

AUS FORSCHUNG UND TECHNIK

2006
NR. 2

Zeitstand-Druckverhalten
von
Polyurethan-Hartschaum



Autor: Dipl.-Ing. Joachim Kleser

Herausgeber: IVPU – Industrieverband
Polyurethan-Hartschaum e.V.

Die Forschungsarbeiten wurden bei der
BASF AG, Ludwigshafen, unter der Leitung
von Dr. Krollmann durchgeführt und von
BING und ISOPA finanziert.

© 2002 by IVPU
2. überarbeitete Auflage, September 2006

*Zeitstand-Druckverhalten
von Polyurethan-Hartschaum*

1. Einleitung	4
2. Kurzzeitige Druckfestigkeit und zulässige Dauer-Druckspannungen von PUR/PIR-Hartschaum	4
3. Zeitstand-Druckversuche an PUR/PIR-Hartschaum zur Ermittlung des Kriechverhaltens	6
3.1 Prüfdauer	6
3.2 Prüfkörper	6
4. Ergebnisse der Zeitstand-Druckversuche an PUR/PIR-Hartschaum (Kriechverhalten) nach zwei- bzw. fünfjähriger Prüfdauer und einer rechnerischen Extrapolation auf 20 bzw. 50 Jahre Dauerbelastung	7
5. Zusammenfassung	9
6. Literatur	10

1. Einleitung

Baukonstruktionen können sowohl kurzzeitigen als auch lang andauernden statischen Beanspruchungen ausgesetzt sein. Die auftretenden Lasten müssen ohne Beeinträchtigung der Gesamtkonstruktion sicher weitergeleitet werden. Andererseits müssen auch die druckbeanspruchten Bauteile die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz erfüllen. Dabei wird von der Wärmedämmung gefordert, dass sie zum einen den wärmetechnischen Anforderungen entspricht, zum anderen auch mit hinreichender Sicherheit den auftretenden statischen Belastungen standhält.

Die hohe Druckfestigkeit bei gleichzeitiger Elastizität, neben dem hervorragenden Wärmedämmvermögen eine wichtige und charakteristische Eigenschaft von Polyurethan-Hartschaum, ist durch die besondere Zellstruktur von PUR/PIR-Hartschaum bedingt (vgl. Bild 1).

Polyurethan-Hartschaum ist die Bezeichnung für eine Dämmstoff-Familie, die neben PUR – auch PIR-Hartschaum mit einschließt.

Bei der Herstellung von Polyurethan-Hartschaum werden neben den beiden Hauptkomponenten Polyol und Isocyanat weitere Zusätze und Additive verwendet. Mit diesen speziellen technischen und physikalischen Eigenschaften des PUR/PIR-Hartschaums können die in der jeweiligen Anwendung gestellten Anforderungen erfüllt werden.

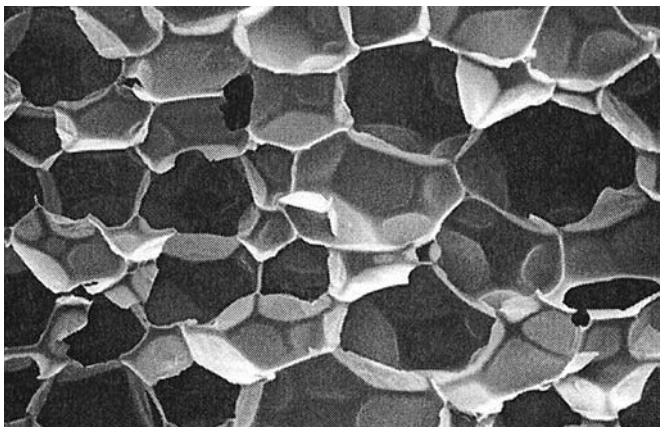


Bild 1: Zellgerüst von Polyurethan-Hartschaum

Kurzzeitige Druckfestigkeit und zulässige Dauer-Druckspannungen von PUR/PIR-Hartschaum

2.

In vielen Anwendungen ist gerade die Druckbeanspruchung das entscheidende Kriterium für die Wahl des geeigneten Dämmstoffs. Polyurethan-Hartschaum ist ein nach DIN EN 13165 [1] hergestellter Wärmedämmstoff. Die Rohdichte beträgt mindestens 30 kg/m^3 . PUR/PIR-Dämmstoffe werden gemäß DIN V 4108-10 [2] in verschiedene Anwendungsgebiete mit differenzierten Dämmstoffeigenschaften eingestuft (vgl. Tabelle 1 auf Seite 5). Die Mindest-Druckfestigkeit bzw. die Druckspannung bei 10% Stauchung σ_m wird nach DIN EN 826 [3] gemessen. Diese Werte sind Laborwerte und dienen zur Einstufung eines Dämmstoffs und zum Vergleich verschiedener Dämmstoffe untereinander. Für die sichere statische Bemessung sind diese Werte nicht anwendbar. Für den Anwendungstyp mit der Zusatzbezeichnung »dh« liegen die Mindest-Druckfestigkeitswerte bei 100 kPa und für »ds« bei 150 kPa (vgl. Tabelle 2).

