

Die Temperaturbeständigkeit von ARPRO spielt bei manchen Anwendungen eine entscheidende Rolle.

Es folgt eine Zusammenstellung der in diesem Dokument enthaltenen technischen Informationen:

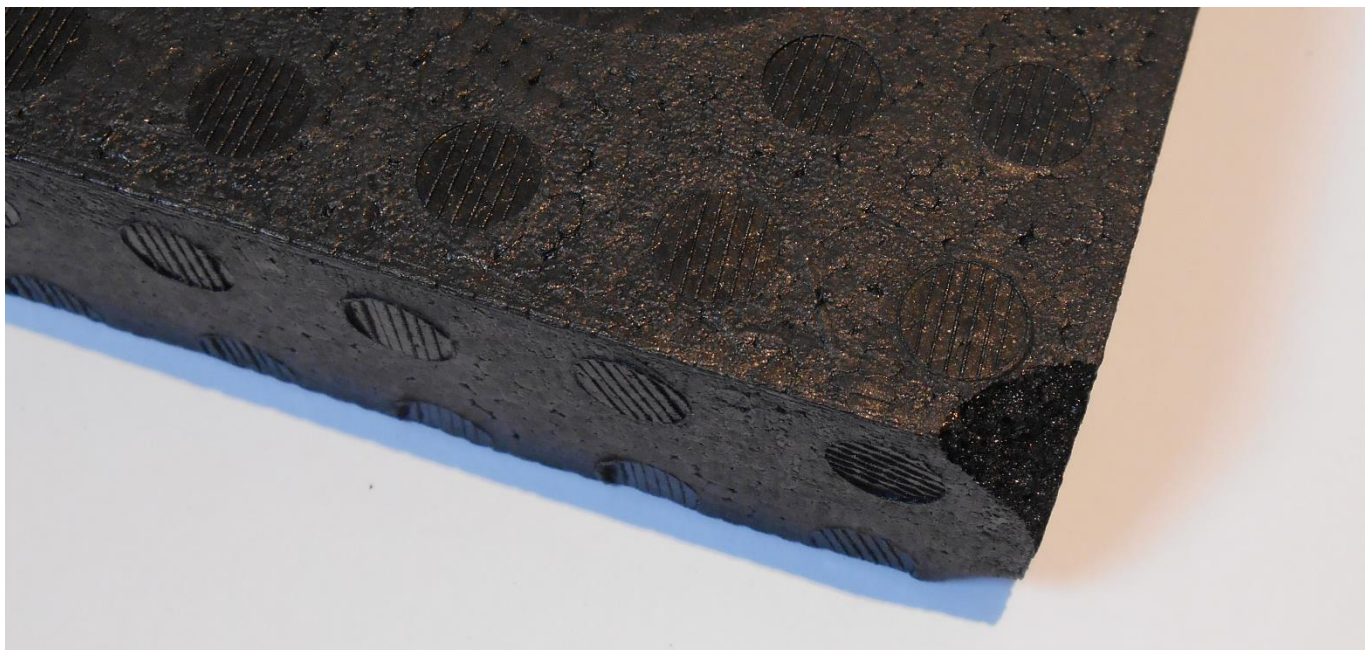
1. Erwartete Lebensdauer von ARPRO – ästhetische Verschlechterung
2. Erwartete Lebensdauer von ARPRO – Leistungsminderung
3. Veränderung der mechanischen Eigenschaften durch Alterung
4. Veränderung der mechanischen Eigenschaften durch Beanspruchung
5. Abnehmende Formstabilität durch Alterung
6. Abnehmende Formstabilität durch Beanspruchung
7. Wärmedämmung

