HOFFMANN MINERAL
Unternehmensgruppe Hoffmann

Neuburger Kieselerde gegen Wollastonit und Bariumsulfat in peroxidvernetztem FKM

Verfasser: Nicole Holzmayr
Hubert Oggermüller

VM-2/0918/04.2024

HOFFMANN MINERAL GmbH · Münchener Straße 75 · D-86633 Neuburg (Donau) · Telefon 08431 53-0
www.hoffmann-mineral.com · E-Mail: info@hoffmann-mineral.com

Inhalt

1 Einleitung

2 Experimentelles
2.1 Füllstoffe, Rezeptur und Mischungsherstellung
2.2 Prüfungen

3 Ergebnisse
3.1 Neuburger Kieselerde gegen Wollastonit AST
3.2 Neuburger Kieselerde gegen Wollastonit EST
3.3 Neuburger Kieselerde gegen Bariumsulfat

4 Zusammenfassung

5 Alle numerischen Ergebnisse tabellarisch

1 Einleitung

Fluorpolymere sind allgemein bekannt für hohe Temperatur- und Medienbeständigkeit. Daher werden sie bevorzugt in Dichtungs- und Medienführungsanwendungen verwendet, wo die Eigenschaften von anderen Polymeren nicht mehr ausreichend sind.

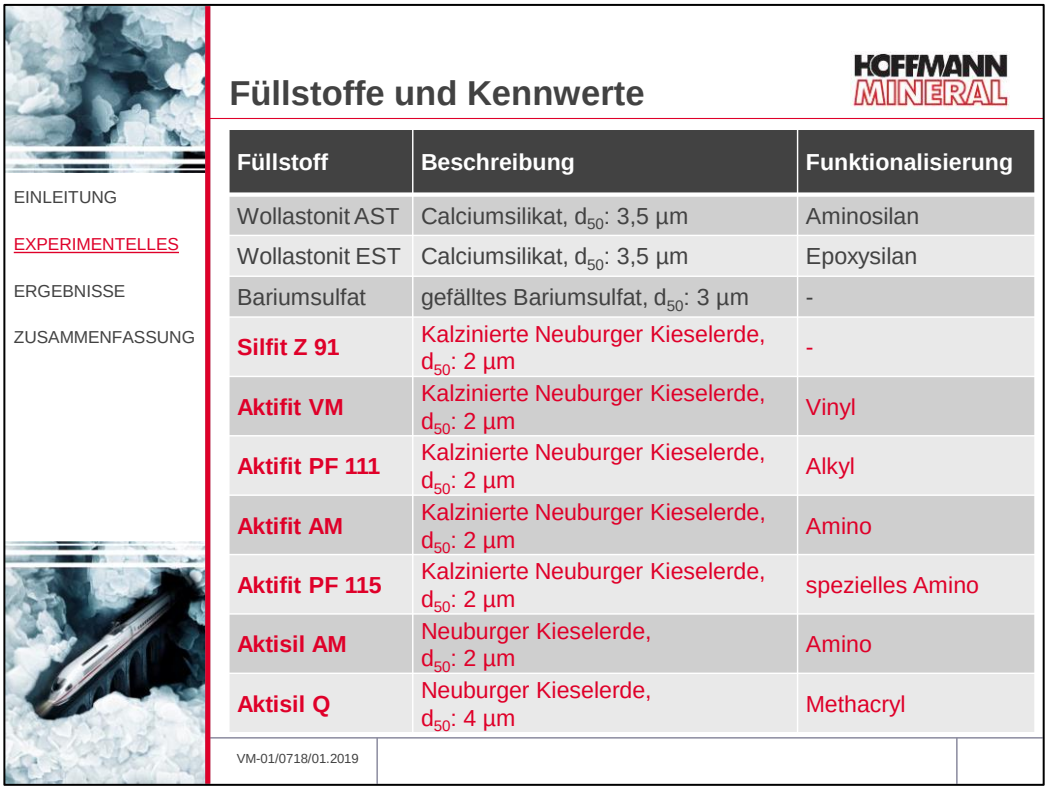
Durch den Einsatz von Füllstoffen kann das Eigenschaftsprofil eines Fluorpolymers verbessert werden.

Neben Ruß N990 werden auch helle, mineralische Füllstoffe verwendet. Typische Vertreter hierfür sind Wollastonit und Bariumsulfat.

In dieser Ausarbeitung werden nun verschiedene Typen der Neuburger Kieselerde (NKE) diesen typischen Vertretern gegenübergestellt.

2 Experimentelles

2.1 Füllstoffe, Rezeptur und Mischungsherstellung



Füllstoffe und Kennwerte

Füllstoff	Beschreibung	Funktionalisierung
Wollastonit AST	Calciumsilikat, d_{50}: 3,5 µm	Aminosilan
Wollastonit EST	Calciumsilikat, d_{50}: 3,5 µm	Epoxysilan
Bariumsulfat	gefälltes Bariumsulfat, d_{50}: 3 µm	-
Silfit Z 91	Kalzinierte Neuburger Kieselerde, d_{50}: 2 µm	-
Aktifit VM	Kalzinierte Neuburger Kieselerde, d_{50}: 2 µm	Vinyl
Aktifit PF 111	Kalzinierte Neuburger Kieselerde, d_{50}: 2 µm	Alkyl
Aktifit AM	Kalzinierte Neuburger Kieselerde, d_{50}: 2 µm	Amino
Aktifit PF 115	Kalzinierte Neuburger Kieselerde, d_{50}: 2 µm	spezielles Amino
Aktisil AM	Neuburger Kieselerde, d_{50}: 2 µm	Amino
Aktisil Q	Neuburger Kieselerde, d_{50}: 4 µm	Methacryl

Abb. 1

Mit Silfit Z 91 wurde eine nicht oberflächenbehandelte, kalzinierte Variante der Neuburger Kieselerde gewählt.
Die Typen Aktifit VM, Aktifit PF 111, Aktifit AM und das Aktifit PF 115 basieren auf kalzinierter Neuburger Kieselerde und sind mit den in Abb. 1 genannten funktionellen Gruppen oberflächenbehandelt.

Aktisil AM und Aktisil Q stammen von den herkömmlichen NKE-Typen ab, wobei letzteres auf einer etwas gröberen Neuburger Kieselerde basiert.

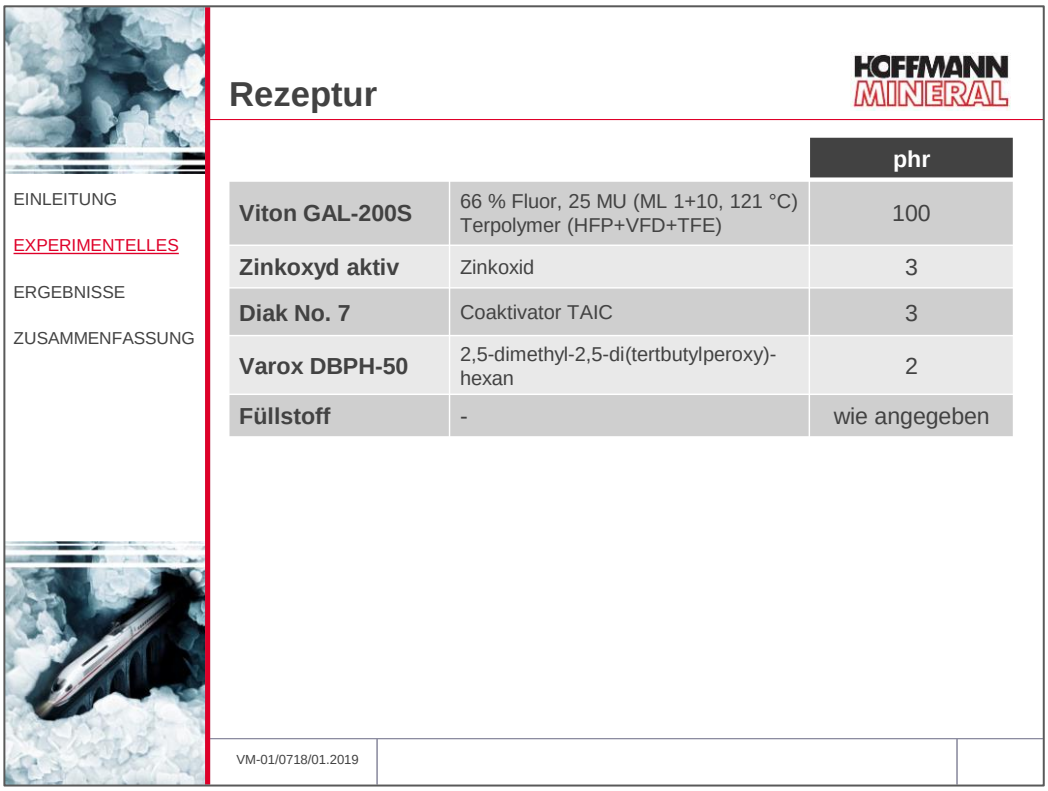
Als Vertreter von Wollastonit werden den NKE-Typen Wollastonit AST – behandelt mit Aminosilan – und Wollastonit EST – behandelt mit Epoxysilan – gegenübergestellt.
Außerdem wird der Vergleich zu einem gefällten Bariumsulfat dargestellt.

Die verwendete Rezeptur (Abb. 2) zeigt den typischen Aufbau einer peroxidvernetzten FKM-Mischung mit Zinkoxyd, Coaktivator und Peroxid.

Die beiden Wollastonit- und die NKE-Typen wurden mit 30 phr dosierungsgleich eingesetzt, für das Bariumsulfat wurde die Dosierung von 49 phr gewählt (dadurch ist das Bariumsulfat wegen seiner höheren Dichte mit den anderen geprüften Füllstoffen volumengleich dosiert). Daraus resultierten härtegleiche Vulkanisate in einem Wertebereich von 65 bis 70 Shore A.

Die Compoundierung erfolgte auf einem Laborwalzwerk (Schwabenthan Polymix 150 L). Der Kautschuk wurde bei 50 °C auf die Walze gegeben und zu einem gleichmäßigen Fell gewalzt. Nachdem das Zinkoxyd eingearbeitet war, wurde der Füllstoff zugegeben. Um eine gute Verteilung der Mischungsbestandteile zu gewährleisten, wurde die Mischung 10 mal gepuppt. Aufgrund der starken Klebrigkeit auf der Walzenoberfläche wurden die Walzen hierfür auf 30 °C heruntergekühlt. Die typische Mischzeit betrug 15 Minuten.

Die Vulkanisation in der Presse wurde 7 Minuten bei 177 °C durchgeführt, getempert wurde 2 Stunden bei 232 °C.



EINLEITUNG

EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

ZUSAMMENFASSUNG

Rezeptur

HOFFMANN MINERAL

		phr
Viton GAL-200S	66 % Fluor, 25 MU (ML 1+10, 121 °C) Terpolymer (HFP+VFD+TFE)	100
Zinkoxyd aktiv	Zinkoxid	3
Diak No. 7	Coaktivator TAIC	3
Varox DBPH-50	2,5-dimethyl-2,5-di(tertbutylperoxy)-hexan	2
Füllstoff	-	wie angegeben

VM-01/0718/01.2019

Abb. 2

2.2 Prüfungen

Die hier dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf getemperte Probekörper, wenn nicht anders gekennzeichnet.

Neben der Bestimmung der Härte wurden Zugversuche durchgeführt und der Druckverformungsrest geprüft.

Die Medienbeständigkeit wurde wie folgt untersucht:

- Heißluft — 94 Stunden / 230 °C
  504 Stunden / 210 °C
- Motoröl OS206304 — 168 Stunden / 150 °C
- Kraftstoff FAM B (DIN 51604) — 70 Stunden / 23 °C
- Essigsäure (1M, pH 3) — 168 Stunden / 100 °C

Mit der Lagerung in Essigsäure soll die Blow-By-Beständigkeit simuliert werden.

Ergebnisse aller untersuchten Compounds und aller Prüfungen befinden sich am Ende des Berichts in tabellarischer Form.

3 Ergebnisse

3.1 Neuburger Kieselerde gegen Wollastonit AST

3.1.1 Rheologische Eigenschaften

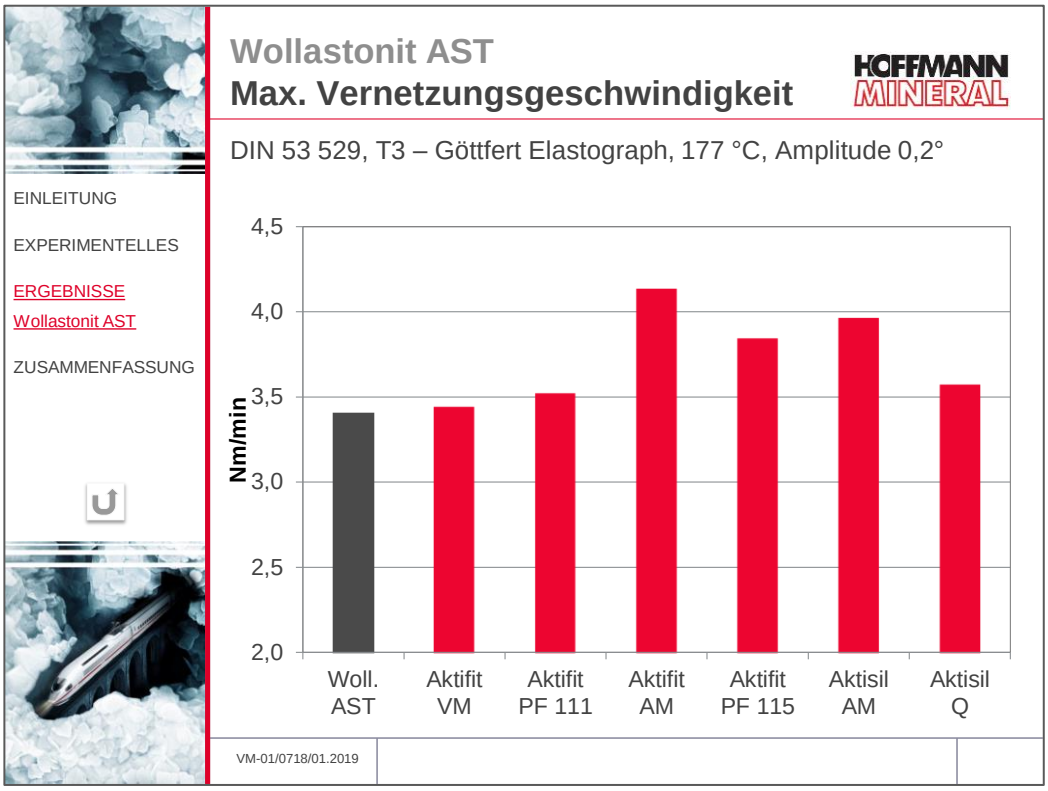


Abb. 3

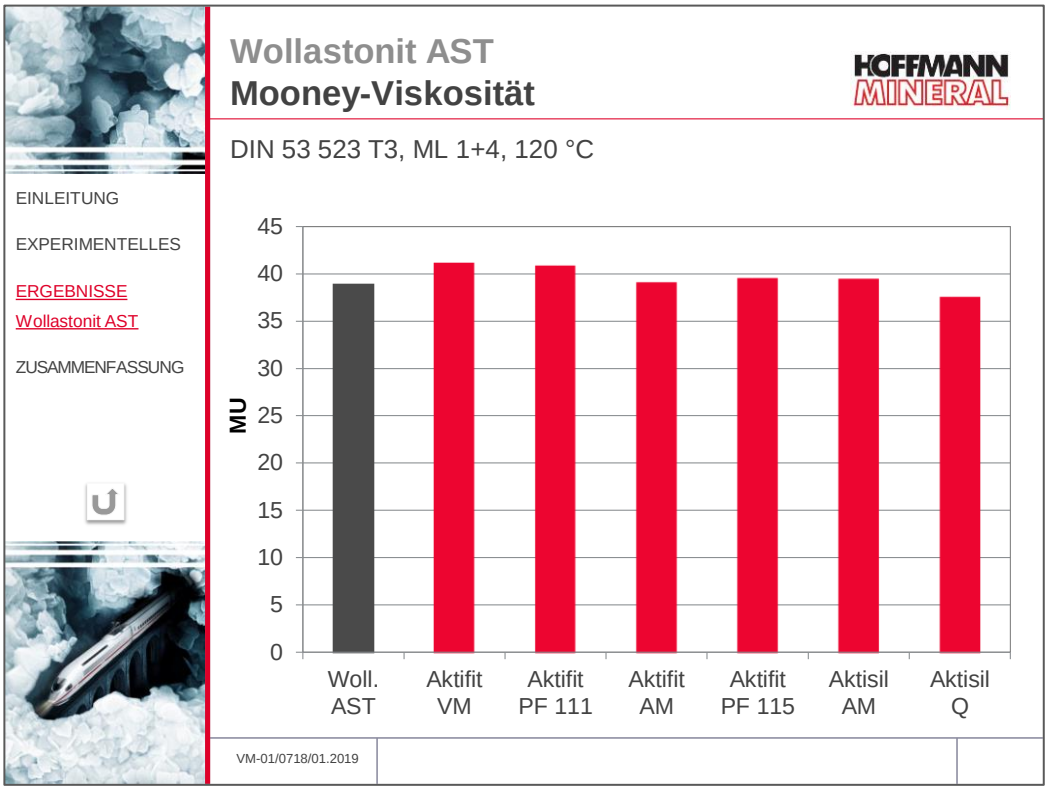


Abb. 4

Die amino-funktionellen NKE-Typen Aktifit AM, Aktifit PF 115 und Aktisil AM ermöglichen eine höhere Vernetzungsgeschwindigkeit gegenüber dem aminosilanbehandelten Wollastonit (Abb. 3). Die Viskosität der Compounds ist durchwegs vergleichbar (Abb. 4).

3.1.2 Mechanische Eigenschaften

Mit allen NKE-Typen kann die Zugfestigkeit gegenüber dem aminosilanbehandelten Wollastonit erhöht werden (Abb. 5). Gleichzeitig ist es mit z.B. Aktifit PF 111, Aktifit AM und Aktifit PF 115 möglich, das gute Niveau der Reißdehnung zu erhalten (Abb. 6). Die resultierenden Spannungswerte bei 100 % Dehnung sind in Abb. 7 dargestellt.