Bei bestimmten Anwendungen – meist im Bodenbereich – wird PUR/PIR-Hartschaum z.B. durch Einrichtungen oder Lagergut dauerhaft statischen Druckbelastungen ausgesetzt. Dabei ist das Kriechverhalten des Dämmstoffes, also die Stauchung unter dauerhaften Belastungen, für die Berechnung maßgebend. Zur sicheren Dimensionierung solcher Konstruktionen soll die zulässige Dauer-Druckbeanspruchung für PUR/PIR-Hartschaum bei einer Belastungsdauer von 20 Jahren 2 % nicht wesentlich überschreiten. Für andere Dämmstoffe werden häufig kürzere Belastungszeiträume und / oder höhere Stauchungen angegeben. Die Werte der Dauer-Druckfestigkeit für PUR/PIR-Hartschaum werden in Praxisversuchen ermittelt und mit Hilfe von Rechenverfahren wie beispielsweise den Extrapolationsverfahren nach Findley [4] bestimmt. Im Allgemeinen ist eine Extrapolation der Messwerte um bis zu 1,5 Zeitdekaden als Nachweis für die Eignung während der Lebensdauer eines Gebäudes üblich. Dies ist in Bild 2 dargestellt.

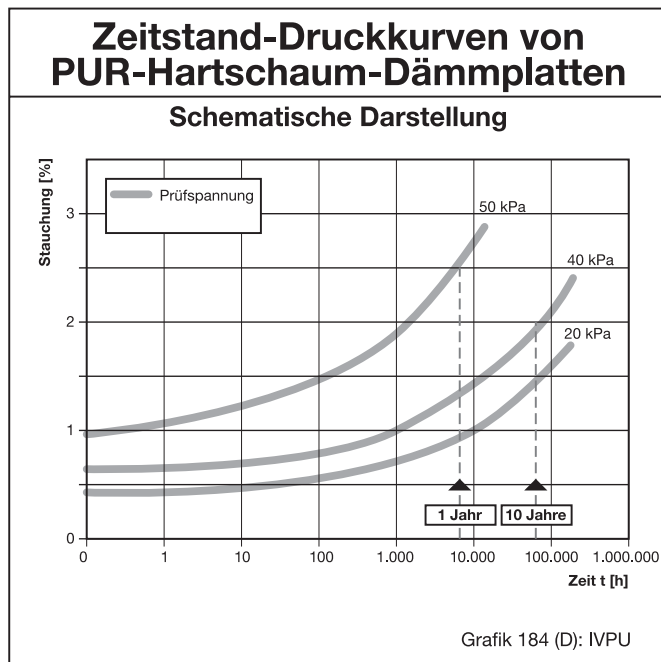


Bild 2: Zeitstand-Druckkurven von Polyurethan-Hartschaum-Dämmplatten: Schematische Darstellung

Die zulässigen Dauer-Druckspannungen von PUR/PIR-Hartschaum werden bisher mit 20 % der Werte der kurzzeitigen Druckfestigkeit bzw. der Druckspannung bei 10 % Stauchung angenommen. Sie betragen für PUR/PIR-Hartschaum vom Typ »dh« 20 kPa und beim Anwendungstyp »ds« 30 kPa bei einer Stauchung von ca. 2 % über eine Belastungsdauer von 20 Jahren.

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die kurzzeitige Druckfestigkeit bzw. die Druckspannung bei 10 % Stauchung und die zulässigen Dauer-Druckspannungen von PUR/PIR-Hartschaum.