1. Erwartete Lebensdauer von ARPRO – ästhetische Verschlechterung

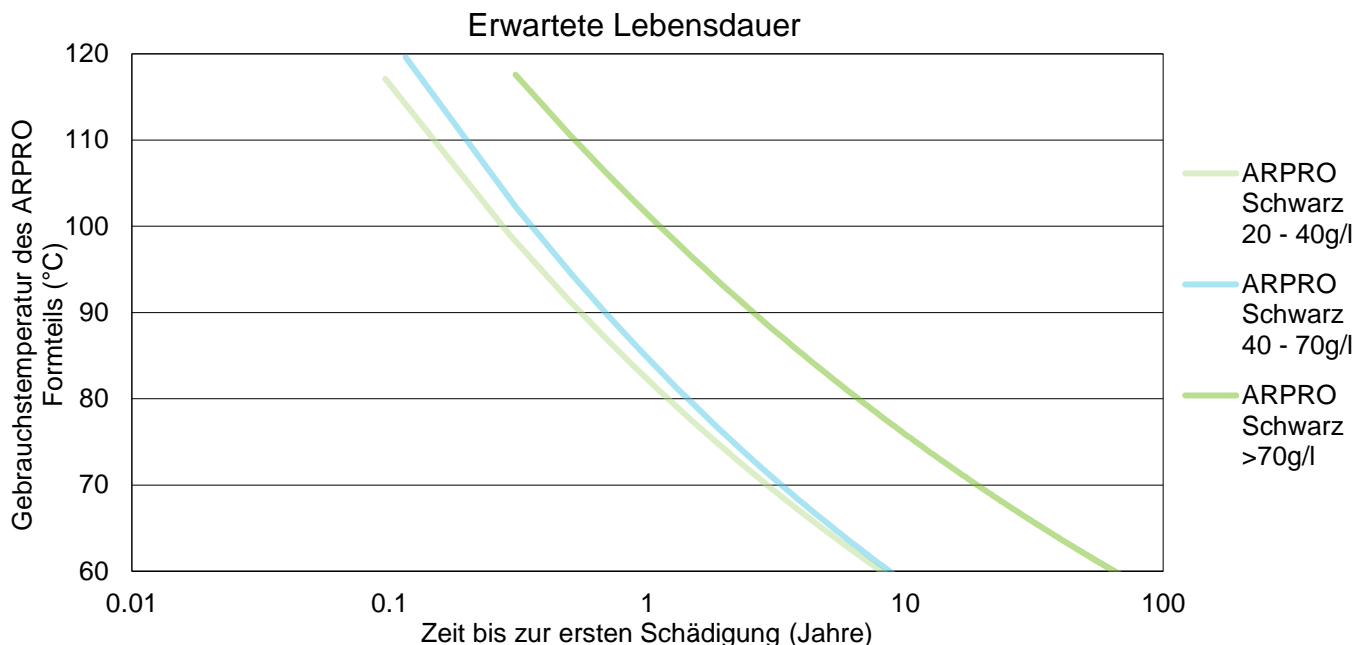
Die „erwartete Lebensdauer“ von ARPRO stellt einen Zusammenhang her zwischen der absoluten Temperatur, dem Zeitraum, für den das Material kontinuierlich einer bestimmten Gebrauchstemperatur ausgesetzt wurde, und der Dichte des verwendeten Formteils. Die Daten in diesem Dokument geben einen Hinweis auf die Leistungseigenschaften von ARPRO bei konstanten Gebrauchstemperaturen. Die Diagramme in diesem Abschnitt zeigen, wann die ersten Anzeichen einer Schädigung sichtbar werden (bei verschiedenen Temperaturen und ohne mechanische Beanspruchung).

Prüfverfahren: Formteile aus ARPRO werden in einem Trockenschrank verschiedenen Temperaturen zwischen 85°C und 120°C ausgesetzt. Die Datenerhebung wird beim ersten Anzeichen einer Schädigung (z. B. Pulverisierung oder Bruch der Polymerketten) gestoppt. Getestet wurde ARPRO schwarz mit Dichten zwischen 20g/l und 100g/l.

Prüfkriterien: Die ersten Anzeichen einer Schädigung treten in Form einer Pulverisierung des Prüfkörpers auf. Sie liefern einen Datenpunkt für die Berechnung der Lebensdauer bei der gegebenen Temperatur. Im Allgemeinen tritt die Pulverisierung zuerst an den Ecken und Kanten des Formteils auf (siehe Bild). Wenn die Schädigungen sichtbar werden, werden die Formteile aus ARPRO dem Trockenschrank entnommen. Vor dem Auftreten der Pulverisierung verschlechtern sich die physikalischen Eigenschaften nicht.



