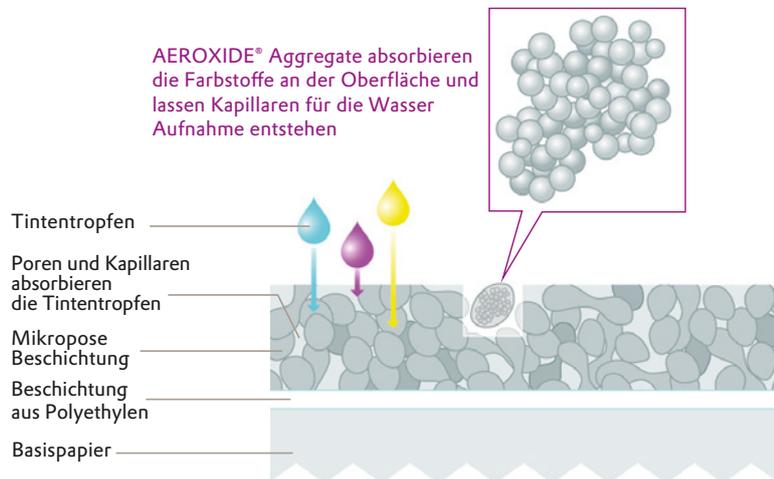
Die Farbstoffmoleküle sind sehr stabil, wenn sie auf der Oberfläche der Aggregate adsorbieren und verändern ihre Farbe dabei nicht. Zusätzlich werden die Farbstoffe bevorzugt in den obersten Bereichen der farbaufnehmenden Schicht eingelagert, was zu einer hohen Farbdichte führt.

▪ **Kompatibilität zu verschiedenen Tinten**

Mikroporöse Beschichtungen erlauben im Gegensatz zu den traditionellen quellbaren Polymerbeschichtungen hochwertige Ausdrücke von pigmentierten Tinten. Pigmentierte Tinten haben gegenüber Farbstofftinten den Vorteil höherer Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen.

Weitere Informationen finden Sie in unserer Technischen Information TI 1331 [10].

Abbildung 28



Prinzipieller Aufbau eines mikroporös beschichteten Inkjet-Papiers

3.6.5 Leuchtstoffröhren

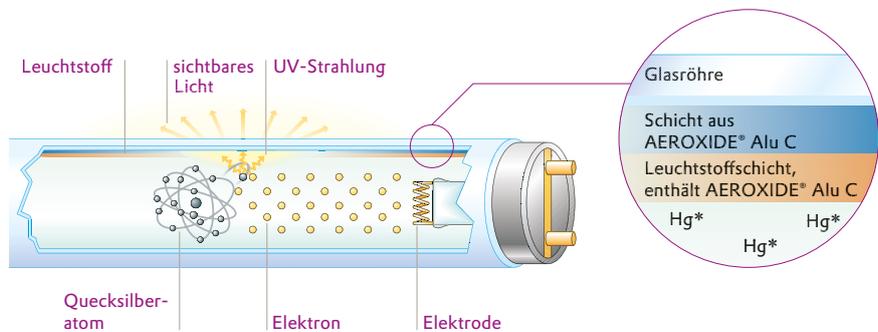
In Leuchtstoffröhren oder den so genannten Kompaktleuchtstofflampen („Energiesparlampen“) übernimmt pyrogenes Aluminiumoxid gleich zwei unterschiedliche Funktionen. Abbildung 29 zeigt schematisch den Aufbau einer solchen Lampe.

Im Inneren brennt ein Quecksilberdampfplasma, welches für das menschliche Auge unsichtbares UV-Licht bei 254 nm emittiert. Dieses wird von unterschiedlichen Leuchtstoffen in der Leuchtstoffschicht in sichtbares Licht umgewandelt. Eine aus pyrogenem Aluminiumoxid bestehende Schutzschicht direkt auf der Glasoberfläche verhindert, dass Quecksilberatome ins Glas diffundieren können (Funktion 1). Damit wird die Lebensdauer der Lampe erheblich erhöht und eine gleich bleibende Lichtausbeute sichergestellt. Außerdem kann die Quecksilbermenge auf ein Minimum reduziert werden.

Wegen der positiven Oberflächenladung des Aluminiumoxids wirkt es gleichzeitig als anorganischer Binder (Funktion 2), indem es die Haftung der Leuchtstoffschicht (Leuchtstoffe sind meist negativ geladen) zur ebenfalls negativen Glasoberfläche vermittelt. Auch innerhalb der Leuchtstoffschicht

wird pyrogenes Aluminiumoxid als anorganischer Binder verwendet, um die Festigkeit der Schicht zu erhöhen. Das spielt eine wichtige Rolle bei der Herstellung der Lampe, da ein möglicher Verlust an Leuchtstoffpartikeln verhindert wird.

Abbildung 29



Darstellung einer Leuchtstofflampe mit den Funktionen des Aluminiumoxids.

3.6.6 Sonstige Anwendungen

AEROXIDE® Alu C wird außerdem als keramischer Binder in der Herstellung von diversen Keramiken (z. B. feuerfeste Werkstoffe, „Refractories“) eingesetzt. Es ermöglicht das Zusammensintern größerer Materialien, dient als Verstärkung im Material selbst und wirkt gleichzeitig als Fließhilfsmittel während des Mischvorgangs der Edukte.

In der Metallveredlung (z. B. kontinuierliche Metallbandbeschichtung) dient pyrogenes Aluminiumoxid als anti-

korrosiver Haftvermittler zwischen dem eigentlichen Metall und dem aufzubringenden Coating. Es erhöht gleichzeitig die mechanische Widerstandsfähigkeit der Schicht (u. a. Verschleißschutz).

Bemerkenswert ist auch der Einsatz von AEROXIDE® Alu C in flammhemmend ausgerüsteten Kunststoffen auf Polyester oder Acrylat-Basis. Für den positiven Effekt ist hauptsächlich die extreme Feinteiligkeit von Bedeutung.

Aufgrund seiner hohen Reinheit, der Feinteiligkeit und der hohen spezifischen Oberfläche ist pyrogenes Aluminiumoxid als Rohstoff zur Herstellung von Katalysatorträgern sehr gut geeignet. Durch die lockere Struktur ist die Oberfläche sehr gut zugänglich.

Sie benötigen ein Titan- dioxid mit einzigartiger Struktur?

AEROXIDE® – pyrogene Titandioxid-Produkte

Aufbau und Eigenschaften | Titandioxidhaltige
Mischoxidtypen | Oberflächenbehandeltes Titandioxid |
Granuliertes Titandioxid | Titandioxiddispersionen |
Anwendungstechnische Effekte



.....
1
Einleitung
.....

2
Herstellung
.....

3
AEROXIDE®-
pyrogene Aluminiumoxid Produkte
.....

4
AEROXIDE®-
pyrogene Titandioxid-Produkte
.....

5
Qualität und Produktsicherheit
.....

6
Handhabung und Verpackung
.....

7
Anhang
.....

4. AEROXIDE® - pyrogene Titandioxid-Produkte

4.1 Aufbau und Eigenschaften

Titandioxid kommt in der Natur in den Modifikationen Anatas, Rutil und Brookit vor. Technisch von Bedeutung sind vor allem Anatas und Rutil als Weißpigmente.

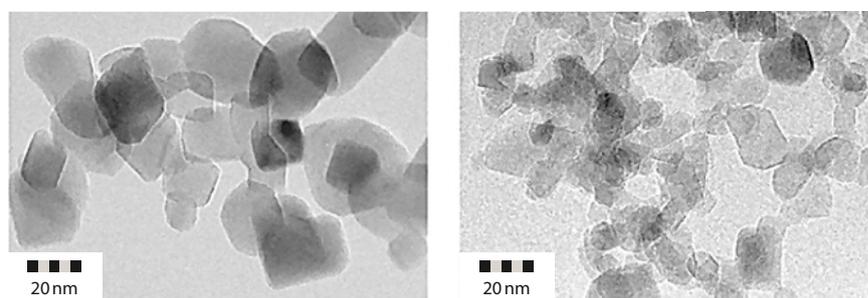
Bereits um 1940 wurde mit Hilfe der Flammenhydrolyse ein Titandioxid gewonnen, dessen mittlere Primärteilchengröße um den Faktor 10 geringer war als bei den bekannten Weißpigmenten. Das neue Produkt ging unter der Bezeichnung „Hochdisperses Titandioxid“ in die wissenschaftliche Literatur ein. Heute vermarktet Evonik eine Reihe von pyrogenen Titandioxid Typen unter dem Markennamen AEROXIDE®

AEROXIDE® TiO₂ P 25 wird durch Flammenhydrolyse von Titan-tetrachlorid hergestellt und hat aufgrund der daraus resultierenden Feinteiligkeit der Aggregate kaum Pigmenteigenschaften. Es wird daher in Einsatzgebieten verwendet, in denen das Titandioxid keine Weißfärbung verursachen soll oder zur Erzielung bestimmter anwendungstechnischer Effekte eine sehr hohe spezifische Oberfläche aufweisen muss. Zu nennen sind dabei insbesondere die Verwendung von AEROXIDE® TiO₂ P 25 als Katalysatorträger sowie als aktive Komponente in photokatalytischen Reaktionen oder als Hitze-stabilisator für Silikone.

Ergänzend zum AEROXIDE® TiO₂ P 25 bietet Evonik mit dem AEROXIDE® TiO₂ P 90 ein Titandioxid mit noch höherer spezifischer Oberfläche von

90 m²/g an. Vergleichende TEM Aufnahmen beider Oxide sind in Abbildung 30 dargestellt.

Abbildung 30



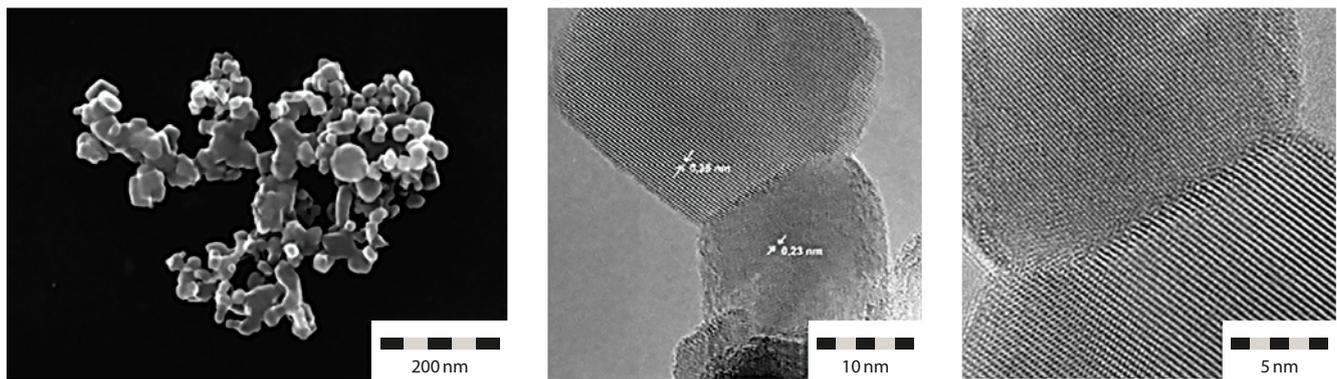
TEM Aufnahmen von AEROXIDE® TiO₂ P 25 (links) und AEROXIDE® TiO₂ P 90 (rechts).

Ein weiteres Titandioxid-Produkt ist AEROXIDE® TiO₂ PF 2, welches ebenfalls nach dem pyrogenen Verfahren hergestellt wird und ein Mischoxid auf Basis von Titandioxid und Eisenoxid darstellt. Die hitzestabilisierende Wirkung von AEROXIDE® TiO₂ PF 2 in Silikonen ist die Hauptanwendung für dieses Produkt.

Charakteristisch für hochtemperaturhydrolytisch hergestellte Oxide ist die fraktale Struktur in der es keine definierten Agglomeratgrößen gibt. Allerdings kann durch einen nachgeschalteten besonderen Granulationsschritt VP AEROPERL® P 25/20 (siehe auch Kapitel 4.4) erzeugt werden.

Röntgenographisch besteht AEROXIDE® TiO₂ P 25 aus etwa 85 % Anatas und 15 % Rutil. Interessanterweise ist also die thermodynamisch stabilere Rutil-Modifikation trotz der Herstellungsbedingungen (Flammenhydrolyse) in deutlich geringerem Maße vorhanden, konzentriert sich bevorzugt an der Teilchenoberfläche und ist mit der Anatasphase intensiv verzahnt (siehe Abbildung 31). Bei dem höheroberflächigen AEROXIDE® TiO₂ P 90 ist der Rutilanteil nochmal deutlich geringer und beträgt nur noch 5 %.

Abbildung 31



REM Bild (links) und (HR)TEM Aufnahmen (mittig und rechts) von AEROXIDE® TiO₂ P 25. Die unterschiedlichen Kristallphasen sowie die einzelnen Kristallebenen sind deutlich zu erkennen. [6]

Tabelle 10

Physikalisch-chemische Daten der unterschiedlichen pyrogenen Titandioxide.
Die hier genannten Daten sind typische Werte und stellen keine Spezifikation dar.

| Eigenschaft | Einheit | AEROXIDE® TiO ₂ P 25 | AEROXIDE® TiO ₂ P 90 |
|-------------------------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| BET Oberfläche | m ² /g | 35–65 | 70–110 |
| pH-Wert (4% aq. Dispersion) | | 3,5–4,5 | 3,2–4,5 |
| Trocknungsverlust (2 h @ 105 °C) | % | ≤ 1,5 | ≤ 4,0 |
| Stampfdichte | g/l | ca. 140 | ca. 120 |
| Gehalt an TiO ₂ | % | ≥ 99,5 | ≥ 99,5 |

Die physikalisch-chemischen Daten der von Evonik vertriebenen pyrogenen Titandioxid Typen sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Die Oberflächenchemie von Titandioxid ist geprägt durch Hydroxygruppen, die eine energetisch bevorzugte Sechsfach-Koordinierung der Titanatome an der Phasengrenzfläche gewährleisten. Eine Hälfte dieser Hydroxygruppen reagiert sauer, während die andere Hälfte eher basischen Charakter zeigt und mit bestimmten Anionen ausgetauscht werden kann.

Die Herstellung der pyrogenen Titandioxide erfolgt aus Titantetrachlorid, das sich destillativ gut aufreinigen lässt. Das durch die Flammenhydrolyse erzeugte Produkt hat daher eine sehr hohe Reinheit mit einem Titandioxid-Gehalt von mehr als 99,5 %, bezogen auf die zwei Stunden bei 1000 °C geprüfte Substanz. Diese Vorbehandlung ist notwendig, um einen konstanten Bezugspunkt

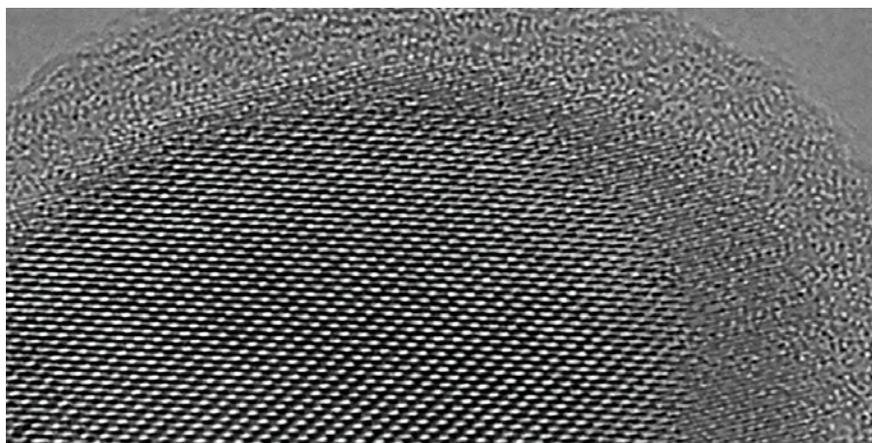
zu erhalten, da wegen der großen spezifischen Oberfläche das physisorbierte Wasser (Trocknungsverlust) und das chemisorbierte Wasser (Glühverlust) gewichtsmäßig berücksichtigt werden müssen. Die hohe Reinheit spielt bei vielen Anwendungen eine wichtige Rolle.