PUR/PIR-Anwendungstyp/Kurzzeichen	Anwendungsgebiet
DAD	Dämmung auf den Sparren
DAA dh, ds	Flachdachdämmung
DEO dh,ds	Fußbodendämmung, Dämmung der obersten begehbaren Geschossdecke
PB	Dämmung unter Bodenplatte gegen Erdreich
PW	Perimeterdämmung

Tabelle 1: Anwendungsgebiete mit Druckbelastung von PUR/PIR-Hartschaum nach DIN V 4108-10 (Auszug)

Differenzierung der Dämmstoffeigenschaft »Druckbelastbarkeit« von PUR/PIR-Hartschaum	Druckfestigkeit bzw. Druckspannung bei 10% Stauchung in kPa	zulässige Dauer-Druckspannung ¹⁾ nach 20 Jahren und Stauchung ≤ 2 % in kPa
dh	100	20
ds	150	30

Tabelle 2: Druckfestigkeit und Druckspannungen von PUR/PIR-Hartschaum

¹⁾ Empfehlungen des IVPU

3. Zeitstand-Druckversuche an PUR/PIR-Hartschaum zur Ermittlung des Kriechverhaltens

Um die Aussagen über das Kriechverhalten von Polyurethan-Hartschaum wissenschaftlich abzusichern, wurden an verschiedenen Prüfkörpern aus Polyurethan-Hartschaum Zeitstand-Druckversuche nach DIN EN 1606 [4] bei der BASF durchgeführt [6],[7]. Diese Versuche wurden vom Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München (FIW) begleitet und kontrolliert.

Dabei wurden nach DIN EN 826 folgende Parameter gemessen:

- die Druckfestigkeit bzw. die Druckspannung bei 10% Stauchung σ_m
- die Stauchung ϵ_m
- die E-Moduli

3.1 Prüfdauer

Die Dauer der Tests betrug zwei Jahre. Anschließend wurde die Dauer der Testserie mit verringerter Anzahl der Prüfkörper verlängert. Die Versuche wurden nach fast fünf Jahren beendet.

Prüfkörper

3.2

Die Prüfungen sollten das bauübliche Spektrum der unterschiedlichen Polyurethan-Hartschäume abdecken. Daher wurden zwei verschiedene Prüfkörper aus Polyurethan-Hartschaumtypen geprüft.

Es handelte sich dabei um Polyurethan-Blockschaum mit einer Rohdichte von 80 kg/m³ der Wärmeleitfähigkeitsstufe 030 wie er häufig zur Wärmedämmung von hoch druckbelasteten Hallenböden oder von Kühlfahrzeugen eingesetzt wird (vgl. Prüfkörper PUR 30 WDS 030).

Die Druckfestigkeit bzw. die Druckspannung bei 10 % Stauchung σ_m wurde mit 850 kPa gemessen. Die Dauer-Prüflast betrug 200 kPa.

Weiterhin wurde ein Aluminium-kaschierter Polyurethan-Bandschaum mit einer Rohdichte von 33 kg/m³ und der Wärmeleitfähigkeitsstufe 025 getestet. Die Einsatzgebiete dieses PUR/PIR-Hartschaums sind Bauanwendungen wie z. B. die druckbelastete Fußbodendämmungen (vgl. Prüfkörper PUR WDSM 025).

Dabei lag die Druckfestigkeit bzw. Druckspannung bei 10% Stauchung σ_m bei 285 kPa. Die Dauer-Prüflast wurde hierbei auf 40 kPa festgelegt.

Tabelle 3 enthält eine Übersicht der verwendeten Prüfkörper aus Polyurethan-Hartschaum.

Prüf-Nr.	Prüfkörperbezeichnung	Wärmeleitfähigkeitsstufe	Rohdichte [kg/m ³]	Dicke [mm]	Druckfestigkeit σ_m [kPa]	Prüflast [kPa]
96409	PUR 30 WDS 030	030	80,3	50	850	200
96410	PUR WDSM 025	025	33,2	40	285	40

Tabelle 3: Übersicht der verwendeten Prüfkörper aus Polyurethan-Hartschaum

4. Ergebnisse der Zeitstand-Druckversuche (Kriechverhalten) an PUR/PIR-Hartschaum nach zwei- bzw. fünfjähriger Prüfdauer und einer rechnerischen Extrapolation auf 20 bzw. 50 Jahre Dauerbelastung

Die Prüfergebnisse der Zeitstand-Druckversuche an Polyurethan-Hartschaum nach zwei- bzw. fünfjähriger Prüfdauer sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Ebenso sind die nach dem Findley-Verfahren errechneten Werte der Dauer-Druckspannung nach 20 bzw. 50 Jahren angegeben.

Der Elastizitätsmodul beschreibt das elastische Verhalten eines Werkstoffes. Er entspricht der Steigung des Kraft-Verformungsdiagramms im Proportionalitätsbereich. Er wird als Quotient aus Spannung und zugehöriger Stauchung ermittelt.

Bei einer zweijährigen Dauerbelastung mit 200 kPa lag die gemessene Stauchung bei 1,9 % und nach fünf Jahren bei 2,2 %. Der errechnete Wert der 20-jährigen Dauer-Druckspannung lag bei 2,6 %, der nach 50 Jahren lag bei 3,0 %. Der E-Modul betrug 31000 kPa.

