

Neuburger Kieselerde als IR Barriere in LDPE und PE/EVA Gewächshausfolien

Verfasser: Hubert Oggermüller
Petra Zehnder

Inhalt

- 1 Einleitung

- 2 Experimentelles
 - 2.1 Neuburger Kieselerte
 - 2.2 Füllstoffkennwerte
 - 2.3 Rezeptur und Extrusion

- 3 Ergebnisse
 - 3.1 LDPE Gewächshausfolie
 - 3.2 PE/EVA Gewächshausfolie

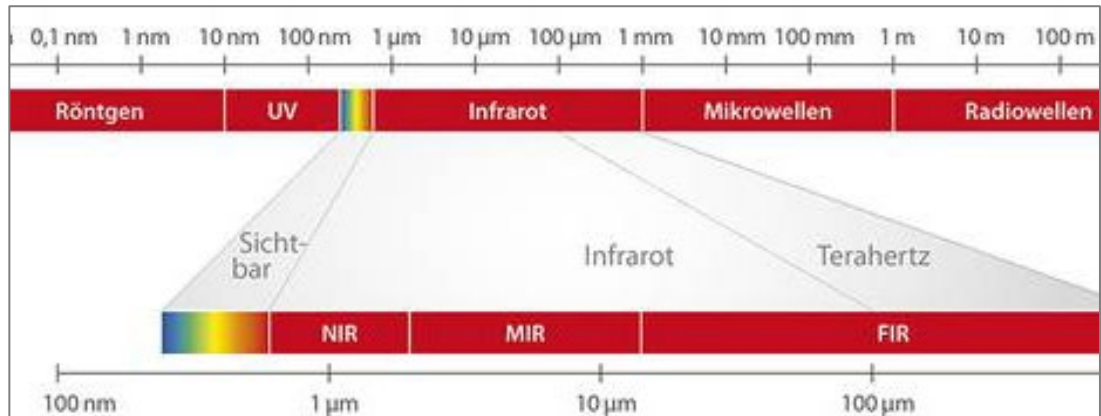
- 4 Zusammenfassung

1 Einleitung

Gewächshäuser schaffen ein optimales Klima für das Pflanzenwachstum und ermöglichen eine frühere Ernte sowie längere Wachstumsphasen.

Dabei soll die Lichtdurchlässigkeit im photosynthetisch aktiven Bereich (PAR) möglichst hoch sein, wogegen im Infrarotbereich (IR) eine gute thermische Barrierewirkung gewünscht ist.

Die folgende Grafik zeigt das elektromagnetische Spektrum:



Die Sonnenstrahlung liefert Strahlung von 290 nm (UV-Bereich) über den sichtbaren Bereich bis einschließlich des nahen Infrarot-Bereichs (ca. 3000 nm).

Der spektrale Bereich von 380-720 nm entspricht dem sichtbaren Anteil. Er wird von den Pflanzen zur Photosynthese genutzt und wird auch als photosynthetisch aktive Strahlung (PAR, photosynthetically active radiation) bezeichnet.

In Messungen wird jedoch häufig nur der Bereich von 400-700 nm betrachtet.

Der zweite wichtige spektrale Bereich für Gewächshäuser liegt im Mittel-Infrarot-Bereich von 7-13 µm. Dieser Wellenlängenbereich repräsentiert die Wärmeabstrahlung des Erdbodens, auch als terrestrische Ausstrahlung bezeichnet, die in die Atmosphäre abgestrahlt wird und somit insbesondere in der Nacht verloren geht. Diese Verluste kann eine Polyethylenfolie nicht vermeiden, da sie in dem relevanten Wellenlängenbereich weitgehend transparent für IR-Strahlung ist. Eine Verbesserung bringt der Vinylacetatanteil im Copolymer PE-EVA, allerdings nicht in der Ausprägung wie mineralische Zusätze mit IR-Barriere.

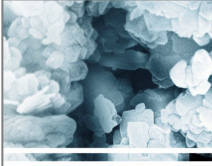
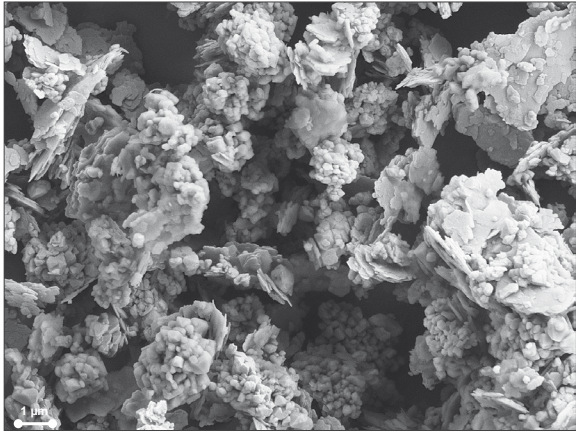
Feinteilige mineralische Füllstoffe werden als Additive eingesetzt, um gezielt die Transmission im IR-Bereich der Folie zu verringern und so das Wärmerückhaltevermögen zu verbessern, ohne dabei die Transmission im PAR merklich zu reduzieren.

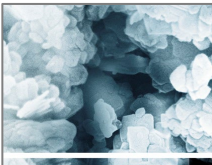
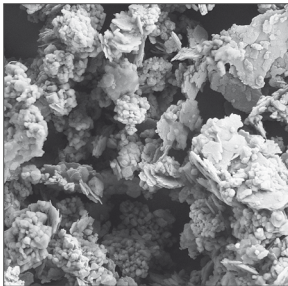
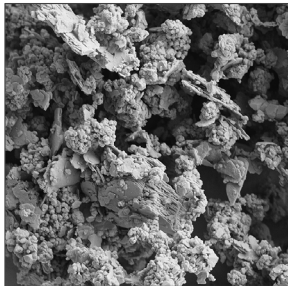
In der vorliegenden Studie soll die Einsatzmöglichkeit von Neuburger Kieselerde als IR-Barriere in Gewächshausfolien aufgezeigt werden.

Gebblasene Folien aus LDPE bzw. PE/EVA mit Neuburger Kieselerde werden im Hinblick auf optische Eigenschaften, Transmission im PAR- und IR-Bereich sowie IR-Wirkungsgrad im Vergleich zu ungefüllten Folien ohne IR-Barriere untersucht.

2 Experimentelles

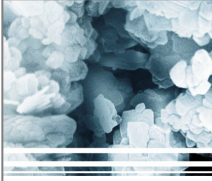
2.1 Neuburger Kieselerde

 EINLEITUNG EXPERIMENTELLES ERGEBNISSE ZUSAMMENFASSUNG 	Struktur	
		Natürlich entstandenes Gemisch aus korpuskularer Neuburger Kieselsäure und lamellarem Kaolinit; durch physikalische Methoden nicht zu trennen. Der Kieselsäureanteil weist eine runde Kornform auf und besteht aus ca. 200 nm großen, aggregierten Primärpartikeln.
	VM-3/1217/06.2018	

 EINLEITUNG EXPERIMENTELLES ERGEBNISSE ZUSAMMENFASSUNG 	Kalzinierte Neuburger Kieselerde			
		Durch einen nachgeschalteten thermischen Prozess entstehen die kalzinierten Produkte SILFIT und AKTIFIT, auf Basis von SILLITIN Z 86.	Thermischer Prozess	
		Neuburger Kieselerde		Kalzinierte Neuburger Kieselerde
		Zusätzliche anwendungstechnischen Vorteile sowie Entfernung des enthaltenen Kristallwassers des Kaolinitanteils. Der Kieselsäureanteil bleibt unverändert.		
	VM-3/1217/06.2018			

2.2 Füllstoffkennwerte

Die Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Kennwerte der verwendeten Füllstoffe.

 EINLEITUNG <u>EXPERIMENTELLES</u> ERGEBNISSE ZUSAMMENFASSUNG 	Füllstoffe und Kennwerte				HOFFMANN MINERAL	
		Sillitin V 88	Sillitin Z 89 puriss	Silfit Z 91		
	Farbe L*	94	94	95		
	Farbe a*	0,1	0,1	-0,2		
	Farbe b*	3,8	4,0	0,6		
	Korngröße d ₅₀ [µm]	4,0	1,9	2,0		
	Korngröße d ₉₇ [µm]	18	9,0	8,4		
	Spez. Oberfläche BET [m ² /g]	8	11	8		
VM-3/1217/06.2018						

Sillitin V 88 und Sillitin Z 89 puriss sind beides relativ farbneutrale Vertreter der klassischen Neuburger Kiesel Erde. Sillitin V 88 ist eine gröbere Variante, Sillitin Z 89 puriss dagegen eine feinere Type mit besonders guter Dispergierbarkeit. Silfit Z 91 ist ein kalziniertes, besonders farbneutrales Produkt mit ähnlicher Kornverteilung als auch Dispergiervverhalten wie Sillitin Z 89 puriss.

2.3 Rezeptur und Extrusion

Neben dem Polymer und dem Füllstoff enthielten die Folien noch ein Antioxidans und Calciumstearat als Stabilisatoren in praxisüblicher Dosierung.

Der Rezepturaufbau war für beide Folientypen gleich:

92,1 %	Polymer
7,5 %	Füllstoff
0,2 %	Calciumstearat
0,2 %	Antioxidans

Aus den Compounds wurden geblasene Monofolien mit einer Dicke von ca. 100 µm hergestellt.

