

# **Vergleich mineralischer Füllstoffe in elektrisch isolierenden Karosseriedichtprofilen**

Verfasser:           Hubert Oggermüller  
                          Karin Müller

## **Inhalt**

- 1 Einleitung
  
- 2 Untersuchungen im Labor
  - 2.1 Aufgabenstellung und Versuchsplanung
  - 2.2 Vorversuche zur elektrischen Leitfähigkeit
  - 2.3 Experimentelles
    - 2.3.1 Ergebnisse
    - 2.3.2 Mooney-Viskosität
    - 2.3.3 Vulkanisationsverhalten
    - 2.3.4 Mechanische Eigenschaften
    - 2.3.5 Elektrische Eigenschaften
    - 2.3.6 Extrusionseigenschaften
  - 2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse
  
- 3 Praxisnahe Untersuchungen im Technikum
  - 3.1 Experimentelles
  - 3.2 Ergebnisse
    - 3.2.1 Mooney-Viskosität
    - 3.2.2 Vulkanisationsverhalten
    - 3.2.3 Mechanische Eigenschaften
    - 3.2.4 Elektrische Eigenschaften
    - 3.2.5 Extrusionseigenschaften
    - 3.2.6 Optische Eigenschaften
  - 3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse
  
- 4 Schlussfolgerung und Ausblick
  
- 5 Anhang

## **1 Einleitung**

In den letzten Jahren werden im Automobilbereich zunehmend Leichtmetalle wie Aluminium und Magnesium eingesetzt. In Verbindung mit Stahl und klassisch formulierten Dichtprofilen kann es zu elektrochemischer Korrosion am unedleren Metall kommen. Um dies zu vermeiden sind elektrisch isolierende Dichtprofile notwendig.

In den entsprechenden Mischungen muss daher die Dosierung des traditionellen Hauptfüllstoffs Ruß herabgesetzt und durch nichtleitende Füllstoffe ergänzt werden. Hierfür bieten sich mineralische Füllstoffe an, wie sie bisher schon als Co-Füllstoffe Verwendung fanden, jedoch vorrangig im Hinblick auf ästhetische Effekte an der Profiloberfläche. In den abgewandelt formulierten Profilen hat nun der mineralische Füllstoff die tragenden Eigenschaften des Profils zu übernehmen.

Jetzt stellt sich die Frage: Welcher mineralische Füllstoff?

Der vorliegende Bericht vergleicht eine Reihe von hellen Füllstoffen aus verschiedenen Klassen in solchen Mischungen mit dem Ziel, Hinweise für einen optimal geeigneten Mischungsaufbau abzuleiten. Vorrangig eingeschlossen sind Produkte auf Basis der Neuburger Kieselerde, an denen auch die Effekte einer Oberflächenbehandlung mit funktionellen Gruppen (AKTISIL-Typen) herausgearbeitet werden.

## 2 Untersuchungen im Labor

### 2.1 **Aufgabenstellung und Versuchsplanung**

Als Ausgangsbasis wurde eine Richtrezeptur der Firma DSM Elastomers Europe für Fensterschacht- und Fensterführungsprofile mit mittlerem Füllgrad herangezogen.

Im Hinblick auf die Anforderungen der Automobilhersteller sollten die Laboreckdaten, wie in *Abb. 1* aufgeführt, eingehalten werden.

Die Festlegung der Laboreckdaten erfolgte unter Berücksichtigung des Unsicherheitsfaktors, wie er für die Übertragung von Labor- auf Produktionsbedingungen besteht. Dies trifft insbesondere auf den spezifischen Durchgangswiderstand zu, der aufgrund der schlechteren Füllstoffdispersion im Kneiter für Betriebsmischungen um ein bis zwei Zehnerpotenzen niedriger liegen kann.

|   |  |
|---|--|
|    | <b>Teil 1: Laborversuche</b><br>  |
| EINLEITUNG<br><b>LABORVERSUCHE</b><br>• EXPERIMENTELLES<br>• ERGEBNISSE<br>• ZUSAMMENFASSUNG<br>TECHNIKUMS-<br>VERSUCHE<br>GESAMT-<br>ZUSAMMENFASSUNG<br>ANHANG | Als Basis wird eine Fensterschacht- und Fensterführungs-Richtrezeptur von Firma DSM Elastomers Europe mit mittlerem Füllgrad (40 Vol.-% EPDM) verwendet.<br><br>Im Hinblick auf Anforderungen der Automobilhersteller sollten folgende Laboreckdaten eingehalten werden:<br><ul style="list-style-type: none"><li>• Härte 60 bis 70 Shore A</li><li>• Zugfestigkeit &gt; 8 MPa</li><li>• Druckverformungsrest 22h / 70°C &lt; 20 %</li><li>• Spezifischer Durchgangswiderstand &gt; 10<sup>9</sup>, besser &gt; 10<sup>10</sup> Ω*cm</li></ul> |
|   | VM-4/0409/03.2025  |

**Abb. 1**

Die in *Tabelle 1* wiedergegebene Kontrollrezeptur mit reiner Rußfüllung weist einen typischen Aufbau auf Basis einer hochmolekularen EPDM-Type mit Langkettenverzweigung und einem Polymergehalt von ca. 40 Vol.-% auf. Für das Vulkanisationssystem wurden, modernen Anforderungen entsprechend, keine nitrosaminbildenden, d.h. potentiell kanzerogenen Beschleuniger gewählt.

|   |                     | <b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b> |  |
|--|---------------------|-----------------------------|--|
| <b>Basisrezeptur</b>   |                     |                             |  |
| EPDM – 65 Shore A  |                     |                             |  |
| EINLEITUNG<br>LABORVERSUCHE<br>• EXPERIMENTELLES<br>• ERGEBNISSE<br>• ZUSAMMENFASSUNG<br>TECHNIKUMS-<br>VERSUCHE<br>GESAMT-<br>ZUSAMMENFASSUNG<br>ANHANG |                     | <b>phr</b>                  |  |
|  | Keltan 8340 A       | 100,00                      |  |
|  | Zinkoxyd aktiv      | 5,00                        |  |
|  | Stearinsäure        | 1,00                        |  |
|  | Lipoxol 3000        | 2,00                        |  |
|  | Kezadol GR          | 5,50                        |  |
|  | Ruß N 550           | 135,00                      |  |
|  | Sunpar 2280         | 65,00                       |  |
|  | Rhenogran DPG-80    | 0,50                        |  |
|  | Rhenogran MBTS-80   | 1,30                        |  |
|  | Rhenogran ZBEC-70   | 2,00                        |  |
|  | Rhenogran S-80      | 0,75                        |  |
|  | Rhenodure S/G       | 1,00                        |  |
|  | Rhenocure TP/G      | 2,00                        |  |
|  | Vulkalent E/C       | 0,50                        |  |
|  | Santocure CBS pdr-d | 0,50                        |  |
|  | <b>Summe</b>        | <b>322,05</b>               |  |
| VM-4/0409/03.2025  |                     |                             |  |

**Tabelle 1**

## 2.2 Vorversuche zur elektrischen Leitfähigkeit

Angesichts der vordringlichen Bedeutung der elektrischen Eigenschaften wurden Vorversuche zur Bestimmung des Durchgangswiderstands unter Variation der Dosierung an Ruß N 550 und Sillitin Z 86 durchgeführt. Dabei wurde auf gleiche Härte 65 Shore A abgezielt; als grobe Richtlinie hat sich bestätigt, dass für gleiche Härte 1 Teil Ruß N 550 durch 2 Teile Sillitin Z 86 ausgetauscht werden kann (*Tab. 2*).

|   |                   | <b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b> |      |      |      |      |      |
|--|-------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|
| <b>Vorversuche</b>   |                   |                             |      |      |      |      |      |
| Versuche zur Abhängigkeit des spezifischen Widerstands von der Dosierung Ruß / mineralischer Füllstoff   |                   |                             |      |      |      |      |      |
| - bei etwa gleicher Härte von 65 Shore A   |                   |                             |      |      |      |      |      |
| EINLEITUNG<br>LABORVERSUCHE<br>• EXPERIMENTELLES<br>• ERGEBNISSE<br>• ZUSAMMENFASSUNG<br>TECHNIKUMS-<br>VERSUCHE<br>GESAMT-<br>ZUSAMMENFASSUNG<br>ANHANG |                   | <b>phr</b>                  |      |      |      |      |      |
|  | Ruß N 550         | 135                         | 105  | 90   | 75   | 67,5 | 60   |
|  | Sillitin Z 86     | 0                           | 65   | 95   | 125  | 140  | 155  |
|  |                   | <b>Vol.-%</b>               |      |      |      |      |      |
|  | Ruß N 550         | 27,2                        | 20,5 | 17,4 | 14,4 | 12,9 | 11,4 |
|  | Sillitin Z 86     | 0,0                         | 8,7  | 12,6 | 16,4 | 18,3 | 20,2 |
|  | VM-4/0409/03.2025 |                             |      |      |      |      |      |

**Tabelle 2**

Wie Abb.2 erkennen lässt, fällt der spezifische Durchgangswiderstand oberhalb eines Rußgehalts von etwa 11 Vol.-% deutlich ab. Mit ca. 13 Vol.-% Ruß wird bereits ein Wert von  $10^{10}$   $\Omega$ cm eingestellt, mit noch höheren Rußdosierungen sinkt der Widerstand bis auf ca.  $10^5$   $\Omega$ cm ab.

Für die geplanten Entwicklungsarbeiten kam daher allein der Bereich unterhalb 12,9 Vol.-% Ruß in Betracht. Trotz der optimalen Dispergierbedingungen auf dem Laborwalzwerk liegt diese Dosierung offensichtlich bereits im Perkolationsbereich. Für die weiteren Versuche wurde mithin eine Rußdosierung von 11,4 Vol.-%, d.h. in dieser Formulierung 60 phr Ruß N 550 + 155 phr mineralischer Füllstoff, gewählt.

Die höhere Dosierung des hellen Füllstoffs bietet zudem den Vorteil, dass die Effekte der einzelnen Typen deutlicher zum Ausdruck kommen.

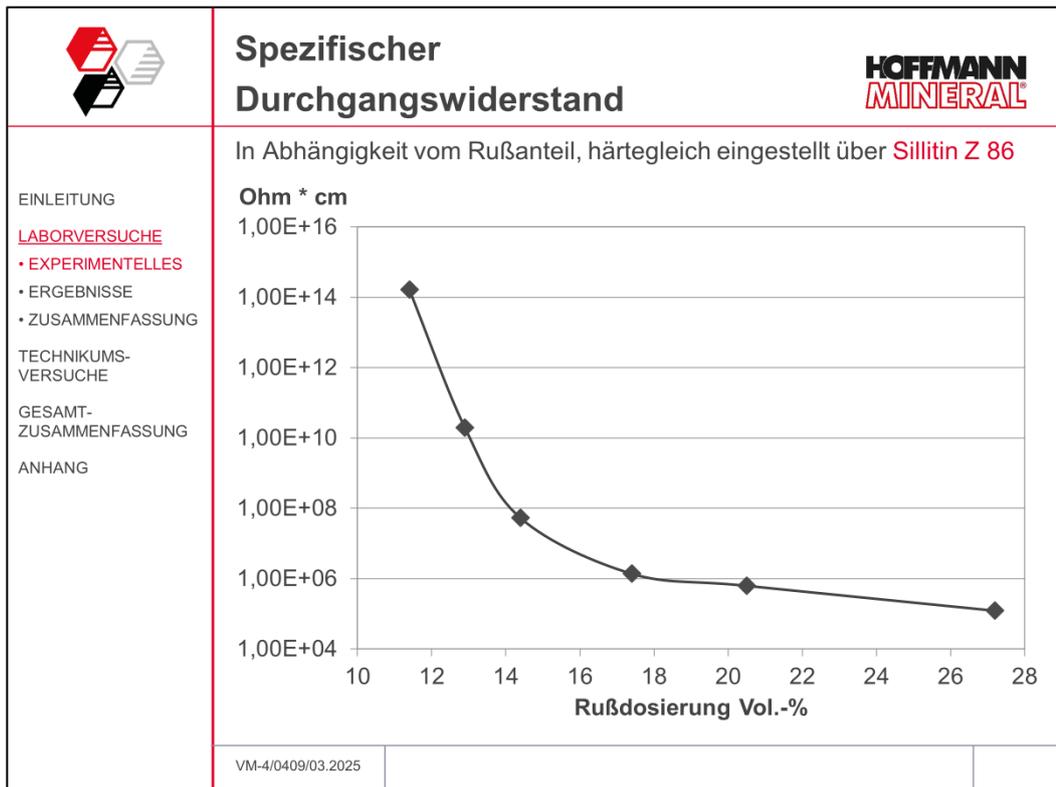


Abb. 2

## 2.3 Experimentelles

Die in die Prüfung einbezogenen mineralischen Füllstoffe sind mit einigen Kenndaten in *Tabelle 3* aufgeführt. Die Auswahl, unter dem Gesichtspunkt einer möglichst breiten Palette, schloss mit typischen Vertretern die Klassen Neuburger Kieselerde, Kreide, Talkum und Kaoline ein; wegen ihres hohen Feuchtegehalts wurde von gefällten silikatischen Füllstoffen Abstand genommen.

Die angegebenen Kennwerte, die aufgrund der stets gleichen Messmethodik einen direkten Vergleich erlauben, sollen eine allgemeine Charakterisierung der Füllstoffe bieten. Die mittlere Korngröße  $d_{50}$  ist dabei stets in Kombination mit der spezifischen Oberfläche zu betrachten, da sowohl die Anisotropie der Kornform als auch eine Porosität der Teilchenaggregate und -agglomerate die Werte beeinflussen können.

Bei den Produkten auf Basis Neuburger Kieselerde stellt Sillitin P 87 eine feinteiligere Version des Sillitin Z 86 dar, während Sillitin N 85 eine höhere mittlere Teilchengröße besitzt. Aktisil MM ist modifiziert mit einer mercapto-funktionellen Gruppe, Aktisil PF 216 mit einer tetrasulfan-funktionellen Gruppe.

|    | Füllstoffe und Kennwerte |                         |                  |                  |                    | <b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b>                             |  |
|---|--------------------------|-------------------------|------------------|------------------|--------------------|---|--|
|   | Füllstoffklasse          | Produkt                 | Korngröße        |                  | Ölzahl<br>[g/100g] | Spezifische<br>Oberfläche<br>BET<br>[m <sup>2</sup> /g] |  |
|   |                          |                         | $d_{50}$<br>[µm] | $d_{97}$<br>[µm] |                    |   |  |
| EINLEITUNG<br><b>LABORVERSUCHE</b><br>• EXPERIMENTELLES<br>• ERGEBNISSE<br>• ZUSAMMENFASSUNG<br>TECHNIKUMS-<br>VERSUCHE<br>GESAMT-<br>ZUSAMMENFASSUNG<br>ANHANG | Neuburger<br>Kieselerde  | Sillitin N 85           | 3,0              | 16               | 45                 | 10  |  |
|   |                          | Sillitin Z 86           | 1,9              | 9                | 55                 | 11  |  |
|   |                          | Sillitin P 87           | 1,5              | 6                | 55                 | 12  |  |
|   |                          | Aktisil MM              | 2,2              | 10               | 45                 | 7   |  |
|   |                          | Aktisil PF 216          | 2,2              | 10               | 50                 | 8   |  |
|   | Kreide                   | Kreide oberflächenbeh.  | 2,7              | 25               | 20                 | 2   |  |
|   |                          | Kreide                  | 2,4              | 13               | 30                 | 5   |  |
|   | Talkum                   | Amerikanisches Talkum   | 4,7              | 17               | 50                 | 11  |  |
|   | Kaolin                   | Englischer kalz. Kaolin | 3,5              | 18               | 60                 | 8   |  |
|   |                          | Englischer Weichkaolin  | 7,7              | 34               | 45                 | 7   |  |
|   |                          | Englischer Hartkaolin   | 1,8              | 11               | 50                 | 30  |  |
|   |                          | Englischer Kaolin       | 3,0              | 12               | 55                 | 13  |  |
|   | VM-4/0409/03.2025        |                         |                  |                  |                    |   |  |

**Tabelle 3**

Die Mischungsherstellung und Vulkanisation der Prüfplatten erfolgte wie in Abb. 3 beschrieben.

|   |   |
|---|---|
|    | <h2 style="text-align: center;">Mischungsherstellung und Vulkanisation</h2> <div style="text-align: right;"><b>HOFFMANN MINERAL</b></div>   |
| <p>EINLEITUNG</p> <p><u>LABORVERSUCHE</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EXPERIMENTELLES</li> <li>• ERGEBNISSE</li> <li>• ZUSAMMENFASSUNG</li> </ul> <p>TECHNIKUMS-VERSUCHE</p> <p>GESAMT-ZUSAMMENFASSUNG</p> <p>ANHANG</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mischen</b></li> </ul> <p style="margin-left: 20px;">Laborwalzwerk Ø 150 x 300 mm</p> <p style="margin-left: 20px;">Batchgröße: ca. 1000 g</p> <p style="margin-left: 20px;">Walzentemperatur: 50 °C</p> <p style="margin-left: 20px;">Mischzeit: ca. 20 min.</p><br><ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Vulkanisation</b></li> </ul> <p style="margin-left: 20px;">Presse, 170 °C, <math>t_{90} + 10 \%</math></p> |
|   | <p style="font-size: small;">VM-4/0409/03.2025</p>  |

**Abb. 3**

Die Extrusionsversuche wurden mit einem Laborextruder in Anlehnung an die ASTM D 2230 mit den in Abb. 4 genannten Parametern durchgeführt.

|   |  |
|---|--|
|    | <h2 style="text-align: center;">Extrusion</h2> <div style="text-align: right;"><b>HOFFMANN MINERAL</b></div>   |
| <p>EINLEITUNG</p> <p><u>LABORVERSUCHE</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EXPERIMENTELLES</li> <li>• ERGEBNISSE</li> <li>• ZUSAMMENFASSUNG</li> </ul> <p>TECHNIKUMS-VERSUCHE</p> <p>GESAMT-ZUSAMMENFASSUNG</p> <p>ANHANG</p> | <p>In Anlehnung an ASTM D 2230</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwabenthan - Extruder Polytest 30R</li> </ul> <p style="margin-left: 20px;">D = 30 mm, L/D-Verhältnis = 15</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturprofil:</li> </ul> <p style="margin-left: 20px;">70 / 70 / 110 °C</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Varianten:</li> </ul> <p style="margin-left: 20px;">Konstant 50 U/min Schneckendrehzahl</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beurteilung nach Garvey:</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ziffer: Spritzquellung</li> <li>2. Ziffer: 30 ° Kante</li> <li>3. Ziffer: Oberflächengüte</li> <li>4. Ziffer: Ecken</li> </ol> <div style="text-align: right; margin-right: 50px;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewertung</li> </ul> <p style="margin-left: 20px;">1 = schlecht bis 4 = sehr gut</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximalbewertung 4 x 4 = 16</li> </ul> |
|   | <p style="font-size: small;">VM-4/0409/03.2025</p>   |

**Abb. 4**

Der Durchgangswiderstand wurde mit den in *Abb. 5* aufgeführten Parametern geprüft.

