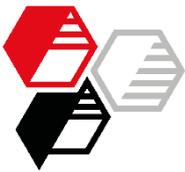


Einfluß von Füllstoffen auf die Wärmeleitfähigkeit von Elastomeren



Einleitung

INHALT

EINLEITUNG

EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

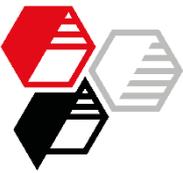
ZUSAMMEN-
FASSUNG

ANHANG

Die Wärmeleitfähigkeit kann in Analogie zur Ausbreitung von Körperschall als eine Ausbreitung von Wärmewellen in Richtung des Temperaturgefälles aufgefasst werden, wobei die Wärmestöße von Molekül zu Molekül weitergeleitet werden.¹

Im Elastomerbereich stellt die Wärmeleitfähigkeit einen wichtigen Aspekt dar, weil dadurch das Vulkanisationsverhalten beeinflusst wird. Eine niedrige Wärmeleitfähigkeit bedingt eine lange Aufheizzeit. Dies kann eine mehr oder weniger starke Übervulkanisation an der Oberfläche des Vulkanisates zur Folge haben. Dagegen kann im Inneren eine Untervulkanisation vorliegen. Somit zeigt sich ein direkter Einfluss der Wärmeleitfähigkeit auf Produktivität und Qualität.

¹ Schnetger, Jochen: Lexikon der Kautschuktechnik. 2, überarbeitet und erweitert Aufl. Heidelberg. 1991. S. 740



Einleitung

INHALT

EINLEITUNG

EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

ZUSAMMEN-
FASSUNG

ANHANG

Füllstoffe stellen in dieser Problematik einen wichtigen Faktor dar, da sie sowohl eine relativ hohe Wärmeleitfähigkeit besitzen als auch einen hohen prozentualen Anteil in gefüllten Gummimischungen aufweisen.

Dabei ergibt sich die Problematik, dass Füllstoffe immer aus einem feinen Pulver bestehen und damit eine direkte Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit problematisch ist. Weiterhin würden dabei keine Einflüsse wie beispielsweise Dispergierung berücksichtigt. Die Ermittlung praxisrelevanter Daten ist somit nur über die Messung an entsprechenden Compounds möglich.



Einleitung

INHALT

EINLEITUNG

EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

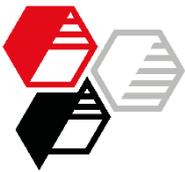
ZUSAMMEN-
FASSUNG

ANHANG

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, den Einfluss des Füllstoffs auf das Wärmeleitverhalten einer Gummimischung aufzuzeigen. Deshalb wurden Füllstoffe, die in der Gummiindustrie typischerweise zum Einsatz kommen, zur Prüfung herangezogen.

Die Füllstoffdosierung wurde so gewählt, dass eine vergleichbare Härte der Vulkanisate von 50 bis 60 Shore A resultiert.

Darüber hinaus wurden zwei niedrigere Dosierungen mit **Sillitin Z 86** gewählt, die den selben Volumenanteil Füllstoff wie die Kieselsäure- bzw. Ruß-Mischung enthielten, um einen direkten Vergleich zu ermöglichen.



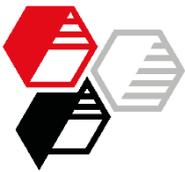
Basisrezeptur

EPDM - 50 bis 60 Shore A

INHALT
EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
ZUSAMMEN-
FASSUNG
ANHANG

		phr
Keltan 512 x 50 (aktueller Name: Keltan 4465)	EPDM, ölgestreckt 50 phr, ML 1+4 48 ME bei 125 °C, 56 % Ethylengehalt	150
Stearinsäure	Stearinsäure	1
Zinkoxyd aktiv	Zinkoxid	5
Füllstoff		var.
TAC 50 gr	Triallylcyanurat, 50 %ig	2
Perkadox 14/40	Bis(tert-butylperoxyisopopyl)benzol, 40 %ig	8
		166

Hauptkriterium für die Auswahl der Basisrezeptur war ein möglichst hoher Füllstoffanteil, bei dem die Herstellung eines fehlerfreien Probekörpers möglich war. Außerdem sollte das Polymer keine Kristallinität aufweisen, weil diese möglicherweise die Wärmeleitfähigkeit beeinflussen kann.



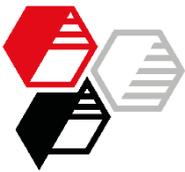
Rezepturvariationen

Untersuchte Füllstoffe und Dosierungen

- INHALT
- EINLEITUNG
- EXPERIMENTELLES**
- ERGEBNISSE
- ZUSAMMEN-
FASSUNG
- ANHANG

Füllstoff- bezeichnung	Dichte g/cm ³	Korngrößen- verteilung		Korn- form Modell*	BET- Ober- fläche m ² /g	DBP- Absorption ml/100 g
		d ₅₀	d ₉₇			
Sillitin Z 86	2,6	1,8	6,7	kk/II	11	-
amerik. Talkum	2,7	2,2	10	II	11	-
engl. Weichkaolin	2,6	3,7	20	II	7	-
gefällte Kieselsäure	2,0	-	-	kk	170	-
Ruß N-550	1,8	-	-	kk	44	121
engl. kalz. Kaolin	2,6	2,0	15,4	kk	7	-
Kreide	2,7	2,2	8,0	kk	5	-

*: kk = korpuskular; II = lamellar

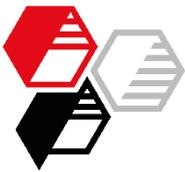


Rezepturvariationen

Untersuchte Füllstoffe und Dosierungen

Füllstoff- bezeichnung	Dosierung phr	Dosierung Vol.-%
ohne Füllstoff	-	-
Sillitin Z 86	65,5	12,5
Sillitin Z 86	145,5	23,9
Sillitin Z 86	200,0	30,0
amerik. Talkum	200,0	28,8
engl. Weichkaolin	200,0	30,0
gefällte Kieselsäure	50,0	12,3
Ruß N-550	100,0	24,0
engl. kalz. Kaolin	200,0	30,0
Kreide	200,0	29,2

INHALT
EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
ZUSAMMEN-
FASSUNG
ANHANG



Herstellungparameter

HOFFMANN
MINERAL®

INHALT

EINLEITUNG

EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

ZUSAMMEN-
FASSUNG

ANHANG

Mischungsherstellung:

Laborwalzwerk Polymix 150L
15 min. bei 50 °C

Probekörperherstellung:

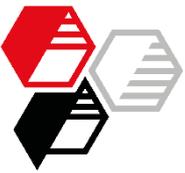
Würfelform Kantenlänge 55 mm, an einer Fläche mit einer zentrischen Bohrung \varnothing 2,9 mm und 49 mm Tiefe.

