

# **NBR-Formteile für Öldichtungen**

## **im Automobilbereich ASTM D2000**

### **Ersatz von Ruß N990 durch**

### **Neuburger Kieselerde**

Verfasser:           Hubert Oggermüller  
                          Karin Müller

## Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Zielsetzung
- 3 Experimentelles
  - 3.1 Mischungsaufbau
  - 3.2 Mischungsherstellung und Vulkanisation
- 4 Ergebnisse
  - 4.1 Mooney-Viskosität und Mooney-Scorchzeit
  - 4.2 Vulkanisationsverhalten
  - 4.3 Mechanische Eigenschaften, Ausgangswerte
  - 4.4 Grade 2 - Lagerung in IRM 903 bei 125 °C
  - 4.5 Grade 2 - Lagerung in Liquid C bei 23 °C
  - 4.6 Grade 3 - Lagerung in IRM 903 bei 150 °C
  - 4.7 Kostenaspekte
- 5 Zusammenfassung
- 6 Anhang - Ergebnisse ohne deutlichen Effekt
  - 6.1 Vulkanisationsverhalten
  - 6.2 Mechanische Eigenschaften, Ausgangswerte
  - 6.3 Grade 2 - Lagerung in IRM 901 bei 125 °C
  - 6.4 Grade 2 - Lagerung in IRM 903 bei 125 °C
  - 6.5 Grade 2 - Lagerung in Liquid C bei 23 °C
  - 6.6 Grade 3 - Lagerung in IRM 901 bei 150 °C
  - 6.7 Grade 3 - Lagerung in IRM 903 bei 150 °C
  - 6.8 Grade 2 und 3 – Alterung in Heißluft bei 125 °C

# 1 Einleitung

NBR-Dichtungen werden vielfältig im Maschinenbau und in der Automobilindustrie verwendet (Tab. 2). Entsprechende Anforderungen sind in der ASTM D2000 beschrieben. Dabei wird neben Ruß N550 oft Ruß N990 zur Anpassung des Eigenschaftsprofils einschließlich der Kosten eingesetzt.

Je nach Preis der fossilen Rohstoffe sind die Rußpreise starken Schwankungen unterworfen. Der langfristige Trend jedoch geht klar nach oben. Der Preis von mineralischen Füllstoffen wird nur wenig von fossilen Rohstoffen beeinflusst, sondern steigt langfristig nur geringfügig an, ohne Schwankungen aufzuweisen.

Darüber hinaus bestehen temporäre Lieferengpässe für Ruß N990, die durch den Einsatz von Kieselerde-Produkten umgangen werden können.

Hoffmann Mineral gewährleistet zuverlässige Lieferzeiten und eine hohe Verfügbarkeit der Neuburger Kieselerde-Produktpalette.

# 2 Zielsetzung

Ersatz von Ruß N990 durch Neuburger Kieselerde zur Kostenreduzierung bei gleichbleibendem Eigenschaftsniveau. Als Richtlinie zur Bewertung dient die ASTM D2000-08, Materialklasse CH, wie in Tabelle 1 beschrieben.

	<h2 style="text-align: center;">Anforderungen und Prüfbedingungen</h2> <div style="text-align: right;"><b>HOFFMANN MINERAL</b></div>	
<p>EINLEITUNG</p> <p><u>EXPERIMENTELLES</u></p> <p>ERGEBNISSE</p> <p>ZUSAMMENFASSUNG</p> <p>ANHANG</p>	<p><b>Basisanforderung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Härte: 70 +/- 5 Shore A</li> <li>• Zugfestigkeit: &gt;10 MPa bzw. &gt;14 MPa</li> <li>• Reißdehnung: &gt; 250 %</li> <li>• Druckverformungsrest: &lt; 25 % bei 100 °C und 22 h</li> </ul> <p><b>Grade 2:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Referenzflüssigkeit IRM 901 70 h / 125 °C</li> <li>• Referenzflüssigkeit IRM 903 70 h / 125 °C</li> <li>• Referenzflüssigkeit Liquid C 70 h / 23 °C</li> <li>• Heißluft 70 h / 125 °C</li> </ul> <p><b>Grade 3:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Referenzflüssigkeit IRM 901 70 h / 150 °C</li> <li>• Referenzflüssigkeit IRM 903 70 h / 150 °C</li> <li>• Heißluft 70 h / 125 °C</li> </ul>	
	<p>VM-1/0615/12.2023</p>	

**Tabelle 1**

### 3 Experimentelles

#### 3.1 Mischungsaufbau

		<b>Basisrezeptur 70 Shore A</b>				
				phr		
EINLEITUNG <u>EXPERIMENTELLES</u> ERGEBNISSE ZUSAMMENFASSUNG ANHANG	Krynac 2950 F	NBR, 30 % ACN, ML 1+4 (100 °C) 53 ME			100,0	
	Zinkoxyd aktiv	Zinkoxid			5,0	
	Stearinsäure	Verarbeitungshilfsmittel			0,5	
	Agerite Resin D Pastillen	Alterungsschutzmittel			2,0	
	Corax N550	FEF-Ruß			60,0	
	<b>Ruß N990</b>	<b>MT-Ruß</b>			<b>50,0</b>	
	Mediaplast NB-4	Weichmacher , Ester			10,0	
	Vulkacit Thiuram/C	Beschleuniger, TMTD			2,5	
	Vulkacit CZ/C	Beschleuniger, CBS			2,0	
	Mahlschwefel	Vulkanisationsmittel			0,2	
	<b>Summe</b>					<b>232,2</b>
			VM-1/0615/12.2023			

**Tabelle 2**

Krynac 2950 F	NBR, 30 % ACN, ML 1+4 (100 °C) 53 MU
Zinkoxyd aktiv	Zinkoxid
Stearinsäure	Verarbeitungshilfsmittel
Agerite Resin D	Alterungsschutzmittel, 1.2-Dihydro-2.2.4-trimethylchinolin
Corax N550	FEF-Ruß
Ruß N990	Thermalruß
Mediaplast NB-4	Weichmacher, Ester
Vulkacit Thiuram/C	Beschleuniger, Tetramethylthiuramdisulfid TMTD
Vulkacit CZ/C	Beschleuniger, N-Cyclohexyl-2-benzothiazolesulfenamid, CBS
Mahlschwefel	Vulkanisationsmittel, Schwefel

Die Basisrezeptur stellt eine Formteilrezeptur für Öldichtungen im Automobilbereich dar. Der Gesamtrußanteil beträgt 110 phr und teilt sich auf in 60 phr Corax N550 und 50 phr Ruß N990. Der Weichmacheranteil beträgt nur 10 phr, wodurch sich bei einem Austauschverhältnis von 1:1 eine Härte von 70 Shore A ergibt (Tab. 2).



## Füllstoffe und Kennwerte

**HOFFMANN  
MINERAL**

		Ruß N990	Aktisil PF 216	Aktifit AM	Silfit Z 91	Sillitin Z 86	Sillitin N 75*
EINLEITUNG							
<b>EXPERIMENTELLES</b>							
ERGEBNISSE							
ZUSAMMENFASSUNG							
ANHANG							
	Dichte	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,8	2,6	2,6	2,6	2,6
	Korngröße d <sub>50</sub>	[µm]		2,2	2,0	2,0	1,9
	Korngröße d <sub>97</sub>	[µm]		10	10	10	9
	Siebrückstand > 40 µm	[mg/kg]		15	10	10	20
	Siebrückstand 45 µm/325 mesh	ppm	18				
	Ölzahl	[g/100g]		60	55	55	55
	DBP-Absorption	[ml/100 g]	38				
	Spezifische Oberfläche BET	[m <sup>2</sup> /g]		9	7	8	12
	CTAB-Oberfläche	[m <sup>2</sup> /g]	7				
	Funktionalisierung	ohne	Tetra- sulfan	Amino	ohne	ohne	ohne
* Die Untersuchungen wurden mit Sillitin N 82 durchgeführt. Dieses Produkt ist nicht mehr verfügbar. Empfehlung: Sillitin N 75.							
VM-1/0615/12.2023							7

**Tabelle 3**

Die Kennwerte des Rußes N990 unterscheiden sich nur relativ geringfügig von jenen der Kieselerde. Der Dichteunterschied von 1,8 zu 2,6 g/cm<sup>3</sup> zählt hierbei schon zu den größten Differenzen (Tab. 3).

### 3.2 Mischungsherstellung und Vulkanisation

	<h2>Mischungsherstellung und Vulkanisation</h2> 
EINLEITUNG <u>EXPERIMENTELLES</u> ERGEBNISSE ZUSAMMENFASSUNG ANHANG	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Mischen</b> Laborwalzwerk Ø 150 x 300 mm Batchgröße: ca. 500 cm<sup>3</sup> Walzentemperatur: 40 °C Mischzeit: ca. 20 min.</li><li>• <b>Vulkanisation</b> Presse: 170 °C Vulkanisationszeit: 5 min.</li></ul> <p>VM-1/0615/12.2023</p>

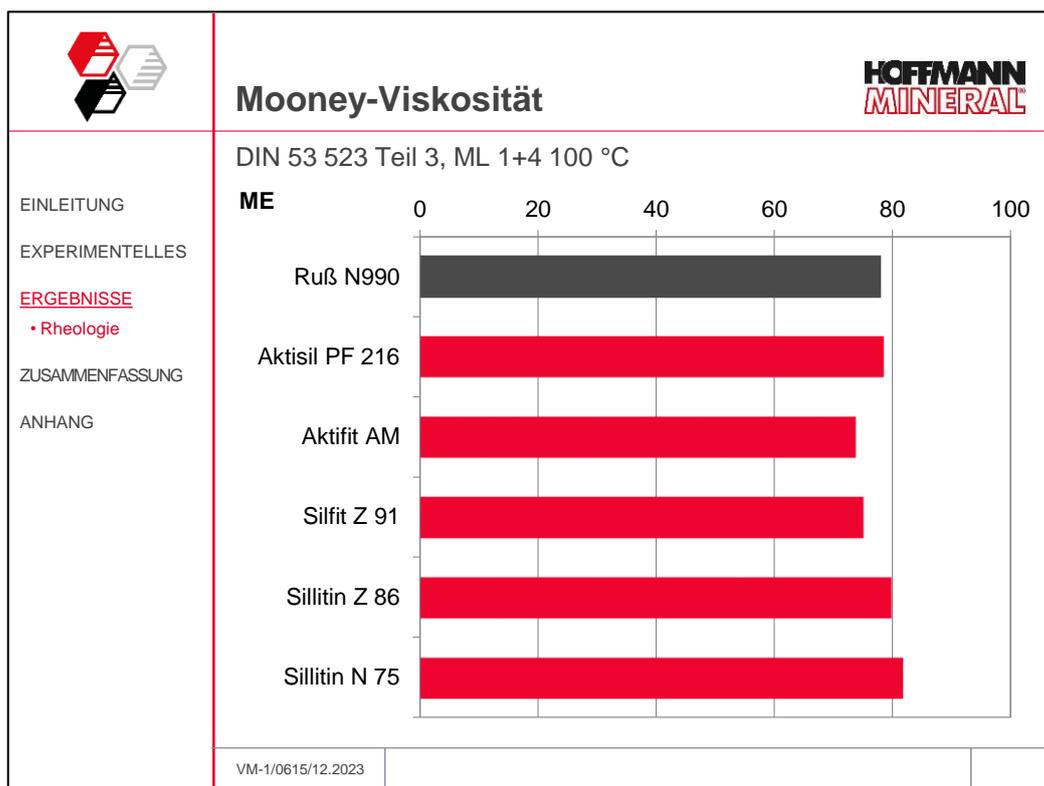
**Abb. 1**

Alle Mischungen wurden auf einem Laborwalzwerk (Schwabenthan Polymix 150 L) bei 20 U/min und einer Batchgröße von ca. 500 cm<sup>3</sup> hergestellt. Die Mischzeiten wurden an das Einarbeitungsverhalten der Füllstoffe angepasst und registriert.

Vulkanisiert wurde bei 170 °C in einer elektrisch beheizten Presse. Die Vulkanisationszeit betrug jeweils 5 min., sowohl bei den 2 mm Platten als auch bei den Rückprall- und DVR-Probekörpern (Abb. 1).

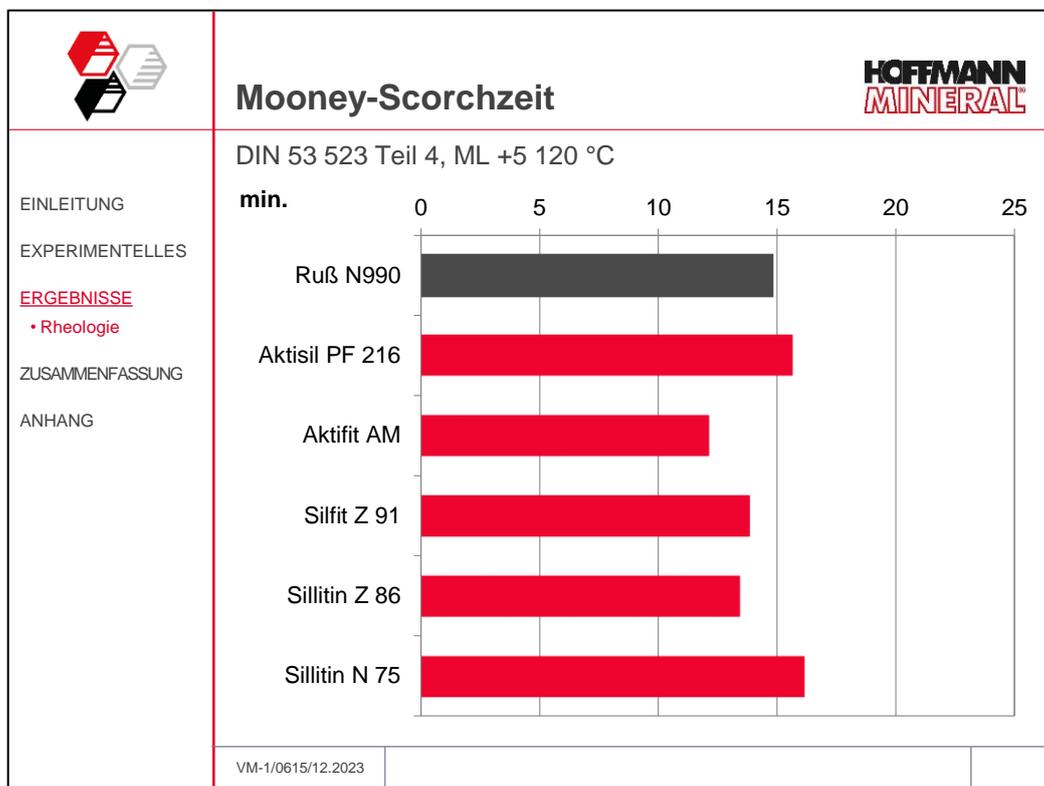
## 4 Ergebnisse

### 4.1 Mooney-Viskosität und Mooney-Scorchzeit



**Abb.2**

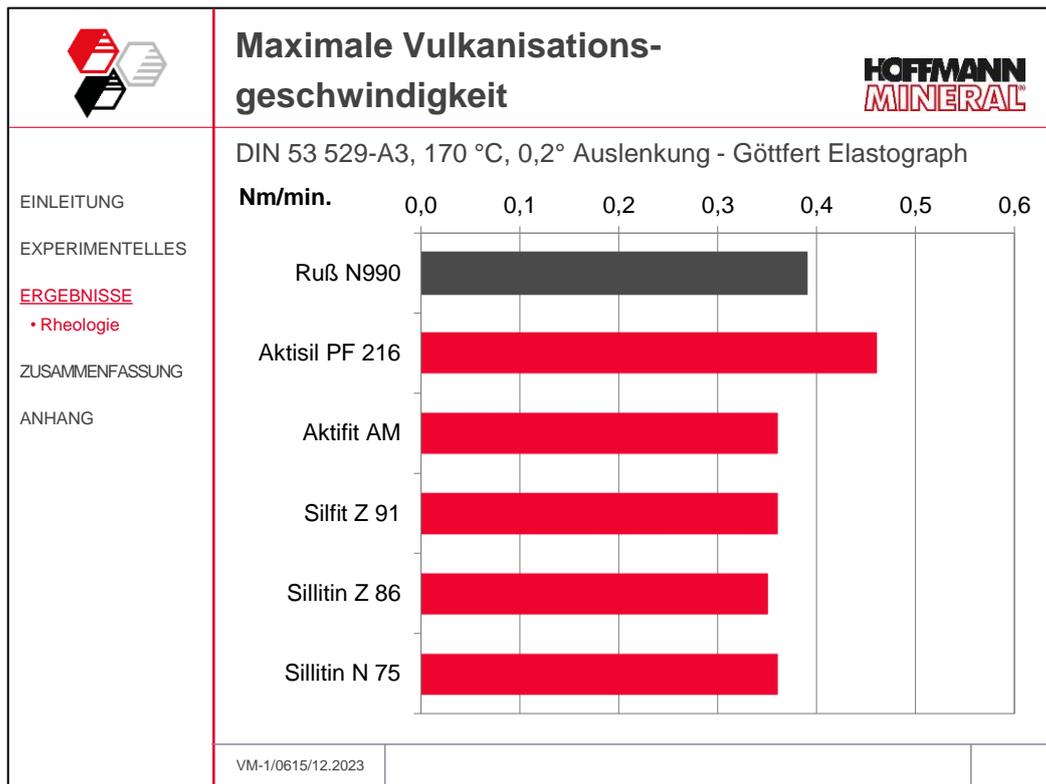
Ersetzt man Ruß N990 durch die benannten Kieselcerden verändert sich die Mooney-Viskosität kaum. Mit Aktifit AM und Silfit Z 91 wurde eine etwas niedrigere Mooney-Viskosität gemessen, wodurch ein leicht positiver Einfluss auf die Verarbeitbarkeit der Mischung zu erwarten ist (Abb. 2).