Das folgende Diagramm zeigt, nach welchen Zeiträumen man bei verschiedenen Temperaturen und ohne mechanische Beanspruchung erwartungsgemäß mit den ersten Anzeichen einer Schädigung rechnen sollte.



Um diese Datenkurven in der Praxis einzusetzen, muss entweder die erwartete Mindestlebensdauer oder die durchschnittliche Gebrauchstemperatur feststehen. Wenn die Anwendung zum Beispiel eine Lebensdauer von zehn Jahren hat, dann kann ARPRO bei einer kontinuierlichen Gebrauchstemperatur von höchstens 60°C verwendet werden. Wenn bei der Anwendung ein Temperaturprofil bewältigt werden muss (Einsatz zu verschiedenen Jahreszeiten oder andere Temperaturschwankungen), dann sollte man sich auf die Durchschnittstemperatur beziehen, um die zu erwartende Lebensdauer zu erhalten.

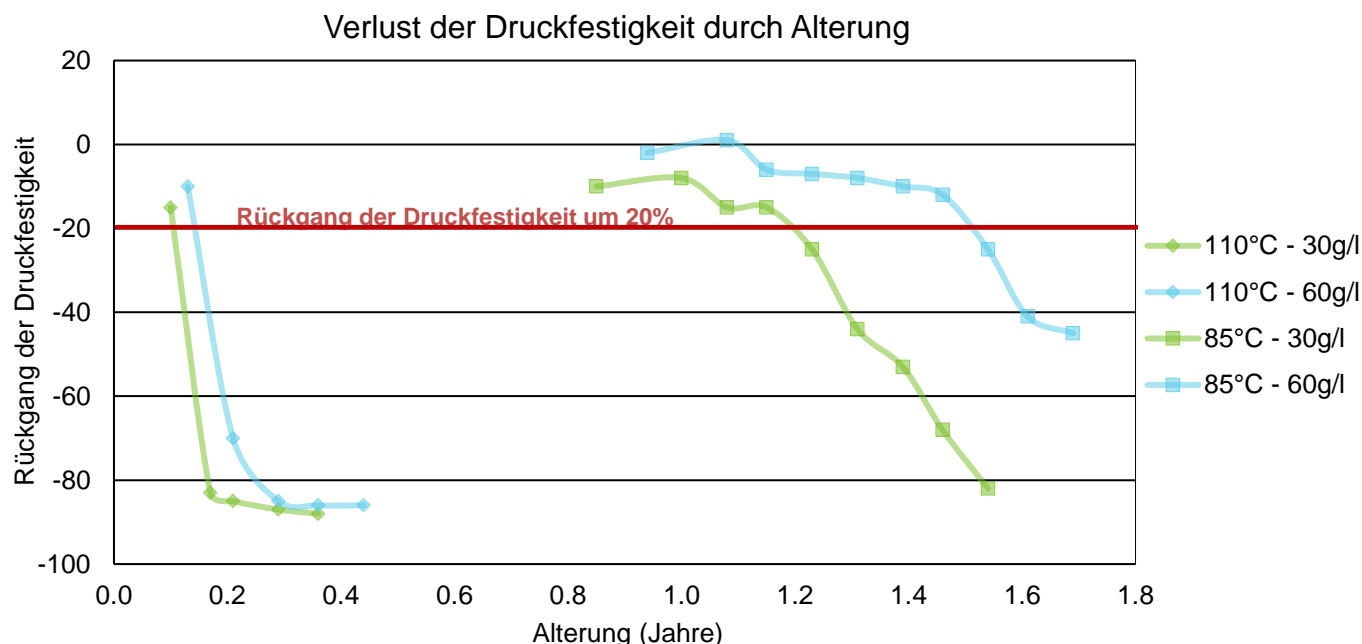
Hinweise: Einige beschleunigende Faktoren können die Lebensdauer verkürzen.

