

**Langzeit-Kriechverhalten
von XPS Dämmstoffen unter
Druckbeanspruchung nach
DIN EN 1606 - Rundversuch**

T 3303

T 3303

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2014

ISBN 978-3-8167-9163-8

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

ABSCHLUSSBERICHT

zum DIBt Forschungsvorhaben:
ZP 52-5-5.85.2-1321/09

LANGZEIT-KRIECHVERHALTEN VON XPS DÄMMSTOFFEN UNTER DRUCKBEANSPRUCHUNG NACH DIN EN 1606 - RUNDVERSUCH

Antragsteller: **Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München**
Lochamer Schlag 4
82166 Gräfelfing
Deutschland

Projektleiter: Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Albrecht
Dipl.-Ing. (FH) Stefan Kutschera

Bericht: FO-5-09

Ausstelldatum: 21. November 2013

Seiten: 15

Anlagen: Anlage 1: 4 Messprotokolle der Vorversuche
Anlage 2: 7 Einzelmessprotokolle und Auswertungen
Anlage 3: Vergleich der Findley-Auswertung

LITERATURAUSWERTUNG

Zum Thema Langzeitkriechverhalten von Wärmedämmstoffen wurde sowohl in Deutschland, wie auch im Ausland relativ wenig Literatur veröffentlicht.

Die grundlegende Arbeit zum Kriechverhalten wurde 1944 von Findley [1] veröffentlicht. Auf dieser Arbeit basiert die Prüfnorm DIN EN 1606:2013-05 [2] und die Extrapolation der Messwerte um den Faktor 30.

Einige Messwerte zum Kriechverhalten von EPS-, XPS- und PUR-Hartschaumdämmstoffen veröffentlichte N. Krollmann 1989 [3]. Zusätzliche Messwerte zum Kriechverhalten von Schaumglas und XPS wurden im Schlussbericht des Bau-Forschungsprojekts „Erdberührte Wärmedämmung“ der Universität Karlsruhe [4] 1992 veröffentlicht.

Versuchsergebnisse an XPS-Dämmstoffen, auch nach dynamischer Belastung beschreibt N. Krollmann [5], der auch maßgeblich am Entstehen der Prüfnorm beteiligt war.

Es existiert praktisch keine Literatur zu den Einflussfaktoren, Streuungen und Veränderungen im XPS-Dämmstoff, sowie zur Auswertung, Messunsicherheit und Interpretation von Messwerten zum Langzeitkriechverhalten. An dem Stand hat sich während der Laufzeit des Forschungsvorhabens nichts geändert.

ARBEITSABLAUF

Um diesem Mangel abzuhelpfen und dem DIBt und den Sachverständigenausschüssen gesicherte Grundlagen und Beurteilungskriterien zur Verfügung zu stellen, wurden folgende Versuchsreihen durchgeführt:

- Vorversuche über die Einflussfaktoren auf das Langzeitkriechverhalten von XPS-Dämmstoffen
- Rundversuch Langzeit Kriechverhalten von XPS Dämmstoffen unter Druckbeanspruchung nach DIN EN 1606

1. VORVERSUCHE ÜBER DIE EINFLUSSFAKTOREN AUF DAS LANGZEITKRIECHVERHALTEN VON XPS-DÄMMSTOFFEN

Im Jahr 2007 wurden im ersten Teil des Forschungsvorhabens die wesentlichen Einflussfaktoren für die Auswahl der Probekörper und die Probenvorbereitung von EPS-Proben bestimmt.

Deutlich komplexer stellt sich das Bild bei extrudierten Polystyrol-Hartschaum-Dämmstoffen (XPS) dar.

Durch den Herstellprozess, bei dem eine viskoelastische Polystyrolschmelze unter Treibmittelzugabe durch die Schlitzdüse des Extruders unter hohem Druck und hoher Temperatur gedrückt wird, entsteht eine geschlossenzellige XPS-Hartschaumplatte mit Treibmittel gefüllten Zellen und allseitiger Schäumhaut.

Die frisch produzierten XPS-Hartschaumplatten weisen durch die nicht überall an der Schlitzdüse des Extruders perfekten Strömungsverhältnisse, Druck- und Temperaturbedingungen unterschiedliche Zellgrößen und Formen über die Dicke und die Breite auf.

Diese unterschiedlichen Zellformen und das Abkühlverhalten, besonders dicker Platten, ergeben eine charakteristische Welligkeit (Unebenheit) der XPS-Platten. Zudem ergeben sich durch das verwendete Treibmittel Gasaustauschvorgänge mit der Umgebungsluft, unterschiedliche Partialdrücke und Gesamtdrücke, die sich in Abhängigkeit vom Ort in der Platte und der Zeit stark ändern können.