Stufenweise Vulkanisation in der Laborpresse:

15 min. 100 °C

15 min. 140 °C

30 min. 180 °C

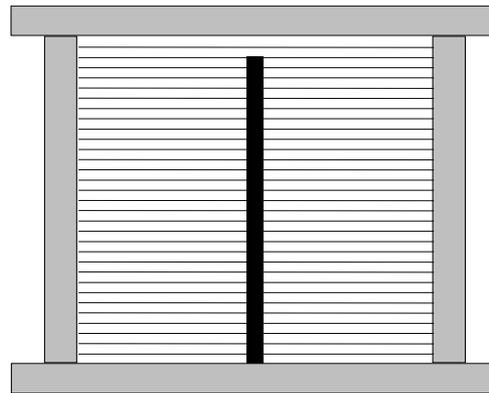


Probekörperherstellung

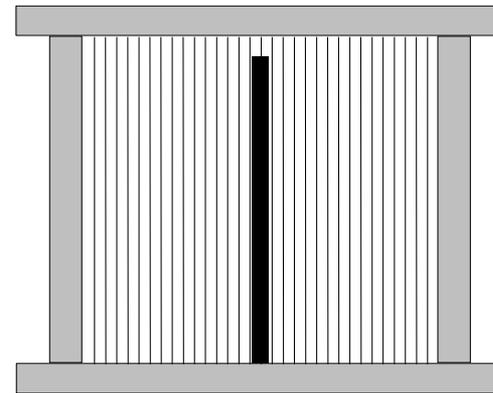
- INHALT
- EINLEITUNG
- EXPERIMENTELLES
- ERGEBNISSE
- ZUSAMMEN-
FASSUNG
- ANHANG

Befüllung der Form mittels ausgeschnittener Quadrate aus dem Mischungsfehl in 2 Varianten:

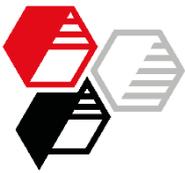
Variante 1
alle Füllstoffe



Variante 2
lamellare Füllstoffe
und Sillitin Z 86



Grund dafür war die Erfassung anisotroper Effekte. Die lamellaren Materialien Talkum und Weichkaolin sowie die Mischstruktur Sillitin Z 86 wurden daher mit beiden Probekörpervarianten gemessen.



Auswerteverfahren der Wärmeleitfähigkeitsmessung

**HOFFMANN
MINERAL®**

- INHALT
- EINLEITUNG
- EXPERIMENTELLES**
- ERGEBNISSE
- ZUSAMMEN-
FASSUNG
- ANHANG

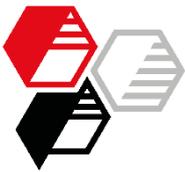
Verfahren:

Betrachtet man die Nadelsonde als Linienquelle ohne räumliche Ausdehnung, so resultiert die Wärmeleitfähigkeit der Probe aus der reziproken Steigung der Temperaturkurve aufgetragen über dem natürlichen Logarithmus der Zeit.

$$\lambda = \frac{Q_L}{4\pi} \times \frac{\ln(t_2 - t_1)}{T_2 - T_1}$$

(reziproke Steigung)

λ	=	Wärmeleitfähigkeit
Q_L	=	Heizleistung durch Sondenlänge
t_2, t_1	=	Zeitpunkte während der Messung
T_2, T_1	=	gemessenen Temperaturen zu t_2, t_1

