

# Schwingungsisolierende Lager

## NR - Basis

Verfasser: Karin Müller

## Inhalt

	Zusammenfassung
1	Einleitung
2	Experimentelles
2.1	Mischungsaufbau
2.2	Mischungsherstellung und Vulkanisation
3	Ergebnisse
3.1	Mooney Viskosität und Mooney Scorch
3.2	Vulkanisationsverhalten
3.3	Mechanische Eigenschaften
3.4	Heißluftalterung
3.5	Spezifischer elektrischer Durchgangswiderstand
3.6	Dynamische Eigenschaften
4	Zusammenfassung
5	Schlussfolgerung und Ausblick

## Zusammenfassung

Mit Neuburger Kieselerde werden positiv beeinflusst:

- Mooneyviskosität
- Druckverformungsrest, besonders mit Aktisil PF 216
- Elektrisch isolierende Eigenschaften
- Temperaturabhängigkeit der dynamischen Eigenschaften
- Dynamische Versteifung

Optimierungspotential besteht bei:

- Reversion
- Weiterreißwiderstand

Als kostengünstige Variante bietet sich Sillitin Z 86 an.

Die technisch besten Resultate erzielen Aktisil MM und PF 216.

## 1 **Einleitung**

Elastische Lager stellen eine wichtige Komponente im Maschinen- und Fahrzeugbau zur Schwingungsisolierung dar. Als Polymer hierfür wird vielfach Naturkautschuk aufgrund seiner hervorragenden mechanischen und dynamischen Eigenschaften verwendet. Die Einsatztemperatur beschränkt sich meist auf unter 70 °C, in Ausnahmefällen bis 100 °C, da Naturkautschuk bei höheren Temperaturen über längere Zeit nicht stabil genug ist.

Als typischer Füllstoff wird Ruß eingesetzt, mineralische Füllstoffe finden bisher in diesem Bereich üblicherweise kaum Verwendung.

Es sollte geprüft werden, ob sich durch die Kombination von Ruß mit Neuburger Kieselerde die Werkstoffeigenschaften positiv beeinflussen lassen, auch mit Hinblick auf die dynamischen Eigenschaften sowie elektrischer Isoliereigenschaften.

## 2 Experimentelles

### 2.1 Mischungsaufbau

Als Basisrezeptur diente eine Motorlagerrezeptur, Basis NR, die eine Härte von ca. 50 Shore A aufweist (Tab. 1).

Um eine weitgehende Härtegleichheit zu erreichen wurde der Ruß zur Hälfte im Verhältnis 1 zu 2 durch Neuburger Kieselerde ausgetauscht. So sollten grundsätzliche Effekte der Neuburger Kieselerde bereits deutlich erkennbar werden und die Basiseigenschaften weitgehend erhalten bleiben, so dass die Erkenntnisse dieser Grundsatzuntersuchung für weitere Detailentwicklungsarbeiten genutzt werden können.

	phr	
NR SMR 20	100,0	100,0
Stearinsäure	1,0	1,0
Zinkoxyd aktiv	3,0	3,0
Sunthene 4240	5,0	5,0
Ruß N 774	50,0	25,0
<b>Neuburger Kieselerde</b>	-	<b>50,0</b>
Vulkanox 4010 NA/LG	1,0	1,0
Vulkanox HS/LG	0,5	0,5
Perkacit TMTD	0,5	0,5
Santocure CBS	3,0	3,0
Schwefel	0,3	0,3
<b>Summe</b>	<b>164,3</b>	<b>189,3</b>

VM-03/07.2017 5

**Tabelle 1**

Verwendete Rohstoffe:

NR SMR 20: Standardisiertes natürliches cis-1,4-Polyisopren

Zinkoxyd aktiv: Zinkoxid

Stearinsäure: Verarbeitungshilfsmittel

Ruß N 774: SRF Ruß

Sillitin Z 86: Neuburger Kieselerde

Aktisil MM: Neuburger Kieselerde, oberflächenbehandelt

Aktisil PF 216: Neuburger Kieselerde, oberflächenbehandelt

Sunthene 4240: Naphthenischer Weichmacher

Vulkanox 4010 NA/LG: N-Isopropyl-N'-phenyl-p-phenyldiamin (IPPD)

Vulkanox HS/LG: 2,2,4-Trimethyl-1,2-dihydrochinolin (TMQ)

Perkacit TMTD: Tetramethylthiuramdisulfid

Santocure CBS: N-Cyclohexyl-2-benzothiazolsulfenamid

Schwefel: Vulkanisationsmittel

INHALT EINLEITUNG <u>EXPERIMENTELLES</u> ERGEBNISSE ZUSAMMEN- FASSUNG	Füllstoffauswahl					HOFFMANN MINERAL	
	Kennwerte						
		Korngröße		Ölzahl [g/100g]	Spezifische Oberfläche BET [m <sup>2</sup> /g]		Funktiona- lisierung
d <sub>50</sub>		d <sub>97</sub>	[µm]				
	Sillitin Z 86	1,9	8	55	11	ohne	
	Aktisil MM	2,2	10	45	7	Mercapto	
	Aktisil PF 216	2,2	10	50	8	Tetrasulfan	

VM-3/0807/07.2017

**Tabelle 2**

Die Füllstoffauswahl erfolgte unter dem Gesichtspunkt, dass vor allem die dynamischen Eigenschaften im Vergleich zur Rußmischung verbessert werden sollten.

Obwohl die oberflächenbehandelten Aktisile die besten Eigenschaften erwarten ließen wurde Sillitin Z 86 als unbehandelter Vergleichsfüllstoff ergänzt, um den Einfluss der Oberflächenbehandlung darzustellen.

Die Auswahl der Aktisile fiel auf Aktisil MM, ein mit einer mercapto-funktionellen Gruppe oberflächenbehandeltes Sillitin Z 86, und Aktisil PF 216, ein mit einer tetrasulfanfunktionalen Gruppe oberflächenbehandeltes Sillitin Z 86, als geeignetste Typen. (Tab. 2)

## 2.2 Mischungsherstellung und Vulkanisation

Die Compoundierung erfolgte auf einem Laborwalzwerk (Schwabenthon Polymix 150 L).

Der Naturkautschuk wurde zuerst bei 50 °C Walzentemperatur mastiziert und auf ca. 50 Mooney-Einheiten eingestellt.

Anschließend wurde ein gleichmäßiges Fell ausgewalzt und alle weiteren Zutaten in der Reihenfolge der Rezepturnennung bei 50 °C konstanter Walzentemperatur aufgemischt und homogenisiert. Die typische Mischzeit betrug 25 min.

Die Vulkanisation erfolgte in einer Laborpresse bei 170 °C. Üblicherweise wurde mit einer Vulkanisationszeit von  $t_{90} + 10\%$  vulkanisiert. Sollte diese unter 5 Minuten sein, wurde sie auf 5 Minuten festgelegt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Mooney Viskosität und Mooney Scorch

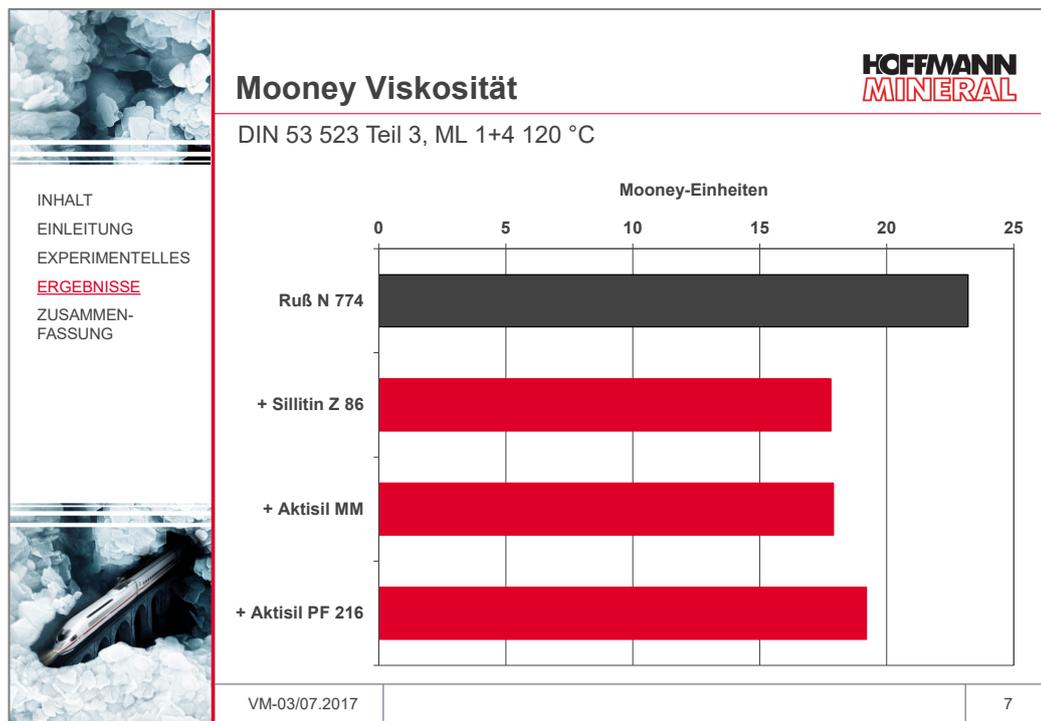


Abb. 1

Die resultierenden Viskositäten der Füllstoffkombinationen sind alle niedriger als die der reinen Rußmischung und weisen somit eine verbesserte Fließfähigkeit auf. (Abb.1)