Alle genannten Parameter sorgen dafür, dass die Druckfestigkeit, und in verringertem Maße die Dicke und die Rohdichte von XPS-Hartschaumplatten von der Entnahmestelle in der Platte und von der Zeit abhängen. Um eine weitgehend stabilisierte und damit vergleichbare Dämmplatte zu prüfen schreibt die DIN EN 13164 für die Prüfung der Druckfestigkeit und des Langzeitkriechverhaltens eine Ablagerungszeit von mindestens 45 Tagen nach Produktion vor.

Erste Versuche zeigten, dass bei den heute üblichen Dämmschichtdicken 45 Tage nach Produktion der Gasaustausch noch nicht abgeschlossen ist. Außerdem gehen die Hersteller vermehrt dazu über, neben dem bisher weitgehend üblichen Treibmittel CO₂, zusätzliche „Stützgase“ und „Produktionshilfsmittel wie Ethanol“ einzusetzen. Diese Stützgase wie Iso-Butan, Dimethyläther (DME) usw. besitzen deutlich niedrigere Diffusionskoeffizienten wie CO₂, Sauerstoff und Stickstoff, sodass sich der Gasaustausch und das Erreichen eines quasi Endzustandes deutlich verlängert.

Weiterhin hängt das Langzeitkriechverhalten sehr stark vom Zellbild, also der Zellgröße und Form über die Dicke und von der Schäumhaut ab.

Da sich die Anzahl der Einflussfaktoren und die Zeitabhängigkeit einzelner Einflussfaktoren deutlich komplexer als zunächst angenommen herausgestellt hat, mussten deutlich mehr Vorversuche durchgeführt werden. Als Leitwert mit direkter Korrelation zum Kriechverhalten wurde die Druckfestigkeit ausgewählt.

In den Vorversuchen sollten die Einflussfaktoren

- der Dicke auf das Verhalten bei Druckbeanspruchung,
- der Rohdichte auf das Verhalten bei Druckbeanspruchung,
- des Verhaltens bei Druckbeanspruchung über die Breite,
- der Ebenheit/Schäumhaut (auf Verhalten bei Druckbeanspruchung und auf das E-Modul),
- der Änderung des Verhaltens bei Druckbeanspruchung über die Zeit

untersucht werden.

Die Vorversuche wurden im Bericht FO-5-09 Zwischenbericht XPS Langzeitkriechverhalten ausführlich beschrieben. Im Folgenden werden die daraus resultierenden Folgerungen noch einmal dargestellt.

FOLGERUNGEN AUS DEN VORVERSUCHEN

Aus der bisherigen Übersicht der dargestellten Ergebnisse lassen sich einige Folgerungen für XPS ziehen:

- Festhalten des Produktionsdatums
- Zuschneiden der Probekörper auf die in der Norm DIN EN 1606 genannten Maße je nach Nenndicke 50 mm x 50 mm², 100 mm x 100 mm² oder Würfel mit der Dicke als Kantenlänge. Anschließend Lagerung bei Laborklima über 45 Tage wie in DIN EN 13164 gefordert.
Der Gasaustausch ist für Dicken > 40 mm nicht abgeschlossen!
- Prüfung der Druckfestigkeit nach DIN EN 826 über ein Breitenprofil.
- Auswahl der Probekörper mit mittlerer Druckfestigkeit über die Breite.
- Entnahme der Probekörper für die Kriechversuche in der Linie unter den ausgewählten Probekörpern mit mittlerer Druckfestigkeit in der gleichen Platte. Nur in dieser Linie kann von annähernd gleichen Produktionsverhältnissen ausgegangen werden.
- Abfräsen der „welligen Schäumhaut“ in möglichst geringer Dicke, je nach Welligkeit max. 1 mm – 3 mm.
- Bei Dicken > 50 mm sollte die Druckfestigkeitsmessung im Breitenprofil gegen Ende des Kriechversuchs wiederholt werden, um die Ergebnisse des Kriechversuchs besser einordnen zu können.

DAVON ABGELEITETES VORGEHEN BEIM FORSCHUNGSVORHABEN

Da sich im Laufe des Forschungsvorhabens herausgestellt hat, dass die Einflussfaktoren sehr zahlreich sind und die Druckfestigkeit sich zeitlich stark ändern kann (besonders zu großen Dicken hin), wurden deutlich mehr Voruntersuchungen durchgeführt (siehe Zwischenbericht Nr. FO-5-09 vom 09. Dezember 2009)

Die Anzahl der Kriechversuche (Rundversuche) wurde von 2 Dicken auf 1 Dicke reduziert. Im Gegenzug wurden Druckversuche über die Zeit in verschiedenen Dicken durchgeführt.