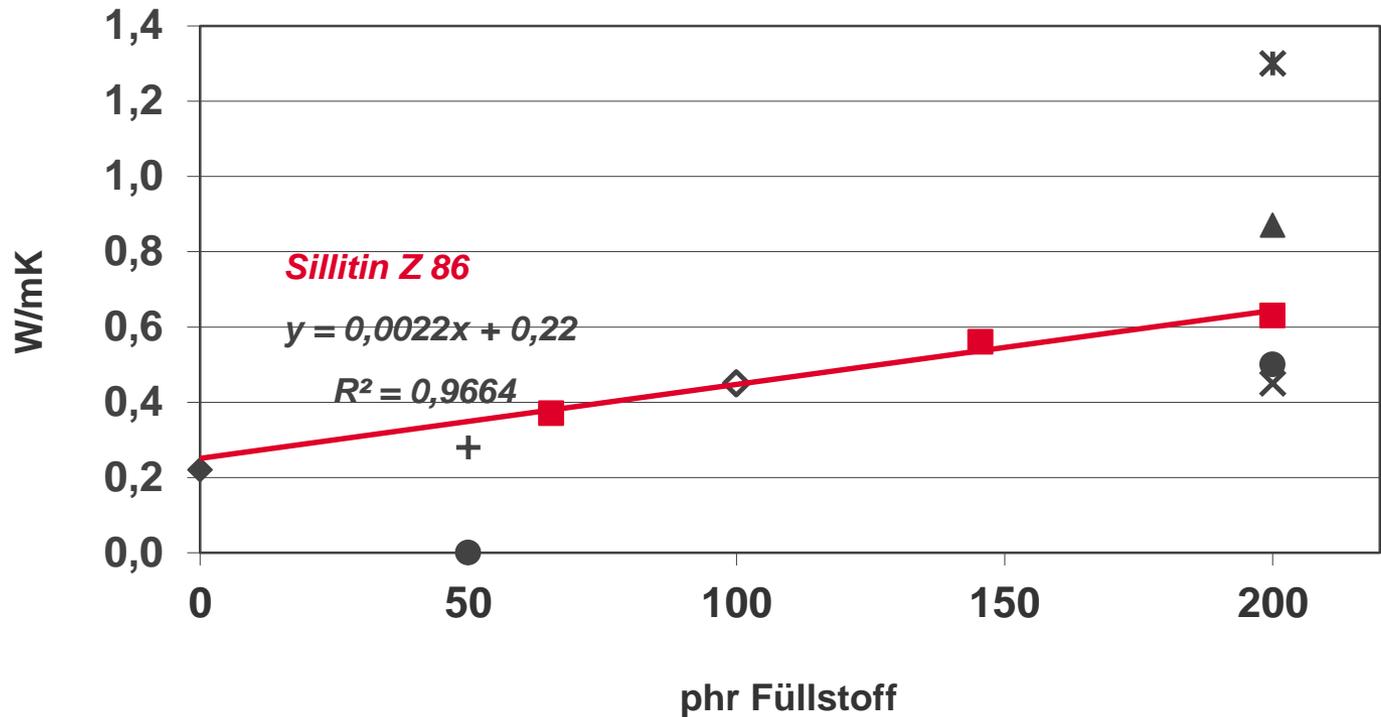


Wärmeleitfähigkeit parallel zur Schichtung

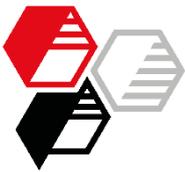
**HOFFMANN
MINERAL®**

alle Füllstoffe über phr

- INHALT
- EINLEITUNG
- EXPERIMENTELLES
- ERGEBNISSE**
- ZUSAMMENFASSUNG
- ANHANG



- ◆ ohne Füllstoff
- × engl. kalz. Kaolin
- + gef. Kieselsäure
- Sillitin Z 86
- × Talkum
- ◇ Ruß
- ▲ engl. Weichkaolin
- Kreide
- Linear (Sillitin Z 86)

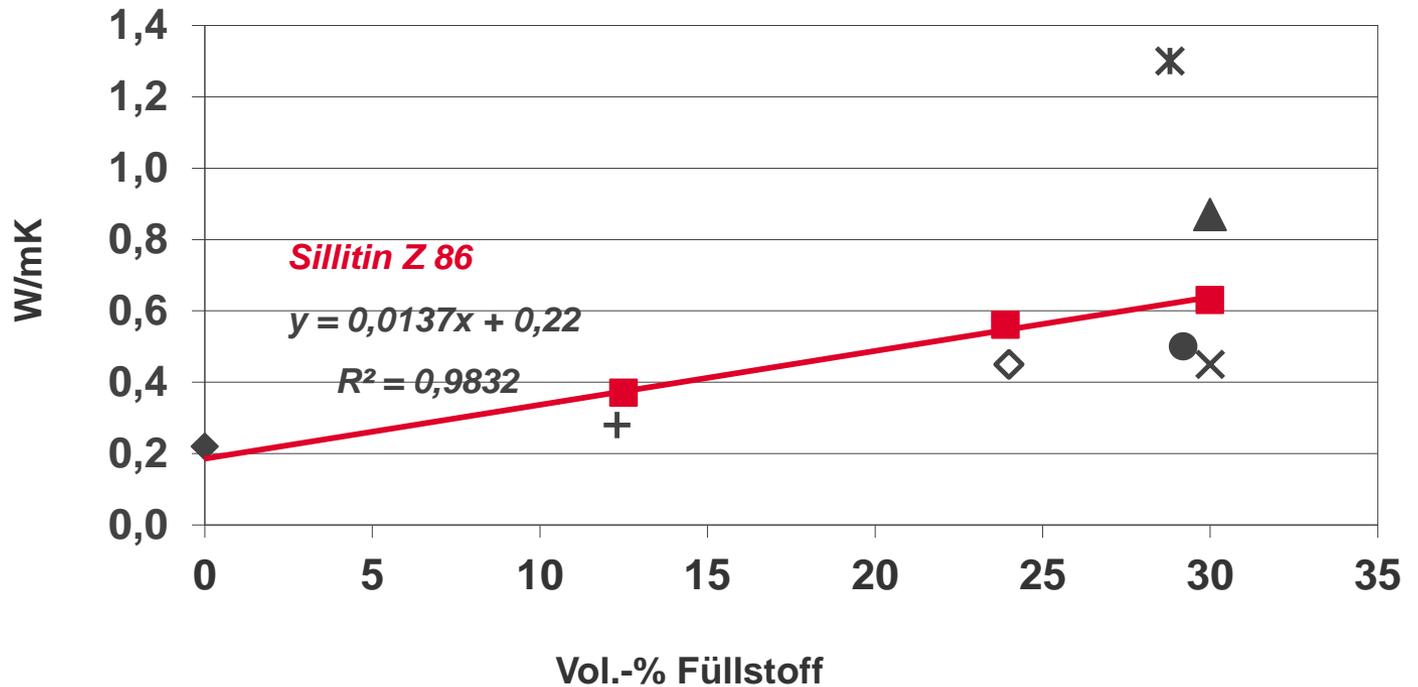


Wärmeleitfähigkeit parallel zur Schichtung

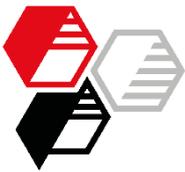
**HOFFMANN
MINERAL®**

alle Füllstoffe über Volumen-%

- INHALT
- EINLEITUNG
- EXPERIMENTELLES
- ERGEBNISSE**
- ZUSAMMENFASSUNG
- ANHANG



- ◆ ohne Füllstoff
- × engl. kalz. Kaolin
- + gef. Kieselsäure
- **Sillitin Z 86**
- × Talkum
- ◇ Ruß
- ▲ engl. Weichkaolin
- Kreide
- **Linear (Sillitin Z 86)**