**Abb. 3**

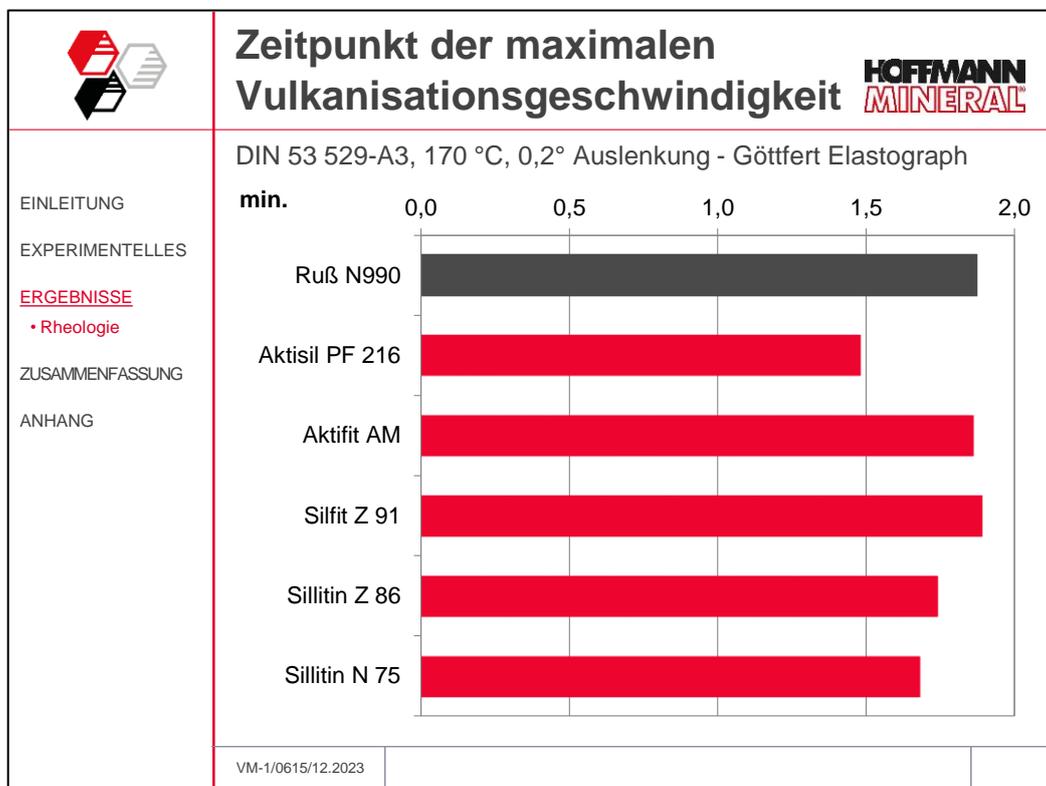
Die Mooney-Scorchzeit, als Maß für das Anvulkanisationsverhalten während der Verarbeitung, wird mit Aktifit AM, Silfit Z 91 und Sillitin Z 86 tendenziell leicht kürzer. Aktisil PF 216 und Sillitin N 75 zeigen kaum Einfluss (Abb. 3).

## 4.2 Vulkanisationsverhalten



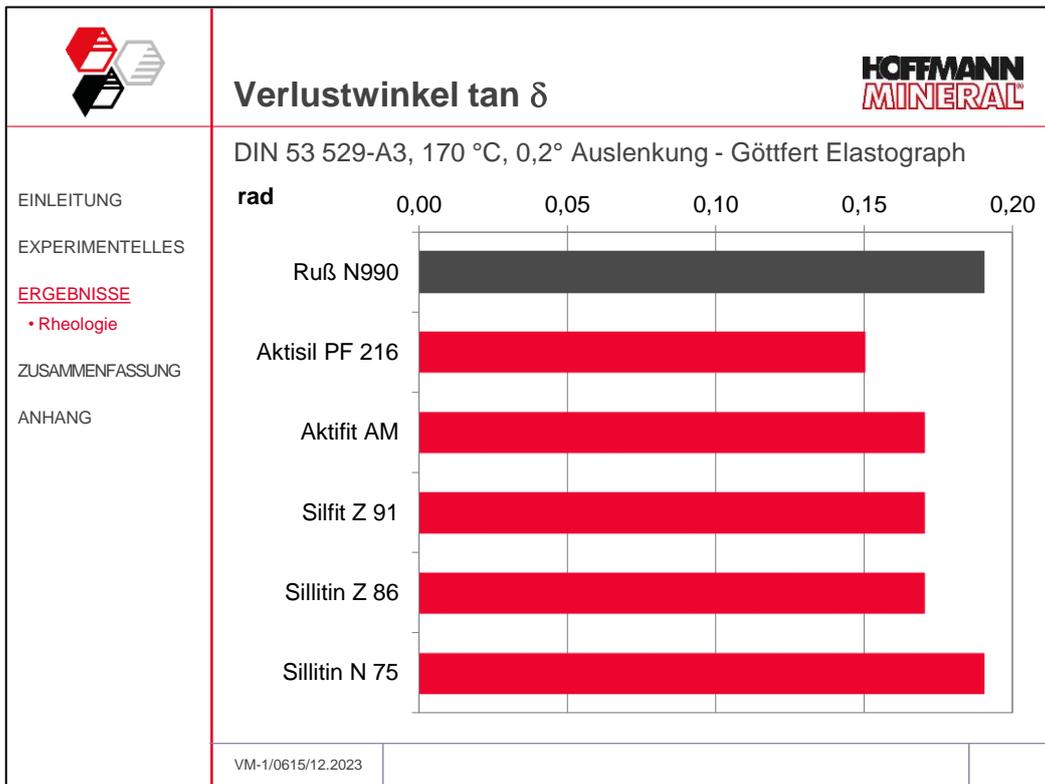
**Abb. 4**

Mit Aktisil PF 216 steigt die maximale Vulkanisationsgeschwindigkeit im Vergleich zur Mischung mit Ruß N990 deutlich an. Mit den restlichen Kiesel-erden wird der Höchstwert der Vulkanisationsgeschwindigkeit tendenziell niedriger (Abb. 4).



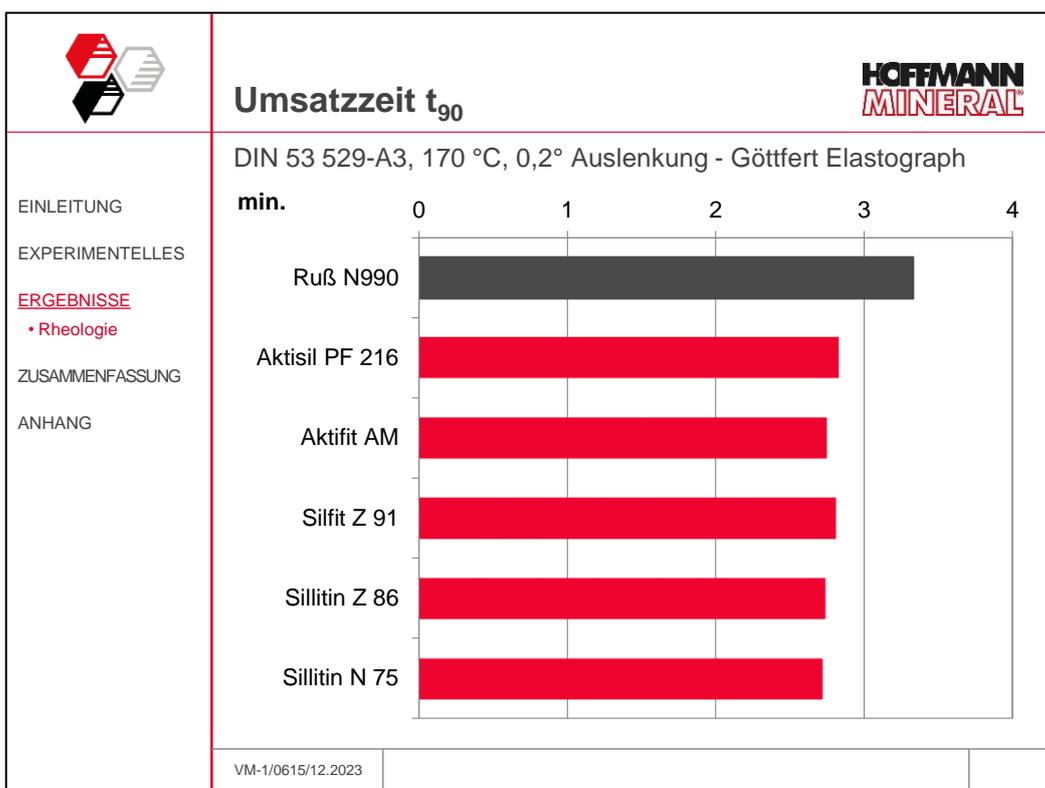
**Abb. 5**

Auch der Zeitpunkt der maximalen Vulkanisationsgeschwindigkeit wird mit Aktisil PF 216 deutlich schneller erreicht. Dagegen bewirken Sillitin Z 86 und Sillitin N 75 nur eine geringfügige Beschleunigung. Mit Aktifit AM und Silfit Z 91 wird er zum selben Zeitpunkt wie mit der Mischung mit N990 erreicht (Abb. 5).



**Abb. 6**

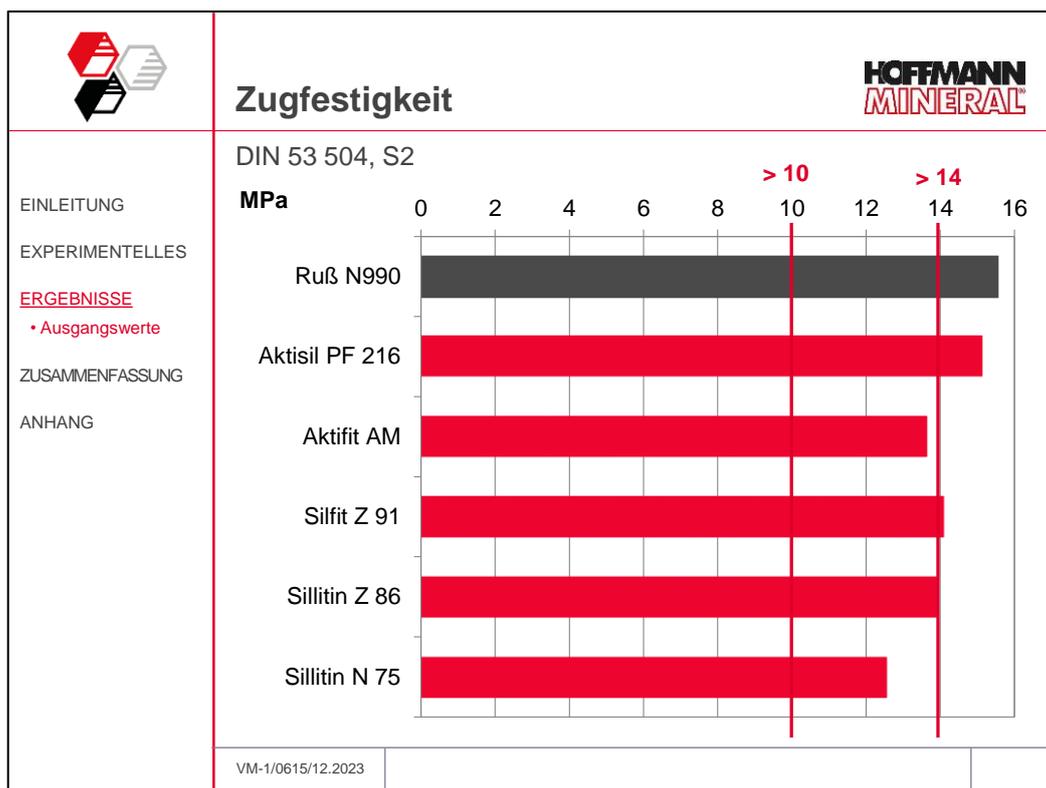
Der Verlustwinkel Tangens delta ist mit Aktifit AM, Silfit Z 91 und Sillitin Z 86 tendenziell niedriger, mit Aktisil PF 216 sogar deutlich niedriger. Sillitin N 75 bleibt auf demselben Niveau wie die reine Rußmischung (Abb. 6).



**Abb. 7**

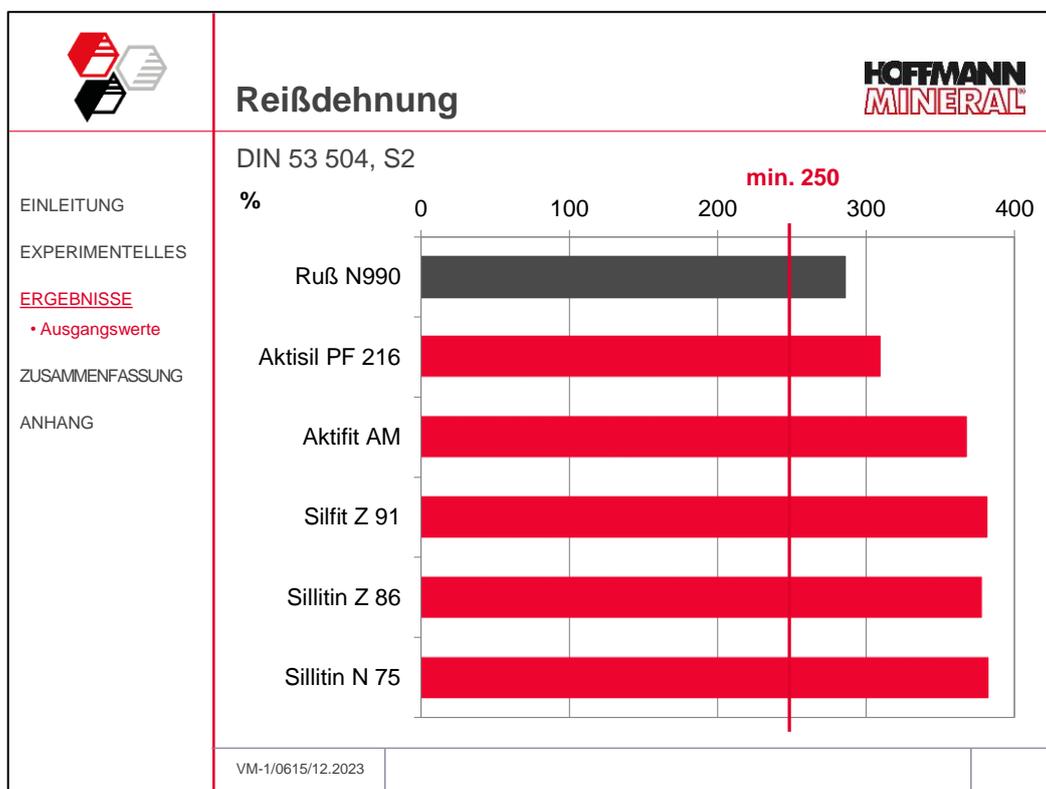
Die Umsatzzeit  $t_{90}$ , als Maß für die benötigte Ausvulkanisationszeit, wird durch die benannten Kieselerte-Typen in gleichem Maße verkürzt, was auch eine Verkürzung der Taktzeit ermöglichen sollte (Abb. 7).