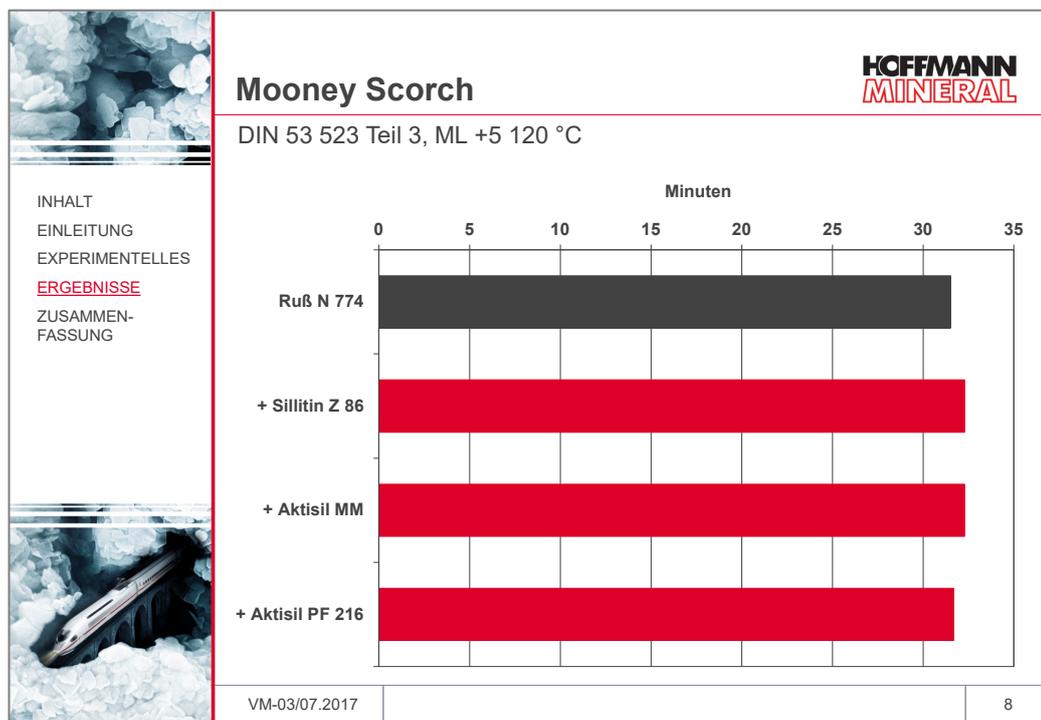
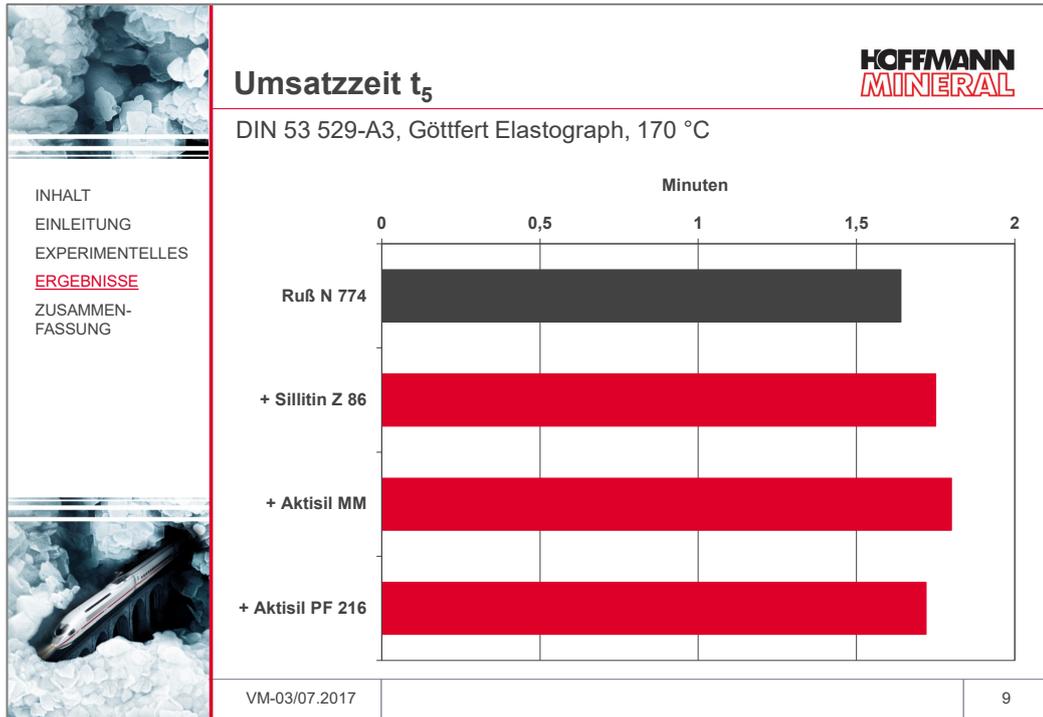


Abb. 2

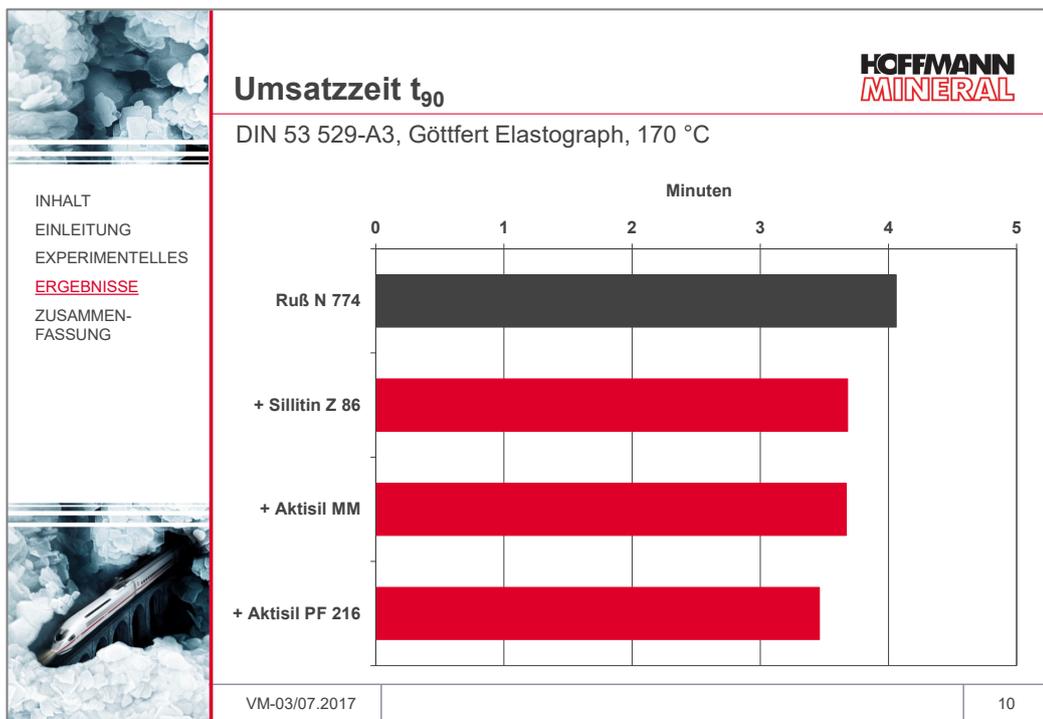
Dagegen wird der Mooney Scorch, als Maß für das Anvulkanisationsverhalten, durch die hellen Füllstoffe praktisch nicht beeinflusst. (Abb. 2)

### 3.2 Vulkanisationsverhalten



**Abb. 3**

Die Umsatzzeit  $t_5$ , als Maß für Fließzeit, wird durch die mineralischen Füllstoffe geringfügig länger. (Abb. 3)



**Abb. 4**

Dagegen wird die Umsatzzeit  $t_{90}$ , als Maß für die Vulkanisationszeit, durch die mineralischen Füllstoffe tendenziell kürzer. Somit ergibt sich bezüglich der Umsatzzeiten ein positiver Effekt durch die Füllstoffkombinationen mit Neuburger Kieselerde. (Abb. 4)