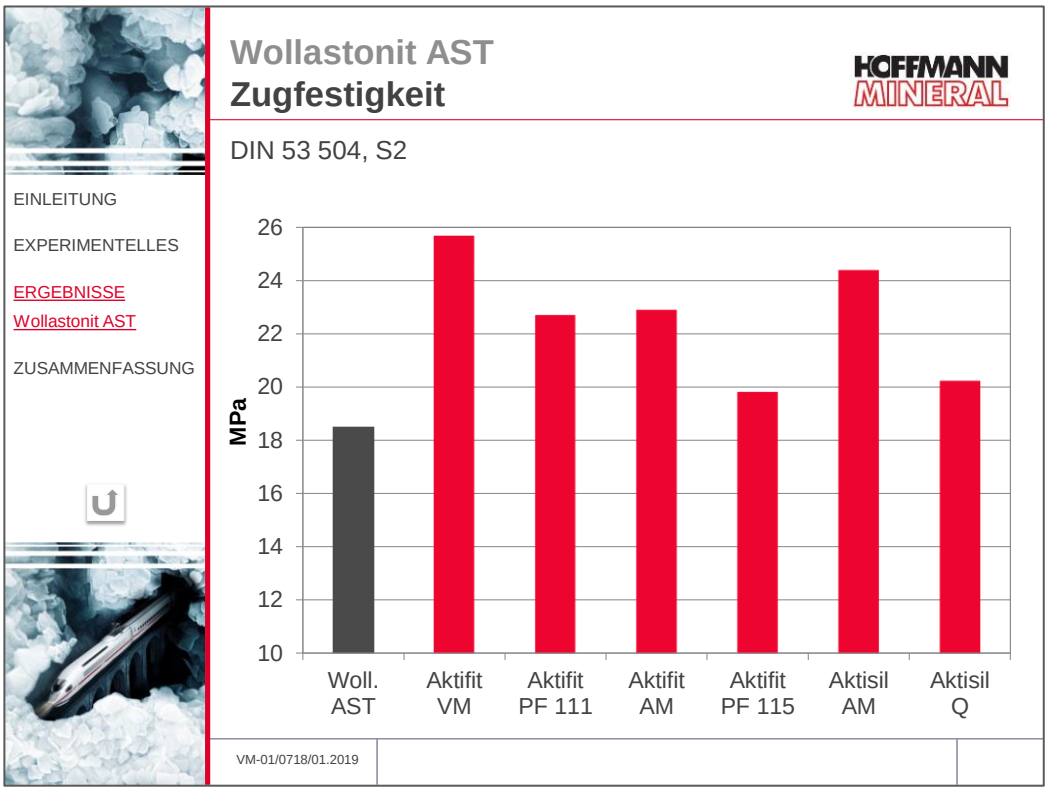


Abb. 5

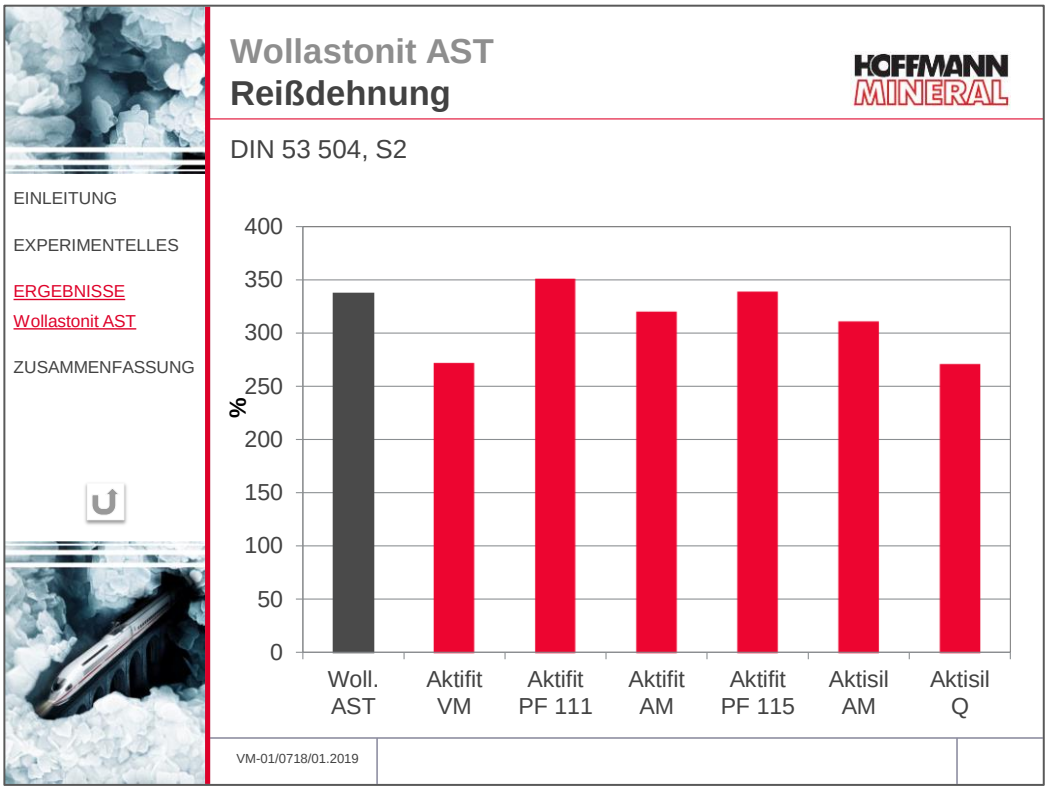


Abb. 6

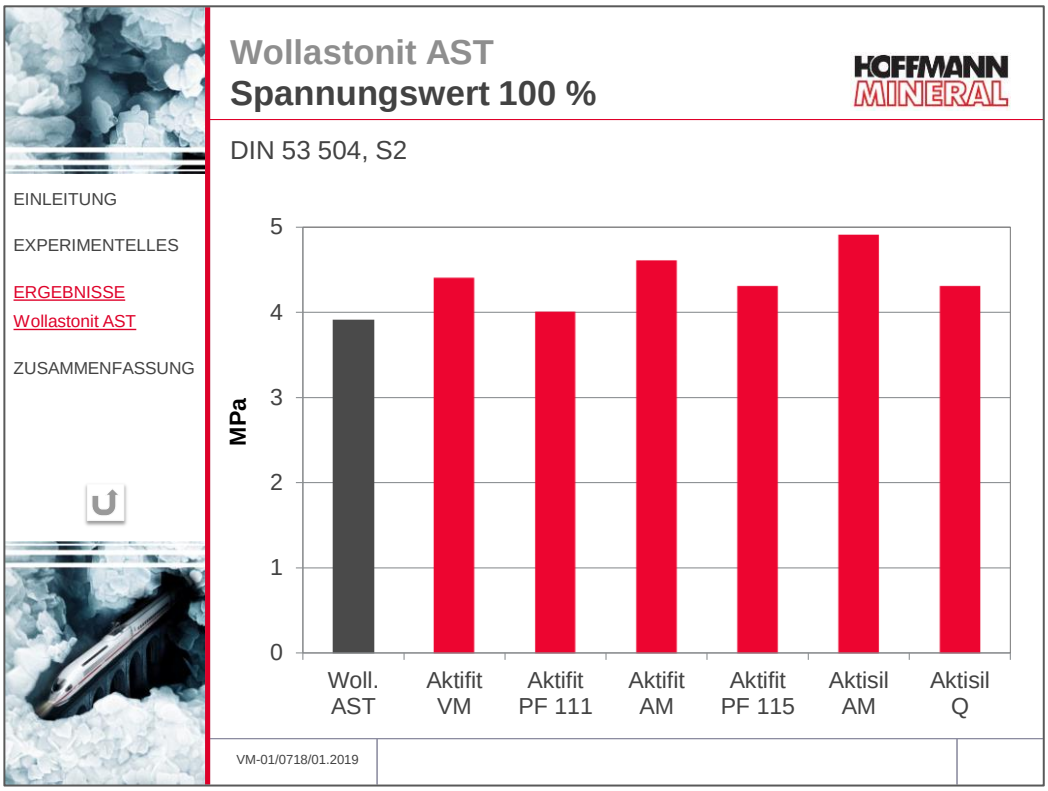


Abb. 7

Durch den Austausch des aminosilanbehandelten Wollastonits durch Neuburger Kieselerde, lässt sich eine Reduzierung des Druckverformungsrestes feststellen. In Abb. 8 ist der Druckverformungsrest nach DIN ISO 815-1 B nach 70 Stunden bei 232 °C dargestellt. Es wird deutlich, dass mit Aktifit VM, Aktifit PF 111 und v.a. Aktisil Q eine ausgeprägte Verbesserung zu realisieren ist. Gerade Aktisil Q hat den Vorteil, dass es schon bei den ungetemperten Probekörpern den Druckverformungsrest deutlich senkt.
Ist der Druckverformungsrest von VW nach PV 3307 von Bedeutung, so empfiehlt sich der Einsatz von Aktisil AM, welches bei Raumtemperatur den besten Wert markiert (Abb. 9).

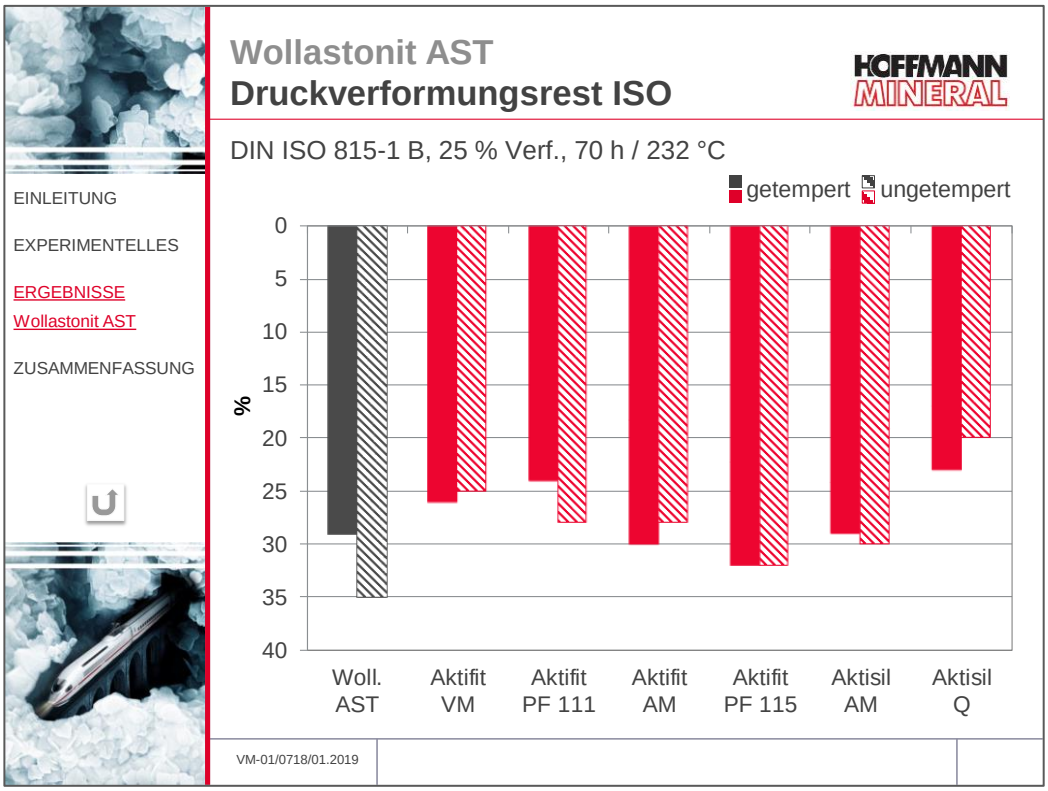


Abb. 8

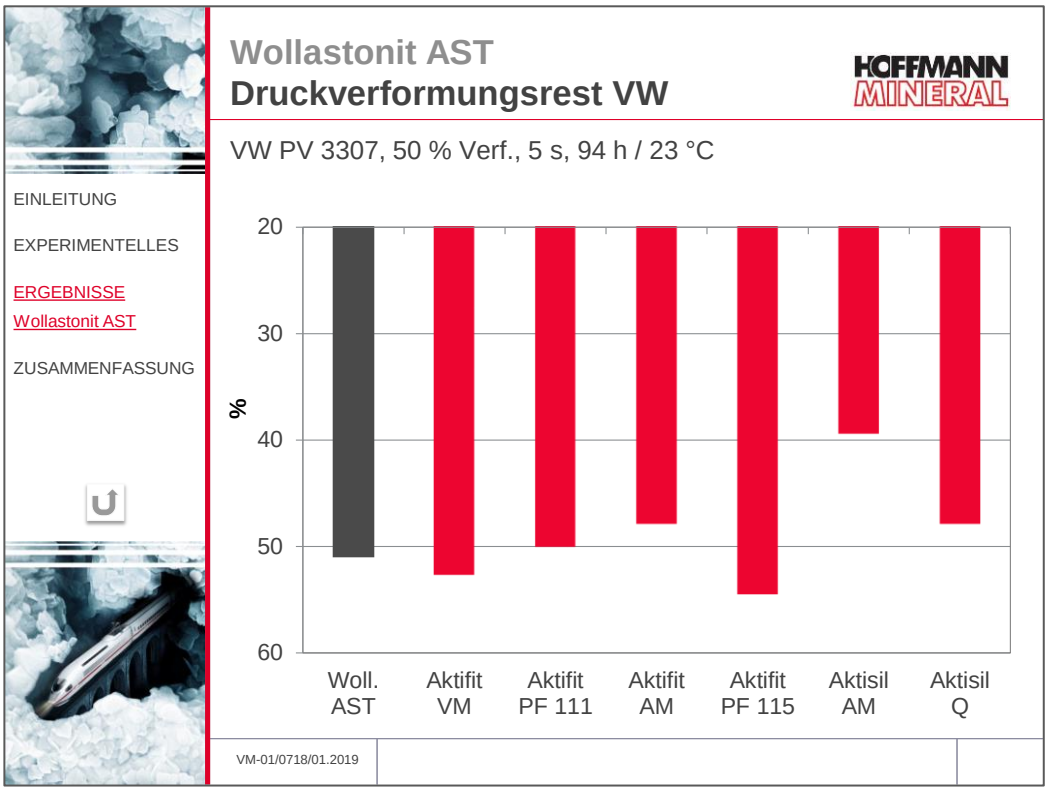


Abb. 9

Sollte die Abriebbeständigkeit des Bauteils eine Rolle spielen, so kann durch den Austausch des aminosilanbehandelten Wollastonits durch alle dargestellten NKE-Typen eine deutliche Verbesserung erzielt werden (Abb. 10)

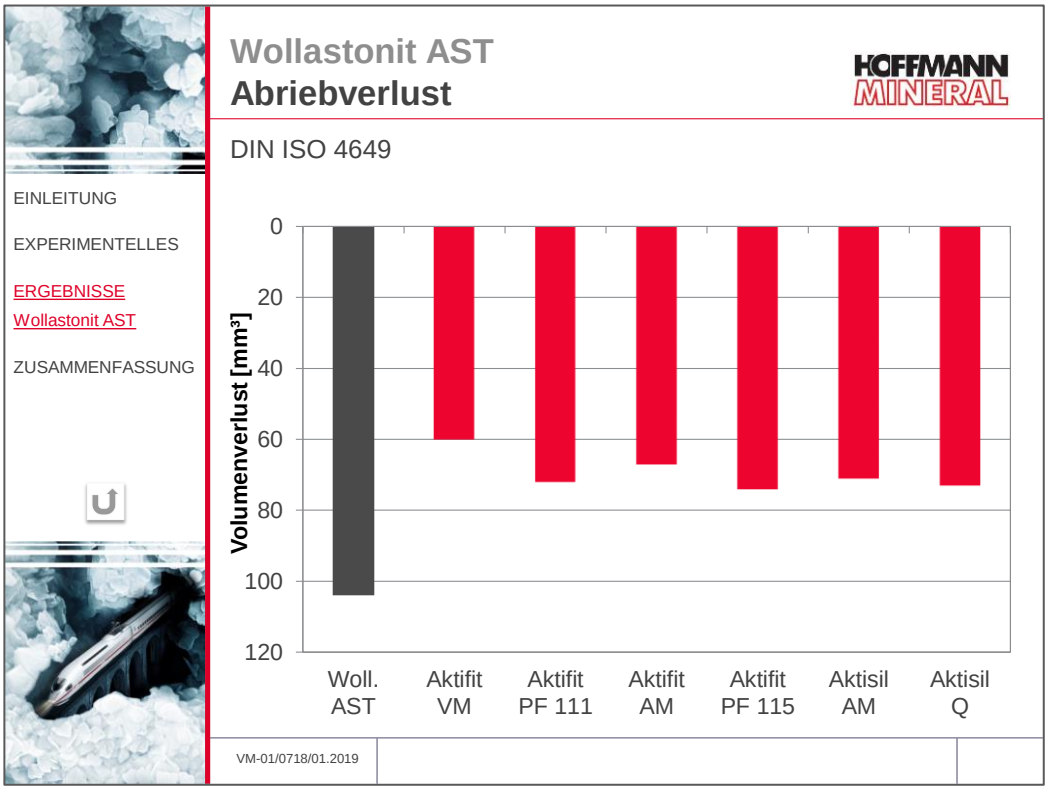


Abb. 10

3.1.3 Medienbeständigkeit

3.1.3.1 Heißluft- und Kraftstoffbeständigkeit

Die Änderungen der mechanischen Eigenschaften nach Lagerung in Heißluft oder in Kraftstoff sind durchwegs vergleichbar. Dadurch bleiben die höhere Zugfestigkeit und die vergleichbare Reißdehnung der mit Neuburger Kieselerde gefüllten Vulkanisate gegenüber den mit aminosilanbehandeltem Wollastonit gefüllten erhalten.

3.1.3.2 Ölbeständigkeit

Betrachtet man die Änderungen von Zugfestigkeit und Reißdehnung nach Lagerung in Motoröl (Abb. 11), so wird der Vorteil aus dem Einsatz von Aktifit AM oder Aktisil Q deutlich. Die mechanischen Werte fallen hier im Vergleich zum Wollastonit am Wenigsten ab, so dass weiter unverändert hohe Zugfestigkeiten (Abb. 12) erreicht werden.
Auch der Einfluss der Öllagerung auf die Härte ist praktisch gleich Null wenn Neuburger Kieselerde verwendet wird, wie aus Abb. 13 deutlich hervorgeht.

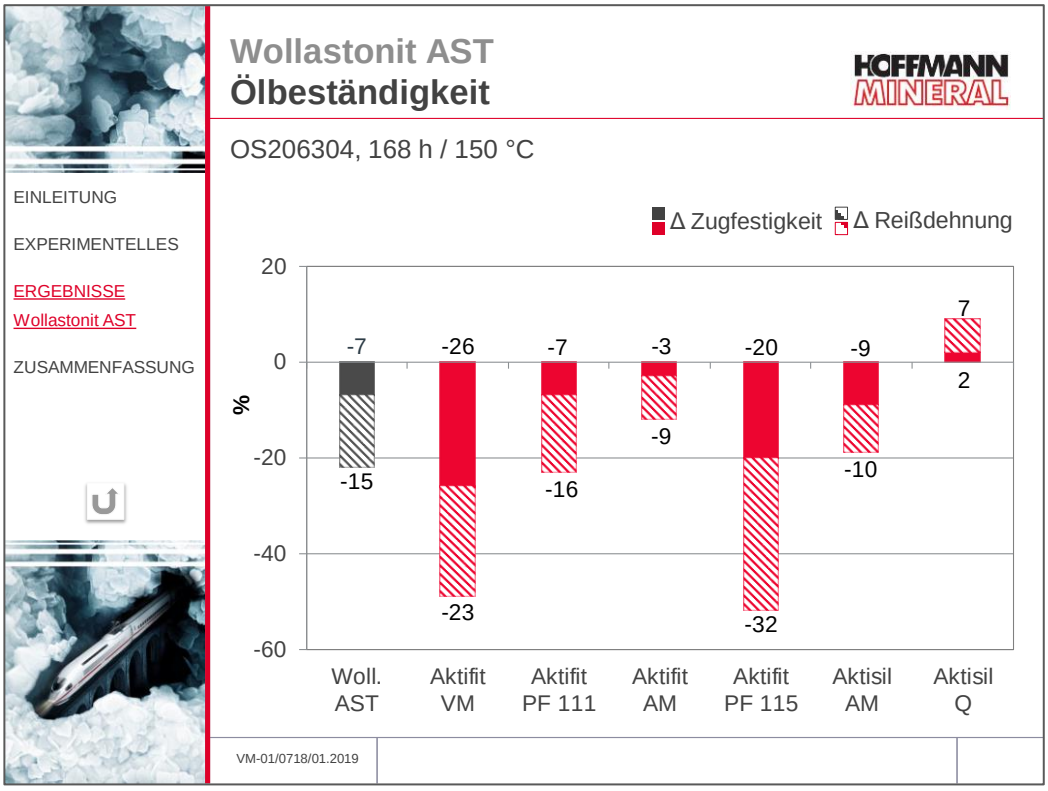


Abb. 11

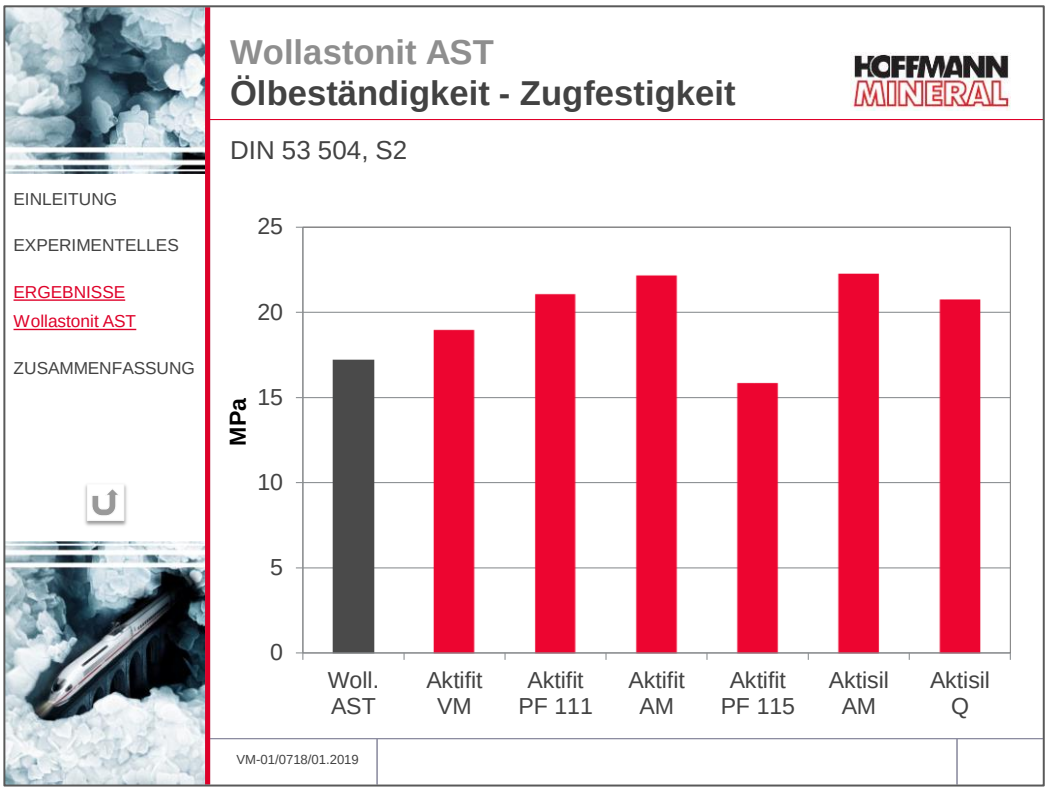

Wollastonit AST
Ölbeständigkeit - Zugfestigkeit
HOFFMANN MINERAL
DIN 53 504, S2
EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
Wollastonit AST
ZUSAMMENFASSUNG
MPa
25
20
15
10
5
0
Woll. AST
Aktifit VM
Aktifit PF 111
Aktifit AM
Aktifit PF 115
Aktisil AM
Aktisil Q
VM-01/0718/01.2019

Abb. 12

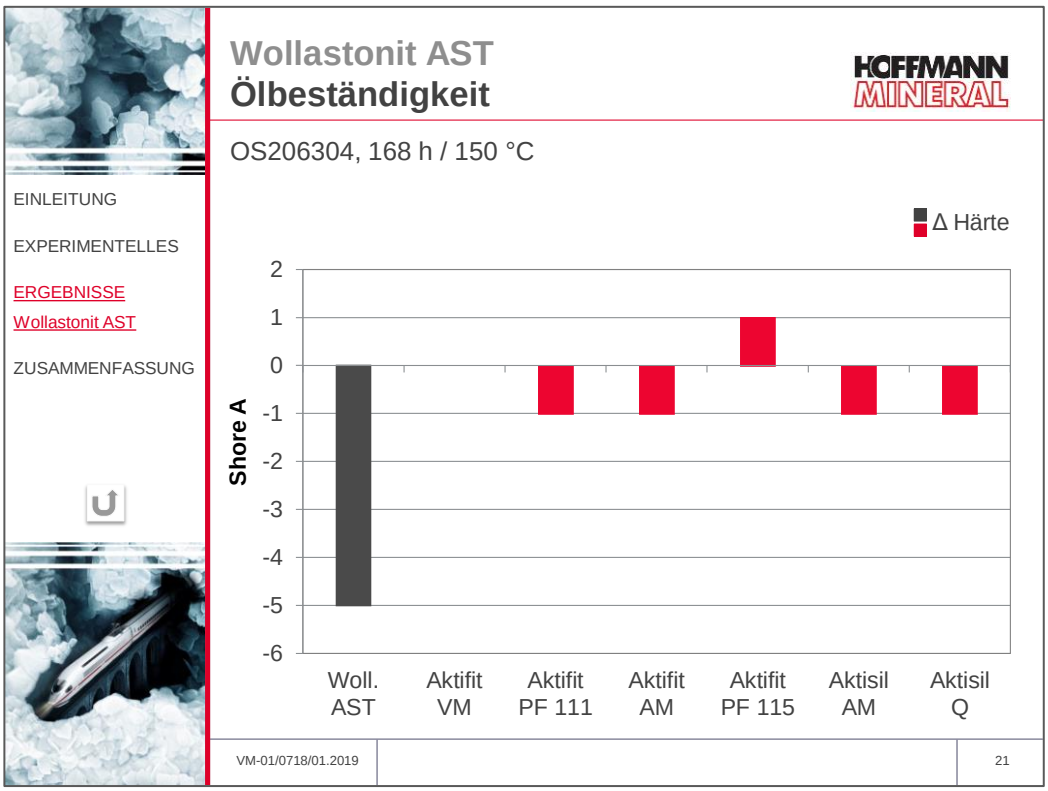

Wollastonit AST
Ölbeständigkeit
HOFFMANN MINERAL
OS206304, 168 h / 150 °C
EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
Wollastonit AST
ZUSAMMENFASSUNG
Δ Härte
Shore A
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
Woll. AST
Aktifit VM
Aktifit PF 111
Aktifit AM
Aktifit PF 115
Aktisil AM
Aktisil Q
VM-01/0718/01.2019
21

Abb. 13

3.1.3.3 Säurebeständigkeit

Durch den Austausch des aminosilanbehandelten Wollastonits durch Neuburger Kieselerde werden die Vulkanisate beständig gegen Essigsäure. Dies zeigen sowohl die Änderungen von Zugfestigkeit, Reißdehnung (Abb. 14) und Härte (Abb. 15), als auch die Zunahme des Volumens der Probekörper (Abb. 16 + Abb. 17).