### 4.3 Mechanische Eigenschaften, Ausgangswerte



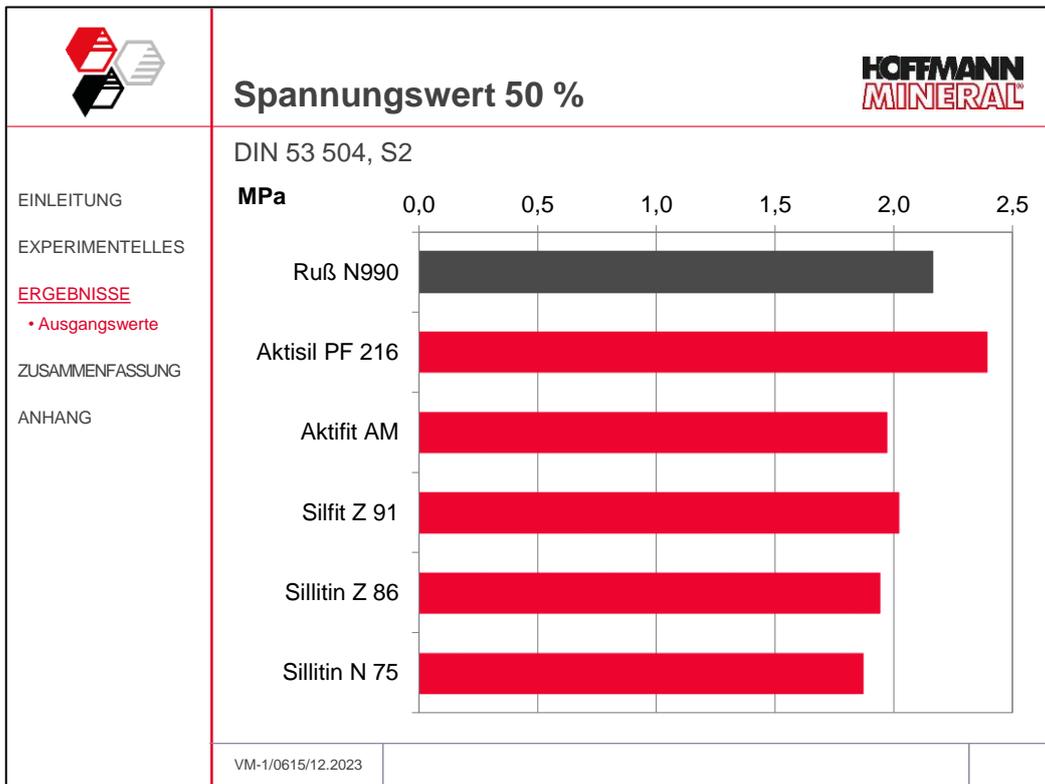
**Abb. 8**

In der Materialklasse CH bei einer Härteeinstellung von 70 +/- 5 Shore A, bestehen verschiedene Vorgaben an die Zugfestigkeit. Für eine Vielzahl der Anwendungen ist die Anforderung an die Zugfestigkeit von > 10 MPa ausreichend und wird mit allen Kiesel-erde-Produkten erfüllt. Die Anwendungen, die die nächsthöhere Bedingung von > 14 MPa erfüllen müssen, werden mit Aktisil PF 216 sogar noch übertroffen (Abb. 8).



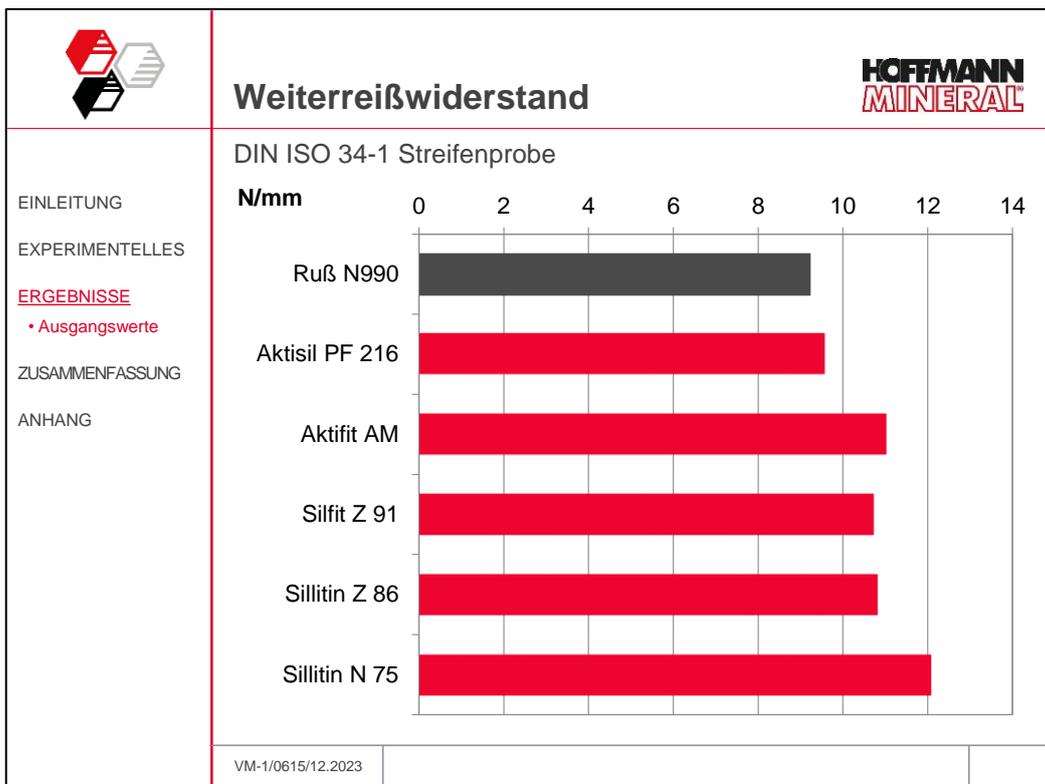
**Abb. 9**

Die Reißdehnung steigt mit allen Kiesel-erde-Varianten an und übertrifft das Anforderungsprofil der Norm noch deutlicher (Abb. 9).



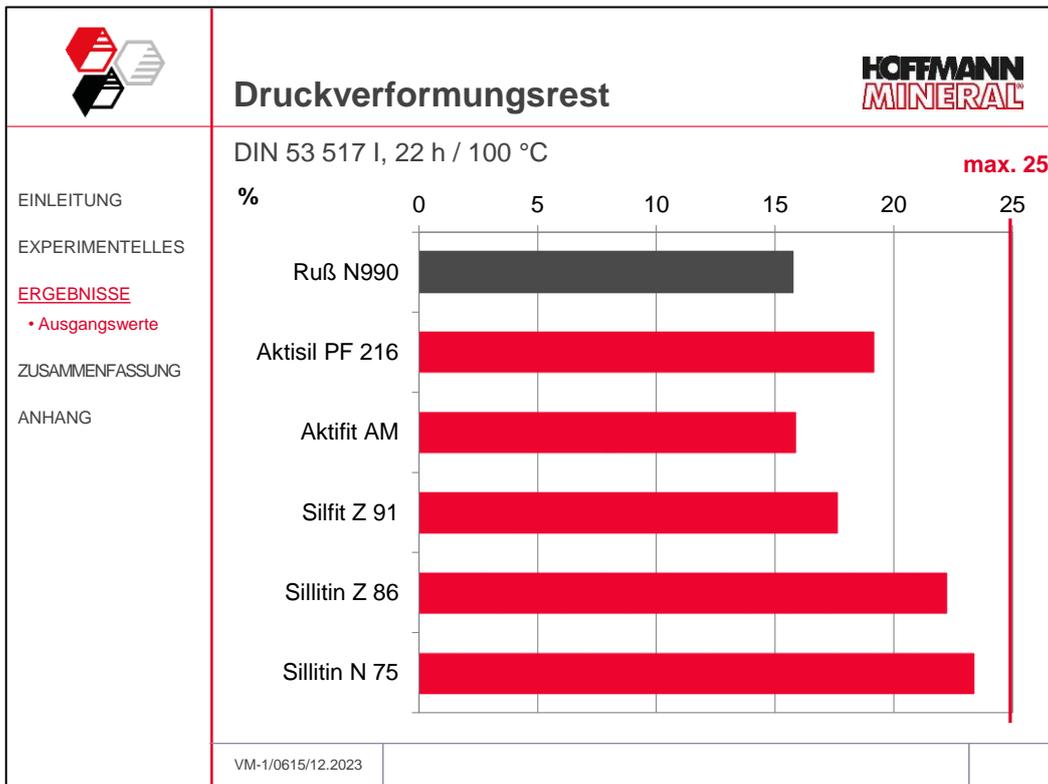
**Abb. 10**

Der Spannungswert wird mit Aktisil PF 216 etwas höher als mit Ruß N990. Mit den übrigen Kieselerte-Varianten erzielt man eher einen niedrigeren Spannungswert (Abb. 10).



**Abb. 11**

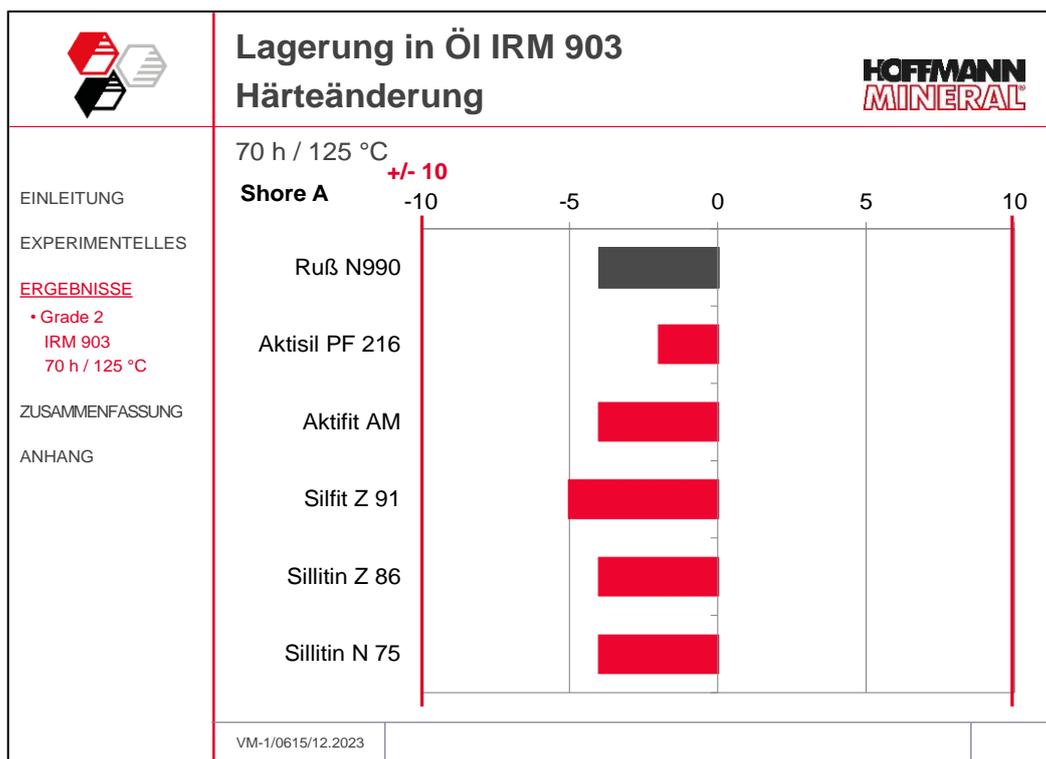
Der Weiterreißwiderstand steigt durch den Austausch von Ruß N990 gegen Aktisil PF 216 geringfügig, mit den restlichen oben benannten Kieselerte-Produkten deutlich an (Abb. 11).



**Abb. 12**

Aktifit AM ist auf demselben Niveau wie die reine Rußmischung und erzielt zusammen mit Silfit Z 91 das beste Ergebnis. Mit Sillitin Z 86, Sillitin N 75 und Aktisil PF 216 wird der Druckverformungsrest zwar höher, es befinden sich aber alle Ergebnisse innerhalb des Anforderungsprofils der Norm (Abb. 12).

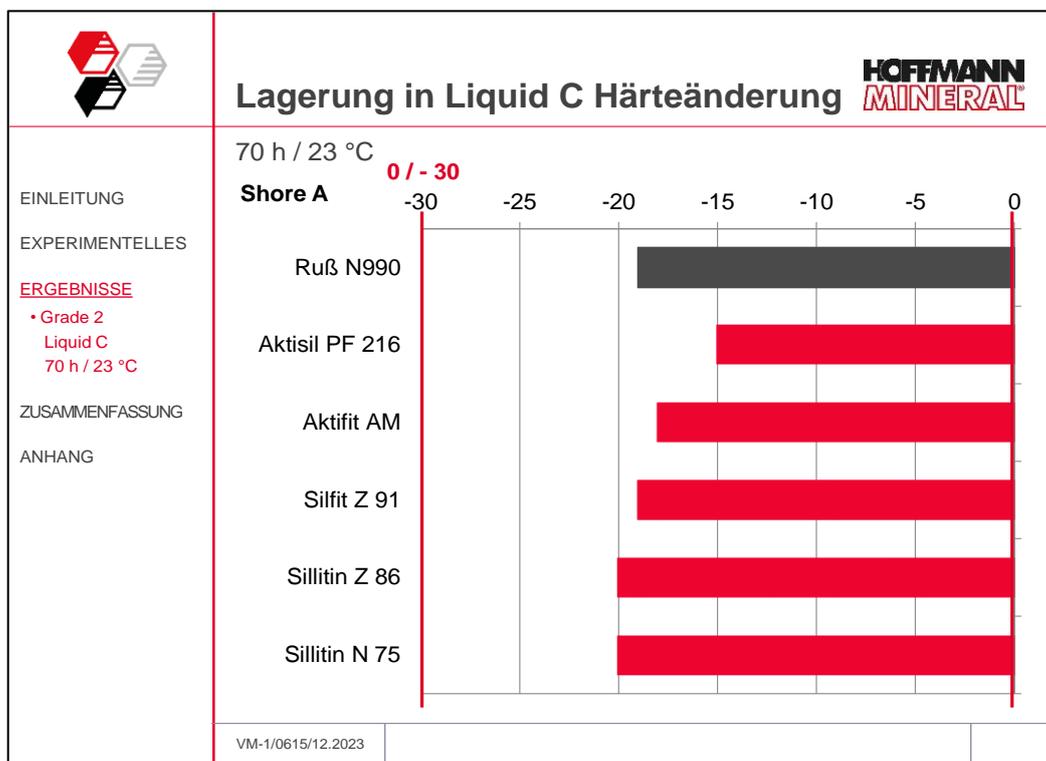
#### 4.4 Grade 2 - Lagerung in Öl IRM 903 bei 125 °C



**Abb. 13**

Als eine weitere Eigenschaft wurde die Ölbeständigkeit bei 125 °C mit dem aggressiven Norm-Öl IRM 903 geprüft. Die Härte nimmt mit Aktisil PF 216 am geringsten ab. Die restlichen Mischungen nehmen in gleichem Maße ab und bleiben somit auf dem Niveau der reinen Rußmischung (Abb. 13).

#### 4.5 Grade 2 - Lagerung in Referenzflüssigkeit Liquid C bei 23 °C



**Abb. 14**

Als eine weitere Eigenschaft wurde die Beständigkeit gegen Kraftstoff in Form von Liquid C gemäß ASTM D471 und entsprechend ISO 1817:2011 geprüft. Auch hier nimmt die Härte mit Aktisil PF 216 deutlich weniger ab als mit Ruß N990. Die übrigen Mischungen nehmen in gleichem Maße ab wie die reine Rußmischung (Abb. 14).