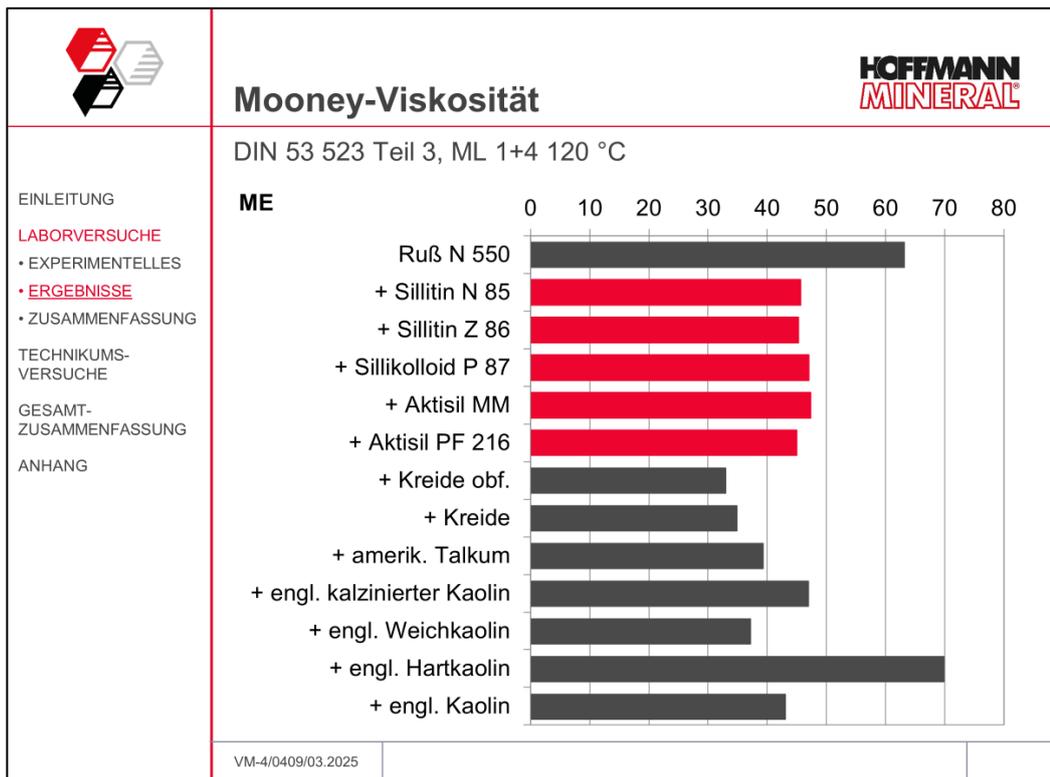
|   |   |
|---|---|
|    | <b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b>   |
| <p>EINLEITUNG</p> <p><b>LABORVERSUCHE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EXPERIMENTELLES</li> <li>• ERGEBNISSE</li> <li>• ZUSAMMENFASSUNG</li> </ul> <p>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE</p> <p>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG</p> <p>ANHANG</p> | <p>DIN IEC 93</p> <p>Versuchsbeschreibung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plattengröße: 10 x 10 cm</li> <li>• Plattendicke: ca. 2 mm</li> <li>• Elektrodenanordnung: kreisförmige Plattenelektrode mit Schutzring</li> <li>• Messverfahren: Spannungs- / Strommethode</li> <li>• Messspannung: 100 V</li> <li>• Ablesezeitpunkt: 1 min. nach Anlegen der Spannung</li> <li>• Prüftemperatur: 23 °C</li> <li>• Auswertung:</li> </ul> $\rho = R_x \cdot A / h$ <p>mit</p> <p><math>\rho</math> spezifischer Durchgangswiderstand in <math>\Omega \cdot \text{cm}</math></p> <p><math>R_x</math> Durchgangswiderstand in <math>\Omega</math></p> <p>A effektive Fläche der geschützten Elektrode (24 cm<sup>2</sup>)</p> <p>h Dicke der Probeplatte, Median in cm</p> |
|   | VM-4/0409/03.2025   |

**Abb. 5**

## 2.4 Ergebnisse

### 2.4.1 Mooney-Viskosität

In der Mooney-Viskosität liegen alle Mischungen, die neben dem Ruß helle Füllstoffe enthalten mit Ausnahme des Hartkaolins niedriger als die reine Rußmischung. Die niedrigste Viskosität wird mit oberflächenbehandelter und nicht behandelter Kreide eingestellt, gefolgt von Weichkaolin und Talkum. Die Füllstoffe auf Basis Neuburger Kieselerde ordnen sich zusammen mit kalzinierem und mittelaktivem Kaolin im Mittelfeld ein (*Abb. 6*).



**Abb. 6**

## 2.4.2 Vulkanisationsverhalten

Die Umsatzzeit  $t_{90}$  als Maß für die Geschwindigkeit der Ausvulkanisation wird durch die mineralischen Füllstoffe zum Teil deutlich verlängert, insbesondere durch Hartkaolin und Talkum. Relativ geringe Effekte zeigen der kalzinierte Kaolin, die beiden Kreiden sowie Aktisil MM und Sillitin N 85. Die übrigen Produkte liegen nahe beieinander im Mittelfeld (Abb. 7).

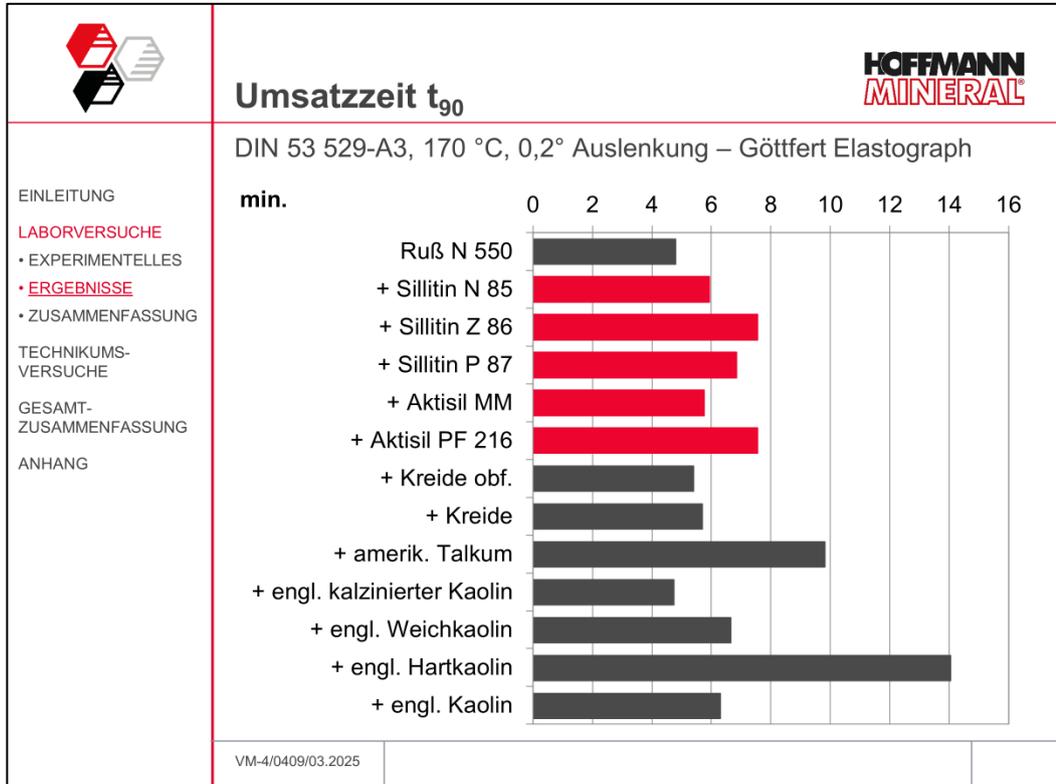


Abb. 7



Bei der Zugfestigkeit schneiden am relativ günstigsten Talkum, die nicht-behandelten Kaoline und die oberflächenbehandelten Aktisil-Typen ab. Das unbehandelte Sillitin N 85 liegt gemeinsam mit dem kalzinierten Kaolin und den Kreiden bei 8,5 MPa. Wenn auch manchmal knapp, wird in sämtlichen Mischungen das gesetzte Ziel von >8 MPa erreicht (Abb.9).

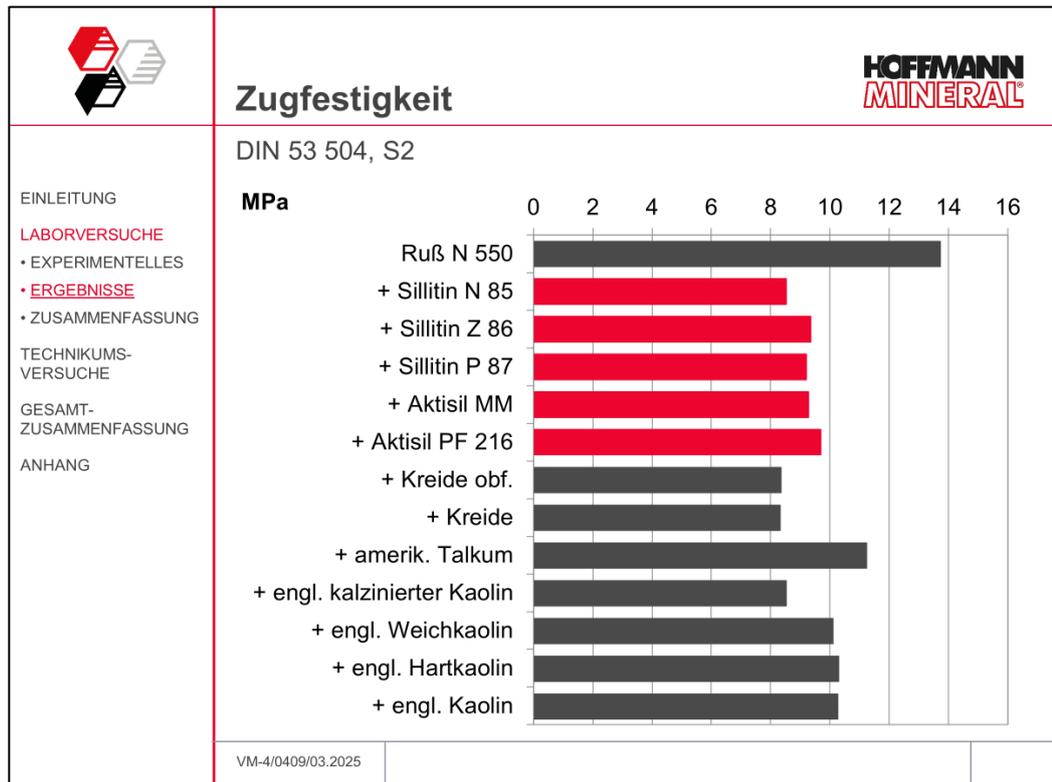


Abb. 9

Die Reißdehnung wird mit fast allen mineralischen Füllstoffen erhöht. Nur Aktisil PF 216 liegt auf annähernd gleichem Niveau wie die reine Rußqualität. Aktisil MM schon deutlich höher. Die übrigen Füllstoffe zeigen keine wesentlichen Unterschiede (Abb.10).

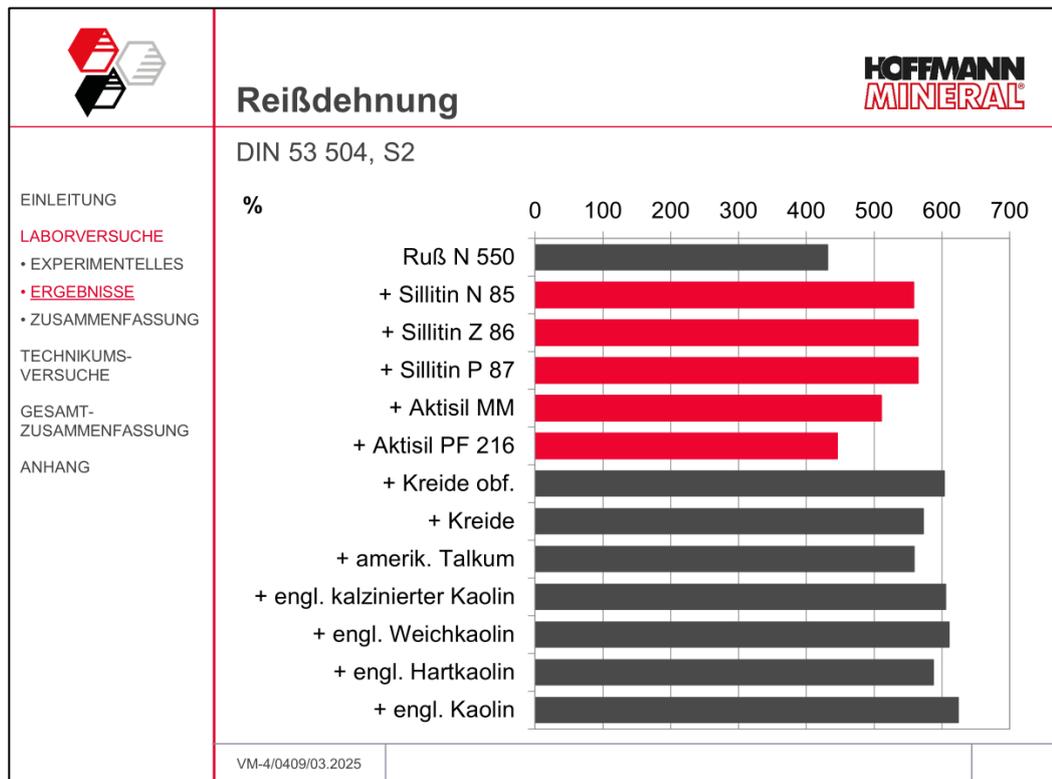


Abb. 10

Vielschichtig ist dagegen das Bild beim Spannungswert 100 %. Den hohen Wert der Rußmischung kann als Einziges Aktisil PF 216 knapp erreichen, gefolgt von Aktisil MM und schon deutlich niedriger das Talkum. Unbehandelte und behandelte Kreide kommen am niedrigsten heraus. Die übrigen Füllstoffe liegen untereinander auf ähnlichem Niveau, mit dem Weichkaolin am unteren Ende (Abb. 11).

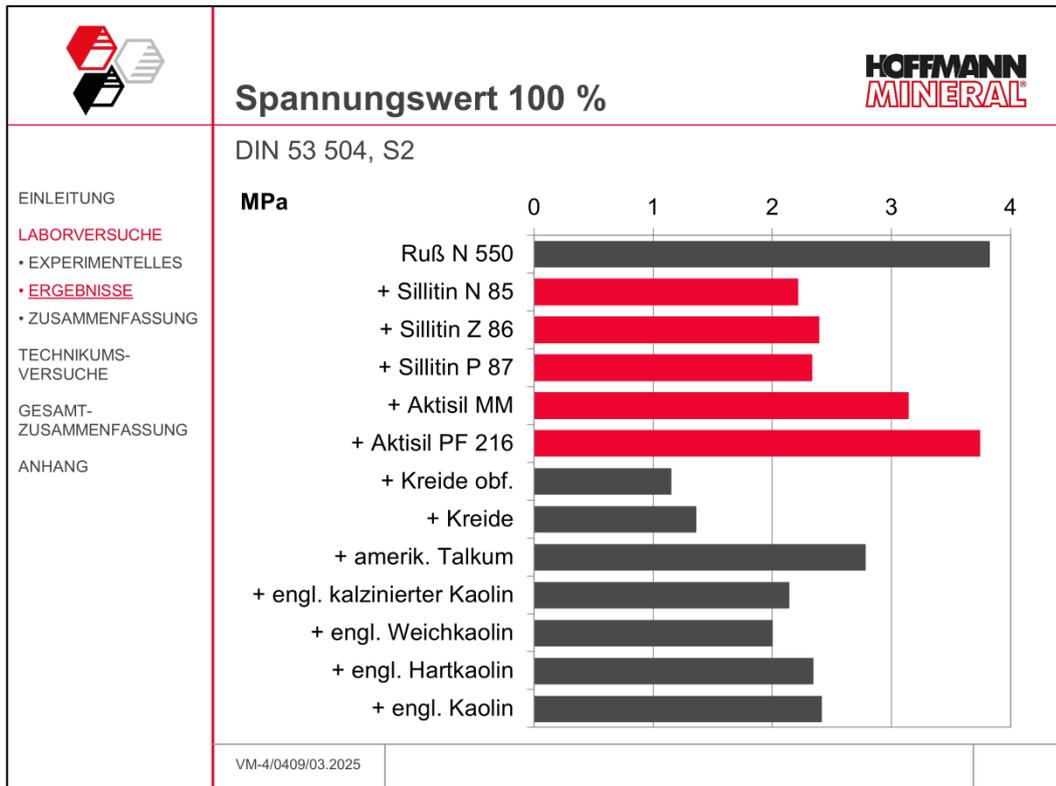


Abb. 11

Im Weiterreißwiderstand wird die reine Rußfüllung durch zahlreiche Verschnitte mit hellen Füllstoffen übertroffen. Am günstigsten wirkt sich der Zusatz von Hartkaolin aus, gefolgt vom mittelaktiven Kaolin. Doch auch die Kieselerde-Produkte, ausgenommen Aktisil PF 216, erzielen Werte knapp oberhalb der Rußmischung. Dies gilt auch für Talkum, weichem und kalziniertem Kaolin. Deutlich weniger günstig ordnen sich die beiden Kreiden ein (Abb. 12).

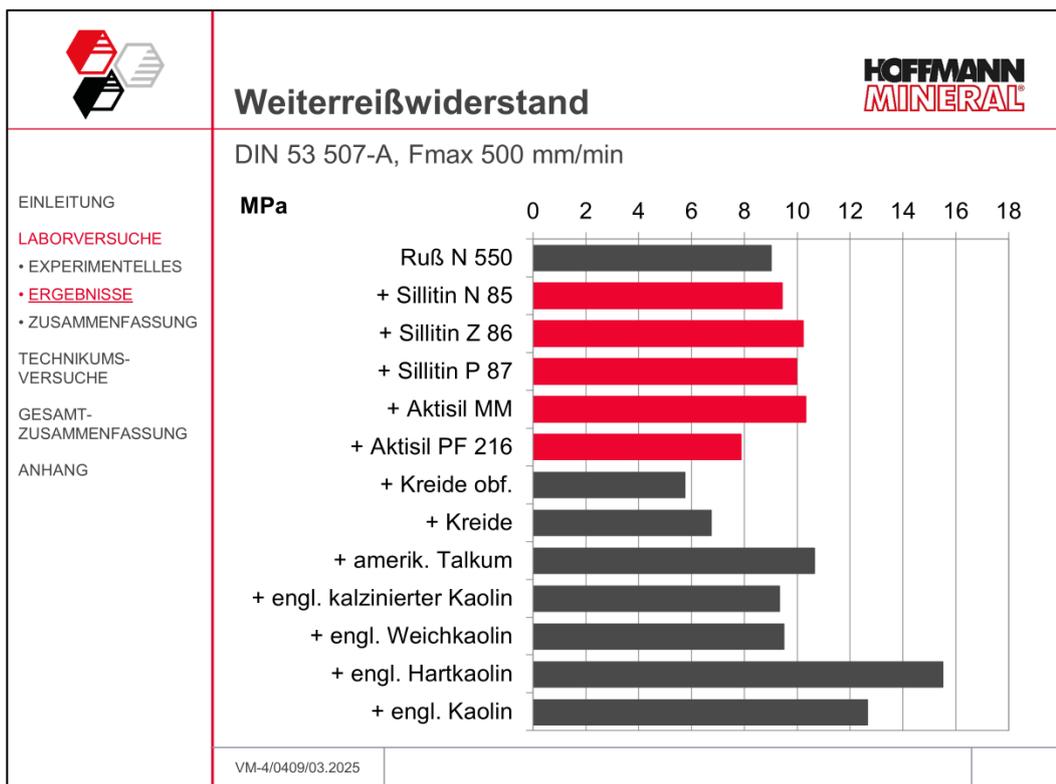


Abb. 12

In Bezug auf den Druckverformungsrest nach ISO 815 teilen sich die mineralischen Füllstoffe in zwei Gruppen auf. Insbesondere die Produkte aus Neuburger Kieselerde, vorrangig die Aktisil-Typen, liegen ähnlich wie die beiden Kreiden auf günstigerem, also niedrigerem Niveau als die reine Rußfüllung. Etwas schlechter kommt der kalzinierte Kaolin heraus. Die anderen Kaolintypen sowie Talkum bringen noch deutlich schlechtere Werte und erfüllen das Anforderungsprofil von < 20 % nicht mehr (Abb. 13).