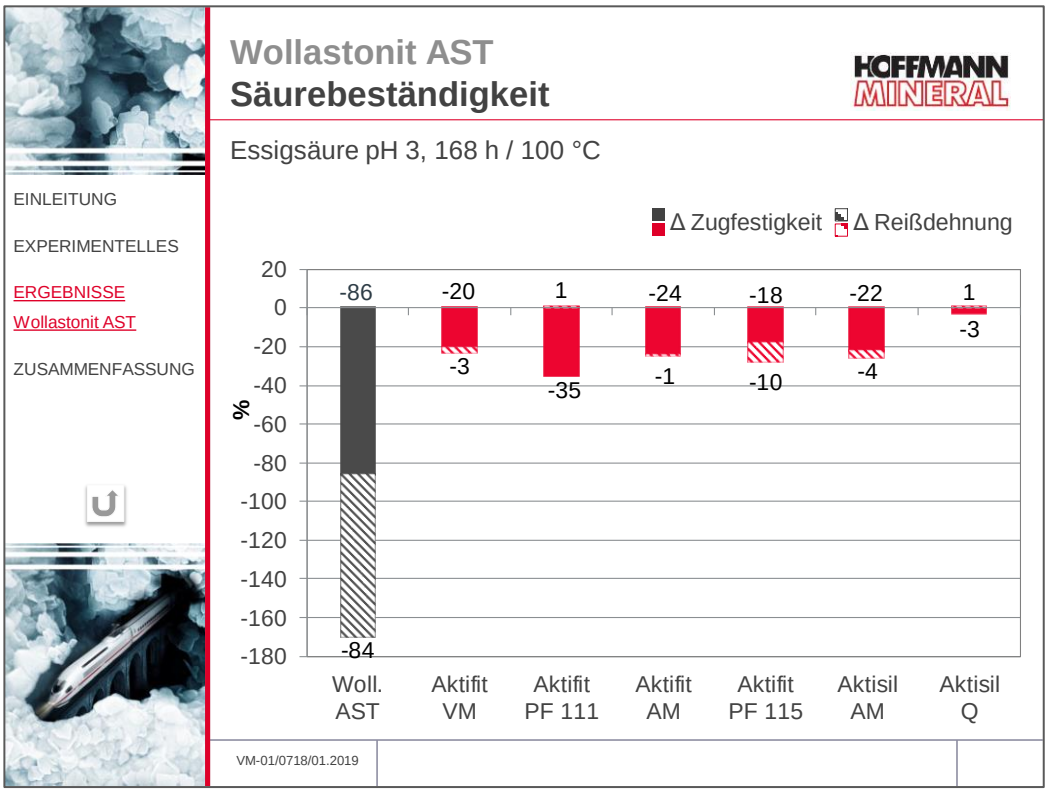


Abb. 14

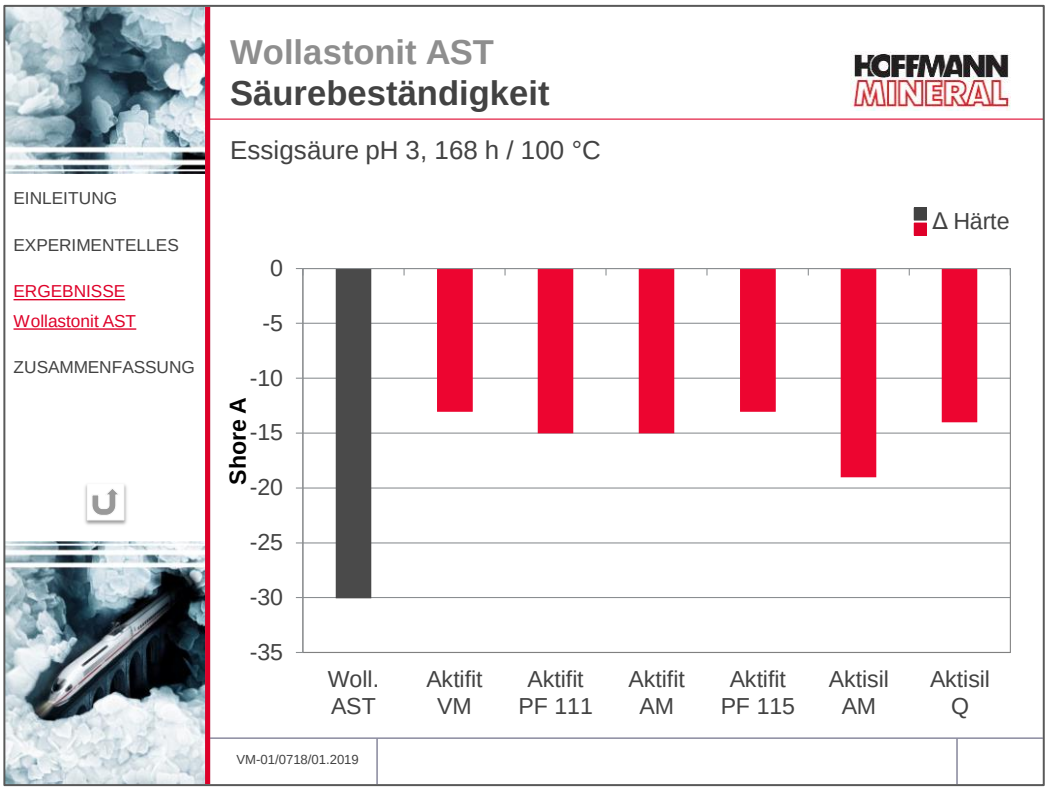


Abb. 15

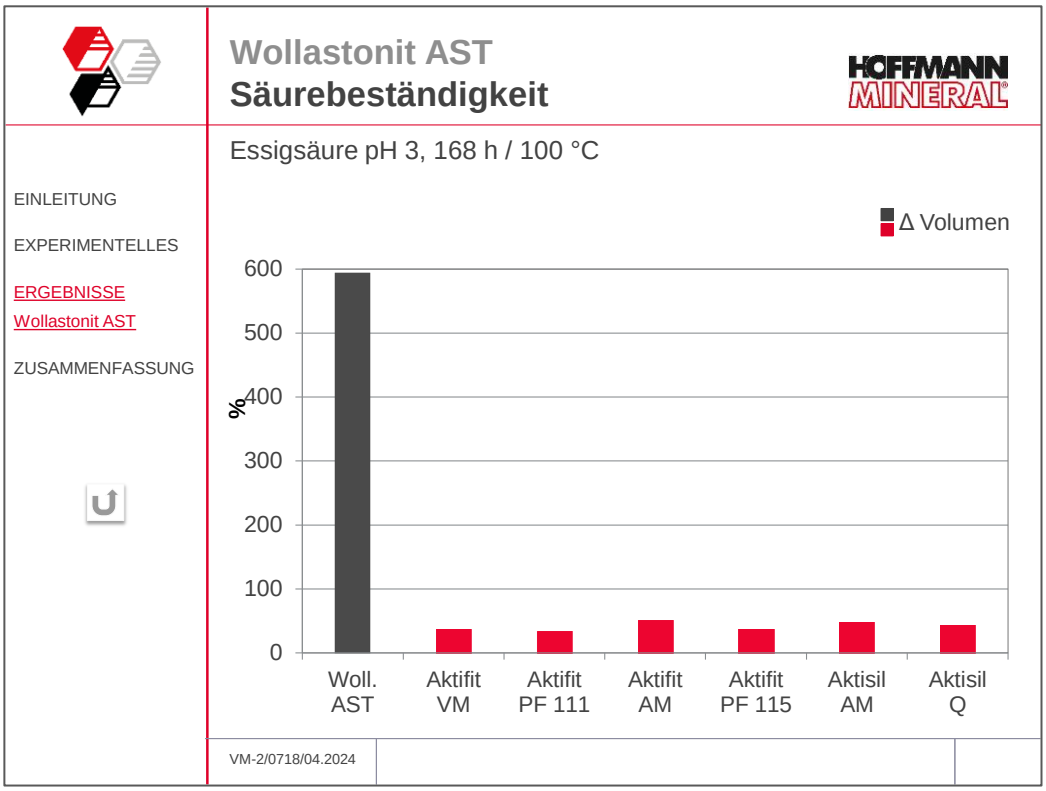

Wollastonit AST
Säurebeständigkeit
HOFFMANN MINERAL
Essigsäure pH 3, 168 h / 100 °C
EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
Wollastonit AST
ZUSAMMENFASSUNG
Δ Volumen
%
600
500
400
300
200
100
0
Woll. AST
Aktifit VM
Aktifit PF 111
Aktifit AM
Aktifit PF 115
Aktisil AM
Aktisil Q
VM-2/0718/04.2024

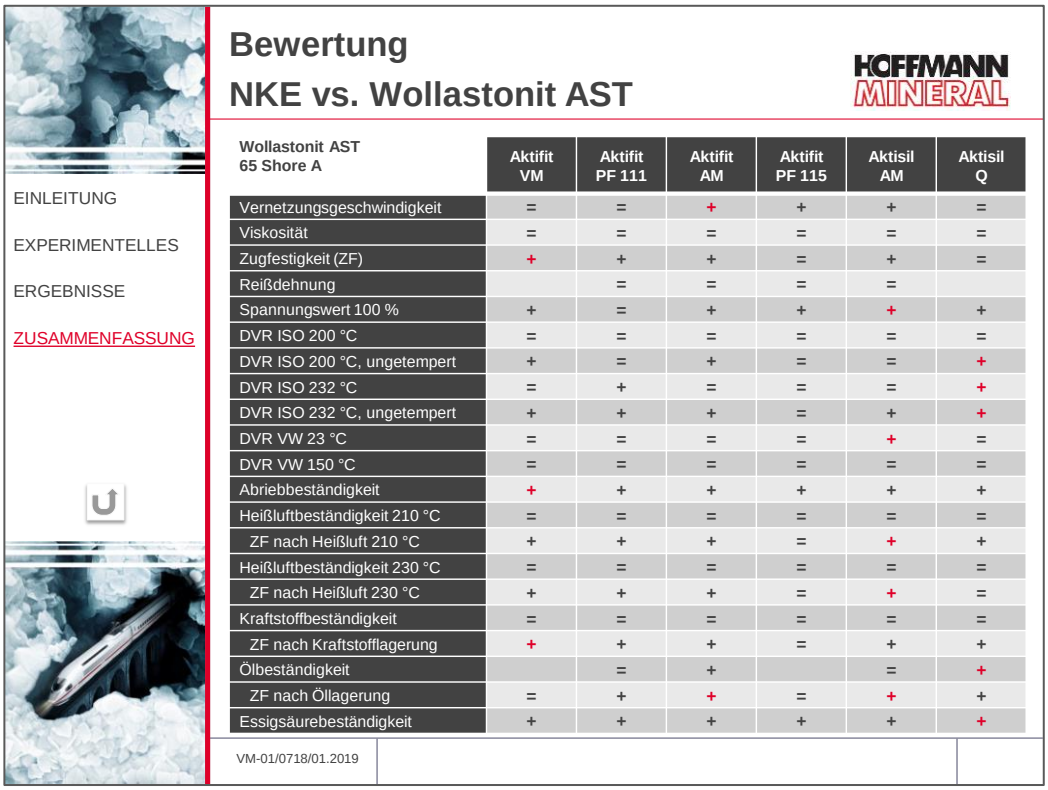
Abb. 16

Wollastonit AST
Säurebeständigkeit
HOFFMANN MINERAL
Essigsäure pH 3, 168 h / 100 °C
EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
Wollastonit AST
ZUSAMMENFASSUNG
vorher
nachher
Δ Gewicht: +288 %
Δ Volumen: +593 %
VM-01/0718/01.2019

Abb. 17

3.1.4 Bewertung der Ergebnisse

Verschiedene Eigenschaften und Eigenschaftskombinationen, oft auch sogar gegenläufige, werden mit den Neuburger Kieselerde Produkten positiv beeinflusst. Dies zeigt sich in der folgenden Bewertungsübersicht.



EINLEITUNG

EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

ZUSAMMENFASSUNG

Bewertung

NKE vs. Wollastonit AST

HOFFMANN MINERAL

Wollastonit AST 65 Shore A	Aktifit VM	Aktifit PF 111	Aktifit AM	Aktifit PF 115	Aktisil AM	Aktisil Q
Vernetzungsgeschwindigkeit	=	=	+	+	+	=
Viskosität	=	=	=	=	=	=
Zugfestigkeit (ZF)	+	+	+	=	+	=
Reißdehnung		=	=	=	=	
Spannungswert 100 %	+	=	+	+	+	+
DVR ISO 200 °C	=	=	=	=	=	=
DVR ISO 200 °C, ungetempert	+	=	+	=	=	+
DVR ISO 232 °C	=	+	=	=	=	+
DVR ISO 232 °C, ungetempert	+	+	+	=	+	+
DVR VW 23 °C	=	=	=	=	+	=
DVR VW 150 °C	=	=	=	=	=	=
Abriebbeständigkeit	+	+	+	+	+	+
Heißluftbeständigkeit 210 °C	=	=	=	=	=	=
ZF nach Heißluft 210 °C	+	+	+	=	+	+
Heißluftbeständigkeit 230 °C	=	=	=	=	=	=
ZF nach Heißluft 230 °C	+	+	+	=	+	=
Kraftstoffbeständigkeit	=	=	=	=	=	=
ZF nach Kraftstofflagerung	+	+	+	=	+	+
Ölbeständigkeit		=	+		=	+
ZF nach Öllagerung	=	+	+	=	+	+
Essigsäurebeständigkeit	+	+	+	+	+	+

VM-01/0718/01.2019

Abb. 18

Abb. 18 zeigt, welche NKE-Type die jeweilige Eigenschaft gegenüber dem aminosilanbehandelten Wollastonit entweder verbessert (+) oder mit ihm gleichzieht (=). Rot markierte + bedeuten, dass dieses Produkt für die entsprechende Eigenschaft den besten Wert unter den NKEs erreicht.

3.2 Neuburger Kieselerde gegen Wollastonit EST

3.2.1 Rheologische Eigenschaften

Gegenüber dem epoxysilanbehandelten Wollastonit können alle dargestellten NKE-Typen eine Erhöhung der Vernetzungsgeschwindigkeit bewirken, wie in Abb. 19 zu sehen ist. Die Varianten mit amino-funktioneller Gruppe markieren hier das höchste Niveau. Die Viskosität (Abb. 20) ist durchwegs vergleichbar.

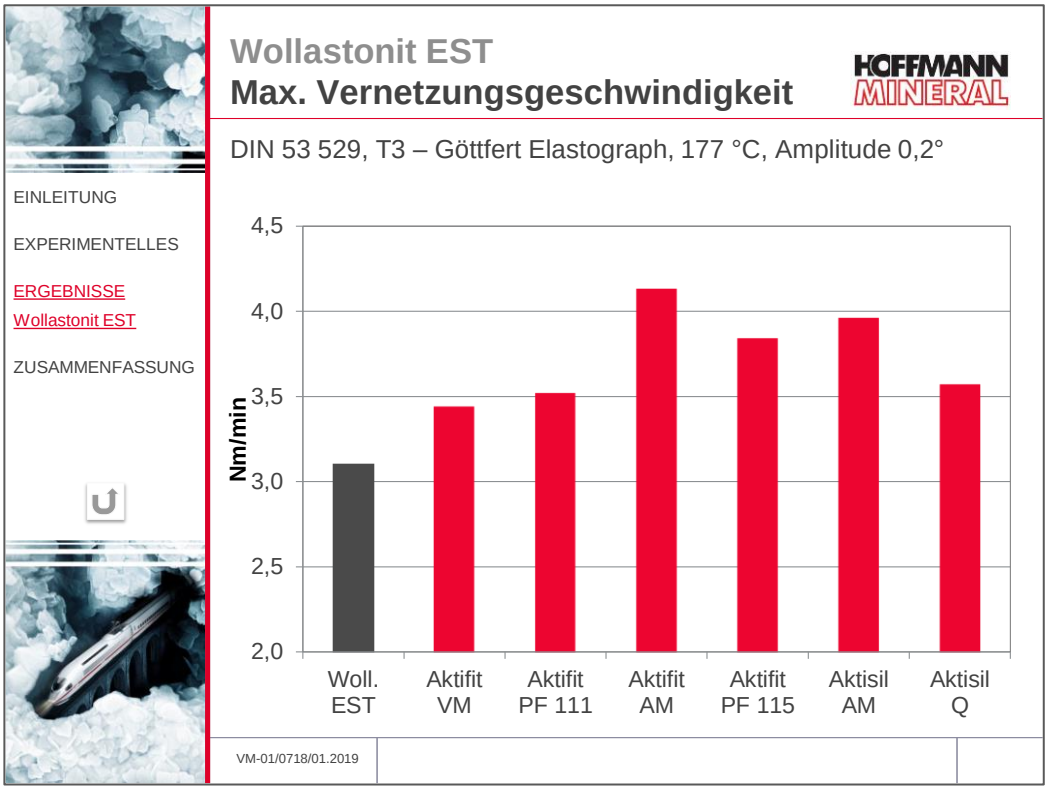


Abb. 19

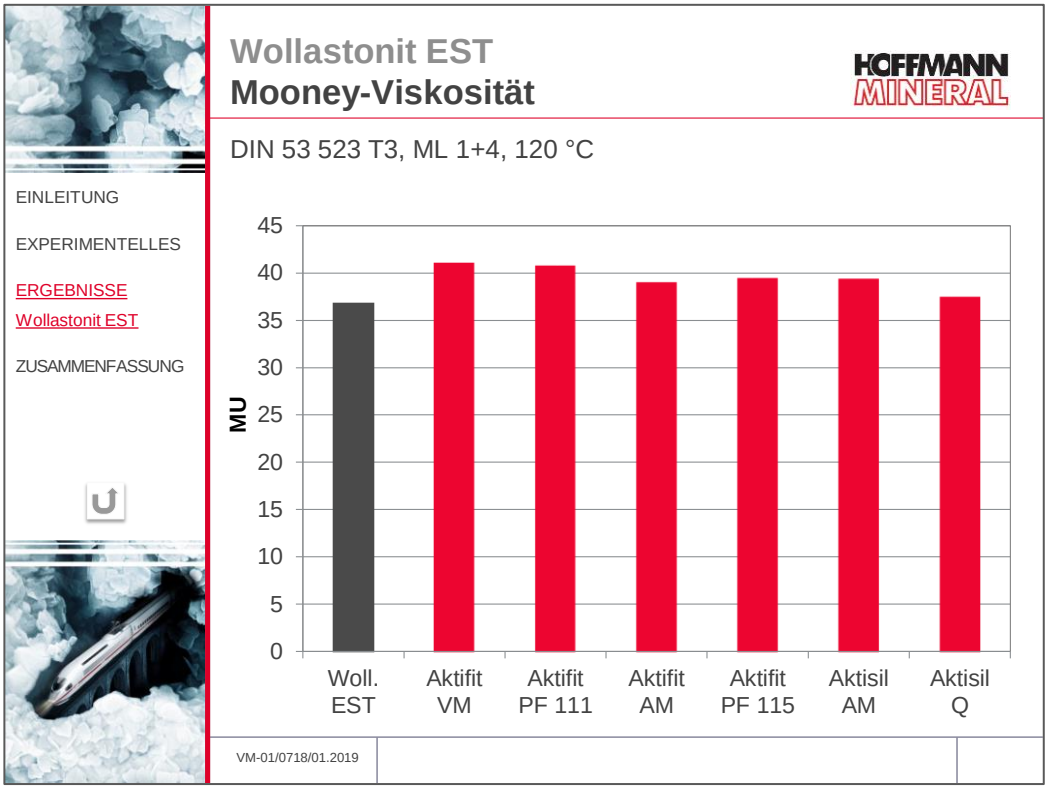


Abb. 20

3.2.2 Mechanische Eigenschaften

Mit Aktifit PF 115 und Aktisil Q erhält man mit dem epoxysilanbehandelten Wollastonit vergleichbare Zugfestigkeitswerte (Abb. 21). Die übrigen NKE-Typen führen alle zu einer höheren Zugfestigkeit. Auch die Spannungswerte bei 100 % Dehnung können mit den NKE-Varianten gegenüber dem Wollastonit angehoben werden (Abb. 22).