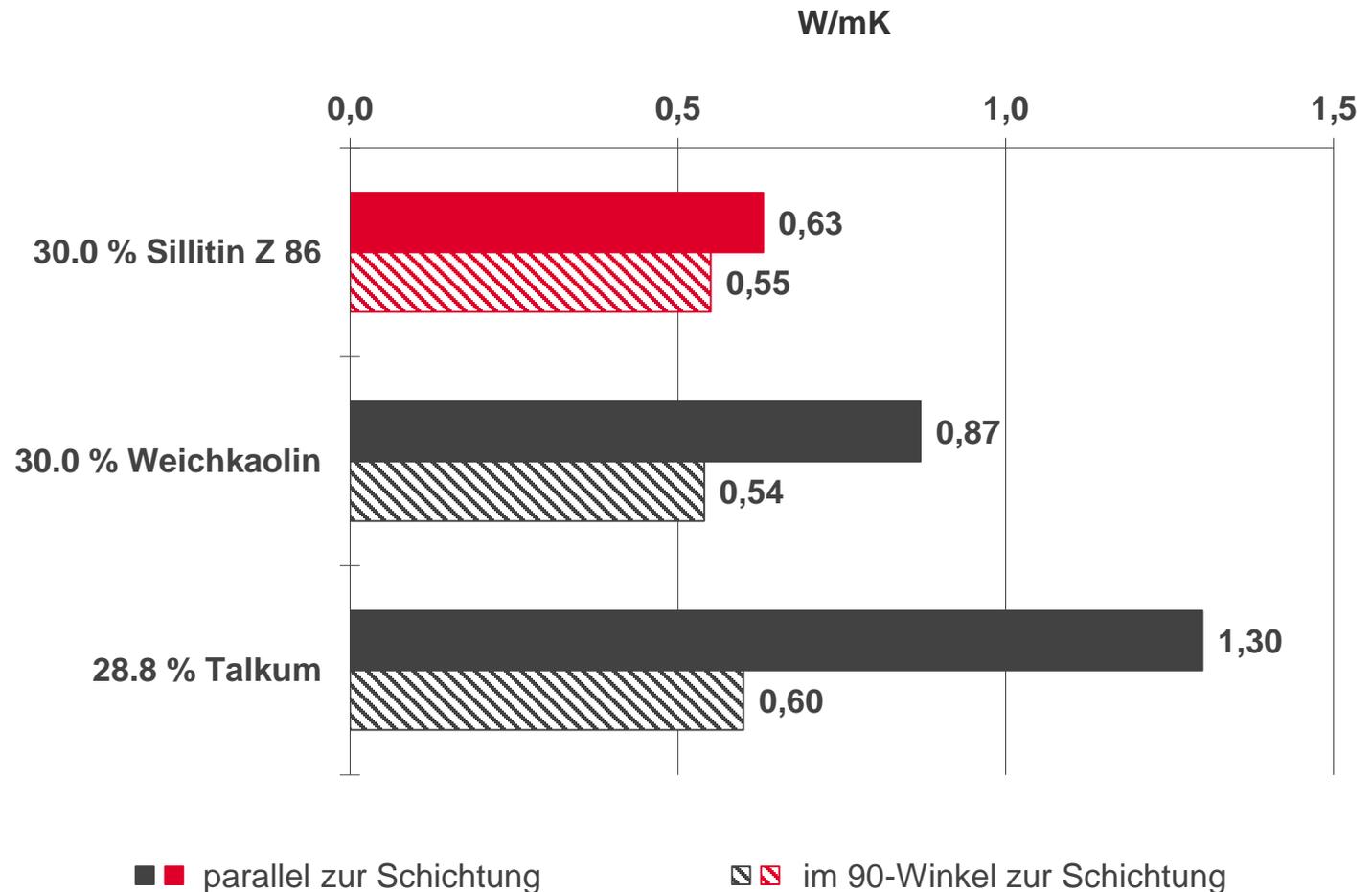


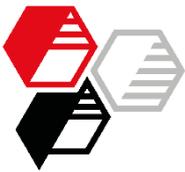
Wärmeleitfähigkeit parallel und senkrecht zur Schichtung