Unter Beachtung des engen finanziellen Rahmens wurden nach den Vorversuchen folgende Prüfungen durchgeführt:

Nachweis des Einflusses der Alterung der Extruderschaumplatten auf das Kurzzeit-Druckverhalten an Proben eines Herstellwerkes in den Dicken 80 mm, 120 mm und 160 mm. Das Verhalten bei Druckbeanspruchung wurde nach Dicke zeitlich gestaffelt an drei Zeitpunkten (nach 45, 90 und 180 Tagen) gemessen und gegen die Zeit aufgezeichnet (Ergebnisse siehe FIW-Prüfbericht Nr. L1-10-130).

Anschließend fand ein Rundversuch zum Kriechverhalten über 10.000 Stunden statt. Es wurden sehr lange abgelagerten Platten (3,5 Jahre) mit der Dicke 100 mm ausgewählt. Die Oberflächen wurden vom FIW abgefräst. Es sollte möglichst lange abgelagertes Material untersucht werden, damit die zeitliche Änderung der Druckfestigkeit keine Rolle mehr spielt (siehe Abschnitt: Folgerungen).

2. RUNDVERSUCH LANGZEIT KRIECHVERHALTEN VON XPS DÄMMSTOFFEN UNTER DRUCKBEANSPRUCHUNG NACH DIN EN 1606

Auswahl der Probekörper für den Rundversuch

Der entscheidende Abschnitt für einen Rundversuch ist die Auswahl des geeigneten Materials und anschließend die Auswahl möglichst gleichmäßiger und vergleichbarer Probekörper. Deshalb wurde bei diesem Rundversuch mit sehr langen Prüfzeiten ein vergleichsweise hoher Aufwand für die Auswahl der Probekörper betrieben.

Nachdem sich die ausgewählten XPS-Platten als grundsätzlich geeignet erwiesen, musste für den Rundversuch ein Kollektiv von Probekörpern gefunden werden, das innerhalb enger Grenzen nahezu gleiche Eigenschaften aufweist. Aus den Vorversuchen war die Korrelation zwischen Druckspannung oder E-Modul mit der Rohdichte für die abgefrästen Probekörper bekannt.

Für die Auswahl der Probekörper wurden aus 4 Platten (Produktionsdatum 07.01.2008) ca. 100 Probekörper mit den Abmessungen 100 mm x 100 mm zugeschnitten, diese auf Oberseite und Unterseite bis auf eine Dicke von 98,4 mm abgefräst und bei Raumtemperatur über mehr als 5 Tage konditioniert.

An jedem einzelnen Probekörper wurden die Abmessungen (auf 0,01 mm genau) und die Rohdichte bestimmt.

Jeder Probekörper wurde mit einer eindeutigen Nummer versehen und mit einem Pfeil in Dickenrichtung gekennzeichnet.

Aus den ca. 100 Probekörpern wurden für die sieben teilnehmenden Labore, mit Hilfe der Rohdichte, 32 Probekörper ausgewählt, die die folgenden charakteristischen Daten aufweisen:

- Länge: $99,9 \pm 0,2$ mm; Breite: $99,9 \pm 0,2$ mm; Dicke: $98,4 \pm 0,1$ mm.
- Ebenheit $< 0,1$ mm
- Rohdichte $36,6 \pm 0,3$ kg/m³
- Druckspannung bei 10 % Stauchung 560 ± 7 kPa
- E-Modul: 28020 bis 28580 MPa

Für jedes teilnehmende Labor wurden 4 Probekörper (3 Probekörper für die Messung, 1 Probekörper als Reserve oder für zusätzliche Druckversuche) ausgewählt und diese mit einem Informationsbrief mit Angaben zur Prüfung, zur Belastung und Hinweisen zum Einbau versandt.

Als Prüflast wurde eine Druckspannung von 230 kPa ausgewählt (ca. 40 % der Kurzzeitdruckspannung), die eine deutlich messbare Verformung erwarten lässt.

DURCHFÜHRUNG DER VERSUCHE

An dem Rundversuch beteiligten sich folgende Labore in alphabetischer Reihenfolge:

Prüfinstitute:

- FIW München (federführend)
- IFBP Institut für Bauphysik der Universität Hannover
- MPA NRW Dortmund (Versuche abgebrochen)
- MPA Stuttgart

Industrielabore von XPS-Herstellern:

- AUSTROTHERM, Purbach, Österreich
- BASF, Ludwigshafen
- DOW, R & D Labor, Rheinmünster
- URSA Insulation, El Pla de Santa Maria, Spanien

Die Probekörper wurden Ende Juni 2011 versandt und je nach Prüfkapazität mit verschieden großer Zeitverzögerung eingebaut. Wegen der langen Ablagerungs- und Konditionierungszeit dürfte die unterschiedliche Einbauzeit nur von untergeordneter Bedeutung sein. Bei den ersten Rundversuchen mit EPS wurden von den Laboren unterschiedliche Messprotokolle benutzt, die vereinheitlicht werden mussten. Deshalb wurde vom FIW ein einheitliches Messprotokoll erarbeitet und verschickt.

3. ERGEBNISSE DER PRÜFUNGEN

Anfang 2013 lagen die Messprotokolle von 7 Laboren vor.