3 Ergebnisse

3.1 LDPE Gewächshausfolie

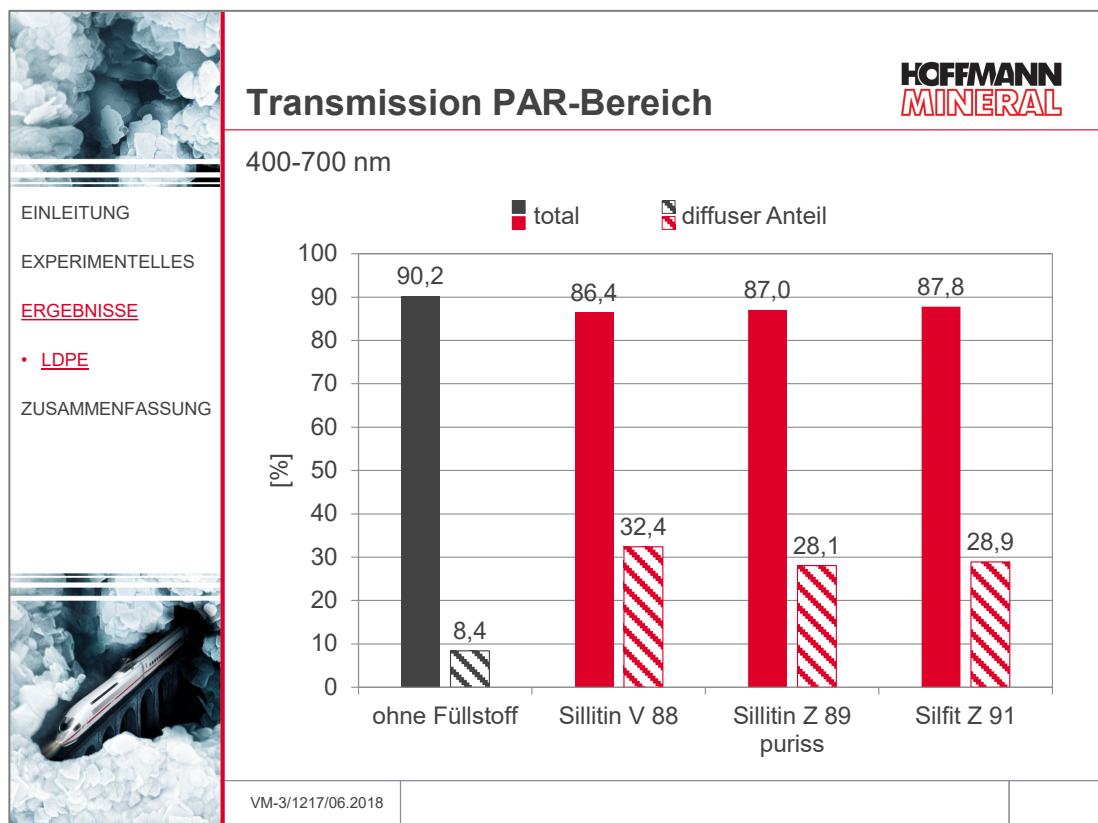
Eigenschaften der verwendeten LDPE-Type

- Polymer: Riblene FM 34 F von Versalis
 - Dichte: 0,924 g/cm³
 - MFR: 3,5 g/10 min
 - Additivierung: Slipadditiv Erucamid und Antiblock
 - Geeignet für Blasfolienanwendungen
 - Type mit guter Balance zwischen Verarbeitbarkeit, mechanischen und optischen Eigenschaften

Transmission im PAR-Bereich

Die Lichtdurchlässigkeit (Transmission) im Spektralbereich von ca. 400-700 nm ist eine wichtige Eigenschaft für Gewächshausfolien. Dieser Wellenlängenbereich ist der Teil im Spektrum der Sonnenstrahlung, der von Pflanzen für die Photosynthese genutzt wird. Die Durchlässigkeit in diesem Spektralbereich, auch PAR-Bereich (photosynthetically active radiation) genannt, sollte dementsprechend möglichst hoch sein.

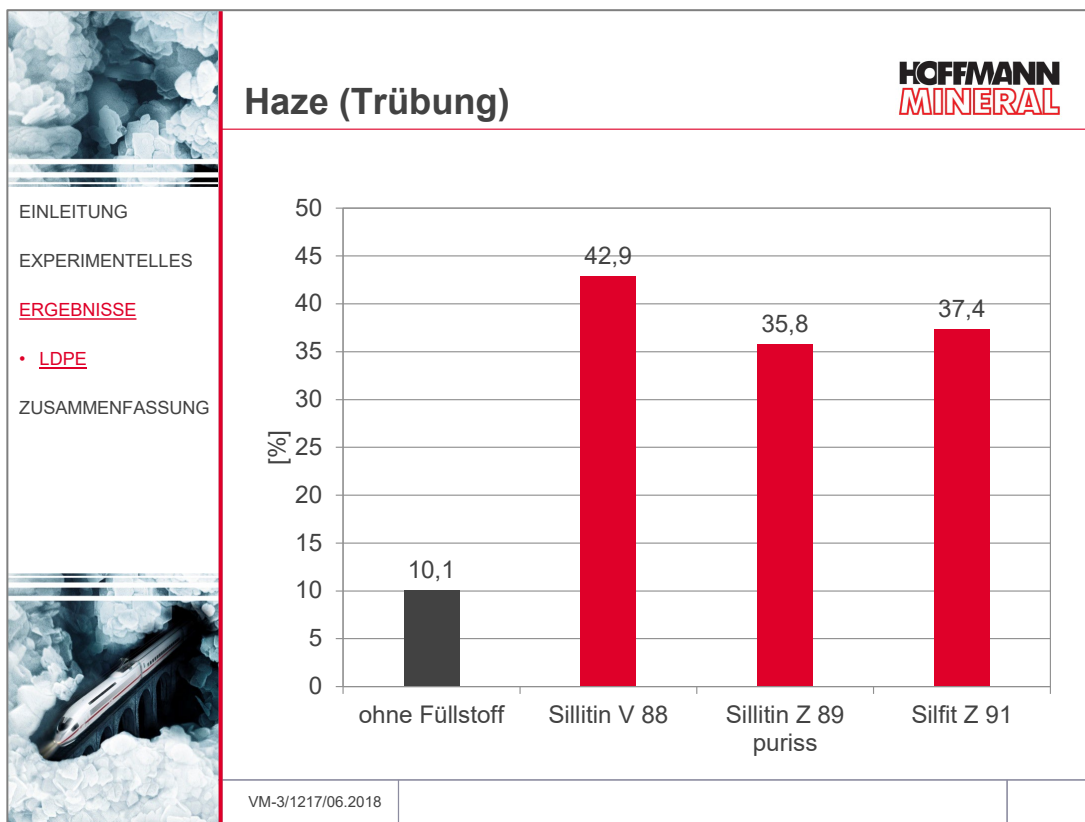
Zusätzlich ist noch die Unterscheidung zwischen direktem und indirektem/diffusem Licht wichtig. Zu viel direktes Licht ist vor allem in Regionen mit starker Sonneneinstrahlung schädlich für das Pflanzenwachstum. Mineralische Füllstoffe bewirken hier eine breitere und gleichmäßige Lichtstreuung, was wiederum einen positiven Einfluss auf den Pflanzenwuchs hat.



Wie erwartet zeigt die Folie ohne Füllstoff die höchste Gesamt-Transmission. Durch die Zugabe von Füllstoff verringert sich Lichtdurchlässigkeit nur wenig – mit den feineren Füllstoffen Sillitin Z 89 puriss und Silfit Z 91 ist die Einbuße etwas geringer als mit dem gröberen Sillitin V 88.