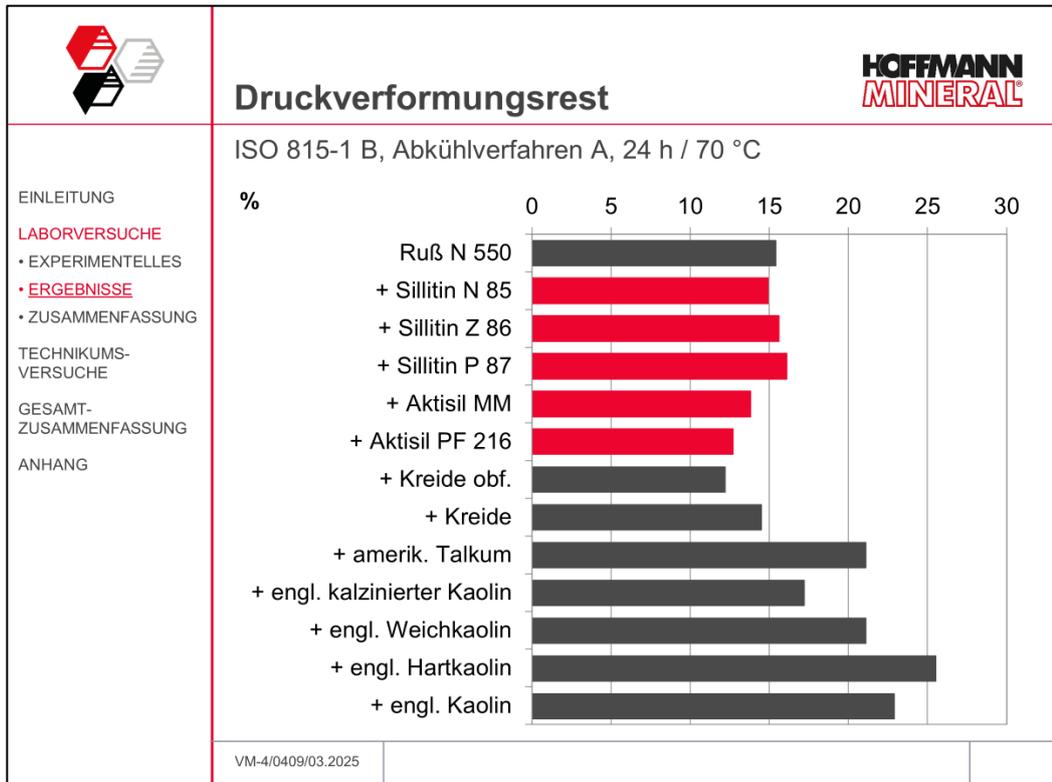


Abb. 13

Die schärferen Bedingungen der Prüfung des Druckverformungsrestes nach der VW-Norm PV 3307 ändern das Gesamtbild nur wenig, doch kommen die Verschnitte mit unbehandelter und oberflächenbehandelter Kreide hier weniger günstig als die reine Rußmischung heraus. Sillitin Z 86 und Aktisil MM liegen nur knapp unterhalb der Rußmischung. Mit Aktisil PF 216 werden merklich bessere Werte als mit der reinen Rußmischung erreicht (Abb. 14).

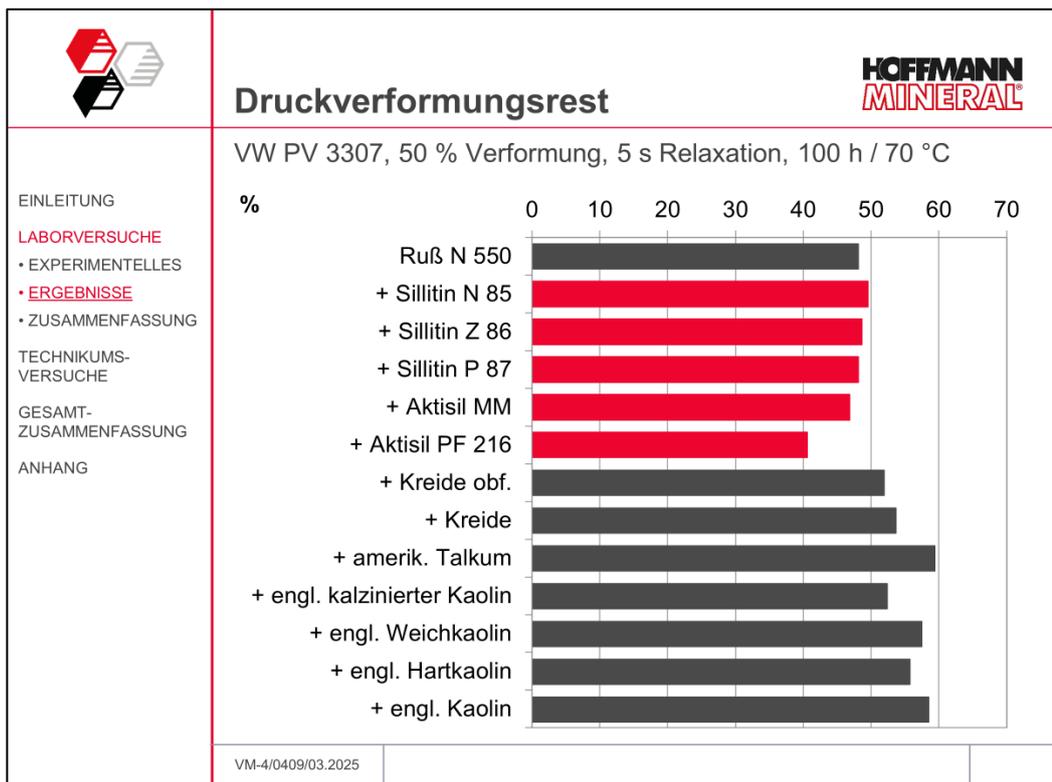


Abb.14

## 2.4.4 Elektrische Eigenschaften

Alle mineralischen Füllstoffe verringern die elektrische Leitfähigkeit (entsprechend höherem Widerstand), jedoch in durchaus unterschiedlichem Maße. Vor allem Talkum und Hartkaolin fallen im Vergleich mit den anderen Füllstoffen mit um ein bis zwei Zehnerpotenzen niedrigerem Widerstand auf. Da alle mineralischen Füllstoffe intrinsisch grundsätzlich ähnliche Isolationswerte aufweisen sollten, sind die Unterschiede vermutlich auf eine schlechtere Rußdispersion zurückzuführen (Abb. 15).

Unter den Produktionsbedingungen der Betriebspraxis sind um ein bis zwei Zehnerpotenzen niedrigere Werte für den spezifischen Durchgangswiderstand zu erwarten (siehe Abb. 38).

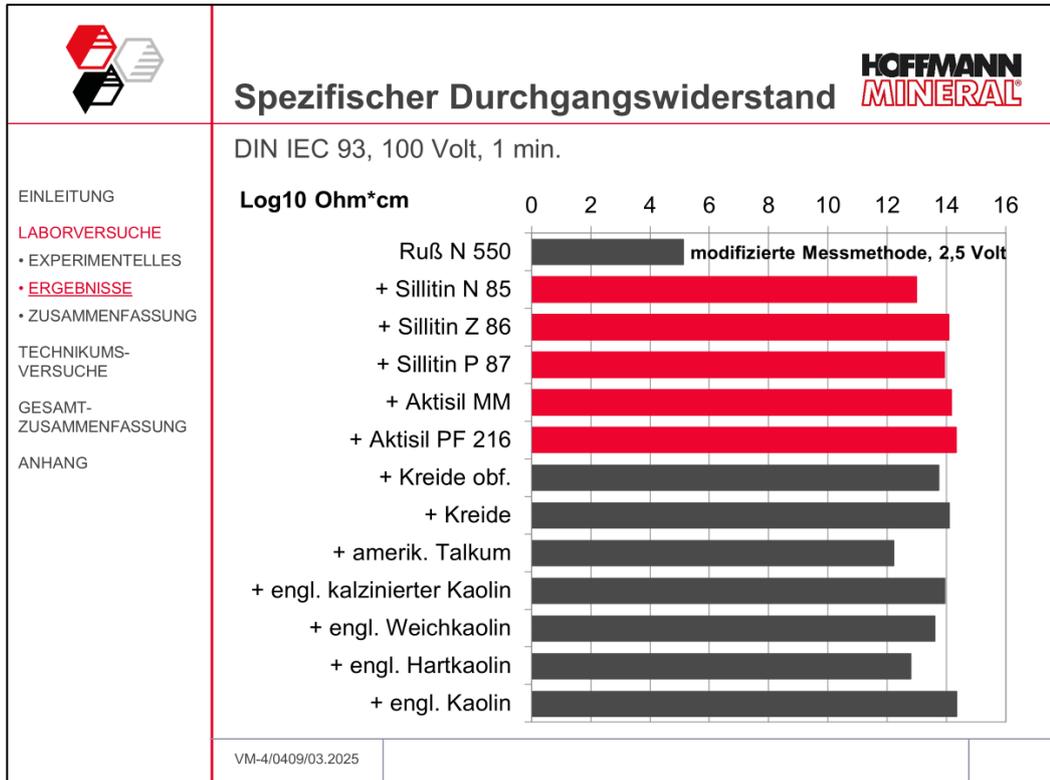


Abb. 15

## 2.4.5 Extrusionseigenschaften

Das Extrusionsverhalten der Mischungen lässt sich durch mehrere Prüfungen beschreiben, aber erst die Kombination der entsprechenden Daten macht eine schlüssige Aussage möglich.

Bei einer konstanten Schneckendrehzahl von 50 U/min wurden der Längenausstoß und die Spritzquellung gemessen sowie die Profilqualität nach ASTM beurteilt.

Im Durchsatz (Längenausstoß) liegen die Kieselerde-Produkte sowie harter und mittelaktiver Kaolin mindestens auf dem Niveau der Rußkontrollmischung. Kalzinierter Kaolin, Talkum und Weichkaolin sowie besonders die beiden Kreiden wirken sich auf den Ausstoß negativ aus (Abb. 16).

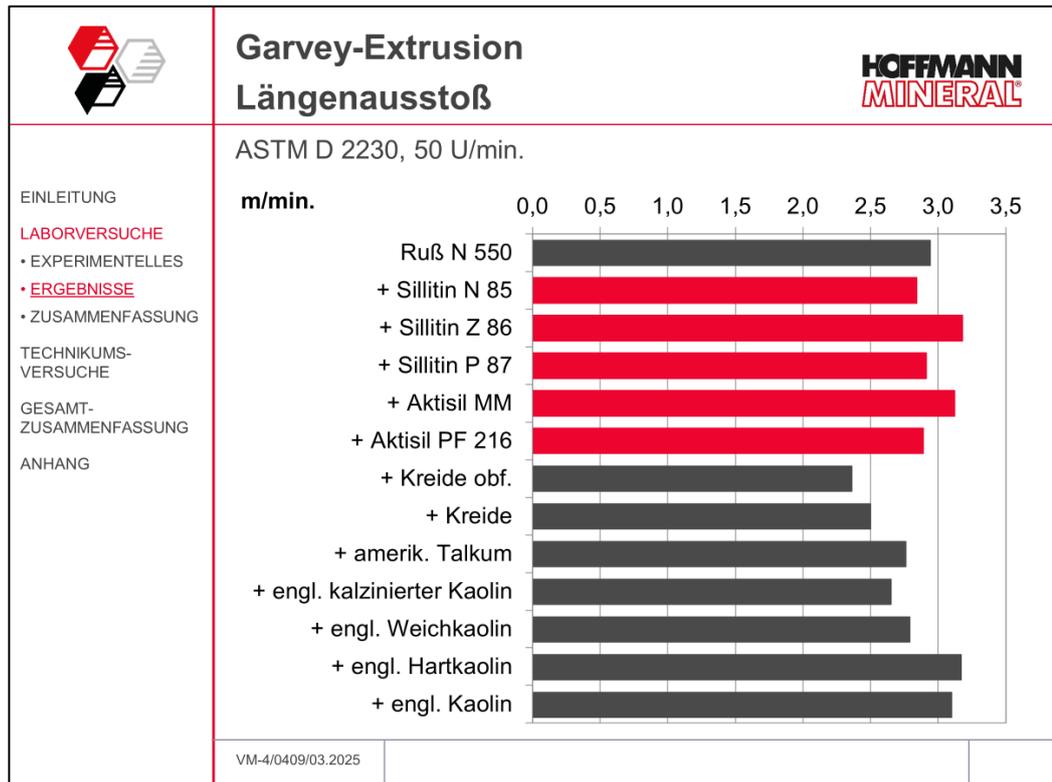
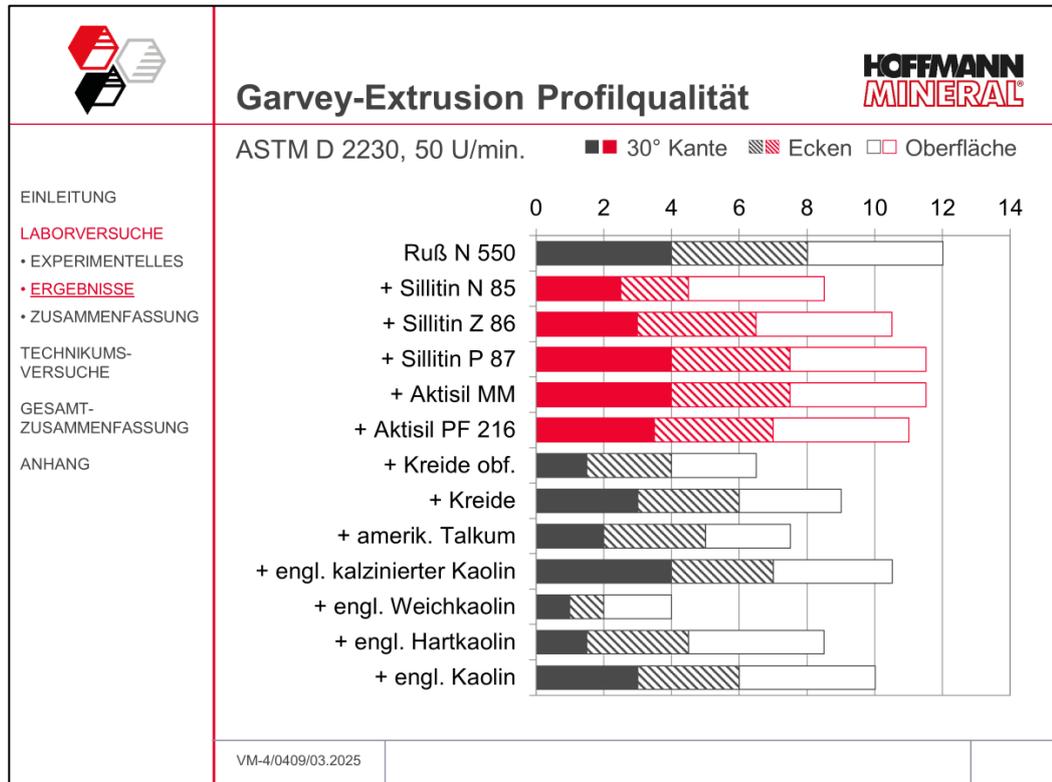


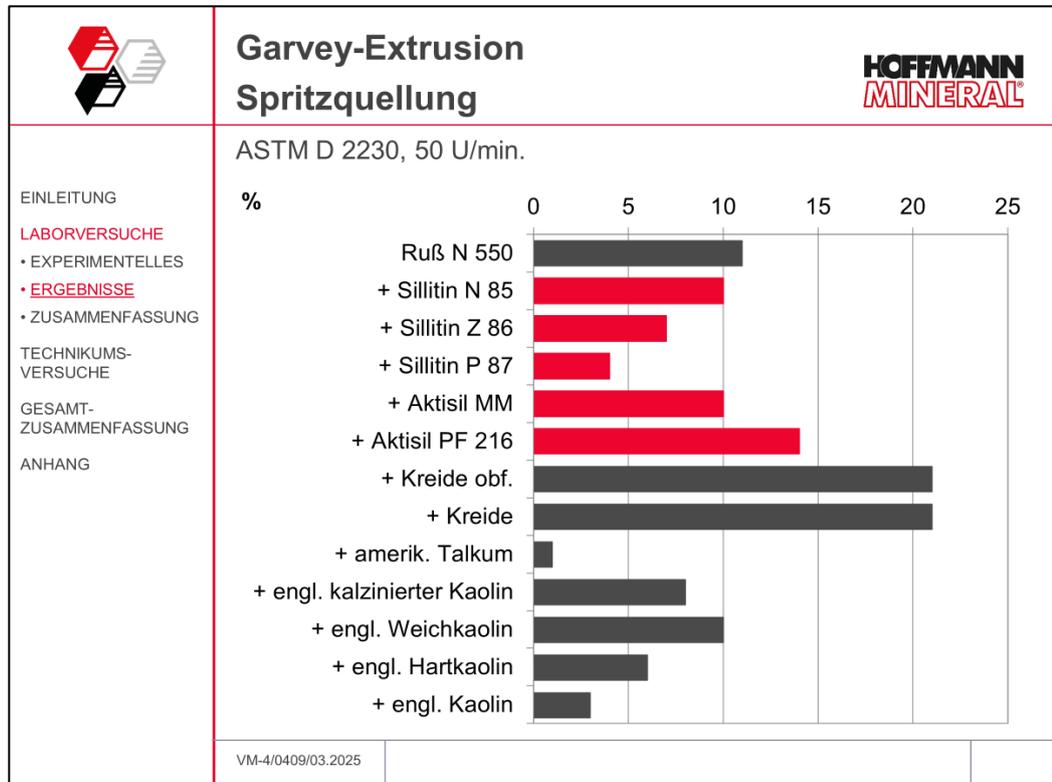
Abb. 16

Die Profilqualität mit der Garvey-Düse kommt mit Sillitin P 87 und Aktisil MM sehr nahe an die reine Rußmischung heran. Fast ebenso günstig stellt sich Aktisil PF 216 dar, gefolgt von Sillitin Z 86, kalzinierem und mittelaktivem Kaolin. Kreide und Sillitin N 85 liegen mit relativ günstiger Kantenausformung im Mittelfeld, während Hartkaolin, Talkum und die oberflächenbehandelte Kreide nur mäßige Ergebnisse erreichen und Weichkaolin am schwächsten herauskommt (Abb. 17).



**Abb. 17**

Bei der Beurteilung der Spritzquellung muss berücksichtigt werden, dass aufgerissene Profilkanten zu Einstufungsfehlern führen können, weshalb die Ergebnisse nur eine grobe Einreihung zulassen. Besonders auffällig sind hierbei die Extreme der beiden Kreiden mit deutlich höheren Werten, sowie Talkum mit dem niedrigsten Wert. Sillitin N 85, Aktisil MM und weicher Kaolin ordnen sich praktisch auf dem Niveau der reinen Rußkontrollmischung ein. Äußerst niedrige Spritzquellung liefert Talkum, gefolgt von mittelaktivem und hartem Kaolin sowie Sillitin P 87. Auch der kalzinierte Kaolin und Sillitin Z 86 ergeben eine etwas niedrigere Spritzquellung als der Ruß allein (Abb. 18).



**Abb. 18**

Abb. 19, in welcher die Profilqualität über dem Längenausstoß aufgetragen ist, bietet eine aussagefähige Gesamtübersicht über die Extrusionseigenschaften der geprüften Füllstoffverschnitte. Die Produkte auf Basis der Neuburger Kieselerde finden sich, mit der Ausnahme von Sillitin N 85, nahe beim Ruß rechts oben im Diagramm, und sind somit am besten für entsprechende Extrusionsmischungen geeignet.