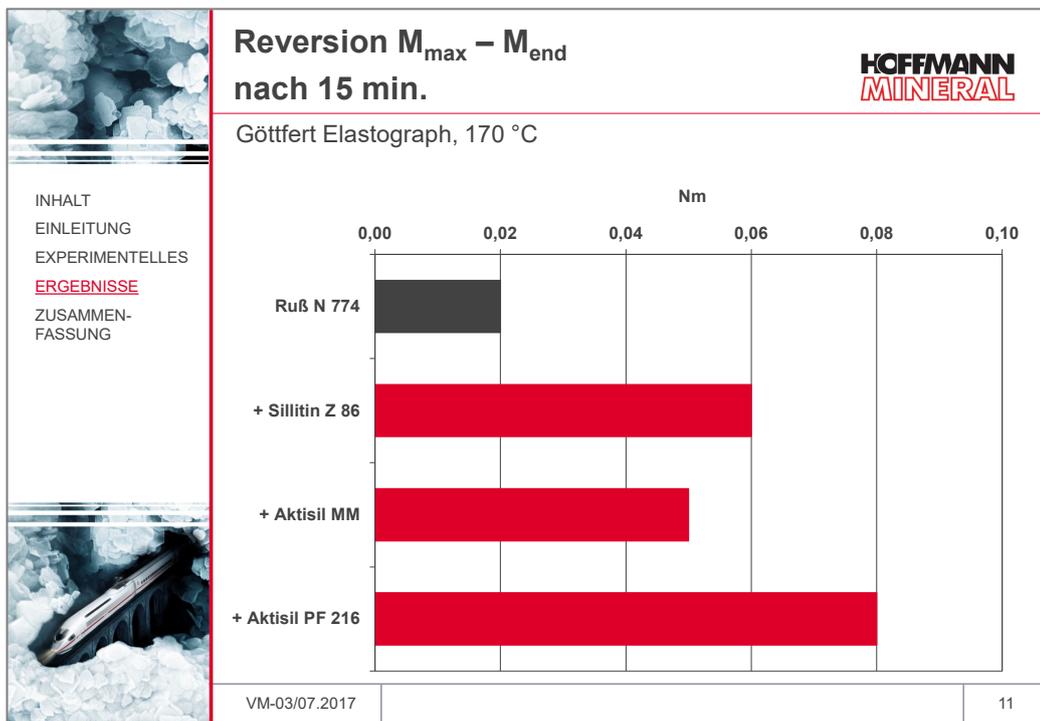


Abb. 5

Die Abnahme des Drehmoments nach Überschreiten des Maximums durch Reversion ist bei der Rußmischung sehr gering. Mit den Füllstoffkombinationen nimmt sie tendenziell zu.

Das Vulkanisationssystem sollte für weiterführende Entwicklungen dementsprechend optimiert oder die Vulkanisationstemperatur abgesenkt werden. (Abb. 5)

### 3.3 Mechanische Eigenschaften

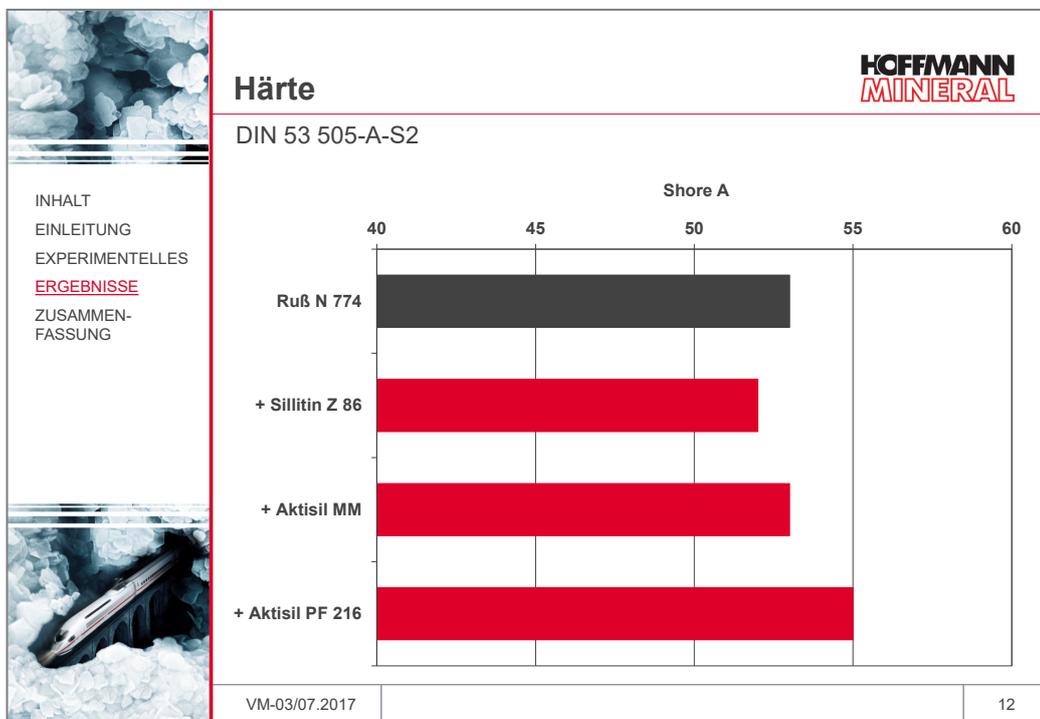
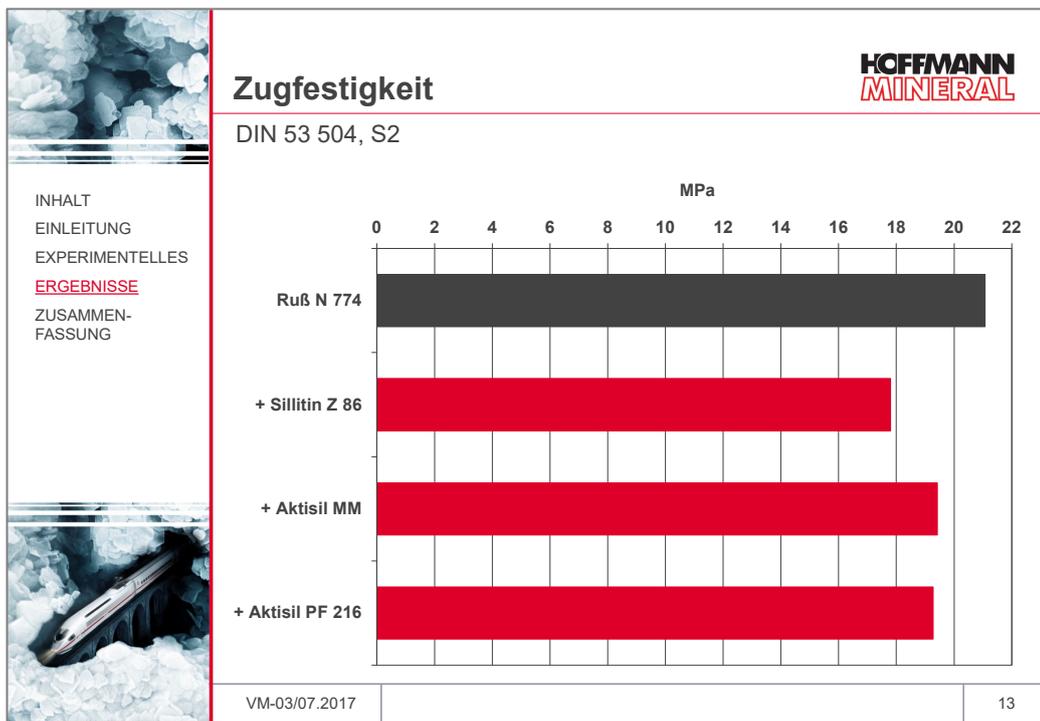


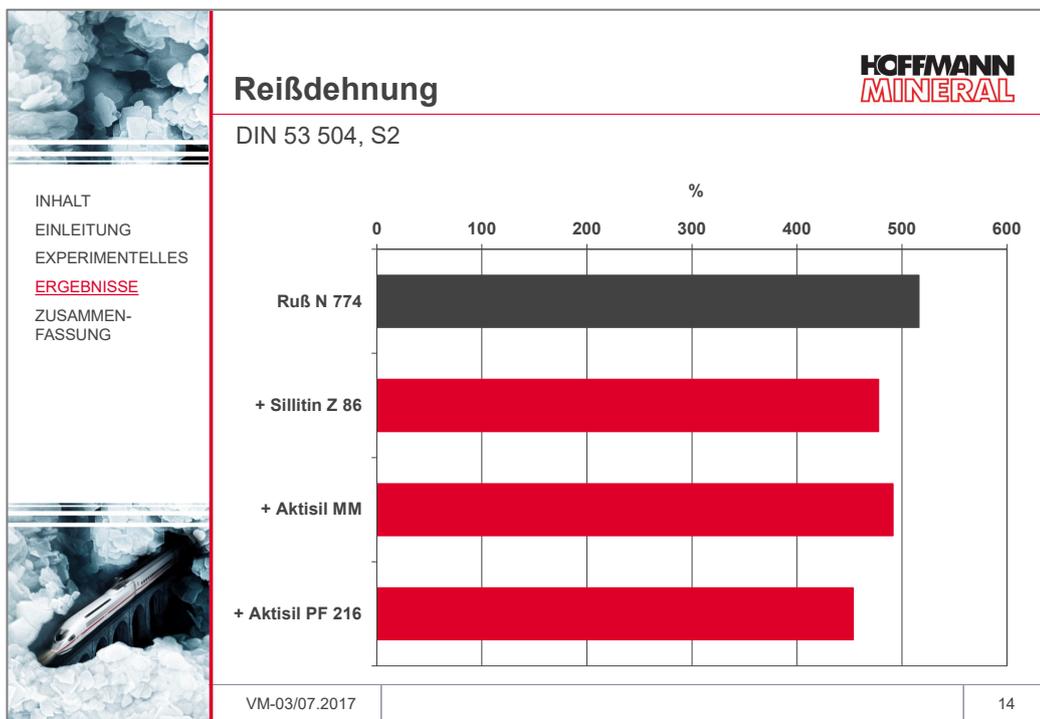
Abb. 6

Mit dem gewählten Austauschverhältnis 1:2 von Ruß zum mineralischen Füllstoff resultieren annähernd gleiche Härtewerte, wobei die Oberflächenbehandlung der Aktisile tendenziell höhere Werte bewirkt. (Abb. 6)