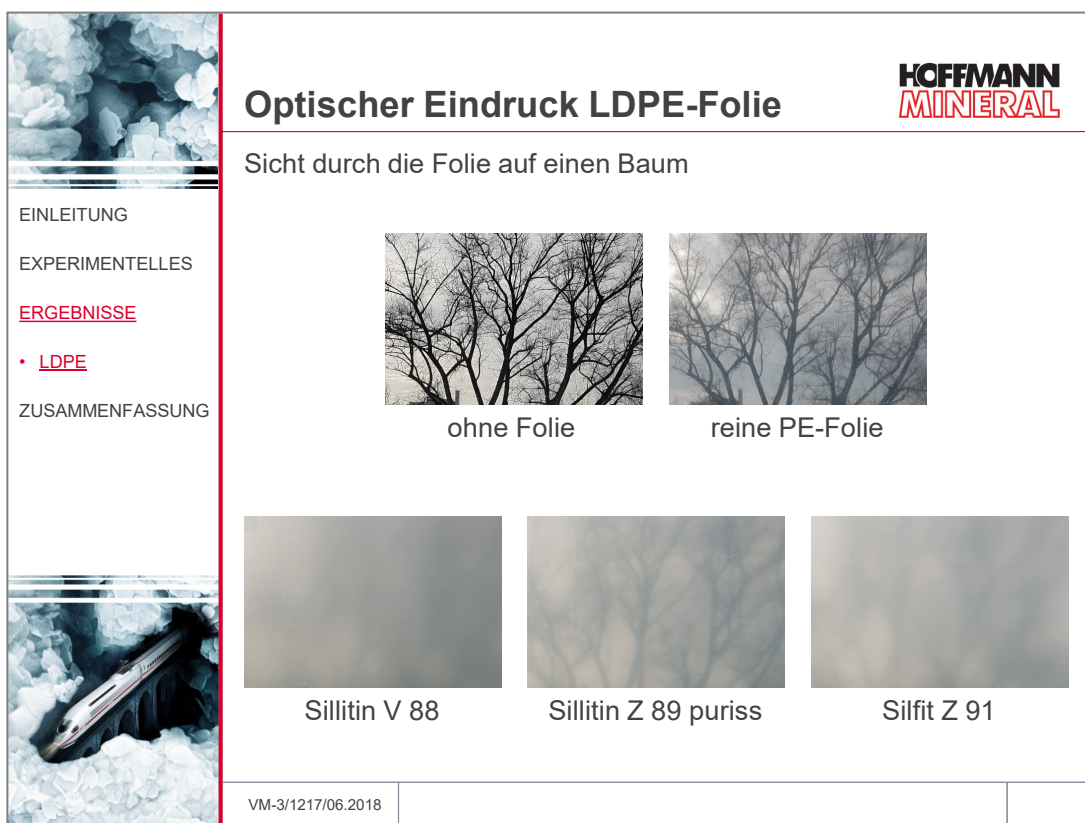
Die Folie ohne Füllstoff ergibt einen diffusen Anteil von ca. 8 %. Durch die feineren Füllstofftypen Sillitin Z 89 puriss und Silfit Z 91 steigt der Anteil auf ca. 29 %. Das gröbere Sillitin V 88 erreicht mit ca. 32 % den höchsten diffusen Anteil und damit die stärkste Lichtstreuung.

Haze (Trübung)



Die Trübung der Folie verhält sich ähnlich dem diffusen Transmissionsanteil. Während die Folie ohne Füllstoff mit einem Haze-Wert von 10 % erwartungsgemäß relativ klar ist, nimmt die Trübung bei Zugabe von Füllstoffen stark zu. Die feineren Füllstoffpartikel von Sillitin Z 89 puriss und Silfit Z 91 erzeugen dabei jedoch weniger Trübung als die größeren Partikel von Sillitin V 88.

Optischer Eindruck der Folien

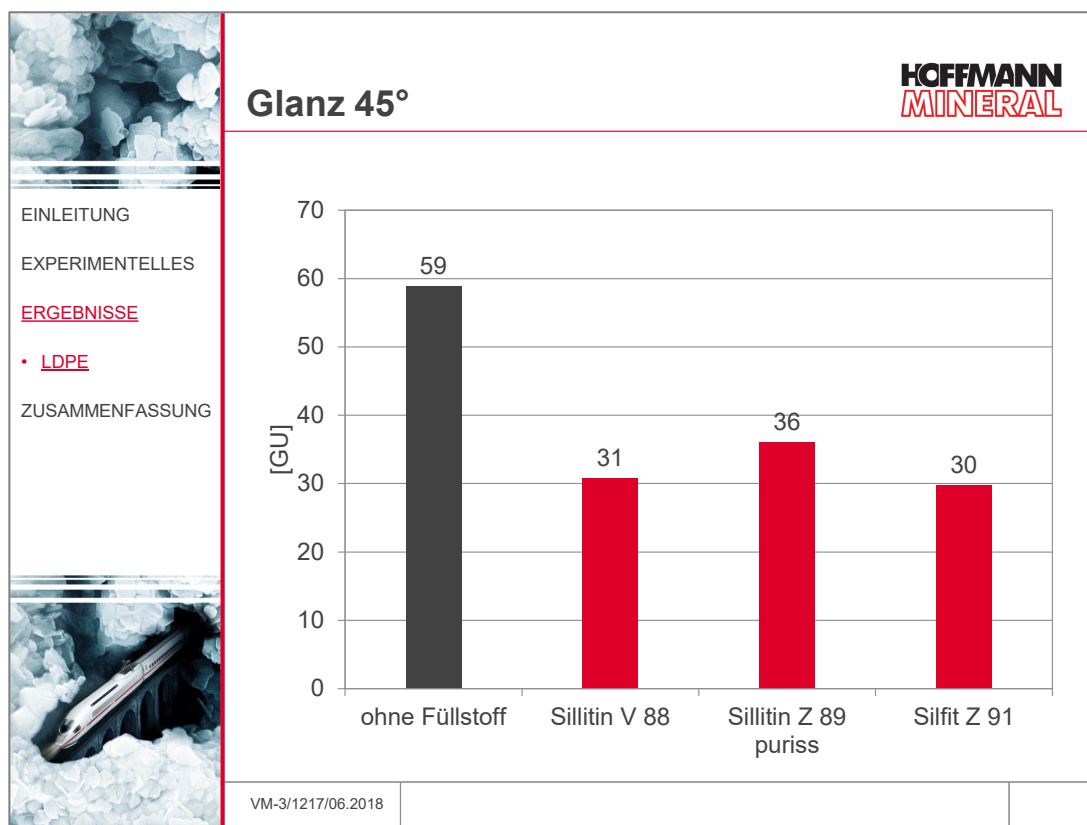


Der optische Eindruck der LDPE-Folien passt gut zu den gemessenen Haze-Werten. Betrachtet man ein immer gleiches Motiv durch die Folien, so ergibt Sillitin Z 89 puriss innerhalb der Folien mit Füllstoff das klarste Bild, wogegen Sillitin V 88 das milchigste Bild bewirkt. Silfit Z 91 liegt irgendwo dazwischen.

Die Erklärung liegt einerseits in der Partikelgröße der eingesetzten Füllstoffe und andererseits in der thermischen Nachbehandlung des Füllstoffs (Kalzinierung).

Größere Partikel, wie bei Sillitin V 88, erzeugen eine stärkere Lichtstreuung und die Folie erscheint milchiger als mit den feineren und bzgl. Korngröße vergleichbaren Produkten Sillitin Z 89 puriss und Silfit Z 91. Zwischen diesen beiden Produkten wird der Unterschied dadurch hervorgerufen, dass Silfit Z 91 kalziniert ist. Dabei geht der Kaolinitanteil in kalzinierten Kaolin über, welcher wiederum ein milchigeres Aussehen der Folie bewirkt.

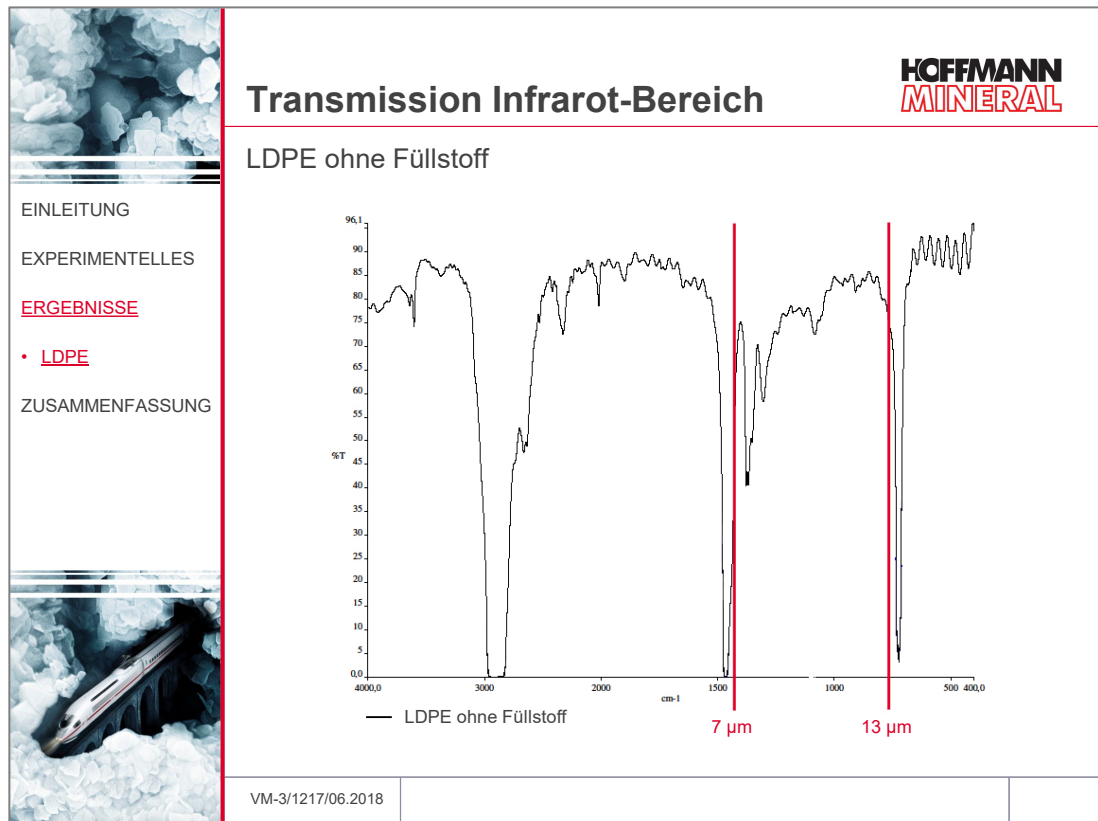
Glanz 45°



Der Glanz wurde bei einem Einfallswinkel von 45° bestimmt. Er fällt durch die Füllstoffzugabe um ca. 30 Glanzeinheiten – die Folien mit Füllstoff sind matter als die Folie ohne Füllstoff. Hierbei erreicht Sillitin Z 89 puriss den höchsten Glanzwert und damit die geringste Mattierungswirkung, die mit der geringen Trübung gut korreliert.