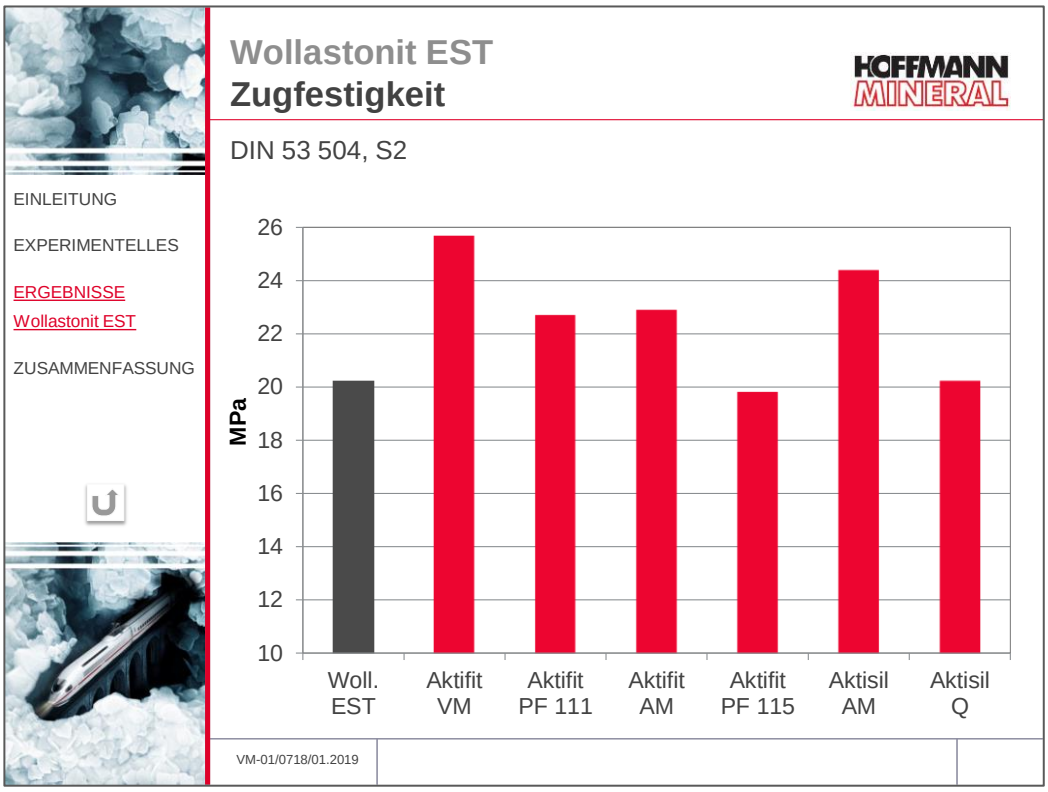


Abb. 21

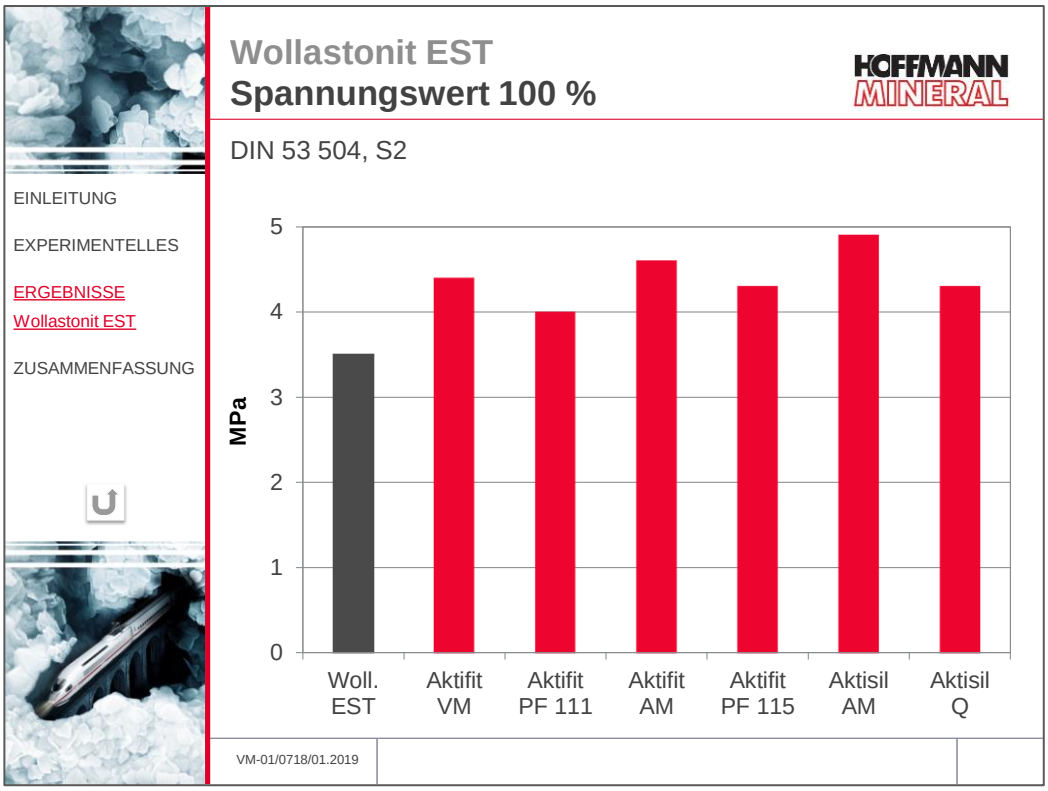


Abb. 22

Was den Druckverformungsrest anbelangt, markiert der epoxysilanbehandelte Wollastonit bereits ein sehr gutes Werteniveau (Abb. 23). Aktifit VM, Aktifit PF 111 und Aktisil Q können hier gleichziehen. Letzteres erzielt gegenüber dem Wollastonit bereits eine Verbesserung, wenn die Probekörper keiner Temperung unterzogen wurden.
Der Austausch des Wollastonits durch Aktisil AM führt zu einer deutlichen Senkung des Druckverformungsrestes nach der VW-Prüfmethode PV 3307, wie Abb. 24 zeigt.

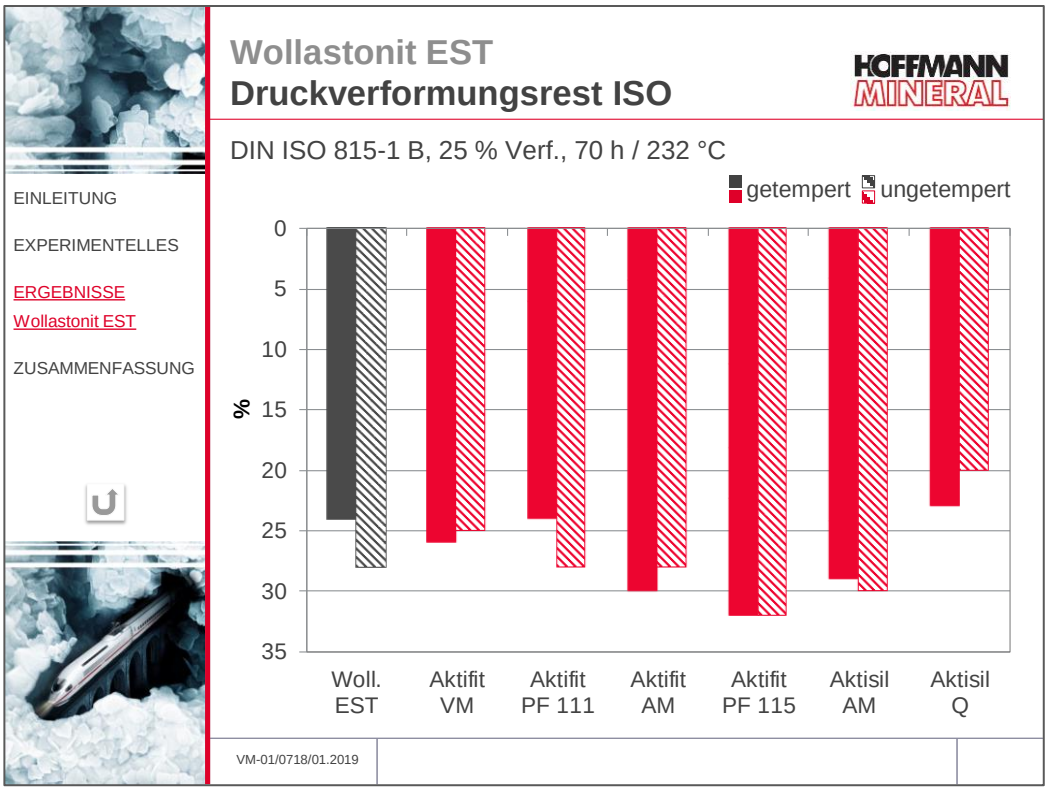


Abb. 23

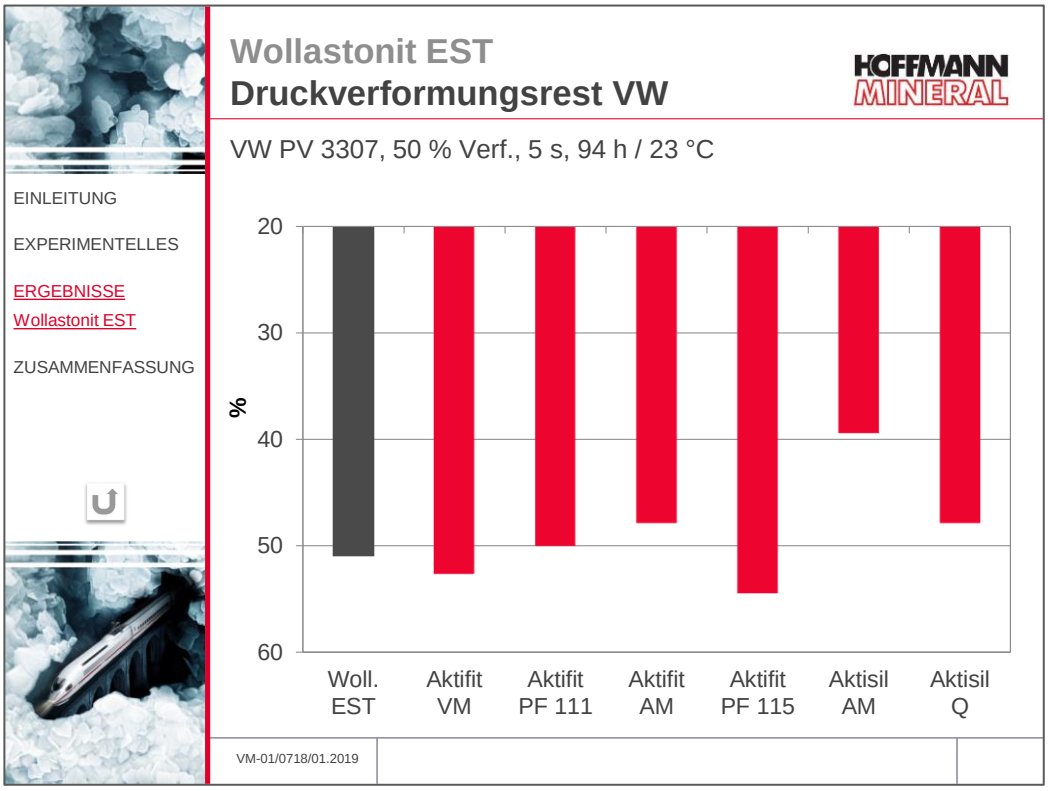


Abb. 24

Für Anwendungen, die eine verbesserte Abriebbeständigkeit benötigen, kann der Austausch des epoxysilanbehandelten Wollastonits durch alle hier dargestellten NKE-Varianten erfolgen (Abb. 25).

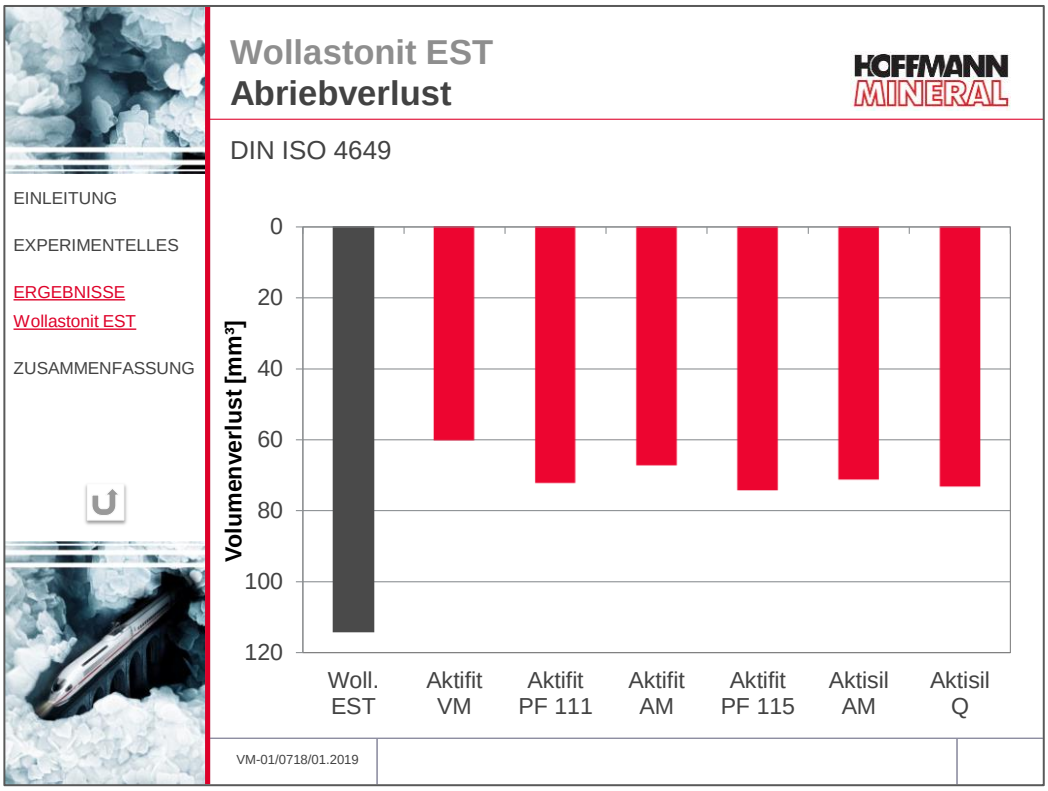


Abb. 25

3.2.3 Medienbeständigkeit

3.2.3.1 Heißluft- und Kraftstoffbeständigkeit

Die Änderungen der mechanischen Eigenschaften nach Lagerung in Heißluft oder in Kraftstoff sind durchwegs vergleichbar. Dadurch bleibt die höhere Zugfestigkeit der mit Neuburger Kieselerde gefüllten Vulkanisate gegenüber den mit epoxysilanbehandelten Wollastonit gefüllten erhalten.

3.2.3.2 Ölbeständigkeit

Bei der Beständigkeit gegen Öl (OS206304) können gegenüber dem epoxysilanbehandelten Wollastonit Aktifit PF 111, Aktifit AM, Aktisil AM und Aktisil Q punkten. Sie führen zu deutlich geringeren Änderungen von Zugfestigkeit und Reißdehnung nach der Lagerung der Vulkanisate in Öl (Abb. 26). Dadurch sind Zugfestigkeitswerte mit diesen NKE-Varianten um fast 10 MPa höher als mit dem Wollastonit (Abb. 27).

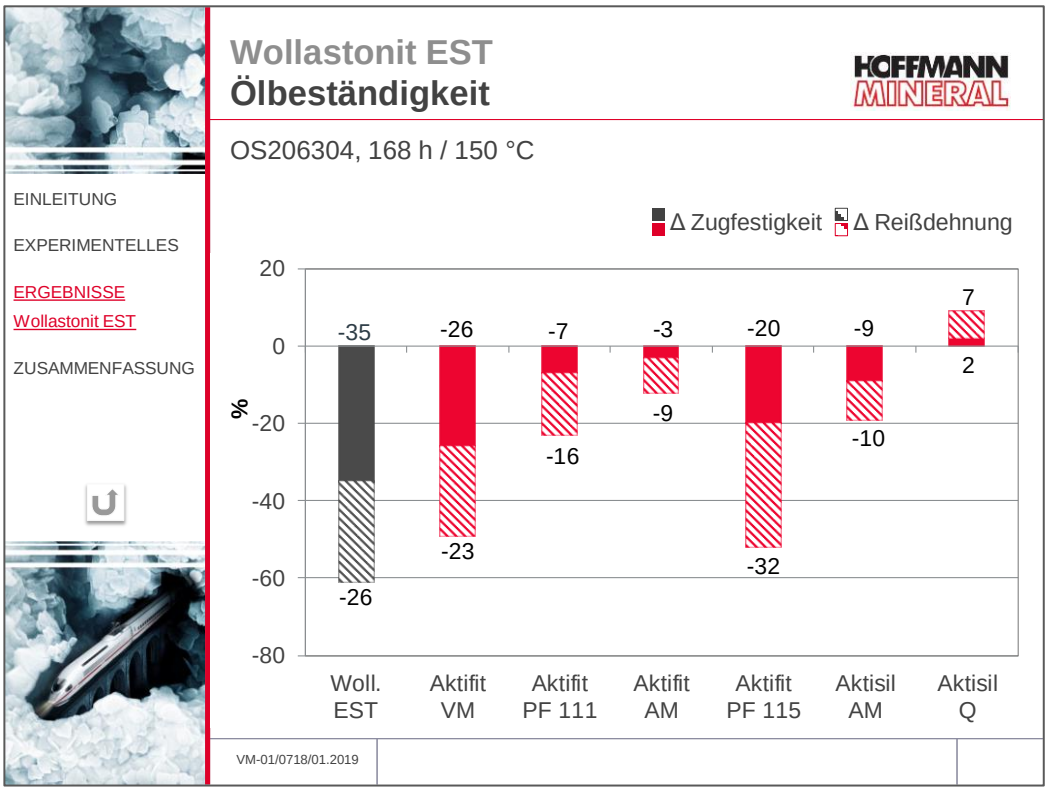


Abb. 26

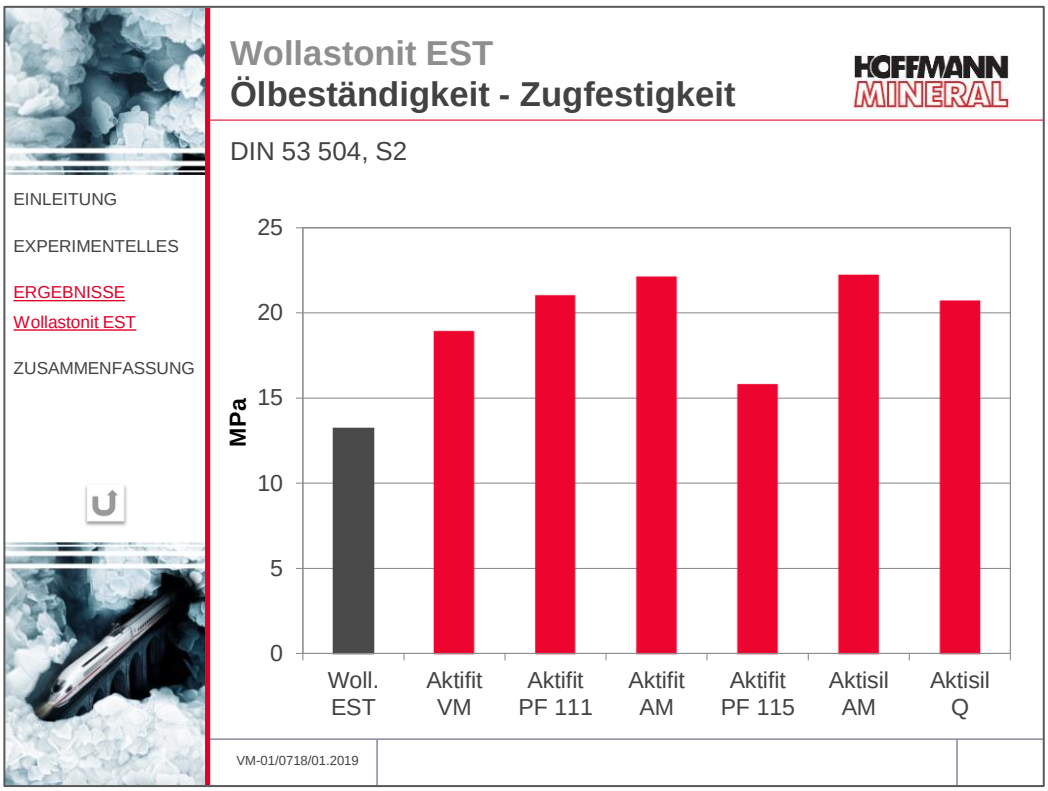


Abb. 27

3.2.3.3 Säurebeständigkeit

Durch den Austausch des epoxysilanbehandelten Wollastonits durch Neuburger Kieselerde werden die Vulkanisate beständig gegen Essigsäure. Dies zeigen sowohl die Änderungen von Zugfestigkeit, Reißdehnung (Abb. 28) und Härte, die aufgrund der Zerstörung des Probekörpers beim Messen nicht mehr bestimmbar ist (Abb. 29), als auch die Zunahme des Volumens der Probekörper (Abb. 30 + Abb. 31).