- Einwirkung von UV-Strahlen (bitte erkundigen Sie sich bei uns nach dem „Beschichtungsverfahren“, um mehr zu diesem Thema zu erfahren).
- Direkter Kontakt mit Kupferteilen, abhängig von der Gebrauchstemperatur. Übersteigt die Temperatur die 100-Grad-Marke, macht sich der schädigende Einfluss von Kupfer auf ARPRO drei- bis sechsmal so schnell bemerkbar, unter 80°C hingegen ist die Wirkung praktisch vernachlässigbar. Die folgenden Lösungsansätze bieten sich an, um zu verhindern, dass ARPRO und Kupfer in Kontakt kommen:
 - Luftschicht zwischen den Materialien.
 - Einsatz eines weiteren Materials als Schutzschicht (z. B. Aluminiumfolie).
 - Behandlung des Kupfers mit Epoxidharzlack.

2. Erwartete Lebensdauer von ARPRO – Leistungsminderung

Je nach Anwendung sollte man das Ende der Lebensdauer nicht unbedingt an der (sichtbaren oder verborgenen) Pulverisierung festmachen, da sich die mechanischen Eigenschaften beim ersten Auftreten dieses Phänomens noch nicht verändert haben. Der Rückgang der Druckfestigkeit hängt von der Zeit und der Temperatur ab (die Ausgangspunkte der folgenden Kurven stammen von dem Diagramm „Erwartete Lebensdauer“ im Abschnitt 1). Bei niedrigeren Temperaturen fällt die Schädigung deutlich geringer aus.

Test method: Prüfverfahren: Formteile aus ARPRO werden in einem Trockenschrank Temperaturen von 85°C und 110°C ausgesetzt. Sobald die ersten Anzeichen einer ästhetischen Verschlechterung auftreten (siehe Abschnitt 1), wird die Druckfestigkeit der ARPRO Formteile regelmäßig überprüft. Von einer kritischen Beeinträchtigung der Leistung von Formteilen aus ARPRO spricht man in der Regel ab einem Rückgang der Druckfestigkeit um mehr als 20%. Getestet wurde ARPRO schwarz mit den Dichten 30g/l und 60g/l.



Erklärung der Testergebnisse: Bei einer konstanten Temperatur von 110°C tritt bei ARPRO mit Dichten von 30g/l und 60g/l nach zwei Monaten eine Schädigung und ein Rückgang der Leistung ein. Bei einer konstanten Temperatur von 85°C verliert ARPRO mit einer Dichte von 30g/l nach 15 Monaten 20% der ursprünglichen Druckfestigkeit. Bei ARPRO mit einer Dichte von 60g/l tritt dieser Rückgang nach 18 Monaten ein.

3. Veränderung der mechanischen Eigenschaften durch Alterung

Wärmeeinwirkung macht ARPRO weicher und über einen langen Zeitraum kann sie deshalb die mechanischen Eigenschaften des Materials dauerhaft verändern. Sobald jedoch wieder normale Raumtemperatur herrscht, setzt sich der Alterungsprozess nicht mehr fort.

Prüfverfahren: Druck- und Zugfestigkeit werden vor und nach der Alterung gemessen. Als Prüfkörper dienen geschnittene Quader mit den Abmessungen 400 x 300 x 80mm, die gemäß ISO 2440 für 10 Tage bei 110°C oder für 5 Tage bei 130°C gealtert werden. Getestet wurde ARPRO schwarz mit einer Dichte von 60g/l.