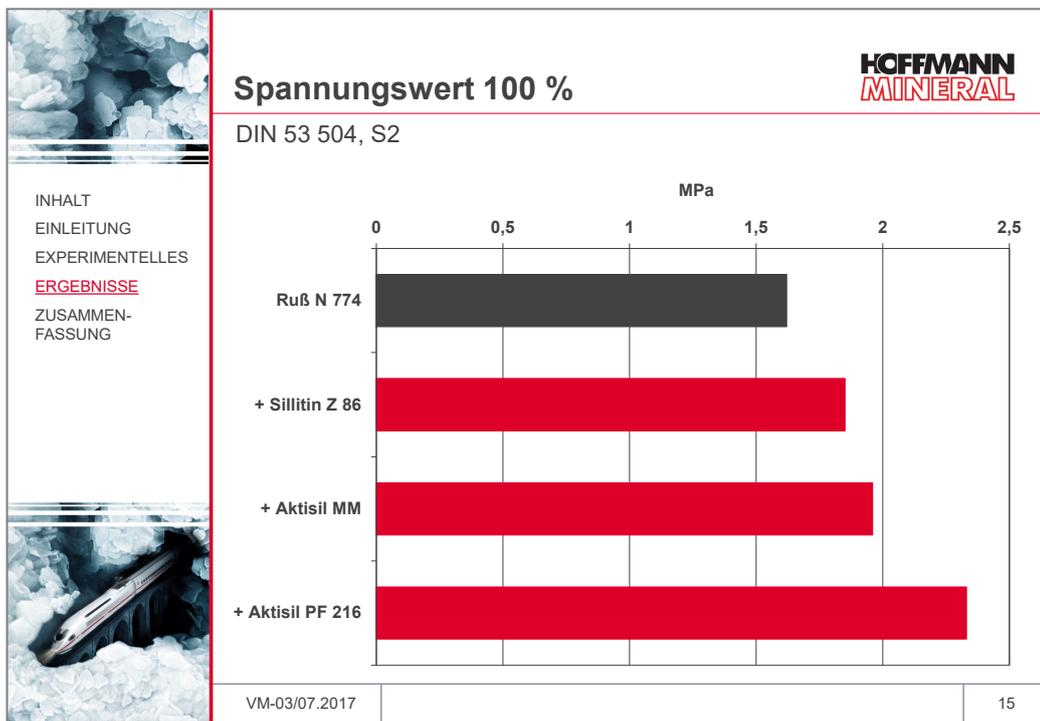
**Abb. 7**

Die Zugfestigkeit der reinen Rußmischung ist am höchsten, mit Sillitin Z 86 am niedrigsten. Aktisil MM und Aktisil PF 216 erzielen ähnliche Werte wie die Referenz mit reiner Rußfüllung. (Abb. 7)



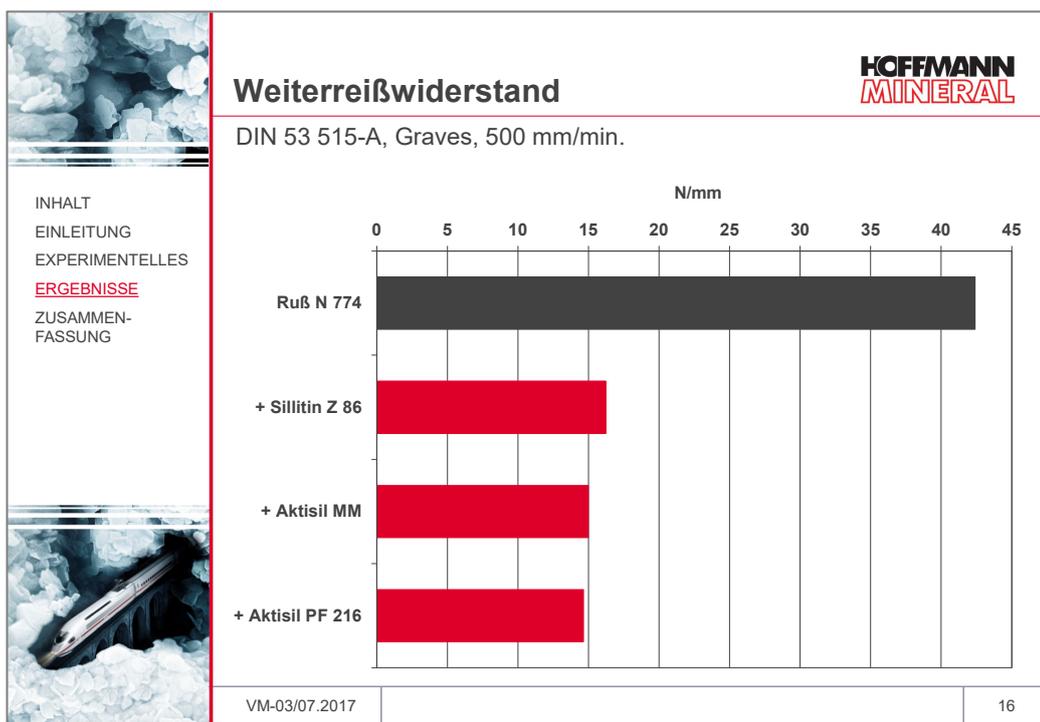
**Abb. 8**

Es ist kaum ein Einfluss der Füllstoffkombinationen feststellbar. Nur mit Aktisil PF 216 wird eine leicht niedrigere Reißdehnung erzielt. (Abb. 8)



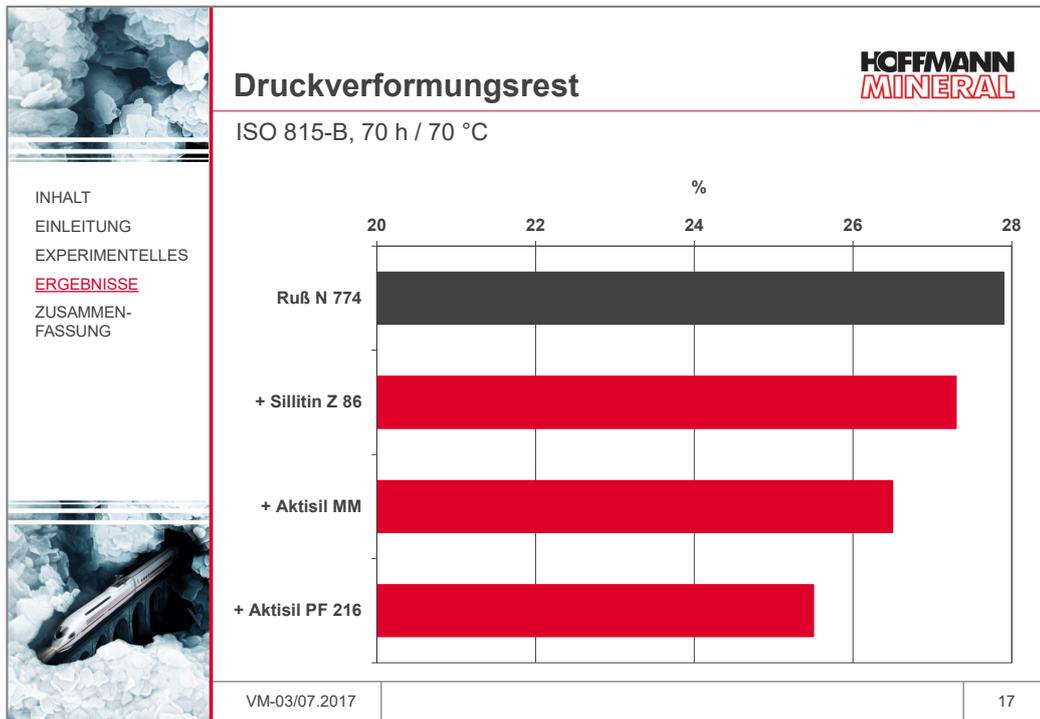
**Abb. 9**

Der Spannungswert 100 % ist bereits mit Sillitin Z 86 höher als der der reinen Ruß-mischung. Mit den Aktisilen wird er noch weiter erhöht. (Abb. 9)