4.2 Titandioxidhaltige Mischoxidtypen

Neben den reinen Titandioxidpulvern werden auch Siliciumdioxid-Titan-dioxid-Mischoxide über das pyrogene Verfahren hergestellt (Siehe auch Kapitel 2.2). Je nach Verfahrensführung können „echte“ Mischoxide sowie Kern-Hülle Mischoxidpartikel hergestellt werden. Bei den „echten“ Mischoxiden ist Titandioxid statistisch in die SiO_2 -Matrix eingebaut, während bei den Kern-Hülle Partikeln eine amorphe SiO_2 Schicht einen kristallinen Titandioxidkern umgibt (Abbildung 33). Der kristalline Titandioxidkern setzt sich aus den Phasen Anatas und Rutil zusammen.

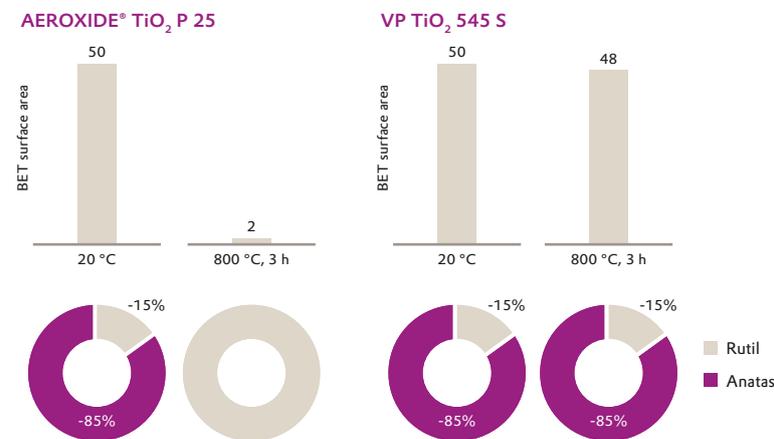
Beispiele für Siliciumdioxid-Titan-dioxid-Mischoxide sind VP TiO_2 545 S und VP TiO_2 1580 S. Diese zeichnen sich besonders durch ihre verbesserte thermische Stabilität aus. So reduziert sich die Oberfläche von AEROXIDE® TiO_2 P 25 beim Erhitzen auf 800 °C über 3 h von 50 m²/g auf nur noch 2 m²/g und es findet eine nahezu vollständige Phasenumwandlung zu Rutil statt. Im Gegensatz dazu verändert sich die Anatas/Rutil-Phasenzusammensetzung des Mischoxids VP TiO_2 545 S durch die thermische Belastung nicht. Zudem bleibt die spezifische Oberfläche bei einer Temperatur von 800 °C über eine Verweilzeit von 3 Stunden praktisch unverändert.

Abbildung 32



HR-TEM Aufnahme eines pyrogen hergestellten Mischoxids mit Kern-Hülle-Morphologie: eine amorphe SiO_2 -Schicht umgibt einen kristallinen TiO_2 -Kern.

Abbildung 33



Vergleich der spezifischen Oberfläche vor und nach Temperaturbehandlung von AEROXIDE® TiO_2 P 25 und VP TiO_2 545 S.

Entwicklungsprodukte tragen die Bezeichnung VP im Produktnamen. Die Kommerzialisierung ist abhängig von der Rückmeldung des Marktes.

Diese Mischoxide werden vor allem als Träger für Katalysatoren verwendet. In Kapitel 4.6.1 wird dieser Effekt im Detail beschrieben.

Ein eisenoxidhaltiges Titandioxid ist AEROXIDE® TiO₂ PF 2, das zur Hitze-stabilisierung von Silikonen Verwendung findet (Siehe Kapitel 4.6.3).

Tabelle 11

Physikalisch-chemische Daten pyrogener titandioxidhaltiger Mischoxide. Die hier genannten Daten sind typische Werte und stellen keine Spezifikation dar.

| Eigenschaft | Einheit | VP* TiO ₂ 1580 S | VP* TiO ₂ 545 S | AEROXIDE® TiO ₂ PF 2 |
|--|-------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| BET Oberfläche | m ² /g | 65–95 | 40–55 | 45–70 |
| pH-Wert | | 3,0–4,5 | 3,5–4,5 | 3,5–4,5 |
| Trocknungsverlust (2h @ 105 °C) | % | n. a. | n. a. | ≤ 2,0 |
| Stampfdichte | g/l | ca. 60 | ca. 100 | ca. 80 |
| Gehalt an SiO ₂ | % | ca. 15 | ca. 5 | n. a. |
| Gehalt an TiO ₂ | % | ca. 85 | ca. 95 | ≥ 94,0 |
| Gehalt an Fe ₂ O ₃ | % | n. a. | n. a. | 1,0–3,0 |

* Entwicklungsprodukte tragen die Bezeichnung VP im Produktnamen. Die Kommerzialisierung ist abhängig von der Rückmeldung des Marktes.

4.3 Oberflächenbehandeltes Titandioxid

In bestimmten Anwendungen kann es notwendig sein, ein oberflächen-modifiziertes Titandioxid einzusetzen. Durch eine chemische Nachbehandlung lässt sich das hydrophile Titandioxid in ein hydrophobes Material überführen. Ein kommerziell erhältliches Produkt ist AEROXIDE® TiO₂T 805, ein pyrogenes Titandioxid, das Octylgruppen auf der Oberfläche trägt. Dieses Produkt zeichnet sich insbesondere durch gute Dispergierbarkeit und geringe Feuchtigkeitsaufnahme aus. Es hat weiterhin folgende Eigenschaften:

- Hohe UV-Absorption
- Hohe Photostabilität
- Leicht dispergierbar, vor allem in unpolaren Flüssigkeiten

- Verminderte chemische Reaktionsfähigkeit
- Geringere Verdickungswirkung
- Verbesserung der Fließfähigkeit und Stabilisierung der elektrostatischen Ladung von Tonerpulvern für Kopierer und Laserdrucker

AEROXIDE® TiO₂T 805 lässt sich durch die genannten Eigenschaften hervorragend als Additiv in Tonern oder als Hitzestabilisator für Silikone einsetzen.

Weitere mit verschiedenen Alkylsilanen hydrophobierte Titandioxid- bzw. titandioxidhaltige Mischoxidtypen sind AEROXIDE® STX 501,

AEROXIDE® STX 801, AEROXIDE® TiO₂ NKT 90 und VP NKT 65. Diese Produkte werden hauptsächlich verwendet, um die elektrostatische Aufladbarkeit, das Fließverhalten und die Stabilität von Tonern für Kopierer und Laserdrucker einzustellen.

Die physikalisch-chemischen Daten der einzelnen hydrophoben Titandioxide sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 12

Physikalisch-chemische Daten der oberflächenbehandelten pyrogenen Titandioxid -Typen. Die hier genannten Daten sind typische Werte und stellen keine Spezifikation dar.

| Eigenschaft | Einheit | AEROXIDE® TiO ₂ T 805 | AEROXIDE® STX 501 | AEROXIDE® STX 801 | AEROXIDE® TiO ₂ NKT 90 | VP* NKT 65 |
|------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------------|---------------|
| BET Oberfläche | m ² /g | 35–55 | 25–45 | 45–65 | 50–75 | 30–60 |
| pH-Wert (4% aq. Dispersion) | | 3,0–4,0 | 6,0–9,5 | 6,0–9,0 | 3,0–4,0 | 3,0–7,0 |
| Trocknungsverlust (2h @ 105 °C) | % | ≤1,0 | <=1,0 | <=1,0 | ≤1,0 | <=1,0 |
| Stampfdichte | g/l | ca. 200 | ca. 130 | ca. 130 | n. a. | n. a. |
| Gehalt an C | % | 2,7–3,7 | 0,2–1,0 | 0,7–1,1 | 2,5–4,5 | 1,0–4,0 |

* Entwicklungsprodukte tragen die Bezeichnung VP im Produktnamen. Die Kommerzialisierung ist abhängig von der Rückmeldung des Marktes.

4.4 Granuliertes Titandioxid

Eine Auswahl der Titandioxide und Titandioxid-Siliciumdioxid-Mischoxide ist auch in granulierter Form unter der Bezeichnung AEROPERL® erhältlich. Diese Produkte weisen eine Reihe von Vorteilen gegenüber den Produkten in Pulverform auf (siehe Abschnitt 2.4). Neben der einfacheren Handhabbarkeit spielt insbesondere die Porosität für katalytische Anwendungen eine wichtige Rolle.

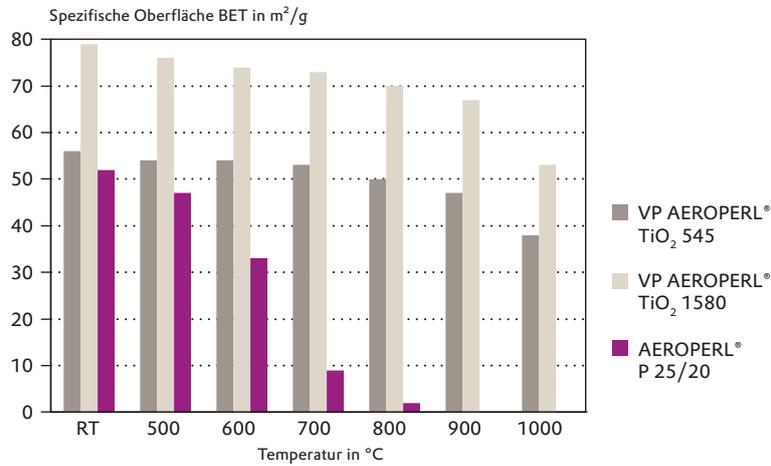
Reines Titandioxid ist in granulierter Form als VP AEROPERL® P 25/20 verfügbar. Dieses Produkt findet als Träger oder Adsorbens in zahlreichen Anwendungen Verwendung. Die mittlere Partikelgröße dieses Produkts beträgt ca. 20 µm und die Stampfdich-

te ist mit 700 g/l um ein Vielfaches höher als die des nicht granulierten Ausgangsmaterials.

Bei VP AEROPERL® TiO₂ 545 und VP AEROPERL® TiO₂ 1580 handelt es sich um die granuliert Form der entsprechenden Titandioxid-Siliciumdioxid-Mischoxide (siehe auch Abschnitt 4.2). Diese AEROPERL® Typen unterscheiden sich untereinander hauptsächlich in Bezug auf die spezifische Oberfläche und ihren Gehalt an Siliciumdioxid (Tabelle 13). Im Vergleich zu dem reinen Titandioxid VP AEROPERL® P 25/20 weisen diese Produkte eine hohe thermische Stabilität auf (Abbildung 35). Auch bei erhöhten Temperaturen findet

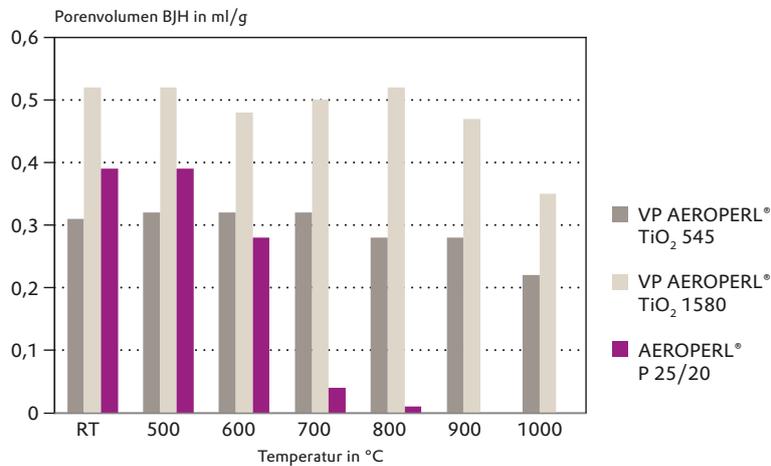
keine nennenswerte Umwandlung der Kristallstruktur von Anatas zu Rutil statt, entsprechend bleibt auch die spezifische Oberfläche erhalten. (Siehe dazu auch Abschnitt 4.6.1). Damit lassen sich thermale und hydrothermale Alterungseffekte für hochoberflächige Titandioxid-basierte Katalysatorträger effektiv unterdrücken. Auch die Porosität bleibt im Gegensatz zu VP AEROPERL® P 25/20 bei hohen Temperaturen erhalten (Abbildung 36).

Abbildung 34



Thermische Stabilität (Spezifische Oberfläche, BET) nach 3 h bei der angegebenen Temperatur von VP AEROPERL® P 25/20, VP AEROPERL® TiO₂ 545 und VP AEROPERL® TiO₂ 1580

Abbildung 35



Thermische Stabilität (Mesoporen durch Stickstoffadsorption bestimmt) nach 3 h bei der angegebenen Temperatur von VP AEROPERL® P 25/20, VP AEROPERL® TiO₂ 545 und VP AEROPERL® TiO₂ 1580.

*Entwicklungsprodukte tragen die Bezeichnung VP im Produktnamen. Die Kommerzialisierung ist abhängig von der Rückmeldung des Marktes.

Tabelle 13

Physikalisch-chemische Daten der auf Titandioxid und Titan-Silicium-Mischoxiden basierenden AEROPERL® Produkte.

Die hier genannten Daten sind typische Werte und stellen keine Spezifikation dar.

| Eigenschaft | Einheit | VP* AEROPERL® P 25/20 | VP* AEROPERL® TiO ₂ 545 | VP* AEROPERL® TiO ₂ 1580 |
|------------------------------------|-------------------|-----------------------------|--|---|
| BET Oberfläche | m ² /g | 35–65 | 35–55 | 60–90 |
| pH-Wert (4% aq. Dispersion) | | 3,0–4,5 | 3,0–4,5 | 3,0–4,5 |
| Trocknungsverlust (2h @ 105 °C) | % | ≤ 2,5 | ≤ 2,5 | ≤ 2,5 |
| Stampfdichte | g/l | ca. 700 | ca. 600 | ca. 550 |
| Gehalt an SiO ₂ | % | n. a | ca. 5 | ca. 15 |
| Gehalt an TiO ₂ | % | n. a | ca. 95 | ca. 85 |

* Entwicklungsprodukte tragen die Bezeichnung VP im Produktamen. Die Kommerzialisierung ist abhängig von der Rückmeldung des Marktes.

Die Eigenschaften der auf Titandioxid und Titan-Silicium-Mischoxiden basierenden AEROPERL® Produkte sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

4.5 Titandioxiddispersionen

Ob als Katalysatorträgermaterial oder als Beschichtung, Dispersionen der Titandioxid-Typen können auch hier einen Kundenvorteil bringen. Die direkte Verwendung der Dispersion in Beschichtungsverfahren vermeidet die aufwendige Handhabung des stauenden Pulvers. Die Herstellung einer Dispersion von pyrogenen Titandioxid-Produkten wie AEROXIDE® TiO₂ P 25 benötigt einen hohen Energieeintrag und mit konventionellen Dispersions-Aggregaten bleiben oft größere Agglomerate zurück, die dann eine homogene Teilchenverteilung verhindern (siehe hierzu Abbildung 37).