Die MPA NRW musste die Versuche wegen zu großer Einflussfaktoren durch Umbaumaßnahmen abbrechen.

Um die Auswertung mit vergleichbaren Werten durchführen zu können, wurden den übersandten Messdaten folgende Daten entnommen und in Tabellen zusammengestellt:

- Ausgangsverformung X_0 in mm, Einzelprobekörper und Mittelwert (Tabelle 1)
- Kriechverformung X_{ct} nach 10.000 h in mm, Einzelprobekörper und Mittelwert (Tabelle 2)
- Gesamtverformung X_t nach 10.000 h in mm (Tabelle 3)
- Extrapolation der Messwerte nach dem Findley-Verfahren in % über einen Zeitraum von 30 Jahren (Tabelle 3), Auswertungsbeginn 24 h-Wert
- Klima in den Versuchsräumen über die gesamte Prüfzeit (Tabelle 4)

Die Gesamtverformung der Probekörper ist die Summe der Ausgangsverformung X_0 und der Kriechverformung X_{ct} . Da die Ausgangsdicke bei 98 mm liegt, sind Verformungen in mm nahezu identisch mit denen in %.

Die Anzahl der Messpunkte war über das Messprotokoll gemäß DIN EN 1606 Bild 3 vorgegeben. Die Laboratorien hielten sich mehrheitlich exakt an diese Messzeitpunkte. Ein Labor hatte abweichende Messzeitpunkte, ein weiteres Labor abweichende Messzeitpunkte und 7 Messzeitpunkte weniger als vorgegeben

Der Auswertebeginn für die Findley-Extrapolation lag bei 24 Stunden.

Um die Anonymität der teilnehmenden Prüfinstitute und Industrielabore sicherzustellen, aber vor allem um eine möglich gezielte Zuordnung von niedrigen und höheren Messwerten unmöglich zu machen, wurden die teilnehmenden Labore nicht in alphabetischer sondern in zufälliger Reihenfolge durchnummeriert. Dem DIBt und dem FIW liegt ein Schlüssel vor.

Ausgangsverformung X_0					
Labor	Vorlast in kPa	Ausgangsverformung nach 1 min in mm			
		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Mittelw.
PL 1	k.A	0,68	0,66	0,68	0,67
PL 2	k.A	0,79	0,79	0,74	0,77
PL 3	2 kPa	0,73	0,75	0,76	0,75
PL 4	---	---	---	---	---
IL 1	2,7 kPa	0,82	0,84	0,80	0,82
IL 2	250 Pa	0,86	0,86	---	0,86
IL 3	5 kPa	0,77	0,57	0,57	0,64
IL 4	10 kPa	0,85	0,90	0,85	0,87
Mittelwert					0,77

Tabelle 1: Ausgangsverformung X_0 in mm nach 1 min. (an Dicke 98 mm) gemessen

Druck-Kriechverformung X_{ct} (ohne X_0)					
Labor	Dauer in h	Druck-Kriechverformung (nach letztem Messpunkt) in mm			
		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Mittelw.
PL 1	11.800	0,54	0,48	0,49	0,50
PL 2	10.000	0,50	0,56	0,52	0,53
PL 3	10.000	0,45	0,43	0,47	0,45
PL 4	---	---	---	---	---
IL 1	10.000	0,47	0,50	0,50	0,49
IL 2	11.000	0,55	0,54	---	0,55
IL 3	11.000	0,56	0,31	0,45	0,44
IL 4	10.000	0,50	0,53	0,49	0,51
Mittelwert					0,49

Tabelle 2: Kriechverformung X_{ct} nach 10.000 h in mm (an Dicke 98 mm) gemessen

Gesamtverformung X_t (mit X_0)						Stauchung ϵ_t		
Labor	Dauer in h	Gesamtverformung (nach letztem Messpunkt) in mm				Labor	Extrapoliert auf 34Jahre in %	
		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Mittelw.		Mittelwert	
PL 1	11.800	1,21	1,14	1,17	1,17	PL 1	1,8	
PL 2	10.000	1,29	1,34	1,26	1,30	PL 2	2,2	
PL 3	10.000	1,18	1,18	1,23	1,20	PL 3	1,8	
PL 4	---	---	---	---	---	PL 4	---	
IL 1	10.000	1,29	1,34	1,30	1,31	IL 1	2,0	
IL 2	11.000	1,41	1,40	---	1,41	IL 2	2,0	
IL 3	11.000	1,33	0,88	1,02	1,08	IL 3	1,9	
IL 4	10.000	1,35	1,43	1,34	1,37	IL 4	2,1	
Mittelwert						1,24	Mittelw.	2,0

Tabelle 3: Gesamtverformung X_t in mm nach 10.000 h und Stauchung in % auf 34 Jahre extrapoliert
(an Dicke 98 mm)