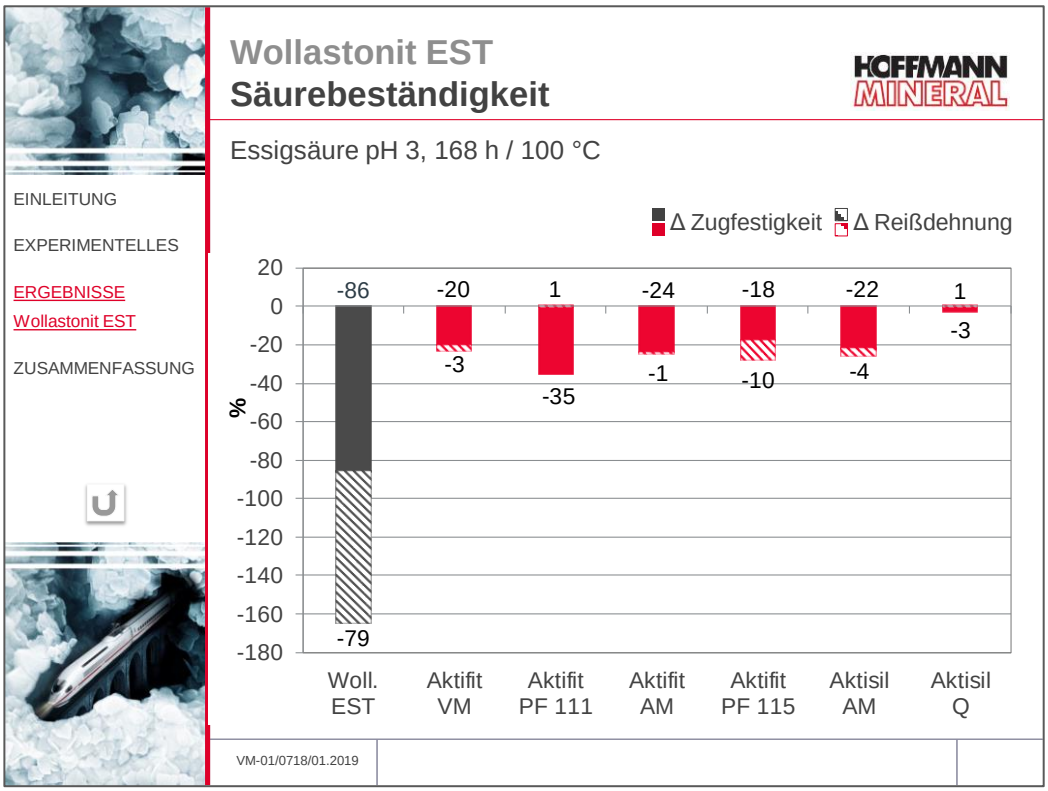

Wollastonit EST
Säurebeständigkeit
HOFFMANN MINERAL
Essigsäure pH 3, 168 h / 100 °C
Δ Zugfestigkeit
Δ Reißdehnung
EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
Wollastonit EST
ZUSAMMENFASSUNG
%
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180
-86
-79
-20
-3
1
-35
-24
-1
-18
-10
-22
-4
1
-3
Woll. EST
Aktifit VM
Aktifit PF 111
Aktifit AM
Aktifit PF 115
Aktisil AM
Aktisil Q
VM-01/0718/01.2019

Abb. 28

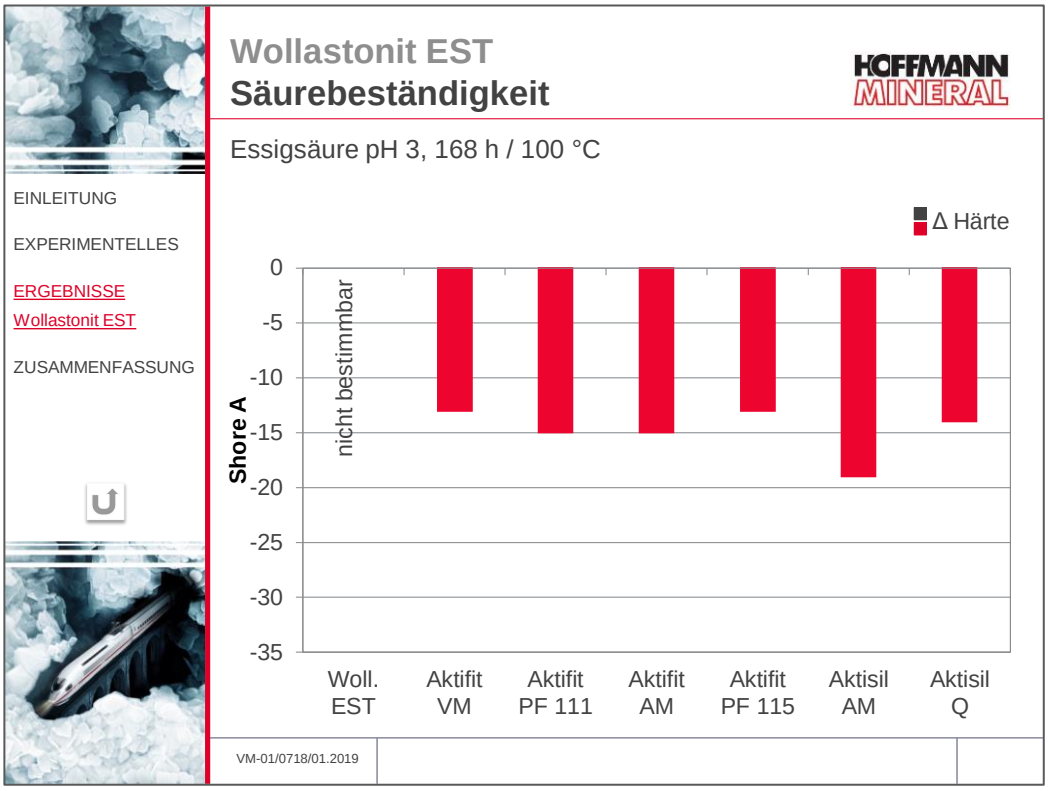

Wollastonit EST
Säurebeständigkeit
HOFFMANN MINERAL
Essigsäure pH 3, 168 h / 100 °C
Δ Härte
EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
Wollastonit EST
ZUSAMMENFASSUNG
Shore A
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
nicht bestimmbar
Woll. EST
Aktifit VM
Aktifit PF 111
Aktifit AM
Aktifit PF 115
Aktisil AM
Aktisil Q
VM-01/0718/01.2019

Abb. 29

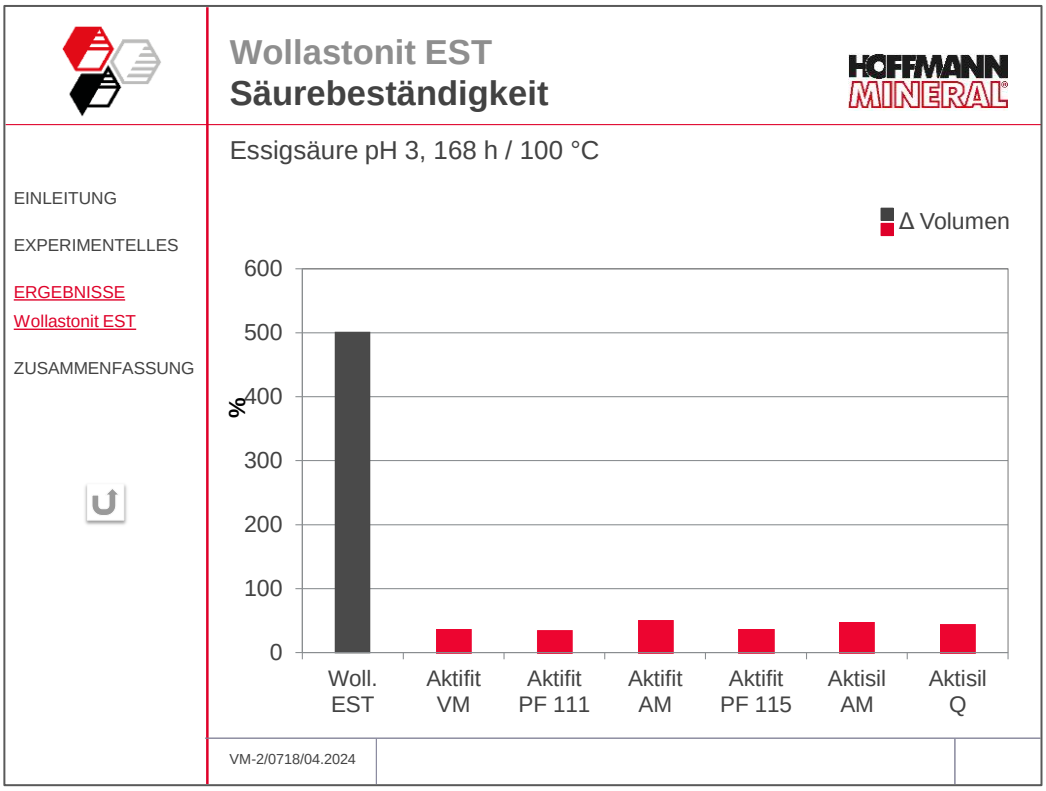

Wollastonit EST
Säurebeständigkeit
HOFFMANN MINERAL
Essigsäure pH 3, 168 h / 100 °C
EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
Wollastonit EST
ZUSAMMENFASSUNG
Δ Volumen
%
600
500
400
300
200
100
0
Woll. EST
Aktifit VM
Aktifit PF 111
Aktifit AM
Aktifit PF 115
Aktisil AM
Aktisil Q
VM-2/0718/04.2024

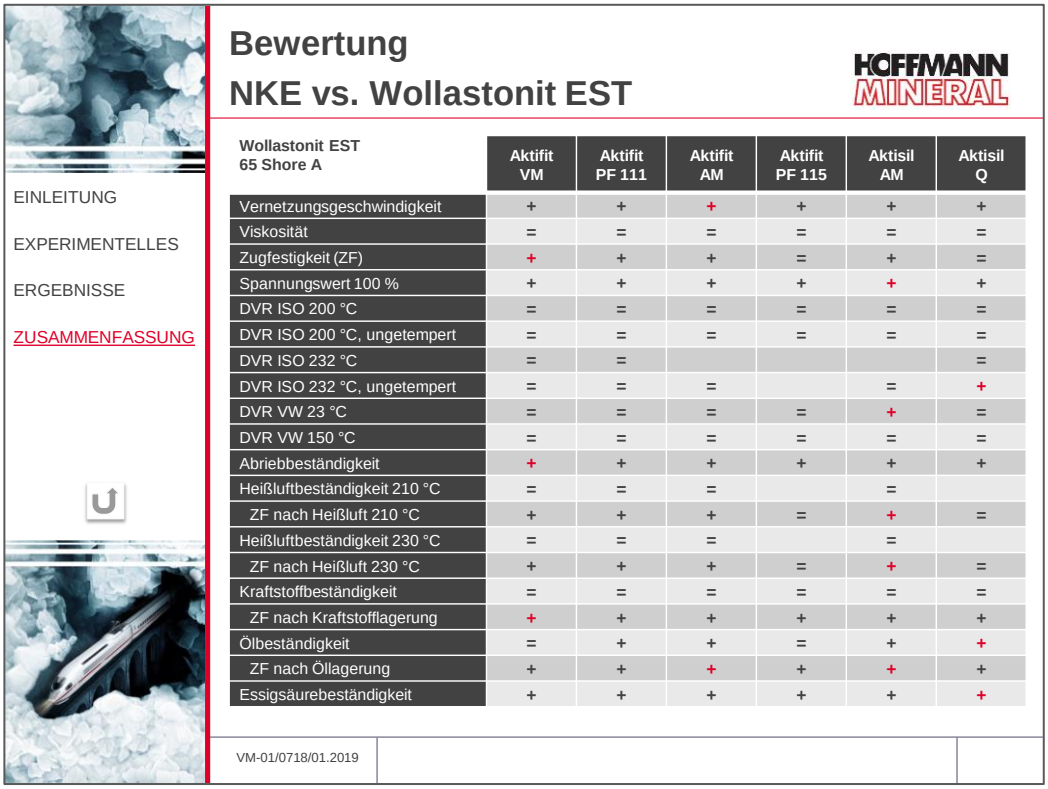
Abb. 30

Wollastonit EST
Säurebeständigkeit
HOFFMANN MINERAL
Essigsäure pH 3, 168 h / 100 °C
EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
Wollastonit EST
ZUSAMMENFASSUNG
vorher
nachher
Δ Gewicht: +227 %
Δ Volumen: +500 %
VM-01/0718/01.2019

Abb. 31

3.2.4 Bewertung der Ergebnisse

Verschiedene Eigenschaften und Eigenschaftskombinationen, oft auch sogar gegenläufige, werden mit den Neuburger Kieselerde Produkten positiv beeinflusst. Dies zeigt sich in der folgenden Bewertungsübersicht.



EINLEITUNG

EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

ZUSAMMENFASSUNG

Bewertung

NKE vs. Wollastonit EST

HOFFMANN MINERAL

Wollastonit EST 65 Shore A	Aktifit VM	Aktifit PF 111	Aktifit AM	Aktifit PF 115	Aktisil AM	Aktisil Q
Vernetzungsgeschwindigkeit	+	+	+	+	+	+
Viskosität	=	=	=	=	=	=
Zugfestigkeit (ZF)	+	+	+	=	+	=
Spannungswert 100 %	+	+	+	+	+	+
DVR ISO 200 °C	=	=	=	=	=	=
DVR ISO 200 °C, ungetempert	=	=	=	=	=	=
DVR ISO 232 °C	=	=				=
DVR ISO 232 °C, ungetempert	=	=	=		=	+
DVR VW 23 °C	=	=	=	=	+	=
DVR VW 150 °C	=	=	=	=	=	=
Abriebbeständigkeit	+	+	+	+	+	+
Heißluftbeständigkeit 210 °C	=	=	=		=	
ZF nach Heißluft 210 °C	+	+	+	=	+	=
Heißluftbeständigkeit 230 °C	=	=	=		=	
ZF nach Heißluft 230 °C	+	+	+	=	+	=
Kraftstoffbeständigkeit	=	=	=	=	=	=
ZF nach Kraftstofflagerung	+	+	+	+	+	+
Ölbeständigkeit	=	+	+	=	+	+
ZF nach Öllagerung	+	+	+	+	+	+
Essigsäurebeständigkeit	+	+	+	+	+	+

VM-01/0718/01.2019

Abb. 32

Abb. 32 zeigt, welche NKE-Type die jeweilige Eigenschaft gegenüber dem aminosilanbehandelten Wollastonit entweder verbessert (+) oder mit ihm gleichzieht (=). Rot markierte + bedeuten, dass dieses Produkt für die entsprechende Eigenschaft den besten Wert unter den NKEs erreicht.

3.3 Neuburger Kieselerde gegen Bariumsulfat

3.3.1 Rheologische Eigenschaften

Der Austausch des Bariumsulfats durch Silfit Z 91 und die amino-funktionelle Neuburger Kieselerde Aktifit AM, Aktifit PF 115 und Aktisil AM führt zu einer schnelleren Vernetzung (Abb. 33). Diese resultieren tendenziell auch in einer etwas reduzierten Viskosität (Abb. 34). Aktisil Q scheint dies noch etwas mehr zu begünstigen.

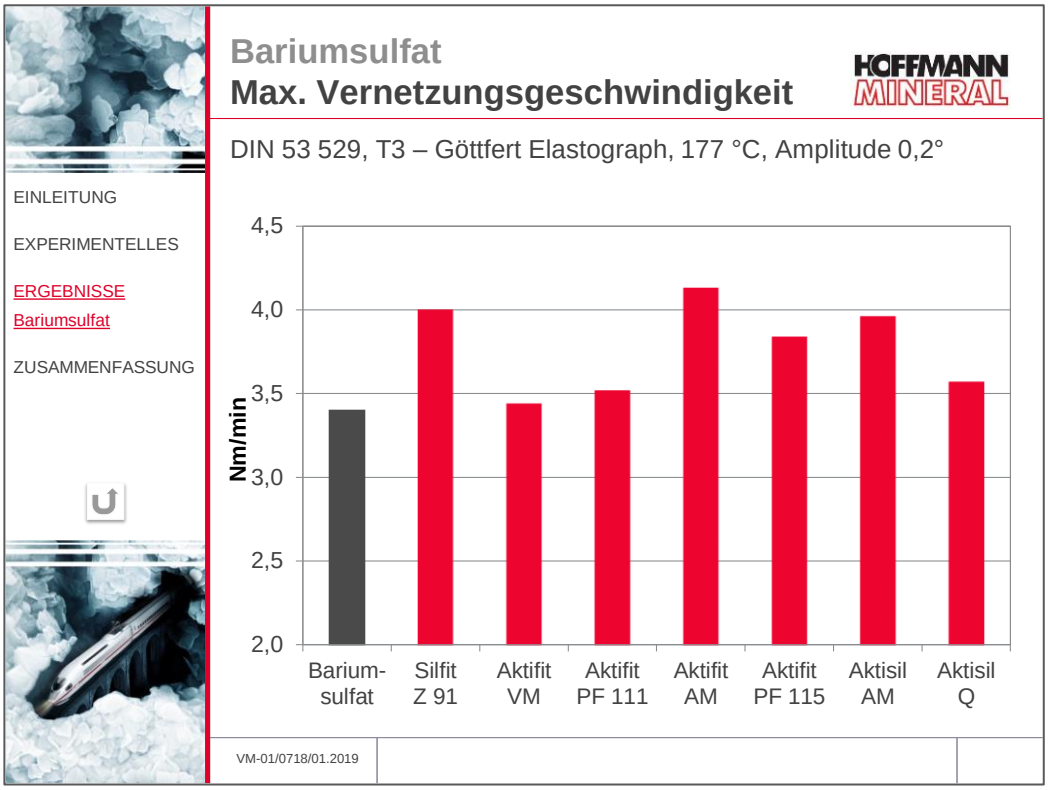


Abb. 33

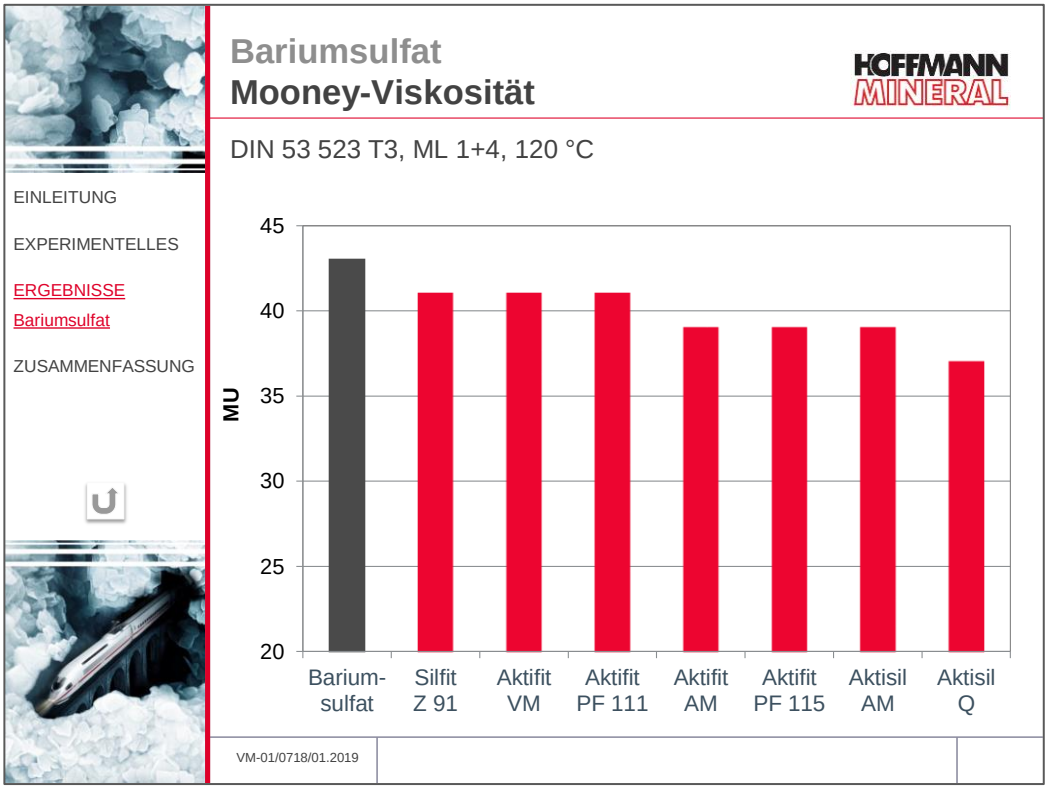


Abb. 34

3.3.2 Mechanische Eigenschaften

Mit allen NKE-Varianten kann die Zugfestigkeit gegenüber Bariumsulfat deutlich erhöht werden (Abb. 35). Bemerkenswert ist, dass bereits Silfit Z 91 – also ein nicht funktioneller Füllstoff – die Zugfestigkeit um ca. 5 MPa anhebt. So ist es mit Silfit Z 91 möglich, die Festigkeit zu verbessern, ohne die Reißdehnung zu senken (Abb. 36). Doch auch die meisten oberflächenbehandelten Neuburger Kieselerden erreichen akzeptable Reißdehnungswerte. Gleichzeitig können die Spannungswerte bei 100 % Dehnung fast verdoppelt werden (Abb. 37).

Des Weiteren führt der Austausch von Bariumsulfat durch Silfit Z 91 oder Aktifit PF 115 zu einem vergleichbaren Weiterreißwiderstand, wie aus Abb. 38 hervorgeht. Was die Zugeigenschaften anbelangt, ist also v.a. Silfit Z 91 eine hervorragende Alternative zu Bariumsulfat.

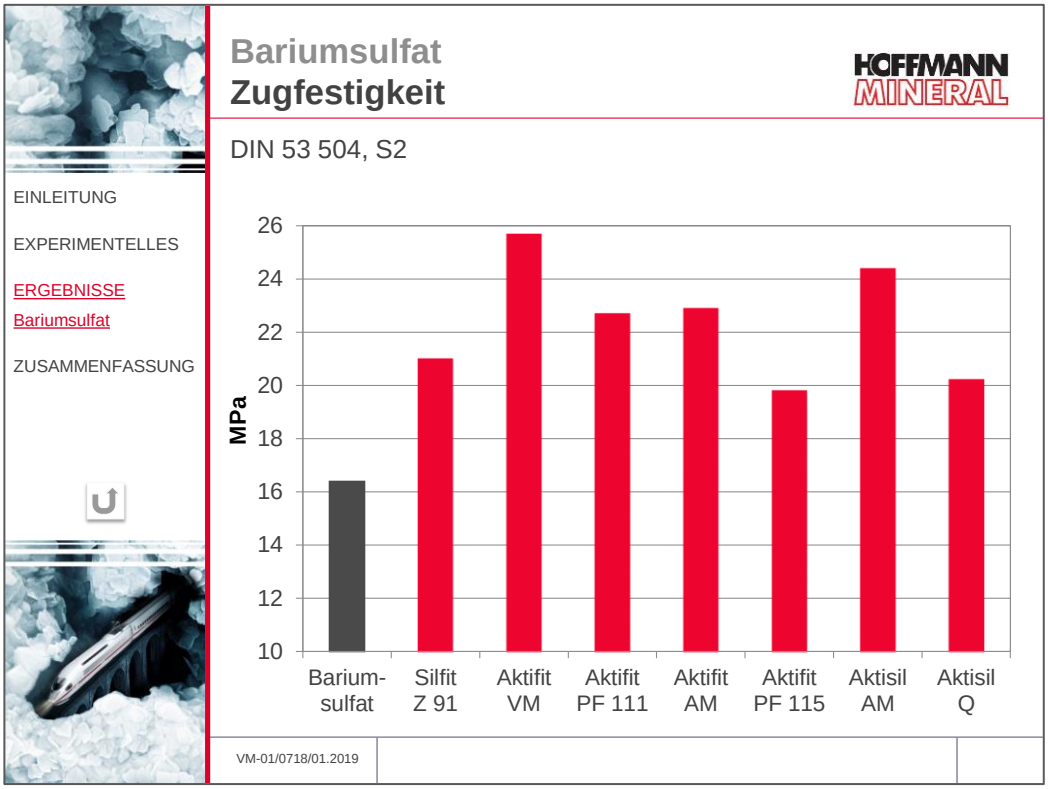


Abb. 35

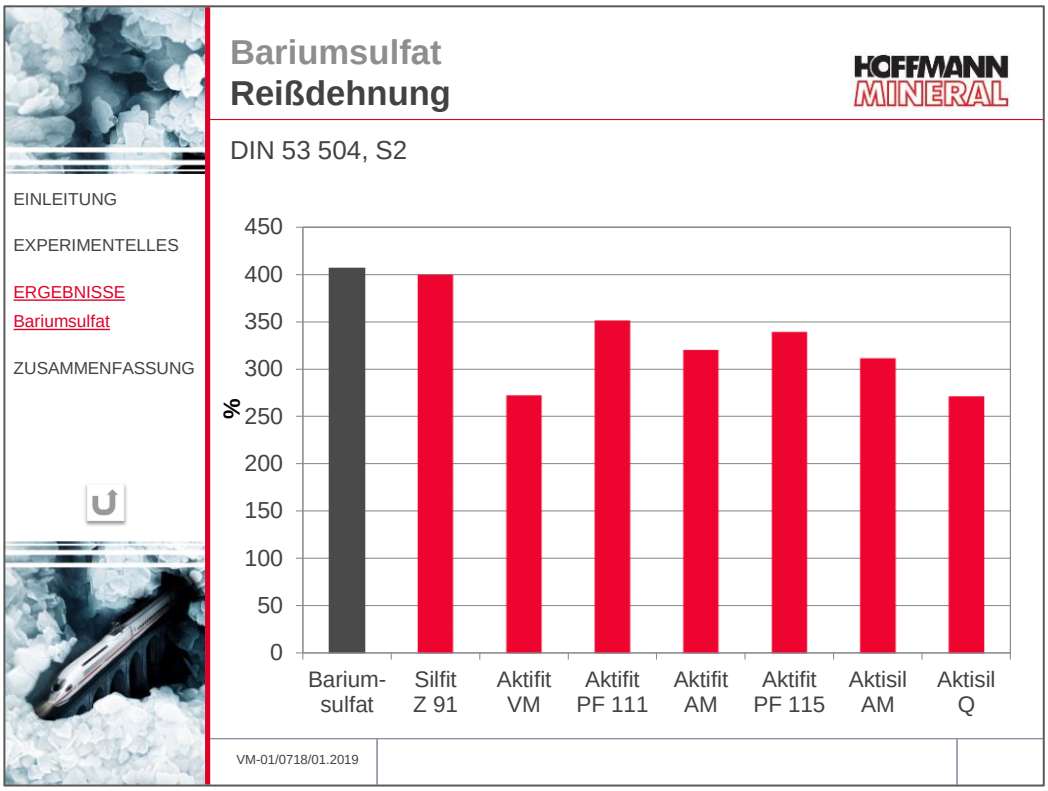

Bariumsulfat
Reißdehnung
HOFFMANN MINERAL
DIN 53 504, S2
EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
Bariumsulfat
ZUSAMMENFASSUNG
%
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
Barium-sulfat
Silfit Z 91
Aktifit VM
Aktifit PF 111
Aktifit AM
Aktifit PF 115
Aktisil AM
Aktisil Q
VM-01/0718/01.2019