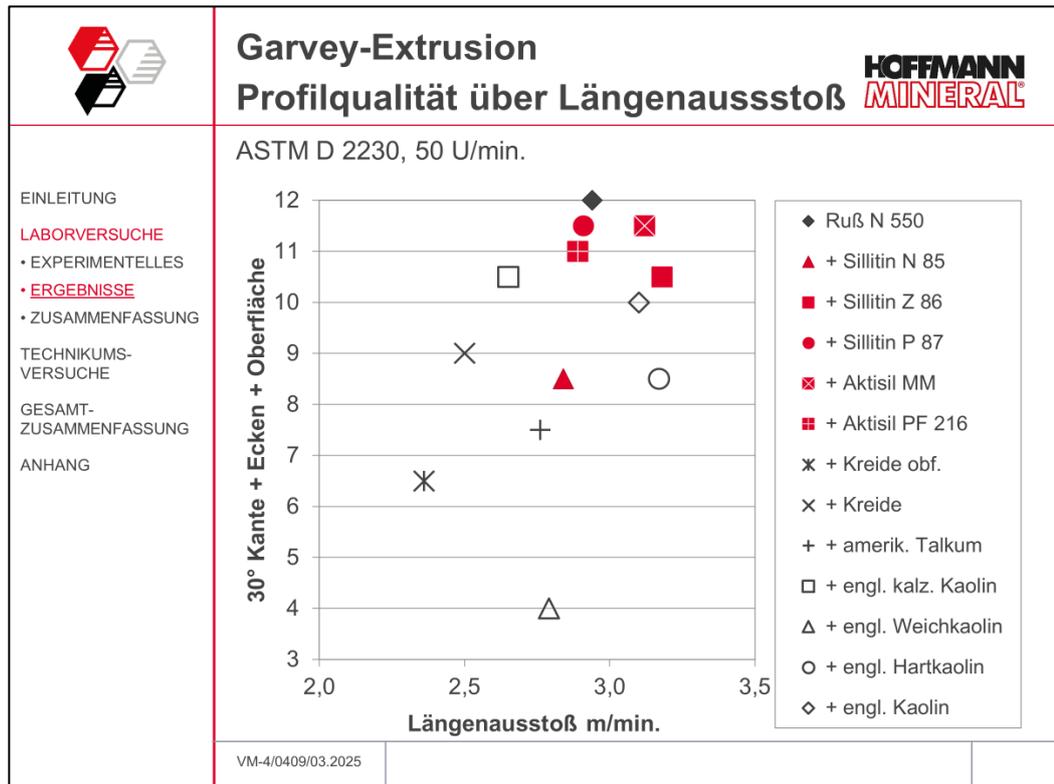


Abb. 19

## 2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Abb. 20 und Abb. 21 fassen die Ergebnisse der Laborversuche zusammen.

|  |  |
|--|--|
|   | <h2>Zusammenfassung (1)</h2> <h3>Laborversuche</h3>   |
| <p>EINLEITUNG</p> <p>LABORVERSUCHE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EXPERIMENTELLES</li> <li>• <b>ERGEBNISSE</b></li> <li>• <b>ZUSAMMENFASSUNG</b></li> </ul> <p>TECHNIKUMSVERSUCHE</p> <p>GESAMTZUSAMMENFASSUNG</p> <p>ANHANG</p> | <p>Es können mit mineralischen Füllstoffen isolierende Karosseriedichtprofile erstellt werden, die mit Ausnahme der Zugfestigkeit keine deutlichen Leistungseinbußen erkennen lassen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Kreiden haben ihre Hauptschwäche in den mechanischen und Extrusionseigenschaften, jedoch bewirken sie bei kurzen Vulkanisationszeiten gute Druckverformungsrestwerte.</li> <li>• Talkum erreicht gute Zugfestigkeitswerte, jedoch weist es trotz langer Vulkanisationszeit nur schwache Druckverformungsrestwerte und mäßige Extrusionseigenschaften auf.</li> <li>• Mit Kaolinen, ausgenommen die kalzinierte Variante, lassen sich gute mechanische Eigenschaften erzielen, jedoch zeigen sie Schwächen beim Extrusionsverhalten und besonders beim Druckverformungsrest. Für den kalzinierten Kaolin gilt in etwa die umgekehrte Aussage.</li> </ul> |
|  | <p>VM-4/0409/03.2025</p>   |

Abb. 20

|  |   |
|--|---|
|   | <h2 style="text-align: center;">Zusammenfassung (2)</h2> <h3 style="text-align: center;">Laborversuche</h3> <div style="text-align: right;"><b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b></div>   |
| <p>EINLEITUNG</p> <p><b>LABORVERSUCHE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EXPERIMENTELLES</li> <li>• ERGEBNISSE</li> <li>• <b>ZUSAMMENFASSUNG</b></li> </ul> <p>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE</p> <p>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG</p> <p>ANHANG</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die <b>Neuburger Kieselerde</b> zeichnet sich vor allem durch ihr hervorragendes Extrusionsverhalten und den niedrigen Druckverformungsrest aus.</li> <li>• Als insgesamt besonders geeignet stellen sich <b>Aktisil MM</b> und <b>Aktisil PF 216</b> dar. Sie erzielen sehr gute Extrusionseigenschaften in Kombination mit hohen Spannungswerten und hervorragendem Druckverformungsrest.</li> </ul> |
|  | <p style="font-size: small;">VM-4/0409/03.2025</p>  |

**Abb. 21**

### **3 Praxisnahe Untersuchungen im Technikum**

#### **3.1 Experimentelles**

Die Mischungsherstellung, Extrusion und kontinuierliche Vulkanisation wurden im Technikum der Fa. DSM Elastomers Europe in Geleen (NL) durchgeführt.

Für die Technikumsversuche (*Tab. 4*) wurde nahezu die gleiche Mischungsrezeptur herangezogen wie für die Laborversuche (*Tab. 1*). Lediglich die in *Abb. 22* erwähnten Änderungen wurden vorgenommen.

|  |  |
|--|--|
|   | <h2 style="text-align: center;">Teil 2: Technikumsversuche</h2> <div style="text-align: right;"><b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b></div>  |
| <p>EINLEITUNG</p> <p>LABORVERSUCHE</p> <p><b>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EXPERIMENTELLES</li> <li>• ERGEBNISSE</li> <li>• <b>ZUSAMMENFASSUNG</b></li> </ul> <p>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG</p> <p>ANHANG</p> | <p>Als Basis wird, mit kleinen Anpassungen, dieselbe Rezeptur wie bei den Laborversuchen verwendet. Die Änderungen sind im Detail:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhung des Calciumoxids auf 10 phr, um sicher blasenfreie Profile zu erhalten.</li> <li>• Wegen Verfügbarkeit wurde Breax 3400 anstatt Lipoxol 3000 eingesetzt.</li> <li>• Verwendung von Rhenogran CBS-80 anstatt Santocure CBS, jedoch gleiche Dosierung.</li> </ul> |
|  | <p style="font-size: small;">VM-4/0409/03.2025</p>   |

**Abb. 22**



Die Extrusionsversuche im Technikum erfolgten unter den in *Abb. 24* aufgelisteten Bedingungen. Mit dem Temperaturprofil der Füllstoffverschnittmischungen erwies sich eine zufriedenstellende Extrusion der reinen Rußmischung als nicht möglich und musste daher angepasst erhöht werden.

|    | <b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b>  |                     |            |               |                   |    |    |        |    |    |        |    |    |        |    |    |               |     |    |
|---|--|---------------------|------------|---------------|-------------------|----|----|--------|----|----|--------|----|----|--------|----|----|---------------|-----|----|
| <p>EINLEITUNG</p> <p>LABORVERSUCHE</p> <p><b>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EXPERIMENTELLES</li> <li>• ERGEBNISSE</li> <li>• ZUSAMMENFASSUNG</li> </ul> <p>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG</p> <p>ANHANG</p> | <h2 style="text-align: center;">Extrusion</h2> <p><b>Extruder</b> mit Vakuum, Durchmesser<sub>D</sub>: 90 mm, Länge: 16 D</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Temperaturen in °C:</th> <th style="text-align: center;">Ruß allein</th> <th style="text-align: center;">Ruß + Mineral</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Zone 1 [Schnecke]</td> <td style="text-align: center;">75</td> <td style="text-align: center;">50</td> </tr> <tr> <td>Zone 2</td> <td style="text-align: center;">75</td> <td style="text-align: center;">40</td> </tr> <tr> <td>Zone 3</td> <td style="text-align: center;">80</td> <td style="text-align: center;">50</td> </tr> <tr> <td>Zone 4</td> <td style="text-align: center;">90</td> <td style="text-align: center;">60</td> </tr> <tr> <td>Zone 5 [Kopf]</td> <td style="text-align: center;">110</td> <td style="text-align: center;">70</td> </tr> </tbody> </table> <p>Drehzahl: 15 bis 18 U/min<br/>Abzugsgeschwindigkeit: 7,5 m/min konstant</p> <p>Die Extrusion der reinen Rußmischung war mit dem Temperaturprofil von Ruß + Mineral nicht möglich!</p> | Temperaturen in °C: | Ruß allein | Ruß + Mineral | Zone 1 [Schnecke] | 75 | 50 | Zone 2 | 75 | 40 | Zone 3 | 80 | 50 | Zone 4 | 90 | 60 | Zone 5 [Kopf] | 110 | 70 |
| Temperaturen in °C:   | Ruß allein   | Ruß + Mineral       |            |               |                   |    |    |        |    |    |        |    |    |        |    |    |               |     |    |
| Zone 1 [Schnecke]   | 75   | 50                  |            |               |                   |    |    |        |    |    |        |    |    |        |    |    |               |     |    |
| Zone 2  | 75   | 40                  |            |               |                   |    |    |        |    |    |        |    |    |        |    |    |               |     |    |
| Zone 3  | 80   | 50                  |            |               |                   |    |    |        |    |    |        |    |    |        |    |    |               |     |    |
| Zone 4  | 90   | 60                  |            |               |                   |    |    |        |    |    |        |    |    |        |    |    |               |     |    |
| Zone 5 [Kopf]   | 110  | 70                  |            |               |                   |    |    |        |    |    |        |    |    |        |    |    |               |     |    |
|   | VM-4/0409/03.2025  |                     |            |               |                   |    |    |        |    |    |        |    |    |        |    |    |               |     |    |

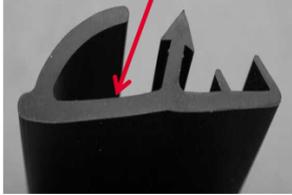
**Abb. 24**

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Füllstoffkombinationen sowohl beim Mischen als auch beim Extrudieren weniger Wärme erzeugen bzw. weniger Temperatur benötigen. Diesen Unterschied kann man gezielt für Prozess-, Energie- und Kostenoptimierungen vorteilhaft nutzen (*Abb. 23* und *24*). Die Vulkanisation der extrudierten Profile erfolgte mit den in *Abb. 25* aufgeführten Bedingungen.

|   |   |
|---|---|
|    | <b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b>   |
| <p>EINLEITUNG</p> <p>LABORVERSUCHE</p> <p><b>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EXPERIMENTELLES</li> <li>• ERGEBNISSE</li> <li>• ZUSAMMENFASSUNG</li> </ul> <p>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG</p> <p>ANHANG</p> | <h2 style="text-align: center;">Vulkanisation</h2> <p><b>UHF:</b><br/>2 x 6 KW, Länge 6 m, Lufttemperatur 200 °C,<br/>typische Austrittstemperatur 185 °C</p> <p><b>Heißlufttunnel:</b><br/>Länge 3 x 9 m, Lufttemperatur 270 °C</p> <p><b>Kühlstrecke:</b><br/>Länge 2 x 9 m, Wassertemperatur 10 °C</p> |
|   | VM-4/0409/03.2025   |

**Abb. 25**

Die Probekörper wurden wie in *Abb. 26* beschrieben hergestellt. Farb- und Glanzmessungen wurden an der Unterseite des Profilbodens durchgeführt, wobei die betreffenden Profilabschnitte vor der Vulkanisation um 180° gedreht wurden.

|   |   |
|---|---|
|    | <b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b>   |
| <p>EINLEITUNG</p> <p>LABORVERSUCHE</p> <p><u>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EXPERIMENTELLES</li> <li>• ERGEBNISSE</li> <li>• ZUSAMMENFASSUNG</li> </ul> <p>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG</p> <p>ANHANG</p> | <h2 style="text-align: center;">Probekörperherstellung</h2> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Prüfung der optischen und mechanischen Eigenschaften wurden an aus dem Profilboden entnommenen Probekörpern durchgeführt.</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Platten für die Prüfung des Durchgangswiderstand wurden aus der im Knetzer hergestellten Mischung vulkanisiert.</li> </ul> |
|   | <p style="font-size: small;">VM-4/0409/03.2025</p>  |

**Abb. 26**

Bei aller Schwierigkeit der Quantifizierung von Farbeindrücken kann mit dem CIELAB-Farbsystem mittels L\*a\*b-Werte eine leicht interpretierbare Bewertung erreicht werden (*Abb. 27* und *Abb. 28*).

|   |   |
|---|---|
|    | <b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b>   |
| <p>EINLEITUNG</p> <p>LABORVERSUCHE</p> <p><u>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EXPERIMENTELLES</li> <li>• ERGEBNISSE</li> <li>• ZUSAMMENFASSUNG</li> </ul> <p>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG</p> <p>ANHANG</p> | <h2 style="text-align: center;">Farbmessung</h2> <p>ISO 7724</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Messparameter</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Spektralphotometer (Luci 100, Dr. Lange)</li> <li>Lichtart D 65</li> <li>Messgeometrie d/8°, ohne Glanzfalle</li> <li>Normalbeobachterwinkel 10°</li> </ul> </li> <li>• <b>Begriffserklärung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>L*: Helligkeit (0: Ideal schwarz; 100: Ideal weiß)</li> <li>a*: Rot/Grün-Anteil (positive Werte: rote Farbtöne; negative Werte: grüne Farbtöne)</li> <li>b*: Gelb/Blau-Anteil (positive Werte: gelbe Farbtöne; negative Werte: blaue Farbtöne)</li> </ul> </li> </ul> |
|   | <p style="font-size: small;">VM-4/0409/03.2025</p>  |

**Abb. 27**

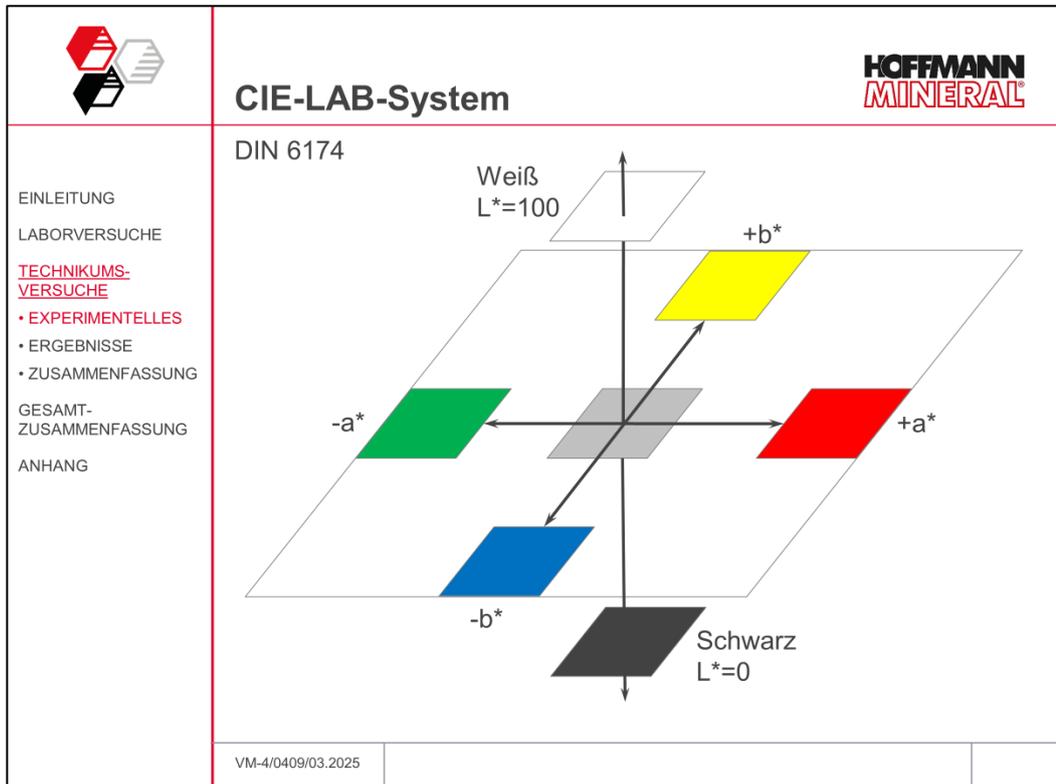


Abb. 28

### 3.2 Ergebnisse

#### 3.2.1 Mooney-Viskosität

Die Mooney-Viskosität der Knetmischungen zeigte im Wesentlichen die gleiche Reihung wie bei den Labormischungen, jedoch war das Wertenniveau um 5-10 Punkte nach oben verschoben. Wiederum lagen die Mischungen mit hellen Füllstoffen, mit Ausnahme des Hartkaolins, durchweg niedriger als die reine Rußmischung. Den letzten Rang nehmen die oberflächenbehandelte und die nicht behandelte Kreide ein. Zusammen mit dem kalzinieren und dem mittelaktiven Kaolin ordnen sich die Produkte auf Basis der Neuburger Kieseleder im Mittelfeld ein (Abb. 29).

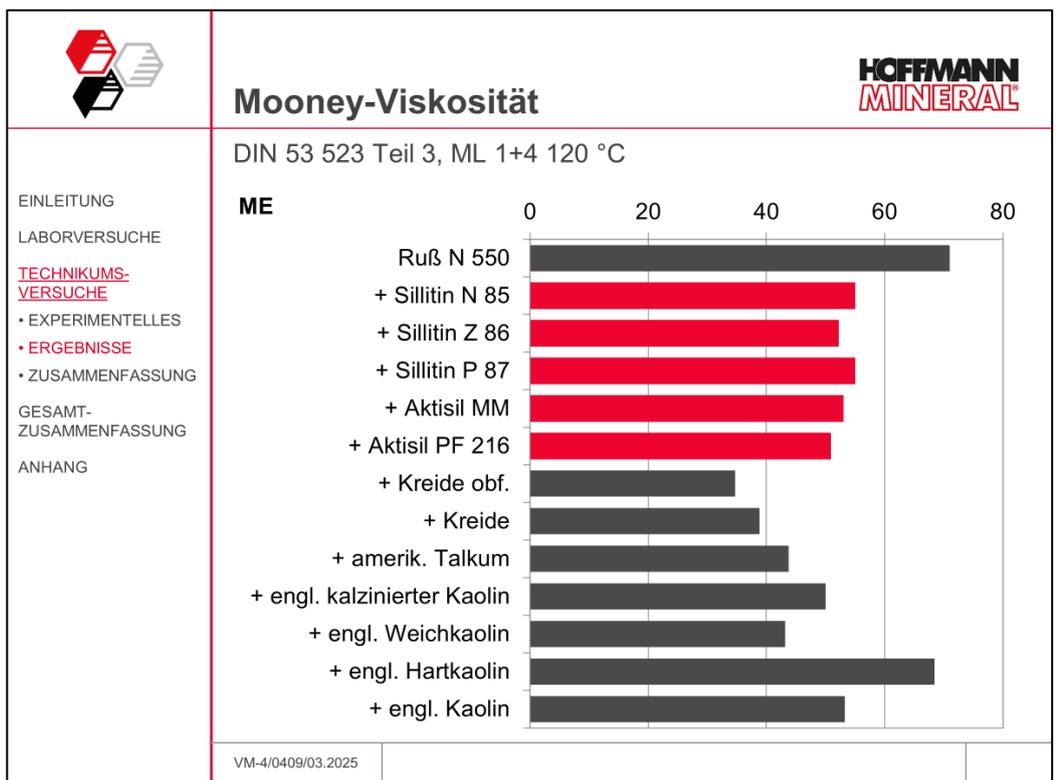


Abb. 29

### 3.2.2 Vulkanisationsverhalten

Auch die Umsatzzeit  $t_{90}$  als Maß für die Ausvulkanisationszeit ist bei den Knetermischungen tendenzmäßig ca. 1 – 2 min. länger. Talkum und mittelaktiver Kaolin wirken sich besonders verzögernd aus, Sillitin N 85 zeigte sich indifferent, ebenso wie die beiden Kreiden und der kalzinierte Kaolin (Abb. 30).