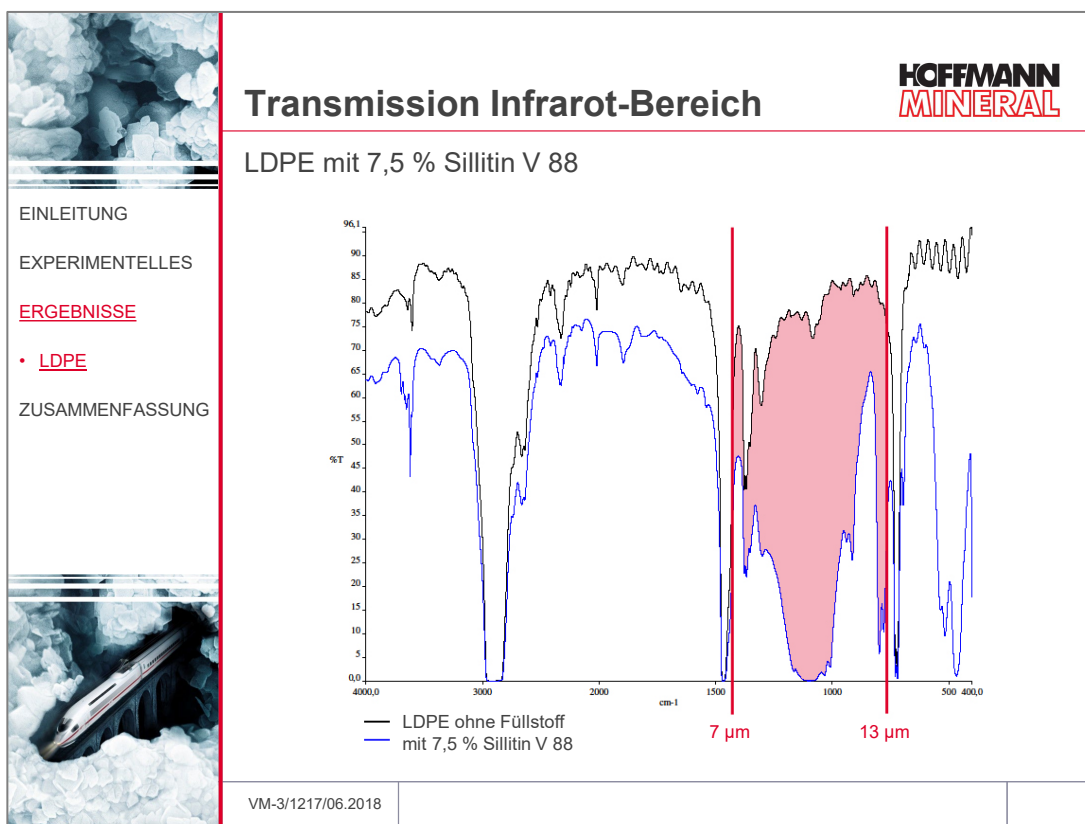
Transmission im Infrarot-Bereich

Besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Wellenlängenbereich von 7-13 μm entsprechend der Wellenzahlen von 1430 bis 770 cm^{-1} , da dieser Wellenlängenbereich um 10 μm dem Maximum der von der Erdoberfläche abgestrahlten Energie entspricht (terrestrische Ausstrahlung bei 15 °C bzw. 288 K).

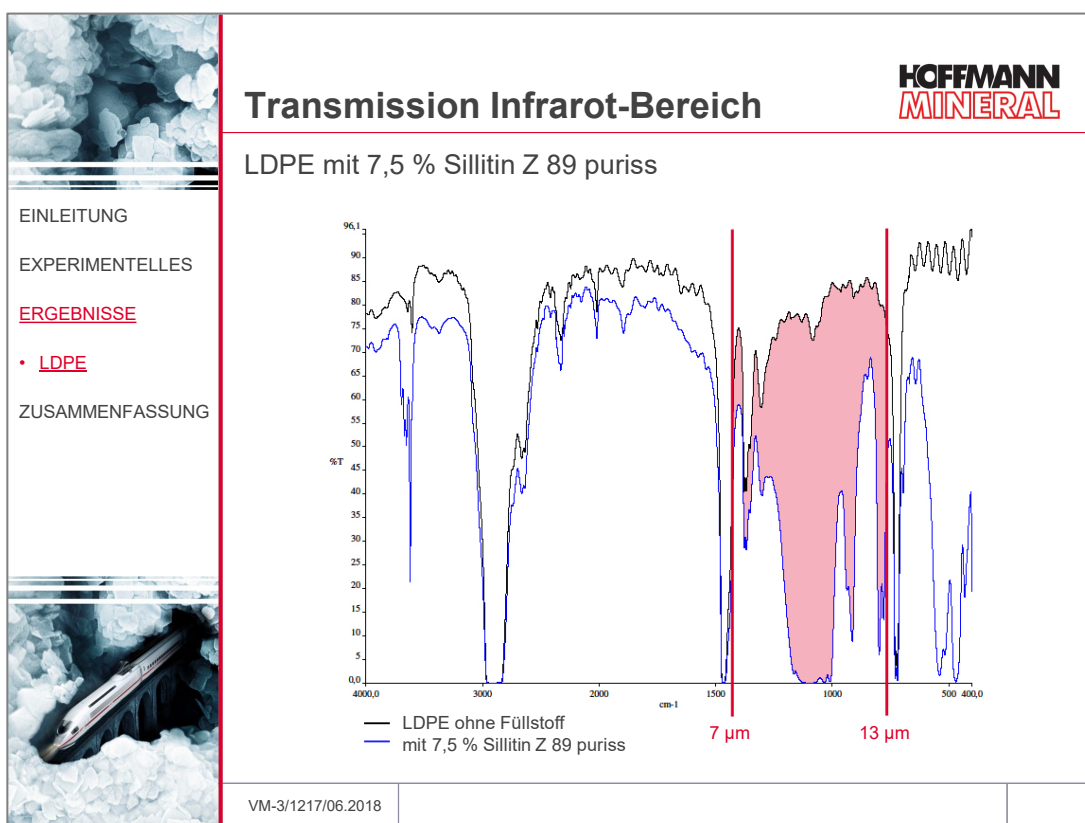


Die LDPE-Folie ohne Füllstoff zeigt nur wenig Sperrwirkung gegen IR-Strahlung im relevanten Wellenlängenbereich.

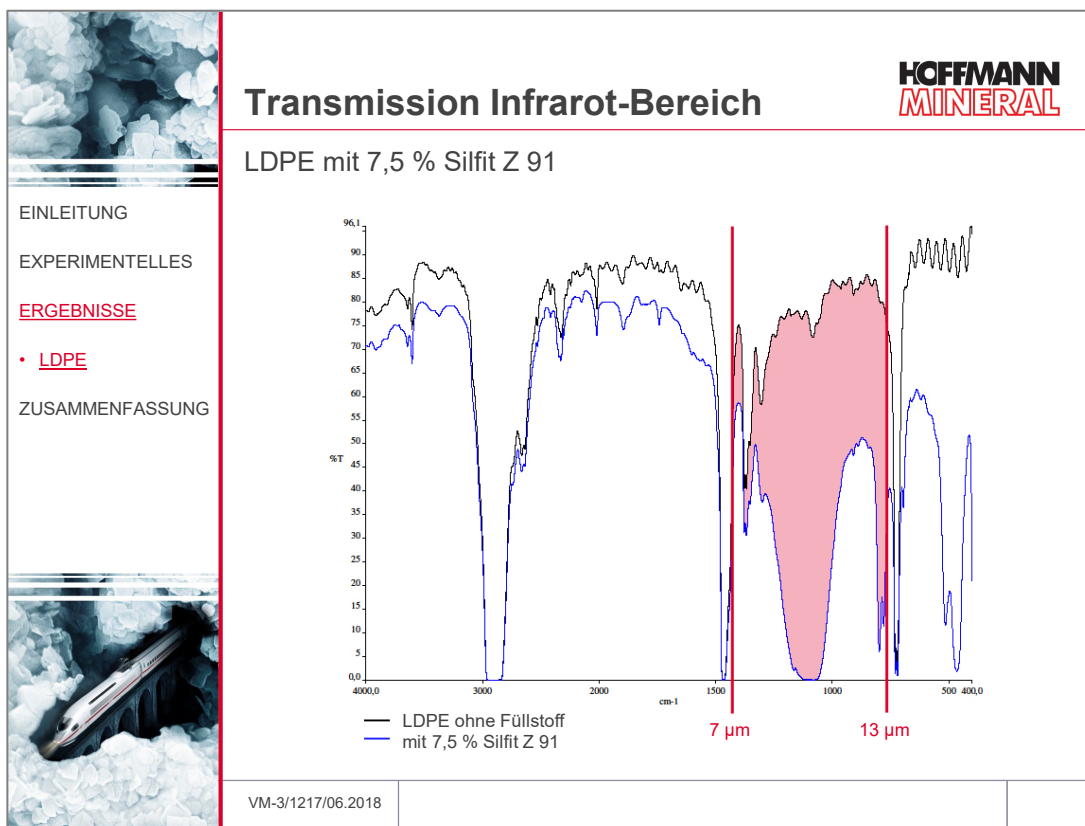
Die nachfolgenden drei Grafiken zeigen die Transmissionskurven der mineralgefüllten Folien (blaue Linie) jeweils im Vergleich zu der ungefüllten Folie (schwarze Linie). Die Differenzfläche ist jeweils in Rot dargestellt und verdeutlicht die durch den Füllstoff erzielten Barriereigenschaften. Anmerkung: Es gibt Hinweise, dass die Barriere überwiegend durch Reflektion und weniger durch Absorption generiert wird.



