

# Hier fördern die Europäische Union und der Freistaat Sachsen



## → Projektinformationen

**PROJEKT:** „Beschleunigte Alterungsprüfung PU-Schaum (BAPPUS)“  
Teilthema IPF: Beschleunigte Werkstoffprüfung  
Teilthema IMA: Beschleunigte Bauteilprüfung

**PROGRAMM:** –

**KURZNAME:** –

**LAUFZEIT:** 01.10.2020 bis 31.10.2022

**KOOPERATIONS-  
PARTNER:** Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.

### PROJEKTIINHALT:

Das Projekt „Beschleunigte Alterungsprüfung PU-Schaum“ (BAPPUS) war ein Gemeinschaftsprojekt der Applus+ IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH und des Leibniz-Instituts für Polymerforschung. Ziel des Vorhabens war die Entwicklung einer beschleunigten Alterungs- und Prüfmethode zur Bestimmung der Lebensdauer von Kunststoffmantelrohren (KMR) für die Fernwärmeversorgung. Für eine wirtschaftliche und nachhaltige Nutzung der KMR ist es notwendig, die Nutzdauer zu kennen. Die Anforderungen an derartige KMR sind in der EN 253 geregelt. Ein zuverlässiges Verfahren, die Nutzdauer von KMR durch Kurzzeitprüfungen abbilden zu können, besteht derzeit nicht. Das Projekt BAPPUS hat einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung eines solchen Prüf- und Analyseverfahrens geleistet.

Die Alterung von Polyurethan (PUR) als maßgebliche Komponente wurde im Projekt durch Variation des Sauerstoffpartialdruckes und der Alterungstemperatur zur beschleunigten Degradation durchgeführt. Die Variation des Sauerstoffpartialdruckes kann dabei durch Veränderung der Gaszusammensetzung oder durch Erhöhung des Umgebungsdruckes erzeugt werden. Im Projektverlauf ergab sich zusätzlich eine Degradation infolge der Permeation von Wasserdampf in das KMR. Der Wasserdampfpartialdruck hat dabei einen erheblichen Einfluss auf die Lebensdauer des Polyurethans im KMR, siehe Abbildung 1.

# Hier fördern die Europäische Union und der Freistaat Sachsen



## → Projektinformationen

Temperature °C	Conditions	Ref V400/20	120 °C	130 °C	140 °C	150 °C	160 °C	170 °C	180 °C	190 °C
Activation energy Ea (kJ/mol)	Air (3bar)	99.2				96.0	95.3	89.0	81.2	52.8
	50 % air 50 % O <sub>2</sub> (1 bar)	99.2					94.2			
	33 % air 67 % O <sub>2</sub> (2 bar)	99.2			97.4	88.4	83.9	78.4		
	Only Oxygen (2 bar)	99.2					80.9	76.2	68.4	59
	Humid Environment (1.2 bar air)	99.2	90.4	86.4	82.3	72.3	65.4	58.4		

Abbildung 1: Übersicht über Alterungsversuche bei unterschiedlicher Temperatur und unterschiedlicher Gasatmosphäre

Im Projekt BAPPUS wurde weiterhin die Analysenmethode Thermogravimetrie (TGA) in der Variante einer modifizierten Chang-Methode zur Charakterisierung des Degradationszustandes verbessert. Im Ergebnis konnte die TGA in allen drei Degradationsbeiträgen (thermisch, oxidativ, hydrolytisch) genutzt werden, um Aussagen über den Alterungszustand zu gewinnen. Die TGA-Methode erlaubt bisher nicht die jeweiligen Beiträge aus thermischer, oxidativer oder hydrolytischer Alterung zu unterscheiden.

Zur Entwicklung einer Bauteilprüfmethode wurden parallel Untersuchungen an Kunststoffmantelrohrproben durchgeführt. Nach Bestimmung einer sinnvollen Prüflänge sind KMR unterschiedlicher Art vollständig im Ausgangszustand charakterisiert worden. Dabei wurden die PUR-Schaumstoffeigenschaften, die Wärmeleitfähigkeit und die axiale Scherfestigkeit nach den Anforderungen der EN 253 bestimmt.