Klima	
Labor	Temp. / rel. Luftf. in °C / %
PL 1	23°C / -
PL 2	24 ± 1,5 °C / 54 ± 4 %
PL 3	23 ± 1 °C / 50 ± 5 %
PL 4	- / -
IL 1	23 ± 0,5 °C / 50 ± 2 %
IL 2	22,5 ± 1,5 °C / 55 ± 5 %
IL 3	25 ± 1 °C / 20 - 75 %
IL 4	12 - 22 °C / 30 - 70 %

Tabelle 4: Klima in den Versuchsräumen über die gesamte Prüfzeit von 10.000 h

4. AUSWERTUNG

Bei den angegebenen Bereichen von Messwerten handelt es sich jeweils um den Mittelwert und die maximale Abweichung, die gemessen wurde. Es handelt sich also nicht um eine Standardabweichung oder eine statistisch abgesicherte Aussagewahrscheinlichkeit.

- Ausgangsverformung: Die Messwerte der Ausgangsverformung mit einem Mittelwert von $0,77 \pm 0,10$ mm (ohne den Messwert von IL 3) liegen sehr nah zusammen. Der geringfügig weiter abweichende Messwert von IL 3 (Abweichung $0,13 \text{ mm} \triangleq 0,13 \%$), dürfte auf die Unterschiede in der Mechanik der Prüfapparaturen zurückzuführen sein.
- Druck-Kriechverformung:
Die Messwerte der Kriechverformung mit einem Mittelwert von $0,49 \pm 0,06$ mm liegen um den Faktor 0,6 enger zusammen als bei dem Rundversuch mit EPS.
- Gesamtverformung:
Hier liegen die Messwerte mit $1,24 \pm 0,17$ mm eng zusammen. Die geringfügig größere Abweichung als bei der Kriechverformung ist hier auf den Einfluss der Abweichungen bei der Ausgangsverformung zurückzuführen.
- Extrapolierte Stauchung nach 30 Jahren:
Die auf 30 Jahre extrapolierten Werte der betrachteten 7 Labore stimmen mit einem Mittelwert von $2,0 \pm 0,2 \%$ sehr gut überein. Hier wurde die gleiche Übereinstimmung wie bei dem EPS Rundversuch erreicht

5. ZUSAMMENFASSUNG

Ganz entscheidend für die Aussagefähigkeit der Kriechversuche ist die Probenauswahl und Probenvorbereitung. Das wird eindrucksvoll in den Kapiteln 1, 2 und den Ergebnissen in den Kapiteln 3, 4 dargestellt.

Bei der Auswertung der Messwerte der 7 beteiligten Labore zeigte sich, dass die Messwerte im Bereich von $\pm 0,17$ mm bei Dicke 98 mm streuen. Das entspricht relativen Verformungen von 0,1% bis zu 0,2%.

Diese geringen Streuungen der Messwerte sind als hervorragend zu werten, wenn man bedenkt, mit welchen Toleranzen im Bauwesen üblicherweise zu rechnen ist. Auch im Verhältnis zu den zulässigen Verformungen in den Zulassungen für Dämmstoffe unter Gründungsplatten von 2% bis 5% sind die gemessenen Streuungen der extrapolierten Verformungen von 0,1% - 0,2 % als gering zu bewerten.

Damit konnte der Nachweis erfolgreich erbracht werden, dass die Prüfmethode nach DIN EN 1606 für die Dicke 100 mm auch bei XPS gut vergleichbare, reproduzierbare Messwerte erbringt, bei genügend Sorgfalt bei Probenauswahl, Probenvorbereitung und genügend stabilem Raumklima.

Dem Anwender der Messwerte in Baubehörden und bei den Herstellern geben die Messwerte die Sicherheit, dass die Messmethode Messwerte in der erforderlichen Genauigkeit und Reproduzierbarkeit erzeugen kann.

Nicht abgedeckt sind die Materialstreuungen und mögliche Fehler bei Probenahme und Probenvorbereitung.

6. FOLGERUNGEN FÜR DIE PRÜFUNG NACH DIN EN 1606

Aus den unterschiedlichen Messprotokollen und Auswertungen lassen sich einige Schlussfolgerungen ableiten, die in eine überarbeitete Neuausgabe der DIN EN 1606 einfließen sollten, um die Prüfnorm leichter handhabbar und sicherer in der Aussage der Prüfergebnisse zu machen.

Die einzelnen Beobachtungen führen zu folgenden Empfehlungen:

- Aufbringen der Last und Bestimmung des ersten Messwertes nach 1 Minute sollte genauer beschrieben sein.
- Hinweise, dass die Anzahl der Messwerte und Zeitabstände sehr genau einzuhalten sind, da sonst andere Ergebnisse bei der Extrapolation zu erwarten sind.
- Der Auswertungsbeginn für die Extrapolation sollte genauer eingegrenzt werden. z.B. auf 24 h nach Aufbringen der Belastung
- Probenauswahl und Abschleifen/Fräsen der Proben sollte näher beschrieben werden, da das enorme Auswirkungen auf das Prüfergebnis haben kann
- Der Einfluss von Temperaturschwankungen, Längenausdehnung und die Notwendigkeit einer Klimatisierung muss in die Prüfnorm aufgenommen werden.