Sillitin V 88 reduziert im Vergleich zur ungefüllten Folie die Durchlässigkeit im nahen und mittleren Infrarotbereich signifikant.



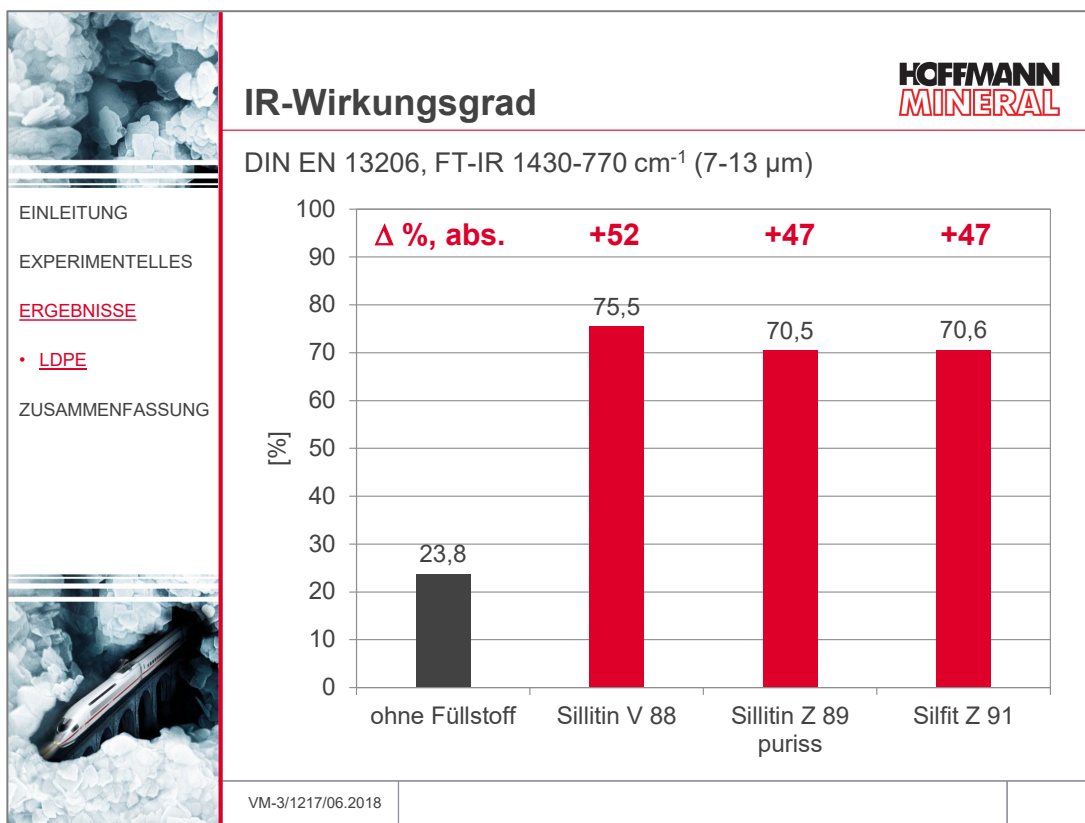
Auch mit Sillitin Z 89 puriss kann eine deutliche Sperrwirkung gegenüber IR-Strahlung festgestellt werden. Gegenüber Sillitin V 88 erhöht Sillitin Z 89 puriss jedoch die Sperrwirkung im eher kurzwelligeren Bereich $< 9 \mu\text{m}$, was durch die feinere Korngröße begründet werden kann.



Ebenso zeigt Silfit Z 91 eine gute Barrierewirkung, die im Bereich von $11\text{-}12 \mu\text{m}$ stärker ist als bei dem etwa gleich feinkörnigen Sillitin Z 89 puriss. Die Ursache für den Unterschied dürfte hier in der thermischen Nachbehandlung liegen.

IR-Wirkungsgrad

Der IR-Wirkungsgrad gemäß der DIN EN 13206 ist der prozentuale Anteil, der im relevanten Wellenzahlenbereich von $1430\text{-}770\text{ cm}^{-1}$ durch die Folie ausgesperrt wird.



Im Gegensatz zur reinen PE-Folie mit einem Wirkungsgrad von nur 24 % liegt die Sperrwirkung durch den mineralischen Füllstoff bei 70-75 %. Die Folien mit Füllstoff haben damit ein wesentlich höheres thermisches Rückhaltevermögen.

Gegenüber der reinen PE-Folie bedeutet dies eine Verbesserung des IR-Wirkungsgrades um ca. 47 % durch die feineren Produkte Sillitin Z 89 puriss und Silfit Z 91 bzw. um ca. 52 % mit dem gröberen Sillitin V 88.

Sillitin V 88 zeigt somit die größte Barrierewirkung gegenüber Infrarotstrahlung entsprechend dem geringsten thermischen Verlust.

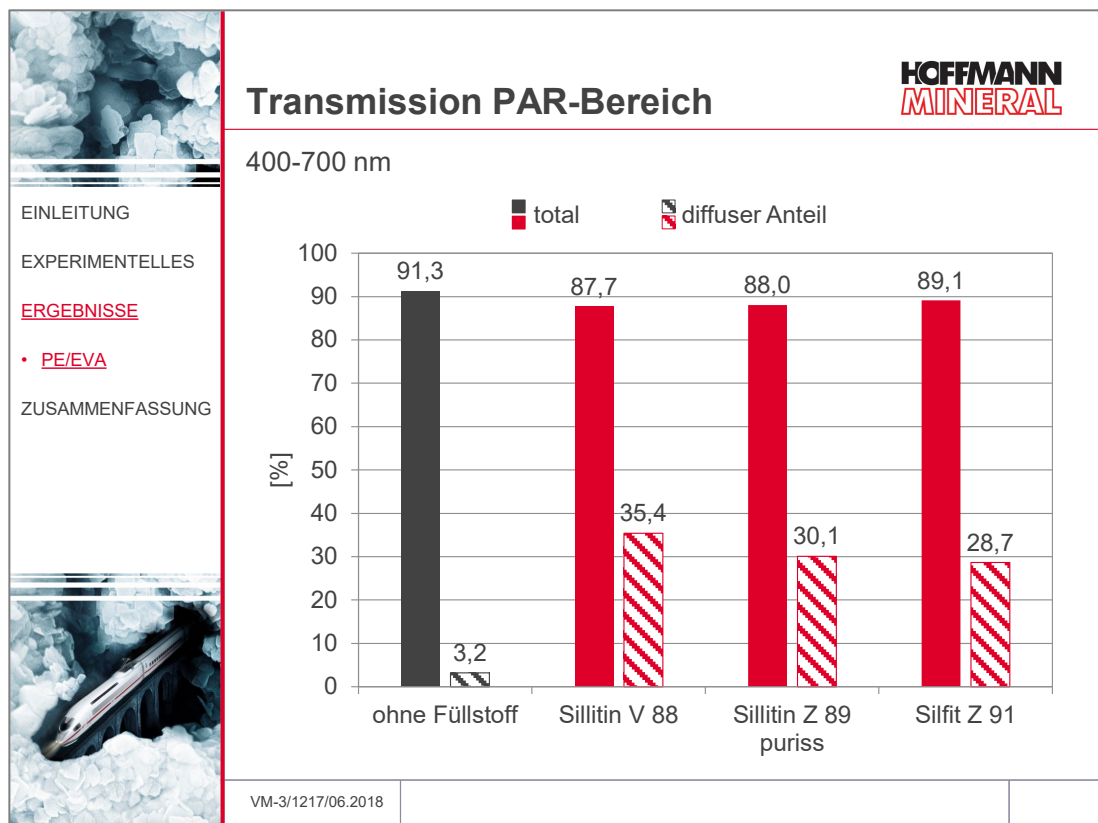
Grundsätzlich wäre mit einer höheren Foliendicke oder höherer Mineralkonzentration noch eine weitere Steigerung des IR-Wirkungsgrads möglich.