Unter der zweijährigen Dauerlast von 40 kPa wurden Stauchungen von 1,4 %, unter fünfjähriger Dauerlast von 1,5 % gemessen. Der E-Modul betrug 8270 kPa. Der errechnete Wert der 20-jährigen Dauer-Druckspannung lag bei 1,7 %, der der 50-jährigen Dauer-Druckspannung lag bei 1,9 %.

Prüfung	Einheit	Prüf-Nr.: 96409 Prüfkörper: PUR 30 WDS 030	Prüf-Nr.: 96410 Prüfkörper: PUR WDSM 025
Druckfestigkeit σ_m	kPa	850	285
E-Modul	kPa	31000	8270
Dauer-Prüflast	kPa	200	40
Stauchung ϵ_m	%		
2- jährige Messwerte		1,9	1,4
5- jährige Messwerte		2,2	1,5
20-jährige Rechenwerte		2,6	1,7
50-jährige Rechenwerte		3,0	1,9

Tabelle 4: Zusammenstellung der Ergebnisse der Zeitstand-Druckversuche (Kriechverhalten) an Prüfkörper aus Polyurethan-Hartschaum nach zwei- bzw. fünfjähriger Prüfdauer und einer rechnerischen Extrapolation auf 20 bzw. 50 Jahre Dauerbelastung

Auf den Bildern 3 und 4 sind die Kriechkurven zu den genannten Prüfkörpern nach zwei- und fünfjähriger Prüfdauer und der rechnerischen Extrapolation nach Findley auf einen Zeitraum von 20 und 50 Jahren dargestellt.

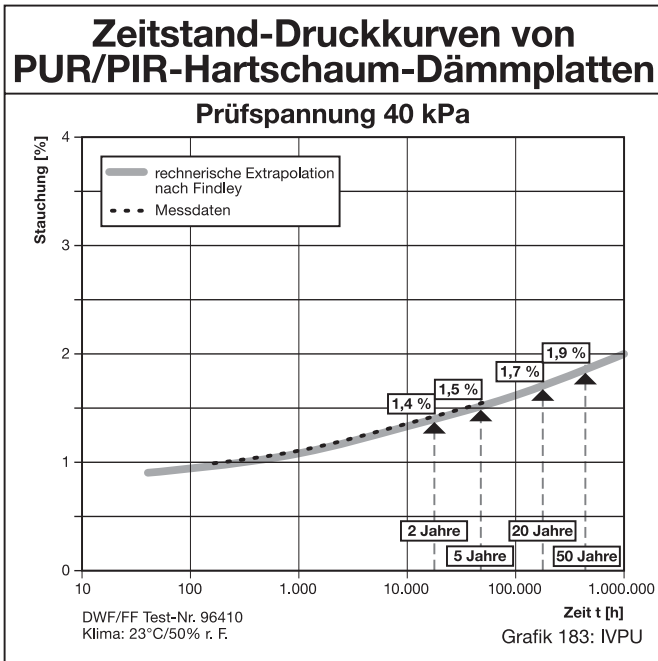


Bild 3: Kriechkurve des Prüfkörpers aus Polyurethan-Hartschaum. Prüf-Nr. 96410 – Dauerlast 40 kPa
Messwerte nach 2- und 5-jähriger Belastungsdauer und rechnerische Extrapolation auf 20 und 50 Jahre