**HOFFMANN
MINERAL®**

lamellare Füllstoffe und **Sillitin Z 86**, gleiche Anteile Volumen-%

- INHALT
- EINLEITUNG
- EXPERIMENTELLES
- ERGEBNISSE**
- ZUSAMMENFASSUNG
- ANHANG



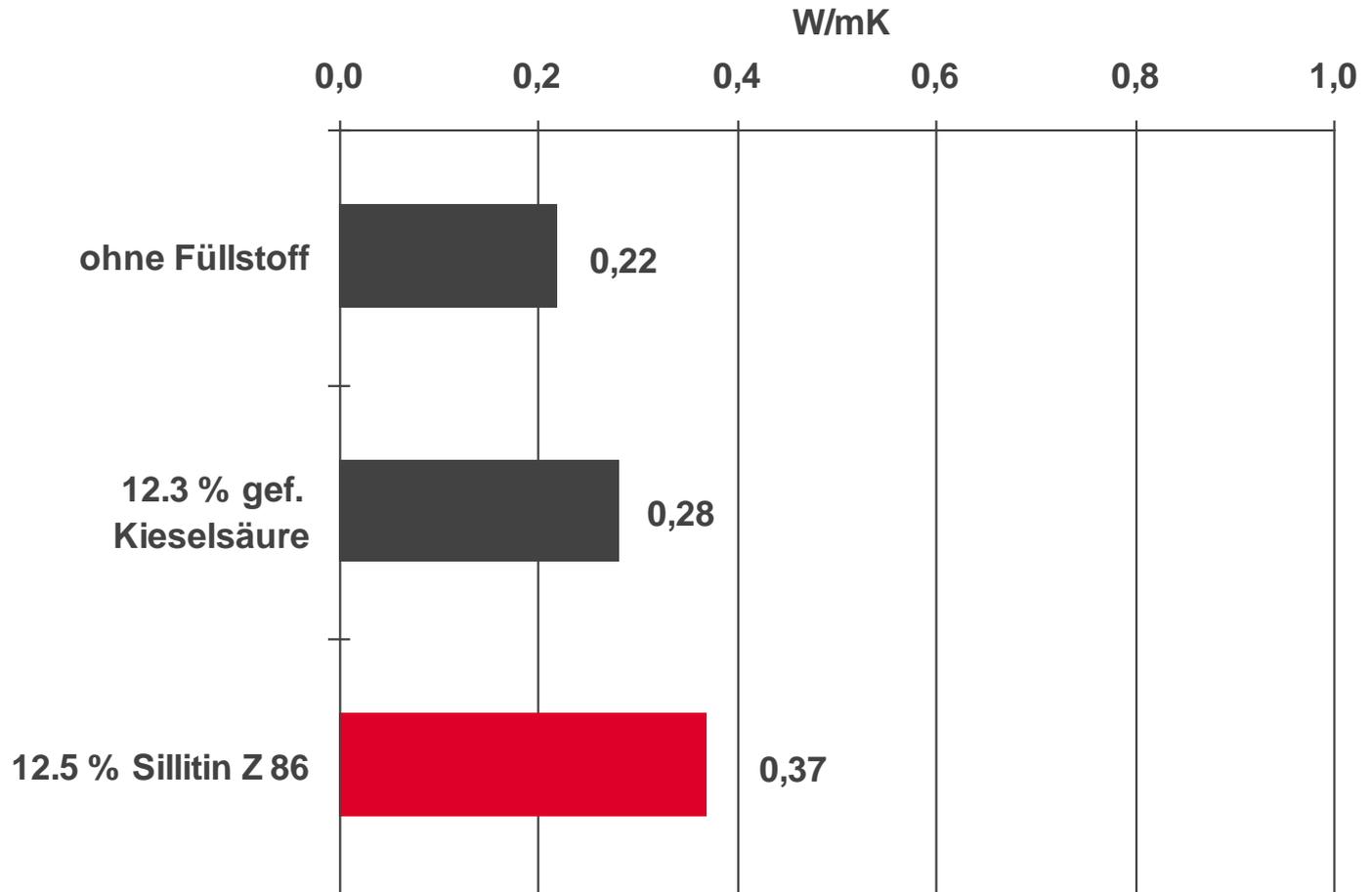


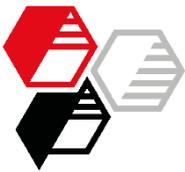
Wärmeleitfähigkeit parallel zur Schichtung

**HOFFMANN
MINERAL®**

ohne Füllstoff, gef. Kieselsäure und **Sillitin Z 86**, gleiche Anteile Vol.-%

- INHALT
- EINLEITUNG
- EXPERIMENTELLES
- ERGEBNISSE**
- ZUSAMMENFASSUNG
- ANHANG



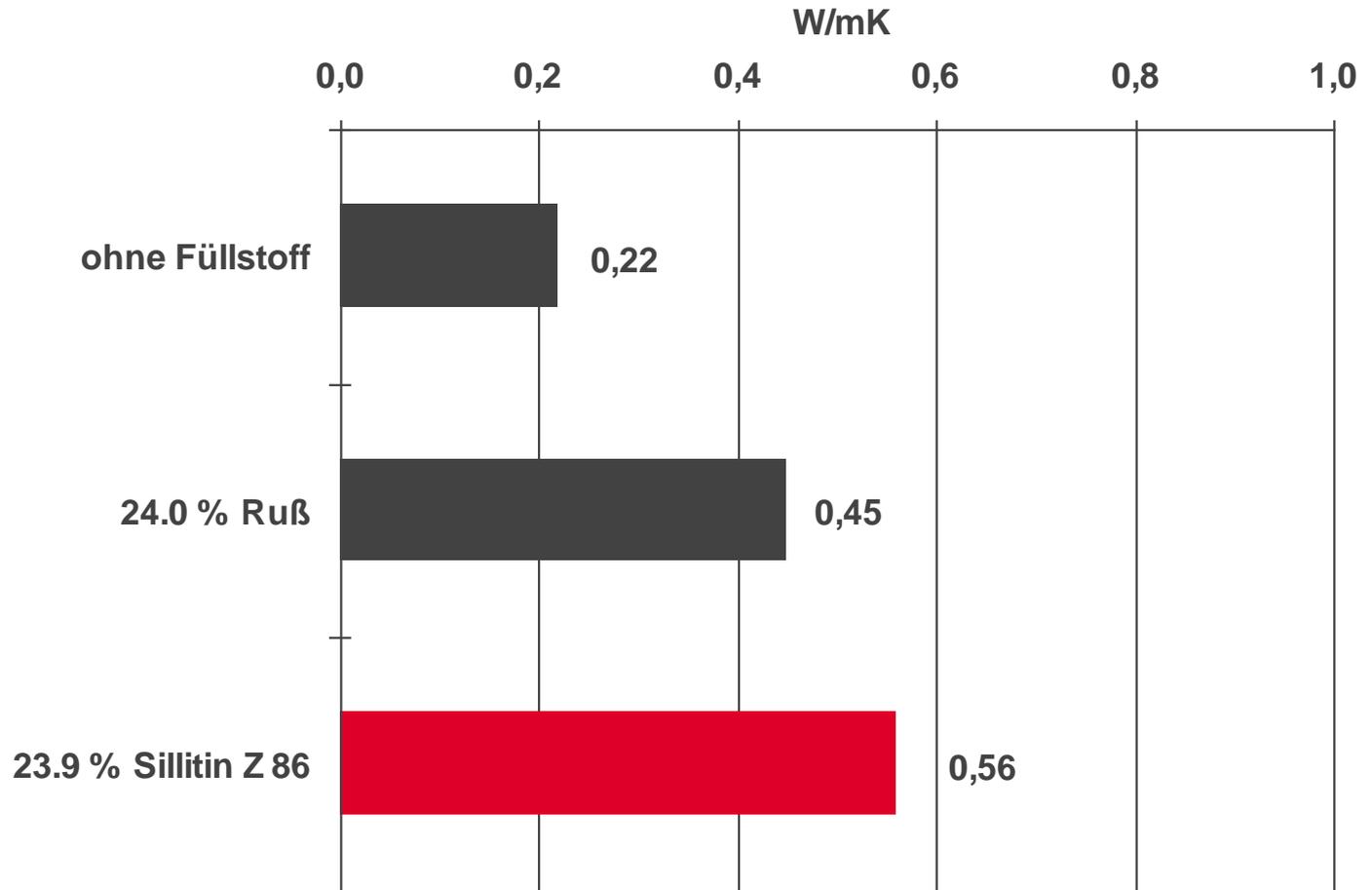


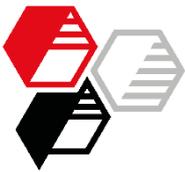
Wärmeleitfähigkeit parallel zur Schichtung