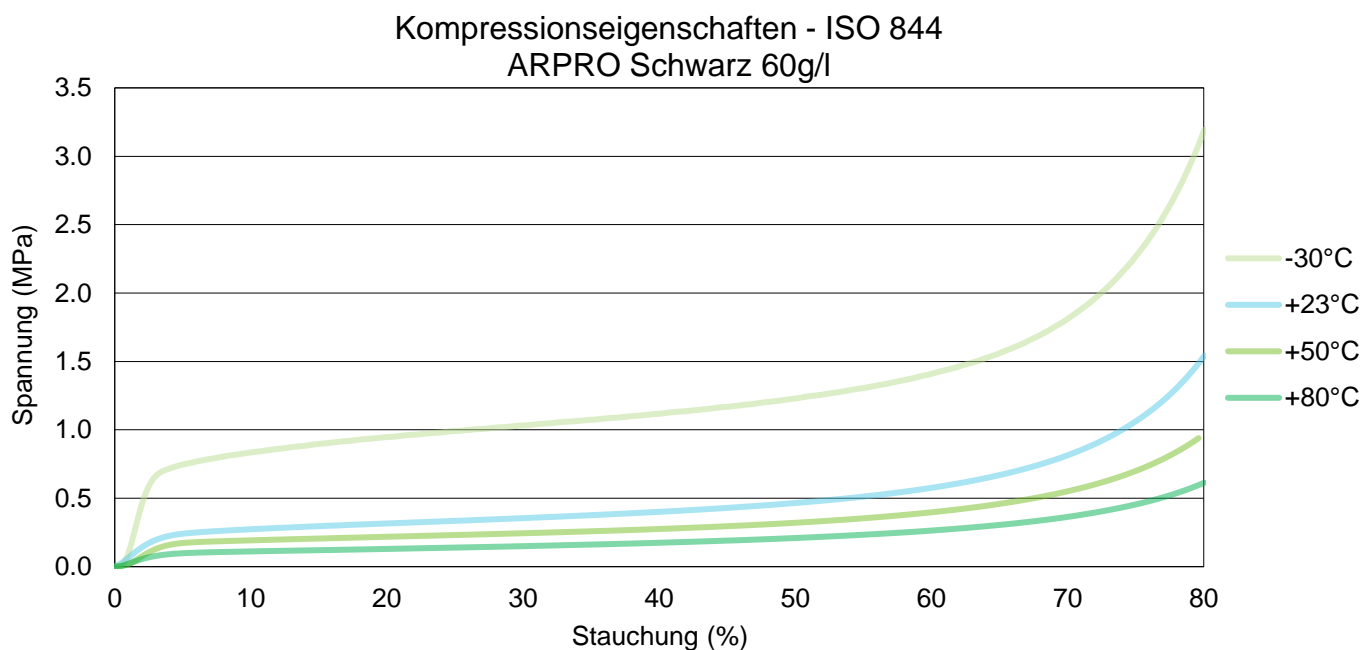
Test	Verfahren	Einheiten	Ergebnis	Ergebnis
Wärmealterung	ISO 2440		110°C – 10 Tage	130°C – 5 Tage
Zugfestigkeit				
Umgebungstemperatur bei Testbeginn	ISO 1798	kPa	930	930
Abweichung nach Wärmealterung		%	bis zu 15*	bis zu 15*
Zugdehnung				
Umgebungstemperatur bei Testbeginn	ISO 1798	%	25	25
Abweichung nach Wärmealterung		%	bis zu 15*	bis zu 30*
Druckfestigkeit 25% Stauchung				
Umgebungstemperatur bei Testbeginn	ISO 844	kPa	340	340
Abweichung nach Wärmealterung		%	bis zu 5*	bis zu 10*

* Dass die erhaltenen Eigenschaftswerte variieren, liegt zum Teil an der Streuung der Testergebnisse. Die Ergebnisse der Zug- und insbesondere der Dehnungsversuche variieren deutlich stärker als die Resultate zur Druckfestigkeit. Zu den Abweichungen trägt auch die Verdichtung von Prüfkörpern aufgrund einer leichten Schwindung während der Alterung bei.

4. Veränderung der mechanischen Eigenschaften durch Beanspruchung

Wärmeeinwirkung macht ARPRO weicher, was während der Verwendung des Materials zu einer vorübergehenden Veränderung seiner mechanischen Eigenschaften führen kann. Sobald wieder normale Umgebungstemperatur herrscht, stellen sich aber auch die normalen mechanischen Eigenschaften wieder ein.

Prüfverfahren: Druckversuch gemäß ISO 844 mit einer Geschwindigkeit von 5mm/min. Getestet wurde ARPRO schwarz mit einer Dichte von 60g/l.



Prüfergebnisse: Unter Hitzeeinwirkung wird ARPRO weicher, büßt allerdings seine Festigkeit auch bei hohen Temperaturen nicht vollständig ein. Das allgemeine thermoplastische Verhalten bleibt unabhängig von der Prüftemperatur stabil. Dies gilt auch unterhalb der Glasübergangstemperatur (ca. -10°C).