#### 4.6 Grade 3 - Lagerung in Öl IRM 903 bei 150 °C

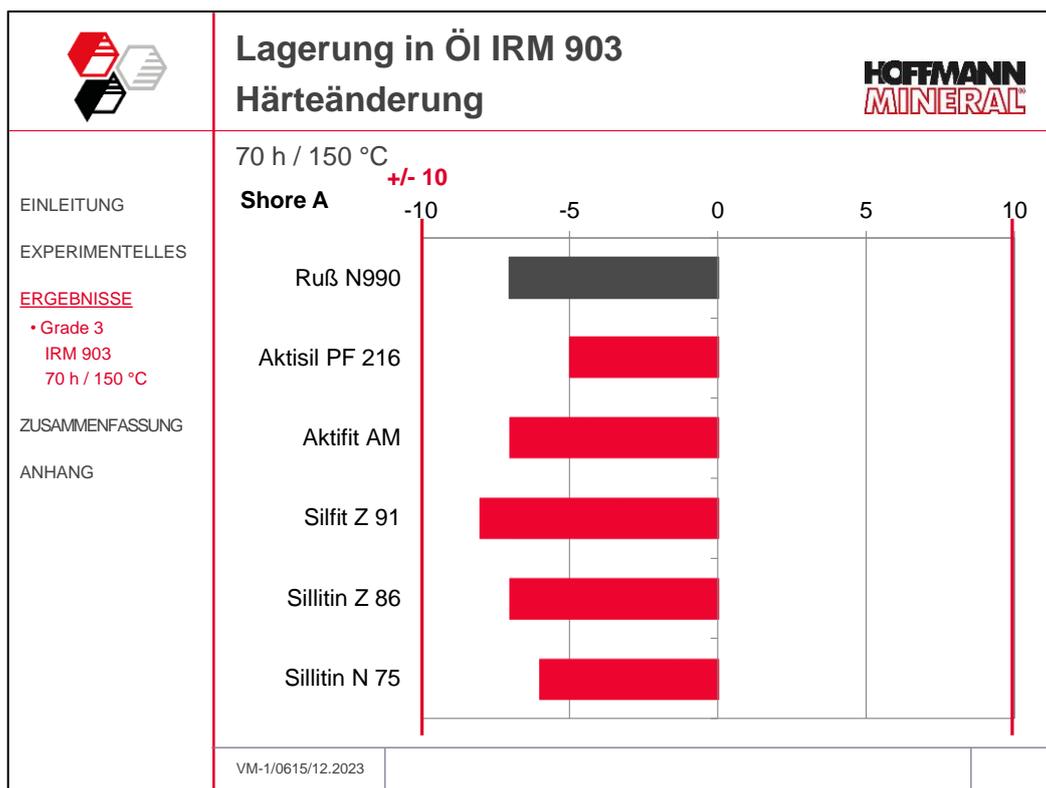


Abb. 15

Auch bei 150 °C wurde die Ölbeständigkeit mit dem aggressiven Norm-Öl IRM 903 geprüft. Aktisil PF 216 ruft hier ebenfalls eine deutlich niedrigere Härteänderung als der Ruß N990 hervor. Die restlichen Kieselerde-Produkte erfüllen ebenso problemlos die Anforderungen der Norm (Abb. 15).

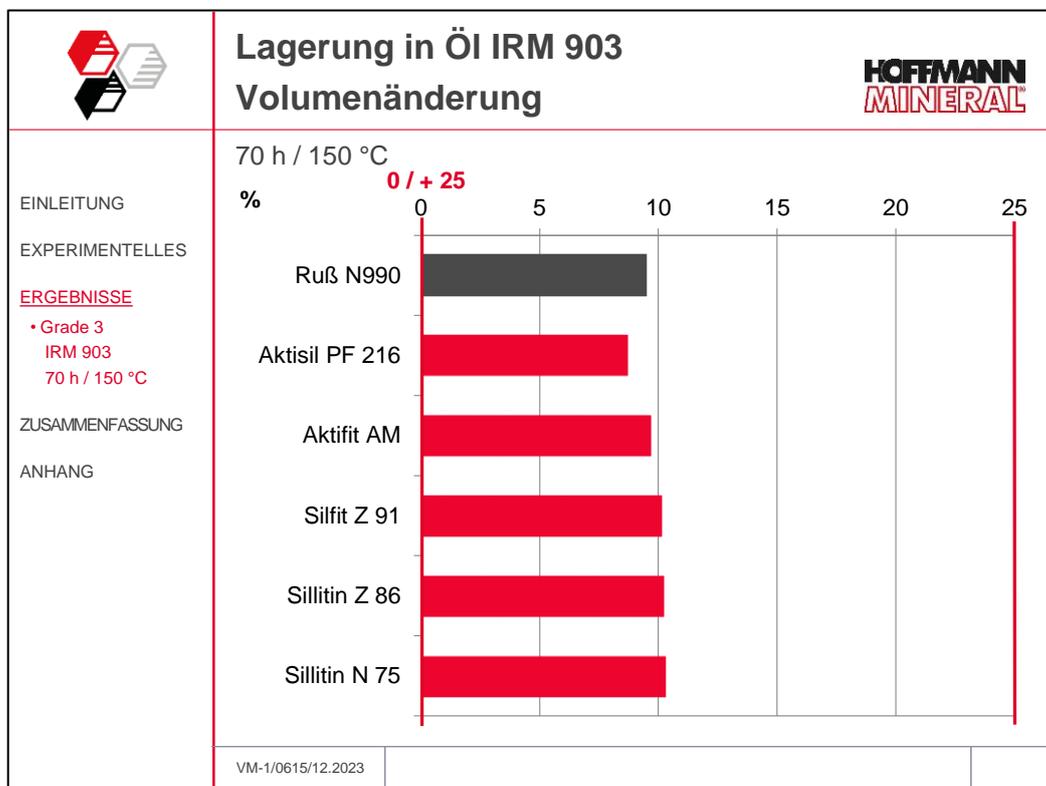
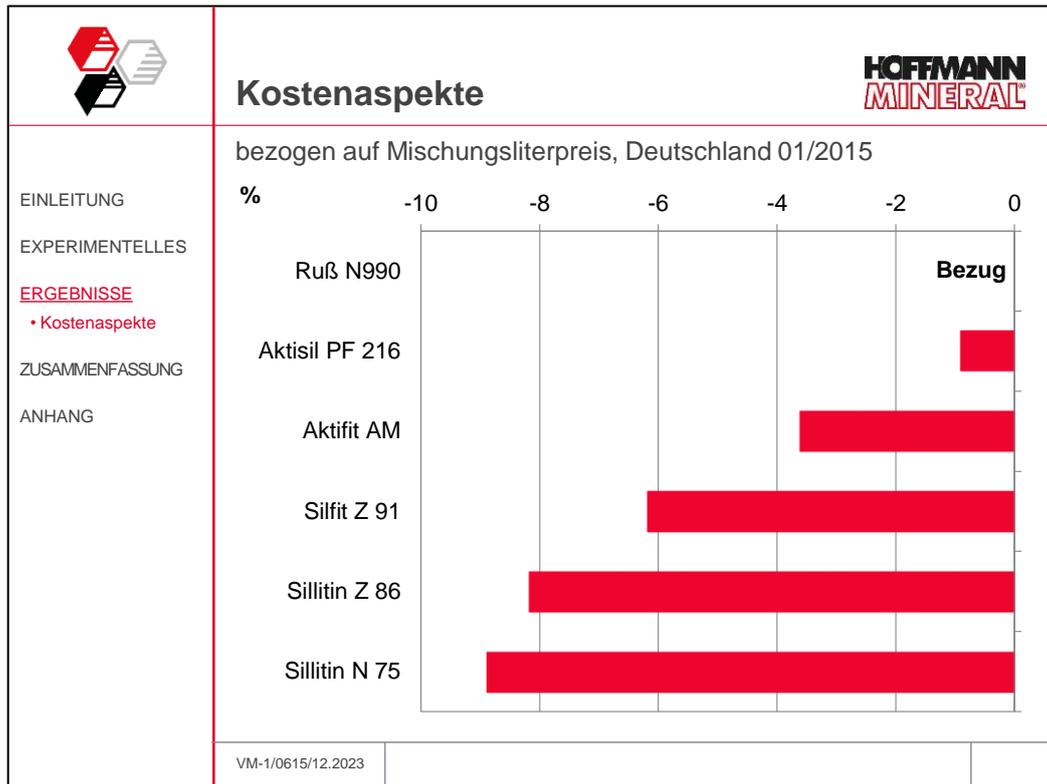


Abb. 16

Aktisil PF 216 ruft tendenziell geringere Volumenzunahme hervor als Ruß N990. Die Volumenänderung mit den übrigen Kieselerden ist nur marginal höher als die der reinen Rußmischung, ohne signifikante Unterschiede innerhalb der Produkte aufzuweisen (Abb. 16).

## 4.7 Kostenaspekte



**Abb. 17**

Mit den Kieselerde-Produkten erzielt man eine deutliche Senkung der Mischungsrohstoffkosten. Dies ist umso beachtlicher, da im angegebenen volumenbezogenen Mischungspreis die unterschiedliche Dichte gegenüber Ruß N990 bereits berücksichtigt wird.

So lässt sich mit Aktifit AM und Silfit Z 91 eine Kostenersparnis von rund 4 bzw. 6 % realisieren. Noch ausgeprägter kann mit Sillitin Z 86 und Sillitin N 75 eine Kostenreduzierung von bis zu 9 % erzielt werden. Mit Aktisil PF 216 erzielt man noch einen kleinen Preisvorteil (Abb. 17).

## 5 Zusammenfassung

Mit Aktisil PF 216 erzielt man gegenüber Ruß N990 neben verbessertem Vulkanisationsverhalten ( $t_{90}$ , Verlustwinkel  $\tan \delta$ ) und gleich hoher Zugfestigkeit, weniger Härteänderung nach Lagerung in Öl IRM 903 und Kraftstoff Liquid C.

Guter Druckverformungsrest und keine Formenverschmutzung charakterisieren die Wirkung von Aktifit AM und Silfit Z 91 bei einer Kostenersparnis von rund 4 bzw. 6 %.

Sowohl durch Sillitin Z 86, als auch durch Sillitin N 75, kann mit geringen Werteveränderungen eine Kostenreduzierung von bis zu 9 % erzielt werden.

Um ein ausbalancieren der physikalischen Eigenschaften und Kostensituation zu erreichen, bietet sich eine Kombination von Sillitin und Aktisil PF 216 an. So erzielt beispielsweise eine 50:50 Kombination ein Eigenschaftsprofil, das mehr zu dem des Aktisil PF 216 tendiert.

Hohe Verfügbarkeit und zuverlässige Lieferung der Kieselerde-Produkte sind weitere wichtige Argumente.

- Fazit:** Ruß N990 lässt sich
- mit technischen Vorteilen durch Aktisil PF 216 ersetzen.
  - kostensenkend mit weiteren Kieselerde-Produkten ersetzen.

*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.*

## 6 Anhang - Ergebnisse ohne deutliche Effekte

Im Anhang werden weitere Ergebnisse ohne deutliche durch den Füllstoffaustausch hervorgerufene Effekte dargestellt, die im Einzelnen sind:

Ausgangswerte: Drehmoment min./max., Umsatzzeit  $t_5$ , Härte und Rückprallelastizität

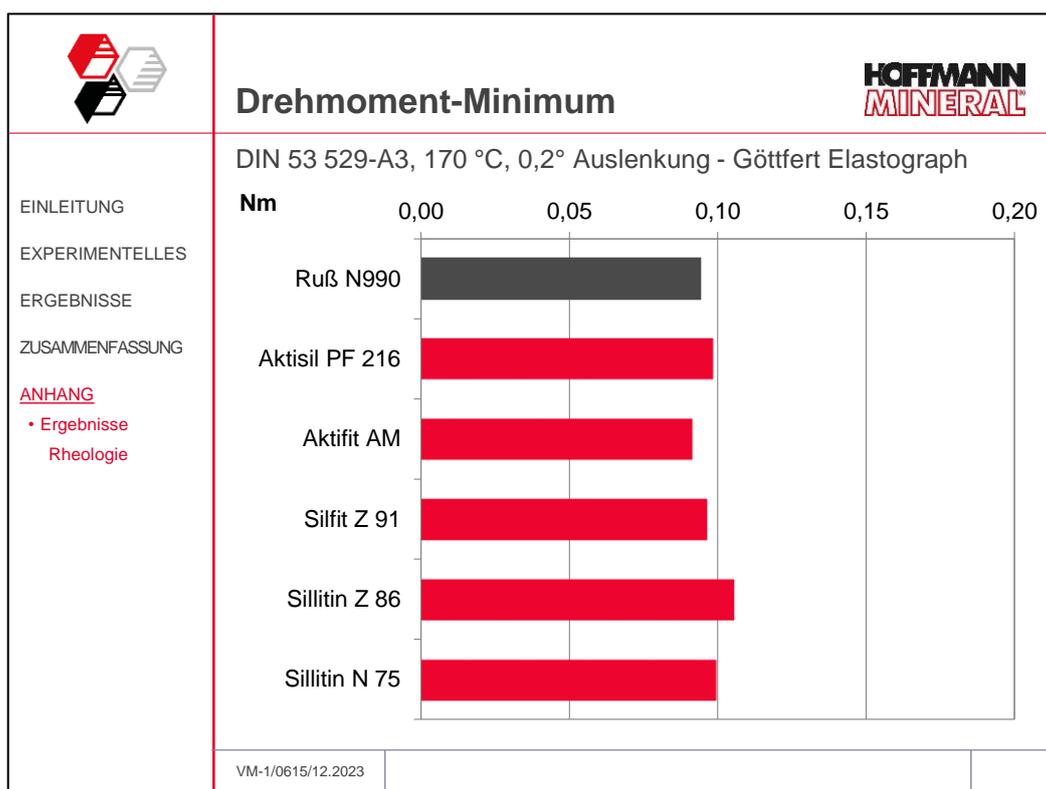
Lagerung in IRM 901 und IRM 903: 70 h bei 125 °C und 150 °C

Lagerung in Liquid C: 70 h bei 23 °C

Alterung in Heißluft: 70 h bei 125 °C

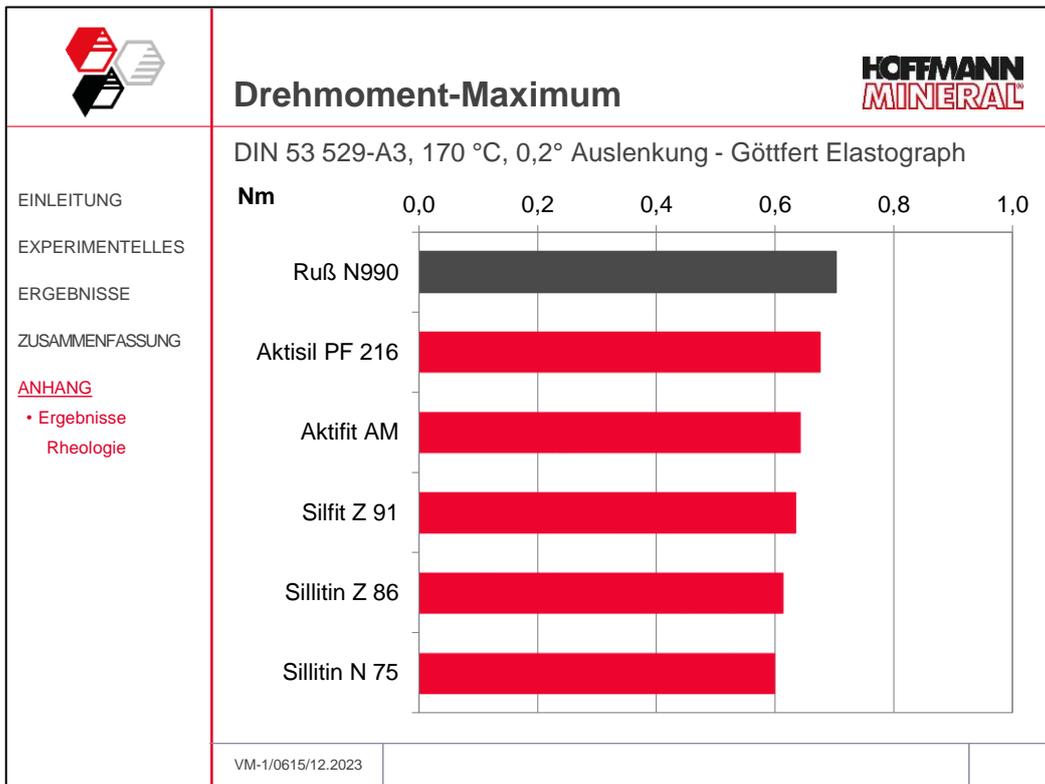
Es erfüllen alle Mischungen mit den unterschiedlichen Kieselerte-Produkten die Anforderungen der ASTM D2000-08.