**HOFFMANN
MINERAL®**

ohne Füllstoff, mit Ruß und **Sillitin Z 86**, gleiche Anteile Vol.-%

- INHALT
- EINLEITUNG
- EXPERIMENTELLES
- ERGEBNISSE**
- ZUSAMMENFASSUNG
- ANHANG



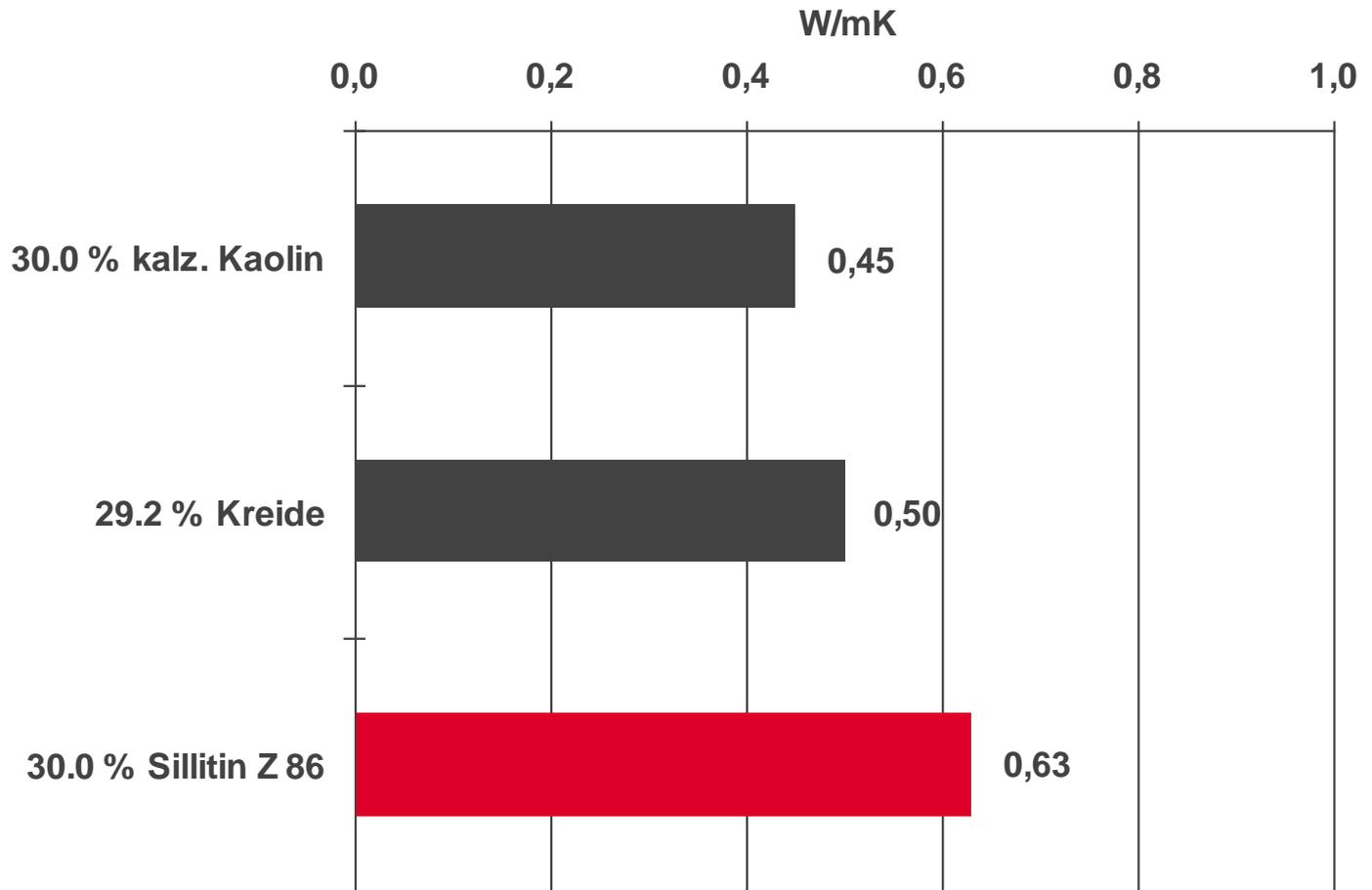


Wärmeleitfähigkeit parallel zur Schichtung

**HOFFMANN
MINERAL®**

kalz. Kaolin, Kreide und **Sillitin Z 86**, gleiche Anteile Vol.-%

- INHALT
- EINLEITUNG
- EXPERIMENTELLES
- ERGEBNISSE**
- ZUSAMMENFASSUNG
- ANHANG



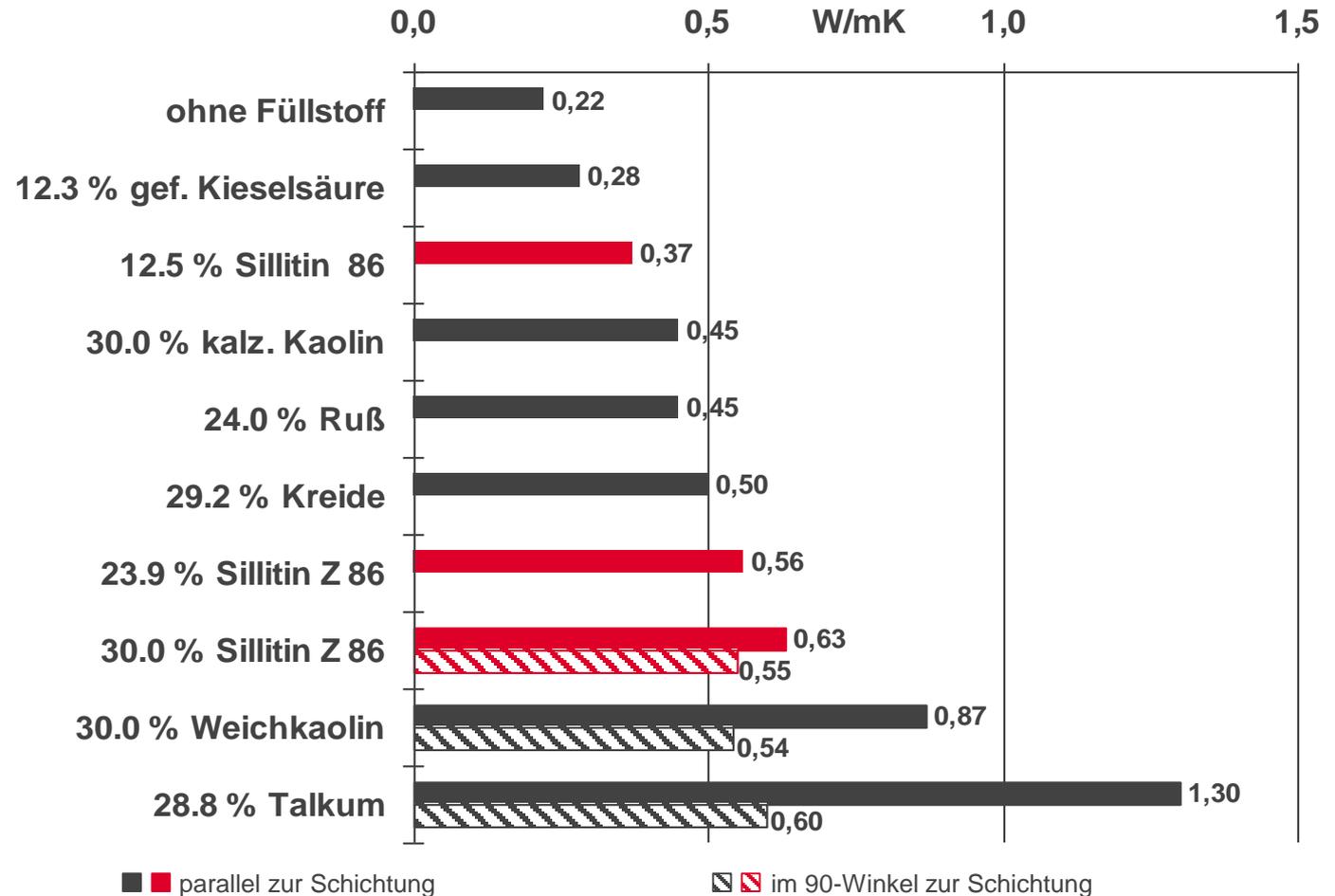


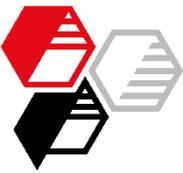
Wärmeleitfähigkeit parallel und im 90°-Winkel zur Schichtung

**HOFFMANN
MINERAL®**

alle Füllstoffe, Anteile Vol.-%

- INHALT
- EINLEITUNG
- EXPERIMENTELLES
- ERGEBNISSE**
- ZUSAMMENFASSUNG
- ANHANG





Zusammenfassung

INHALT
EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
ZUSAMMEN-
FASSUNG
ANHANG

Die Wärmeleitfähigkeit steht in Abhängigkeit vom Füllstoffgehalt und von der Kornform.

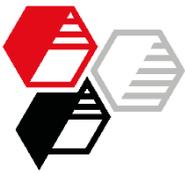
Einfluß Füllstoffgehalt:

- je höher der Füllstoffgehalt, desto höher die Wärmeleitfähigkeit

Einfluß Kornform:

- je ausgeprägter die lamellare Kornform (Kreide ☒ **Sillitin Z 86** ☒ Weichkaolin ☒ Talkum) desto höher die Wärmeleitfähigkeit
- je ausgeprägter die lamellare Kornform, desto höher die Anisotropie
- korpuskulare Füllstoffe (z. B. gef. Kieselsäure, Ruß, engl. kalz. Kaolin und Kreide) haben eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit

Die gemischte Struktur von **Sillitin Z 86** vereint eine relativ hohe Wärmeleitfähigkeit bei geringer Anisotropie.



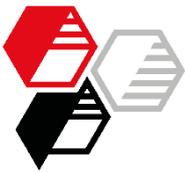