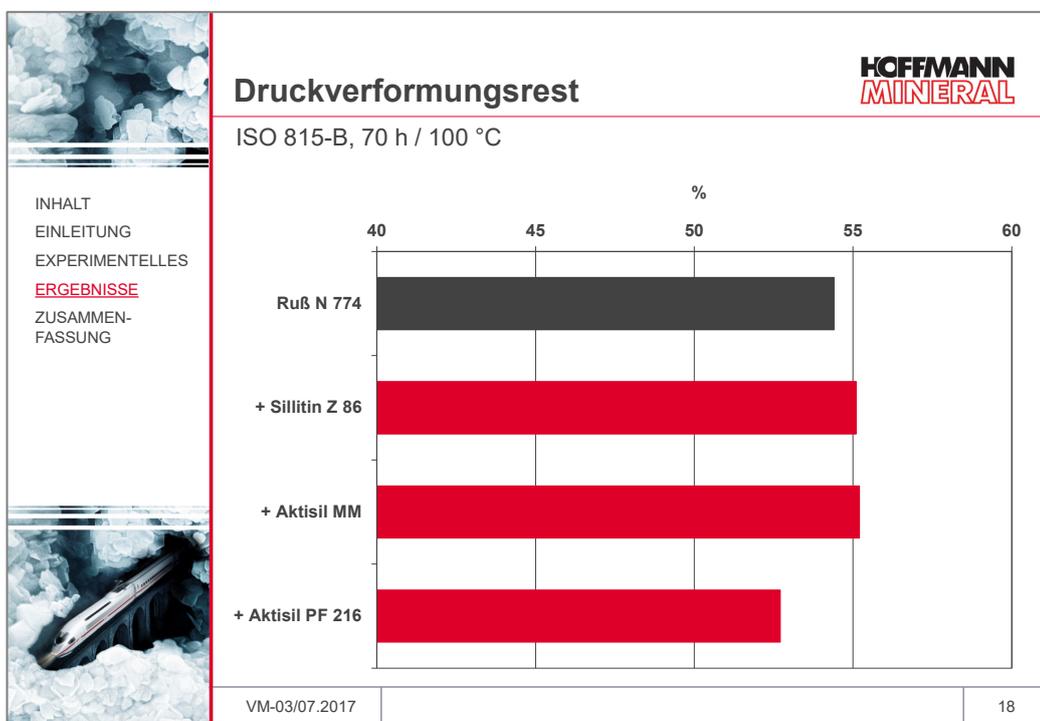
**Abb. 10**

Die Füllstoffkombinationen haben einen deutlich niedrigeren Wert. Mit einem optimierten Vulkanisationssystem/Temperatur sollte sich diese Differenz aber relativieren lassen oder gegebenenfalls durch Zusatz von gefällter Kieselsäure. (Abb. 10)



**Abb. 11**

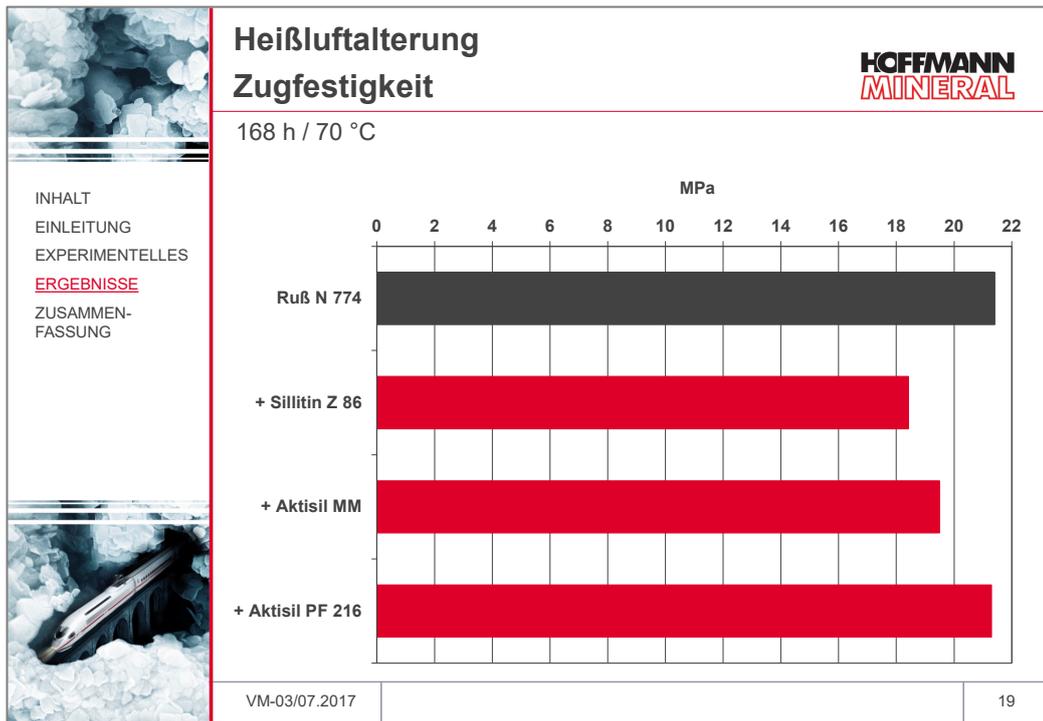
Der Druckverformungsrest mit den Füllstoffkombinationen ist bei 70 °C Prüftemperatur deutlich besser, wobei mit Aktisil PF 216 das beste Ergebnis erreicht wird. Dies sollte mit einem verbesserten, gleich reduzierten, Setzverhalten einhergehen. (Abb. 11)



**Abb. 12**

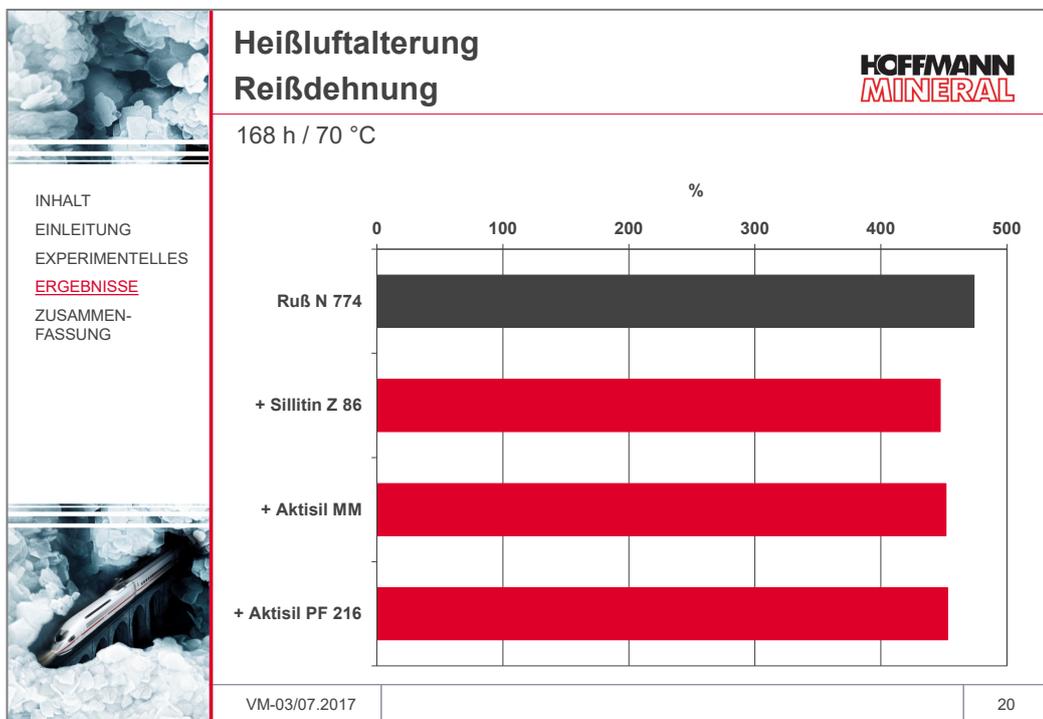
Bei 100 °C gleichen sich die Werte an. Lediglich mit Aktisil PF 216 ist tendenziell besser. (Abb. 12)

### 3.4 Heißluftalterung 168 h / 70 °C



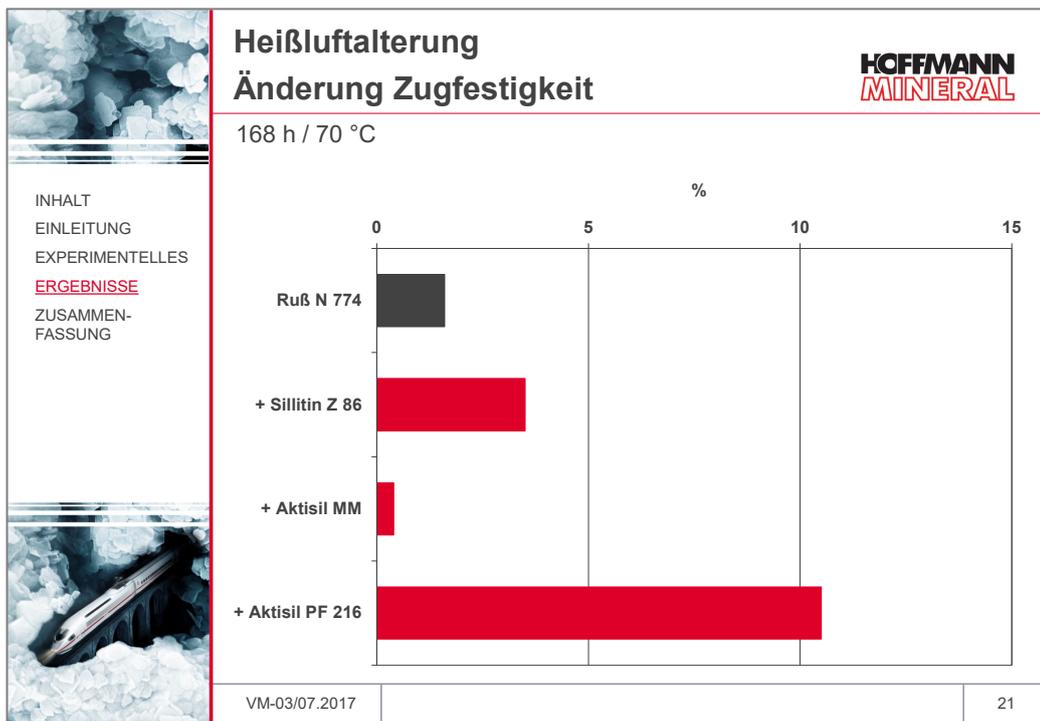
**Abb. 13**

Nach der Heißluftalterung zeigt sich ein ähnliches Bild wie bereits vor der Alterung.  
Mit Aktisil PF 216 wird das Niveau der Rußmischung erreicht. (Abb. 13)