3.2 PE/EVA Gewächshausfolie

Eigenschaften der verwendeten PE/EVA-Type

- Polymer: Escorene Ultra FL 00909 von ExxonMobil
 - Dichte: 0,928 g/cm³
 - MFR: 9 g/10 min
 - Gehalt Vinylacetat: 9,4 Gew.-%
 - Additivierung: ohne
 - Geeignet für Blasfolienanwendungen
 - Type mit guten optischen Eigenschaften

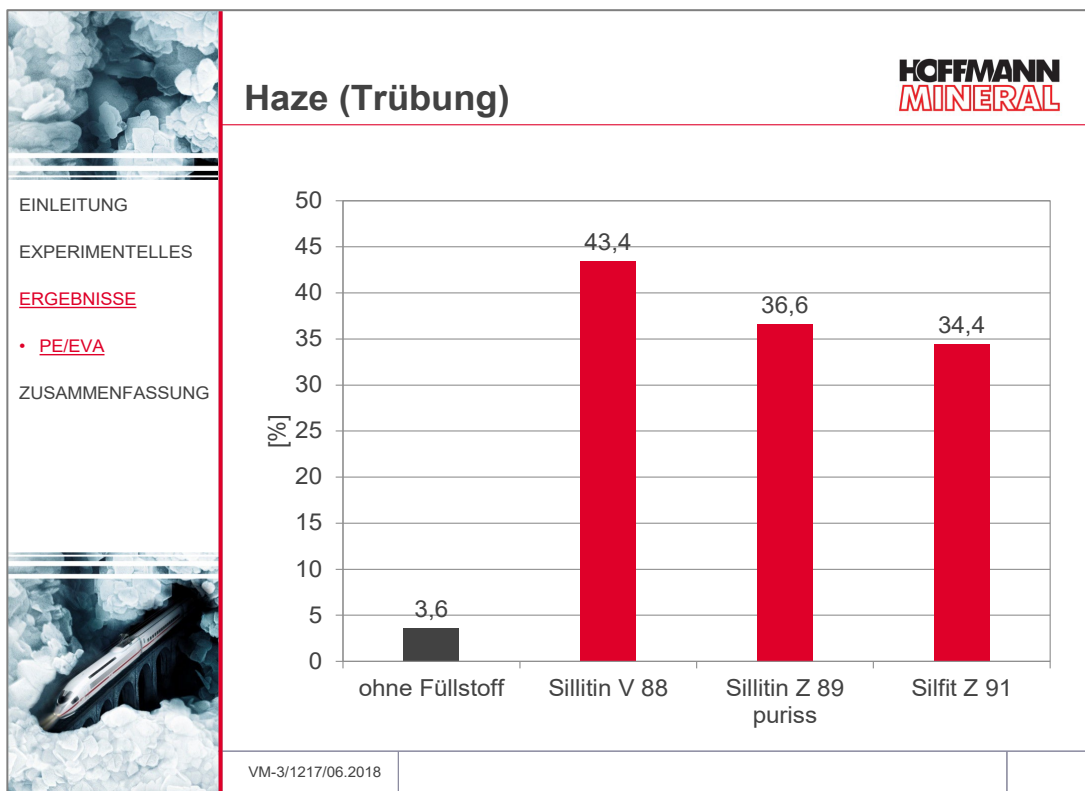
Transmission im PAR-Bereich



Analog zu den Ergebnissen der PE-Folie zeigt die PE/EVA-Folie ohne Füllstoff die höchste Gesamt-Transmission. Die Lichtdurchlässigkeit wird durch die Zugabe von Füllstoffen nur wenig verringert, wobei auch hier die feineren Typen Sillitin Z 89 puriss und Silfit Z 91 die geringere Einbuße ergeben.

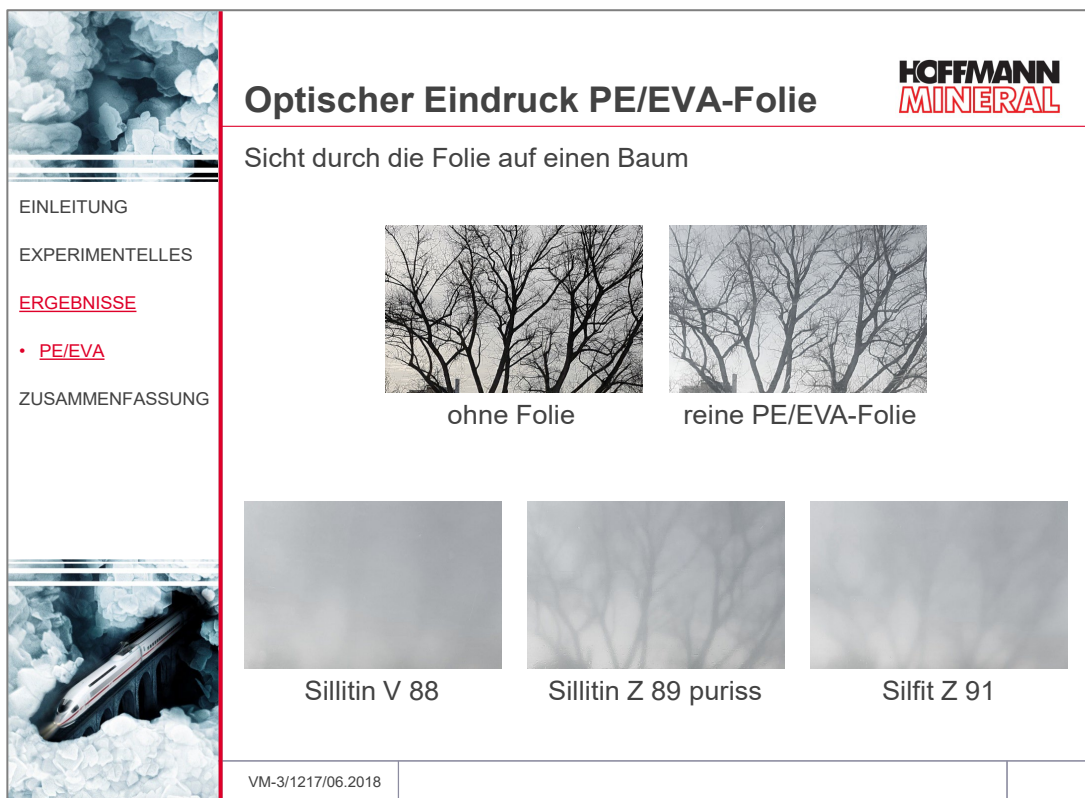
Der diffuse Anteil steigt von ca. 3 % bei der ungefüllten Folie auf ca. 29 bzw. 30 % mit den feineren Füllstoffen Sillitin Z 89 puriss und Silfit Z 91. Auch in der PE/EVA-Folie ergibt das gröbere Sillitin V 88 mit ca. 35 % den höchsten diffusen Anteil und damit die stärkste Lichtstreuung.

Haze (Trübung)



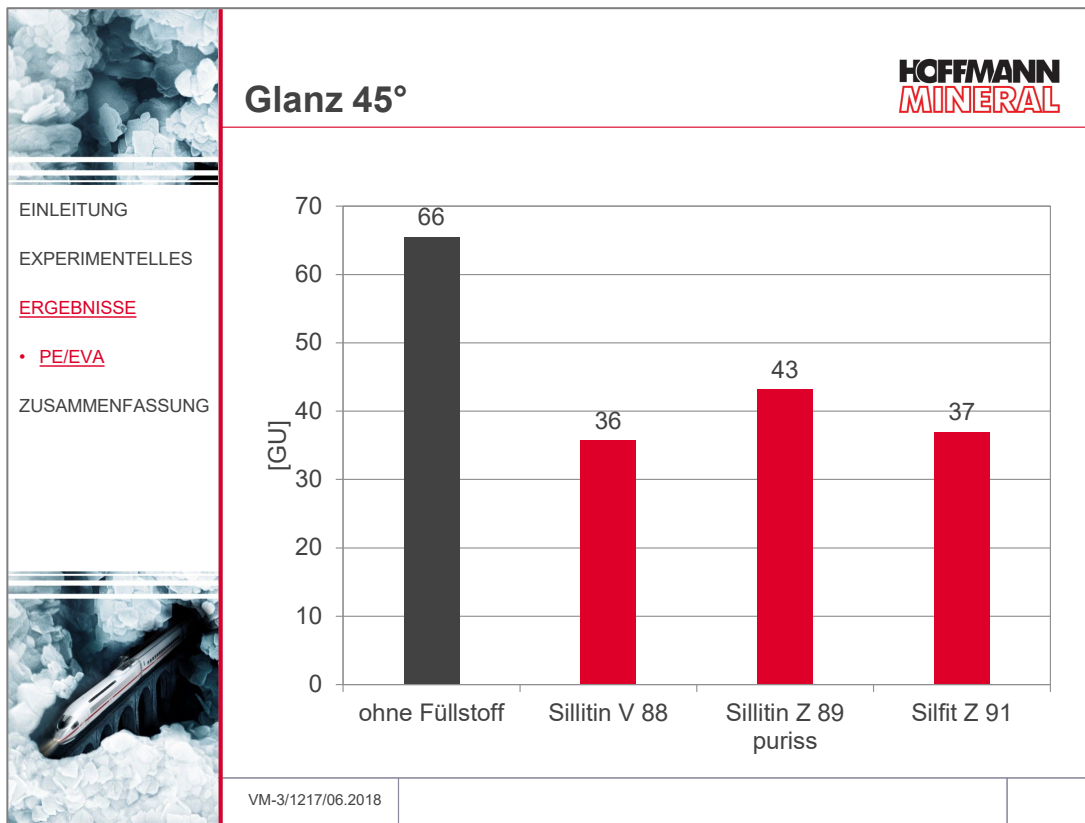
Die Folie ohne Füllstoff ist mit einem Haze-Wert von nur ca. 4 % erwartungsgemäß klar. Die Trübung nimmt durch die Zugabe der Füllstoffe stark zu, wobei wiederum die feineren Füllstoffpartikel von Sillitin Z 89 puriss und Silfit Z 91 weniger Trübung erzeugen als die gröberen Partikel von Sillitin V 88.