Mit AERODISP® W 740 X und VP Disp. W 2730 X werden hochgefüllte Dispersionen der Titandioxid-Produkte AEROXIDE® TiO₂ P 25

sowie AEROXIDE® TiO₂ P 90 angeboten. Diese eignen sich besonders für die Aufbringung von Schichten

auf beliebige Trägermaterialien, um unter anderem die (photo-)katalytische Aktivität des Titandioxids zu nutzen.

Tabelle 14

Physikalisch-chemische Daten von ausgewählten wässrigen Titandioxid-Dispersionen. Die hier genannten Daten sind typische Werte und stellen keine Spezifikation dar.

| Eigenschaft | Einheit | AERODISP® W 740 X | VP Disp. W 2730 X |
|----------------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| TiO ₂ Feststoff | | AEROXIDE® TiO ₂ P 25 | AEROXIDE® TiO ₂ P 90 |
| Feststoffgehalt | % | ca. 40 | ca. 30 |
| pH-Wert | | 5,0–7,0 | 6,0–8,0 |
| Viskosität | mPas | ≤ 30 | ≤ 5000 |
| Dichte | g/cm ³ | 1,41 | 1,28 |
| Aggregatgröße (d50) | nm | 70 | ≤ 100 |

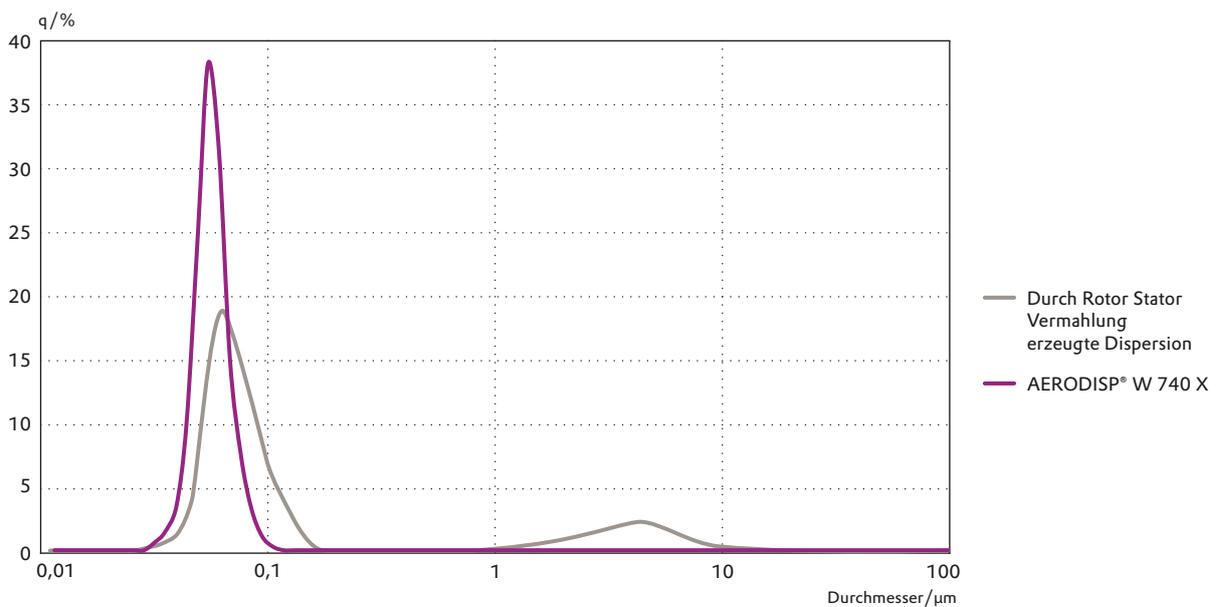
* Entwicklungsprodukte tragen die Bezeichnung VP im Produktamen. Die Kommerzialisierung ist abhängig von der Rückmeldung des Marktes.

Die Evonik-eigene Dispergiertechnologie erlaubt es, Dispersionen dieser Metalloxide mit einem mittleren Aggregatdurchmesser von unter 100 nm herzustellen. Dies gewährleistet eine hohe Transparenz bei dünnen Schichten. Abbildung 37 zeigt den Effekt dieser Hochenergievermahlung am Beispiel von AEROXIDE® TiO₂ P 25.

Wird eine 40%ige Titandioxid-Dispersion nur unter Verwendung eines Rotor/Stator-Aggregats hergestellt, so resultiert eine mittlere Teilchengröße von 80 nm, allerdings bei einer bimodalen Verteilung mit einem hohen Anteil an Aggregatgrößen im Bereich von mehreren Mikrometern. Nach der Hochenergievermahlung, welche das

Verkaufsprodukt AERODISP® W 740 X liefert, sinkt die mittlere Teilchengröße auf 70 nm und der Grobanteil ist komplett entfernt worden. Diese Dispersion ist nun sowohl lagerstabil, als auch für die Anwendung in transparenten Beschichtungen geeignet.

Abbildung 36



Effekt der Hochenergievermahlung einer 40%igen Titandioxid-Dispersion.

4.6 Anwendungstechnische Effekte

Die wichtigsten Anwendungen werden nachfolgend kurz beschrieben. Die Aufstellungen erheben keinen

Anspruch auf Vollständigkeit und sollen die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten dieser Produkte veranschaulichen.

4.6.1 Katalysatorträger

Titandioxid wird als Trägermaterial und Aktivkomponente sowohl für Abgaskatalysatoren als auch Prozesskatalysatoren geschätzt. So ist Titandioxid beispielsweise zusammen mit Vanadiumpentoxid eine unverzichtbare Komponente in sogenannten SCR-Katalysatoren zur selektiven katalytischen Reduktion von Stickoxiden in Abgasströmen. In anderen Fällen wird Titandioxid als inerte und chemisch äußerst widerstandsfähiger Träger benutzt. Von besonderer Bedeutung ist dabei unter anderem die hohe Toleranz von Titandioxid gegenüber Schwefeloxiden.

Für viele katalytische Anwendungen müssen die verwendeten Titandioxidtypen eine möglichst große Oberfläche und eine hohe chemische Reinheit aufweisen. Auch die Phasenstruktur ist wichtig, wobei in der Regel anatasreiche Produkte bevorzugt werden. Aus all diesen Gründen eignen sich AEROXIDE® TiO₂ P 25 und AEROXIDE® TiO₂ P 90 hervorragend als Ausgangsmaterial zur Herstellung von Katalysatoren. Beide Typen sind chemisch extrem rein, insbesondere enthalten sie aufgrund der pyrogenen Herstellungsweise kein Sulfat als Verunreinigung. Die große Oberfläche ist für katalytische Prozesse gut zugänglich. Die Porosität kann vom

Anwender zum Beispiel bei der Herstellung von Formkörpern für Prozesskatalysatoren oder von Washcoats bei Abgaskatalysatoren selbst flexibel eingestellt werden.

Alternativ dazu bietet Evonik unter dem Markennamen AEROLYST® auch fertige Formkörper als Extrudate mit unterschiedlichen Durchmessern und BET-Oberflächen an. Diese können entweder in überwiegend Anatas- oder auch in einer nahezu vollständigen Rutilmodifikation zur Verfügung gestellt werden. Die Formkörper zeichnen sich durch hervorragende physikalisch-chemische Kenndaten (Abriebsbeständigkeit, Druckfestigkeit, usw.) aus. Insbesondere erwähnenswert ist die Tatsache, dass das Porenvolumen komplett aus Mesoporen besteht. Hierdurch bieten diese Extrudate optimale Transporteigenschaften für die Diffusion von Edukten und Produkten. In einzelnen Anwendungen kann AEROLYST® direkt als Katalysator eingesetzt werden, oder auch nach Beladung mit einer Aktivkomponente. Die Katalysatorherstellung kann ebenfalls von Evonik durchgeführt werden.

In einigen Fällen möchten die Kunden ihre Anwendungsform der Katalysatoren, wie z. B. Formkörper oder Washcoats selbst herstellen, aber

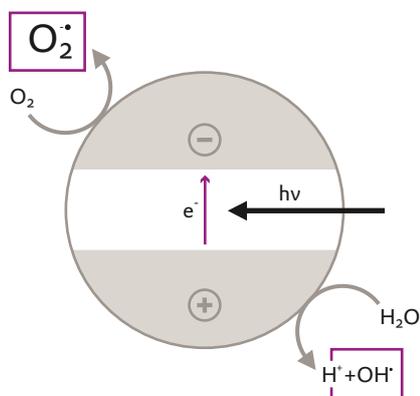
dennoch den Umgang mit einem pulverförmigen Material von geringer Schüttdichte vermeiden. Für diese Fälle hat Evonik Mikrogranulate und Dispersionen entwickelt, die unter dem Namen AEROPERL® bzw. AERODISP® erhältlich sind (siehe auch Abschnitt 4.4 und 4.5).

Eine besondere Herausforderung beim Einsatz von Titandioxid als Katalysatorträger stellt allerdings die Temperaturbeständigkeit dar. Wie in Kapitel 4.2 beschrieben reduziert sich die Oberfläche von AEROXIDE® TiO₂ P 25 beim Erhitzen auf 800 °C über 3 h von 50 m²/g auf nur noch 2 m²/g, und es findet eine nahezu vollständige Phasenumwandlung zu Rutil statt. Durch Beimischung kleiner Mengen Siliciumdioxid lässt sich die thermische Stabilität von Titandioxid allerdings erheblich verbessern. Insbesondere die im Abschnitt 4.2 beschriebenen Silicium-Titan-Mischoxide VP TiO₂ 545 S und VP TiO₂ 1580 S zeigen herausragende thermische Stabilitäten. Pyrogene Titandioxidtypen mit einem kleinen Anteil an Siliciumdioxid zur Erhöhung der thermischen Stabilität sind auch als AEROPERL® Variante verfügbar. Details hierzu sind in Kapitel 4.4 beschrieben.

4.6.2 Photokatalytische Reaktionen

Titandioxid ist ein Halbleiter. Nach dem Bändermodell, mit dem Leiter, Isolatoren und Halbleiter beschrieben werden können, entspricht die Bandlücke zwischen Valenz- und Leitungsband bei Titandioxid in der Anatas-Kristallmodifikation dem Energieinhalt von Lichtquanten bis zu 3.26 eV, bzw. einer Wellenlänge von 380 nm. Die Rutil-Modifikation weist eine Bandlücke auf, die dem Energieinhalt eines Lichtquants mit einer Wellenlänge von ca. 410 nm entspricht. Daher sind Titandioxide in der Lage, UV-Licht zu absorbieren, und es können zahlreiche Folgeprozesse ausgelöst werden.

Abbildung 37



Schematische Darstellung eines photokatalytischen Mechanismus

In einem Übersichtsartikel fassen Carp et al. den Wissensstand bezüglich der photoinduzierten Reaktivität von Titandioxid zusammen [11]. Danach ist zwischen drei Prozessen zu unterscheiden: Photovoltaischer Effekt, photoinduzierte Superhydrophilie und Photokatalyse. Letzteres kann weiter differenziert werden in photokatalytische Abbau-Reaktionen (Entfernung von Schadstoffen und/oder Desinfektion) und speziellen Reaktionen wie die photolytische Wasserspaltung.

Ein in der Literatur diskutierter Mechanismus [12] wie reaktive Spezies unter Einwirkung von Licht und Wasser an der Oberfläche von Titandioxid entstehen können, ist in dem folgenden vereinfachten Schema verdeutlicht. Durch ein Lichtquant wird ein Elektron vom Valenzband des Titandioxids in das Leitungsband angeregt. Von dort kann es auf ein Sauerstoffmolekül übertragen werden, was zur Bildung eines reaktiven Hyperoxid-Radikalanions führt. Die im Valenzband entstandene Elektronenlücke kann durch Aufnahme eines Elektrons aus einem Wassermolekül geschlossen werden, wodurch ein ebenfalls reaktives Hydroxylradikal gebildet wird.

In Farben und Lacken wird die Photokatalyse in der Regel unterdrückt. Zur Vermeidung des Kontaktes zwischen organischen Verbindungen und der Titandioxid-Oberfläche sind praktisch alle pigmentären Titandioxide mit anorganischen Oxiden (z. B. Silicium- oder Aluminiumoxide) nachbehandelt. Auf diese Weise wird das „Kreiden“ von Beschichtungen effektiv vermieden.

Nach dem pyrogenen Verfahren hergestellte Titandioxide überraschen durch ihre sehr hohe Photoaktivität, was vor allem auf zwei Faktoren zurückzuführen ist: Zum einen auf die sehr hohe Oberfläche, und zum anderen auf die einzigartige Kristallstruktur.

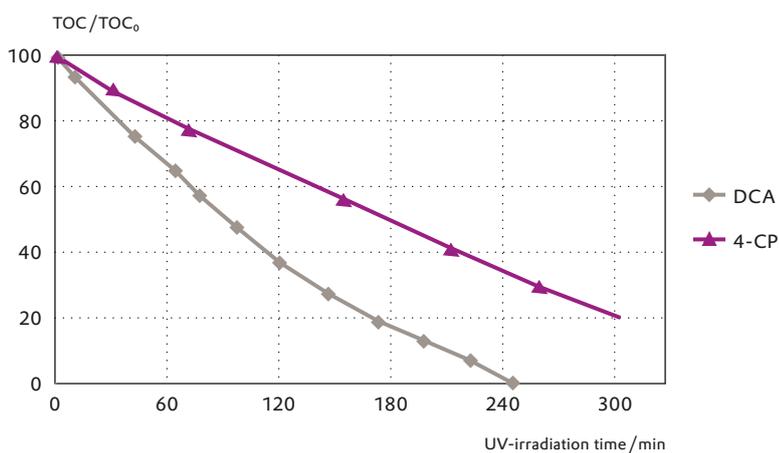
Der Einfluss der Kristallstruktur wurde in mehreren Arbeiten analysiert: Smirniotis et al. [13] zeigen, dass die Synergie zwischen Anatas- und Rutilphase (wie bei AEROXIDE® TiO₂ P 25) nicht universell ist und Gray et al. [14] erläutern, dass das Rutil eine Antennenfunktion übernimmt. Dadurch wird die Photoaktivität in sichtbare Wellenlängenbereiche erweitert und die strukturellen Besonderheiten der ähnlich geformten TiO₂-Kristallite resultieren zu katalytischen „hot spots“ an der Phasengrenzfläche Anatas/Rutil.

Die Fixierung des Photokatalysators an Oberflächen unterschiedlicher Substrate gelingt z. B. durch den Einsatz von Titandioxiddispersionen. Bei der Dispergierung in einem flüssigen System können keine isolierten Primärpartikel generiert werden, sondern nur mehr oder weniger kleine Aggregate bzw. Agglomerate. Ihre Größenverteilung hängt in erster Linie von der Intensität der Dispergierung ab (siehe auch Abschnitt 4.5). Mit Hilfe spezieller Hochenergie-Dispergiertechniken wurden von Evonik niedrig-viskose und dennoch hochgefüllte wässrige Titandioxid-Dispersionen entwickelt, deren Aggregatgrößen auf Werte von <100 nm heruntergemahlen wurden. Durch Dip-Coating lassen sich

dann z. B. Glas-Werkstoffe einfach beschichten. Je nach Schichtdicke sind annähernd transparente bzw. transluzente Belegungen möglich. Weitere Optionen bestehen durch den Einsatz von Aktivkohle/Epoxybindern, mit Hilfe von Raschigringen, auf Edelstahl oder auch als „In-Masse-Anwendung“ in zementhaltigen Baustoffen. Interessant sind die Arbeiten von Kiwi et al, nach denen photokatalytische Eigenschaften auf Baumwolltextilien durch TiO₂-Anbindung realisiert werden können [15] [16]. Bei einem Vergleich der antibakteriellen Wirkung von zahlreichen kommerziell erhältlichen Titandioxiden hat sich die Ausnahmestellung von AEROXIDE® TiO₂ P 25 bestätigt [15].