### 6.1 Vulkanisationsverhalten



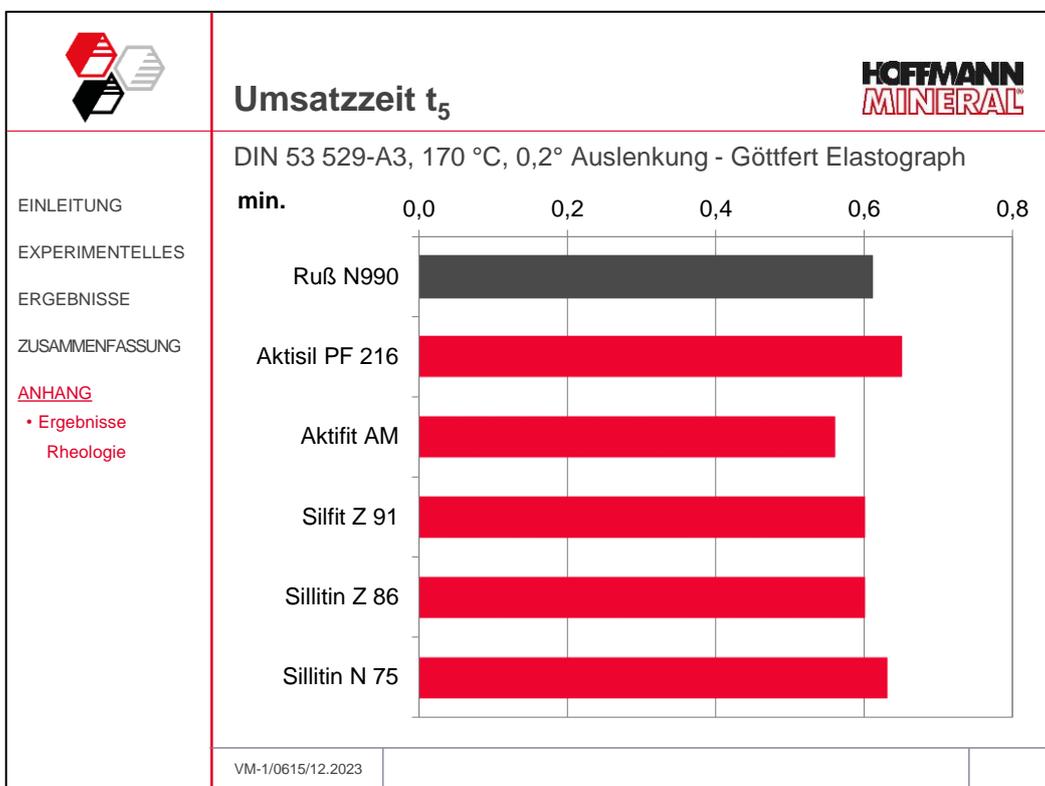
**Abb. 18**

Ersetzt man Ruß N990 durch Kieselerte bleibt das Drehmoment-Minimum bei der Vulkameter-Prüfung in etwa auf demselben Niveau (Abb. 18).



**Abb. 19**

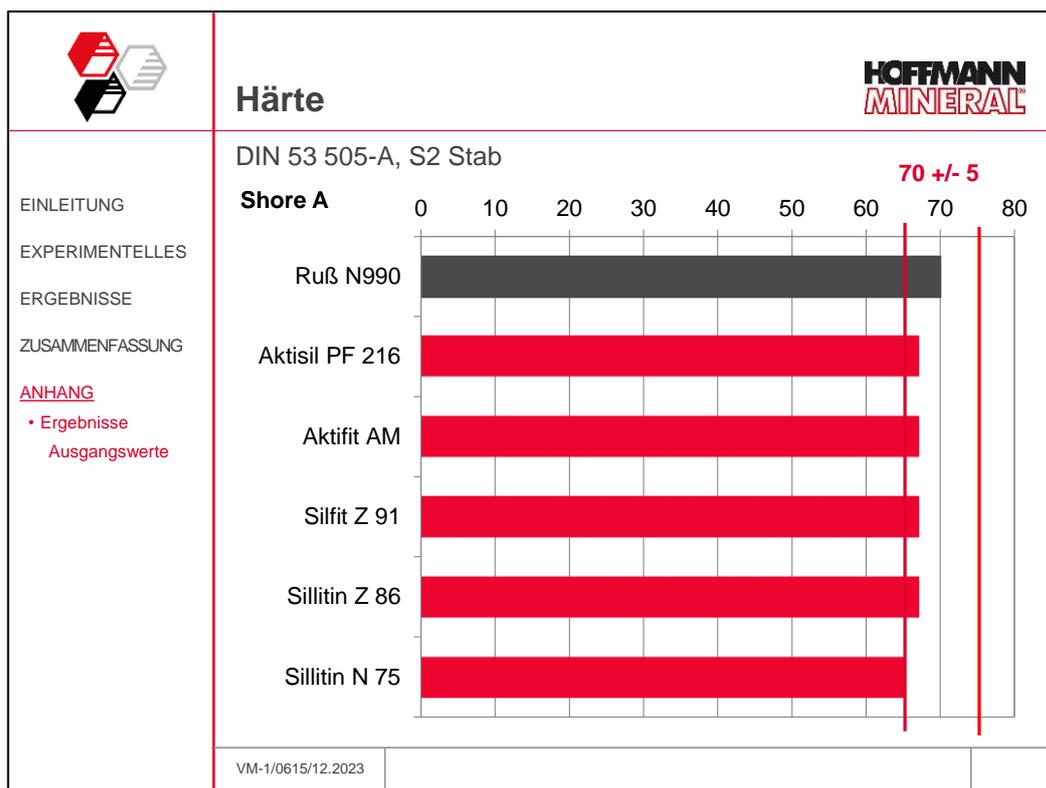
Auch das Drehmoment-Maximum wird durch den Ersatz von Ruß N990 durch Kieselerde etwas niedriger. Aktisil PF 216 erreicht am nächsten das Niveau der reinen Rußmischung (Abb. 19).



**Abb. 20**

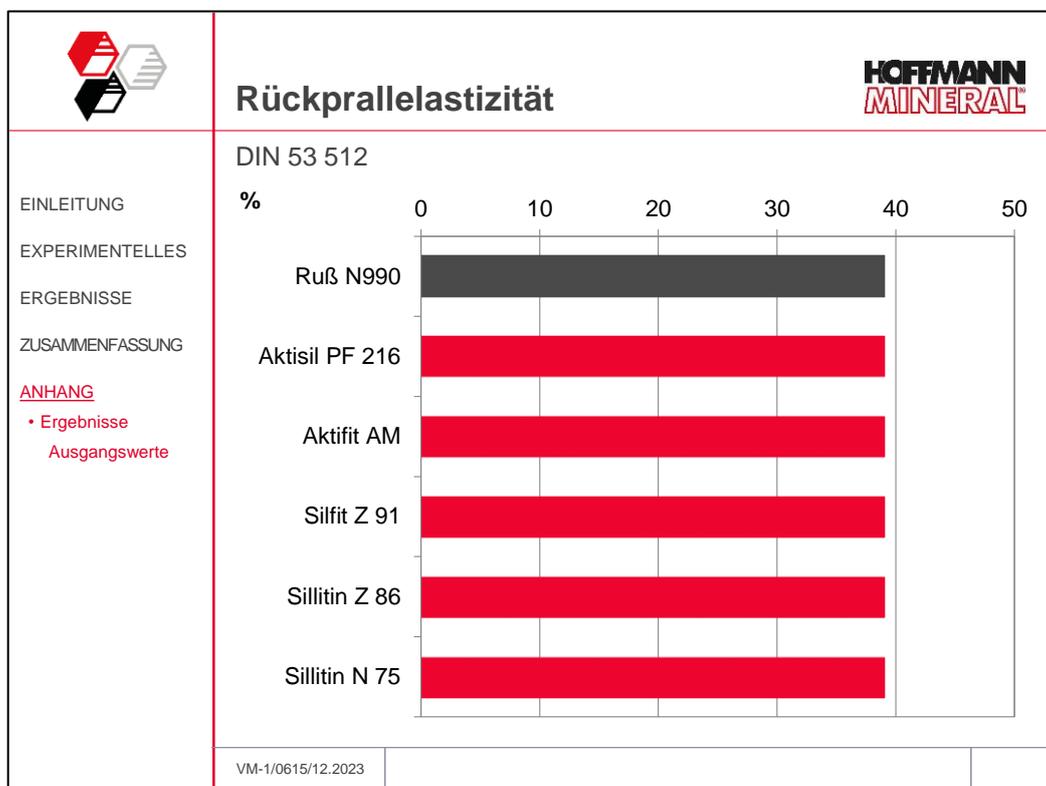
Mit den unbehandelten Kieselerden ist die Umsatzzeit  $t_5$  auf dem Niveau der Mischung mit Ruß N990. Mit Aktifit AM wird sie tendenziell kürzer, mit Aktisil PF 216 dagegen etwas länger (Abb. 20).

## 6.2 Mechanische Eigenschaften, Ausgangswerte



**Abb. 21**

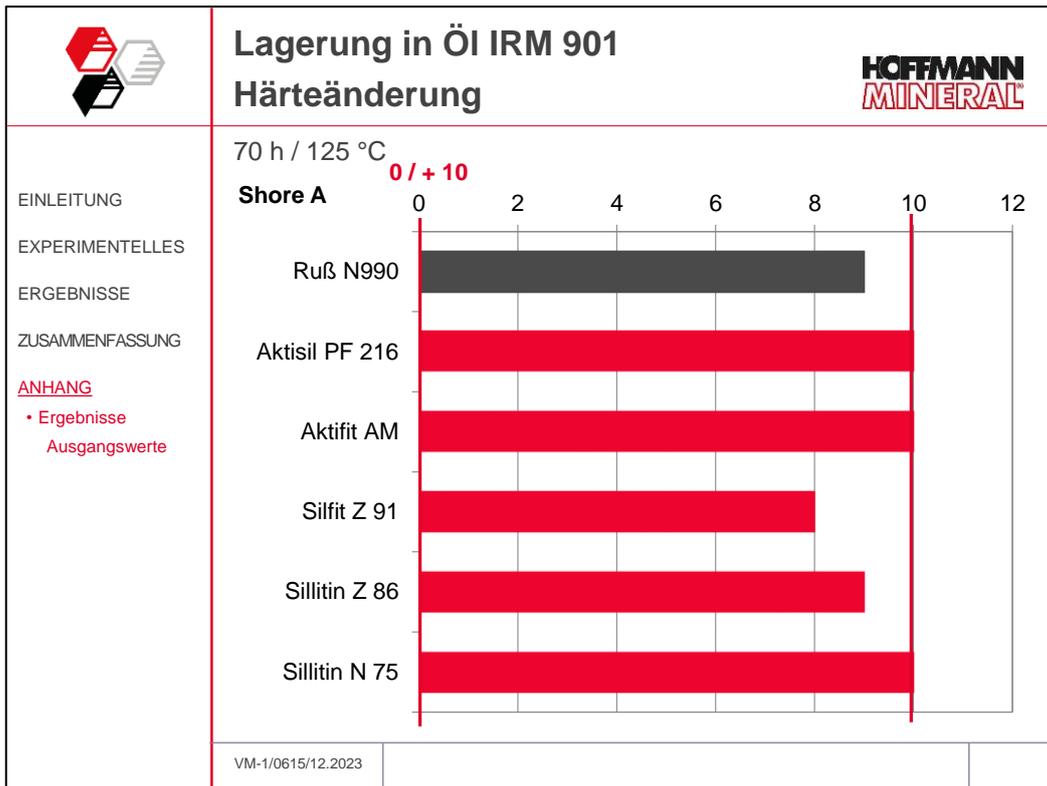
Die Rezepturvarianten wurden härtegleich auf etwa 70 Shore A eingestellt. Mit dem Austauschverhältnis von 1:1 wird die Härte bei den Kieselerde-Varianten etwas niedriger, liegt aber noch innerhalb der Toleranz (Abb. 21).



**Abb. 22**

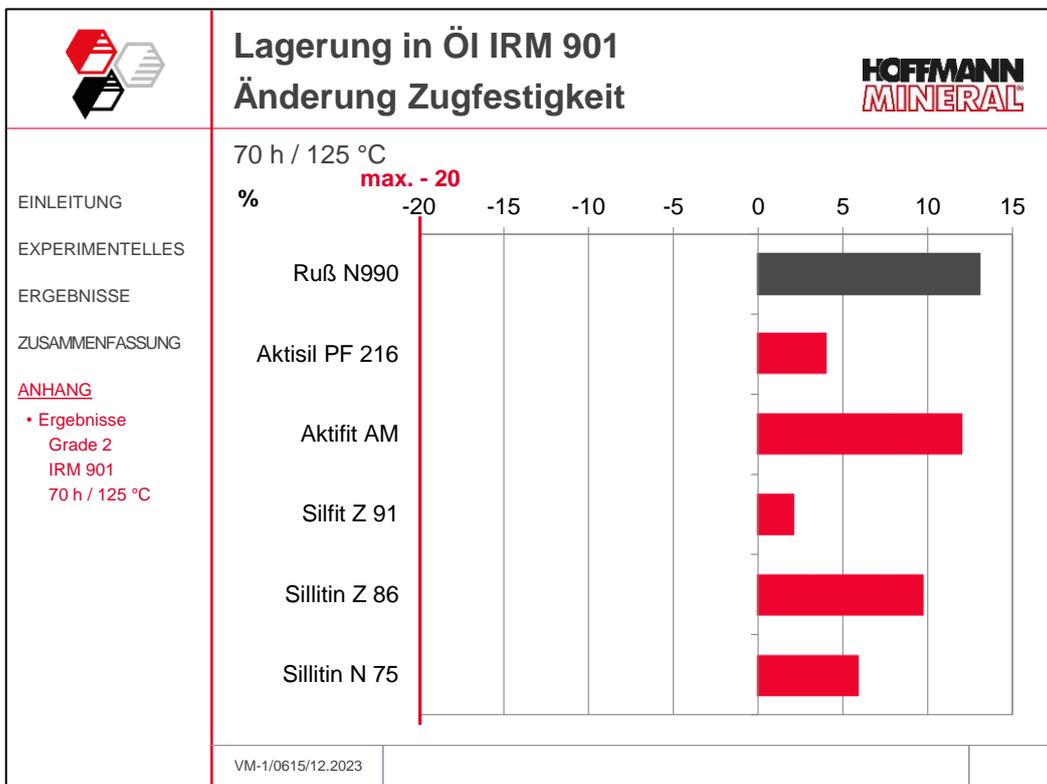
Die Rückprallelastizität unterscheidet sich durchgehend nicht voneinander (Abb. 22).

### 6.3 Grade 2 - Lagerung in Öl IRM 901 bei 125 °C



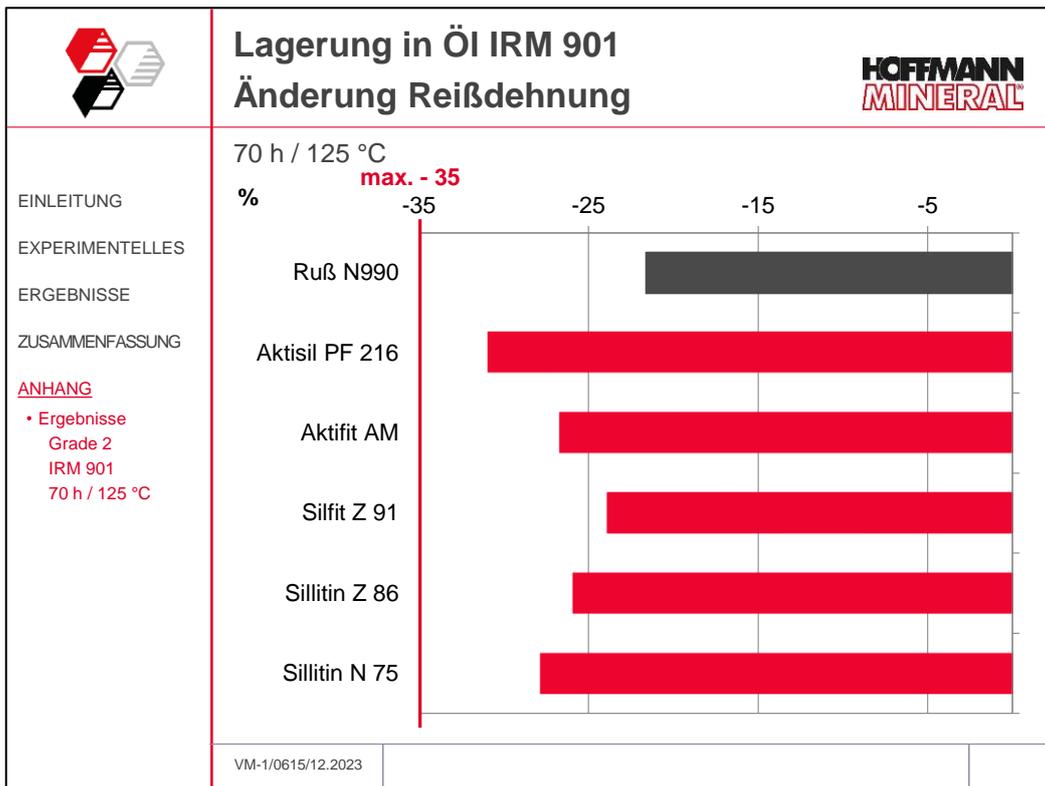
**Abb. 23**

Neben der Ölbeständigkeit in dem Norm-Öl IRM 903 wurden auch bei 125 °C in dem Norm-Öl IRM 901 die vorgegebenen Eigenschaften abgeprüft. Die Härten verändern sich bei allen Mischungen im Vergleich zum Ruß um +/- 1 Shore und befinden sich gerade noch so im Anforderungsprofil der Norm (Abb. 23).