Optischer Eindruck der Folie



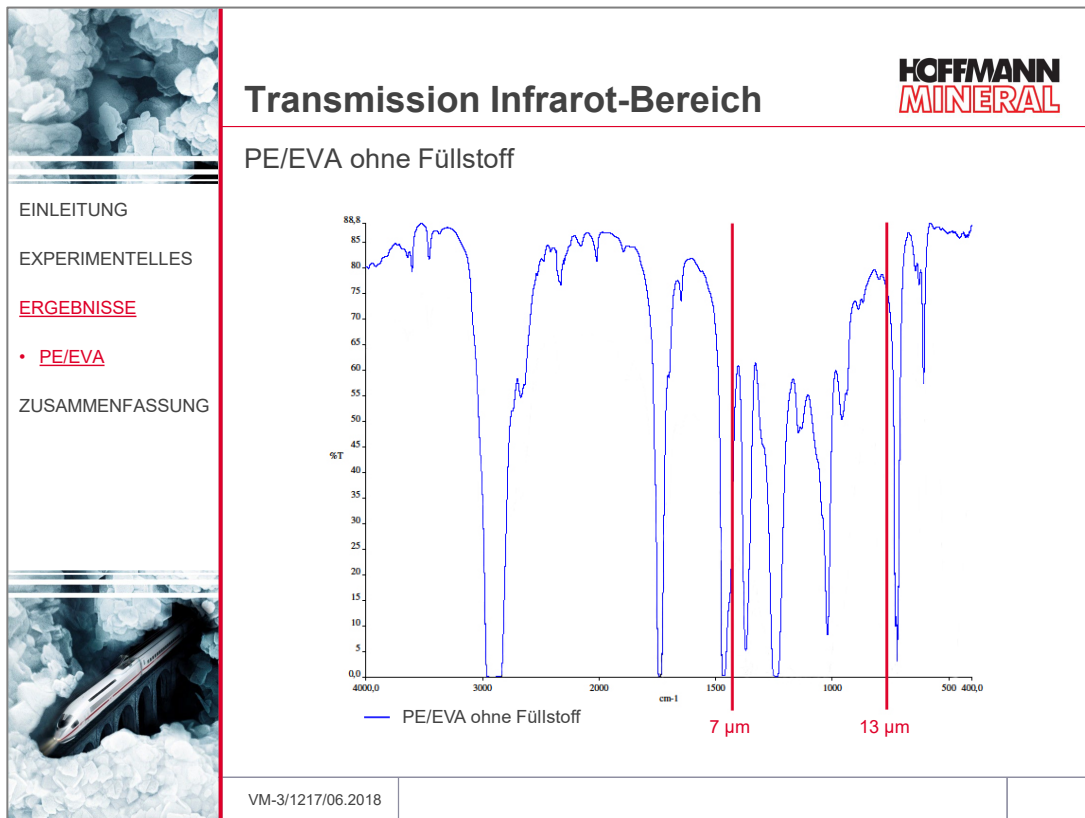
Bei den PE/EVA-Folien entspricht der optische Eindruck in etwa den Erwartungen aufgrund der gemessenen Haze-Werte. Von den Folien mit Füllstoff zeigt wieder die Folie mit Sillitin Z 89 puriss das klarste und die Folie mit Sillitin V 88 das milchigste Bild.

Glanz 45°



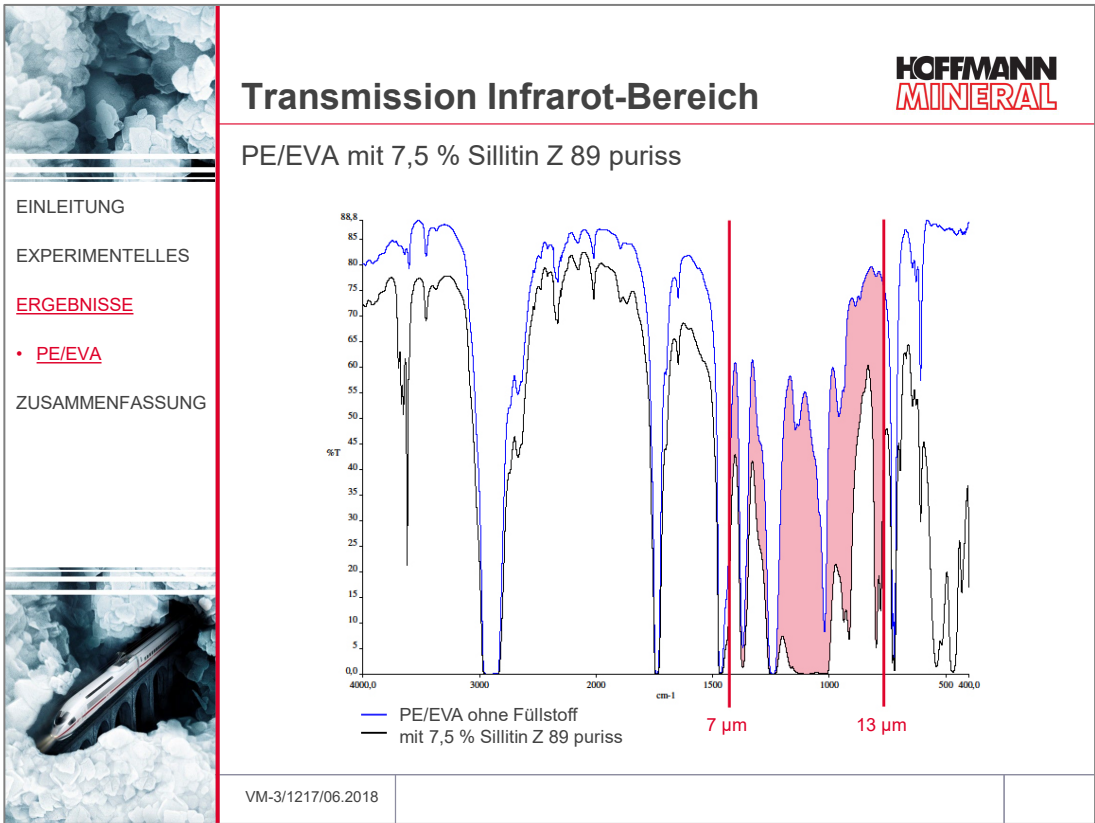
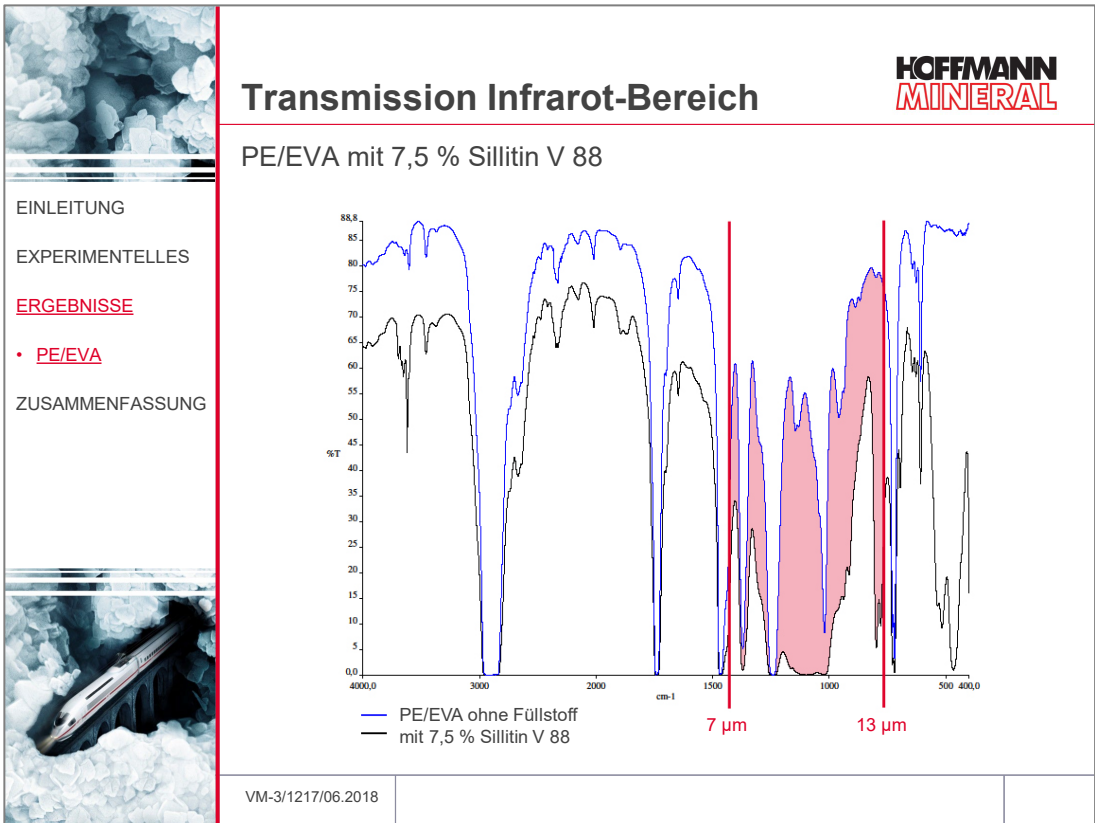
Der Glanz bei 45° Einfallswinkel fällt durch die Füllstoffzugabe um ca. 20-30 Glanzeinheiten – die Folien mit Füllstoff sind matter als die Folie ohne Füllstoff.