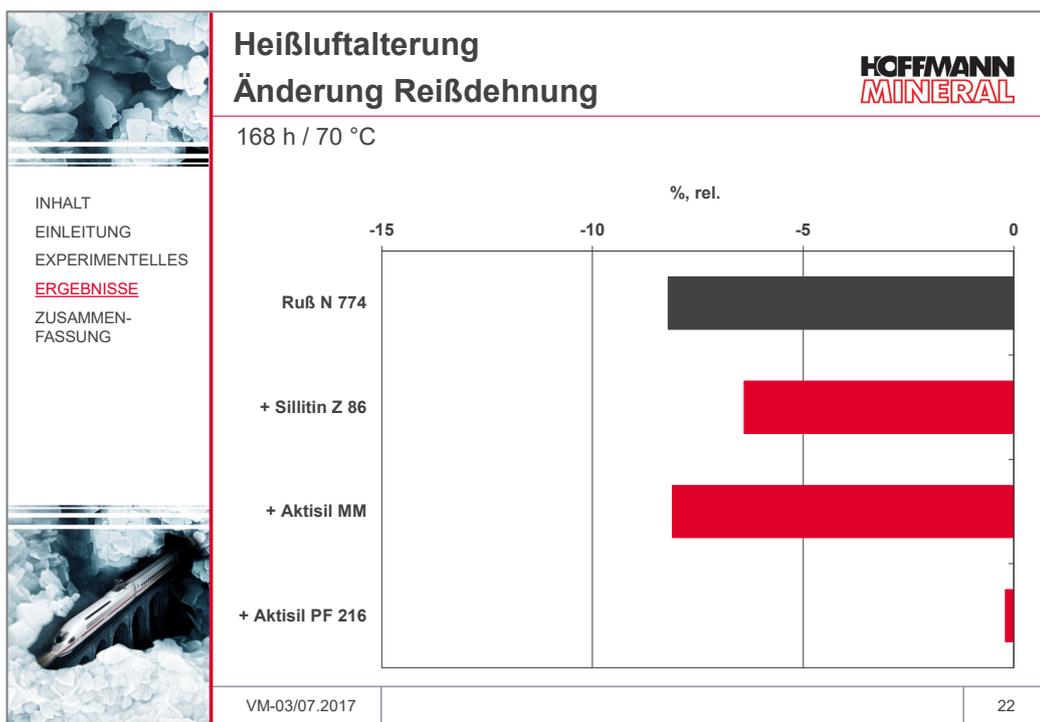
**Abb. 14**

Bei der Reißdehnung sind kaum Unterschiede festzustellen. (Abb. 14)



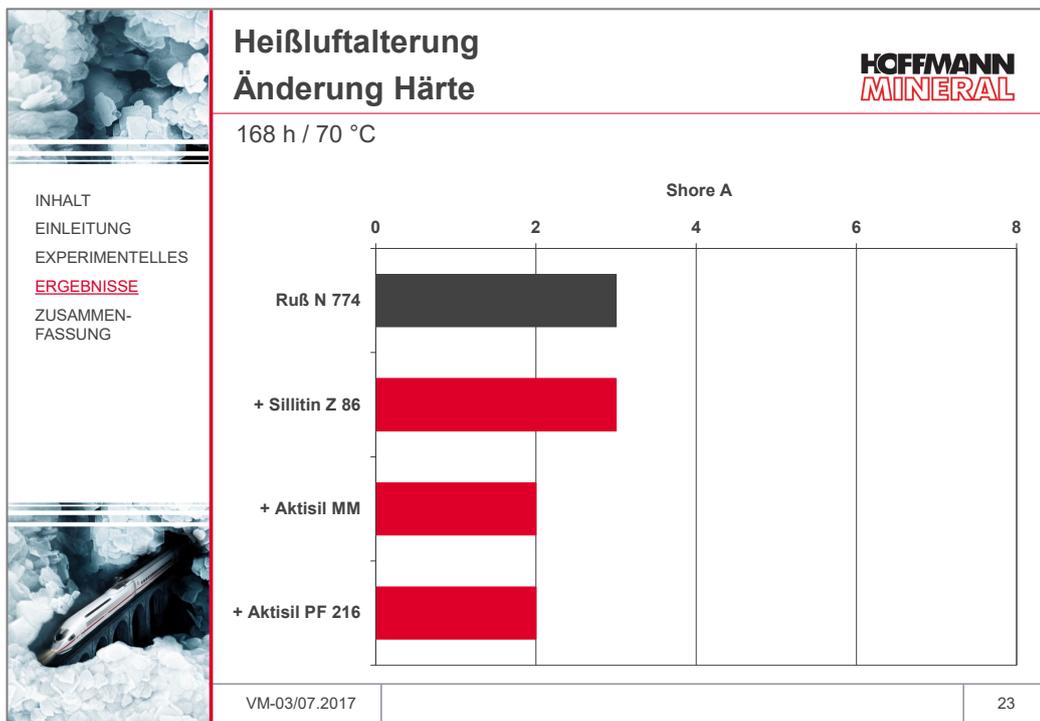
**Abb. 15**

Betrachtet man die Zugfestigkeitsänderung nach Heißluftalterung, so ergibt sich eine Zunahme der Zugfestigkeit mit Aktisil PF 216. (Abb. 15)



**Abb. 16**

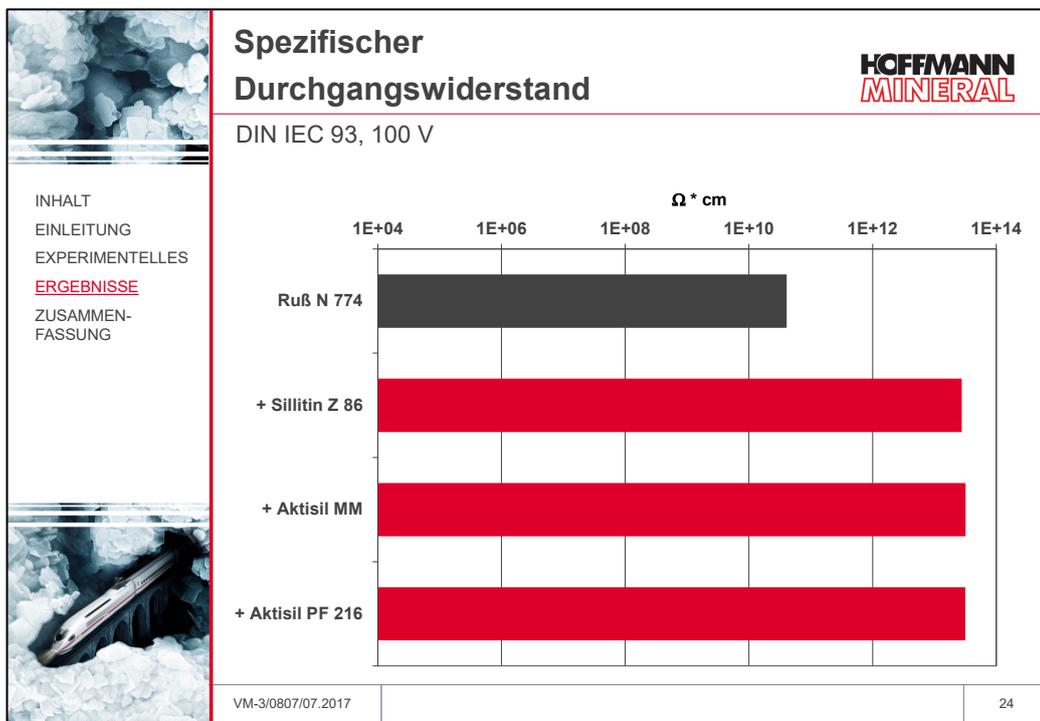
Dagegen zeigt sich keine Änderung der Reißdehnung mit Aktisil PF 216, wogegen Ruß, Sillitin Z 86 und Aktisil MM um bis zu 8 % abnehmen. (Abb. 16)



**Abb. 17**

Es besteht kein Unterschied bei der Härteänderung nach Heißluftalterung. (Abb. 17)

### 3.5 Spezifischer elektrischer Durchgangswiderstand



**Abb. 18**

Erwartungsgemäß steigt der spezifische Durchgangswiderstand mit den Füllstoffkombinationen um ca. 3 Potenzen deutlich an. Das Absolutniveau als auch die Erhöhung durch die Neuburger Kieselerdeprodukte können bei Knetermischungen aufgrund der schlechteren Rußdispargierung niedriger liegen, was natürlich auch von der verwendeten Rußtype und deren Dosierungshöhe abhängt. (Abb. 18)

### 3.6 Dynamische Eigenschaften

**Beschreibung der Messung und ihrer Durchführung:** Die Prüfung erfolgte an einer aus einer Prüfplatte ausgestanzten, kreisrunden Scheibe mit 25 mm Durchmesser und ca. 2 mm Dicke. Diese wurde in das Rheometer MCR 300 (Fa. Paar) mit einem profiliertem Platte/Platte Messsystem eingebracht, 5 Minuten temperiert und anschließend mit einer Normalkraft von 20 Newton (entsprechen 0,04 MPa) beaufschlagt, um einen guten Kraftschluss der Messplatte zur Probe zu erreichen. Unter diesen Bedingungen stellte sich eine Spaltweite von ca. 1,8 mm ein. Zuerst wurde ein Frequenzsweep mit der in Vorversuchen festgelegten Scherdeformation von 0,3 % durchgeführt. Ideal wäre eine noch geringere Deformation und damit noch näher dem realen, linear viskoelastischen Bereich gewesen. Dem schloss sich ein Amplitudensweep an, bestimmt am gleichen Probekörper. Dieser vergleichsweise einfache Versuchsaufbau kann vor allem bei großen Deformationen eine gewisse Abweichung durch Rutschen an der Probekörperoberfläche bedingen, das allerdings nichts an den grundsätzlichen Effekten ändert.