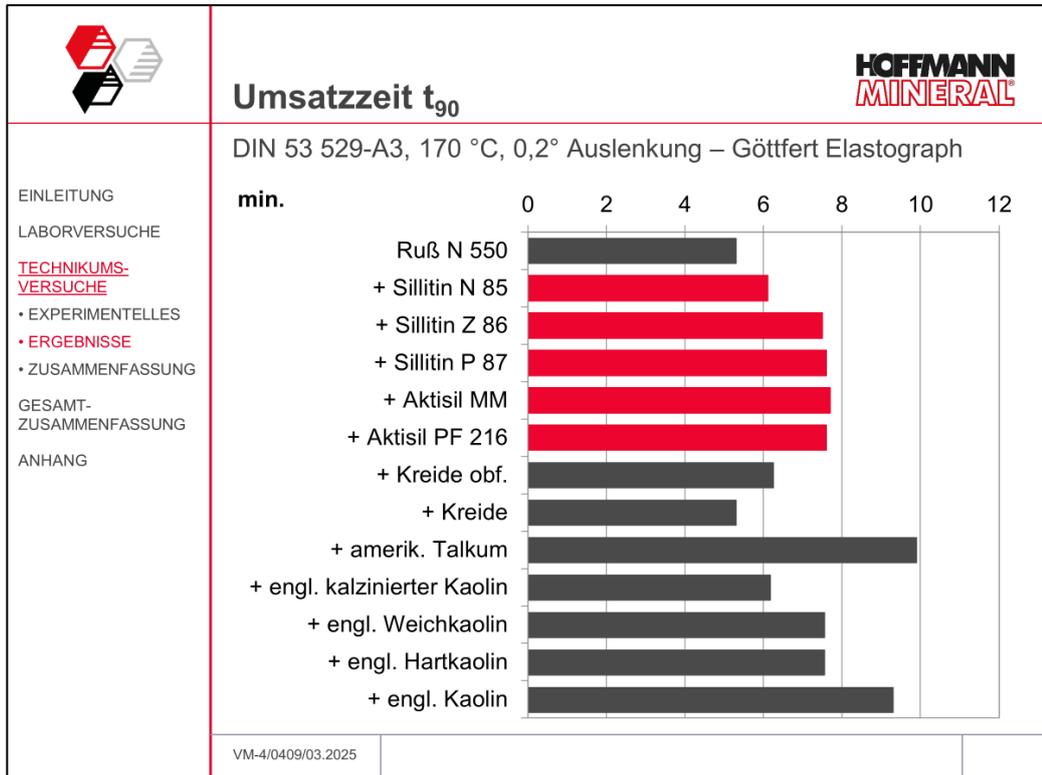


Abb. 30

### 3.2.3 Mechanische Eigenschaften

In der Shore-Härte erreichen alle Füllstoffe, mit Ausnahme der beiden Kreiden, Werte um 60 Shore A. Hartkaolin und Aktisil PF 216 liegen auf dem etwas höheren Niveau der Rußkontrollmischung. Im Vergleich zu den entsprechenden Labormischungen kommt die Härte ca. 5 Punkte niedriger heraus. Der besonders niedrigen Werte der beiden Kreiden, insbesondere mit der oberflächenbehandelten Variante, dürfte auf eine hohe Porosität der Profile zurückzuführen sein (Abb. 31).

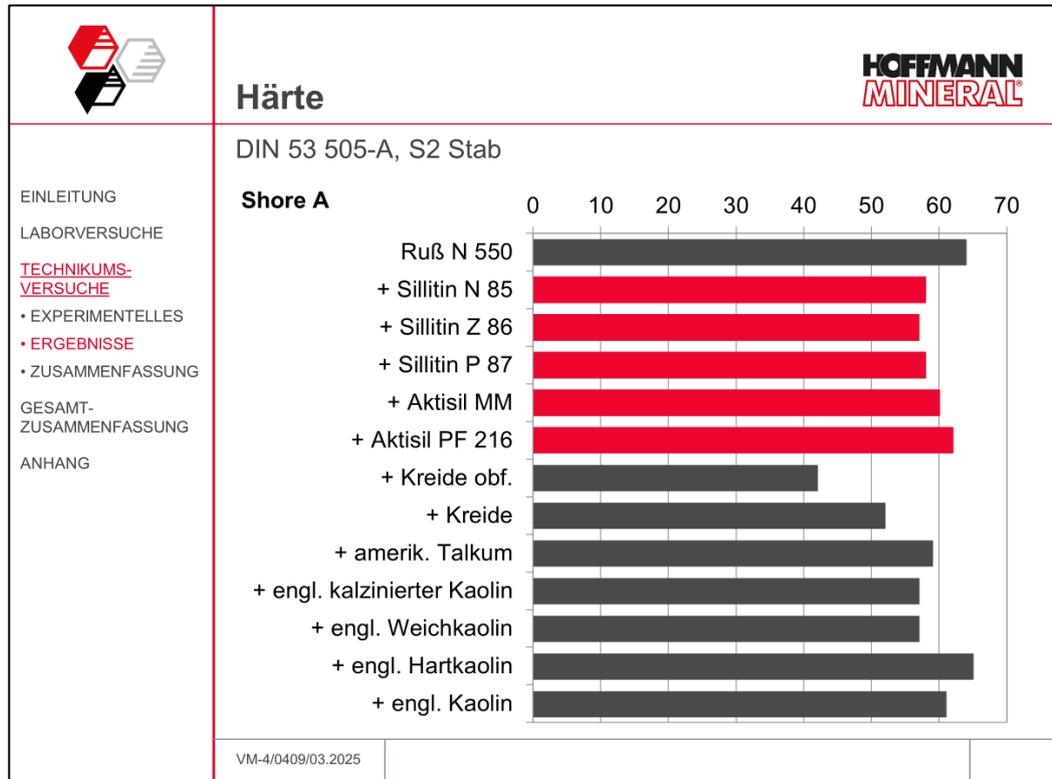
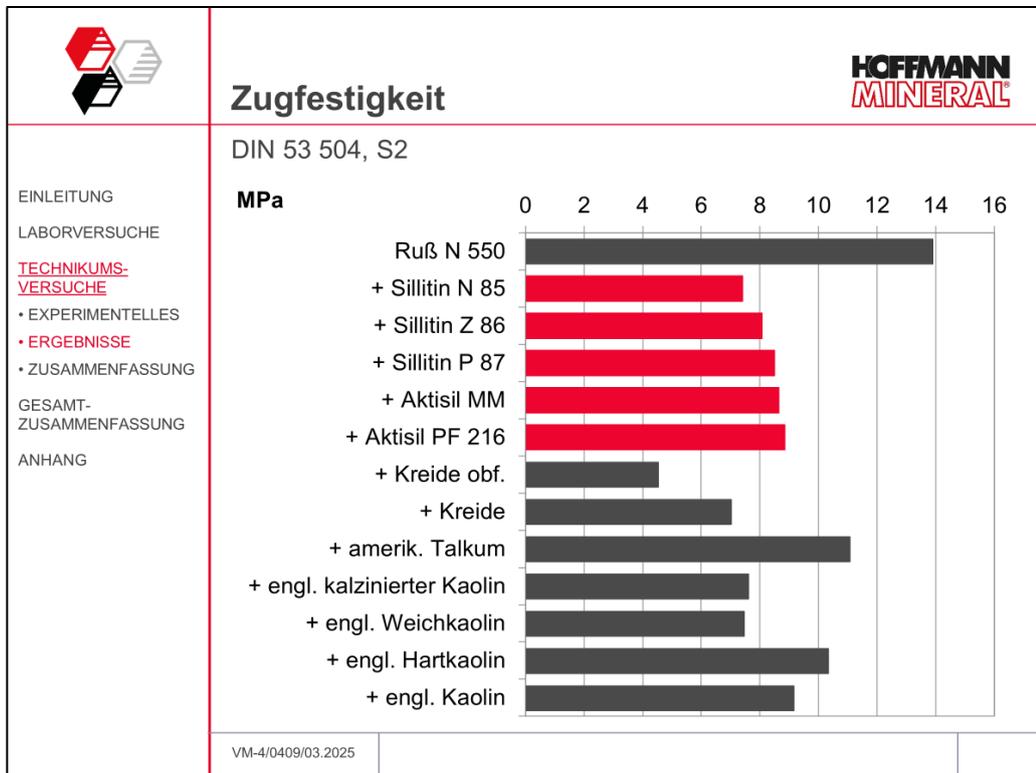


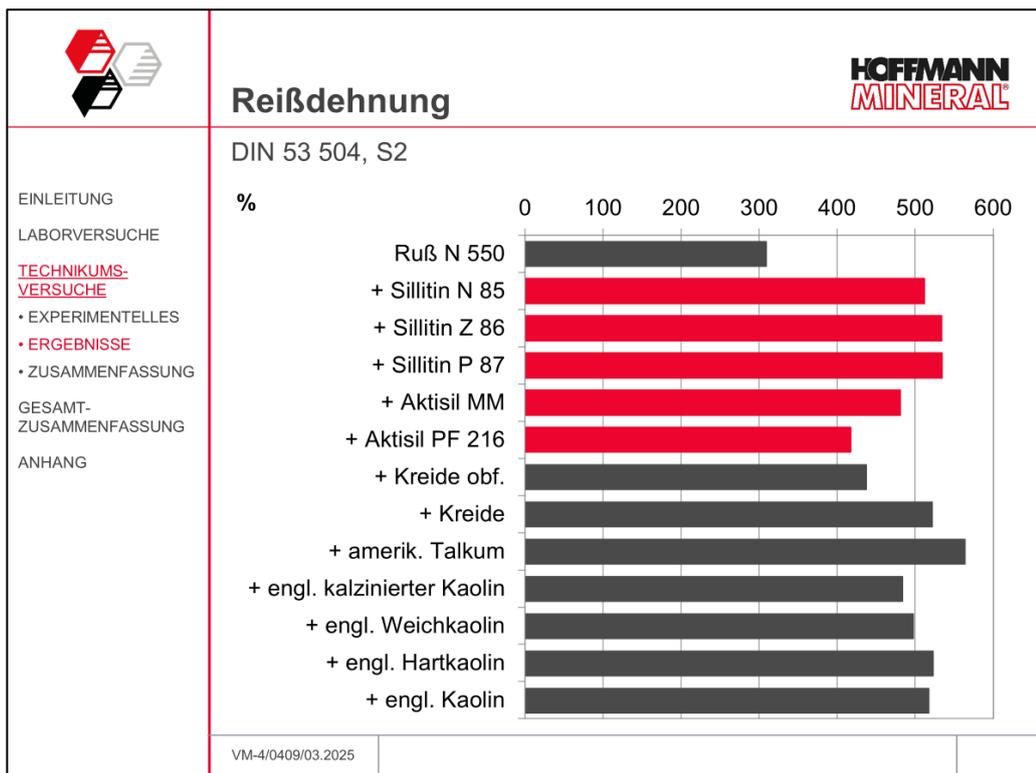
Abb. 31

Wie schon in den Labormischungen haben alle Verschnitte mit hellen Füllstoffen eine niedrigere Zugfestigkeit als die reine Rußfüllung. Günstig liegen noch Talkum, Hart- und mittelaktiver Kaolin sowie die Aktisile PF 216 und MM. Auch Sillitin Z 86 und Sillitin P 87 finden sich knapp oberhalb der angestrebten Grenze von 8 MPa. Mit ca. 7,5 MPa ordnen sich der gebrannte und der Weichkaolin unter Berücksichtigung eines Sicherheitspolsters im Grenzbereich der Abnehmerspezifikationen ein, während die unbehandelte und vor allem die oberflächenbehandelte Kreide die Anforderungen bei weitem nicht mehr erfüllen (Abb. 32).



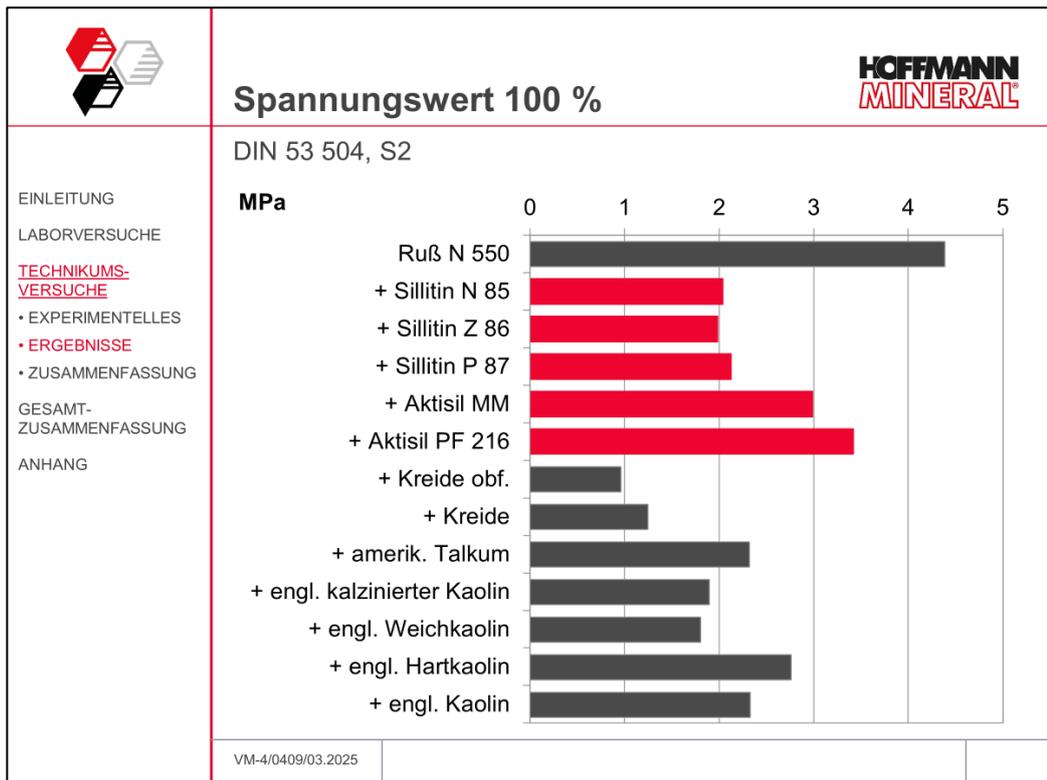
**Abb. 32**

Die Reißdehnung ist dagegen in allen mineralischen Füllstoffverschnitten erhöht. Aktisil PF 216 liegt am nächsten an der reinen Rußmischung, gefolgt von der behandelten Kreide. Talkum rangiert am oberen Ende, die übrigen Produkte sind erhöht auf etwa demselben Niveau und zeigen keine großen Unterschiede (Abb. 33).



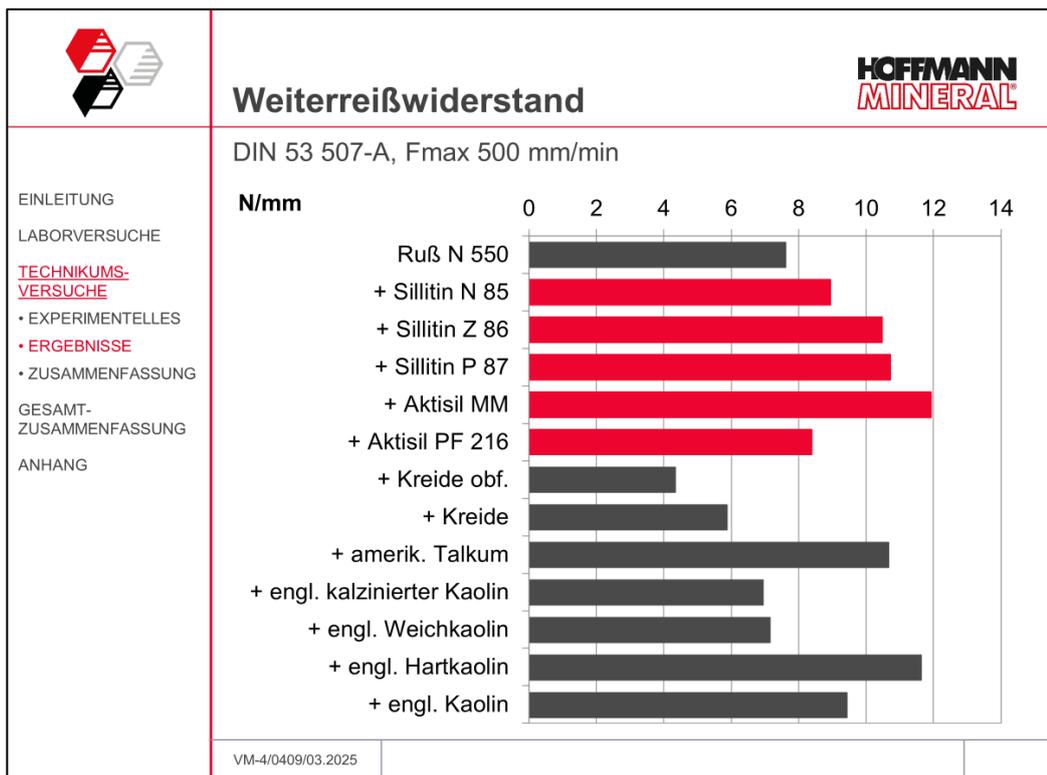
**Abb. 33**

Im Spannungswert bei 100 % Dehnung liegen die meisten Verschnitte nur halb so hoch wie die reine Rußqualität. Diesem hohen Wert nähert sich allein Aktisil PF 216 an, gefolgt von Aktisil MM und deutlich schwächer der Hartkaolin. Talkum und der mittelaktive Kaolin bilden das Mittelfeld, und weit abgeschlagen enden hier die beiden Kreiden (Abb. 34).



**Abb. 34**

Wie Abb. 35 zeigt, herrschen auch beim Weiterreißwiderstand wesentliche Unterschiede vor, und hier vermögen zahlreiche Verschnitte mit mineralischen Füllstoffen die reine Rußmischung deutlich zu übertreffen. Aktisil MM gefolgt vom Hartkaolin führt deutlich das Feld an. Talkum, mittelaktiver Kaolin und die restlichen Kieselerde-Produkte sind zwar etwas niedriger, aber immer noch besser als die Rußkontrollmischung. Der kalzinierte und der Weichkaolin erreichen das Rußniveau nicht ganz, und die beiden Kreiden liegen wieder am unteren Ende der Skala.



**Abb. 35**

Der Druckverformungsrest nach der VW-Prüfvorschrift PV 3307 wurde sowohl nach 5 sec. als auch nach 60 min Relaxationszeit bestimmt. Hier erzielte in der Prüfung bei Raumtemperatur Aktisil PF 216 klar das beste Ergebnis, nach der kurzen Relaxationszeit deutlich besser als Ruß alleine. Dagegen erreicht Aktisil MM und Kreide noch das Rußniveau, gefolgt von Sillitin N 85, Z 86 und dem kalzinierten Kaolin. Etwas schwächer liegen Sillitin P 87 und die oberflächenbehandelte Kreide, in einer unbefriedigenden Gruppe Talkum und die anderen Kaoline (Abb. 36).

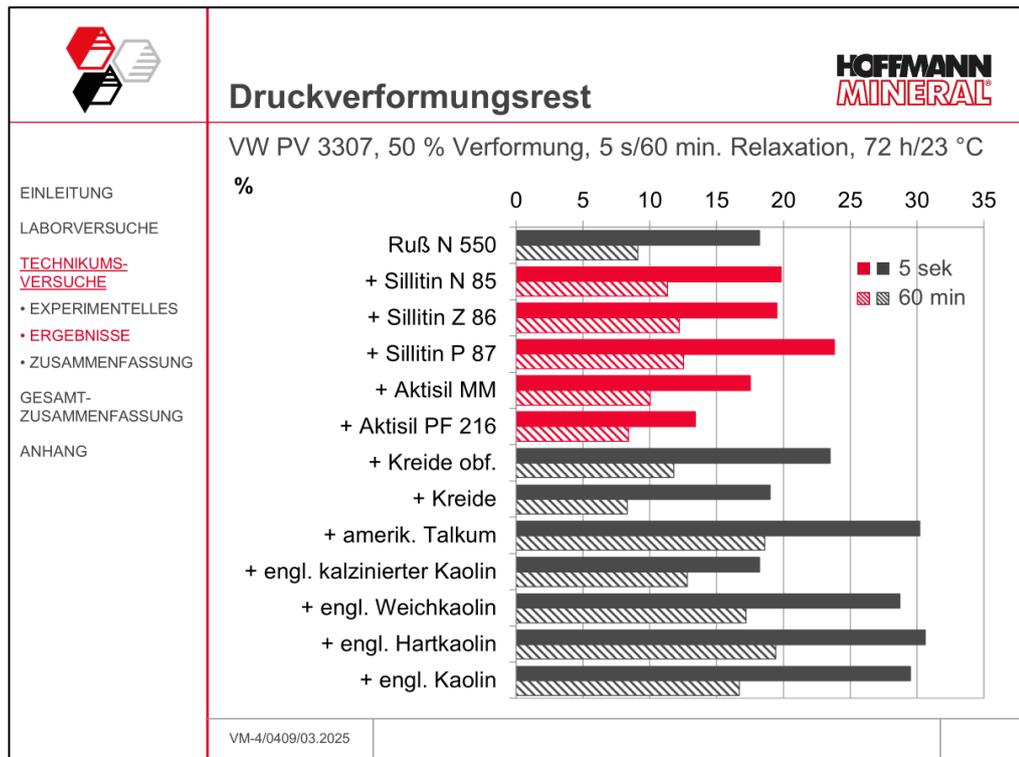


Abb. 36

Die Prüfung bei höherer Temperatur führt grundsätzlich zu ähnlichen Ergebnissen, und nur Aktisil PF 216, Aktisil MM und die Kreide ergeben ähnlich niedrige Werte wie die reine Rußmischung. Der kalzinierte Kaolin, Sillitin Z 86, Sillitin N 85, Sillitin P 87 und die oberflächenbehandelte Kreide liegen im Mittelfeld, die anderen Kaoline und Talkum ordnen sich im weniger günstigen Bereich ein. Das schwache Ergebnis der nicht kalzinierten Kaoline sowie Talkum sollte in deren Plättchenstruktur begründet sein (Abb. 37).