Abb. 36

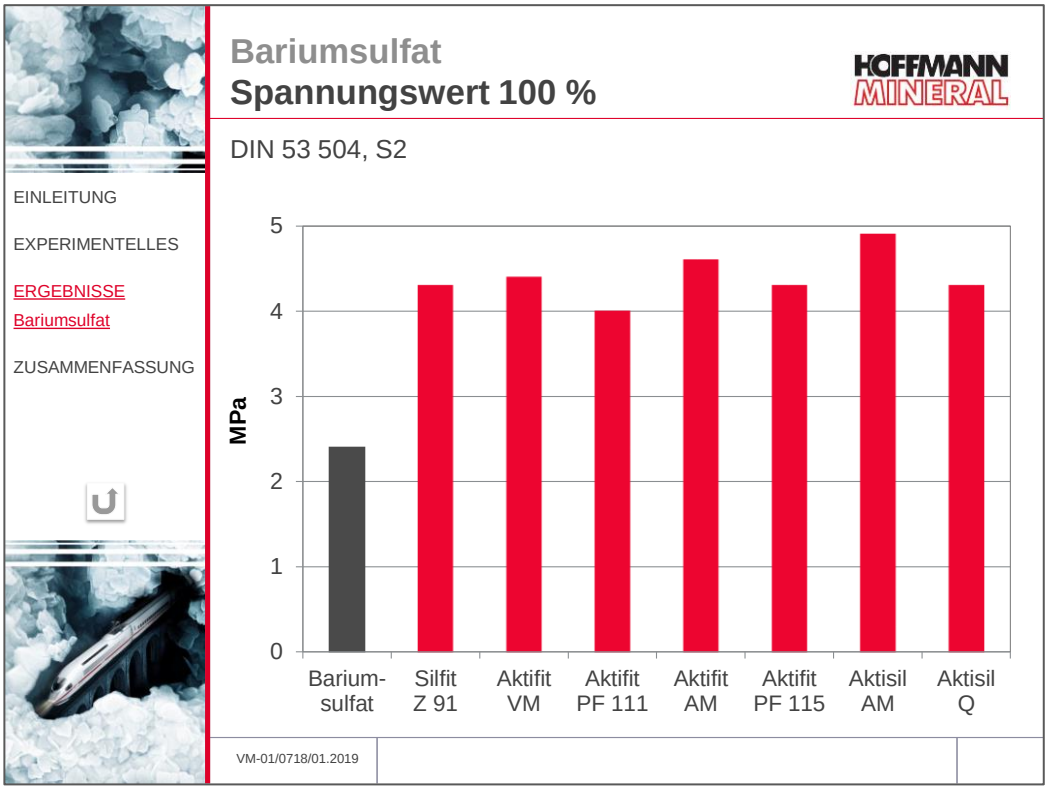

Bariumsulfat
Spannungswert 100 %
HOFFMANN MINERAL
DIN 53 504, S2
EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
Bariumsulfat
ZUSAMMENFASSUNG
MPa
5
4
3
2
1
0
Barium-sulfat
Silfit Z 91
Aktifit VM
Aktifit PF 111
Aktifit AM
Aktifit PF 115
Aktisil AM
Aktisil Q
VM-01/0718/01.2019

Abb. 37

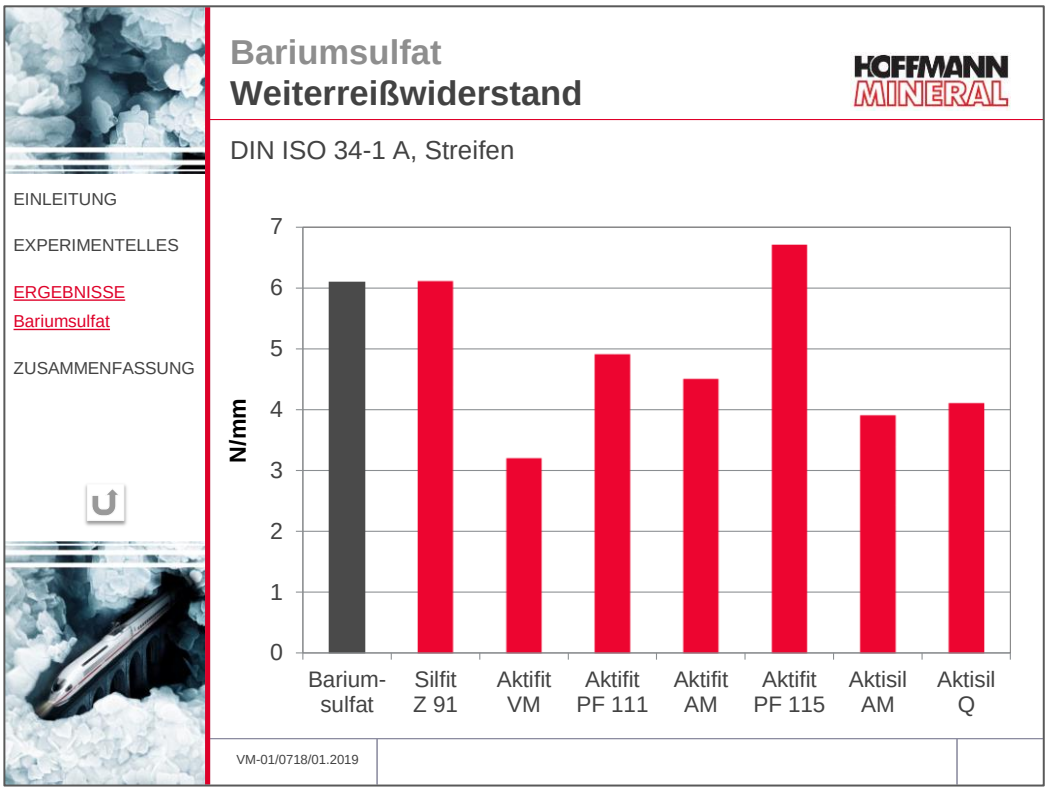


Abb. 38

Tauscht man das Bariumsulfat durch Neuburger Kieselerde aus, so lässt sich eine Reduzierung des Druckverformungsrestes feststellen. In Abb. 39 ist der Druckverformungsrest nach DIN ISO 815-1 B nach 70 Stunden bei 232 °C dargestellt. Es wird deutlich, dass mitAktifit VM, Aktifit PF 111 und v.a. Aktisil Q eine Verbesserung zu realisieren ist. Gerade Aktisil Q hat den Vorteil, dass es schon bei den ungetemperten Probekörpern den Druckverformungsrest deutlich senkt.

Ist der Druckverformungsrest von VW nach PV 3307 von Bedeutung, so empfiehlt sich der Einsatz von Aktisil AM, welches bei Raumtemperatur den besten Wert markiert (Abb. 40).

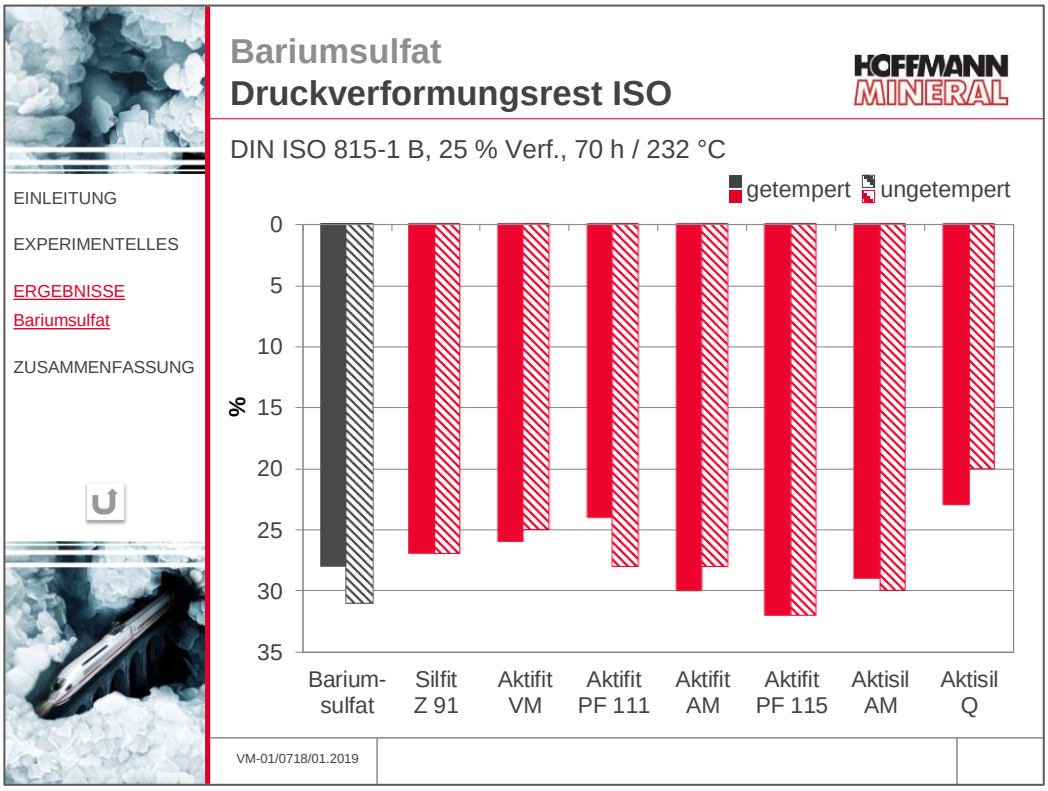


Abb. 39

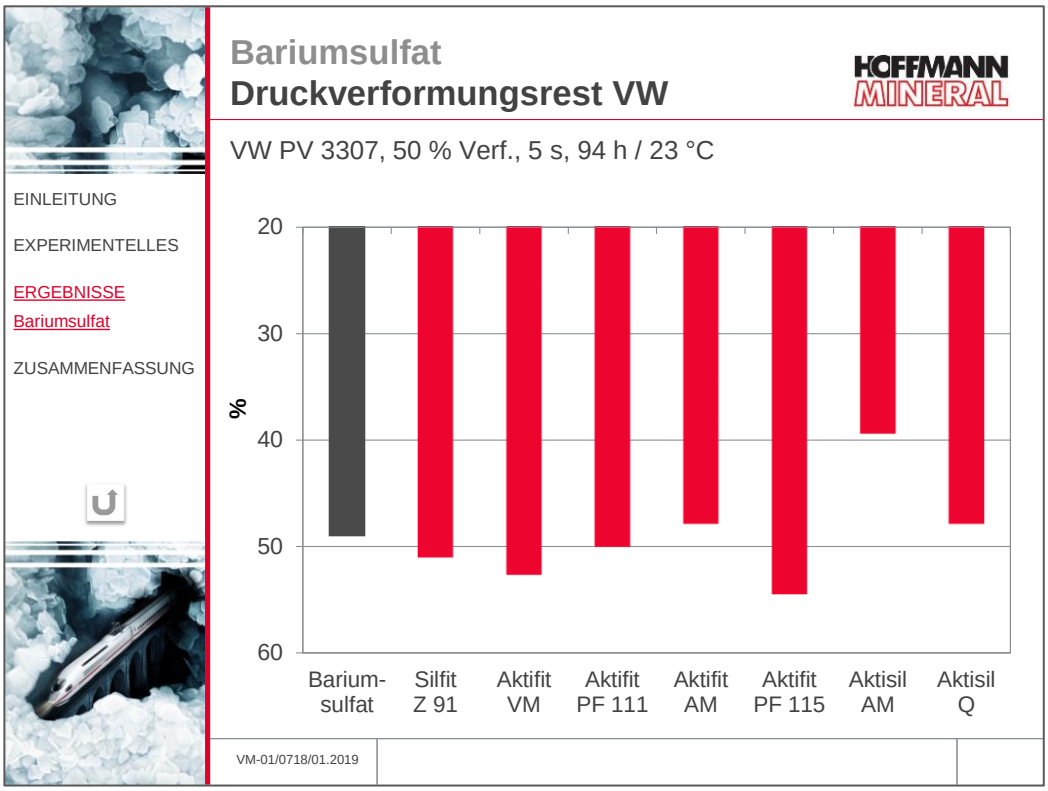


Abb. 40

Für Anwendungen, die eine verbesserte Abriebbeständigkeit benötigen, kann der Austausch des Bariumsulfats durch alle hier dargestellten NKE-Varianten erfolgen (Abb. 41).

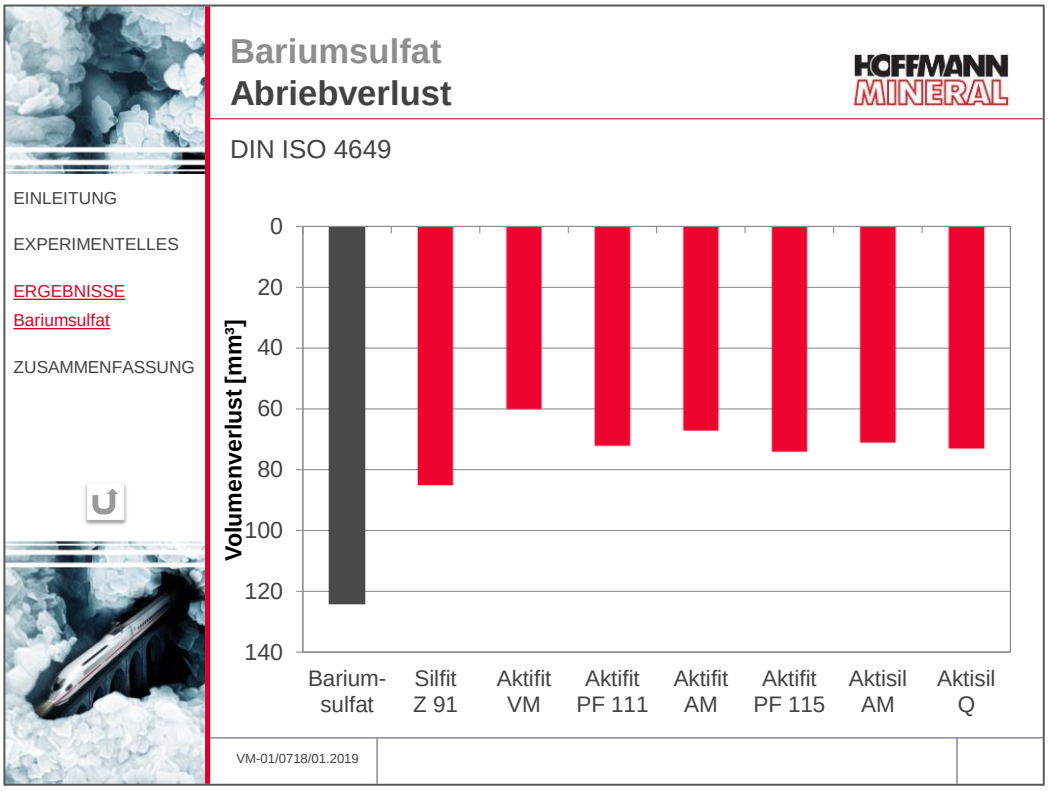


Abb. 41

3.3.3 Medienbeständigkeit

3.3.3.1 Heißluftbeständigkeit

Wie die Änderungen von Zugfestigkeit und Reißdehnung nach der Lagerung in Heißluft zeigen, kann mit NKE gegenüber Bariumsulfat die Beständigkeit gegen Heißluft vergleichbar gehalten, in den meisten Fällen aber sogar verbessert werden (Abb. 42 und Abb. 43). Bei einer kurzzeitigen Lagerungstemperatur von 230 °C ist Aktifit VM besonders beständig. Beträgt die Temperatur 210 °C über längere Zeit, so sind Aktifit PF 111, Aktifit AM oder Aktisil AM zu empfehlen.

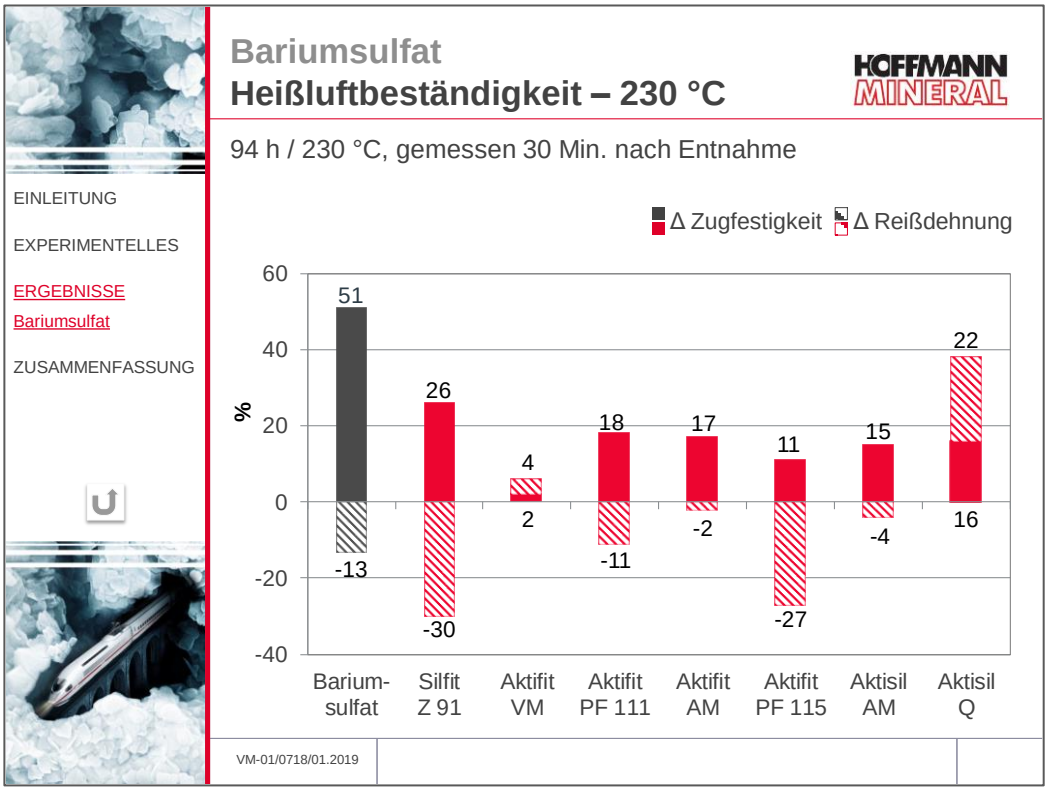


Abb. 42

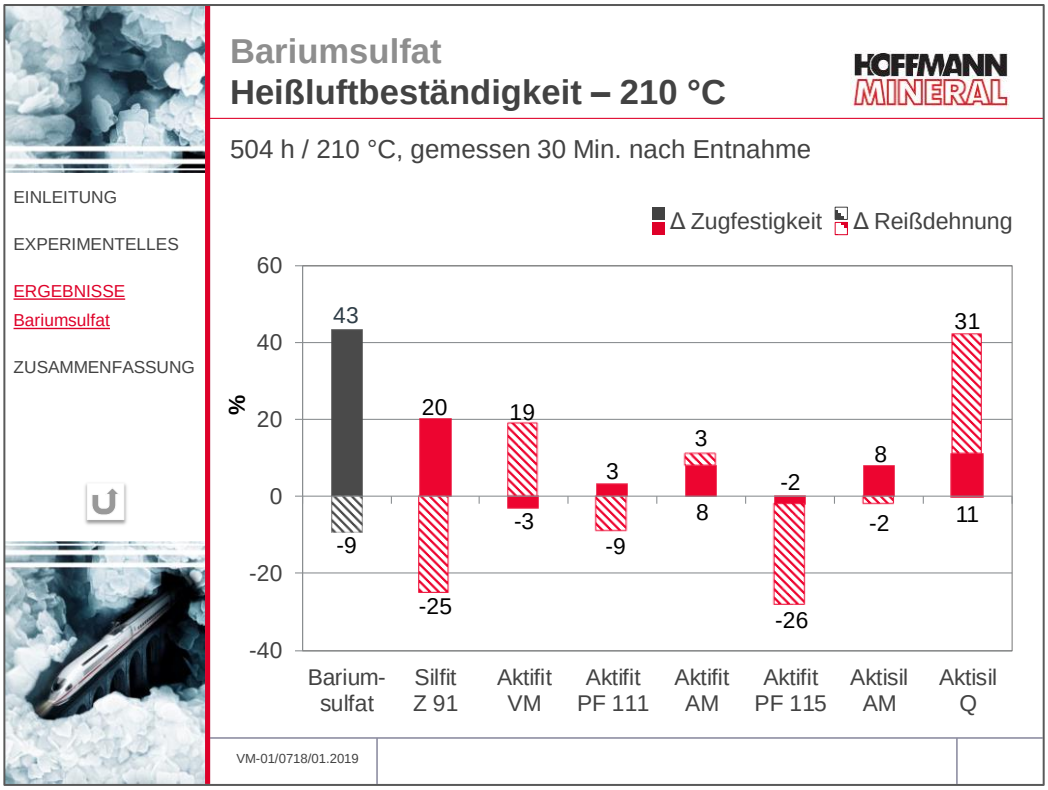


Abb. 43

3.3.3.2 Kraftstoffbeständigkeit

Nach der Lagerung in Kraftstoff nimmt die Härte des mit Bariumsulfat gefüllten Vulkanisats stärker ab als die der Vulkanisate, die mit Neuburger Kieselerde hergestellt sind (Abb. 44). Zugfestigkeit und Reißdehnung ändern in sich in vergleichbarem Rahmen. Somit bleibt die höhere Festigkeit mit den NKE-Typen erhalten, wenn die Vulkanisate Kraftstoff ausgesetzt waren (Abb. 45).