5. Abnehmende Formstabilität durch Alterung

Die Formteile bestehen aus ARPRO Partikeln. Hitzeeinwirkung kann die Abmessungen der einzelnen Partikel und damit auch des gesamten Formteils verändern.

Kalte Temperaturen haben einen geringeren Einfluss auf die Abmessungen; die deutlichsten Schwankungen entstehen durch Hitze. Dabei kommt es zu einer leichten Schwindung des Formteils, die von der Temperatur, der Dauer des Alterungsprozesses und der Prüfdichte abhängig ist. Bei den unten angeführten Temperaturen und Dichten ist eine leichte Verdichtung um 1g/l bis 5g/l zu beobachten.

Prüfverfahren: ISO 2796. Drei quaderförmige Prüfkörper aus ARPRO mit den Abmessungen 100 x 100 x 25mm werden in einem Trockenluftofen erhitzt und für 10 Tage bei 110°C oder für 5 Tage bei 130°C gealtert. Die Temperaturschwankung wird auf $\pm 2^\circ\text{C}$ begrenzt. Die Abmessungen werden vor und nach dem Alterungsprozess zu 3 verschiedenen Zeitpunkten und in jeder Richtung gemessen. Die in diesem Datenblatt angegebenen Werte sind der Durchschnitt der festgestellten Längen-, Breiten- und Dickenänderungen.

Formteildichte von ARPRO (g/l)	Lineare Dimensionsveränderung (%)	
	Alterung bei 110°C für 10 Tage	Alterung bei 130°C für 5 Tage
30	- 1.0	- 5.8
60	- 0.6	- 3.0
80	- 0.6	- 1.7
150	- 0.6	- 1.1

Hinweis: Indem man bei der Formteilherstellung die Einstellungen am Formteilautomaten variiert, kann man diesen Effekt zu einem gewissen Grad abschwächen oder verstärken. (Bitte kontaktieren Sie uns, um weitere Informationen zum Thema „Variieren der Einstellungen an der Anlage während der Formteilherstellung“ zu erhalten).

6. Abnehmende Formstabilität durch Beanspruchung

Der lineare Wärmeausdehnungskoeffizient (Coefficient of Linear Thermal Expansion, CLTE) beschreibt die Neigung eines Materials, aufgrund von Temperaturveränderungen (Wärme oder Kälte) zu schrumpfen oder sich auszudehnen. Allerdings können diese Dimensionsveränderungen ausgeglichen werden, indem die Formteile aus ARPRO mechanisch fixiert werden.

Test method: Prüfverfahren: Ein Prüfkörper, auf dem ausgehend von einem Ende in Längsrichtung Messmarken in Abständen von 25mm angebracht wurden, wird in einem Temperaturprüfraum für 24 Stunden einer bestimmten Anfangstemperatur ausgesetzt. Unmittelbar nach der Entnahme des Prüfkörpers aus dem Temperaturprüfraum werden dann die Abstände zwischen den Markierungen gemessen. Anschließend wird der Prüfkörper für weitere 24 Stunden einer bestimmten Endtemperatur ausgesetzt. Auch an diese Temperaturbehandlung schließt sich eine sofortige Messung der Markierungsabstände an. Die verwendeten Anfangs- und Endtemperaturen sind -40°C und 20°C und 20°C und 80°C. Getestet wurde ARPRO Schwarz mit den Dichten 20g/l und 200g/l.