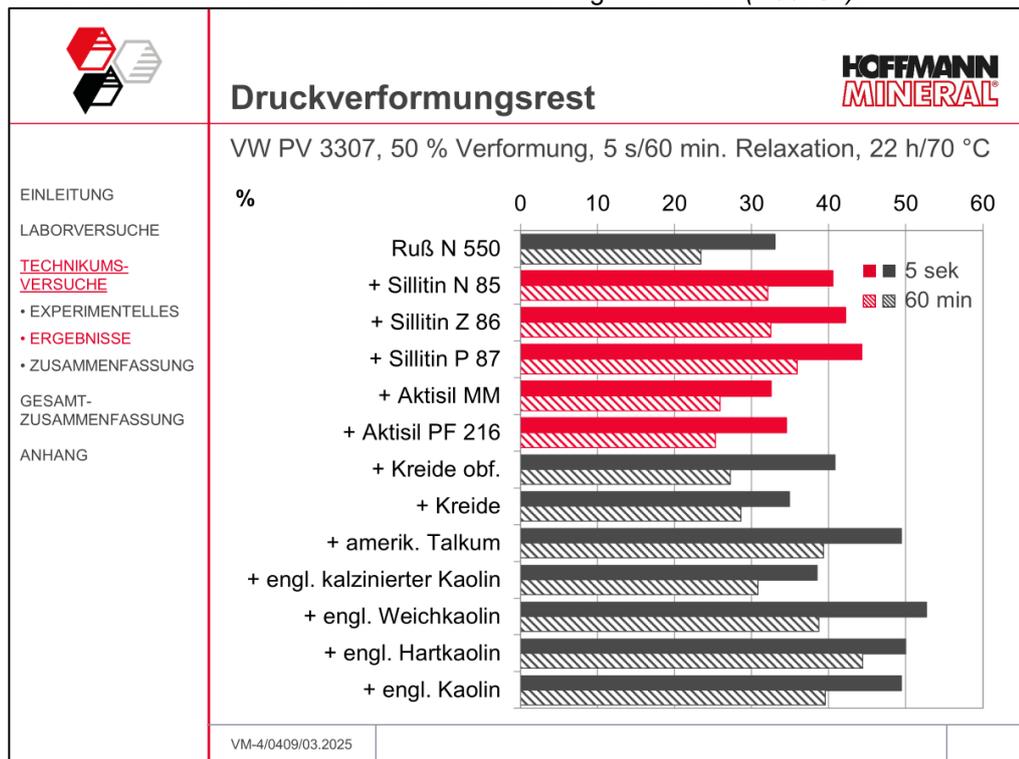


Abb. 37

### 3.2.4 Elektrische Eigenschaften

Im spezifischen Durchgangswiderstand kommen die beiden Kreiden mit Werten bei  $10^{10} \Omega\text{cm}$  relativ unbefriedigend heraus und erfüllen gerade noch so das Anforderungsprofil. Weich- und Hartkaolin, Talkum und Sillitin N 85 folgen auf etwas höherem Niveau, werden aber mit Werten über  $10^{12} \Omega\text{cm}$  bereits durch Aktisil MM, dem mittelaktiven Kaolin, Sillitin Z 86 und Sillitin P 87 übertroffen. Die niedrigste Leitfähigkeit mit Widerstandswerten über  $10^{13} \Omega\text{cm}$  erreichen der kalzinierte Kaolin und Aktisil PF 216 (Abb. 38).

Gegenüber den Labormischungen liegt das Niveau des spezifischen Widerstandes im Mittel um etwa 1,5 Zehnerpotenzen niedriger, was durchaus den Erwartungen entspricht (siehe Punkt 2.4.4. und Abb. 15). Die Unterschiede in der elektrischen Leitfähigkeit sind schon wie bei den Laboruntersuchungen auf Einflüsse der Verteilung des Rußes und der mineralischen Füllstoffe, auch Kornform bedingt, zurückzuführen. Nur die reine Rußmischung spricht kaum auf die Unterschiede im Mischverfahren an. Die Knetermischung liegt sogar noch geringfügig oberhalb der Laborwalzenmischung.

Bisher nicht betrachtet wurde der spezifische Durchgangswiderstand nach Wasserlagerung. Um realitätsgetreuer zu prüfen sollte diese für die Praxis bedeutende Eigenschaft bei weiteren Arbeiten mitberücksichtigt werden, da das Einsatzgebiet üblicherweise im Nassbereich des Autos liegt.

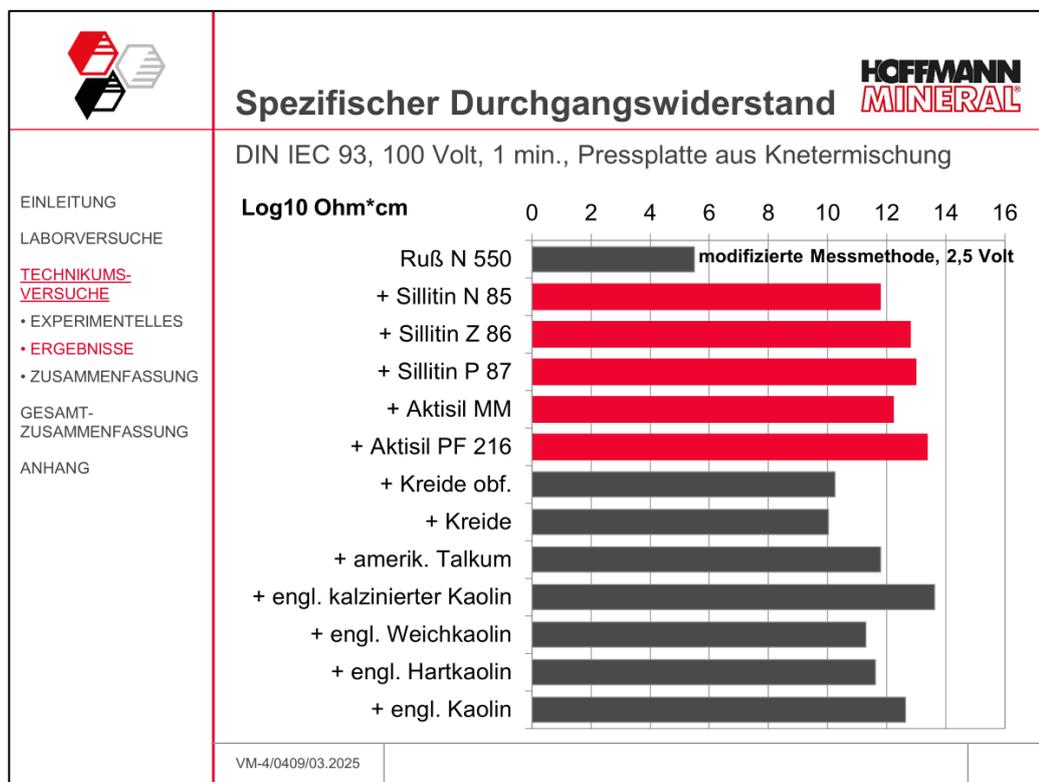


Abb. 38

### 3.2.5 Extrusionseigenschaften

Für die Extrusionsversuche wurde eine Profilform gewählt, welche die Kantenausbildung besonders gut differenziert. Vor allem der ähnlich einem Tannenbaum gestaltete Mittelbereich stellt sich kritisch dar. Die Standfestigkeit der Profile ließ sich über den Abstand des Profilschenkels (links im Bild) zum Profilboden bestimmen (Abb. 39).

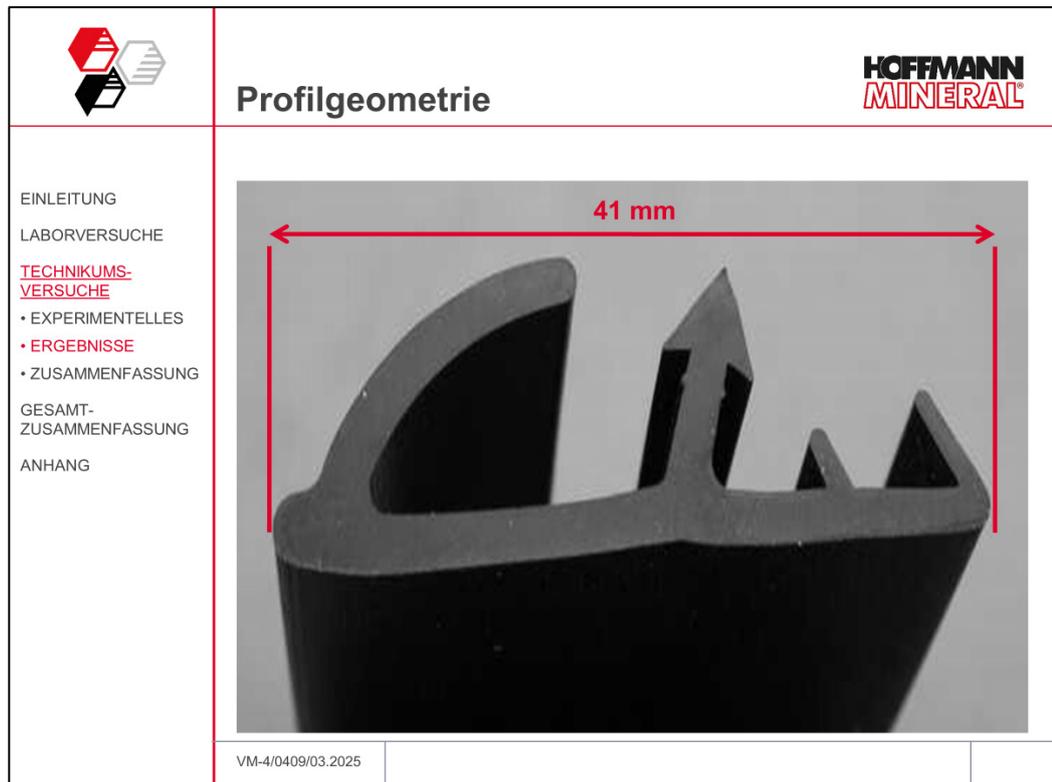


Abb. 39

Vergrößerung aller Profilbilder finden Sie im Anhang.

Die Profilbilder in *Abb. 40* zeigen für die reine Rußqualität sehr gute Kantenausformung, glänzende Oberfläche und hohe Standfestigkeit. Solche Mischungen sind unter diesen Gesichtspunkten, wenn eine glänzende Oberfläche gewünscht ist, als hervorragend zu bewerten. Allerdings ergibt sich eine gewisse Einschränkung durch einen nach gewisser Zeit auftretenden bläulichen Schimmer an der Oberfläche.

Sämtliche Mischungen mit Verschnitten aus Ruß und mineralischen Füllstoffen zeigen dagegen eine matte Oberfläche ohne Blauschimmer, siehe Punkt 3.2.6.

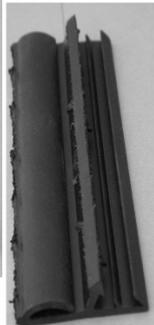
Im Einzelnen erzielt Sillitin N 85 gute Oberflächen, lässt jedoch bei der Ausformung des Tannenbaums Schwächen erkennen. Sillitin Z 86 liegt mit glatter Oberkante und weniger aufgerissenen Seitenkanten schon deutlich günstiger. Ein sehr gutes Resultat zeigt sich mit Sillitin P 87, wo alle Kanten glatt ausgebildet sind und der Profilschenkel einen hohen Abstand zum Profilboden aufweist.

|  |  |
|--|--|
|   | <b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b>  |
| <p>EINLEITUNG</p> <p>LABORVERSUCHE</p> <p><u>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EXPERIMENTELLES</li> <li>• <b>ERGEBNISSE</b></li> <li>• ZUSAMMENFASSUNG</li> </ul> <p>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG</p> <p>ANHANG</p> | <h2 style="text-align: center;">Profilbilder (1)</h2> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>Ruß N 550</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>+ Sillitin N 85</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>+ Sillitin Z 86</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>+ Sillitin P 87</p>  </div> </div> <p style="text-align: right; font-size: small;">Die Vergrößerung aller Profilbilder finden Sie im Anhang, indem Sie auf das jeweilige Bild klicken.</p> <p style="font-size: x-small;">VM-4/0409/03.2025</p> |

**Abb. 40**

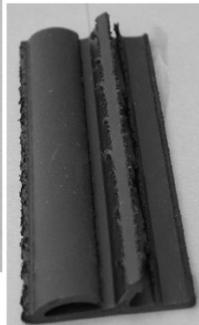
Auch Aktisil MM gibt allseitig glatte Kanten bei etwas geringerem Abstand des Profilschenkels. Aktisil PF 216 lässt geringfügig rauere Kanten am Tannenbaum und an der linken Profilaußenkante erkennen.

Die oberflächenbehandelte Kreide führt zu allseitig stark aufgerissenen Profilkanten und rauher Oberfläche, besonders erkennbar am Profilschenkel. Die unbehandelte Kreide liegt etwas günstiger, ähnlich wie Talkum, mit welchem die Außenkante etwas weniger ausgefranst erscheint (Abb. 41).

|  |   |
|--|---|
|   | <b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b>   |
| <p>EINLEITUNG</p> <p>LABORVERSUCHE</p> <p><u>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EXPERIMENTELLES</li> <li>• <b>ERGEBNISSE</b></li> <li>• ZUSAMMENFASSUNG</li> </ul> <p>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG</p> <p>ANHANG</p> | <h3 style="text-align: center;">Profilbilder (2)</h3> <p style="text-align: right;">Die Vergrößerung aller Profilbilder finden Sie im Anhang, indem Sie auf das jeweilige Bild klicken.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>+ Aktisil MM</b></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>+ Aktisil PF 216</b></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>+ Kreide ofb</b></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>+ Kreide</b></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>+ Talkum</b></p>  </div> </div> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;">VM-4/0409/03.2025</p> |

**Abb. 41**

Wie Abb. 42 erkennen lässt, liefert der kalzinierte Kaolin glatte Außen-, aber deutlich aufgerissene Tannenbaumkanten. Beim Weichkaolin ist die rechte Lippe gar nicht mehr ausgebildet, alle Kanten sind stark fransig und die Oberfläche bleibt durchweg rau. Kaum günstiger zeigen sich der Hart- und der mittelaktive Kaolin.

|  |  |
|--|--|
|   | <b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b>  |
| <p>EINLEITUNG</p> <p>LABORVERSUCHE</p> <p><u>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EXPERIMENTELLES</li> <li>• <b>ERGEBNISSE</b></li> <li>• ZUSAMMENFASSUNG</li> </ul> <p>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG</p> <p>ANHANG</p> | <h3 style="text-align: center;">Profilbilder (3)</h3> <p style="text-align: right;">Die Vergrößerung aller Profilbilder finden Sie im Anhang, indem Sie auf das jeweilige Bild klicken.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>+ kalz. Kaolin</b></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>+ Weichkaolin</b></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>+ Hartkaolin</b></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>+ Kaolin</b></p>  </div> </div> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;">VM-4/0409/03.2025</p> |

**Abb. 42**

Das Feld der Profilqualität als Kombination von Kantenausformung und Oberflächengüte wird bei den mineralischen Füllstoffen durch Sillitin P 87 und Aktisil MM angeführt, doch Sillitin Z 86 und Aktisil PF 216 folgen mit nur knappem Abstand. Schon Sillitin N 85 ordnet sich weniger günstig ein und über den kalzinierten und die anderen Kaoline, Talkum und Kreide geht die Wertung bis zu den Schlusslichtern Weichkaolin und oberflächenbehandelte Kreide zurück. (Abb. 43)

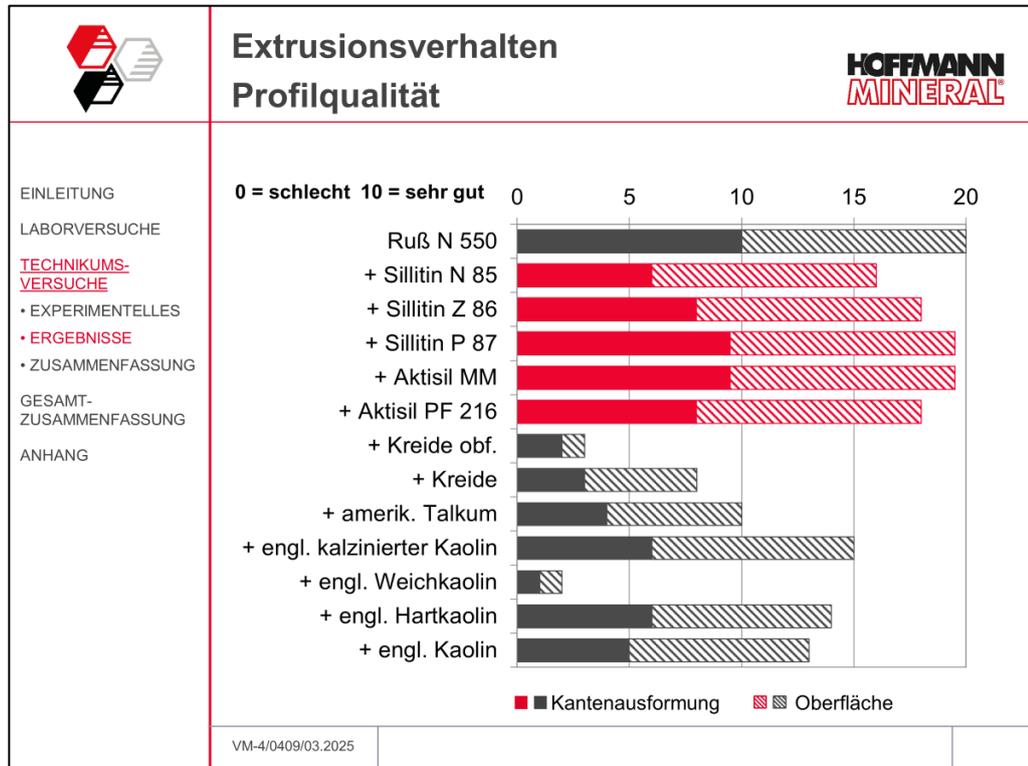


Abb. 43

Eine Porosität der Spritzlinge wurde über die Dichtedifferenz zwischen den Profilen und Pressplatten aus der gleichen Mischung ermittelt. Gleichzeitig wurden Profilschnitte visuell beurteilt (Einstufung in den Balken der Abbildung angegeben).