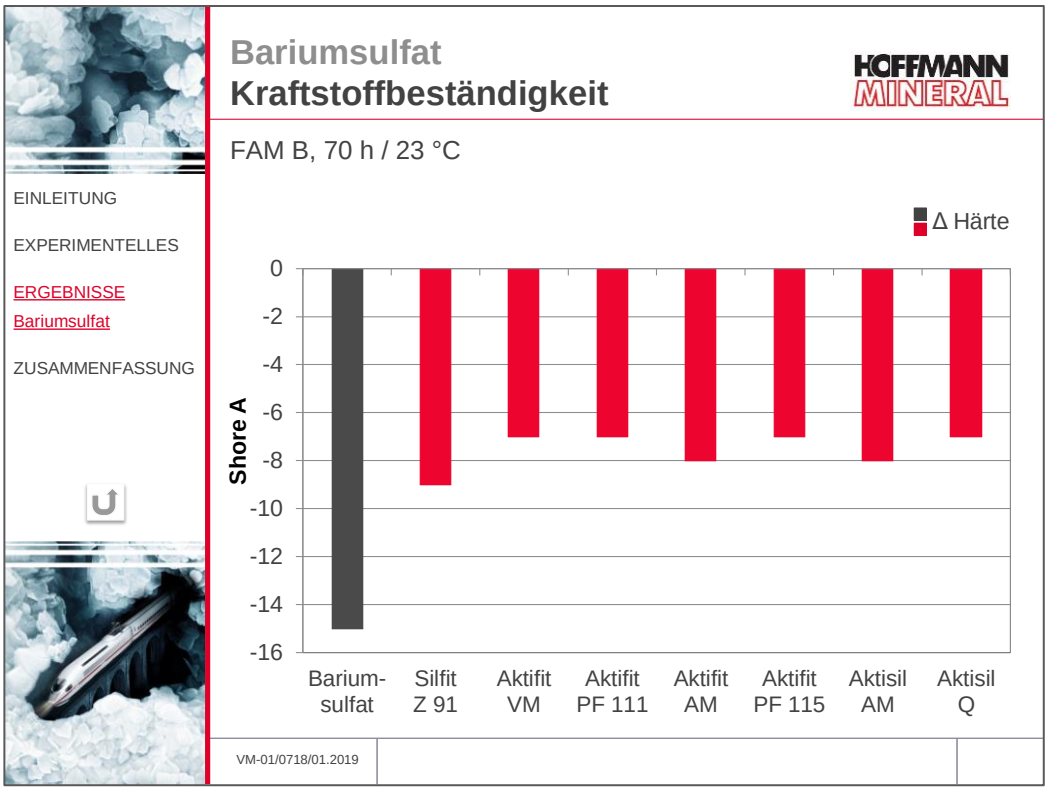


Abb. 44

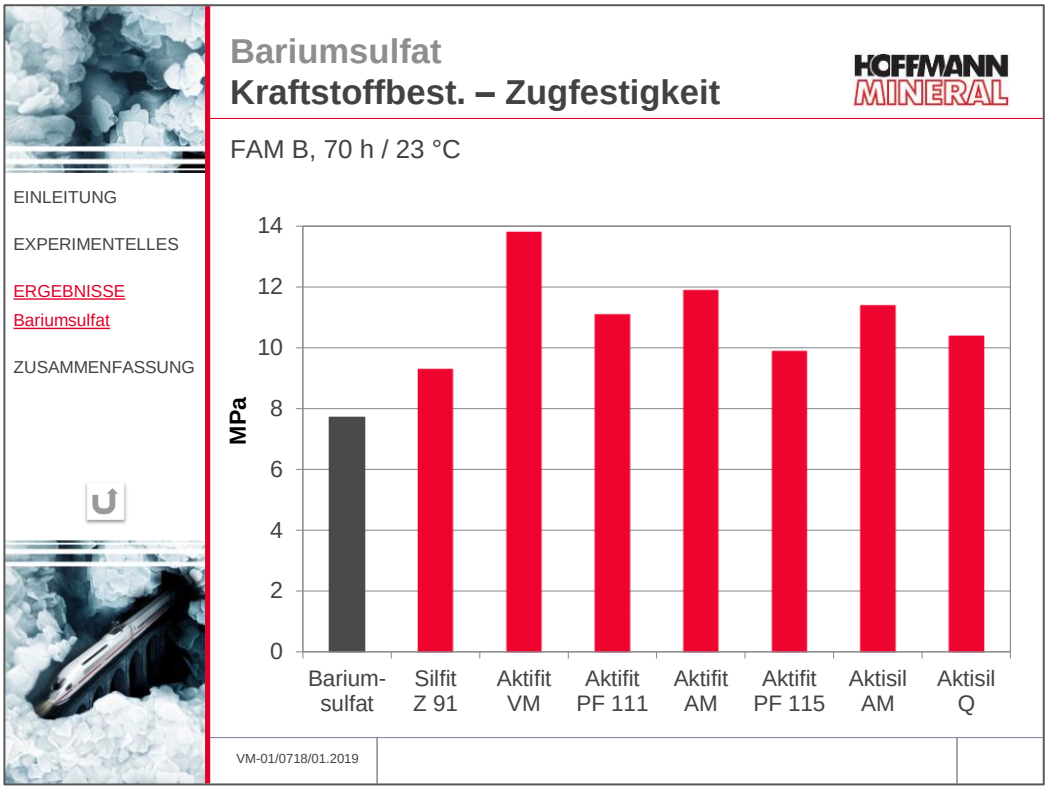


Abb. 45

3.3.3.3 Ölbeständigkeit

Der Austausch von Bariumsulfat durch Neuburger Kieselerde resultiert in den meisten Fällen in Vulkanisaten mit reduzierten Änderungen von Zugfestigkeit und Reißdehnung (Abb. **46**) und in allen Fällen zu einem geringerem Abfall der Härte (Abb. 48). Damit bleiben die Werte der Härte und Zugfestigkeit (Abb. 47) praktisch unbeeinflusst. Mit den hier dargestellten NKE-Varianten lässt sich also die Ölbeständigkeit gegenüber Bariumsulfat klar verbessern.

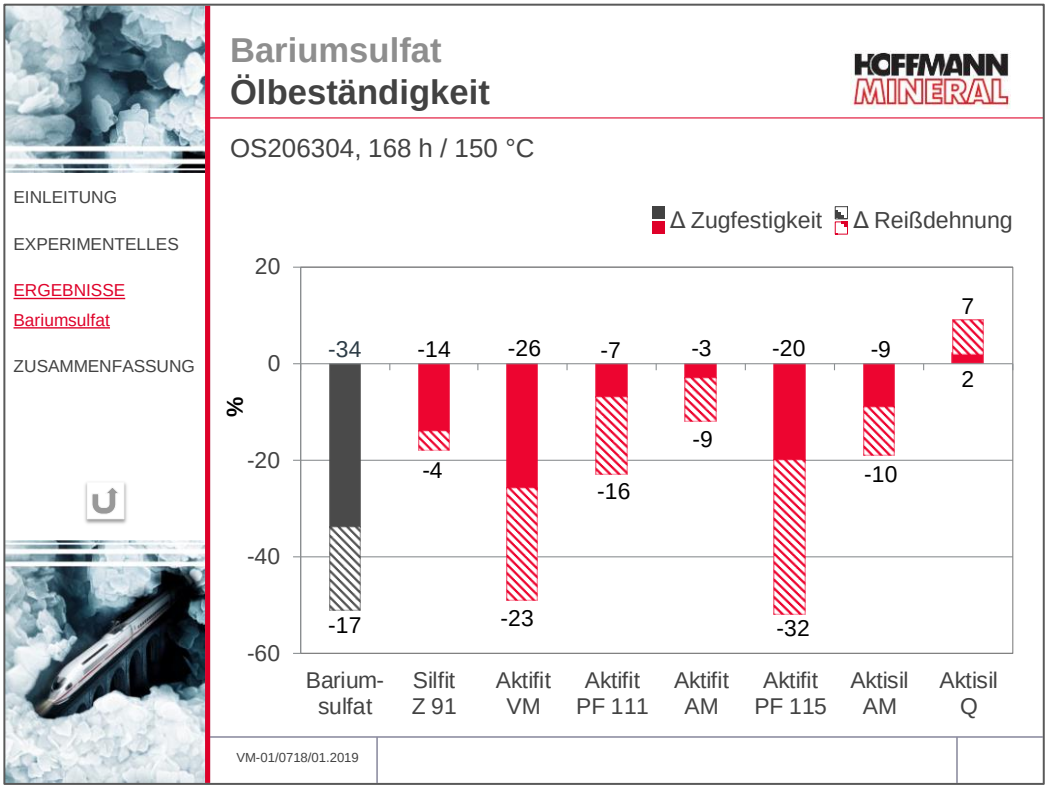


Abb. 46

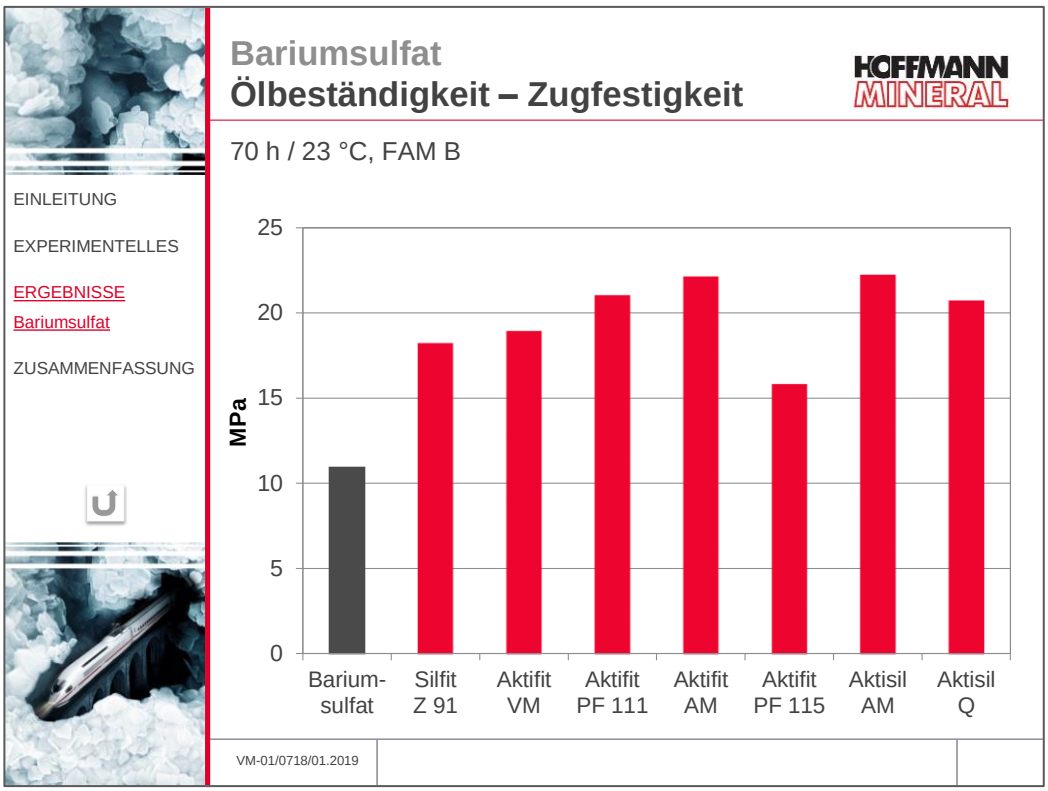


Abb. 47

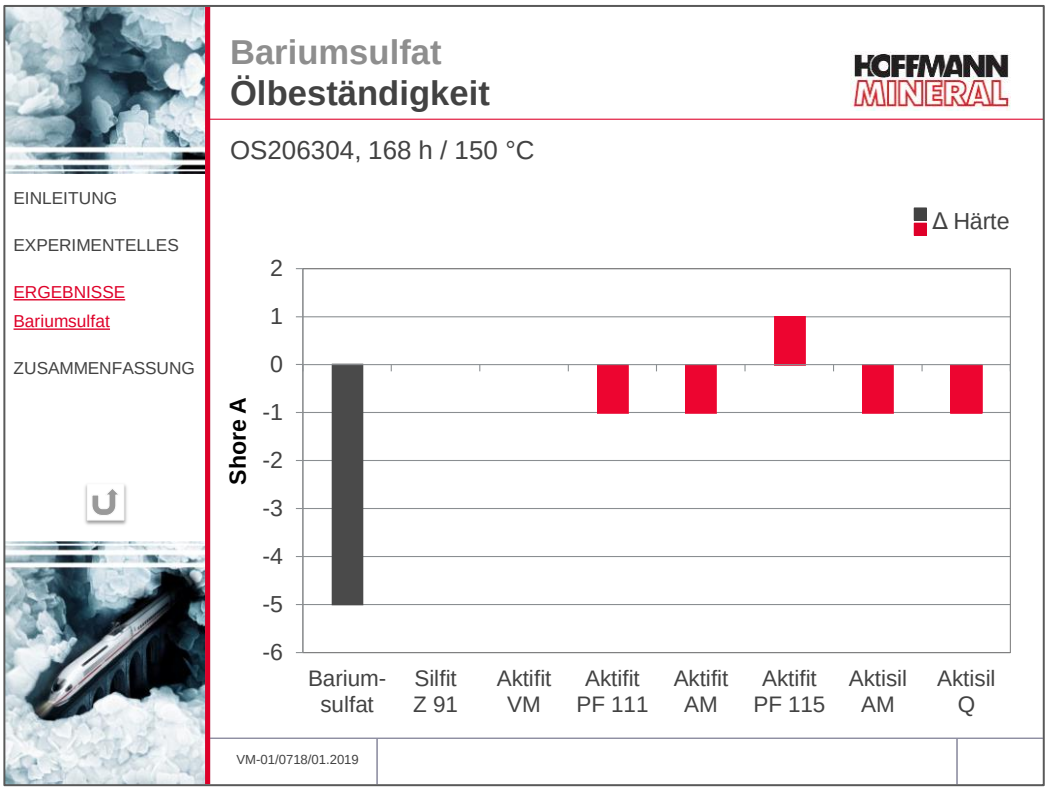


Abb. 48

3.3.3.4 Säurebeständigkeit

Gegenüber Wollastonit kann Bariumsulfat die Säurebeständigkeit bereits deutlich verbessern. Mit Neuburger Kieselerde lässt sich das relativ gute Ergebnis des Bariumsulfats allerdings noch weiter steigern. V.a. die funktionellen NKE-Varianten ergeben praktisch keine Änderung der Reißdehnung (Abb. 49). Allgemein ist mit Neuburger Kieselerde ein geringerer Verlust des Härteniveaus zu verzeichnen (Abb. 50) und auch das Volumen der Probekörper nimmt deutlich weniger zu als mit Bariumsulfat, wobei bereits das nicht oberflächenbehandelte Silfit Z 91 eine deutliche Verbesserung erzielt (Abb. 51 und Abb. 52).

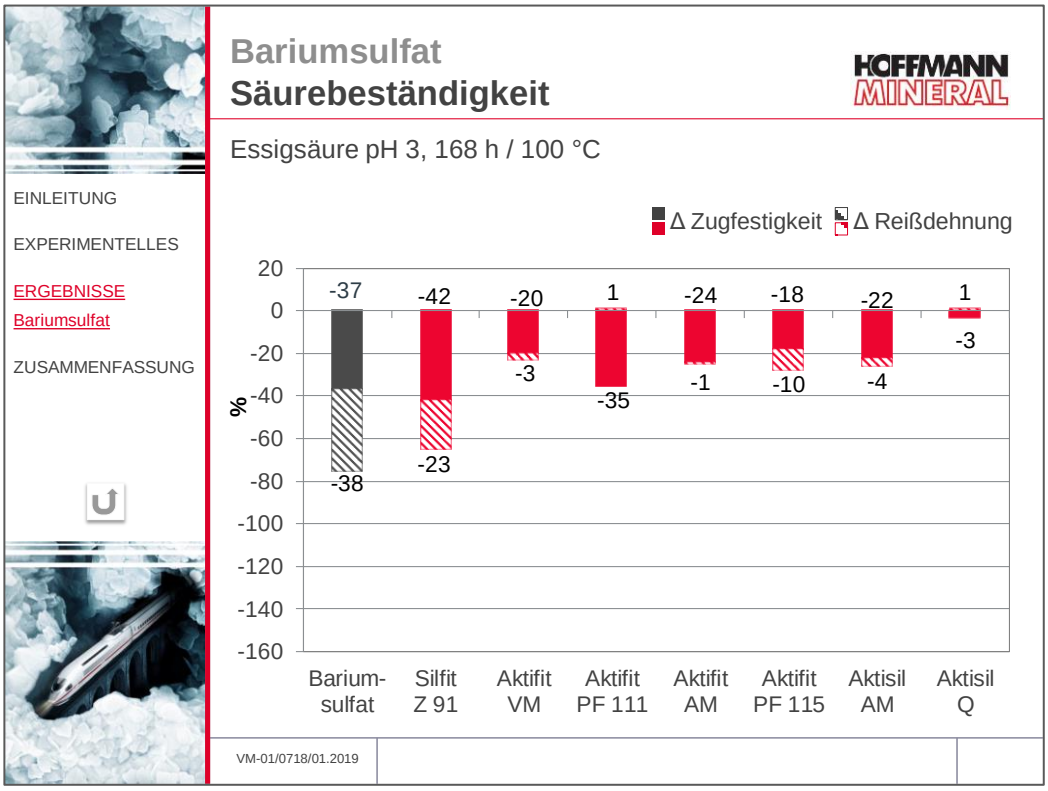


Abb. 49

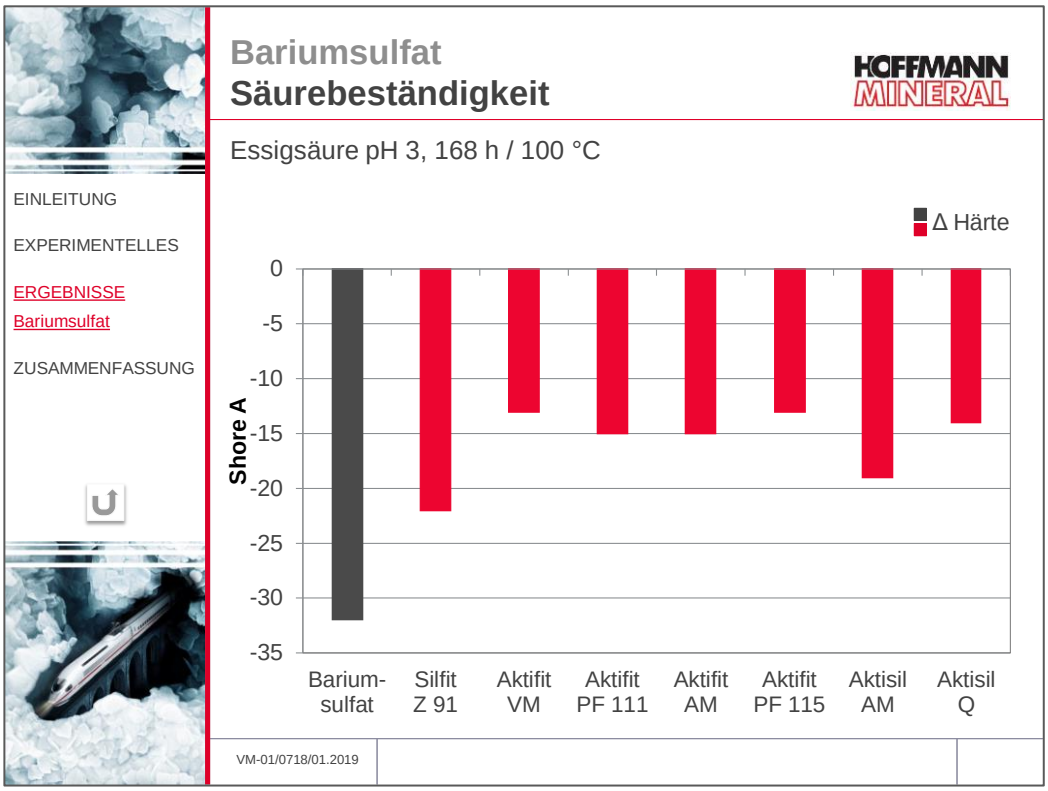

Bariumsulfat
Säurebeständigkeit
HOFFMANN MINERAL
Essigsäure pH 3, 168 h / 100 °C
Δ Härte
Shore A
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
Barium-sulfat
Silfit Z 91
Aktifit VM
Aktifit PF 111
Aktifit AM
Aktifit PF 115
Aktisil AM
Aktisil Q
EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
Bariumsulfat
ZUSAMMENFASSUNG
VM-01/0718/01.2019