AEROXIDE® TiO₂ P 25 eignet sich weiterhin hervorragend als Katalysator in der Abwasserreinigung, da es den Abbau diverser Chlorphenole aufgrund der photokatalytischen Aktivität begünstigt (Abbildung 39).

Abbildung 38



Photokatalytische Zersetzung von 4-Chlorphenol (4-CP) sowie Dichloressigsäure (DCA) unter Verwendung von AEROXIDE® TiO₂ P 25

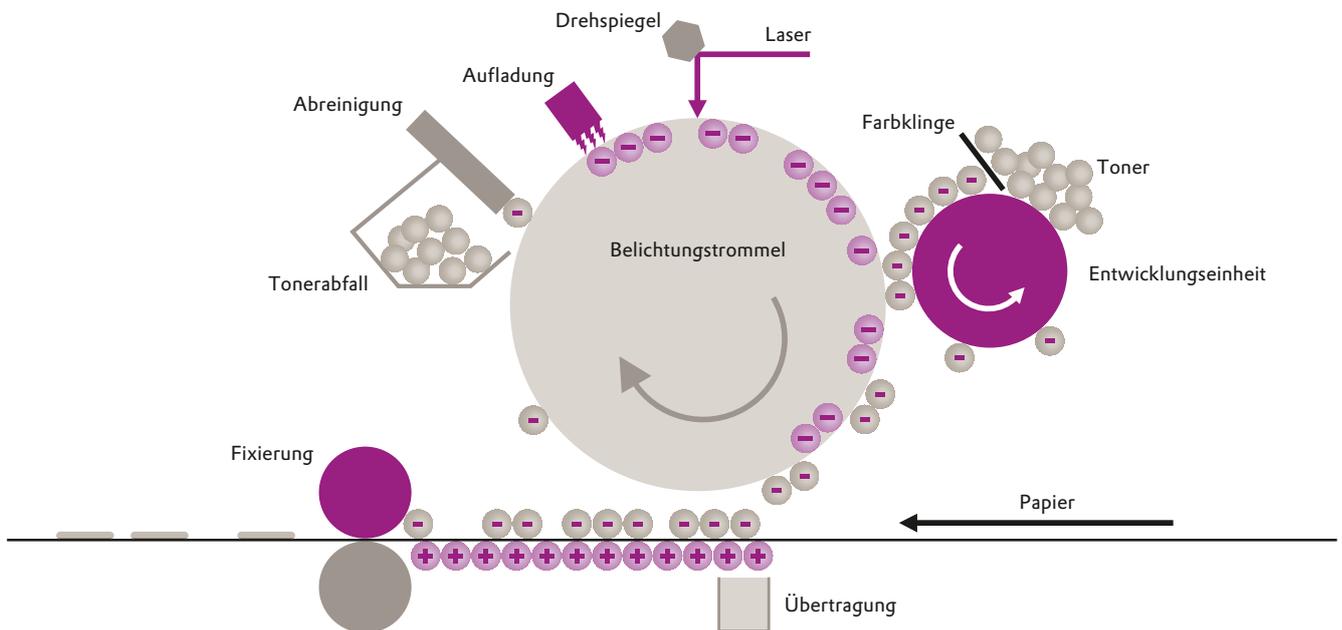
4.6.3 Toner

Tonerpartikel sind die farbtragenden Teilchen bei Druckprozessen wie z. B. bei Laserdruckern, Kopierern oder Faxgeräten. Anders als Tinten, in

denen die schwarzen bzw. farbigen Bestandteile in flüssiger Form auf das zu bedruckende Medium gebracht werden, handelt es sich bei Tonern um

trockene Pulver. Folgende Abbildung gibt die wesentlichen Vorgänge beim „Tonerdruck“ (elektro-fotografischer Prozess, xerografischer Druck) wieder:

Abbildung 40



Schematische Darstellung der wesentlichen Vorgänge während eines Tonerdruckvorgangs

Hauptbestandteile von Tonern sind: thermoplastische Harze, Pigmente, Wachse, organische Additive und sog. externe Additive. Solchen externen Additiven kommt innerhalb der Toneranwendung eine entscheidende Rolle zu, die sich zunächst nicht offensichtlich erschließt. So lässt sich mit diesen Stoffen u. a. die sog. triboelektrische Aufladbarkeit (elektr. Aufladung durch Reibung) der Tonerpartikel steuern. Die Aufladbarkeit ist die Basis für den xerografischen Druck, da der Prozess

nur durch eine gezielte Steuerung der Ladung auf der Tonerpartikeloberfläche funktioniert. Darüber hinaus müssen diese Additive die Fließfähigkeit des Pulvers steigern bzw. auch bei hoher Luftfeuchtigkeit gewährleisten, um Verklumpungen des Toners zu vermeiden, die dem Druckbild schaden würden. Verschiedene pyrogene Oxide, sowohl AEROSIL® wie auch AEROXIDE® Typen, kommen als externe Additive zum Einsatz.

Steigerung der Fließfähigkeit von Tonern

Zwei Effekte bewirken, dass Tonerpartikel, die mit AEROSIL® oder AEROXIDE® Pulvern behandelt wurden, eine deutlich bessere Fließfähigkeit aufweisen: zum einen können diese pyrogenen Metalloxide den auf der Oberfläche von Tonern anhaftenden Flüssigkeitsfilm (bei hoher Luftfeuchtigkeit adsorbiertes Wasser) unterbrechen, was zur Folge hat, dass einzelne Partikel nicht mehr allzu stark

aneinanderhaften. Zum anderen können diese Additive wie eine Art Abstandhalter zwischen Tonerpartikeln agieren. Hierdurch werden die interpartikulären Haftkräfte vermindert (Das allgemeine Grundprinzip der Fließverbesserung wird auch in Kapitel 3.6.4, Abbildung 19 beschrieben)

Bei Tonerpartikeln, die Komponenten mit niedrigen Glasübergangstemperaturen enthalten, ist oft das Problem, dass Additive auf der Oberfläche aufgrund der plastischen Verformbarkeit des Toners ins Innere der Partikel wandern, so dass sie nicht mehr als Abstandhalter wirken können. Mit niedrig-oberflächigen, größeren

AEROSIL® Partikeln kann man dies umgehen. Solche Partikel bleiben an der Oberfläche und verhindern zudem, dass feinteilige Additive durch Zusammenstöße von plastischen Tonerpartikeln ihre Wirkung verlieren.

Steuerung der triboelektrischen Eigenschaften

AEROSIL® und AEROXIDE® Produkte zeichnen sich durch eine hohe Reinheit und einen niedrigen Wassergehalt aus. Aufgrund dieser Eigenschaften ist der elektrische Widerstand der Pulver sehr hoch, wodurch diese hohe elektrische Ladungsdichten aufweisen können, was wiederum eine ausgezeichnete

Aufladbarkeit der Tonerpartikel zur Folge hat. Durch eine geeignete nachträgliche Oberflächenbehandlung der AEROSIL® Partikel kann die Ladungssteuerung weiter optimiert werden. So weisen z. B. hydrophobe Typen eine höhere negative Ladungsdichte auf als hydrophile Produkte bei vergleichbarer Oberfläche. Durch die Wahl des Nachbehandlungsreagenz ist es auch möglich, eine „Umpolung“ zu erreichen und positiv aufgeladene AEROSIL® Partikel zu erzeugen: Ein Beispiel dafür ist AEROSIL® R 504, welches unter anderem mit einem Aminosilan nachbehandelt ist.

Tabelle 15

Übersicht geeigneter AEROSIL®- und AEROXIDE®- Typen zur Verwendung in Tonern, sowie deren triboelektrischen Eigenschaften.

| | AEROSIL® | | | | | | | AEROXIDE® | | | | |
|---|------------------|--------|--------|-------------|--------|----------|--------|------------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|-------|
| | SiO ₂ | | | | | | | SiO ₂ /TiO ₂ | TiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | |
| BET Oberfläche des Ausgangsmaterials in m ² /g | 50 | 50 | 90 | 130 | 150 | 200 | 300 | 45 | 80 | 50 | 90 | 100 |
| DDS | | | | R972 | | R974 | R976 | | | | | |
| | | | | | | R9200 | R976S | | | | | |
| PDMS | RY 50 | NY 50 | | RY 200S | RY 202 | RY 200 | RY 300 | | | | | |
| | | | | | | RY 200L | | | | | | |
| HMDS | RX 50 | NAX 50 | NX90G | | | RX 200 | R 812 | | | | | |
| | | | NX90S | NX130 | | R 8200 | R 812S | STX 501 | STX 801 | | | |
| | | | | | | RX 300 | | | | | | |
| HH+AS | | NA 50H | | | | R 504 | | | | | | |
| | | NA 50Y | REA 90 | VP NA 130 Y | | REA 200 | | | | | | |
| | | | | | | RA 200HS | | | | | | |
| | | | | | | NA 200Y | | | | | | |
| RS | | | | | | R 805 | | | | T 805 | NKT 90 | C 805 |
| D4 | | | | | | R 104 | R 106 | | | | | |

DDS = Dimethyldichlorosilan,
 PDMS = Polydimethylsiloxan,
 HMDS = Hexamethyldisilazan,
 HH = HMDS oder PDMS,
 AS = Amminosilan,
 RS = Alkylsilan,
 D4 = Tetra (dimethylsiloxan).

VP = Entwicklungsprodukt.
 Die Kommerzialisierung ist abhängig von der Rückmeldung des Marktes.



Darüber hinaus werden auch nicht SiO₂-basierte Partikel zur Steuerung der Ladungsverteilung und zur Ladungsstabilität eingesetzt. Hier zeigen insbesondere AEROXIDE® Produkte wie AEROXIDE® STX 801 oder AEROXIDE® STX 501 ihr volles Potential. Bei diesen hydrophoben Spezialtypen handelt es sich um Titandioxidpartikel, die mit einer Schicht

aus Siliciumdioxid umhüllt sind. Diese Kern-Schale-Produkte vereinen triboelektrische Eigenschaften von reinem TiO₂ mit den Oberflächeneigenschaften von SiO₂. Tabelle 16 zeigt die anwendungstechnischen Unterschiede von reinem Siliziumdioxid, reinem Titandioxid und einem entsprechenden Mischoxid aus SiO₂/TiO₂:

Tabelle 16

Vergleich der Elektrisierung von reiner pygener Kieselsäure, dem Mischoxid AEROXIDE® STX 801, sowie reinem pyrogenen Titandioxid.

| | pyrogene Kieselsäure | AEROXIDE® STX 801 | pyrogenes Titandioxid |
|-------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|
| Triboelektrische Ladung | hoch | mittel | niedrig |
| Ladungsverteilung | breit | mittel | eng |
| Geschwindigkeit der Aufladung | schnell | schnell | langsam |
| Ladungsstabilität | niedrig | hoch | mittel |

AEROSIL® und AEROXIDE® Pulver werden zudem noch zur Optimierung weiterer Eigenschaften eingesetzt. Um ein gutes Druckbild zu erhalten, ist es notwendig anhaftende Tonerreste von der Belichtungstrommel zu entfernen. Hier können beispielsweise Produkte wie AEROSIL® RX 50 als Reinigungs-

hilfsmittel eingesetzt werden, die aufgrund ihrer Struktur überschüssige Tonerpartikel von der Trommeloberfläche entfernen. Weitere Informationen zur Verwendung von AEROSIL® und AEROXIDE® Produkten in Tonern sind auch in der Technischen Information 1222 zu finden [17].

4.6.4 Hitzestabilisator für Silikone

Silikone zeichnen sich gegenüber anderen elastomeren Kunststoffen durch eine Reihe besonderer Merkmale aus, die sie für besondere Anwendungen prädestinieren. Zu nennen sind insbesondere die hohe Kälte- wie auch Hitzebeständigkeit der mechanischen Eigenschaften sowie eine hohe Resistenz gegen Chemikalien und Witterungseinflüsse. Chemisch besteht Silikonkautschuk aus Polydimethylsiloxanen (PDMS), d. h. aus Ketten, die alternierend aus Sauerstoff- und Siliciumatomen bestehen, wobei die beiden restlichen Valenzen des Siliciums durch Methylgruppen abgesättigt sind. Viele Silikone weisen eine für die Anwendung zu geringe mechanische Festigkeit auf. Diese lässt sich durch geeignete aktive Füllstoffe, wie hydrophile oder hydrophobe AEROSIL® Typen, kompensieren.

Silikone lassen sich in drei Produktgruppen unterteilen:

- RTV Silikone (RTV = Raum Temperatur Vernetzend),
- Festsilikonkautschuk (HCR = High-Consistency Rubber),
- Flüssigsilikonkautschuk (LSR = Liquid Silicone Rubber).

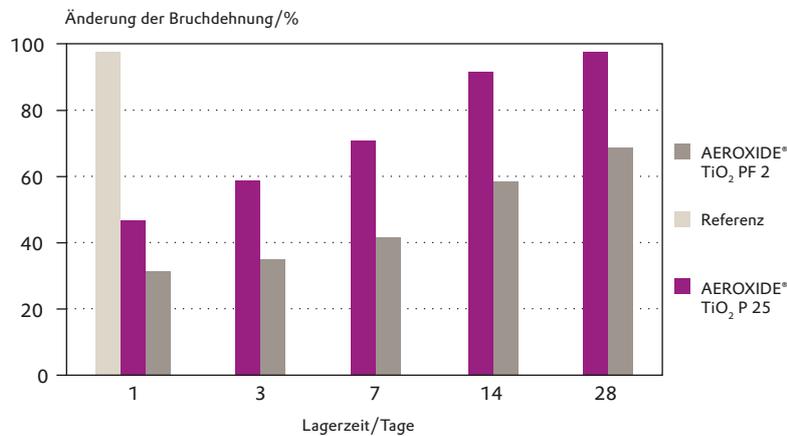
Formkörper, die höheren Temperaturen ausgesetzt sind, wie Dichtungen, Kabel oder Schläuche im Automobilbau, wie auch in der Luft- und Raumfahrt bestehen aus temperaturvernetzendem Silikonkautschuk (HCR oder LSR).

Ab Temperaturen von etwa 200 °C beginnt beim HCR die Hitzealterung, welche sich durch eine Reduzierung der mechanischen Eigenschaften, wie der Elastizität oder der Weiterreißfestigkeit, bemerkbar macht. Verantwortlich sind Oxidationsprozesse oder thermische Kettenspaltungen, die Umlagerungen und Eliminierungen kleiner Kettenbruchstücke nach sich ziehen.

Es gibt diverse Additive, welche die Hitzestabilität der Silikone verbessern. Bewährt hat sich die Zugabe von 0,5–5,0 % AEROXIDE® TiO₂ P 25 oder 0,5–3,0 % AEROXIDE® TiO₂ PF 2. Grund für die hohe Wirksamkeit ist die Fähigkeit von AEROXIDE® TiO₂-Typen, unter Bildung von Titan(III)ionen freie Elektronen aufzunehmen und somit gebildete Hydroxy-Radikale zu inhibieren. Die Eignung von AEROXIDE® TiO₂ zur Stabilisierung von Silikon bezüglich thermischer Alterung wird mit den folgenden Abbildungen verdeutlicht.