Stark ausgeprägte Blasenbildung ließ allein die oberflächenbehandelte Kreide erkennen. Auch Weichkaolin und die unbehandelte Kreide gaben zu feinen Blasen Anlass. Die anderen Füllstoffe riefen praktisch keinerlei Porosität hervor. (Abb. 44)

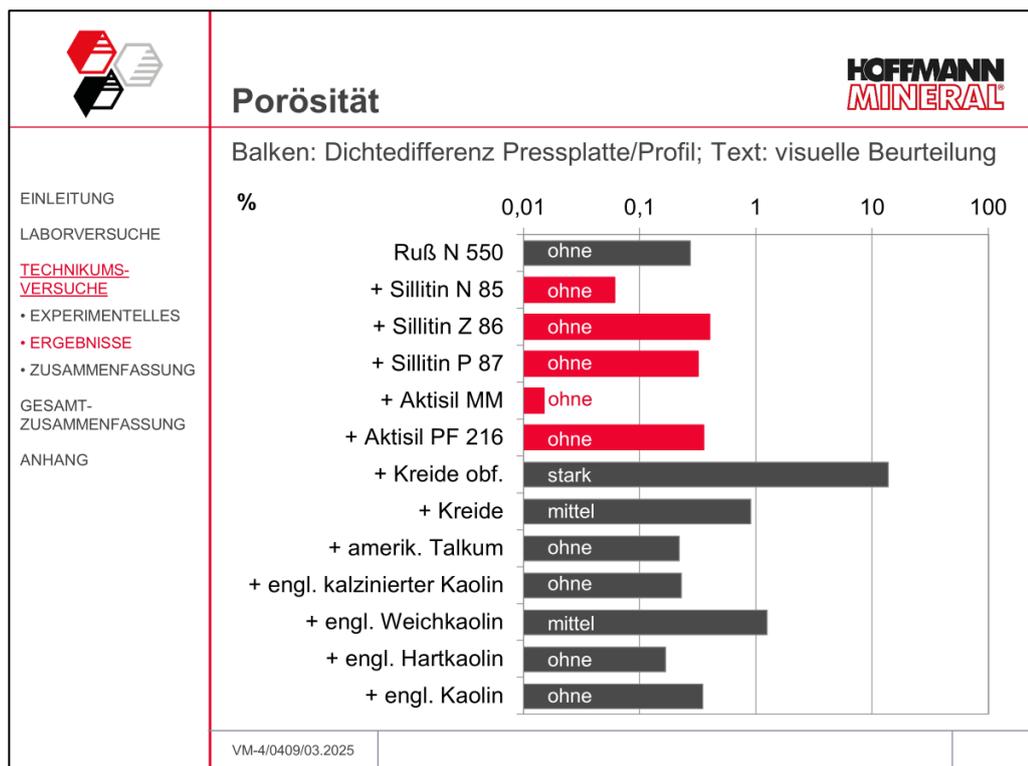


Abb. 44

Die Standfestigkeit des Profils, gemessen am Abstand des Profilschenkels vom Profilboden, wird durch alle hellen Füllstoffe geringer. Relativ günstig stellt sich Sillitin P 87 dar, die meisten anderen Produkte ordnen sich im Mittelfeld ein. Bei den beiden Kreiden und dem Weichkaolin liegt der Profilschenkel bereits auf dem Profilboden. (Abb. 45)

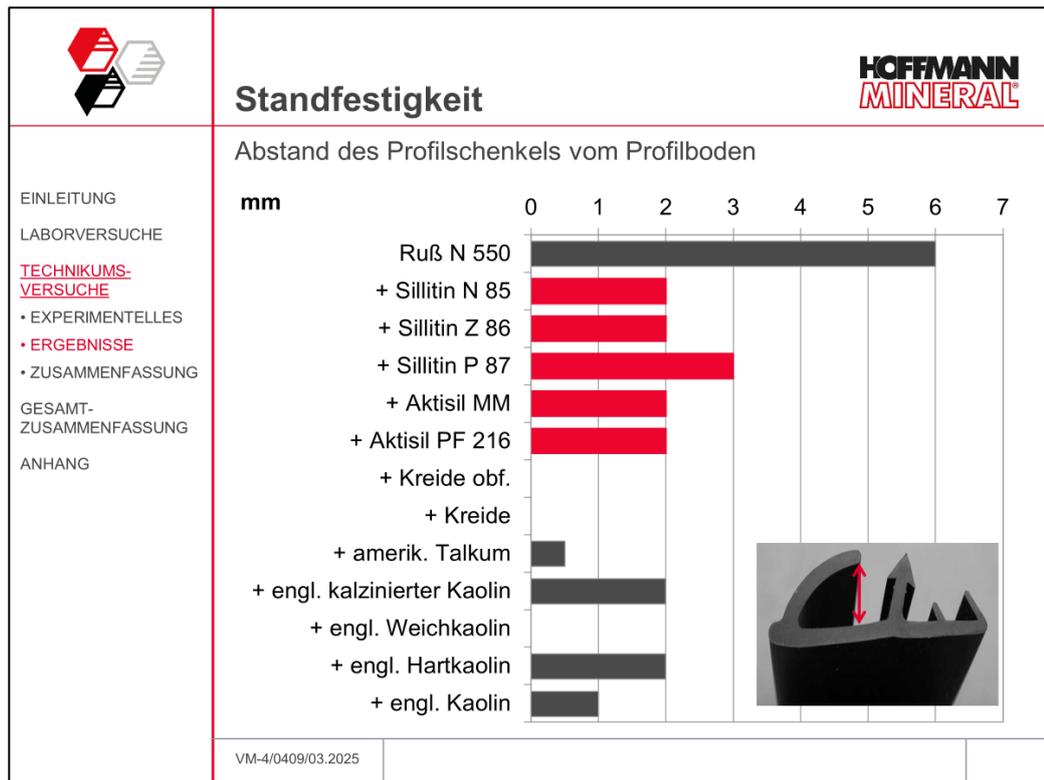


Abb. 45

### 3.2.6 Optische Eigenschaften

Im Glanz liegt erwartungsgemäß die reine Rußqualität am höchsten, wogegen alle mineralischen Füllstoffe eine Mattierung bewirken, was jedoch nicht unbedingt von Nachteil ist, da in Europa Glanz nicht erwünscht ist. Für die in die Verschnitte eingebrachten mineralischen Füllstoffe sind kaum Unterschiede festzustellen. Zieht man jedoch die entsprechende Oberflächengüte mit in Betracht, so empfiehlt sich kalzinierter Kaolin und besonders die Produkte auf Basis von Neuburger Kieselerde. (Abb. 46)

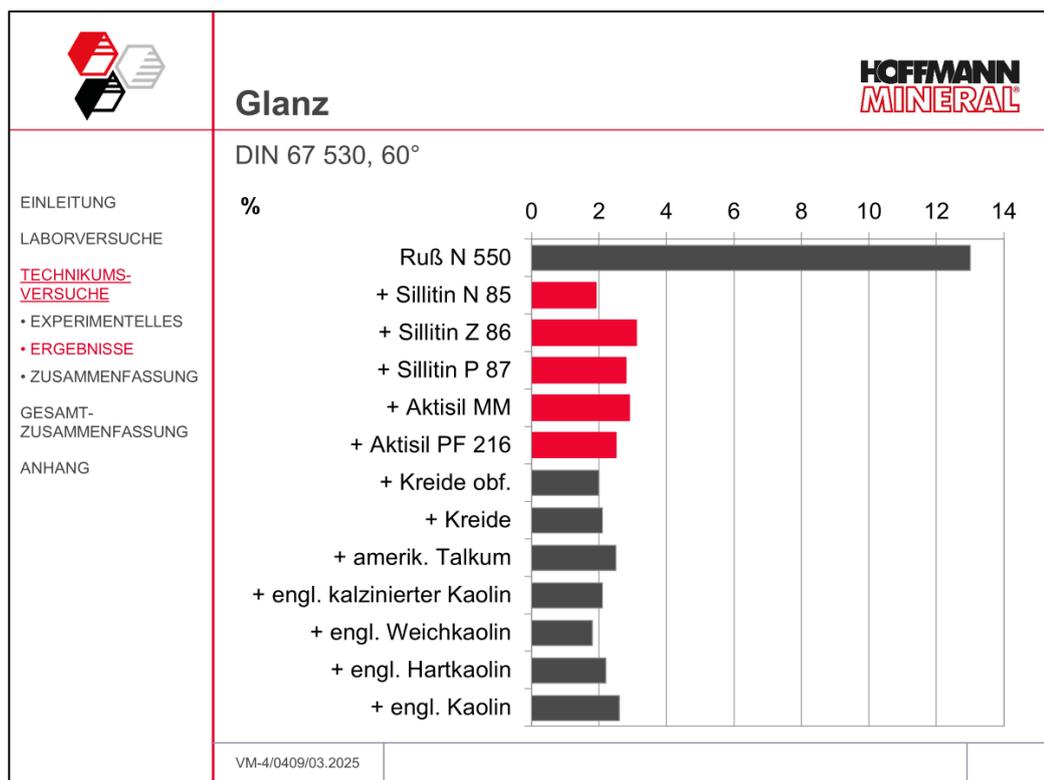


Abb. 46

Laut Abb. 47 erzielen alle Zusätze von mineralischen Füllstoffen gegenüber der reinen Rußfüllung höhere L\*-Werte, liefern also ein etwas helleres Schwarz. Außer Talkum mit einem leicht erhöhten Wert liegen die übrigen Produkte auf nahezu gleichem Niveau. Das gewählte Messsystem korrigiert in gewissem Maße auch den vorliegenden Glanz, jedoch lassen sich geringe Einflüsse auf die Messwerte nicht ganz ausschließen.

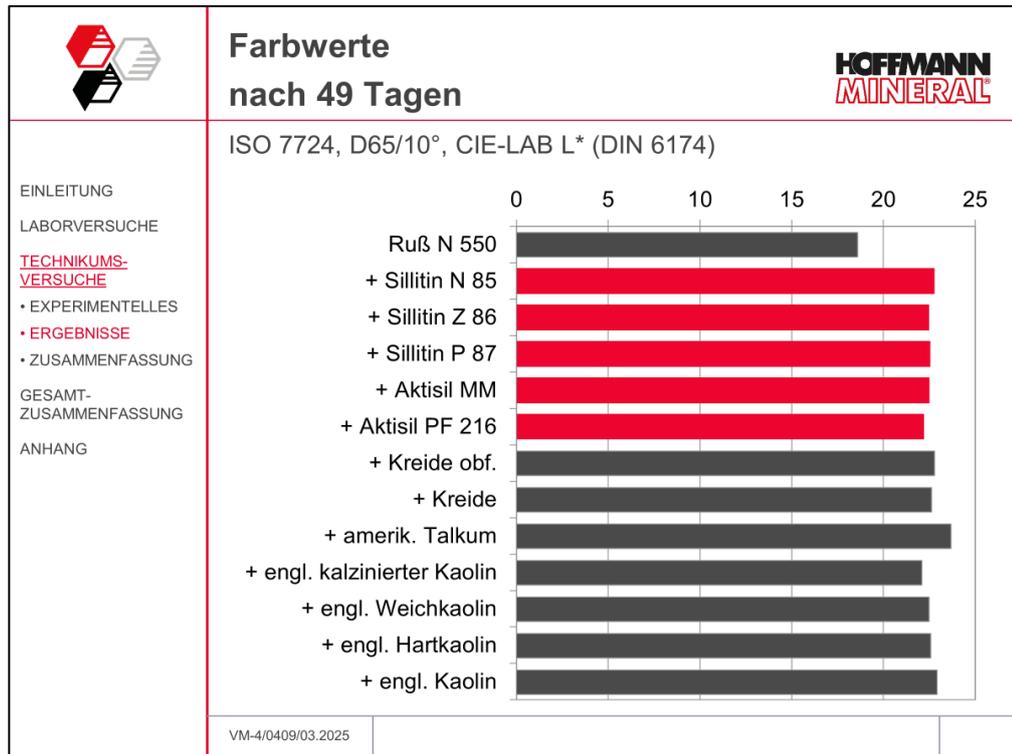


Abb. 47

Die a\*- und b\*-Werte beschreiben die Buntfarben, ausgehend von 0 für absolut unbunt, also je nach L\*-Wert reinem weiß, grau oder schwarz. a\* steht für die Grün/Rot-, b\* für die Blau/Gelb-Achse. Je stärker negativ a\* und b\* sind, umso mehr geht die Farbe in Richtung grün/blau. Ein starker Negativwert für b\* ist somit ein Hinweis auf deutlichen Blauschimmer auf den Profilen. Alle mineralischen Füllstoffe verschieben die b\*-Werte in Richtung auf die Nullachse, setzen also den Blauschimmer der reinen Rußmischung herab. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Produkten sind vermutlich auf rein statistische Streuung zurückzuführen. (Abb. 48)

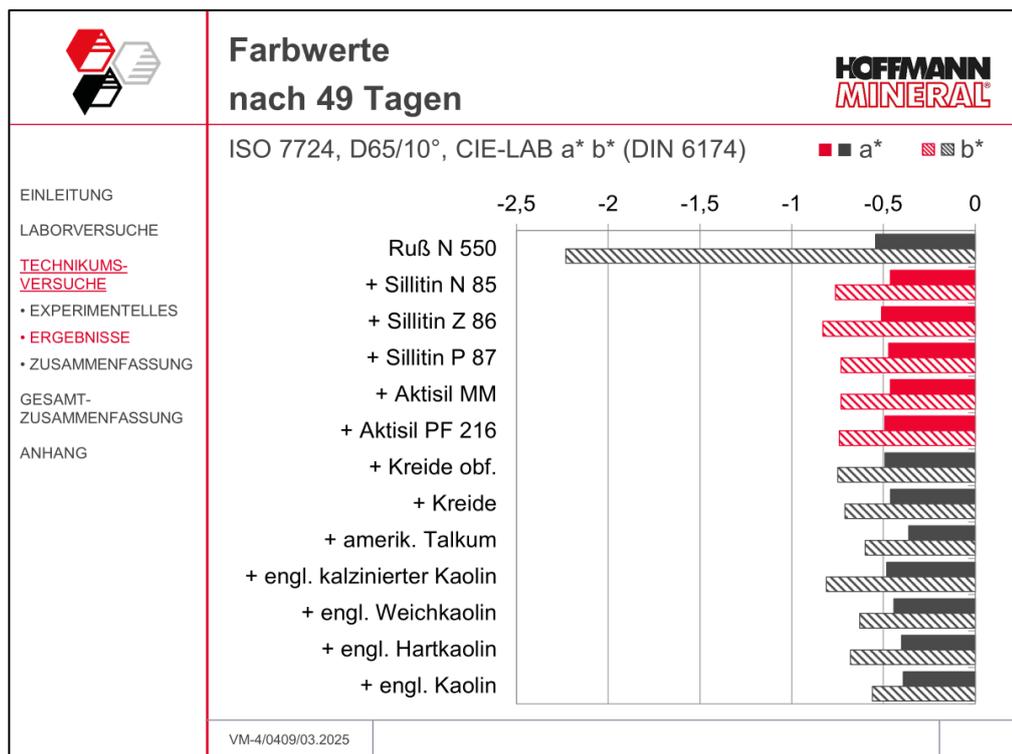


Abb. 48

### 3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Abb. 49 und Abb. 50 fassen die Ergebnisse der Technikumsversuche zusammen.

|  |   |
|--|---|
|   | <h2 style="text-align: center;">Technikumsversuche<br/>Zusammenfassung (1)</h2> <div style="text-align: right;"><b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b></div>   |
| <p>EINLEITUNG<br/>LABORVERSUCHE<br/><b>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE</b><br/>• EXPERIMENTELLES<br/>• ERGEBNISSE<br/>• <b>ZUSAMMENFASSUNG</b><br/>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG<br/>ANHANG</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Kreiden haben ihre Hauptschwächen in den mechanischen Eigenschaften als auch bei der Extrusion und beim elektrischen Widerstand, jedoch bewirken sie gute Druckverformungsrestwerte.</li> <li>• Talkum erreicht gute mechanische Eigenschaften, jedoch weist es nur schwache Druckverformungsrestwerte und mäßige Extrusionseigenschaften auf.</li> <li>• Kalzinierter Kaolin ist durch mäßige mechanische Eigenschaften, mittleres Extrusionsverhalten, guten Druckverformungsrest und hohen elektrischen Widerstand charakterisiert.</li> <li>• Weichkaolin zeigt ein sehr schlechtes Extrusionsverhalten und mäßige mechanische Eigenschaften bei schlechtem Druckverformungsrest.</li> </ul> |
|  | <p style="font-size: small;">VM-4/0409/03.2025</p>  |

Abb. 49

|  |   |
|--|---|
|   | <h2 style="text-align: center;">Technikumsversuche<br/>Zusammenfassung (2)</h2> <div style="text-align: right;"><b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b></div>   |
| <p>EINLEITUNG<br/>LABORVERSUCHE<br/><b>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE</b><br/>• EXPERIMENTELLES<br/>• ERGEBNISSE<br/>• <b>ZUSAMMENFASSUNG</b><br/>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG<br/>ANHANG</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hartkaolin erzielt gute mechanische Eigenschaften und mittleres Extrusionsverhalten, jedoch zeigen sich klare Schwächen beim Druckverformungsrest.</li> <li>• Mittelaktiver Kaolin gleicht dem Hartkaolin, jedoch erreicht er nur moderate mechanische Eigenschaften bei höherem elektrischem Widerstand.</li> <li>• Die <b>Neuburger Kieselederde</b> zeichnet sich vor allem durch ihr gutes Extrusionsverhalten, den hohen elektrischen Widerstand und guten Druckverformungsrest in Kombination mit hohem Weiterreißwiderstand aus.</li> <li>• Besonders empfehlen sich <b>Aktisil MM</b> und <b>Aktisil PF 216</b>. Sie erzielen sehr gute Extrusionseigenschaften in Kombination mit hohen Spannungswerten und hervorragendem Druckverformungsrest.</li> </ul> |
|  | <p style="font-size: small;">VM-4/0409/03.2025</p>  |

Abb. 50

## 4 Schlussfolgerung und Ausblick

|  |  |
|--|--|
|                       | <b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b>  |
| EINLEITUNG<br>LABORVERSUCHE<br>TECHNIKUMS-<br>VERSUCHE<br><u>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG</u><br>ANHANG | <h3>Fazit</h3> <p>Die Grundaussagen der Laboruntersuchung gelten auch weitgehend für die produktionsnahen Technikumsversuche.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mit mineralischen Füllstoffen können isolierende Karosserie-dichtprofile erstellt werden, die mit Ausnahme niedrigerer Zugfestigkeit und teilweise schlechterem Extrusionsverhalten keine deutlichen Leistungseinbußen erkennen lassen. Einige Mischungen, insbesondere mit <b>Sillitin und Aktisil</b>, erfüllen bereits die Anforderungen typischer Spezifikationen.</li><li>• Eine weitere Optimierung der Eigenschaften kann über das Verhältnis Ruß/mineralischer Füllstoff erreicht werden, da aufgrund des teilweise sehr hohen elektrischen Widerstand noch Potential für eine höhere Rußdosierung vorhanden ist. In diesem Zusammenhang sollte auch der elektrische Widerstand nach Wasserlagerung mit in Betracht gezogen werden.</li></ul> <p>VM-4/0409/03.2025</p> |

**Abb. 51**

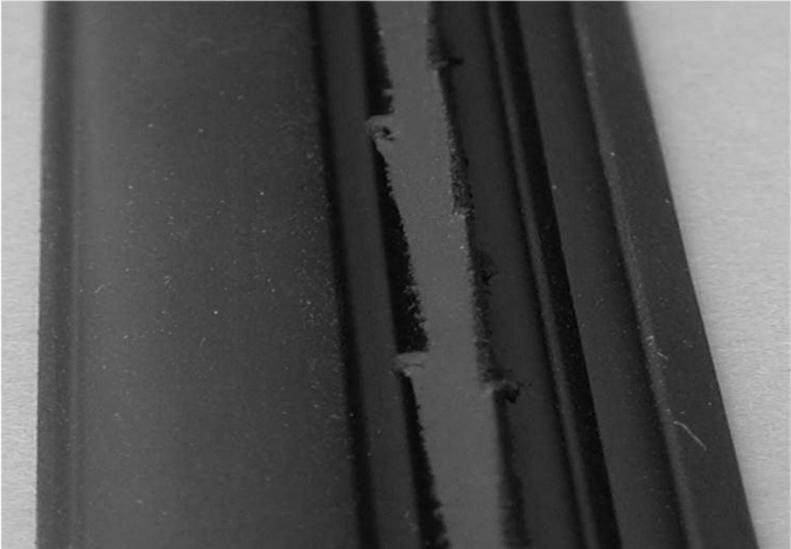
### *Danksagung*

*Die Mischungsherstellung und die Profil-Extrusion wurden, wie bereits erwähnt, im Technikum der Firma DSM Elastomers Europe in Geleen (NL) durchgeführt. Wir möchten uns an dieser Stelle bei DSM für die hervorragende Zusammenarbeit bedanken.*