Abb. 50

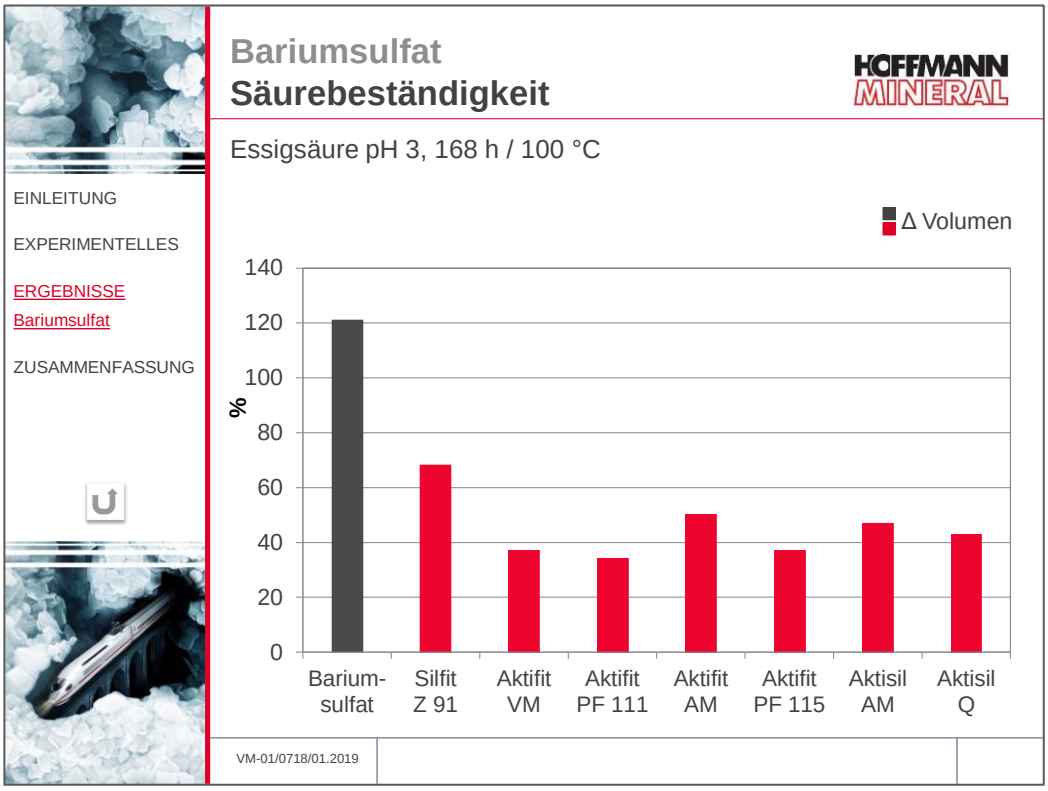
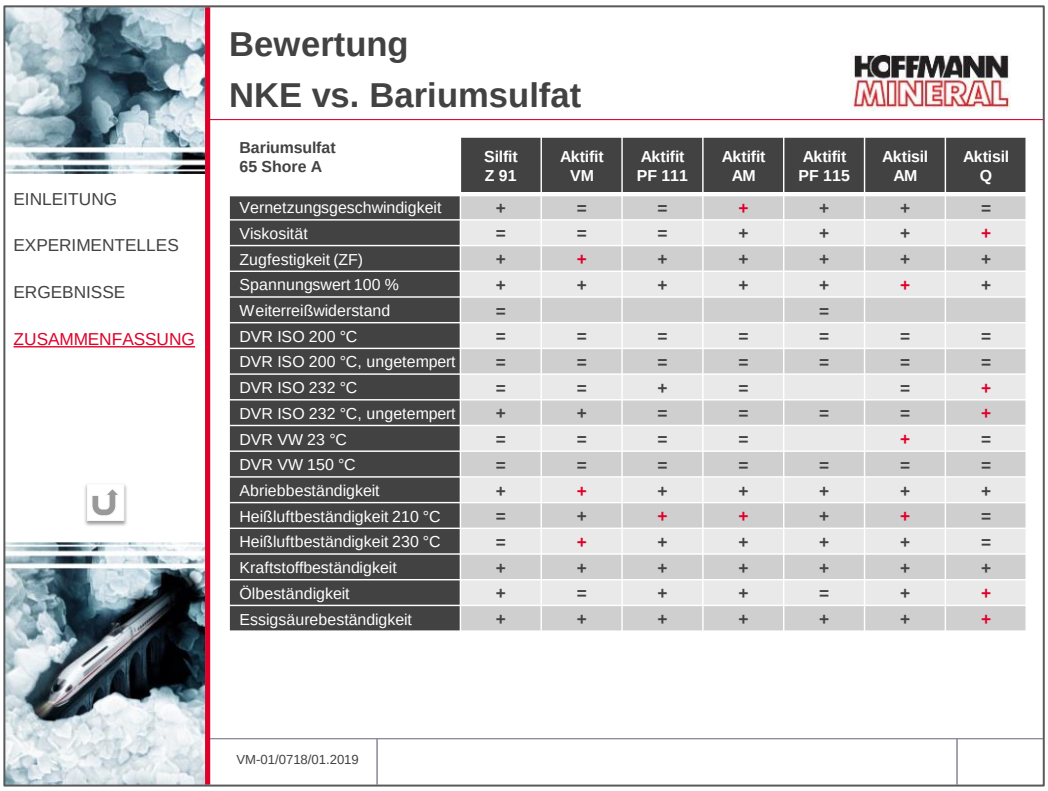

Bariumsulfat
Säurebeständigkeit
HOFFMANN MINERAL
Essigsäure pH 3, 168 h / 100 °C
Δ Volumen
%
140
120
100
80
60
40
20
0
Barium-sulfat
Silfit Z 91
Aktifit VM
Aktifit PF 111
Aktifit AM
Aktifit PF 115
Aktisil AM
Aktisil Q
EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
Bariumsulfat
ZUSAMMENFASSUNG
VM-01/0718/01.2019

Abb. 51

Abb. 52

3.3.4 Bewertung der Ergebnisse

Verschiedene Eigenschaften und Eigenschaftskombinationen, oft auch sogar gegenläufige, werden mit den Neuburger Kieselerde Produkten positiv beeinflusst. Dies zeigt sich in der folgenden Bewertungsübersicht.



Bariumsulfat 65 Shore A	Silfit Z 91	Aktifit VM	Aktifit PF 111	Aktifit AM	Aktifit PF 115	Aktisil AM	Aktisil Q
Vernetzungsgeschwindigkeit	+	=	=	+	+	+	=
Viskosität	=	=	=	+	+	+	+
Zugfestigkeit (ZF)	+	+	+	+	+	+	+
Spannungswert 100 %	+	+	+	+	+	+	+
Weiterreißwiderstand	=				=		
DVR ISO 200 °C	=	=	=	=	=	=	=
DVR ISO 200 °C, ungetempert	=	=	=	=	=	=	=
DVR ISO 232 °C	=	=	+	=		=	+
DVR ISO 232 °C, ungetempert	+	+	=	=	=	=	+
DVR VW 23 °C	=	=	=	=		+	=
DVR VW 150 °C	=	=	=	=	=	=	=
Abriebbeständigkeit	+	+	+	+	+	+	+
Heißluftbeständigkeit 210 °C	=	+	+	+	+	+	=
Heißluftbeständigkeit 230 °C	=	+	+	+	+	+	=
Kraftstoffbeständigkeit	+	+	+	+	+	+	+
Ölbeständigkeit	+	=	+	+	=	+	+
Essigsäurebeständigkeit	+	+	+	+	+	+	+

Abb. 53

Abb. 53 zeigt, welche NKE-Type die jeweilige Eigenschaft gegenüber dem Bariumsulfat entweder verbessert (+) oder mit ihm gleichzieht (=). Rot markierte + bedeuten, dass dieses Produkt für die entsprechende Eigenschaft den besten Wert unter den NKEs erreicht.

4 Zusammenfassung

Mehrere NKE-Typen erhöhen gegenüber Wollastonit oder Bariumsulfat die Vernetzungsgeschwindigkeit. Damit ließen sich z.B. durch Heizzeitverkürzung Produktionskosten einsparen.

Die durch den Austausch von Bariumsulfat etwas niedrigere Viskosität könnte ein Hinweis auf verbesserte Fließeigenschaften im Spritzguss sein (was aber durch Prüfungen bei entsprechenden Scherraten bestätigt werden müsste).

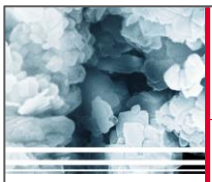
Generell liefern die hier dargestellten Neuburger Kieselerden höhere Zugfestigkeitswerte als Wollastonit oder Bariumsulfat und verbessern die Abriebbeständigkeit.

Auch die Beständigkeit gegen Heißluft, Öl oder Kraftstoff kann erhöht werden, wenn statt Wollastonit oder Bariumsulfat Neuburger Kieselerde eingesetzt wird.

Ein besonderer Vorteil, der sich aus diesem Austausch ergibt, ist die wesentlich verbesserte Widerstandsfähigkeit der mit NKE gefüllten Vulkanisate gegen Essigsäure, mit der die Blow-By-Beständigkeit simuliert werden kann. Das Einsatzfeld von hellen Vulkanisaten ist damit also deutlich erweitert.

Mit Neuburger Kieselerde ist in peroxidvernetztem FKM nun also eine Alternative zu Wollastonit und Bariumsulfat vorhanden, mit der sich verschiedene – verbesserte – Eigenschaftsprofile generieren lassen.

Unsere anwendungstechnische Beratung und die Informationen in diesem Bericht beruhen auf Erfahrung und erfolgen nach bestem Wissen und Gewissen, gelten jedoch nur als unverbindlicher Hinweis ohne jede Garantie. Außerhalb unseres Einflusses liegende Arbeits- und Einsatzbedingungen schließen einen Anspruch aus der Anwendung unserer Daten und Empfehlungen aus. Außerdem können wir keinerlei Verantwortung für Patentverletzungen übernehmen, die möglicherweise aus der Anwendung unserer Angaben resultieren.



EINLEITUNG

EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

ZUSAMMENFASSUNG

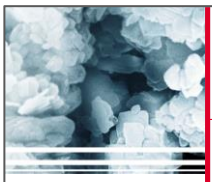
ANHANG

Ergebnistabelle

HOFFMANN MINERAL

Dosierung 30 phr		Silfit Z 91	Aktifit VM	Aktifit PF 111	Aktifit AM	Aktifit PF 115	Aktisil AM	Aktisil Q
Rheologie								
Mooney Viskosität, ML Min., 120 °C	MU	41	41	41	39	39	39	37
Rotorloses Vulkameter M_{min} 177 °C	Nm	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04
Rotorloses Vulkameter V_{max} 177 °C	Nm/min.	4,0	3,4	3,5	4,1	3,8	4,0	3,6
Rotorloses Vulkameter t_{90} 177 °C	min.	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8
Mechanische Eigenschaften – Vulkanisationsbedingungen 7 min. / 177 °C, ungetempert								
Härte	Sh. A	65	64	65	65	65	64	63
Zugfestigkeit	MPa	15	22	16	18	17	19	16
Spannungswert 50 %	MPa	1,74	1,70	1,68	1,68	1,72	1,83	1,60
Spannungswert 100 %	MPa	3,2	3,9	3,5	3,7	3,6	4,2	3,6
Reißdehnung	%	405	278	336	364	395	312	257
Weiterreißwiderstand	N/mm	6,2	3,1	5,4	4,7	6,0	4,5	4,0
DVR ISO, 70 h / 200 °C, 25 % Def.	%	19	20	21	20	21	21	18
DVR ISO 70 h / 232 °C, 25 % Def.	%	27	25	28	28	32	30	20

VM-01/0718/01.2019



EINLEITUNG

EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

ZUSAMMENFASSUNG

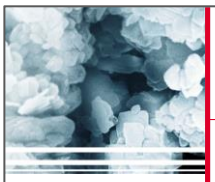
ANHANG

Ergebnistabelle

HOFFMANN MINERAL

Dosierung 30 phr		Silfit Z 91	Aktifit VM	Aktifit PF 111	Aktifit AM	Aktifit PF 115	Aktisil AM	Aktisil Q
Mechanische Eigenschaften – Vulkanisationsbedingungen 7 min. / 177 °C, Tempern 2 h / 232 °C								
Härte	Sh. A	66	65	66	66	65	66	65
Zugfestigkeit	MPa	21	26	23	23	20	24	20
Spannungswert 50 %	MPa	1,91	1,75	1,76	1,83	1,84	1,92	1,72
Spannungswert 100 %	MPa	4,3	4,4	4,0	4,6	4,3	4,9	4,3
Reißdehnung	%	399	272	351	320	339	311	271
Weiterreißwiderstand	N/mm	6,1	3,2	4,9	4,5	6,7	3,9	4,1
DVR ISO, 70 h / 200 °C, 25 % Def.	%	21	21	19	20	20	21	20
DVR ISO 70 h / 232 °C, 25 % Def.	%	27	26	24	30	32	29	23
DVR VW PV3307 94 h / 23 °C, 50 % Def.	%	51	53	50	48	54	39	48
DVR VW PV3307 94 h / 150 °C, 50 % Def.	%	37	37	36	38	39	34	38
Abriebverlust	mm³	85	60	72	67	74	71	73

VM-01/0718/01.2019



EINLEITUNG

EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

ZUSAMMENFASSUNG

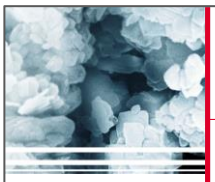
ANHANG

Ergebnistabelle

HOFFMANN MINERAL

Dosierung 30 phr		Silfit Z 91	Aktifit VM	Aktifit PF 111	Aktifit AM	Aktifit PF 115	Aktisil AM	Aktisil Q
Heißluftalterung, 504 h / 210 °C, gemessen 30 Min. nach Entnahme								
Härte	Sh. A	69	68	68	68	69	69	67
Zugfestigkeit	MPa	25	25	23	25	19	26	22
Reißdehnung	%	301	323	320	330	252	304	356
Δ Härte	Sh. A	+3	+3	+2	+2	+4	+3	+2
Δ Zugfestigkeit	%	+20	-3	+3	+8	-2	+8	+11
Δ Reißdehnung	rel.%	-25	+19	-9	+3	-26	-2	+31
Heißluftalterung, 94 h / 230 °C, gemessen 30 Min. nach Entnahme								
Härte	Sh. A	67	67	68	67	68	68	65
Zugfestigkeit	MPa	26	26	27	27	22	28	23
Reißdehnung	%	280	283	313	314	247	299	331
Δ Härte	Sh. A	+1	+2	+2	+1	+3	+2	0
Δ Zugfestigkeit	%	+26	+2	+18	+17	+11	+15	+16
Δ Reißdehnung	rel.%	-30	+4	-11	-2	-27	-4	+22

VM-01/0718/01.2019



EINLEITUNG

EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

ZUSAMMENFASSUNG

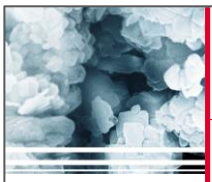
ANHANG

Ergebnistabelle

HOFFMANN MINERAL

Dosierung 30 phr		Silfit Z 91	Aktifit VM	Aktifit PF 111	Aktifit AM	Aktifit PF 115	Aktisil AM	Aktisil Q
Lagerung in FAM B, 70 h / 23 °C								
Härte	Sh. A	57	58	59	58	58	58	58
Zugfestigkeit	MPa	9,3	14	11	12	9,9	11	10
Reißdehnung	%	335	220	255	246	268	238	206
Δ Härte	Sh. A	-9	-7	-7	-8	-7	-8	-7
Δ Zugfestigkeit	%	-56	-46	-51	-48	-50	-53	-49
Δ Reißdehnung	rel.%	-16	-19	-27	-23	-21	-24	-24
Δ Gewicht	%	+7,9	+7,3	+7,8	+8,0	+8,0	+6,8	+8,0
Δ Volumen	%	+19	+18	+19	+19	+19	+17	+19
Lagerung in Motoröl OS206304, 168 h / 150 °C								
Härte	Sh. A	66	65	65	65	66	65	64
Zugfestigkeit	MPa	18	19	21	22	16	22	21
Reißdehnung	%	383	210	295	291	231	281	291
Δ Härte	Sh. A	0	0	-1	-1	+1	-1	-1
Δ Zugfestigkeit	%	-14	-26	-7	-3	-20	-9	+2
Δ Reißdehnung	rel.%	-4	-23	-16	-9	-32	-10	+7
Δ Gewicht	%	+0,6	+0,8	+0,7	+0,6	+0,6	+0,7	+0,6
Δ Volumen	%	+1,0	+1,4	+1,2	+0,9	+1,4	+1,2	+0,7

VM-01/0718/01.2019



EINLEITUNG

EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

ZUSAMMENFASSUNG

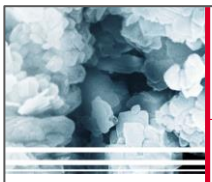
ANHANG

Ergebnistabelle

HOFFMANN MINERAL

Dosierung 30 phr		Silfit Z 91	Aktifit VM	Aktifit PF 111	Aktifit AM	Aktifit PF 115	Aktisil AM	Aktisil Q
Lagerung in Essigsäure pH3, 168 h / 100 °C								
Härte	Sh. A	44	52	51	51	52	47	51
Zugfestigkeit	MPa	12	21	15	18	16	19	20
Reißdehnung	%	306	265	355	316	304	300	274
Δ Härte	Sh. A	-22	-13	-15	-15	-13	-19	-14
Δ Zugfestigkeit	%	-42	-20	-35	-24	-18	-22	-3
Δ Reißdehnung	rel.%	-23	-3	+1	-1	-10	-4	+1
Δ Gewicht	%	+36	+20	+17	+26	+19	+24	+23
Δ Volumen	%	+68	+37	+34	+50	+37	+47	+43

VM-01/0718/01.2019



EINLEITUNG

EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

ZUSAMMENFASSUNG

ANHANG

Ergebnistabelle nur Wettbewerber

HOFFMANN MINERAL

		30 phr Wollastonit AST	30 phr Wollastonit EST	49 phr Barium-sulfat
Rheologie				
Mooney Viskosität, ML Min., 120 °C	MU	39	37	43
Rotorloses Vulkameter M_{min} 177 °C	Nm	0,03	0,03	0,04
Rotorloses Vulkameter V_{max} 177 °C	Nm/min.	3,4	3,1	3,4
Rotorloses Vulkameter t_{90} 177 °C	min.	0,9	0,9	0,9
Mechanische Eigenschaften – Vulkanisationsbedingungen 7 min. / 177 °C, ungetempert				
Härte	Sh. A	61	63	61
Zugfestigkeit	MPa	18	16	15
Spannungswert 50 %	MPa	1,88	1,64	1,44
Spannungswert 100 %	MPa	4,2	3,2	2,1
Reißdehnung	%	397	393	421
Weiterreißwiderstand	N/mm	6,0	5,9	4,7
DVR ISO, 70 h / 200 °C, 25 % Def.	%	24	21	22
DVR ISO 70 h / 232 °C, 25 % Def.	%	35	28	31

VM-01/0718/01.2019

Ergebnistabelle nur Wettbewerber

HOFFMANN MINERAL

EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
ZUSAMMENFASSUNG
ANHANG

		30 phr Wollastonit AST	30 phr Wollastonit EST	49 phr Barium-sulfat
Mechanische Eigenschaften – Vulkanisationsbedingungen 7 min. / 177 °C, Tempern 2 h / 232 °C				
Härte	Sh. A	67	64	67
Zugfestigkeit	MPa	19	20	16
Spannungswert 50 %	MPa	1,71	1,67	1,44
Spannungswert 100 %	MPa	3,9	3,5	2,4
Reißdehnung	%	337	399	407
Weiterreißwiderstand	N/mm	6,2	6,9	6,1
DVR ISO, 70 h / 200 °C, 25 % Def.	%	22	18	22
DVR ISO 70 h / 232 °C, 25 % Def.	%	29	24	28
DVR VW PV3307 94 h / 23 °C, 50 % Def.	%	51	51	49
DVR VW PV3307 94 h / 150 °C, 50 % Def.	%	35	36	36
Abriebverlust	mm³	104	114	124

Ergebnistabelle nur Wettbewerber

HOFFMANN MINERAL

EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
ZUSAMMENFASSUNG
ANHANG

		30 phr Wollastonit AST	30 phr Wollastonit EST	49 phr Barium-sulfat
Heißluftalterung, 504 h / 210 °C, gemessen 30 Min. nach Entnahme				
Härte	Sh. A	64	64	65
Zugfestigkeit	MPa	20	21	24
Reißdehnung	%	331	390	372
Δ Härte	Sh. A	-3	0	-2
Δ Zugfestigkeit	%	+6	+3	+43
Δ Reißdehnung	rel.%	-2	-2	-9
Heißluftalterung, 94 h / 230 °C, gemessen 30 Min. nach Entnahme				
Härte	Sh. A	65	65	65
Zugfestigkeit	MPa	22	22	25
Reißdehnung	%	325	335	353
Δ Härte	Sh. A	-2	+1	-2
Δ Zugfestigkeit	%	+18	+8	+51
Δ Reißdehnung	rel.%	-4	-16	-13

Ergebnistabelle nur Wettbewerber

HOFFMANN MINERAL

EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
ZUSAMMENFASSUNG
ANHANG

		30 phr Wollastonit AST	30 phr Wollastonit EST	49 phr Barium-sulfat
Lagerung in FAM B, 70 h / 23 °C				
Härte	Sh. A	56	55	52
Zugfestigkeit	MPa	8,6	7,0	7,7
Reißdehnung	%	241	261	329
Δ Härte	Sh. A	-11	-9	-15
Δ Zugfestigkeit	%	-53	-66	-53
Δ Reißdehnung	rel.%	-28	-35	-19
Δ Gewicht	%	+7,6	+7,2	+7,4
Δ Volumen	%	+19	+18	+20
Lagerung in Motoröl OS206304, 168 h / 150 °C				
Härte	Sh. A	62	62	62
Zugfestigkeit	MPa	17	13	11
Reißdehnung	%	286	297	340
Δ Härte	Sh. A	-5	-2	-5
Δ Zugfestigkeit	%	-7	-35	-34
Δ Reißdehnung	rel.%	-15	-26	-17
Δ Gewicht	%	+0,6	+0,6	+0,5
Δ Volumen	%	+1,2	+1,1	+1,3

VM-01/0718/01.2019

Ergebnistabelle nur Wettbewerber

HOFFMANN MINERAL

EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
ZUSAMMENFASSUNG
ANHANG

		30 phr Wollastonit AST	30 phr Wollastonit EST	49 phr Barium-sulfat
Lagerung in Essigsäure pH3, 168 h / 100 °C				
Härte	Sh. A	37	nicht bestimmbar	35
Zugfestigkeit	MPa	2,6	2,8	10
Reißdehnung	%	54	84	252
Δ Härte	Sh. A	-30	nicht bestimmbar	-32
Δ Zugfestigkeit	%	-86	-86	-37
Δ Reißdehnung	rel.%	-84	-79	-38
Δ Gewicht	%	+288	+227	+55
Δ Volumen	%	+593	+499	+121

VM-01/0718/01.2019