Anschließend wurden Proben in Autoklaven ausgelagert und ebenfalls unter Variation des Sauerstoffdruckes und der Temperatur bis zu einer Dauer von 1000 h gealtert. Aufgrund des Verbundbaus Stahlmediumrohr – Polyurethan – Polyethylenmantel sind insbesondere der Temperatur nach oben enge Grenzen gesetzt. Es konnten Temperaturen bis zu 110 °C sicher realisiert werden.

# Hier fördern die Europäische Union und der Freistaat Sachsen



## → Projektinformationen

Die erwartete Beschleunigung der Alterung ergab sich durch erhöhte Temperatur und erhöhten Druck. Die Charakterisierung mittels der üblichen Methoden (Scherfestigkeit, Geschlossenheit, Druckfestigkeit, Dichte, etc...) zeigt im Versuchsraum zwar eine Degradation an, aber die normativen definierten Grenzwerte der EN 253 werden noch nicht erreicht. Eine Abnahme der Festigkeit und der Elastizität, welche die Alterung charakterisieren ist zu erkennen und bestätigen die Abhängigkeit der Degradation von Druck und Temperatur. Durch Erhöhung des Sauerstoffanteils kann eine beschleunigte Alterung bei der Bestimmung der axialen Scherfestigkeit erreicht werden, siehe Abbildung 2.