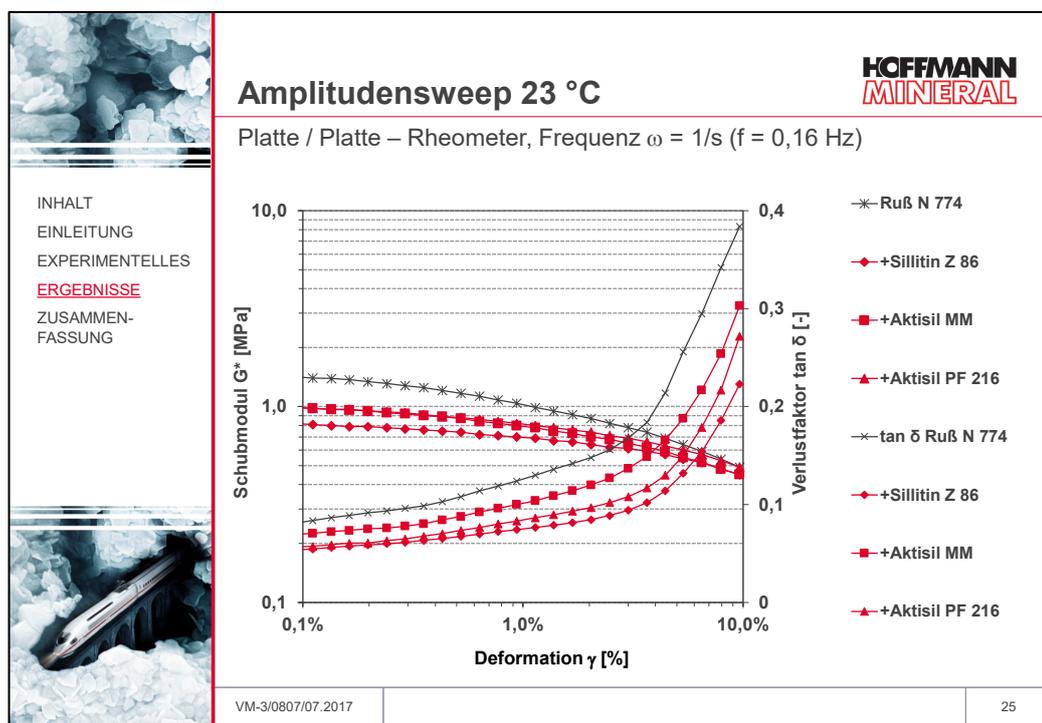


Abb. 19

Der komplexe Schubmodul im Amplitudensweep zeigt für die nur mit Ruß gefüllte Mischung einen höheren Wert bei sehr geringer Deformation, der sich bei Erhöhung der Deformation an die Resultate der Füllstoffkombinationen angleicht. Grund hierfür ist die stärkere Amplitudenabhängigkeit der nur mit Ruß gefüllten Mischung. Mit Sillitin Z 86 als Kombinationspartner stellt sich das niedrigste Niveau ein, wogegen beide Aktisile sich dem Ergebnis der Rußmischung annähern, ohne jedoch dessen starke Amplitudenabhängigkeit aufzuweisen.

Betrachtet man den Verlustfaktor, so fällt der durchwegs höchste Wert der nur mit Ruß gefüllten Kontrollmischung auf. Die Füllstoffkombination mit Sillitin Z 86 erreicht dagegen die niedrigsten Werte, dicht gefolgt von Aktisil PF 216. Aktisil MM markiert in etwa die Mitte zwischen den Füllstoffkombinationen und der reinen Rußmischung. Der Knick in der Verlustfaktorkurve und damit einhergehend eine deutliche Veränderung der viskoelastischen Eigenschaften liegt im Bereich von 3 bis 4 % Scherdeformation, ohne klare Differenzierung aller geprüften Mischungen.

Zusammenfassend erscheinen die Ergebnisse von Aktisil PF 216 als sehr interessant, da ein hoher Schubmodul mit nur geringer Amplitudenabhängigkeit bei gleichzeitig niedrigem Verlustfaktor erzielt wird. Als Konsequenz hieraus sollte sich zum Beispiel eine geringere dynamische Erwärmung für die Füllstoffkombination gegenüber der nur mit Ruß gefüllten Mischung erzielen lassen, was sich in der Praxis in einer anderen Rezeptur bestätigte. (Abb. 19)

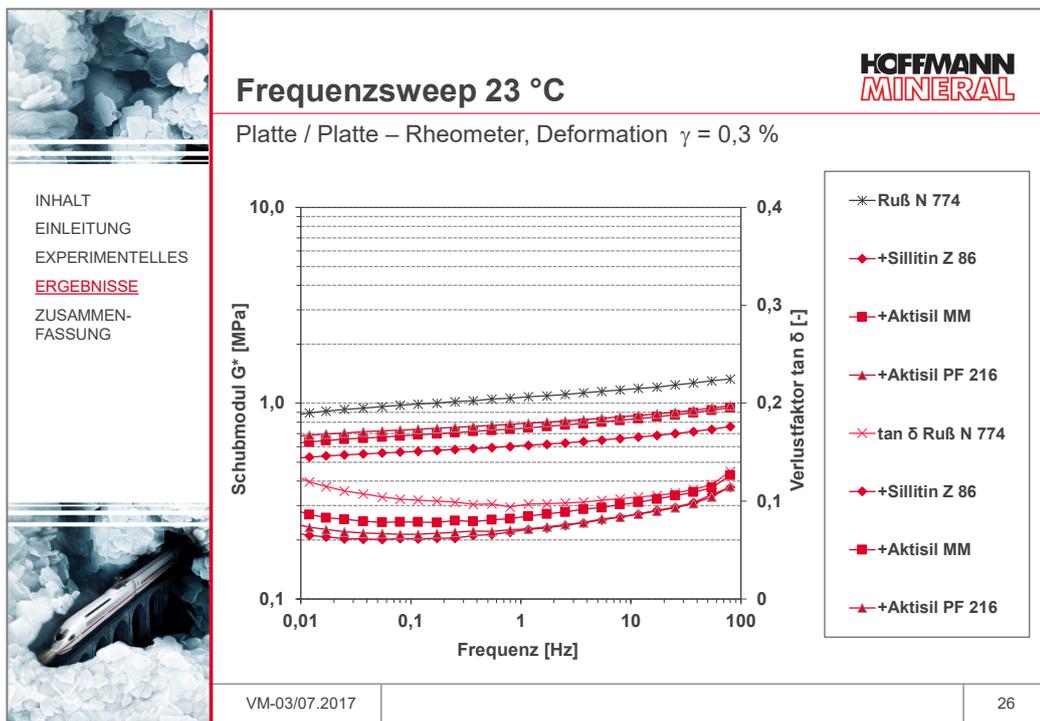


Abb. 20

Im Frequenzsweep bei 23 °C findet man für den komplexen Schubmodul die gleiche Reihung wie beim Amplitudensweep: Ruß pur, Füllstoffkombinationen mit den Aktisilen und auf niedrigstem Niveau Sillitin Z 86. Dabei zeigt wiederum die nur mit Ruß gefüllte Referenzmischung mit zunehmender Frequenz einen höheren Anstieg als die Füllstoffkombinationen. Der Verlustfaktor wird durch die Füllstoffkombinationen gegenüber der Referenzmischung reduziert, was vor allem bei sehr niedrigen Frequenzen festzustellen ist. Insgesamt erscheint die geringere Frequenzabhängigkeit der Füllstoffkombinationen als interessanter Effekt. (Abb. 20)