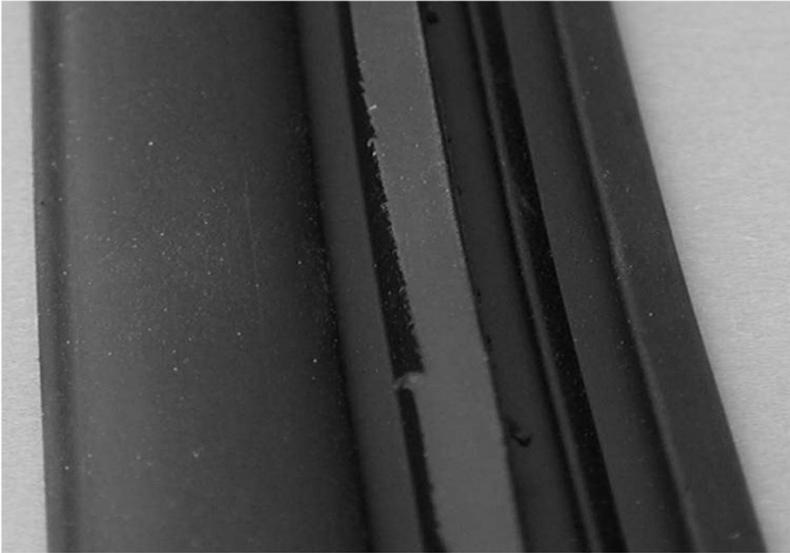
*Unsere anwendungstechnische Beratung und die Informationen in diesem Bericht beruhen auf Erfahrung und erfolgen nach bestem Wissen und Gewissen, gelten jedoch nur als unverbindlicher Hinweis ohne jede Garantie. Außerhalb unseres Einflusses liegende Arbeits- und Einsatzbedingungen schließen einen Anspruch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

|   |  |
|---|--|
|    | <p><b>Profilbild Detail</b></p> <p><b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b></p>   |
| <p>EINLEITUNG<br/>LABORVERSUCHE<br/>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE<br/>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG<br/><a href="#">ANHANG</a></p> | <p>Ruß N 550</p>  <p>VM-4/0409/03.2025</p> |

**Abb. 52**

|   |  |
|---|--|
|    | <p><b>Profilbild Detail</b></p> <p><b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b></p>   |
| <p>EINLEITUNG<br/>LABORVERSUCHE<br/>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE<br/>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG<br/><a href="#">ANHANG</a></p> | <p>+ Sillitin N 85</p>  <p>VM-4/0409/03.2025</p> |

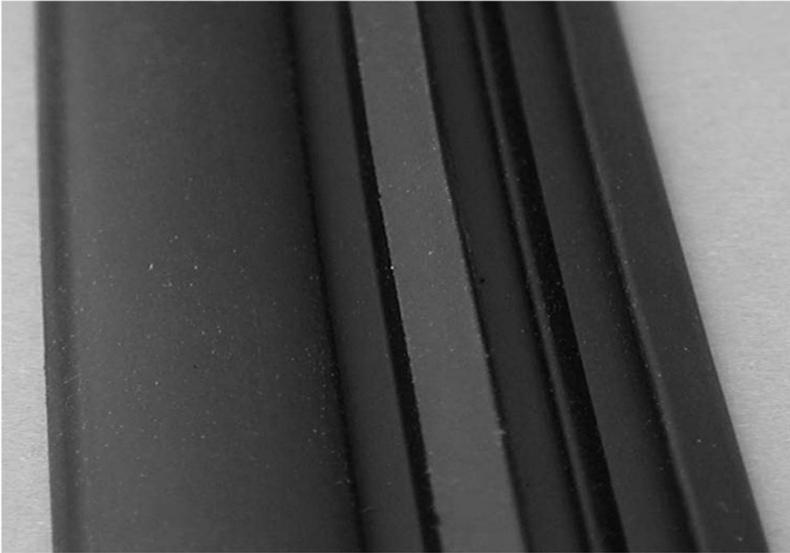
**Abb. 53**

|   |   |
|---|---|
|    | <p style="text-align: right;"><b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b></p> <h2 style="text-align: center;">Profilbild Detail</h2>          |
| <p>EINLEITUNG<br/>LABORVERSUCHE<br/>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE<br/>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG<br/><a href="#">ANHANG</a></p> | <p style="color: red;">+ Sillitin Z 86</p>  |
|   | <p style="font-size: small;">VM-4/0409/03.2025</p>  |

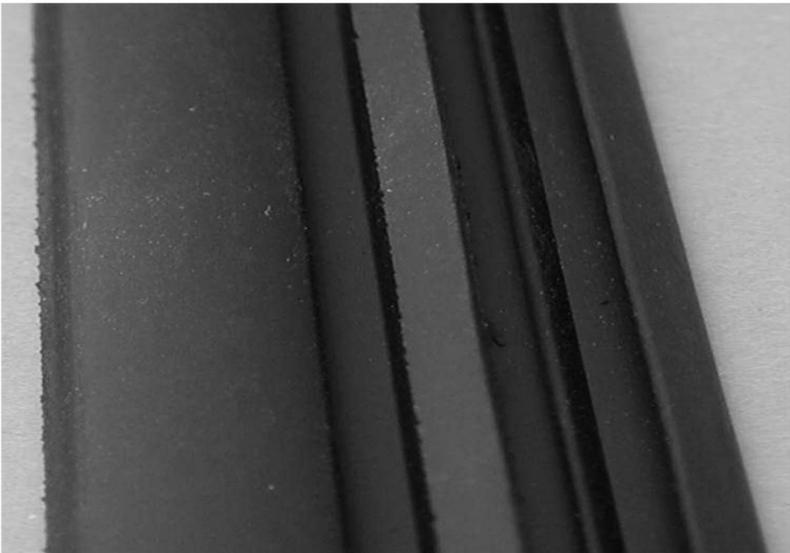
**Abb. 54**

|   |   |
|---|---|
|    | <p style="text-align: right;"><b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b></p> <h2 style="text-align: center;">Profilbild Detail</h2>            |
| <p>EINLEITUNG<br/>LABORVERSUCHE<br/>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE<br/>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG<br/><a href="#">ANHANG</a></p> | <p style="color: red;">+ Sillitin P 87</p>  |
|   | <p style="font-size: small;">VM-4/0409/03.2025</p>  |

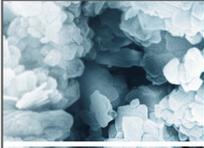
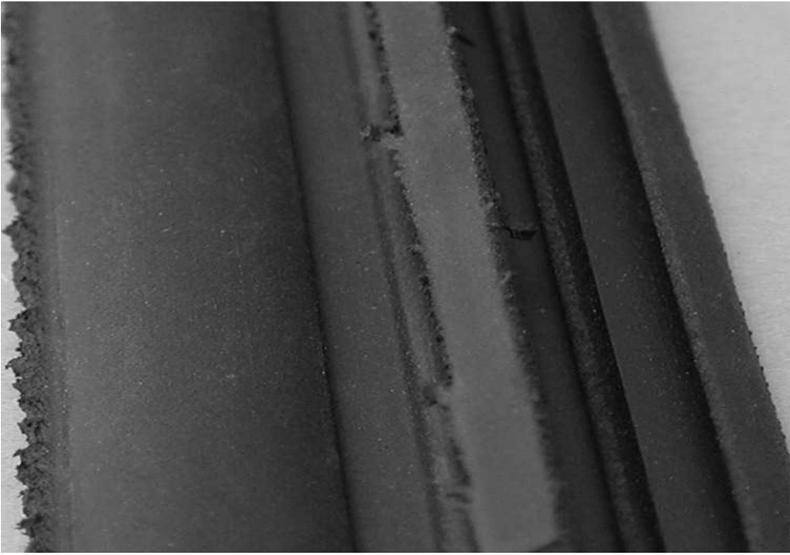
**Abb. 55**

|   |  |
|---|--|
|    | <p style="text-align: right;"><b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b></p> <h2 style="text-align: center;">Profilbild Detail</h2>       |
| <p>EINLEITUNG<br/>LABORVERSUCHE<br/>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE<br/>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG<br/><a href="#">ANHANG</a></p> | <p style="color: red;">+ Aktisil MM</p>  |
| <p style="text-align: left; margin-left: 20px;">VM-4/0409/03.2025</p>   |  |

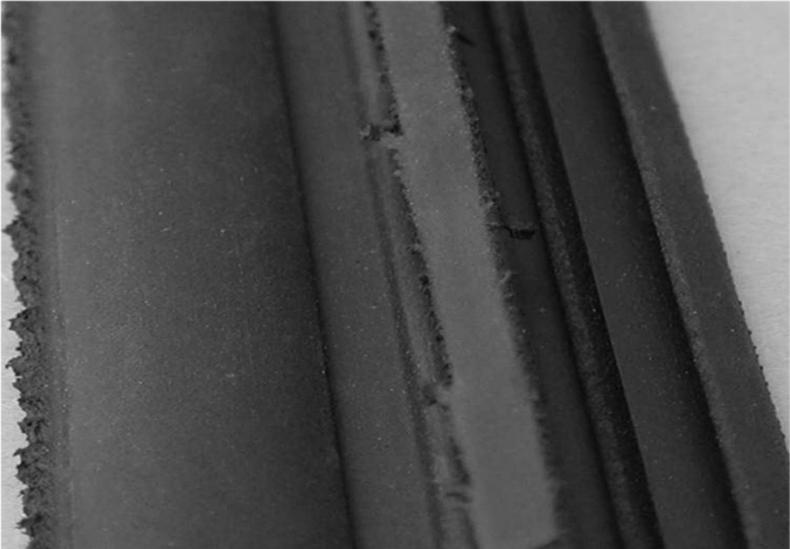
**Abb. 56**

|   |  |
|---|--|
|    | <p style="text-align: right;"><b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b></p> <h2 style="text-align: center;">Profilbild Detail</h2>             |
| <p>EINLEITUNG<br/>LABORVERSUCHE<br/>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE<br/>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG<br/><a href="#">ANHANG</a></p> | <p style="color: red;">+ Aktisil PF 216</p>  |
| <p style="text-align: left; margin-left: 20px;">VM-4/0409/03.2025</p>   |  |

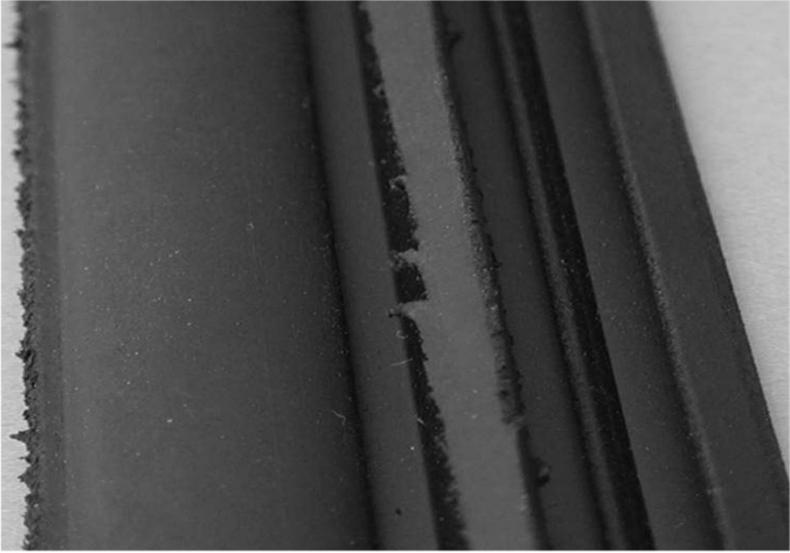
**Abb. 57**

|   |   |
|---|---|
|    | <p style="text-align: right;"><b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b></p> <h2 style="text-align: center;">Profilbild Detail</h2> <p style="text-align: center;">+ Kreide oberflächenbehandelt</p> |
| <p>EINLEITUNG<br/>LABORVERSUCHE<br/>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE<br/>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG<br/><a href="#">ANHANG</a></p> |   |
|    |   |

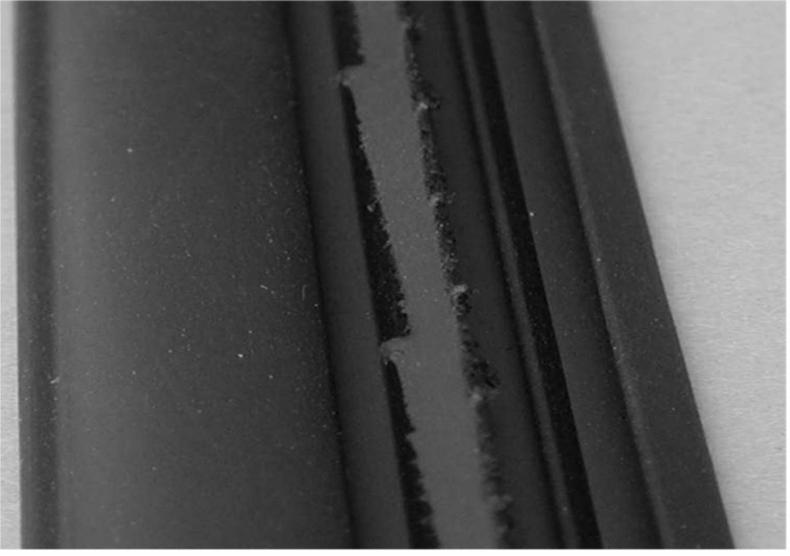
**Abb. 58**

|   |  |
|---|--|
|    | <p style="text-align: right;"><b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b></p> <h2 style="text-align: center;">Profilbild Detail</h2> <p style="text-align: center;">+ Kreide</p> |
| <p>EINLEITUNG<br/>LABORVERSUCHE<br/>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE<br/>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG<br/><a href="#">ANHANG</a></p> |    |
|   | <p>VM-4/0409/03.2025</p>   |

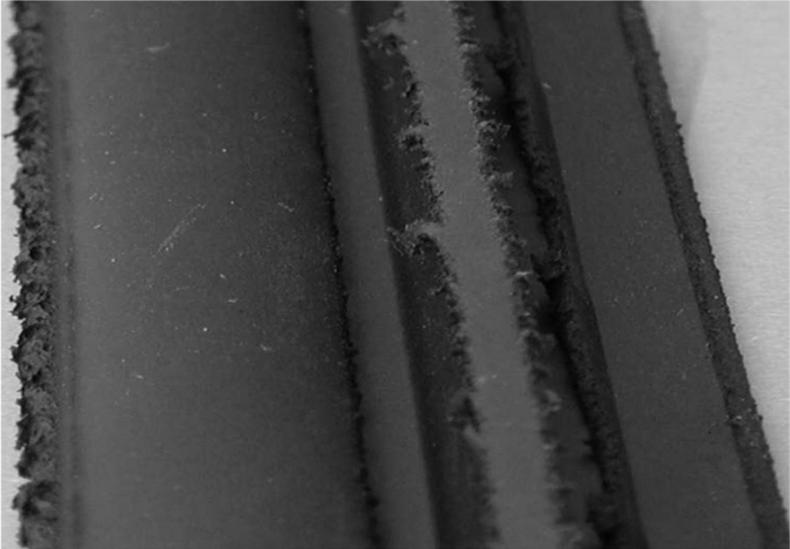
**Abb. 59**

|   |  |
|---|--|
|    | <p style="text-align: right;"><b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b></p> <h2 style="text-align: center;">Profilbild Detail</h2> |
|   | <p>+ amerikanisches Talkum</p>     |
| <p>EINLEITUNG<br/>LABORVERSUCHE<br/>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE<br/>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG<br/><a href="#">ANHANG</a></p> | <p style="font-size: small;">VM-4/0409/03.2025</p>   |

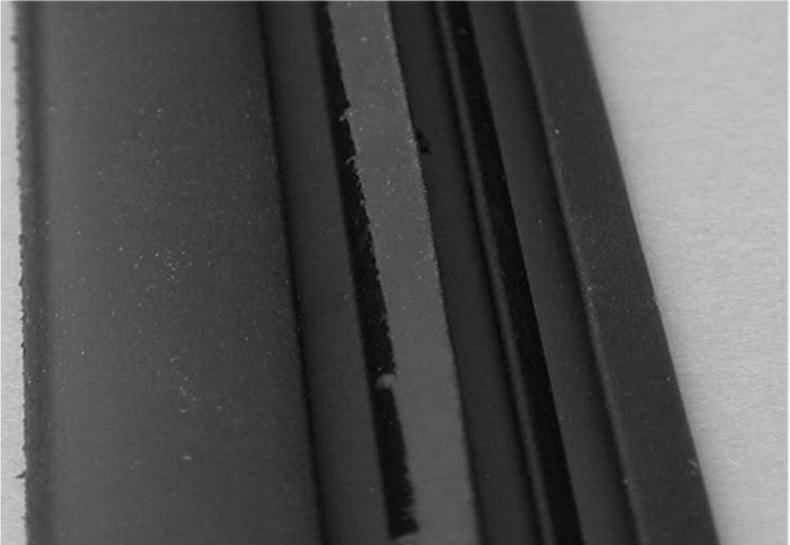
**Abb. 60**

|   |  |
|---|--|
|    | <p style="text-align: right;"><b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b></p> <h2 style="text-align: center;">Profilbild Detail</h2>         |
|   | <p>+ englischer kalzinierter Kaolin</p>  |
| <p>EINLEITUNG<br/>LABORVERSUCHE<br/>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE<br/>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG<br/><a href="#">ANHANG</a></p> | <p style="font-size: small;">VM-4/0409/03.2025</p>   |

**Abb. 61**

|  |  |
|--|--|
|                                   | <p style="text-align: right;"><b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b></p> <h2 style="text-align: center;">Profilbild Detail</h2>                           |
| <p>EINLEITUNG<br/>LABORVERSUCHE<br/>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE<br/>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG<br/><u>ANHANG</u></p> | <p style="text-align: center;">+ englischer Weichkaolin</p>  |
| <p>VM-4/0409/03.2025</p>   |  |

**Abb. 62**

|  |   |
|--|---|
|                                 | <p style="text-align: right;"><b>HOFFMANN<br/>MINERAL</b></p> <h2 style="text-align: center;">Profilbild Detail</h2>                            |
| <p>EINLEITUNG<br/>LABORVERSUCHE<br/>TECHNIKUMS-<br/>VERSUCHE<br/>GESAMT-<br/>ZUSAMMENFASSUNG<br/><u>ANHANG</u></p> | <p style="text-align: center;">+ englischer Hartkaolin</p>  |
| <p>VM-4/0409/03.2025</p>   |   |

**Abb. 63**

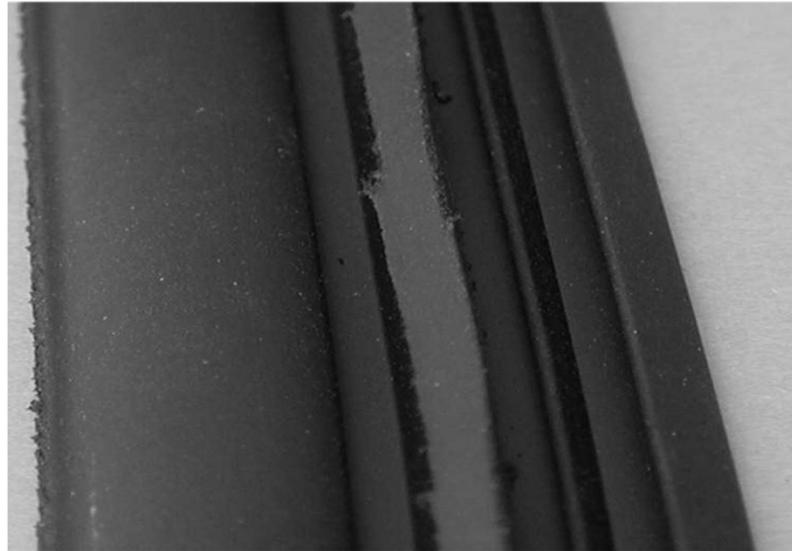


## Profilbild Detail

**HOFFMANN  
MINERAL**

+ englischer Kaolin

EINLEITUNG  
LABORVERSUCHE  
TECHNIKUMS-  
VERSUCHE  
GESAMT-  
ZUSAMMENFASSUNG  
[ANHANG](#)



VM-4/0409/03.2025

**Abb. 64**