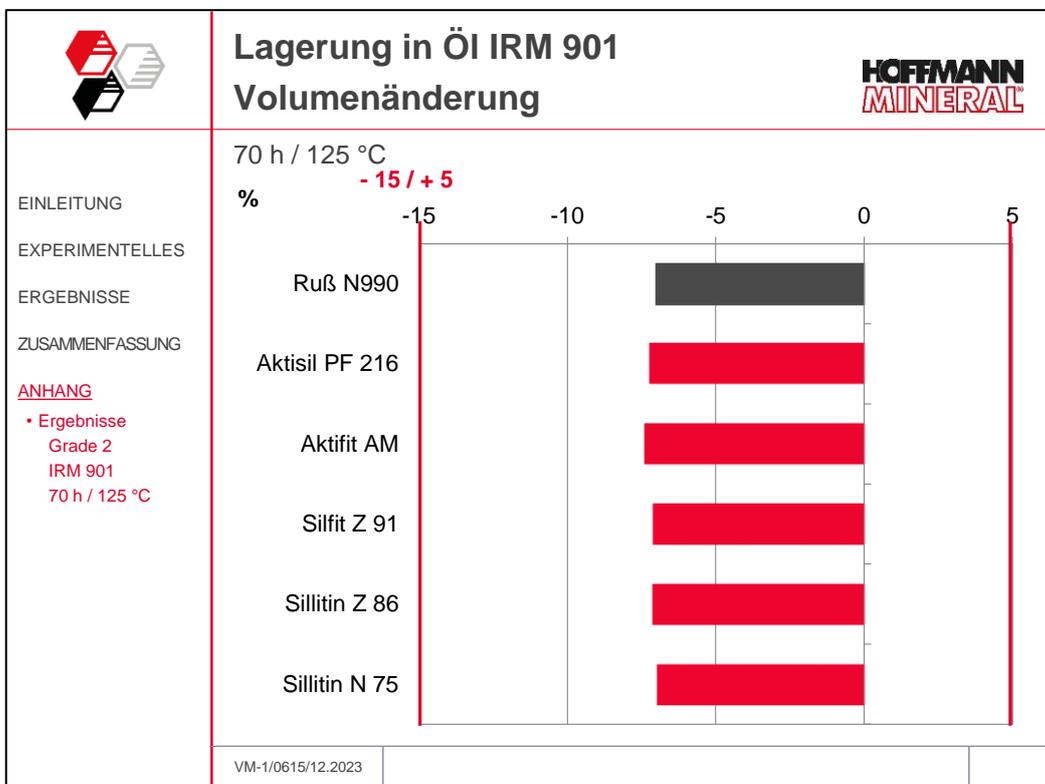
**Abb. 24**

Die Änderung der Zugfestigkeit unterscheidet sich nur geringfügig vom Verhalten der reinen Rußmischung. Aber auch hier erreichen alle Mischungen wieder ohne Einschränkung das Anforderungsprofil der Norm (Abb. 24).



**Abb. 25**

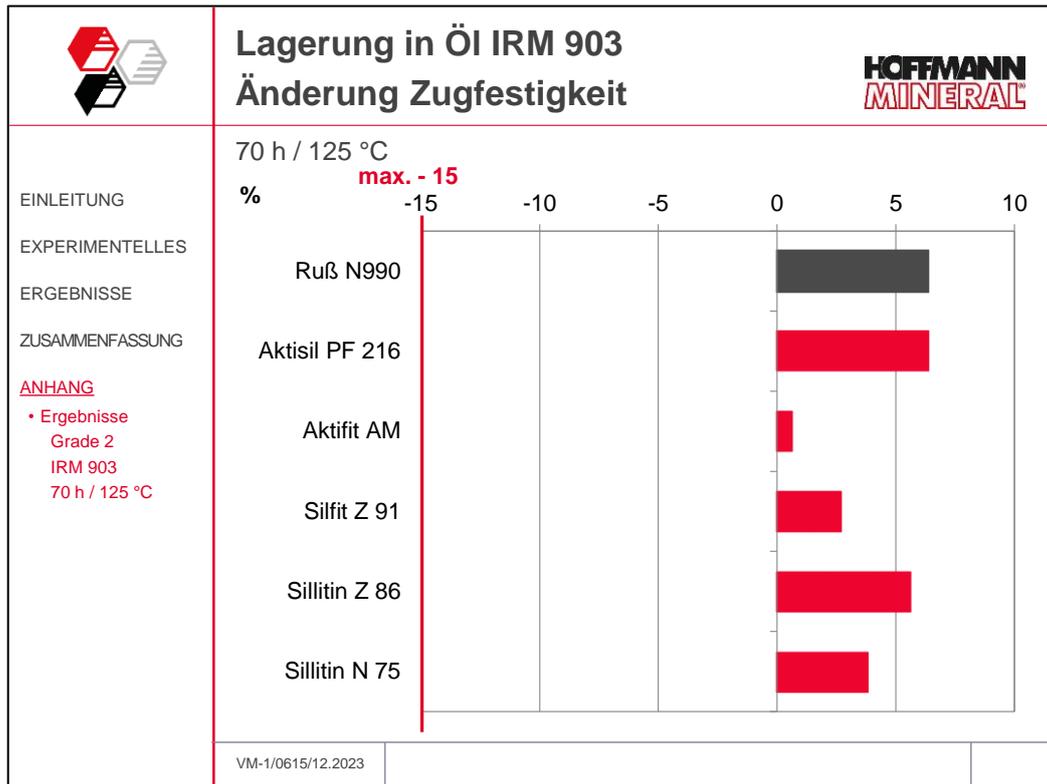
Die Änderung der Reißdehnung ist mit den benannten Kieselerte-Varianten zwar grundsätzlich höher als mit Ruß N990, es wird aber noch mit allen Mischungen durchgängig das Anforderungsprofil der Norm erfüllt (Abb. 25).



**Abb. 26**

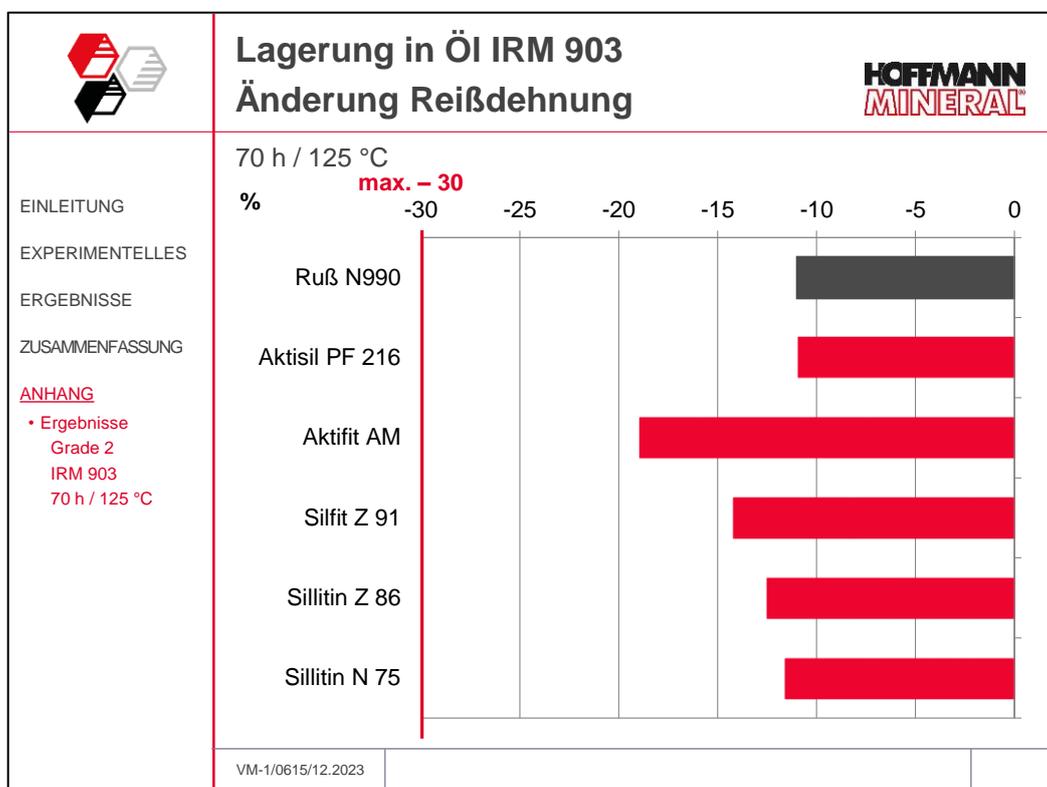
Die Volumenänderung mit den Kieselerten befindet sich auf demselben Niveau wie bei der reinen Rußmischung, ohne signifikante Unterschiede innerhalb der Produkte aufzuweisen und erfüllt ohne Weiteres die Norm (Abb. 26).

## 6.4 Grade 2 - Lagerung in Öl IRM 903 bei 125 °C



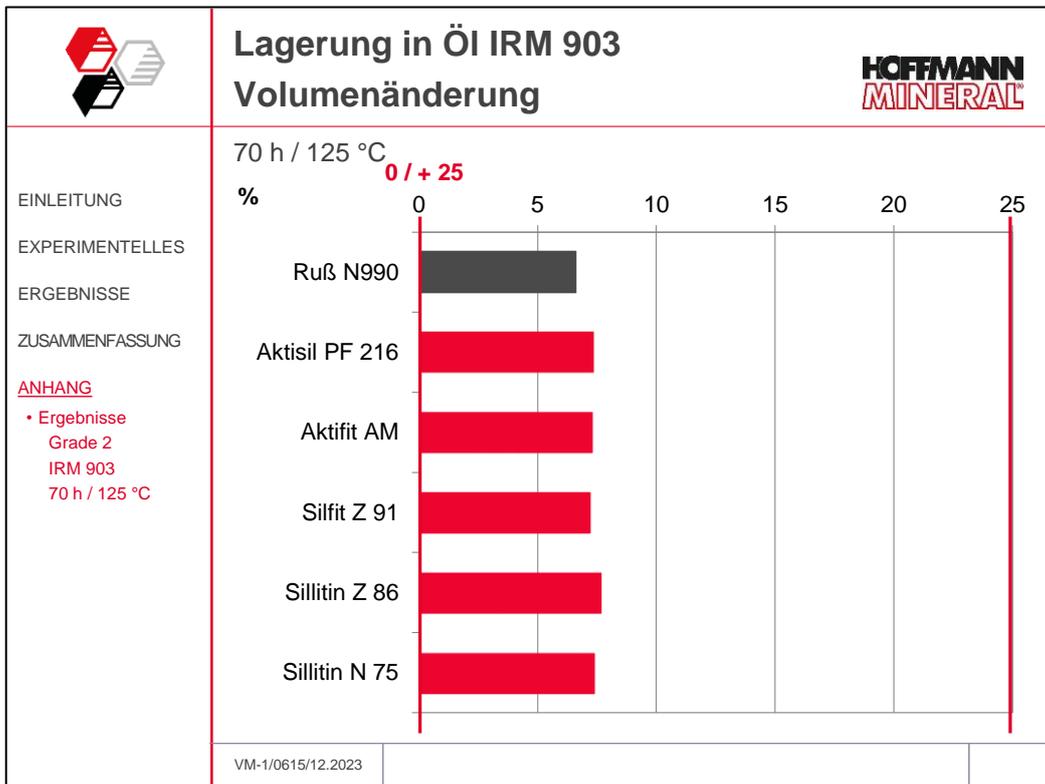
**Abb. 27**

Die Zugfestigkeit verändert sich weitgehend gleichartig bei allen Mischungen. Es erfüllen alle Mischungen sehr deutlich das Anforderungsprofil der Norm (Abb. 27).



**Abb. 28**

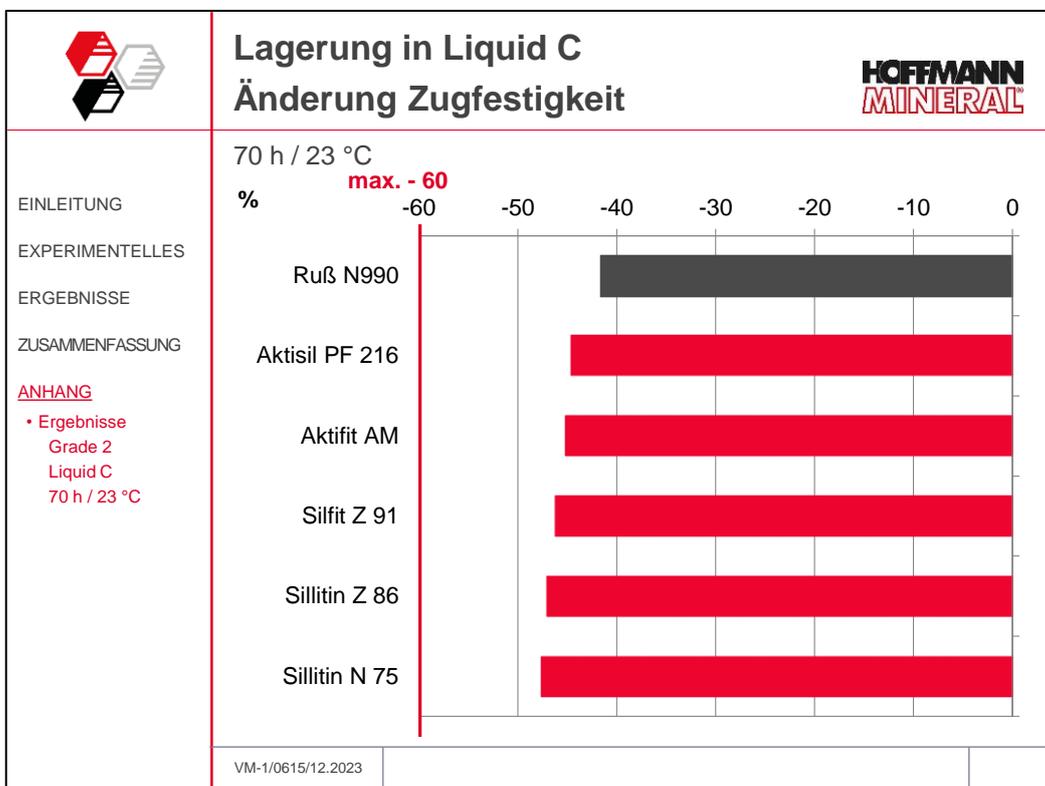
Die Änderung der Reißdehnung der Kieselerte-Varianten ist mit Ausnahme von Aktifit AM auf dem Niveau der reinen Rußmischung. Das Anforderungsprofil der Norm kann jedoch mit allen Mischungen problemlos erfüllt werden (Abb. 28).



**Abb. 29**

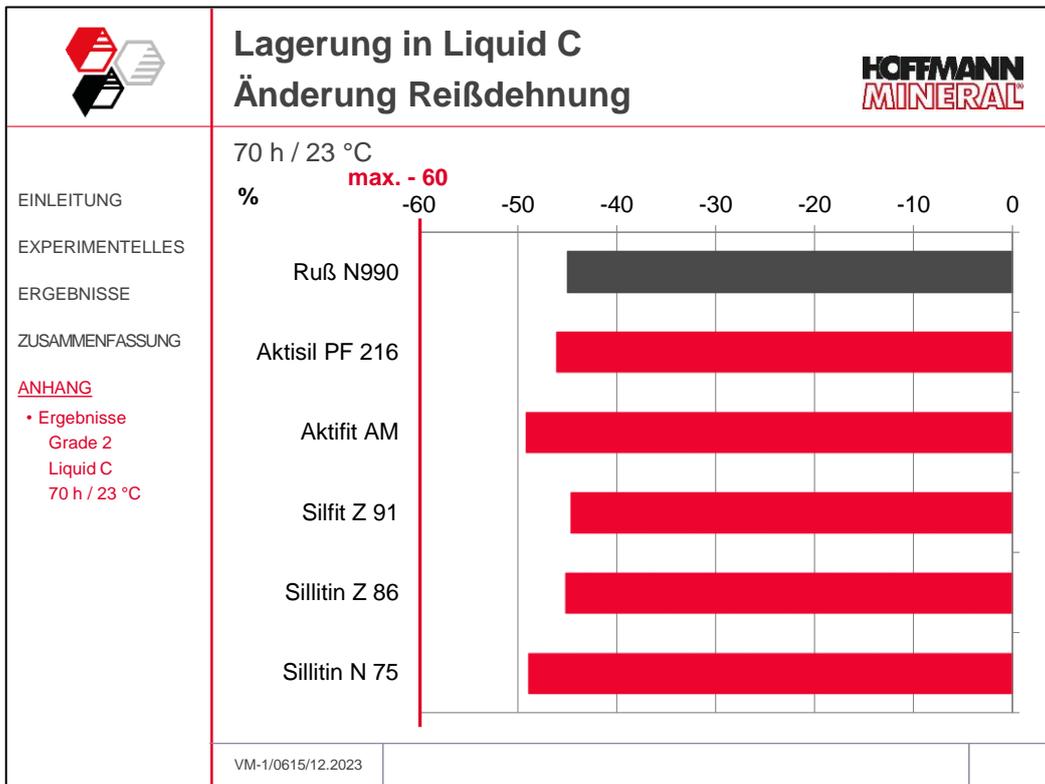
Die Volumenänderung mit den Kieselerden bleibt auf dem Niveau der reinen Rußmischung, ohne signifikante Unterschiede innerhalb der Produkte aufzuweisen. Ein Erreichen der Normvorgaben ist ohne Einschränkung möglich (Abb. 29).