7. LITERATUR

- [1] Findley, W.N.: Creep characteristics of Plastics, Symposium on Plastics, Am. So. Testing Materials, 1944
- [2] DIN EN 1606:2013-05: Wärmedämmstoffe für das Bauwesen – Bestimmung des Langzeit-Kriechverhaltens bei Druckbeanspruchung
- [3] Krollmann, N.: Proposal „Compressive Creep“ 08.05.1989, CEN TC 88 WG 1 N88, Europäisches Komitee für Normung, Rue de Strassart 36, 1050 Brüssel/Belgien
- [4] Bau Forschungsprojekt „Erdberührte Wärmedämmung“
A.Z.: BI5-80 01 89-110; Schlussbericht: IRB-Verlag F2217-1992
- [5] Krollmann, N.: Langzeitkriechverhalten von extrudiertem Polystyrol-Hartschaum bei konstanter und zyklisch wechselnder Druckbeanspruchung; Bauphysik 17 (1995), Heft 1, Seite 11-16

Gräfelfing, 21. November 2013

Projektleiter



Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Albrecht



Bearbeiter



Dipl.-Ing. (FH) Stefan Kutschera

Zuschneideplan - Forschungsauftrag 5/2009

Material: XPS-Extruderschaum
s = 100 mm

Platte 1

Liefermaße: 1200 * 600 mm²
Probenmaße: 100 * 100 mm²

Dichte:	[kg/m ³]
$\sigma_{D/Bruch}$:	[kPa]/[%]
E-Modul:	[kPa]

100 mm				
L1.1-PI 1	L2.1-PI 1	L3.1-PI 1	L4.1-PI 1	L5.1-PI 1
Dichte: 37,3	36,4	36,7	36,3	36,9
$\sigma_{D/Bruch}$: 628/5	564/3	555/3	556/4	601/5
E-Modul: 30093	28273	27773	28924	30563
L1.2-PI 1	L2.2-PI 1	L3.2-PI 1	L4.2-PI 1	L5.2-PI 1
	36,5 Labor: PL2			
L1.3-PI 1	L2.3-PI 1	L3.3-PI 1	L4.3-PI 1	L5.3-PI 1
	36,5 PL2			
L1.4-PI 1	L2.4-PI 1	L3.4-PI 1	L4.4-PI 1	L5.4-PI 1
	36,6 PL2			
L1.5-PI 1	L2.5-PI 1	L3.5-PI 1	L4.5-PI 1	L5.5-PI 1
	36,6 PL2			
L1.6-PI 1	L2.6-PI 1	L3.6-PI 1	L4.6-PI 1	L5.6-PI 1
	36,5 Labor: PL1			
L1.7-PI 1	L2.7-PI 1	L3.7-PI 1	L4.7-PI 1	L5.7-PI 1
	36,5 PL1			
L1.8-PI 1	L2.8-PI 1	L3.8-PI 1	L4.8-PI 1	L5.8-PI 1
	36,5 PL1			
L1.9-PI 1	L2.9-PI 1	L3.9-PI 1	L4.9-PI 1	L5.9-PI 1
	36,4 PL1			
L1.10-PI 1	L2.10-PI 1	L3.10-PI 1	L4.10-PI 1	L5.10-PI 1
	36,4			

Bemerkung: Probekörper beidseitig gefräst

Zuschneideplan - Forschungsauftrag 5/2009

Material: XPS-Extruderschäum
s = 100 mm

Platte 2

Liefermaße: 1200 * 600 mm²
Probenmaße: 100 * 100 mm²

Dichte:	[kg/m ³]
$\sigma_{D/Bruch}$:	[kPa]/[%]
E-Modul:	[kPa]