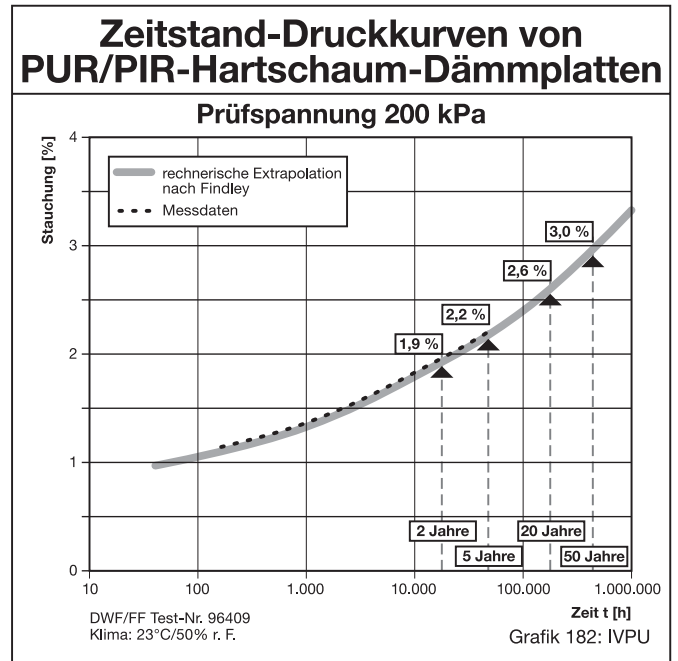


Bild 4: Kriechkurve des Prüfkörpers aus Polyurethan-Hartschaum. Prüf-Nr. 96409 – Dauerlast 200 kPa
Messwerte nach 2- und 5-jähriger Belastungsdauer und rechnerische Extrapolation auf 20 und 50 Jahre

5. Zusammenfassung

Baukonstruktionen sind sowohl kurzzeitigen als auch lang andauernden statischen Beanspruchungen ausgesetzt. Die auftretenden Lasten müssen ohne Beeinträchtigung der Gesamtkonstruktion sicher weitergeleitet werden.

Polyurethan-Hartschaum hat sich durch seine hohe Druckfestigkeit bei gleichzeitiger Elastizität als Wärmedämmstoff in diesen druckbelasteten Anwendungen über viele Jahrzehnte hinweg hervorragend bewährt.

Um bisherige Aussagen über das Kriechverhalten von PUR/PIR-Hartschaum wissenschaftlich zu bestätigen, wurden an verschiedenen Prüfkörpern aus Polyurethan-Hartschaum Zeitstands-Druckversuche über eine Dauer von zwei bis zu fünf Jahren durchgeführt.

Mit Hilfe des Extrapolationsverfahren nach Findley wurden dann die Werte der zulässigen Dauer-Druckbeanspruchung über einen Zeitraum von 20 bzw. 50 Jahren errechnet.

Die Prüflasten für Polyurethan-Hartschaum lagen bei 40 und 200 kPa. Dies entspricht ca. 20 % der Werte der Kurzzeit-Druckfestigkeit bzw. der Druckspannung bei 10 % Stauchung (220 bzw. 850 kPa).

Bei einer zweijährigen Dauerbelastung mit 200 kPa lag die gemessene Stauchung bei 1,9 %. Der errechnete Wert der 20-jährigen Dauer-Druckspannung lag bei 2,6 %. Der E-Modul betrug 31000 kPa.

Bei der gleichen Dauerbelastung lag die nach fünf Jahren gemessene Stauchung bei 2,2 %. Der berechnete Wert der 50-jährigen Dauer-Druckspannung lag bei 3,0 %.

Unter der zweijährigen Dauerlast von 40 kPa wurden Stauchungen von 1,4 % und der E-Modul von 8270 kPa gemessen. Der errechnete Wert der 20-jährigen Dauer-Druckspannung lag bei 1,7 %.

Unter fünfjähriger Dauerlast wurde die Stauchung von 1,5 % gemessen. Der berechnete Wert der 50-jährigen Dauer-Druckspannung lag bei 1,9 %.

Die Stauchungen des PUR/PIR-Hartschaums unter Dauerbelastung sind sehr gering. Nach 20 Jahren liegen diese in der Größenordnung von 2 %. Auch nach 50-jähriger Belastung liegt die Verformung nur unwesentlich höher.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die in der technischen Literatur über Polyurethan-Hartschaum angegebenen Dauer-Druckspannungs-Werte mit 20 kPa für die gemäß DIN V 4108-10 festgeschriebene Dämmstoffeigenschaft Druckbelastbarkeit »dh« und mit 30 kPa für »ds« dem Planer die notwendige Sicherheit bei statischen Bemessungen gibt.

6. Literatur

- [1] DIN EN 13165 Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus Polyurethan-Hartschaum (PUR) – Spezifikation.
- [2] DIN V 4108-10 Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe Teil 10: Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe.
- [3] DIN EN 826 Wärmedämmstoffe für das Bauwesen – Bestimmung des Verhaltens bei Druckbeanspruchung.
- [4] Findley, W.N.: Creep Characteristics of Plastics. Symposium on Plastics American Society of Testing Materials.
- [5] DIN EN 1606 Wärmedämmstoffe für das Bauwesen – Bestimmung des Langzeit Kriechverhaltens bei Druckbeanspruchung.
- [6] Determination of Compressive Creep behaviour of PUR Rigid Foam Products. 3rd Report 296.4303.0001, Sept. 1998, BASF AG Ludwigshafen
- [7] Determination of Compressive Creep behaviour of PUR Rigid Foam Products. Final Report 298.4386 Feb 2002, BASF AG, Ludwigshafen