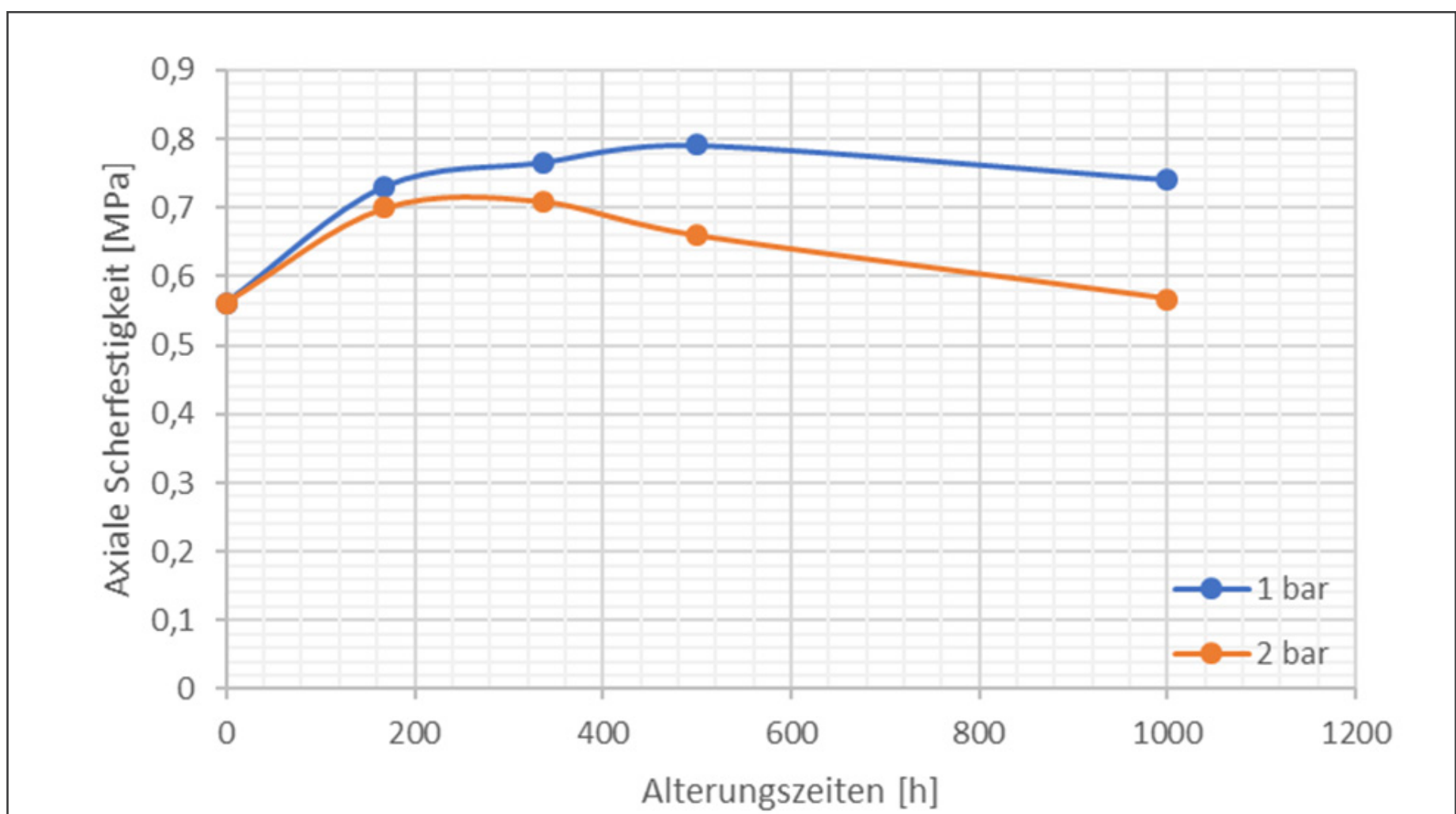


Abbildung 2: Vergleich der Axialen Scherfestigkeit nach Auslagerung im Autoklaven bei 110 °C

Die gealterten Rohrproben wurden ebenfalls entsprechend der gängigen Methoden für Kunststoffmantelrohre charakterisiert und ebenfalls mittels der modifizierten Chang-TGA analysiert. Aus der TGA-Auswertung lässt sich allein durch Bestimmung der scheinbaren Aktivierungsenergie ein dem mechanischen Verhalten früherer Alterungsversuche zur Separation von oxidativer und thermischer Degradation vergleichbares Abbauverhalten zeigen. Damit ist eine Korrelation der mechanisch ermittelten Schubfestigkeiten und der durch TGA bestimmten Alterungsparameter erfolgreich.