100 mm				
L1.1-PI 2	L2.1-PI 2	L3.1-PI 2	L4.1-PI 2	L5.1-PI 2
Dichte: 37,2	36,4	36,9	36,5	37,1
$\sigma_{D/Bruch}$: 628/5	567/4	563/3	570/4	605/5
E-Modul: 30831	28473	28020	29149	30639
L1.2-PI 2	L2.2-PI 2	L3.2-PI 2	L4.2-PI 2	L5.2-PI 2
	36,4 Labor: IL2	36,8 Labor: IL1		
L1.3-PI 2	L2.3-PI 2	L3.3-PI 2	L4.3-PI 2	L5.3-PI 2
	36,4 IL2	36,7 IL1		
L1.4-PI 2	L2.4-PI 2	L3.4-PI 2	L4.4-PI 2	L5.4-PI 2
	36,5 IL2	36,7 IL1		
L1.5-PI 2	L2.5-PI 2	L3.5-PI 2	L4.5-PI 2	L5.5-PI 2
	36,5 IL2	36,7 IL1		
L1.6-PI 2	L2.6-PI 2	L3.6-PI 2	L4.6-PI 2	L5.6-PI 2
	36,5	36,6 Labor: IL4		
L1.7-PI 2	L2.7-PI 2	L3.7-PI 2	L4.7-PI 2	L5.7-PI 2
	36,6	36,6 IL4		
L1.8-PI 2	L2.8-PI 2	L3.8-PI 2	L4.8-PI 2	L5.8-PI 2
	36,6	36,7 IL4		
L1.9-PI 2	L2.9-PI 2	L3.9-PI 2	L4.9-PI 2	L5.9-PI 2
	36,6	36,7 IL4		
L1.10-PI 2	L2.10-PI 2	L3.10-PI 2	L4.10-PI 2	L5.10-PI 2
	36,6	36,8		

50 mm

50 mm

Bemerkung: Probekörper beidseitig gefräst

Zuschneideplan - Forschungsauftrag 5/2009

Material: XPS-Extruderschaum
s = 100 mm

Platte 3

Liefermaße: 1200 * 600 mm²
Probenmaße: 100 * 100 mm²

Dichte:	[kg/m ³]
σ_D /Bruch:	[kPa]/[%]
E-Modul:	[kPa]

100 mm				
L1.1-PI 3	L2.1-PI 3	L3.1-PI 3	L4.1-PI 3	L5.1-PI 3
Dichte: 37,0	36,7	36,7	36,4	37,0
σ_D /Bruch): 634/5	566/3	543/3	552/4	610/5
E-Modul: 30424	28008	27742	28945	30790
L1.2-PI 3	L2.2-PI 3	L3.2-PI 3	L4.2-PI 3	L5.2-PI 3
	36,7			
L1.3-PI 3	L2.3-PI 3	L3.3-PI 3	L4.3-PI 3	L5.3-PI 3
	36,6 $\lambda_{\alpha\beta op}$: PL3			
L1.4-PI 3	L2.4-PI 3	L3.4-PI 3	L4.4-PI 3	L5.4-PI 3
	36,5 PL3			
L1.5-PI 3	L2.5-PI 3	L3.5-PI 3	L4.5-PI 3	L5.5-PI 3
	36,5 PL3			
L1.6-PI 3	L2.6-PI 3	L3.6-PI 3	L4.6-PI 3	L5.6-PI 3
	36,4			
L1.7-PI 3	L2.7-PI 3	L3.7-PI 3	L4.7-PI 3	L5.7-PI 3
	36,4			
L1.8-PI 3	L2.8-PI 3	L3.8-PI 3	L4.8-PI 3	L5.8-PI 3
	36,4			
L1.9-PI 3	L2.9-PI 3	L3.9-PI 3	L4.9-PI 3	L5.9-PI 3
	36,3			
L1.10-PI 3	L2.10-PI 3	L3.10-PI 3	L4.10-PI 3	L5.10-PI 3
	36,4			

Bemerkung: Probekörper beidseitig gefräst

Zuschneideplan - Forschungsauftrag 5/2009

Material: XPS-Extruderschaum
s = 100 mm

Platte 4

Liefermaße: 1200 * 600 mm²
Probenmaße: 100 * 100 mm²

Dichte:	[kg/m ³]
σ_D /Bruch:	[kPa]/[%]
E-Modul:	[kPa]