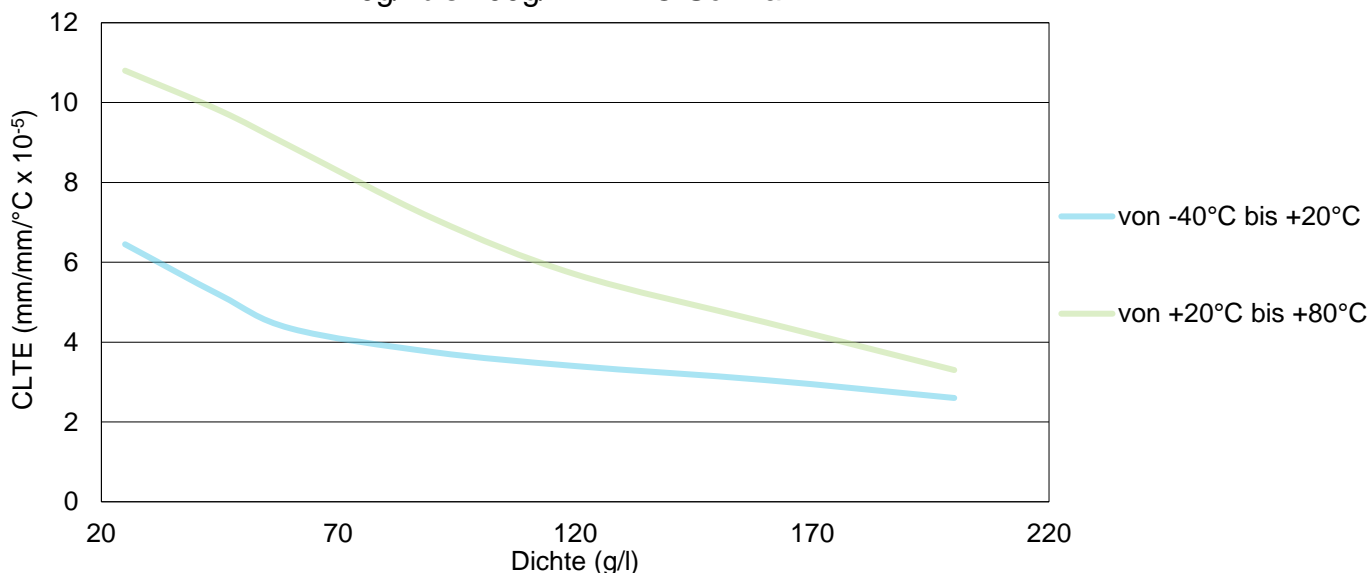
Der lineare Wärmeausdehnungskoeffizient K (Coefficient of Linear Thermal Expansion, CLTE) ergibt sich aus der folgenden Gleichung:

$$K = (L_1 - L_0) / (\Delta T * L_0)$$

Dabei gilt: L1 ist die Länge des Prüfkörpers unter dem Einfluss der Endtemperatur, L0 ist die Länge des Prüfkörpers unter dem Einfluss der Anfangstemperatur und ΔT ist die Differenz zwischen End- und Anfangstemperatur.

Hinweis: Die Endergebnisse können je nach Formteilgeometrie leicht variieren.

Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient (CLTE)
20g/l bis 200g/l ARPRO Schwarz



Erklärung der Testergebnisse: Die Abmessungen von ARPRO mit einer Dichte von 160g/l ändern sich von 20°C