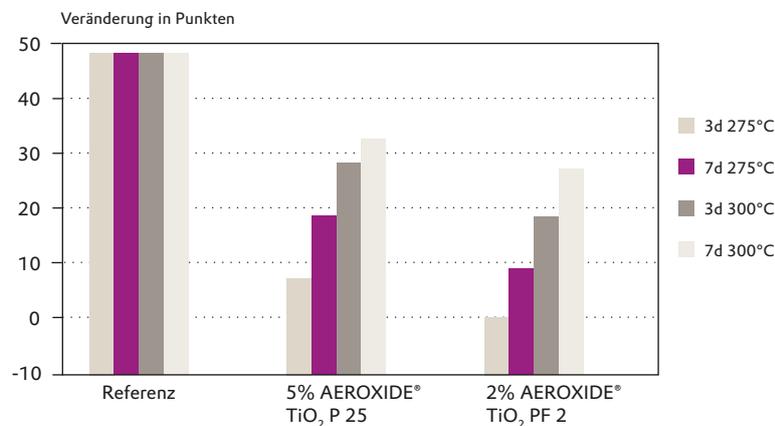
Abbildung 41 zeigt die Änderung der Bruchdehnung während der Lagerung von HCR bei 275 °C ohne Additiv zur Hitzestabilisierung (Referenz) und mit AEROXIDE® TiO₂ P 25 (1,5 %) bzw. AEROXIDE® TiO₂ PF 2 (1,5 %). Es ist ersichtlich, dass die Referenz bereits nach 24 Stunden stark abgebaut hat und nach 3 Tagen keine Messung mehr möglich war. Die Änderung der Bruchdehnung unter Verwendung von AEROXIDE® TiO₂ PF 2 ist im Vergleich zu der Probe mit AEROXIDE® TiO₂ P 25 geringer. Dies zeigt, dass AEROXIDE® TiO₂ PF 2 bei dem verwendeten Silikon und der verwendeten Temperatur wirksamer ist. Nach einer Lagerung der Prüfkörper über 7 Tage bei 275 °C sind durch Zusatz von 1,5 % AEROXIDE® TiO₂ PF 2 noch über 50 % der ursprünglichen Bruchdehnung vorhanden.

Abbildung 41



Änderung der Bruchdehnung während der Lagerung von HCR bei 275 °C ohne Additiv zur Hitzestabilisierung (Referenz) und mit AEROXIDE® TiO₂ P 25 (1,5%) bzw. AEROXIDE® TiO₂ PF 2 (1,5%).

Abbildung 42



Änderung der Härte nach Shore-A während der Lagerung von LSR bei 275 °C bzw. 300 °C ohne Additiv zur Hitzestabilisierung (Referenz) und mit AEROXIDE® TiO₂ P 25 (5%) bzw. AEROXIDE® TiO₂ PF 2 (2%).

Die Änderung der Härte nach Shore-A während der Lagerung von LSR bei 275 °C bzw. 300 °C ohne Additiv zur Hitzestabilisierung (Referenz) und mit AEROXIDE® TiO₂ P 25 (5%) bzw. AEROXIDE® TiO₂ PF 2 (2%) ist in Abbildung 42 dargestellt. Auch hier zeigt AEROXIDE® TiO₂ PF 2 bei dem verwendeten Silikon und der verwendeten Temperatur die beste Wirksamkeit.

Für den Anwender ist es wichtig, dass das verwendete Hitzestabilisierungsmittel die Einfärbbarkeit des Endproduktes nicht nachteilig beeinflusst. Dies wird in Abbildung 43 verdeutlicht: Links ein HCR-Prüfkörper ohne Hitzestabilisierungsadditiv, in der Mitte mit 1,5% AEROXIDE® TiO₂ P 25 und rechts mit 1,5% AEROXIDE® TiO₂ PF 2. Durch die Verwendung der beiden Produkte zur Stabilisierung thermischer Alterung steht dem Verarbeiter weiterhin die Möglichkeit zur gezielten Einfärbung des Silikonartikels zur Verfügung.

Abbildung 43



Prüfkörper ohne (links) und mit Hitzestabilisierungsadditiv (Mitte und rechts)

4.6.5 Sonstige Anwendungen

Pyrogen hergestelltes Titandioxid kann als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Lithium-titanat (LTO, Li₄Ti₅O₁₂) einem Anodenmaterial in Lithium-Ionen-Batterien (LIB) dienen. Zusätzlich wurden erste Studien durchgeführt, bei denen das reine TiO₂ (AEROXIDE® TiO₂ P 25) als Anodenaktivmaterial verwendet wurde, da es ebenfalls reversibel Li-Ionen ein- und auslagern kann.

Pyrogenes Titandioxid, besonders AEROXIDE® TiO₂ P 25, taucht in diversen wissenschaftlichen Veröffentlichungen sowie anderen Studien sehr häufig auf, wenn grundlegende katalytische Reaktionen mit Titandioxid untersucht werden. Dieser Modellsubstanzcharakter ist der hohen spezifischen Oberfläche, der Reinheit wie auch der kommerziellen Verfügbarkeit zuzuschreiben.

Sie verlangen Qualität, die nicht nur auf dem Papier steht?

Qualität und Produktsicherheit

Qualitätskontrolle | Produktsicherheit



1

Einleitung

2

Herstellung

3

AEROXIDE®-
pyrogene Aluminiumoxid Produkte

4

AEROXIDE®-
pyrogene Titandioxid-Produkte

5

Qualität und Produktsicherheit

6

Handhabung und Verpackung

7

Anhang

5. Qualität und Produktsicherheit

5.1 Qualitätskontrolle

Alle AEROSIL® und AEROXIDE® Produkte werden weltweit nach strengen Qualitätsstandards hergestellt und deren Einhaltung wird bei Evonik aufwendig überwacht. U. a. sind sämtliche Produktions-, aber auch Forschungs- und Anwendungsstandorte nach dem ISO 9001 Qualitätsmanagementsystem zertifiziert. Regelmäßige externe und interne Audits sowie die systematische Weiterentwicklung einer stetigen Verbesserung der Qualität unserer Produkte, Services und Prozesse unterstützen die Einhaltung der hohen Qualitätsstandards.

Jeder Rechnungsempfänger erhält ein Abnahmeprüfzeugnis über sein geliefertes Produkt und die vereinbarten Produktspezifikationen. Vor der Auslieferung der Produkte an die Kunden erfolgt die Freigabe im Qualitätskontrolllabor des Produktionswerkes durch Prüfungen zur Einhaltung der Spezifikationsgrenzen. Sämtliche Analyse- und Prüfdaten werden gespeichert.

Ebenso werden diese analytischen Daten regelmäßig in einer statistischen Qualitätskontrolle (SQC) evaluiert. Dabei findet, neben der Ermittlung des Mittelwertes μ und Standardabweichung σ , die Beurteilung der C_p - und C_{pK} -Werte statt. Diese Prozessfähigkeitsindizes C_p und C_{pK} sind Kennzahlen zur statistischen Bewertung eines Prozesses in der Produktionstechnik. Sie geben an wie sicher die laut Spezifikation vorgegebenen Ziele erreicht werden.

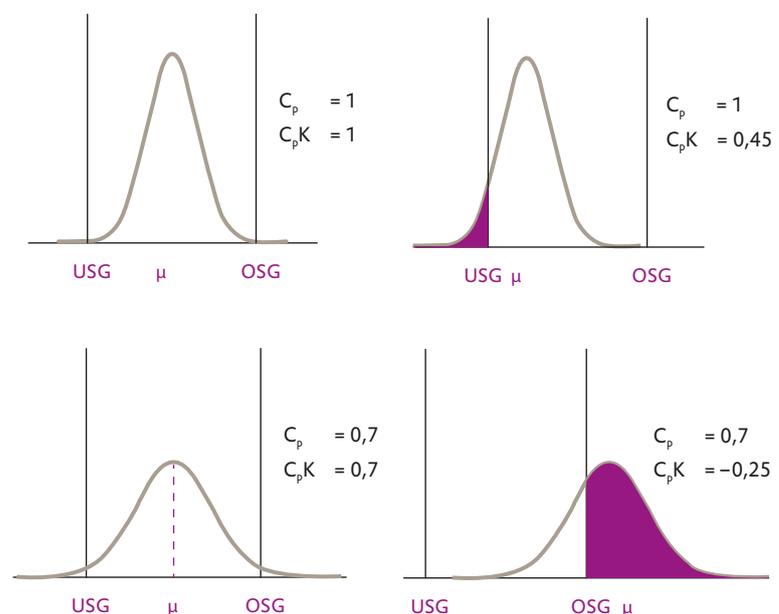
Während der C_p -Wert nur das Verhältnis der vorgegebenen Toleranz zur Prozessstreuung angibt, beinhaltet der C_{pK} -Wert auch die Lage des Mittelwertes zur vorgegeben Toleranzmitte. Daher ist der C_{pK} -Wert stets kleiner oder gleich dem C_p -Wert.

In Abbildung 44 sind vier Verteilungen von Messwerten relativ zu den Spezifikationsgrenzen dargestellt.

Die zugehörigen C_p - und C_{pK} -Werte sind angegeben.

Im einfachsten Fall wird angestrebt, für alle Produkte einen C_p - und C_{pK} -Wert von mindestens 1 oder höher zu erhalten. Dies bedeutet, dass mindestens 99,73 % der produzierten Menge bezüglich des betrachteten Qualitätsmerkmals spezifikationsgerecht sind. Heutige Anforderungen gehen noch darüber hinaus und es werden C_{pK} -Werte von mindestens 1,33 oder 1,67 erwartet.

Abbildung 44



Beispiele für Prozessfähigkeits-Indizes. USG = Untere Spezifikationsgrenze; OSG = Obere Spezifikationsgrenze

5.2 Produktsicherheit

Biologische Wirkungen und Arbeitssicherheit

Die Metalloxide Al_2O_3 und TiO_2 zeigen nach einmaliger oraler Gabe keine Toxizität. Al_2O_3 und TiO_2 wirken weder reizend oder sensibilisierend noch erbgutschädigend. TiO_2 zeigt auch bei UV-Bestrahlung keine Toxizität oder Sensibilisierung.

Experimente an Ratten hatten bei einer Überlastung der Lunge (Overload-Phänomen) eine nach Ansicht von Fachwissenschaftlern artspezifische Tumorbildung gezeigt. Entsprechende Befunde sind bei der Exposition des Menschen bisher nicht aufgetreten. Allerdings bewertete die International Agency for Research on Cancer (IARC) die vorliegenden Rattenstudien als

ausreichenden Beleg für die Kanzerogenität von Titandioxid im Tierversuch. Für den Menschen bestehen nach IARC keine ausreichenden Hinweise auf eine kanzerogene Wirkung von Titandioxid. Die Gesamtbewertung der IARC von Titandioxid führte zu "möglicherweise kanzerogen für den Menschen" (Gruppe 2B).

Für die anderen Metalloxide liegen bislang keine Hinweise auf eine potentielle Gefährdung der menschlichen Gesundheit vor. Bei der Verarbeitung der Metalloxide sind in Deutschland die allgemeinen Staubgrenzwerte von $1,25 \text{ mg/m}^3$ für die alveolengängige Fraktion und von 10 mg/m^3 für die einatembare Fraktion zu beachten. Weitere Länder haben Staubgrenzwerte für Metalloxide festgelegt.

Feinteilige Pulver können bei der Förderung und Verarbeitung elektrostatische Aufladungen bilden. Daher sind geeignete Sicherheitsmaßnahmen zu treffen, wie z. B. eine ausreichende Erdung der Anlagen und die Verwendung von inertem Gas. Hinweise zu technischen Schutzmaßnahmen und zur persönlichen Schutzausrüstung sind den jeweiligen aktuellen Sicherheitsdatenblättern zu entnehmen. Das jeweilige aktuelle Sicherheitsdatenblatt wird automatisch mit der ersten Lieferung zugestellt.

Sonstige Metalloxide werden nach ihrer Zusammensetzung beurteilt. Angaben zur sicheren Handhabung sind dem jeweiligen Sicherheitsdatenblatt zu entnehmen. Unsere Metalloxide sind in folgenden Chemikalieninventaren gelistet:

Tabelle 17

Listung der Metalloxide in Chemikalieninventaren

| CAS-Nr. | | TiO_2 | Al_2O_3 |
|-------------|---|--------------------------|-------------------------|
| Australia | AICS (Australian Inventory of Chemical Substances) | 13463-67-7 registered | 1344-28-1 registered |
| Canada | DSL (Domestic Substance List) | registered | registered |
| China | IECSC (Inventory of Existing Chemical Substances) | registered | registered |
| Europe | EC (European Community) | 236-675-5 | 215-691-6 |
| Europe | REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restrictions of Chemicals) | registered | registered |
| Europe | C&L inventory (classification and labelling inventory) | notified | notified |
| Japan | ENCS (Existing and New Chemical Substances) | registered | registered |
| Korea | KECI (Korea Existing Chemicals Inventory) | registered | registered |
| New Zealand | NZIoC (New Zealand Inventory of Chemicals) | registered | registered |
| Philippines | PICCS (Philippine Inventory of Chemicals and Chemical Substances) | registered | registered |
| Taiwan | CSNN (Chemical Substances Nomination and Notification) | registered | registered |
| USA | TSCA (Toxic Substances Control Act) | registered | registered |

**Sie suchen einen welt-
weiten zuverlässigen
Service, der weit über
das Mindestmaß
hinausgeht?**

Handhabung und Verpackung

Handhabung von AEROXIDE® Produkten | Verpackungen
von AEROXIDE® Produkten | Lagerfähigkeit von
AEROXIDE® | Sicherheitstechnik | Weltweite Verfügbarkeit



.....
1
Einleitung
.....

2
Herstellung
.....

3
AEROXIDE®-
pyrogene Aluminiumoxid Produkte
.....

4
AEROXIDE®-
pyrogene Titandioxid-Produkte
.....

5
Qualität und Produktsicherheit
.....

6
Handhabung und Verpackung
.....

7
Anhang
.....

6. Handhabung und Verpackung

6.1 Handhabung von AEROXIDE® Produkten

In einer Zeit, in der Automatisierung, Rationalisierung aber auch Gewerbehigiene immer wichtiger werden, bekommt die Handhabung von AEROXIDE® eine zentrale Bedeutung. Evonik hat seine Aktivitäten diesbezüglich in den letzten Jahrzehnten zum Schutz der Arbeitnehmer und zur Erfüllung von Umweltauflagen kontinuierlich ausgebaut.

Der Begriff „Handhabung“ beschreibt die Techniken, die notwendig sind, um die gelieferten Produkte im Betrieb des Kunden zu bewegen. Hierbei sind die folgenden Themen als Schwerpunkte anzusehen:

- Gebindeentleerung
- Silierung
- Innerbetriebliche Förderung
- Dosierung
- Einbringen des Materials in die Verarbeitungsanlagen des Kunden

Zudem fallen unter den Oberbegriff „Handhabung“ Themen, die zur Ausführung der oben genannten Schritte notwendig sind:

- Filtertechnik
- Füllstandsmesstechnik
- Wägetechnik
- Austragstechnik

Grundsätzlich ist Evonik bestrebt, Kunden bei handhabungstechnischen Problemen oder Neuplanungen zu unterstützen. Die hier beschriebenen Serviceleistungen bietet Evonik bei bestehenden Geschäftsverbindungen weltweit an. Art und Umfang der Beratung hängen von der Fragestellung des Kunden und vom Projektumfang ab.