Zusammenfassung

INHALT
EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
ZUSAMMEN-
FASSUNG
ANHANG

Da in der Praxis eine Reihe von Eigenschaften das Gesamtanforderungsprofil von Elastomeren darstellen, müssen auch die Verarbeitungseigenschaften und mechanischen Werte Berücksichtigung finden.

Sillitin Z 86 weist somit folgende Vorteile auf:

- hohe Wärmeleitfähigkeit
- minimale Anisotropie
- mittlere Zugfestigkeit
- hoher Weiterreißwiderstand
- mittlerer Druckverformungsrest
- sehr gute Extrusionseigenschaften und hervorragende Profilloberfläche

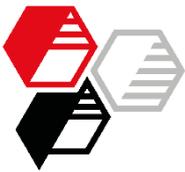


Wir geben Stoff für gute Ideen!

HOFFMANN MINERAL GmbH
Münchener Straße 75
DE-86633 Neuburg (Donau)

Telefon: +49 8431 53-0
Internet: www.hoffmann-mineral.de
E-Mail: info@hoffmann-mineral.com

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.

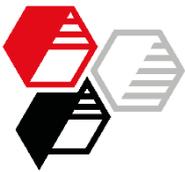


Wertetabelle

Eigenschaften der Rohmischung

Füllstofftyp			ohne	Sillitin Z 86	Sillitin Z 86	Sillitin Z 86	amerik. Talkum
Anteile Füllstoff	phr	-	65,5	145,5	200	200	
Anteile Füllstoff	Vol.-%	-	12,5	23,9	30	28,8	
Mooneyviskosität (ML) 1+4, 120 °C	DIN 53523, T3	ME	35	37	55	73	47
Mooney Scorch (ML), 120 °C	DIN 53523, T4	min	> 2 h	> 2 h	> 2 h	46,23	35,03
Vulkameter Göttfert Elastograph (0,2°/ 180 °C)							
Drehmoment $M_{\max}-M_{\min}$	DIN 53529, A3	Nm	0,29	0,38	0,52	0,64	0,41
Umsatzzeit t_5	DIN 53529, A3	min	0,73	0,62	0,55	0,51	0,52
Umsatzzeit t_{90}	DIN 53529, A3	min	5,95	5,65	5,35	4,88	4,76
Vulkanisationszeit $t_{90} + 10 \%$		min	6,5	6,2	5,9	5,4	5,2