## 6.5 Grade 2 - Lagerung in Liquid C bei 23 °C



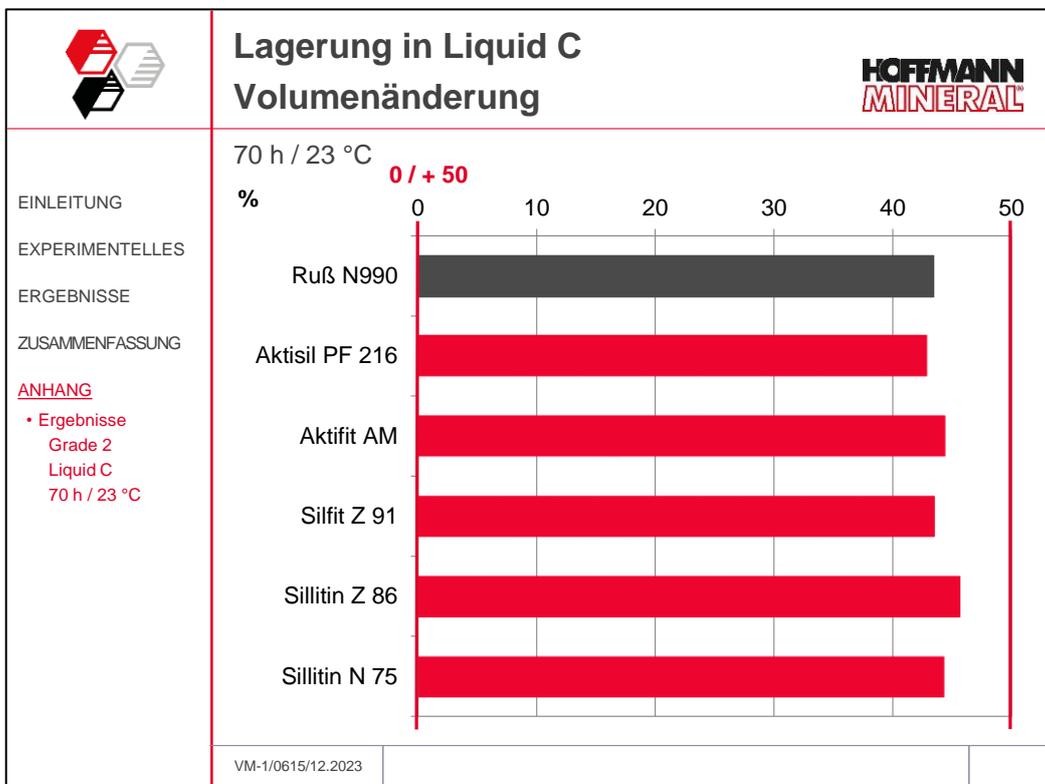
**Abb. 30**

Auch die Änderung der Zugfestigkeit unterscheidet sich kaum von den Kieselerde-Varianten und befindet sich noch sicher innerhalb der Norm (Abb. 30).



**Abb. 31**

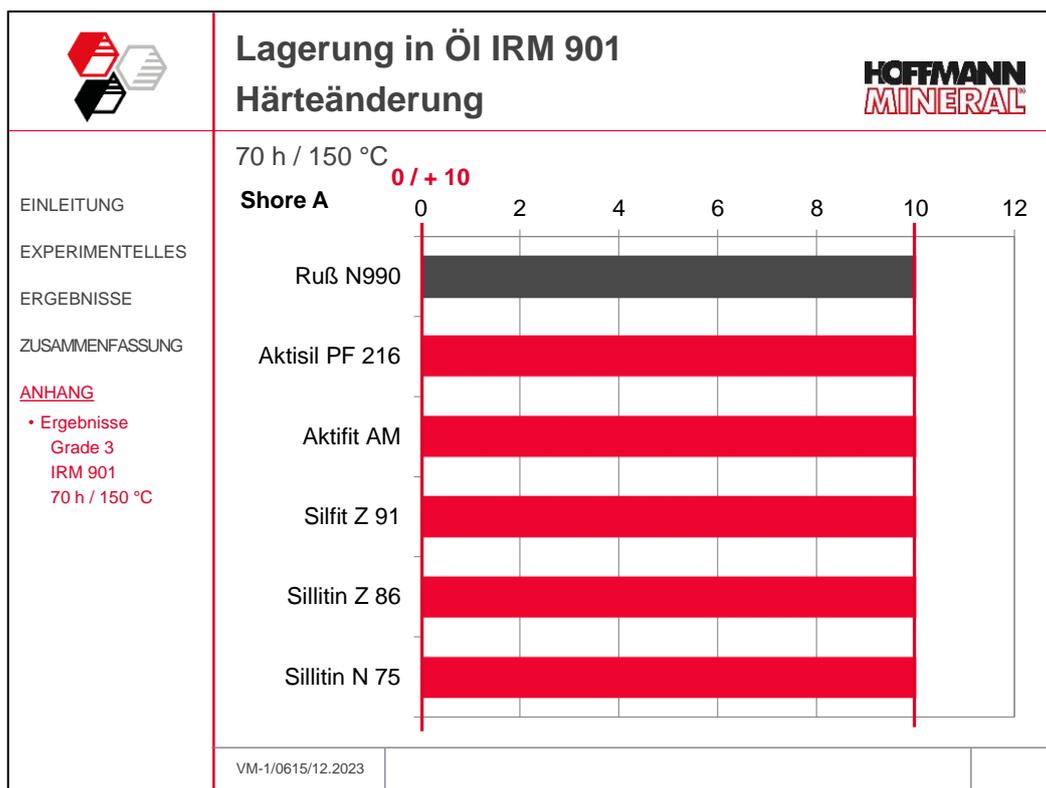
Die Änderung der Reißdehnung fällt mit den Kieselerten etwa gleich aus wie bei der reinen Rußmischung. Ebenfalls sind hier die Anforderungen der Norm mit großer Sicherheit erfüllt (Abb. 31).



**Abb. 32**

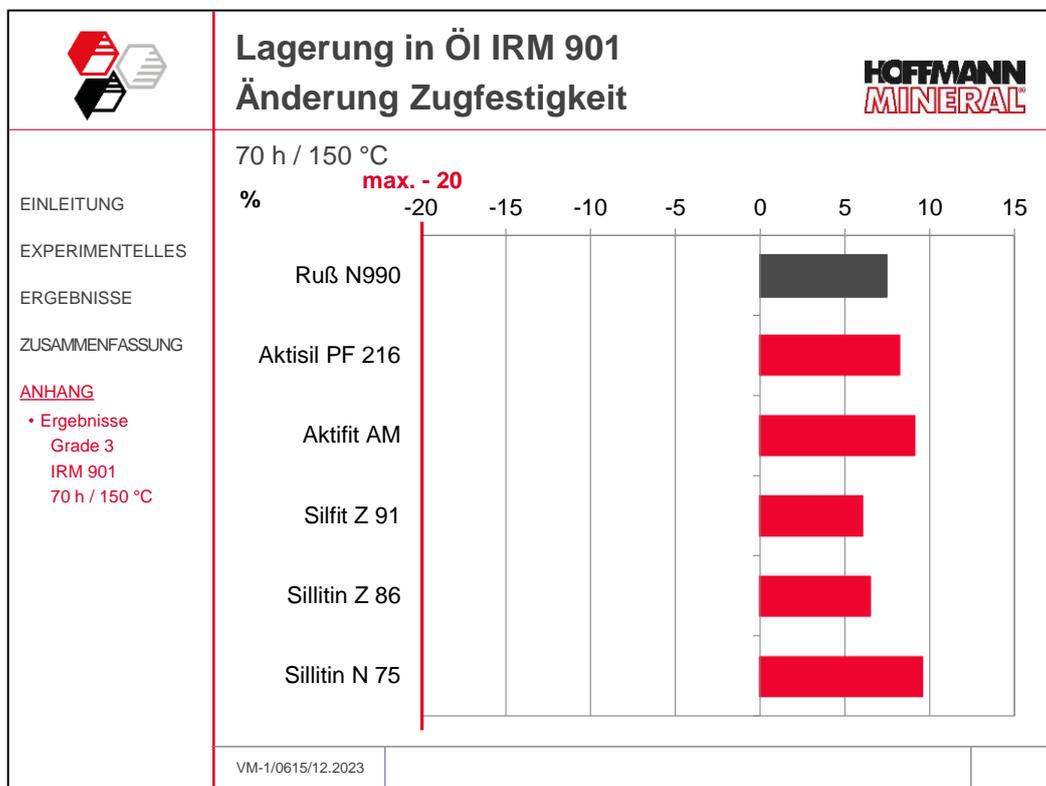
Die Volumenänderung mit den Kieselerten ist auf dem Niveau der reinen Rußmischung und erfüllt das Anforderungsprofil der Norm (Abb. 32).

## 6.6 Grade 3 - Lagerung in Öl IRM 901 bei 150 °C



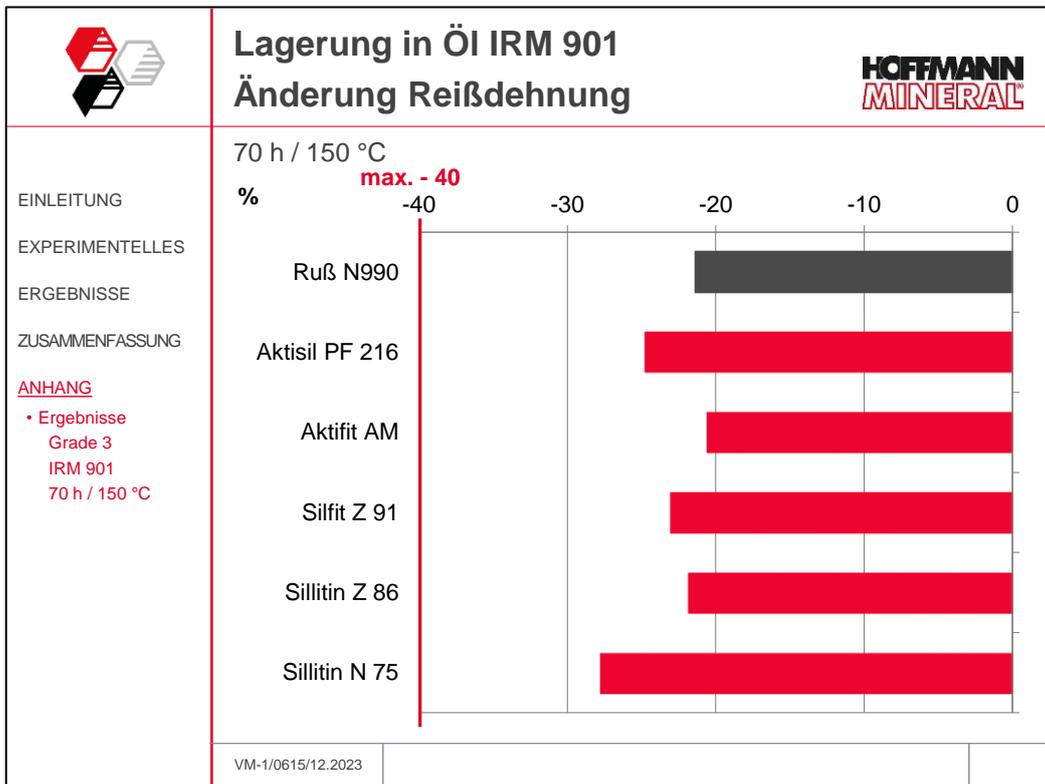
**Abb. 33**

Neben der Ölbeständigkeit in dem Norm-Öl IRM 903 wurden auch bei 150 °C in dem Norm-Öl IRM 901 vorgegebene Eigenschaften abgeprüft. Die Härte nimmt bei allen Mischungen in gleichem Maße zu und erfüllt gerade noch so die vorgegebenen Normanforderungen (Abb. 33).



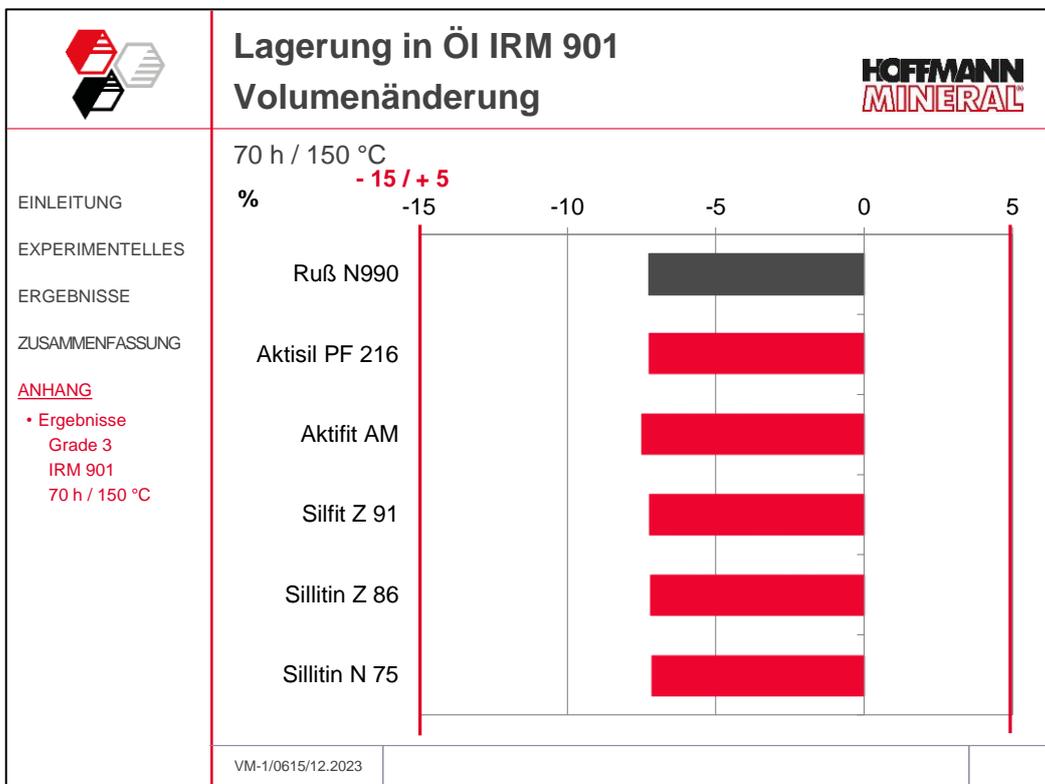
**Abb. 34**

Die Zugfestigkeit nimmt in gleichem Maße wie bei der reinen Rußmischung zu. Die Normanforderungen werden ebenfalls wieder ohne Weiteres mit allen Mischungen erfüllt (Abb. 34).



**Abb. 35**

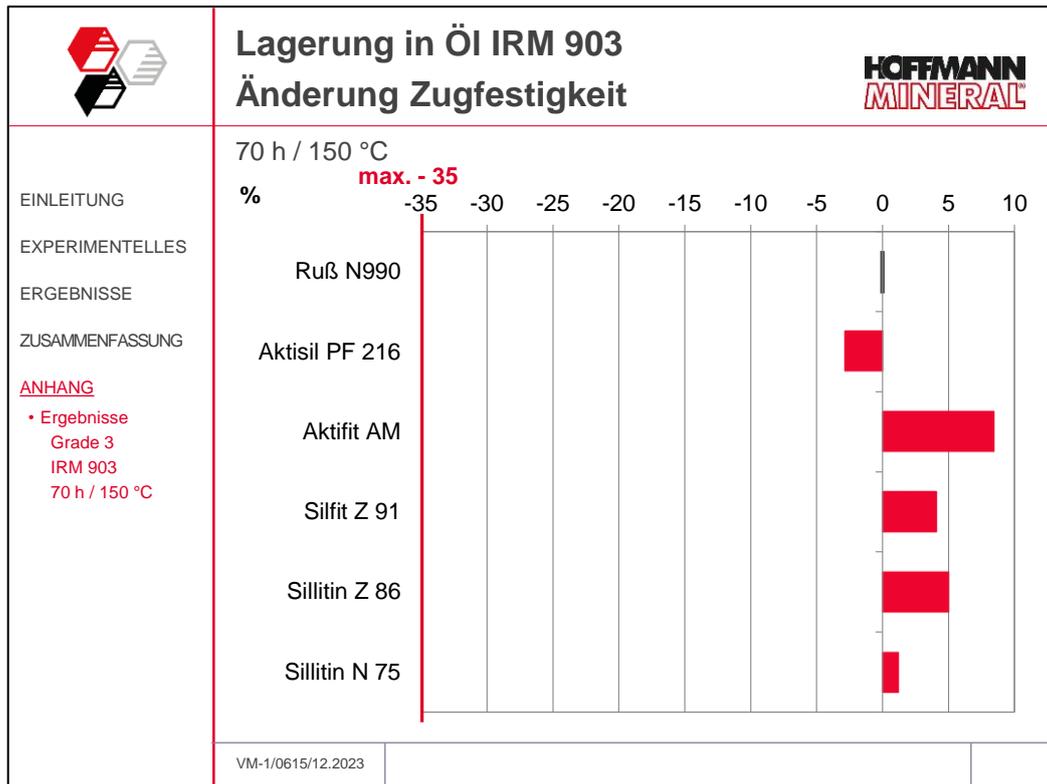
Die Änderung der Reißdehnung der Mischungen mit Kieselerde bleibt ungefähr auf dem Niveau der Mischung mit Ruß N990. Die Normvorgaben erfüllt jede der Mischungen (Abb. 35).