Evonik betreibt im Industriepark Wolfgang in Hanau ein Handhabungstechnikum, in dem kontinuierlich die Handhabung von AEROXIDE® optimiert wird (siehe Abbildung 45). Dieses Technikum steht auch Kunden für Demonstrationen und für Versuche zur Handhabung zur Verfügung. Die meisten Handhabungsschritte können hier gezeigt werden. Darüber hinaus begleitet die Handhabungsabteilung in speziellen Fällen auch Versuche direkt im Betrieb des Kunden.

Um staubfreie und automatisierte Anlagen zu planen, ist die grundlegende Kenntnis unserer Produkte zusammen mit verfahrenstechnischen Erfahrungen notwendig. Da diese Kombination bei Lieferanten entsprechender Maschinen und Anlagen nicht immer vorausgesetzt werden kann, beraten und unterstützen Techniker und Ingenieure der Handhabungstechnik

die Kunden persönlich – entweder am Evonik-Standort in Hanau oder bei Bedarf direkt beim Kunden. Sollte es sich als notwendig erweisen, können auch Versuche (z. B. zur pneumatischen Dichtstromförderung) in externen Technika (z. B. bei Anlagenherstellern) vereinbart werden.

Zusätzlich wurden grundlegende Informationen zur Handhabung der Produkte veröffentlicht, zum Beispiel in der Broschüre „Handhabung von synthetischen Kieselsäuren und Silikaten“ [18] sowie eine Reihe von Technischen Informationen (TI) zu verschiedenen speziellen Themenkreisen.

Abbildung 45



Blick in das Handhabungstechnikum der Business Line Silica von Evonik Resource Efficiency GmbH in Hanau.

6.2 Verpackungen von AEROXIDE® Produkten

Standardverpackung

Die Standardverpackung für AEROXIDE® ist der mehrlagige Papier-Ventilsack, der in einigen Fällen mit einer PE-beschichteten Lage ausgerüstet ist. In wenigen Fällen kommen auch Zwischenlagen aus PE-Folie zum Einsatz. Die Füllgewichte der Säcke, die sich je nach AEROXIDE® Typ und der entsprechenden Stampfdichte unterscheiden, liegen zwischen 10 kg und 20 kg.

Flexible Intermediate Bulk Container (FIBC)

Derzeit wird ausschließlich für AEROXIDE® TiO₂ P 25 eine Semi-Bulk-Verpackung angeboten. Zum Einsatz kommen FIBC (Flexible Intermediate Bulk Container), die eine vereinfachte Handhabung von größeren Mengen erlauben. Es handelt sich dabei um einen flexiblen Container aus Polypropylen-Bändchengewebe, der an den oberen Ecken Schlaufen zum Anheben besitzt. Der Entleerstützen befindet sich zentral im Boden und kann an handelsübliche FIBC-Entleerstationen angeschlossen werden. Für die anderen AEROXIDE® Produkte stehen derzeit keine Abfüllmöglichkeiten für Großgebilde zur Verfügung.

Verpackungen für AERODISP® Dispersionen

Die AERODISP® Dispersionen werden in 60 kg Kanistern, 220 kg Fässern und in 1000 kg Intermediate Bulk Containern (IBC) geliefert. Die Gebinde werden in der kalten Jahreszeit während des Transports vollflächig mit einer metallisierten Luftpolsterfolie vor Kälte geschützt. Je nach Gebinde- und Versandart kann die Isolationsverpackung variieren. Zusätzlich werden wir in den

Wintermonaten unsere AERODISP®-Dispersionen im thermostatisierten LKW transportiert. In Nordamerika verwendet Evonik diese Schutzhauben nicht, sondern versieht jeden Container in den Wintermonaten mit einem Freeze-Check-Indicator, der eine Unterbrechung der Transportkette in beheizten LKWs bzw. Containern sofort anzeigt. Weitere Details zur Handhabung und Verpackung der AERODISP® Produkte finden Sie in der Technischen Information 1278 [19].

6.3 Lagerfähigkeit von AEROXIDE®

AEROXIDE® ist chemisch weitgehend inert und wird sich unter geeigneten Lagerbedingungen auch in Jahrzehnten chemisch nicht verändern. Aufgrund der hohen spezifischen Oberfläche von AEROXIDE® besteht aber die Möglichkeit der Adsorption von Dämpfen und/oder Gasen. Insbesondere bei Verbindungen mit Amin- oder Hydroxygruppen können Wechselwirkungen auftreten. Im Falle von Wasser ist die Adsorption reversibel. So kann der Trocknungsverlust von hydrophilem AEROXIDE® mit steigender Luftfeuchtigkeit zunehmen und mit sinkender Luftfeuchtigkeit wieder abnehmen. Bei hydrophobem AEROXIDE® ist die Adsorptionsfähigkeit signifikant reduziert und die Feuchtigkeitsaufnahme deutlich geringer. Die beschriebenen Adsorptionsvorgänge können die

anwendungstechnischen Eigenschaften des Produktes beeinflussen. Daher wird empfohlen, AEROXIDE® immer fern von Kontaminations-Quellen zu lagern.

Die Lagertemperatur sollte 50 °C nicht überschreiten. AEROXIDE®-Produkte haben mit ihren typischen Stampfdichten von 50 bis 200 g/l eine Raumerfüllung von nur 3 bis 10 %. Es ist nicht auszuschließen, dass sich das AEROXIDE®-Produkt bei längerer Lagerung verdichtet. Dies kann zu einem Anstieg der Stampfdichte und zu einer Änderung der Struktur führen.

Obwohl entsprechend gelagertes AEROXIDE® prinzipiell als langfristig lagerstabil angesehen werden kann (keine Alterungs- oder

Zersetzungsgefahr), empfehlen wir Produkte innerhalb von zwei Jahren nach Produktionsdatum zu verbrauchen. Das Produktionsdatum ist aus der Kontrollnummer ersichtlich und auf jedem Abnahmeprüfzeugnis aufgedruckt.

Nähere Informationen zur Lagerung von AEROXIDE® können Sie der Technischen Information 1373 [20] entnehmen.

AERODISP® Dispersionen sollten vor Hitze und Frost geschützt gelagert und innerhalb von 6 bzw. 12 Monaten nach der Produktion verarbeitet werden. Das Produktionsdatum ist in der Kontrollnummer enthalten, welche auf jeder Verpackung aufgedruckt ist.

6.4 Sicherheitstechnik

AEROXIDE® liegt in Pulverform vor. Lässt sich bei der Handhabung eine Staubentwicklung nicht vollständig vermeiden, wird eine Objektabsaugung empfohlen.

In Gegenwart hoher Staubkonzentrationen sollte eine Staubmaske mit Partikelfilter getragen werden (siehe Sicherheitsdatenblatt).

Bei der Verarbeitung der pyrogenen Metalloxide kommt es u. a. bei der Sackentleerung gelegentlich zu elektrostatischen Aufladungen. Zur Beseitigung eventuell auftretender Gefahren bei der Verarbeitung sollten daher Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen, wie z. B. Erdung und ggf.

eine Inertisierung der Vorlage, getroffen werden. Nähere Informationen hierzu finden Sie in einer speziellen Broschüre [21].

Die hydrophilen, pyrogenen Metalloxide Al_2O_3 und TiO_2 sind nicht brennbar. Eine Staubexplosion der reinen Oxide ist daher nicht zu erwarten.

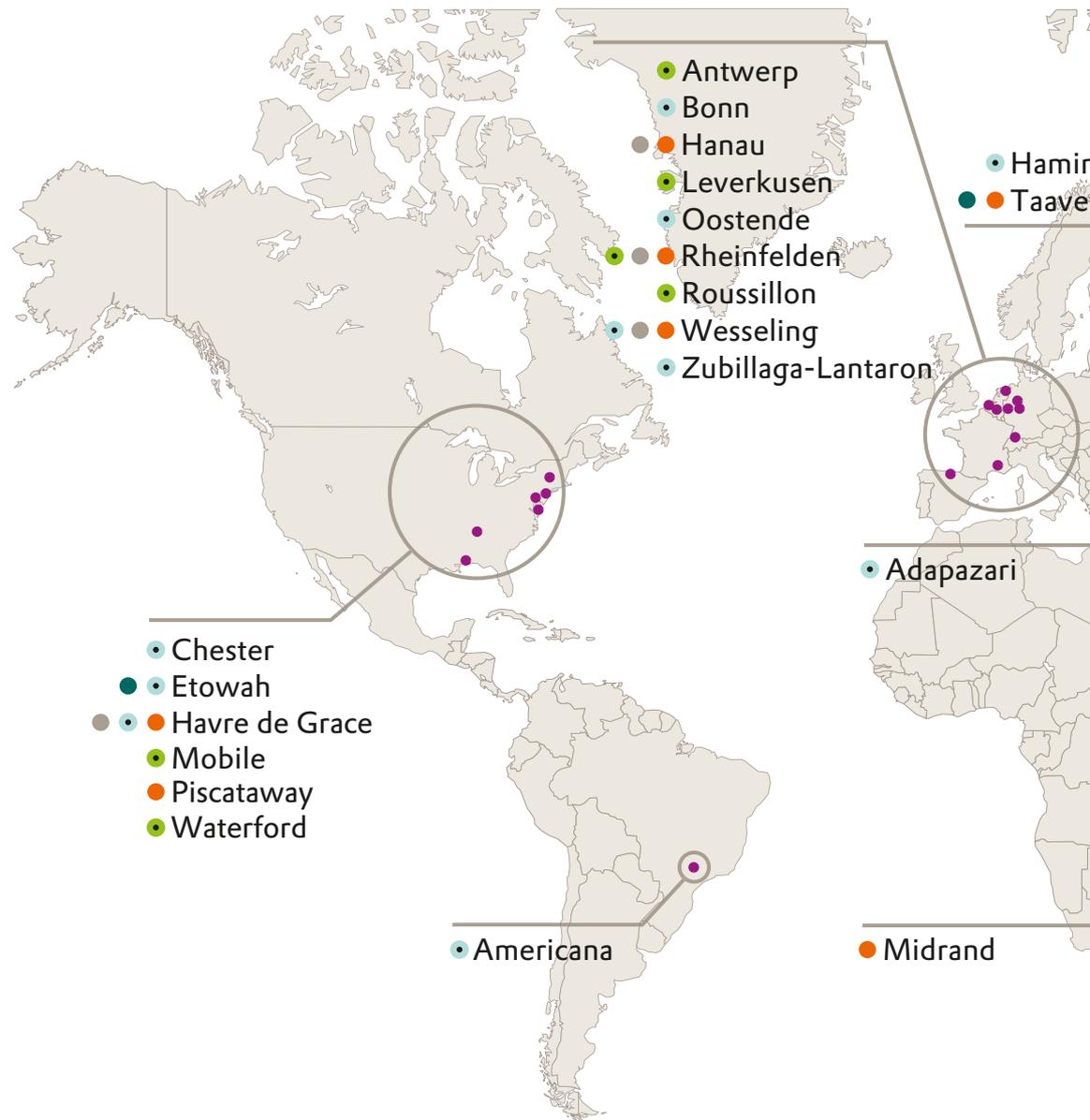
Bei einigen oberflächenbehandelten AEROXIDE® Produkten, wie zum Beispiel bei AEROXIDE® TiO_2 NKT 90, besteht jedoch die Gefahr der Staubexplosion. Bei der Verwendung dieser Produkte sind demnach entsprechende Schutzmaßnahmen zu treffen. Nähere Informationen entnehmen Sie bitte dem Sicherheitsdatenblatt und der

Technischen Information 1363 [22]. Dort finden Sie auch Angaben zu den aus den Sicherheitskenndaten resultierenden Schutzmaßnahmen.

Um dem bei Kontakt mit der Haut entstehende Trockenheitsgefühl entgegenzuwirken, sollten die pyrogenen Metalloxide mit Wasser abgewaschen und die Haut anschließend gecremt werden.

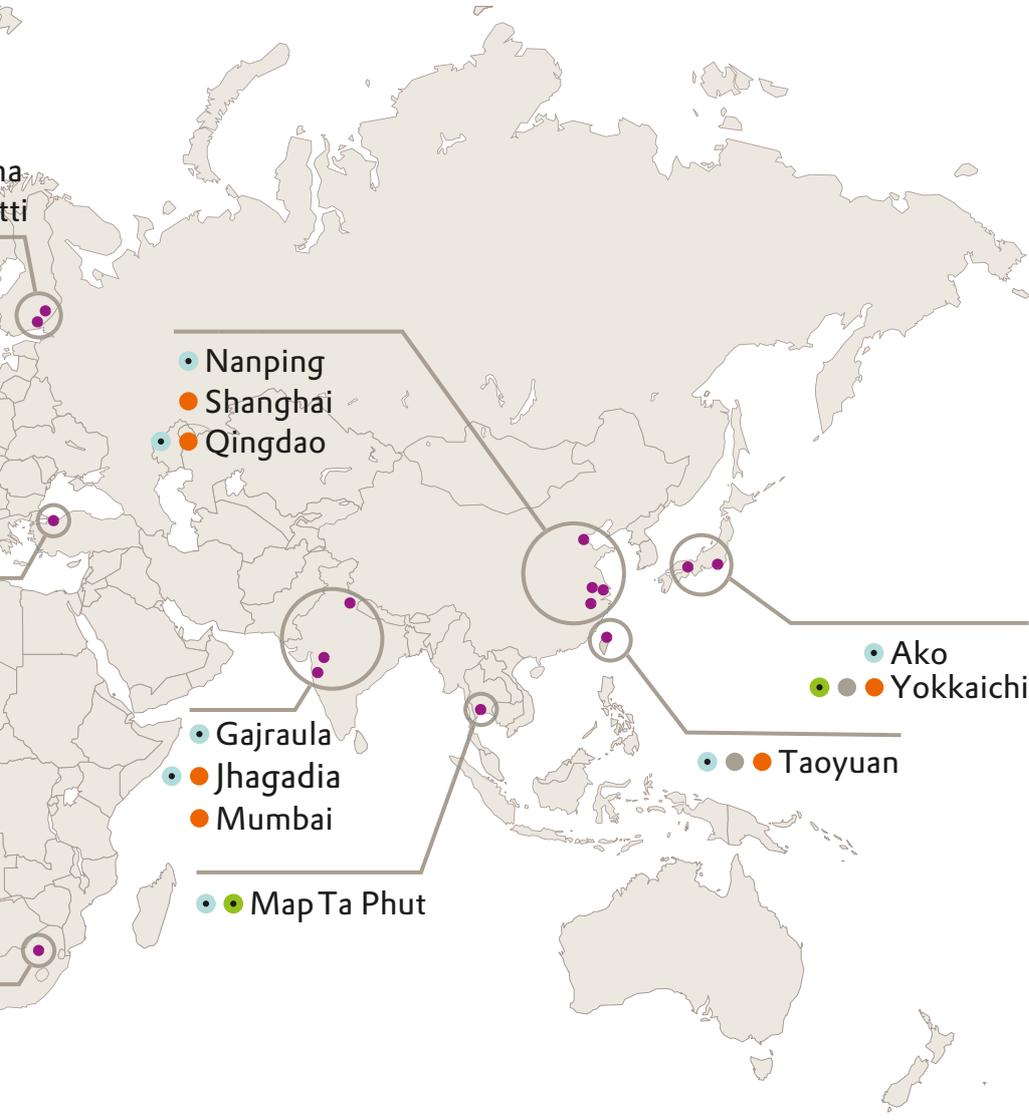
Verschüttetes Material sollte unter Staubvermeidung aufgenommen und in einem entsprechenden Behälter gesammelt werden.

6.5 Weltweite Verfügbarkeit



Mit zahlreichen Produktionsstätten für gefällte und pyrogene Kieselsäure und Metalloxide in Europa, USA, Asien und weltweit über 100 Vertriebsbüros verfügt Evonik über ein einzigartiges Service- bzw. Produktionsnetz.