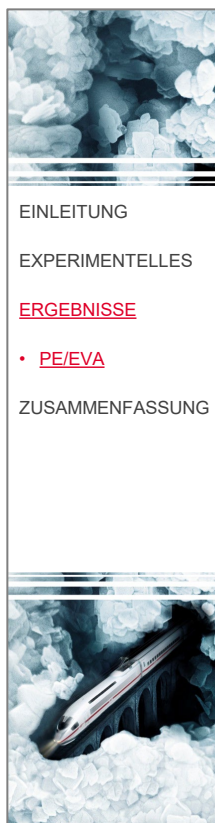
Transmission im Infrarot-Bereich



Bereits die ungefüllte PE/EVA-Folie besitzt typischerweise eine gewisse Sperrwirkung im relevanten IR-Bereich von 7-13 µm.

In den nachfolgenden drei Grafiken sind jeweils wieder der Vergleich der mineralgefüllten Folie (schwarze Linie) zur ungefüllten Folie (blaue Linie) sowie die Differenzfläche dargestellt.





EINLEITUNG

EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

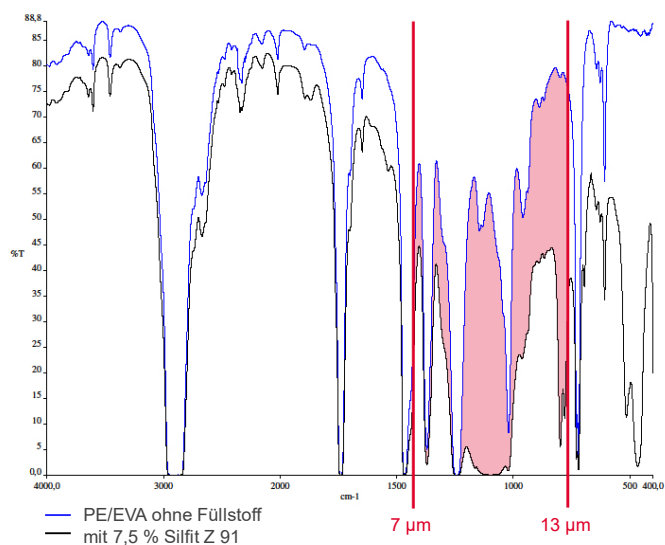
• PE/EVA

ZUSAMMENFASSUNG

Transmission Infrarot-Bereich

HOFFMANN
MINERAL

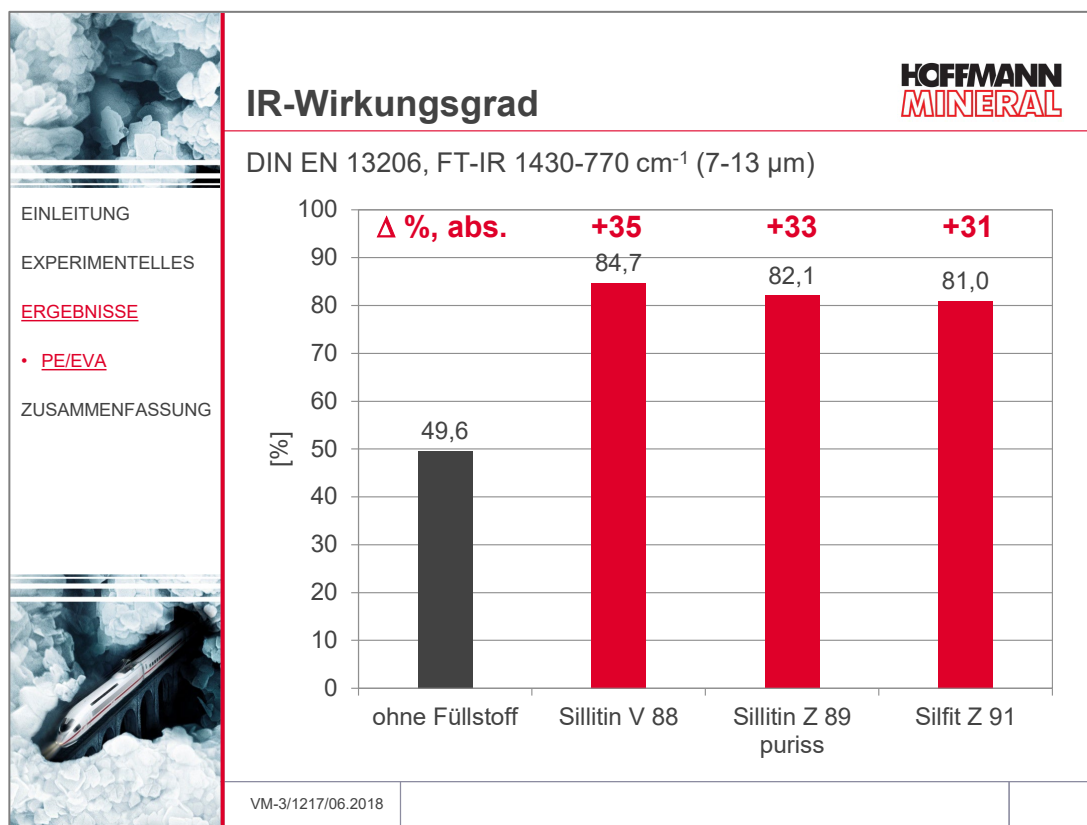
PE/EVA mit 7,5 % Silfit Z 91



VM-3/1217/06.2018

Die Füllstoffzugabe erhöht die Barriereigenschaften der Folie zusätzlich signifikant. Ebenso wie in der LDPE-Folie reduziert das feinteilige Sillitin Z 89 puriss im Vergleich zum gröberen Sillitin V 88 die Transmission verstärkt im Bereich von kleiner 9 μm, das kalzinierte Silfit Z 91 dagegen eher im 11-12 μm Bereich.

IR-Wirkungsgrad



Der Wirkungsgrad der reinen PE/EVA-Folie liegt bereits bei ca. 50 %. Er kann durch die Füllstoffzugabe um weitere 30-35 % auf ca. 80-85 % verbessert werden.

Gegenüber der ungefüllten Folie bedeutet dies eine Verbesserung des IR-Wirkungsgrades um ca. 30 % durch die feineren Produkte Sillitin Z 89 puriss und Silfit Z 91 bzw. um ca. 35 % mit dem gröberen Sillitin V 88.

Sillitin V 88 zeigt somit die größte Barrierewirkung gegenüber Infrarotstrahlung entsprechend dem geringsten thermischen Verlust.

Grundsätzlich wäre mit einer höheren Foliendicke oder höherer Mineralkonzentration noch eine weitere Steigerung des IR-Wirkungsgrads möglich.

4 Zusammenfassung

Neuburger Kieselerde eignet sich als IR-Barriere in Gewächshausfolien basierend auf PE als auch PE/EVA.

Gegenüber ungefüllten Folien wird die Lichtstreuung bei nahezu unveränderter Gesamttransmission im photosynthetisch aktiven Wellenlängenbereich deutlich verstärkt, was sich positiv auf das Pflanzenwachstum auswirkt. Zusätzlich wird der IR-Wirkungsgrad signifikant erhöht und somit der thermische Verlust deutlich verringert.

Die drei geprüften Produkte aus der Reihe der Neuburger Kieselerde unterscheiden sich dabei geringfügig:

- Sillitin Z 89 puriss: gute Lichtstreuung und IR-Barriere, geringe optische Trübung
- Silfit Z 91: gute Lichtstreuung und IR-Barriere, höhere Farbneutralität
- Sillitin V 88: stärkste Lichtstreuung und höchste IR-Barriere

Es gibt Hinweise, dass die Barriere überwiegend durch Reflektion und weniger durch Absorption generiert wird.

Andere Modifikationen von Neuburger Kieselerde bieten das Potential zur weiteren Optimierung von Gewächshausfolien.

Mit speziellen Additiven oberflächenbehandelte Produkte dürften sich positiv auf eine verlängerte Lebensdauer / verbesserte Witterungsbeständigkeit der Folien auswirken:

- basierend auf Sillitin V Korngrößenverteilung: Aktisil Q
- basierend auf Sillitin Z Korngrößenverteilung: Aktisil VM 56/89
- basierend auf Silfit Z 91, hydrophobiert: Aktifit VM, Aktifit PF 111 und Aktifit Q
- basierend auf Gloxil bright, hydrophobiert: Gloxil bright VM

Weitere maßgeschneiderte Entwicklungsprodukte sind auf Anfrage erhältlich.

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.