**Abb. 36**

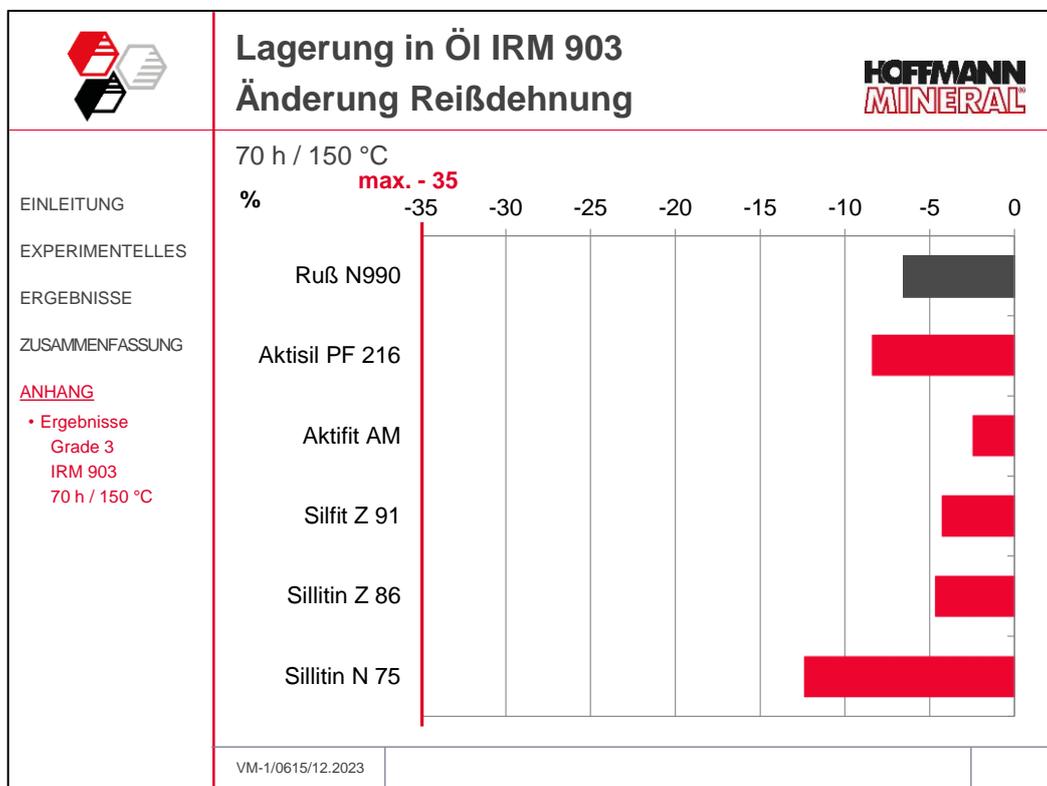
Die Volumenänderung mit den Kieselerden ist auf dem Niveau der reinen Rußmischung und weit von der Anforderung der Norm entfernt (Abb. 36).

## 6.7 Grade 3 - Lagerung in Öl IRM 903 bei 150 °C



**Abb. 37**

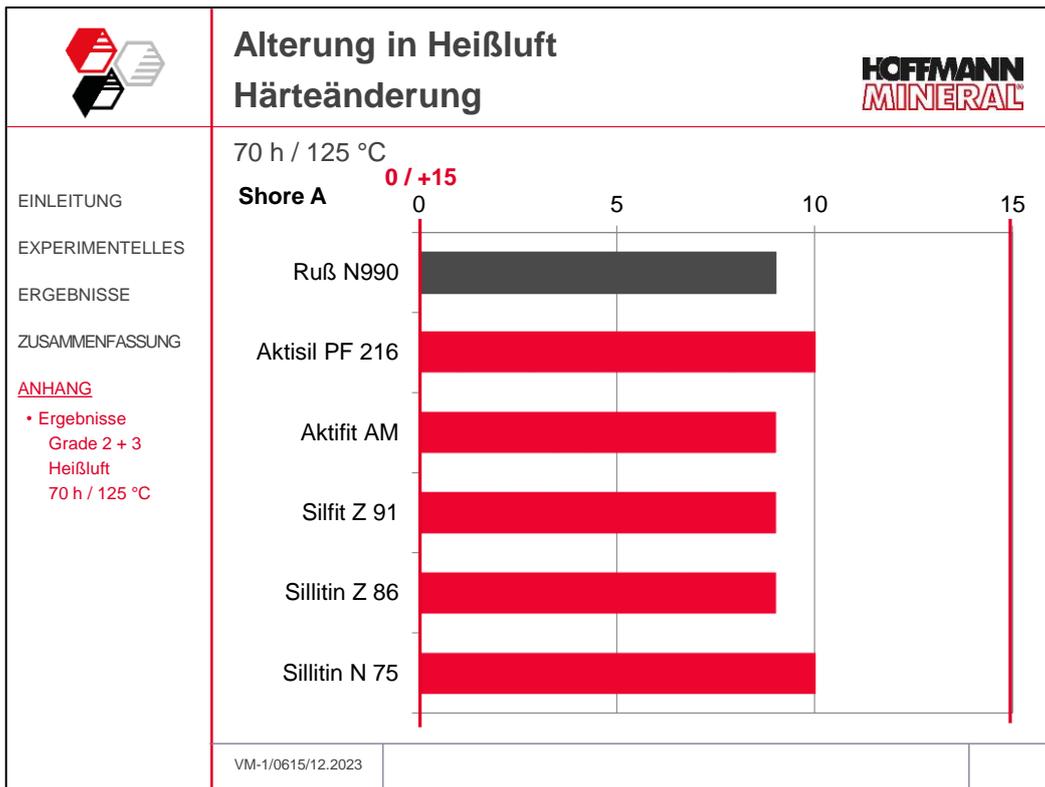
Die Änderung der Zugfestigkeit mit den Kieselerden ist sowohl in positiver wie in negativer Richtung dem Ruß N990 gleichzusetzen und so gering, dass das Anforderungsprofil der Norm ohne Probleme erfüllt werden kann (Abb. 37).



**Abb. 38**

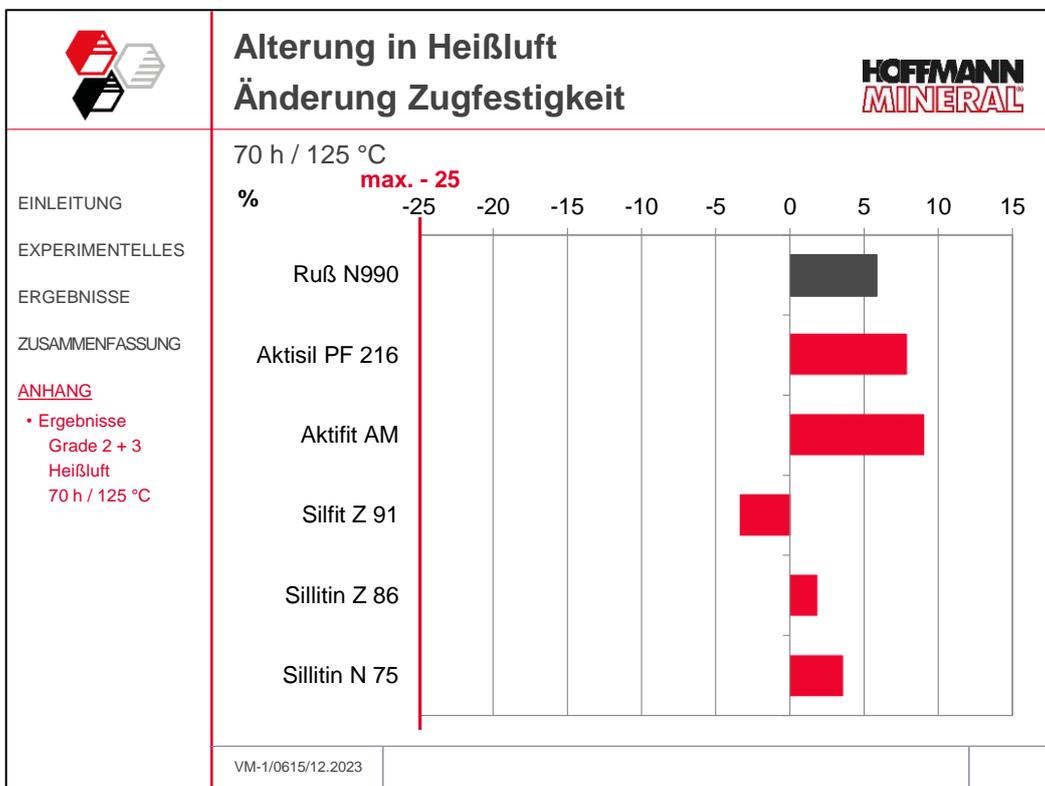
Die Änderungen der Reißdehnung mit den Kieselerden unterscheiden sich nur wenig von der reinen Rußmischung. Das Anforderungsprofil der Norm wird aber auch hier problemlos erreicht (Abb. 38).

## 6.8 Grade 2 + 3 - Alterung in Heißluft bei 125 °C



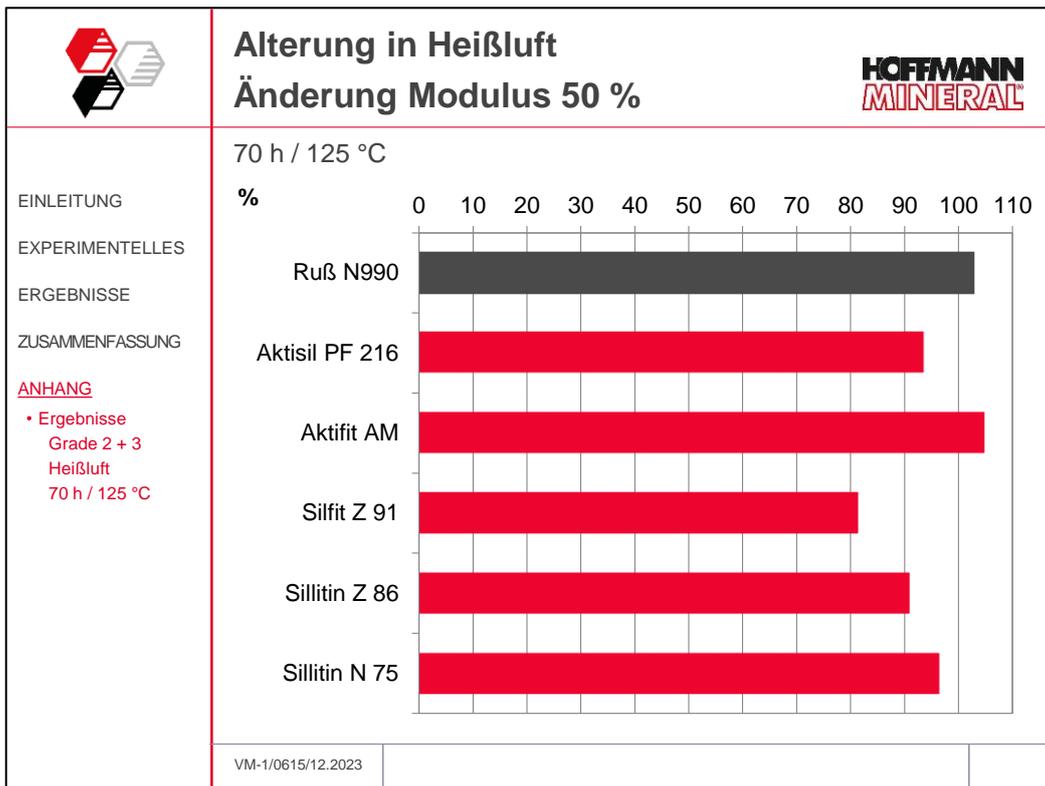
**Abb. 39**

Neben den Quellungen gehört auch die Heißluftalterung zu dem Anforderungsprofil der Norm ASTM D2000. Die Härtezunahme der Mischungen mit den unterschiedlichen Kieselerten unterscheidet sich nach der Heißluftalterung kaum von der Mischung mit Ruß N990. Ein Erfüllen der Vorgaben der Norm ist ohne weiteres möglich (Abb. 39).



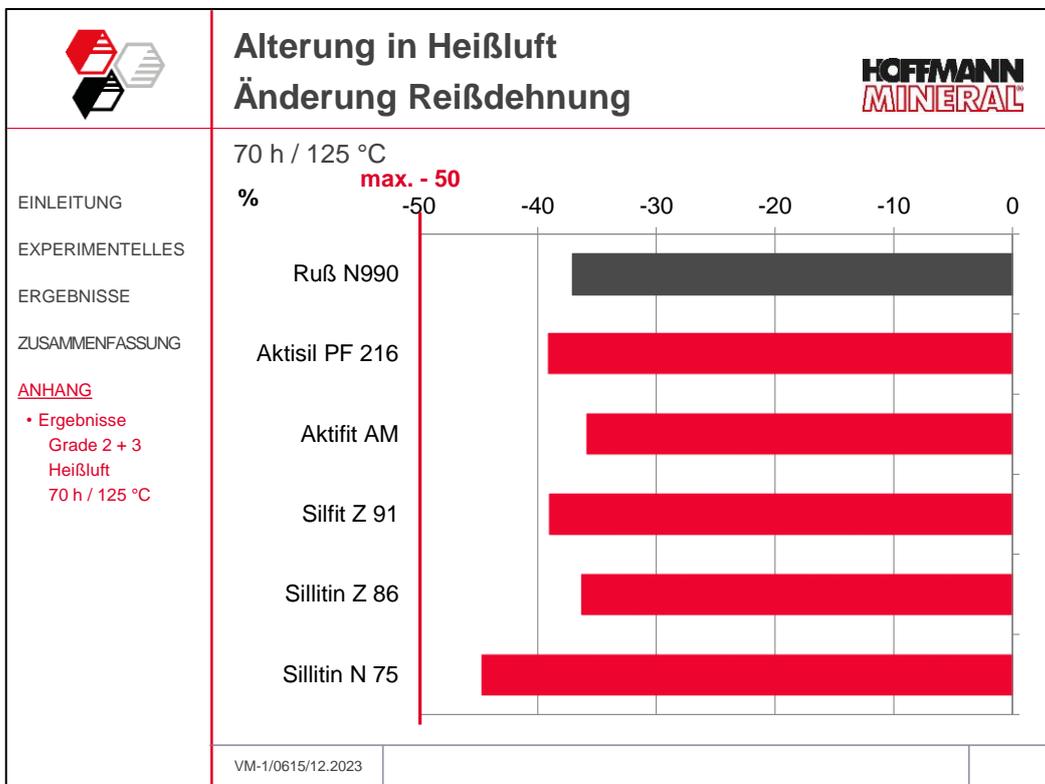
**Abb. 40**

Die Änderung der Zugfestigkeit unterscheidet sich kaum von den Verhältnissen der reinen Rußmischung. Somit kann auch die Normvorgabe ohne Einschränkung erreicht werden (Abb. 40).



**Abb. 41**

Die Änderung des Modulus 50 % ist mit Ruß N990 bereits so ausgeprägt, dass die Werte der Kieselerde-Varianten mit der reinen Rußmischung vergleichbar sind (Abb. 41).



**Abb. 42**

Die Änderung der Reißdehnung liegt durchweg auf etwa demselben Niveau wie die der reinen Rußmischung. Die Normvorgabe wird ebenfalls, wenn auch teilweise knapp, wieder von allen Mischungen erfüllt (Abb. 42).