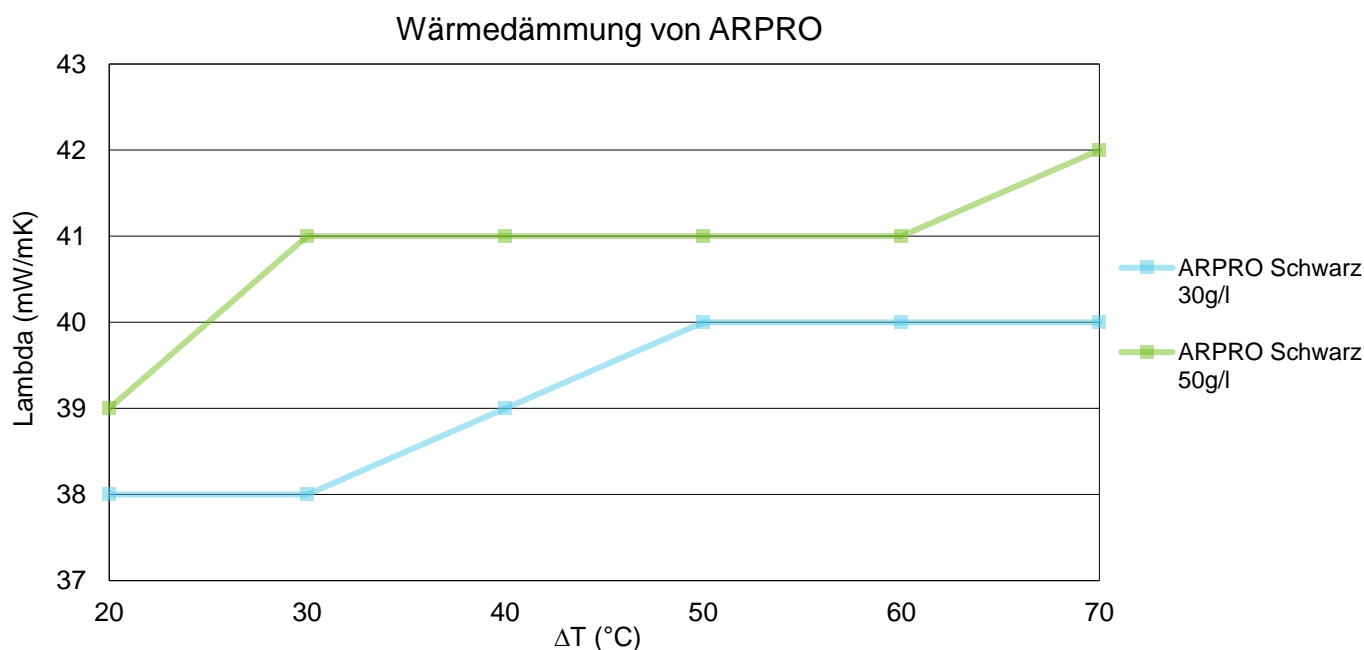
bis 80°C um $4.5 \cdot 10^{-5}$ mm pro mm und °C. Das heißt, dass ein ARPRO Formteil mit einer Dichte von 160g/l und einer ursprünglichen Länge von 100mm nach einer 24-stündigen Konditionierung bei 80°C die folgende Endlänge aufweist 100.27mm.

$$L_1 = L_0 + K \cdot \Delta T \cdot L_0 = 100 + 4.5 \cdot 10^{-5} \cdot 60 \cdot 100 = 100.27 \text{ mm}$$

7. Wärmedämmung

Die folgenden Daten wurden durch zwei verschiedene Prüfverfahren erhoben und liefern die Wärmeleitfähigkeit (λ) eines Materials. Je niedriger der Wert von λ ausfällt, desto besser ist die Wärmedämmung.

Prüfverfahren A: ISO 8301. Man erhält die Messergebnisse, indem man die Temperaturdifferenz zwischen zwei Platten ansteigen lässt. Die Temperaturdifferenz liegt zwischen 20°C und 70°C. Dabei bleibt die Temperatur der kälteren Platte konstant bei 21°C, variiert wird lediglich die Temperatur der heißen Platte. Bei diesem Verfahren beschreibt λ die Funktion des Temperaturgradienten. Getestet wurde ARPRO schwarz mit den Dichten 30g/l und 50g/l.



Prüfverfahren B: ISO 8301-8302. Ein Heizgerät mit Schutzheizring befindet sich zwischen zwei Formteilen, die mit einem Wärmestrommessgerät verbunden sind und an einer Kühlplatte anliegen. Der gesuchte Wert ergibt sich aus dem Wärmestrom, der mittleren Temperaturdifferenz zwischen den Oberflächen der Prüfkörper und den Abmessungen der Prüfkörper. Diese Ergebnisse erhält man mit verschiedenen Durchschnittstemperaturen (von 10°C bis 40°C), aber die Temperaturdifferenz zwischen der kalten und der heißen Platte beträgt konstant 16°C. Bei diesem Verfahren kennzeichnet λ die pro Flächeneinheit und Zeit übertragene Wärmeenergie bei einem Temperaturgradienten von 1°C/m. Getestet wurden ARPRO Schwarz mit Dichten von 20g/l bis 220g/l, ARPRO Weiß mit Dichten von 20g/l bis 80g/l und ARPRO Grau mit Dichten von 40g/l bis 60g/l.

Hinweis: Bestimmte Additive können die Wärmedämmung beeinflussen. Zum Beispiel kann ein Teil der Strahlung durch Rußpigment reflektiert werden, deshalb isoliert ARPRO Grau besser als ARPRO Weiß.