Das garantiert eine sehr hohe Liefersicherheit und kurze Transportwege. So kommt das richtige Produkt schnell und in hervorragender Qualität an jeden Ort der Welt.



Key:

- Applied Technology
- Innovation /R&D
- Sodium Silicate
- Production, Precipitated
- Production, Fumed

Sie möchten mehr Details zu Eigen- schaften, Quellen und Fachbegriffen?

Anhang

Auflistung: physikalisch-chemische Kenndaten
pyrogener Metalloxide | Literaturverzeichnis |
Glossar



.....
1
Einleitung
.....

2
Herstellung
.....

3
AEROXIDE®-
pyrogene Aluminiumoxid Produkte
.....

4
AEROXIDE®-
pyrogene Titandioxid-Produkte
.....

5
Qualität und Produktsicherheit
.....

6
Handhabung und Verpackung
.....

7
Anhang
.....

7. Anhang

7.1 Auflistung: physikalisch-chemische Kenndaten pyrogener Metalloxide

Tabelle 18

Physikalisch-chemische Kenndaten hydrophiler pyrogener Metalloxide. Die hier genannten Daten sind typische Werte und stellen keine Spezifikation dar.

| Prüfmethode | Einheit | AEROXIDE® Alu 65 | AEROXIDE® Alu C | AEROXIDE® Alu 130 | AEROXIDE® TiO ₂ P 25 | AEROXIDE® TiO ₂ P 90 |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Metalloxid Typ | | Al ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | TiO ₂ | TiO ₂ |
| spezifische Oberfläche BET | m ² /g | 55–75 | 85–115 | 110–150 | 35–65 | 70–110 |
| pH Wert 4%ige Dispersion | | 4,5–6,0 | 4,5–5,5 | 4,4–5,4 | 3,5–4,5 | 3,2–4,5 |
| Trocknungsverlust 2 h bei 105 °C | % | ≤ 5,0 | ≤ 5,0 | ≤ 5,0 | ≤ 1,5 | ≤ 4,0 |
| Stampfdichte | g/l | ca. 50 | ca. 50 | ca. 50 | 100–180 | ca. 120 |
| Siebrückstand (nach Mocker 45 µm) | % | ≤ 0,05 | ≤ 0,05 | ≤ 0,05 | ≤ 0,05 | ≤ 0,05 |

Tabelle 19

Physikalisch-chemische Kenndaten hydrophiler pyrogener Mischoxide und Oxidgemische. Die hier genannten Daten sind typische Werte und stellen keine Spezifikation dar.

| Prüfmethode | Einheit | AEROSIL® COK 84 | AEROSIL® MOX 80 | AEROSIL® MOX 170 |
|----------------------------------|-------------------|--|--|--|
| Metalloxid Typ | | SiO ₂ /Al ₂ O ₃ | SiO ₂ /Al ₂ O ₃ | SiO ₂ /Al ₂ O ₃ |
| spezifische Oberfläche BET | m ² /g | 155–215 | 60–100 | 140–200 |
| pH Wert 4%ige Dispersion | | 3,6–4,3 | 3,6–4,5 | 3,6–4,5 |
| Trocknungsverlust 2 h bei 105 °C | % | ≤ 1,5 | ≤ 1,5 | ≤ 1,5 |
| Stampfdichte | g/l | ca. 50 | ca. 60 | ca. 50 |

*VP = Entwicklungsprodukt. Die Kommerzialisierung ist abhängig von der Rückmeldung des Marktes.



| AEROSIL® MOX 170 V | VP* TiO₂ 1580 S | VP* TiO₂ 545 S | AEROXIDE® TiO₂ PF 2 | VP* Alu 560 S | VP* Alu 590 S |
|--|------------------------------------|------------------------------------|--|--|--|
| SiO ₂ /Al ₂ O ₃ | TiO ₂ /SiO ₂ | TiO ₂ /SiO ₂ | TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ /SiO ₂ | Al ₂ O ₃ /SiO ₂ |
| 140–200 | 65–95 | 40–55 | 45–70 | 40–80 | 70–110 |
| 3,6–4,5 | 3,0–4,5 | 3,5–4,5 | 3,5–4,5 | 4,5–6,5 | 4,5–6,5 |
| ≤1,5 | n. a. | n. a. | ≤2,0 | n. a. | n. a. |
| ca. 130 | ca. 60 | ca. 100 | ca. 80 | ca. 50 | ca. 40 |

Tabelle 20

Physikalisch-chemische Kenndaten hydrophober AEROXIDE® Typen.

| Prüfmethode | Einheit | AEROXIDE® Alu C 805 | AEROXIDE® TiO ₂ T 805 | VP* NKT 65 | AEROXIDE® TiO ₂ NKT 90 | AEROXIDE® STX 501 | AEROXIDE® STX 801 |
|---------------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------------------------|------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Metalloxid Typ | | Al ₂ O ₃ | TiO ₂ | TiO ₂ | TiO ₂ | TiO ₂ | TiO ₂ |
| spezifische Oberfläche BET | m ² /g | 75–105 | 35–55 | 30–60 | 50–75 | 25–45 | 45–65 |
| pH Wert 4%ige Dispersion | | 3,0–4,5 | 3,0–4,0 | 3,0–7,0 | 3,0–4,0 | 6,0–9,5 | 6,0–9,0 |
| Trockungsverlust 2 h bei 105 °C | % | ≤ 2,0 | ≤1,0 | ≤1,0 | ≤1,0 | ≤1,0 | ≤1,0 |
| C-Gehalt | % | 3,5–4,5 | 2,7–3,7 | 1,0–4,0 | 2,5–4,5 | 0,2–1,0 | 0,7–1,1 |
| Stampfdichte | g/l | ca. 50 | ca. 200 | n.a. | n.a. | ca. 130 | ca. 130 |

Tabelle 21

Physikalisch-chemische Kenndaten von AEROPERL® granulierten pyrogenen Metalloxiden.

| Prüfmethode | Einheit | AEROPERL® 3375/20 | VP AEROPERL® P 25/20 | VP AEROPERL® TiO ₂ 545 | VP AEROPERL® TiO ₂ 1580 | VP AEROPERL® Alu 100/30 | VP AEROPERL® Alu 560 | VP AEROPERL® Alu 590 |
|-----------------------------------|-------------------|--|----------------------------|---|--|--------------------------------|--|--|
| Metalloxid Typ | | SiO ₂ /Al ₂ O ₃ | TiO ₂ | TiO ₂ /SiO ₂ | TiO ₂ /SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ /SiO ₂ | Al ₂ O ₃ /SiO ₂ |
| spezifische Oberfläche BET | m ² /g | 60–80 | 35–65 | 35–55 | 60–90 | 85–115 | 50–80 | 70–100 |
| pH Wert 4%ige Dispersion | | 3,5–6,5 | 3,0–4,5 | 3,0–4,5 | 3,0–4,5 | 4,0–6,0 | 4,0–6,0 | 4,0–6,0 |
| Trockungsverlust (2 h bei 105 °C) | % | ≤ 2,0 | ≤ 2,5 | ≤ 2,5 | ≤ 2,5 | ≤ 2,5 | ≤ 2,5 | ≤ 2,5 |
| Stampfdichte | g/l | ca. 600 | ca. 700 | ca. 600 | ca. 550 | ca. 500 | ca. 575 | ca. 500 |

*VP = Entwicklungsprodukt. Die Kommerzialisierung ist abhängig von der Rückmeldung des Marktes.
Die hier genannten Daten sind typische Werte und stellen keine Spezifikation dar.

7.2 Literaturverzeichnis

Nr. Quelle

- 1 M. S. Wooldridge, Prog. Energy Combust. Sci. 24, pp. 63-87, 1998.

- 2 R. Strobel und S. E. Pratsinis, J. Mater. Chem. 17, pp. 4743-4756, 2007.

- 3 Evonik Resource Efficiency GmbH, Technische Information 1341, „AEROPERL® Granulated fumed oxides“.

- 4 Evonik Resource Efficiency GmbH, Technische Information 1279 „Successful Use of AEROSIL® Fumed Silica in Liquid Systems“.

- 5 Evonik Resource Efficiency GmbH, Product Overview AERODISP® Fumed Silica and Metal Oxide Dispersions.

- 6 P. Albers, M. Maier, M. Reisinger, B. Hannebauer und R. Weinand, Cryst. Res. Technol. 50, pp. 846-865, 2015.

- 7 Evonik Resource Efficiency GmbH, Technische Information 1351 „SIPERNAT® Spezialkieselsäure und AEROSIL® pyrogene Kieselsäure als Fließhilfs- und Antibackmittel“.

- 8 I. Zimmermann, M. Eber und K. Meyer, Z. Phys. Chem, 218, p. 51 – 102, 2004.

- 9 Evonik Resource Efficiency GmbH, Technische Information 1340 „AEROSIL® und AEROXIDE® Pyrogene Metalloxide für Pulverlacke“.

- 10 Evonik Resource Efficiency GmbH, Technische Information 1331 „AEROSIL® Fumed Silica and AEROXIDE® Fumed Alumina for Glossy Photo Inkjet Media“.

- 11 O. Carp, C. Huisman und A. Reller, Progress in Solid State Chemistry 32 (1-2), pp. 33-177, 2004.

- 12 S. L. Hunte und A. Mills, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. 108, pp. 1-35, 1997.

- 13 P. G. Smirniotis, P. R. Ettireddy, N. Ettireddy, S. Mamedov und P. Bolochand, Applied Catalysis, B: Environmental, 76(1-2), pp. 123-134, 2007.

- 14 D. Hurum, A. Agrios und K. Gray, Journal of Physical Chemistry B 107(19), pp. 4545-4549, 2003.

- 15 T. Yuranova, D. Laub und J. Kiwi, Catalysis Today 122(1-2), pp. 109-117, 2007.

- 16 J. Kiwi und C. Pulgarin,, Catalysis Today, 151, (1-2), pp. 2-7, 2010.

- 17 Evonik Resource Efficiency GmbH, Technische Information 1222 „AEROSIL® fumed silica and AEROXIDE® fumed oxides for toner“.

- 18 Evonik Resource Efficiency GmbH, Schriftenreihe 28 „Handhabung von synthetischen Kieselsäuren und Silikaten“.

- 19 Evonik Resource Efficiency GmbH., Technische Information 1278 „Handhabung von AERODISP® Dispersionen von pyrogenem Siliciumdioxid und pyrogenen Metalloxiden“.

- 20 Evonik Resource Efficiency GmbH, Technische Information 1373 „Lagerung von AEROSIL® und AEROXIDE®“.

- 21 Evonik Resource Efficiency GmbH, Technical Bulletin Fine Particles 62 „Synthetic silica and electrostatic charges“.

- 22 Evonik Resource Efficiency GmbH, Technische Information 1363 „Staubexplosionsschutz bei Handhabungsanlagen für oberflächenmodifizierte AEROSIL® und AEROXIDE® Produkte“.

- 23 T. Yuranova, R. Mosteo, J. Bandara, D. Laub und J. Kiwi, Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 244, (1-2), pp. 160-167, 2006.

7.3 Glossar

A–I

A**dsorption** bezeichnet die Aufnahme eines Stoffes an der inneren und/oder äußeren Oberfläche eines Festkörpers (DIN 28400).

Adsorptionsisothermen

zeigen Zusammenhänge zwischen adsorbierter Substanzmenge am Adsorptiv und Konzentration bzw. Partialdruck des zu adsorbierenden Stoffes/Gases im Gleichgewichtszustand bei konstanter Temperatur.

AEROSIL®

geschützte Marke der Evonik Industries AG oder ihrer Tochterunternehmen für synthetische amorphe Kieselsäure, die nach dem Hochtemperaturhydrolyse-Verfahren hergestellt werden.

AERODISP®

geschützte Marke der Evonik Industries AG oder ihrer Tochterunternehmen für Dispersionen aus pyrogener Kieselsäure und pyrogenen Metalloxiden (Handelsname AEROSIL® in wässrigen oder organischen Medien z. B. Ethylenglykol).

AEROPERL®

geschützte Marke der Evonik Industries AG oder ihrer Tochterunternehmen für ein sphärisches Granulat aus AEROSIL® oder Metalloxiden mit hoher Stampfdichte und gleichbleibend hoher Oberfläche. Das Mikrogranulat zeichnet sich durch gutes Fließverhalten und eine staubarme Handhabung aus.

AEROXIDE®

geschützte Marke der Evonik Industries AG oder ihrer Tochterunternehmen für Metalloxide, die nach dem Hochtemperaturhydrolyseverfahren hergestellt werden.

Affinität

Die Affinität zwischen zwei Elementen oder Verbindungen ist umso stärker, je mehr Wärme bei ihrer Vereinigung frei wird (THOMSON-BERTHELOTsches Prinzip).

Agglomerate

lockere Zusammenballungen von → *Primärteilchen* und/oder Aggregaten, die beim Dispergieren zerteilt werden können (DIN 53 206).

Aggregate

nach DIN 53206 verwachsener Verband von flächig aneinandergelagerten Teilchen, dessen Oberfläche kleiner ist als die Summe der Oberflächen der → *Primärteilchen*.

amorph

ungeformt, strukturlos, im Gegensatz zu → *kristallin*.

Anatas

Anatas ist neben → *Rutil* und → *Brookit* eine der drei Kristallmodifikationen in denen Titandioxid vorkommt. Es ist ein relativ häufig vorkommendes Mineral, welches im tetragonalen Kristallsystem kristallisiert.

B**andlücke**

Energetischer Abstand zwischen dem Valenzband und dem Leitungsband eines Halbleiters.

BET

→ *spezifische Oberfläche* Brunauer, Emmet, Teller, in: Journal of the American Chemical Society 60 (1938) S. 309

BET-Methode

Verfahren zur Bestimmung der spezifischen Oberfläche durch Adsorption von Gasen

Brookit

Brookit ist neben → *Anatas* und → *Rutil* eine der drei Kristallmodifikationen in denen Titandioxid vorkommt nach dem britischen Mineralogen H. J. Brooke (1771 – 1857)

C**hemisorption**

liegt vor, wenn ein gasförmiger, flüssiger oder gelöster Stoff an der Oberfläche eines Festkörpers oder einer Flüssigkeit unter Bildung einer chemischen Verbindung angelagert bzw. aufgenommen wird.

Chromatographie

Bezeichnung für ein physikalisches Trennverfahren, bei dem die Stofftrennung durch Verteilung zwischen einer stationären und einer mobilen Phase geschieht.

Coehnsche Regel

Nach Alfred Coehn benannte Regel über die elektrostatische Aufladung durch Reibung, der zufolge Stoffe mit hoher Dielektrizitätskonstante durch Reibung meistens positiv geladen werden.

De(s)agglomeration

Verfahrenstechnische Methode (meist mechanisch) bei der der Verbund von relativ lose zusammenhängenden Aggregaten aufgebrochen wird (beispielsweise beim Dispergieren).

Desorption

Vorgang des Abtrennens oder Verlassens eines Stoffes von der inneren und/oder äußeren Oberfläche eines Festkörpers. Gegenteil von → *Adsorption*

Diffusion

ohne Einwirkung äußerer Kräfte allmählich eintretende Vermischung von verschiedenen miteinander in Berührung befindlichen gasförmigen, flüssigen oder festen Stoffen.

Diocyladipat

Kurzzeichen DOA: nach DIN EN ISO 1043-3: 2000-01 ist Diocyladipat [Bis(2-ethylhexyl)-adipat] ein Weichmacher. Zur Gruppe der Dicarbonsäureester (Adipate) gehörende, farblose, fast geruchlose Flüssigkeit, die in Aceton, Diethylether und Ethanol sehr gut löslich ist.