# Hier fördern die Europäische Union und der Freistaat Sachsen



## → Projektinformationen

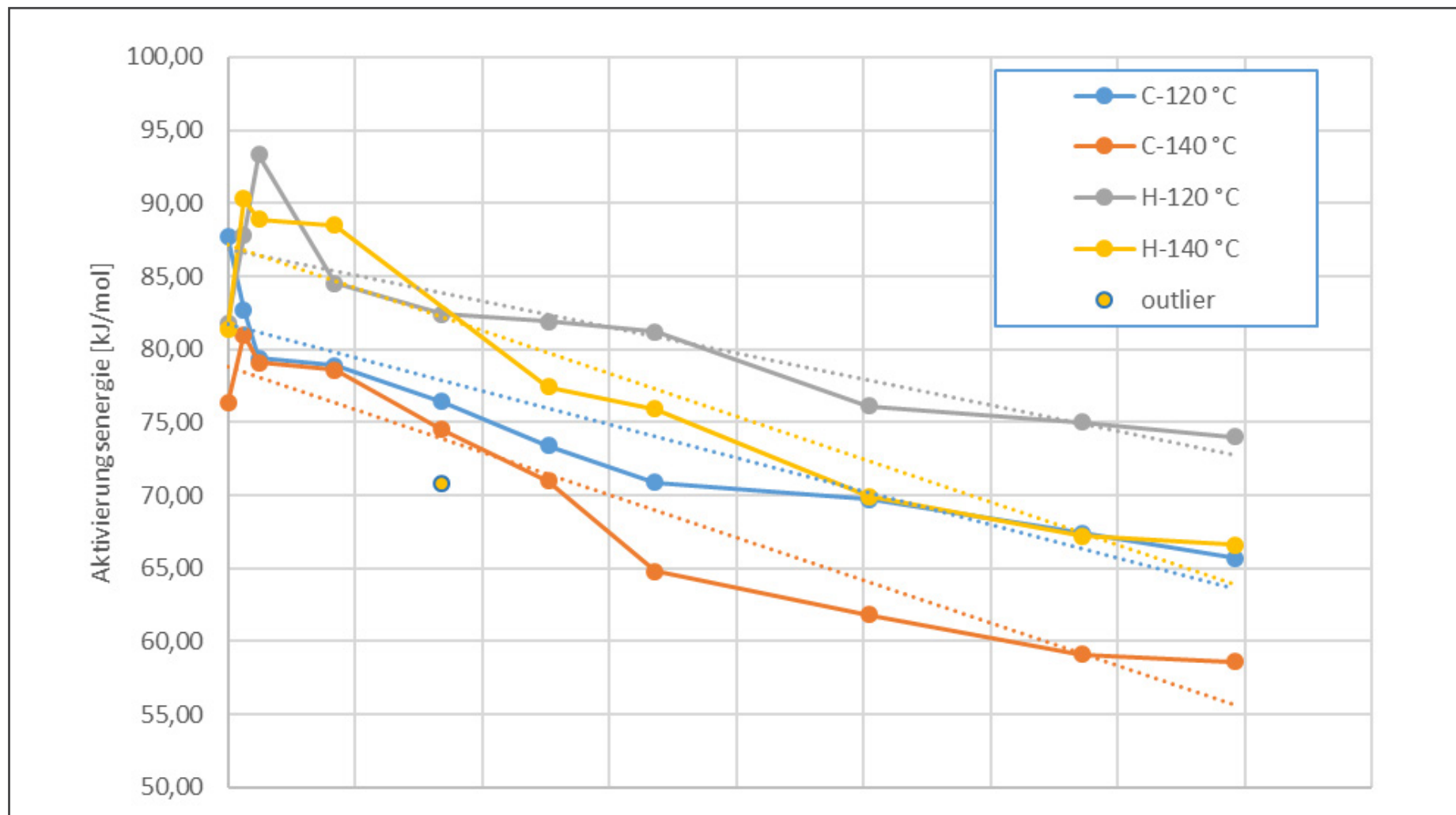


Abbildung 3: Aktivierungsenergie nach Chang über der Auslagerungsdauer bei 120 °C bzw. 140 °C

### Zusammenfassung

Die der mechanischen Prüfung unterzogenen Rohrproben weisen typischerweise über lange Versuchsdauern ein Plateau-Verhalten auf, sodass keine eindeutige Aussage zum Alterungszustand allein aus der Scherfestigkeitsmessung möglich ist. Die im Autoklaven durchgeführten Alterungen zeigen ein prinzipiell gleiches Verhalten. Die nutzbaren Alterungsdauern bis zu 1000 h reichten unter keinen Umständen aus, um KMR bis zum Versagen zu altern. Die normativen Mindestanforderungen werden bei den vorliegenden Alterungszeiten noch nicht erreicht.

Die Bestimmung des Alterungszustandes mit Hilfe der Thermogravimetrie hat sich bei der Durchführung von Kurzeitexperimenten als nutzbar erwiesen. Dadurch konnten im Projektzeitraum beschleunigte Alterungsversuche im Autoklaven mit unterschiedlichem Druckbeaufschlagung, Temperatur und Gasatmosphäre effizient realisiert werden. Bereits durch Druckerhöhung mit Luft kann durch den erhöhten Partialdruck des Sauerstoffs die Alterung von PUR beschleunigt werden. Die Variation der Sauerstoffkonzentration trägt bis zu einem Anteil von ca. 70 % Sauerstoff signifikant zu einer Beschleunigung bei. Höhere

# Hier fördern die Europäische Union und der Freistaat Sachsen



## → Projektinformationen

Sauerstoffanteile in der Testatmosphäre bewirken nur noch eine geringfügige Änderung der scheinbaren Aktivierungsenergie nach Alterung. Feuchte trägt sehr wesentlich und bei deutlich geringeren Temperaturen zu einer Degradation von Polyurethanschaum mit bei. Es kann eine Abhängigkeit der Degradation vom Druck, der Atmosphäre und der Temperatur belegt werden.

Die Ergebnisse aus den Forschungsvorhaben können schon heute für die Zustandsbewertung bzw. für die Restlebensdauerabschätzung von praxisgealterten Rohren angewendet werden. Die Forschungsergebnisse sollen in einem Folgeprojekt unter dem Schirm der IEA DHC TS6 und in enger Abstimmung mit dem CEN TC 107 WG 3 „PU-Schäume“ in die Normung und somit in den Stand der Technik erhoben werden. Neben den Prüfungen zur Bestimmung der Lebensdauer von neuen PUR-Schäumen, zur Qualitätssicherung von Verbundsystemen, ist künftig mit Prüfungen zur Restlebensdauerbestimmung infolge des Alters der aktuell verlegten Infrastruktur zu rechnen. Eine verlängerte Nutzungsdauer, aufgrund verbesserter Prüfmethoden, leistet dabei einen direkten Beitrag zur Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung in der Fernwärme.

## → Projektträger

Sächsische Aufbaubank



Europäische Union

Europa fördert Sachsen.



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf Grundlage des von den Abgeordneten des Sächsischen Landtags beschlossenen Haushaltes.