- INHALT
- EINLEITUNG
- EXPERIMENTELLES
- ERGEBNISSE
- ZUSAMMEN-
FASSUNG
- ANHANG

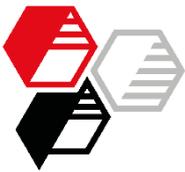


Wertetabelle

Eigenschaften der Rohmischung

Füllstofftyp			engl. Weichkaolin	gef. Kieselsäure	Ruß N-550	engl. kalz. Kaolin	Kreide
Anteile Füllstoff		phr	200	50	100	200	200
Anteile Füllstoff		Vol.-%	30	12,3	24	30	29,2
Mooneyviskosität (ML) 1+4, 120 °C	DIN 53523, T3	ME	48	84	70	81	56
Mooney Scorch (ML), 120 °C	DIN 53523, T4	min	19,98	18,38	12,18	67,67	35,00
Vulkameter Göttfert Elastograph (0,2°/ 180 °C)							
Drehmoment $M_{\max} - M_{\min}$	DIN 53529, A3	Nm	0,37	0,61	0,50	0,62	0,42
Umsatzzeit t_5	DIN 53529, A3	min	0,54	0,57	0,47	0,54	0,52
Umsatzzeit t_{90}	DIN 53529, A3	min	4,25	5,42	4,79	4,82	4,40
Vulkanisationszeit $t_{90} + 10 \%$		min	4,7	5,9	5,3	5,3	4,8

INHALT
 EINLEITUNG
 EXPERIMENTELLES
 ERGEBNISSE
 ZUSAMMEN-
 FASSUNG
ANHANG

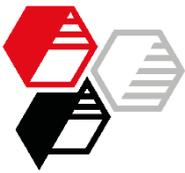


Wertetabelle

Eigenschaften des Vulkanisates

INHALT
 EINLEITUNG
 EXPERIMENTELLES
 ERGEBNISSE
 ZUSAMMEN-
 FASSUNG
ANHANG

Füllstofftyp			ohne	Sillitín Z 86	Sillitín Z 86	Sillitín Z 86	amerik. Talkum
Anteile Füllstoff	phr		-	65,5	145,5	200	200
Anteile Füllstoff	Vol.-%		-	12,5	23,9	30	28,8
Zugfestigkeit	DIN 53504, S2	MPa	1,4	4,7	9,1	8,4	6,2
Reißdehnung	DIN 53504, S2	%	290	640	720	750	690
Spannungswert 100 %	DIN 53504, S2	MPa	0,6	0,9	1,6	2,0	2,8
Spannungswert 300 %	DIN 53504, S2	MPa	-	2,1	3,4	3,9	3,6
Härte	DIN 53505	Shore A	27	37	51	58	59
Rückprallelastizität	DIN 53512	%	68	64	56	50	50
Weiterreißwiderstand (Streifenprobe)	DIN ISO 34-1	N/mm	1,5	3,9	9,4	14,5	15,6
Druckverformungsrest (24 h/100 °C 25 % Verformung)	DIN ISO 815	%	7	8	12	17	32

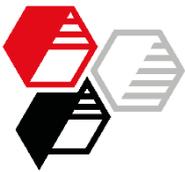


Wertetabelle

Eigenschaften des Vulkanisates

INHALT
 EINLEITUNG
 EXPERIMENTELLES
 ERGEBNISSE
 ZUSAMMEN-
 FASSUNG
ANHANG

Füllstofftyp			engl. Weichkaolin	gef. Kieselsäure	Ruß N-550	engl. kalz. Kaolin	Kreide
Anteile Füllstoff	phr		200	50	100	200	200
Anteile Füllstoff	Vol.-%		30	12,3	24	30	29,2
Zugfestigkeit	DIN 53504, S2	MPa	3,6	16,0	12,9	6,0	5,1
Reißdehnung	DIN 53504, S2	%	750	660	240	560	770
Spannungswert 100 %	DIN 53504, S2	MPa	2,2	1,3	3,1	2,7	1,2
Spannungswert 300 %	DIN 53504, S2	MPa	2,6	3,4	-	4,4	1,6
Härte	DIN 53505	Shore A	54	50	59	59	47
Rückprallelastizität	DIN 53512	%	54	57	49	51	58
Weiterreißwiderstand (Streifenprobe)	DIN ISO 34-1	N/mm	13,3	8,7	5,3	13,7	7,0
Druckverformungsrest (24 h/100 °C 25 % Verformung)	DIN ISO 815	%	25	16	6	18	11

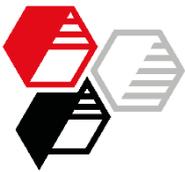


Wertetabelle

Eigenschaften Extrusion und Wärmeleitfähigkeit

INHALT
 EINLEITUNG
 EXPERIMENTELLES
 ERGEBNISSE
 ZUSAMMEN-
 FASSUNG
ANHANG

Füllstofftyp		ohne	Sillitit Z 86	Sillitit Z 86	Sillitit Z 86	amerik. Talkum
Anteile Füllstoff	phr	-	65,5	145,5	200	200
Anteile Füllstoff	Vol.-%	-	12,5	23,9	30	28,8
Extrusion (Garvey, 1m/min.)	ASTM 2230 A	1111	1121	2141	3142	4121
Wärmeleitfähigkeit parallel zur Schichtung	W/mK	0,22	0,37	0,56	0,63	1,30
Wärmeleitfähigkeit im 90°-Winkel zur Schichtung	W/mK	-	-	-	0,55	0,60



Wertetabelle

Eigenschaften Extrusion und Wärmeleitfähigkeit

INHALT
 EINLEITUNG
 EXPERIMENTELLES
 ERGEBNISSE
 ZUSAMMEN-
 FASSUNG
ANHANG

Füllstofftyp		engl. Weichkaolin	gef. Kieselsäure	Ruß N-550	engl. kalz. Kaolin	Kreide
Anteile Füllstoff	phr	200	50	100	200	200
Anteile Füllstoff	Vol.-%	30	12,3	24	30	29,2
Extrusion (Garvey, 1m/min.)	ASTM 2230 A	3131	2131	2131	3141	2141
Wärmeleitfähigkeit parallel zur Schichtung	W/mK	0,87	0,28	0,45	0,45	0,50
Wärmeleitfähigkeit im 90°-Winkel zur Schichtung	W/mK	0,54	-	-	-	-