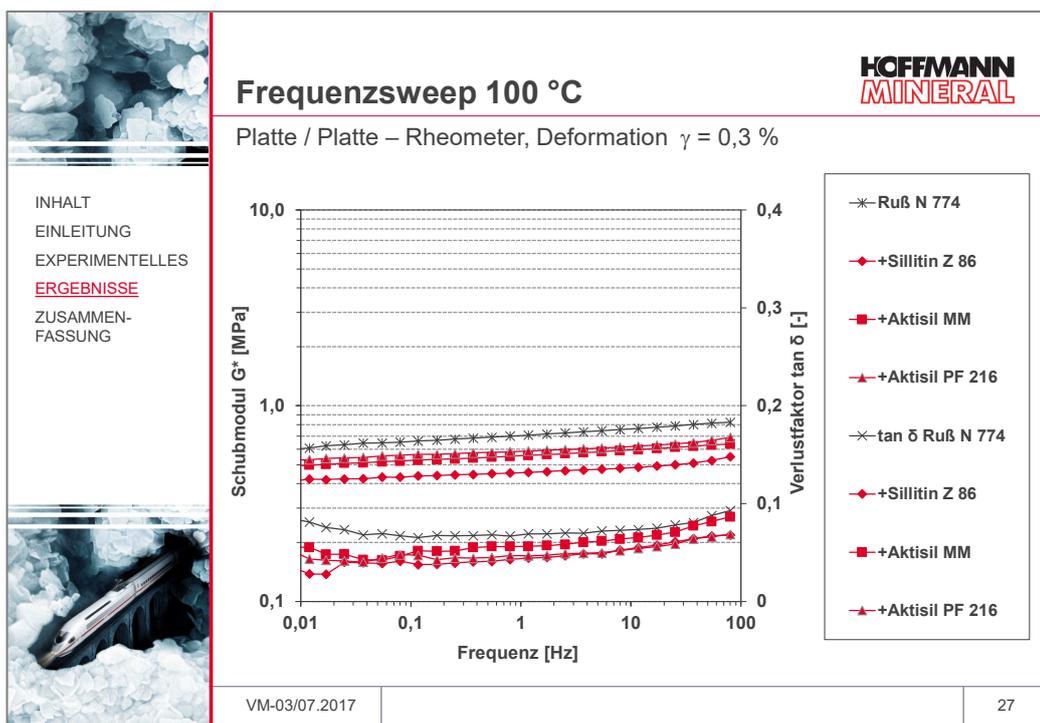


Abb. 21

Die Ergebnisse bei 100 °C zeigen die gleiche Reihung wie bei 23 °C, jedoch auf niedrigem Wertenniveau und geringeren Differenzen. (Abb. 21)

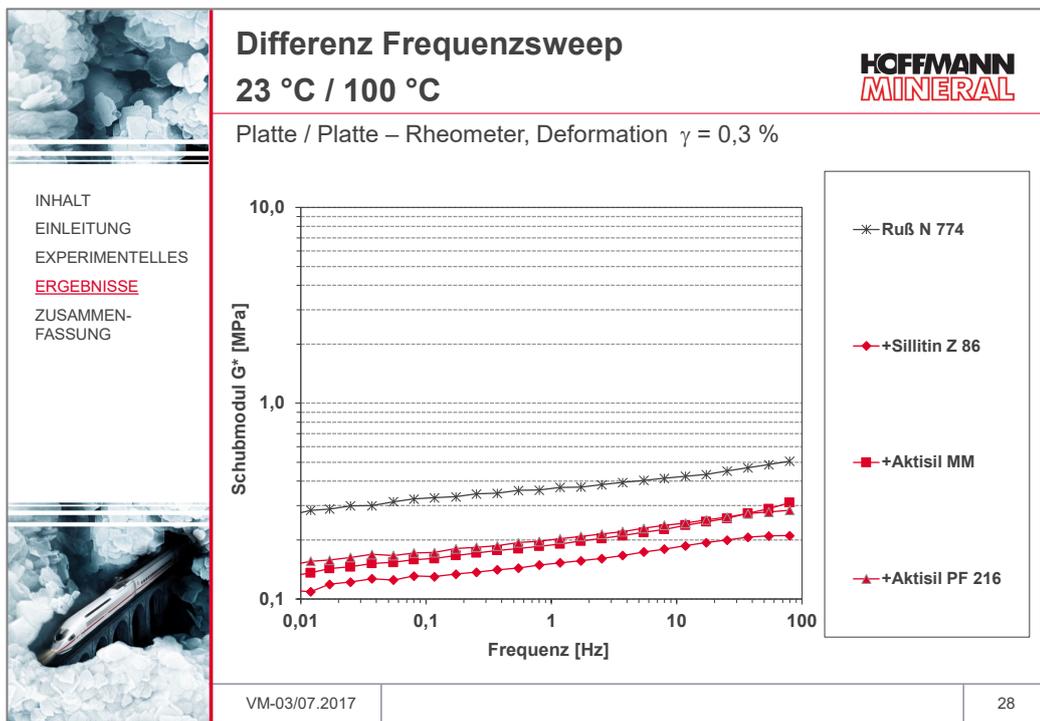


Abb. 22

Betrachtet man jedoch die Schubmoduldifferenz zwischen 23 °C und 100 °C, so erzielen die Füllstoffkombinationen mit nur annähernd der Hälfte an Änderung der reinen Ruß-mischung, klar bessere Ergebnisse. (Abb. 22)

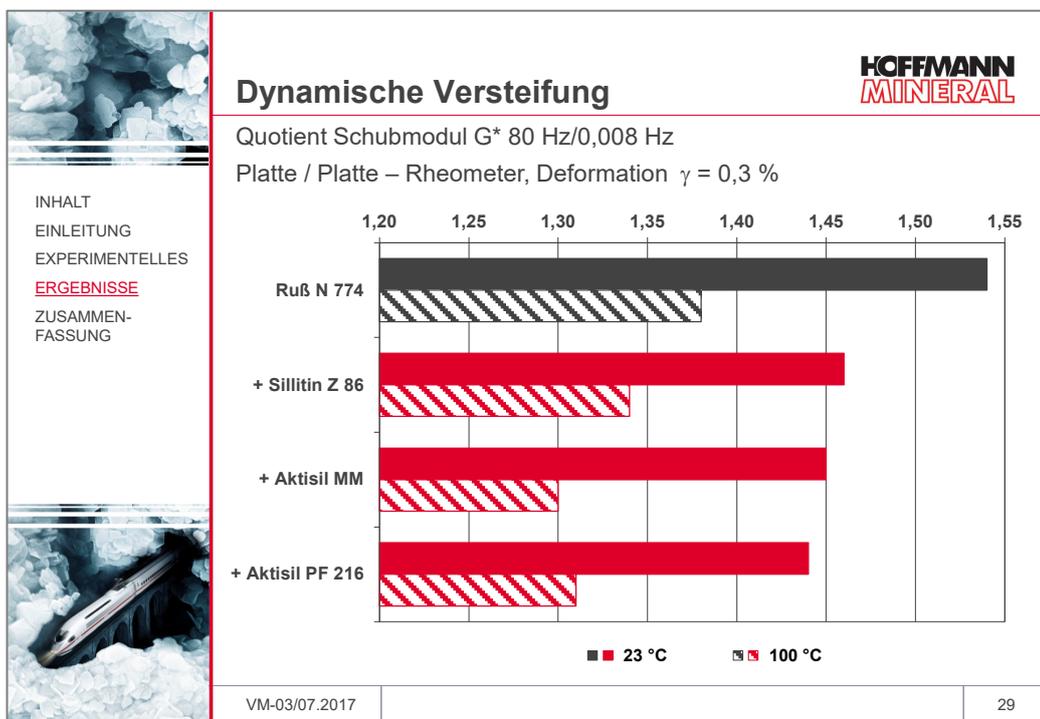


Abb. 23

Die dynamische Versteifung wird mit den Kieselerdekombinationen besser, sowohl bei 23 °C als auch etwas weniger ausgeprägt bei 100 °C. Insgesamt erzielt Aktisil PF 216 sehr gute Werte bei den dynamischen Messungen, im Einzelnen: hoher Schubmodul mit niedrigem Verlustfaktor sowie geringe Frequenz- und Temperaturabhängigkeit. (Abb. 23)

## 4 Zusammenfassung

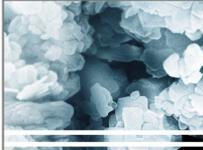
 INHALT EINLEITUNG EXPERIMENTELLES ERGEBNISSE <u>ZUSAMMEN- FASSUNG</u>	<b>Zusammenfassung</b> 	
	<p>Mit Neuburger Kieselerde werden positiv beeinflusst:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mooneyviskosität</li><li>• Druckverformungsrest, besonders mit <b>Aktisil PF 216</b></li><li>• Elektrisch isolierende Eigenschaften</li><li>• Temperaturabhängigkeit der dynamischen Eigenschaften</li><li>• Dynamische Versteifung</li></ul> <p>Optimierungspotential:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Reversion</li><li>• Weiterreißwiderstand</li></ul> <p>Als kostengünstige Variante bietet sich <b>Sillitin Z 86</b> an.</p> <p>Die technisch besten Resultate erzielen <b>Aktisil MM und Aktisil PF 216</b>.</p>	VM-03/07.2017
		30

Abb. 25

## 5 Schlussfolgerung und Ausblick

Es werden durchaus positive Ergebnisse mit Neuburger Kieselerde erzielt.

Die im Vordergrund stehenden dynamischen Eigenschaften werden mit Neuburger Kieselerde in punkto Verlustfaktor Frequenz- und Temperaturabhängigkeit verbessert.

Die Übertragbarkeit der gefundenen Eigenschaftsverbesserungen sollte an einem realen Bauteil überprüft werden. Dies kann jedoch nur beim Teilehersteller erfolgen.

Optimierungspotential steckt noch in Vulkanisationsbedingungen mit angepasstem Vulkanisationssystem und im Weiterreißwiderstand.

*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.*