Dipol

unsymmetrische Ladungsverteilung bei Molekülen.

Dipolwechselwirkung

Kräfte, die aufgrund der Anwesenheit von siehe auch Dipolen wirken.

Dispergierung

gleichmäßige Verteilung pulverförmiger Stoffe in Flüssigkeiten mit Hilfe von Dispergiermaschinen.

Dispersion

von latein. dispersio = Zerteilung. Nach DIN EN ISO 862: 1995-10 Bezeichnung für ein System (disperses System) aus mehreren Phasen, von denen eine kontinuierlich (Dispersionsmittel) und mindestens eine weitere fein verteilt ist (dispergierte Phase, Dispergens). Beispiele für Dispersionen: Emulsionen (flüssige ineinander unlösliche Phasen), Aerosole, Suspensionen. Die Energie zur Herstellung einer Dispersion kann z. B. chemisch, elektrochemisch, elektrisch oder mechanisch zugeführt werden.

Dissolver

Dissolver dienen zur Dispergierung von Stoffen meist in Flüssigkeiten. Der Dissolver stellt die zur → *Desagglomeration* notwendige Energie bereit.

Dotierung

in der Halbleitertechnik übliche Bezeichnung für gezielte Verunreinigungen ultrareiner Germanium- und

Siliciumkristalle durch Zusätze von winzigen Mengen an Fremdmaterial.

Edukt

Ausgangsstoff einer chemischen Reaktion.

Flammenhydrolyse

Reaktion von z. B. Siliciumtetrachlorid mit dem in der Knallgasflamme gebildeten Wasser.

Handhabung

Maßnahmen und Verfahrensweisen zur Erreichung bestimmter Betriebsabläufe, vor allem mit pulverförmigen Rohstoffen unter Einhaltung behördlich vorgegebener Richt- oder Grenzwerte.

hochdispers

fein verteilt.

Hochtemperaturform

→ *Modifikation*, die bei höheren Temperaturen bevorzugt gebildet wird.

homogen

gleichartig, gleichgeartet, gleichstoffig

Hydrophilie

wasserfreundlich bzw. wasserbenetzbar Gegenteil: → *Hydrophobie*.

Hydrophobie

wasserabstoßend. Gegenteil: → *Hydrophilie*.

K–S

inert
untätig, reaktionsträge

Inertisierung
die Umwandlung von Stoffen
hin zu reaktionsträgen (inerten)
Verbindungen

Infrarot (IR)-Spektroskopie
optisches Verfahren, bei dem die
Absorptionsspektren von meistorga-
nischen, festen, flüssigen oder gasför-
migen Verbindungen im Bereich des
Infrarots zur qualitativen bzw. quantita-
tiven Analyse, Strukturermittlung und
dgl. herangezogen werden.

irreversibel
nicht umkehrbare chemische Reaktion
Gegensatz: → *reversibel*.

Katalyse, heterogen
Bei der heterogenen Katalyse
befinden sich Katalysator und Edukte
bzw. Produkte in unterschiedlichen
Phasen (z. B. Katalysator fest - reagie-
rende Stoffe in der Gasphase)

Kieselsäure
Sammelbezeichnung für Verbindungen
der allgemeinen Formel SiO_2 . Man
unterscheidet z. B. zwischen
→ *pyrogenen*, z. B. → *AEROSIL®*, und
Fällungskieselsäure. Die einzelnen
Kieselsäure-Typen unterscheiden sich
in physikalisch-chemischen Eigenschaf-
ten, z. B. Größe der → *spezifischen Ober-
fläche*, Teilchengröße und Trocknungs-
bzw. Glühverlust.

Knallgasreaktion
Reaktion von gasförmigem Wasserstoff
(H_2) mit Sauerstoff (O_2), bei der
Wasser als Reaktionsprodukt entsteht.

Koaleszenz
Unter Koaleszenz versteht man das
Zusammenfließen von separierten
kolloidalen Teilchen (in diesem Zusam-
menhang bezieht es sich auf Tröpfchen
bei der AEROSIL® Partikelgenese)

Kovalenz, kovalent gebunden
Die kovalente Bindung (auch Atom-
bindung) bezeichnet eine chemische
Bindungsart, die für die feste Anbin-
dung von Atomen untereinander in
molekularen Verbindungen verant-
wortlich ist.

kristallin
sind feste Stoffe, deren Bausteine in
regelmäßigen Kristallgittern angeord-
net sind. Gegensatz: → *amorph*.

Lewis-Säure
Elektronenpaarakzeptor, d. h. ein
Molekül oder Ion, an das sich ein freies
Elektronenpaar eines anderen Teil-
chens anlagern kann.

Lewis-Base
Elektronenpaardonator, d. h. ein Mole-
kül oder Ion, das in der Lage ist einem
anderen Teilchen ein freies Elektronen-
paar zur Verfügung zu stellen.

Leitungsband
Oberhalb des Valenzband liegendes,
nicht mit Elektronen besetztes Energie-
band eines Halbleiters. Ein Halbleiter

wird elektrisch leitfähig, wenn Elektro-
nen vom Valenzband in das Leitungs-
band angeregt werden.

Makroporen
Nach Definition der IUPAC han-
delt es sich dabei um Poren eines Fest-
stoffs mit einem Porendurchmesser im
Bereich > 50 nm. → *Mikroporen* < 2 nm
und → *Mesoporen* zwischen $2 - 50$ nm.

Mesoporen
Nach Definition der IUPAC handelt
es sich dabei um Poren eines Fest-
stoffs mit einem Porendurchmesser
im Bereich zwischen $2 - 50$ nm.
→ *Mikroporen* < 2 nm und → *Makroporen*
 > 50 nm.

metastabil
Zustand zwischen stabil und instabil.
Ein metastabiler Zustand ist stabil
gegen kleine Änderungen, aber instabil
gegenüber größeren Änderungen

Mikroporen
Nach Definition der IUPAC handelt
es sich dabei um Poren eines Fest-
stoffs mit einem Porendurchmesser im
Bereich < 2 nm. → *Mesoporen* $2 - 50$ nm
und → *Makroporen* > 50 nm.

mikroporös (Papierindustrie)
Im Gegensatz zur allgemeinen Defini-
tion von Mikroporen als Poren < 2 nm
wird in der Papierindustrie der Begriff
mikroporös für Papierbeschichtun-
gen – z. B. Silica basierte Farbemp-
fangsschichten für wässrige Tinten
– mit Poren im Mikrometerbereich
verwendet.

Modifikation

verschiedene Zustandsformen chemischer Elemente oder Verbindungen, die bei gleicher Zusammensetzung unterschiedliche physikalische Eigenschaften aufweisen.

Morphologie

Lehre von Entwicklung und Herkunft der Formen und Gestalten.

Nanometer

ein millionstel Millimeter = 1 nm.

Oberflächenfunktionalität

Von außen zugängliche funktionelle (organische) Gruppe, die auf der Oberfläche von Partikeln anzu-treffen ist.

Pascalsekunde

Einheit der dynamischen Viskosität [Pa*s]

pastös

pastenähnlich, eine (hoch)viskose Flüssigkeit

Phasen

Hier: Bezeichnung für die unterschiedlichen Kristallformen, in denen eine reine chemische Substanz auftreten kann.

Photokatalyse

Chemische Reaktion, bei der ein Katalysator durch Lichteinwirkung aktiviert wird.

Primärteilchen

nach DIN 53206 kleinste Teilchen (Einzelteilchen), aus denen pulverförmige Feststoffe aufgebaut sind. Durch Elektronenmikroskopie als Individuum erkennbares Teilchen. Primärteilchen von pyrogener oder gefällter Kieselsäure oder Metalloxiden liegen niemals isoliert vor, sondern sind immer zu Aggregaten und Agglomeraten zusammengelagert.

PU

Kurzbezeichnung für Polyurethan

pyrogen

in der Flamme erzeugt.

REM-Aufnahme

Abkürzung für Raster-Elektronenmikroskopische Aufnahme.

reversibel

umkehrbare chemische Reaktion. Gegensatz: → *irreversibel*.

Rheologie

Fließkunde. Teilgebiet der Physik, das sich mit der Beschreibung, der Erklärung sowie der Messung der bei der Deformation von Körpern auftretenden Erscheinungen befasst.

Röntgen

Verfahren der Kristallstrukturanalyse bei dem → *Röntgenstrahlen* an den Elektronen der Gitteratome gebeugt werden. Durch Überlagerung der Beugungswellen entstehen regelmäßige → *Beugungsringe*.

Röntgenanalyse

physikalisches Verfahren zur chemischen Analyse, indem die Probe mit → *Röntgenstrahlen* bestrahlt wird.

Röntgenstrahlen

Bezeichnung für eine kurzwellige elektromagnetische Wellenstrahlung von etwa 10^{-12} bis 10^{-9} m Wellenlänge.

Rotor-Stator-Gerät

Gerät zum Zerteilen eines Pigments oder eines Füllstoffes, bestehend aus einem äußeren feststehenden und einem konzentrischen inneren rotierenden Ring, wobei beide Ringe Öffnungen (Löcher oder Schlitze) besitzen, welche die Flüssigkeit unter hoher Scherbeanspruchung passieren muss.

RTV

Raumtemperatur vernetzend

Rutil

Rutil ist neben → *Anatas* und Brookit eine der drei Kristallmodifikationen in denen Titandioxid vorkommt. Es ist ein relativ häufig vorkommendes Mineral, welches im tetragonalen Kristallsystem kristallisiert.

Sedimentation

Absetzverhalten

Silane

sind im engeren Sinne binäre Verbindungen des Siliciums mit Wasserstoff der allgemeinen Formel $\text{Si}_n\text{H}_{2n} + 2$, also die Si-Analoga der Alkane. Der Begriff wird auch im weiteren Sinne für solche Derivate gebraucht, in denen

T-Z

die Wasserstoffatome teilweise oder auch vollständig durch andere Gruppen ersetzt sind.

Silanolgruppen

oberflächenständige Gruppen auf der Kieselsäure-Oberfläche der Formel $\equiv \text{Si-OH}$.

Siliconkautschuk

hochviskose Siliconöle, die mit Peroxiden oder nach anderen Prinzipien zu Elastomeren vernetzbar sind. Das Grundpolymer für Siliconkautschuk ist Dimethylpolysiloxan.

Siloxangruppen

Si-O-Si Einheiten, die durch die Kondensation von \rightarrow *Silanolgruppen* entstehen.

Sintern

Beim Sintervorgang kommt es zu einer Zusammenballung einzelner Festkörperteilchen (wie etwa Primärteilchen, Aggregate etc.) unter hohen Temperaturen. Dieser Vorgang geschieht unterhalb der Schmelztemperatur, so dass keine wirkliche Schmelze vorliegt. Die Feststoff-Partikel erlangen eine gewisse Plastizität, die es ermöglicht, dass nach einem Aufeinanderprallen der Teilchen diese fest miteinander verbunden sind, ohne allerdings gänzlich (wie bspw. Tropfen) ineinander zu verlaufen.

Sinterhals

Als Sinterhals bezeichnet man die Verknüpfungsstelle von zwei oder mehreren Partikeln, die durch einen Sintervorgang entstanden sind.

spezifische Oberfläche

ist nach DIN 66131 die auf die Masse bezogene Oberfläche eines Feststoffes in m^2/g . Sie wird im allgemeinen nach der \rightarrow *BET-Methode* (Brunauer, Emmet, Teller, in: Journal of the American Chemical Society 60 (1938) S. 309) bestimmt.

Stampfdichte

Nach DIN ISO 787/11 eine gemessene Größe, die die Volumenabnahme eines pulverigen Feststoffs durch Rütteln bzw. Stampfen beschreibt.

Strukturmodifizierung

Verfahren zur Strukturänderung (i. d. R. zum Strukturabbau) von pyrogenen Metalloxiden. Hierbei wird das mikroskopische 3D-Netzwerk der Aggregate und Agglomerate derart verändert, dass Produkte mit neuen Eigenschaften entstehen. So zeichnen sich diese vor allem durch eine reduzierte Verdickungswirkung und erhöhte Stampfdichte aus.

TEM-Aufnahme

Abkürzung für Transmissions-Elektronen-mikroskopische Aufnahme.

Tetraeder

von vier gleichseitigen Dreiecken begrenzter Körper.

Thixotropie

Abnahme der \rightarrow Viskosität einer Flüssigkeit in Abhängigkeit von der Scherintensität, der Scherdauer und Einstellung des ursprünglichen Zustandes nach Beendigung der Scherbeanspruchung.

Toxikologie

Lehre von den in Übermengen schädlichen, u. U. tödlichen Wirkungen von Substanzen.

Triboelektrizität

Reibungselektrizität. Bezeichnung für die Entstehung einer Spannung, wenn beim Reiben zweier verschiedener Isolatoren aneinander, diese sich mit entgegengesetzten elektrischen Vorzeichen aufladen. Oft charakterisiert als Quotient aus Ladung pro Masse.

U^P Kurzbezeichnung für Ungesättigte Polyesterharze.

Valenzband
Höchstes von Elektronen besetztes Energieband eines Halbleiters. Oberhalb des Valenzbandes liegt, durch die Bandlücke getrennt, das Leitungsband.

Van-der-Waals-Kräfte

Nach Johannes Diderik van der Waals benannte zwischenmolekulare Kräfte, die insbesondere bei realen Gasen, aber auch in Flüssigkeiten und in Festkörpern als schwache Bindungskräfte zwischen inerten Atomen und gesättigten Molekülen auftreten.

Versinterung

\rightarrow *Sintern*

Viskosität

ist nach DIN 13342 die Eigenschaft eines Stoffes, durch Schubverformung eine vom Geschwindigkeitsgefälle abhängige Schubspannung aufzunehmen.

Wasserstoffbrücken

Bezeichnung für eine Bindung, die sich zwischen einem an elektronegative Elemente (→ *Protonendonator*) kovalent gebundenen Wasserstoffatom und dem einsamen Elektronenpaar eines anderen elektronegativen Atoms (→ *Protonenakzeptor*) ausbildet.

Zetapotential

Feststoffpartikel (wie AEROSIL®) tragen auch in einer Suspension auf ihrer Oberfläche Ladungen, die durch Lösungsmittelmoleküle nach außen kompensiert/abgeschirmt werden. Das Potential ist dadurch minimiert. Durch Bewegung der Partikel (z. B. Brown'sche Molekular Bewegung, Rühren, etc.) und damit verbundener Reibung kann diese Lösungsmittelmolekülschicht von der Partikeloberfläche abgeschert werden. Die Oberflächenladung der Partikel erscheinen nun nicht mehr nach außen neutral, so dass ein Potential entsteht: das Zetapotential.

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®, AEROXIDE®, AERODISP® und AEROPERL® sind geschützte Marken der Evonik Industries AG oder ihrer Tochterunternehmen.

**Europa/Mittlerer Osten/
Afrika/Latein-Amerika**

Evonik Resource Efficiency GmbH
Business Line Silica
Rodenbacher Chaussee 4
63457 Hanau-Wolfgang
Germany
Telefon +49 61 81 59-12532
Telefax +49 61 81 59-712532
ask-si@evonik.com
www.evonik.com

Nordamerika

Evonik Corporation
Business Line Silica
299 Jefferson Road
Parsippany, NJ 07054-0677
USA
Telefon +1 800 233-8052
Telefax +1 973 929-8502
ask-si-nafta@evonik.com

Asien-Pazifik

Evonik (SEA) Pte. Ltd.
Business Line Silica
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