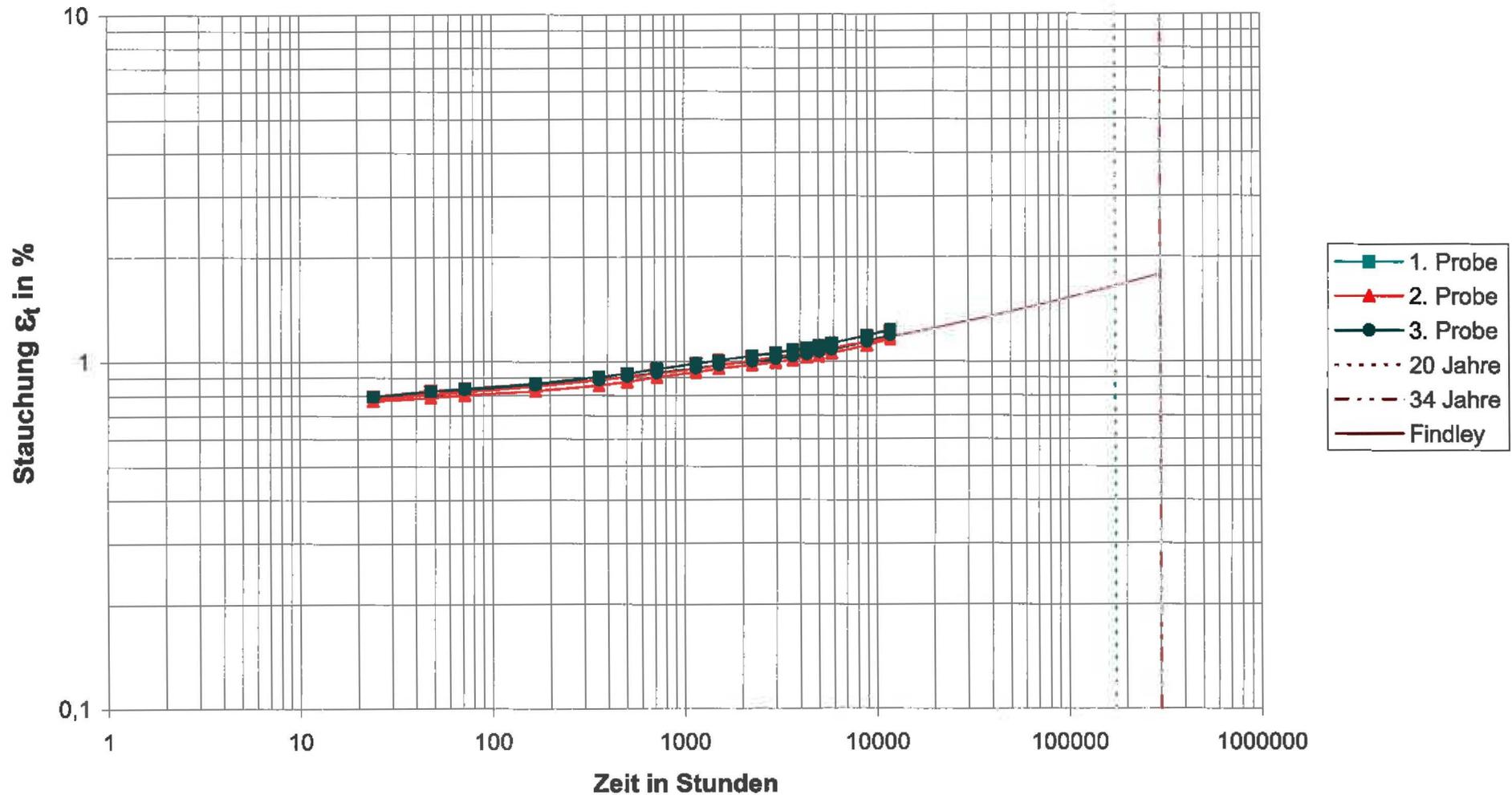
100 mm				
L1.1-PI 4	L2.1-PI 4	L3.1-PI 4	L4.1-PI 4	L5.1-PI 4
Dichte: 37,5	36,7	36,8	36,5	37,1
σ_D /Bruch): 637/5	566/3	553/3	556/4	596/4
E-Modul: 30430	28580	28223	28989	31095
L1.2-PI 4	L2.2-PI 4	L3.2-PI 4	L4.2-PI 4	L5.2-PI 4
	36,6 Labor: IL3	36,6		
L1.3-PI 4	L2.3-PI 4	L3.3-PI 4	L4.3-PI 4	L5.3-PI 4
	36,6 IL3	36,6		
L1.4-PI 4	L2.4-PI 4	L3.4-PI 4	L4.4-PI 4	L5.4-PI 4
	36,6 IL3	36,6		
L1.5-PI 4	L2.5-PI 4	L3.5-PI 4	L4.5-PI 4	L5.5-PI 4
	36,6 IL3	36,7		
L1.6-PI 4	L2.6-PI 4	L3.6-PI 4	L4.6-PI 4	L5.6-PI 4
	36,6 Labor: PL4	36,8		
L1.7-PI 4	L2.7-PI 4	L3.7-PI 4	L4.7-PI 4	L5.7-PI 4
	36,5 PL4	36,8		
L1.8-PI 4	L2.8-PI 4	L3.8-PI 4	L4.8-PI 4	L5.8-PI 4
	36,5 PL4	36,8		
L1.9-PI 4	L2.9-PI 4	L3.9-PI 4	L4.9-PI 4	L5.9-PI 4
	36,4 PL4	36,7		
L1.10-PI 4	L2.10-PI 4	L3.10-PI 4	L4.10-PI 4	L5.10-PI 4
	36,5	36,8		

Bemerkung: Probekörper beidseitig gefräst

Langzeitkriechverhalten nach DIN EN 1606

Labor: PL 1
 Material-Bezeich.: XPS-Extruderschaum
 Nenndicke: 100 mm
 Startdatum: 05.07.2011

Belastung: 230 kPa
 Rohdichte: 37 kg/m³
 Druckbeanspruchung: kPa

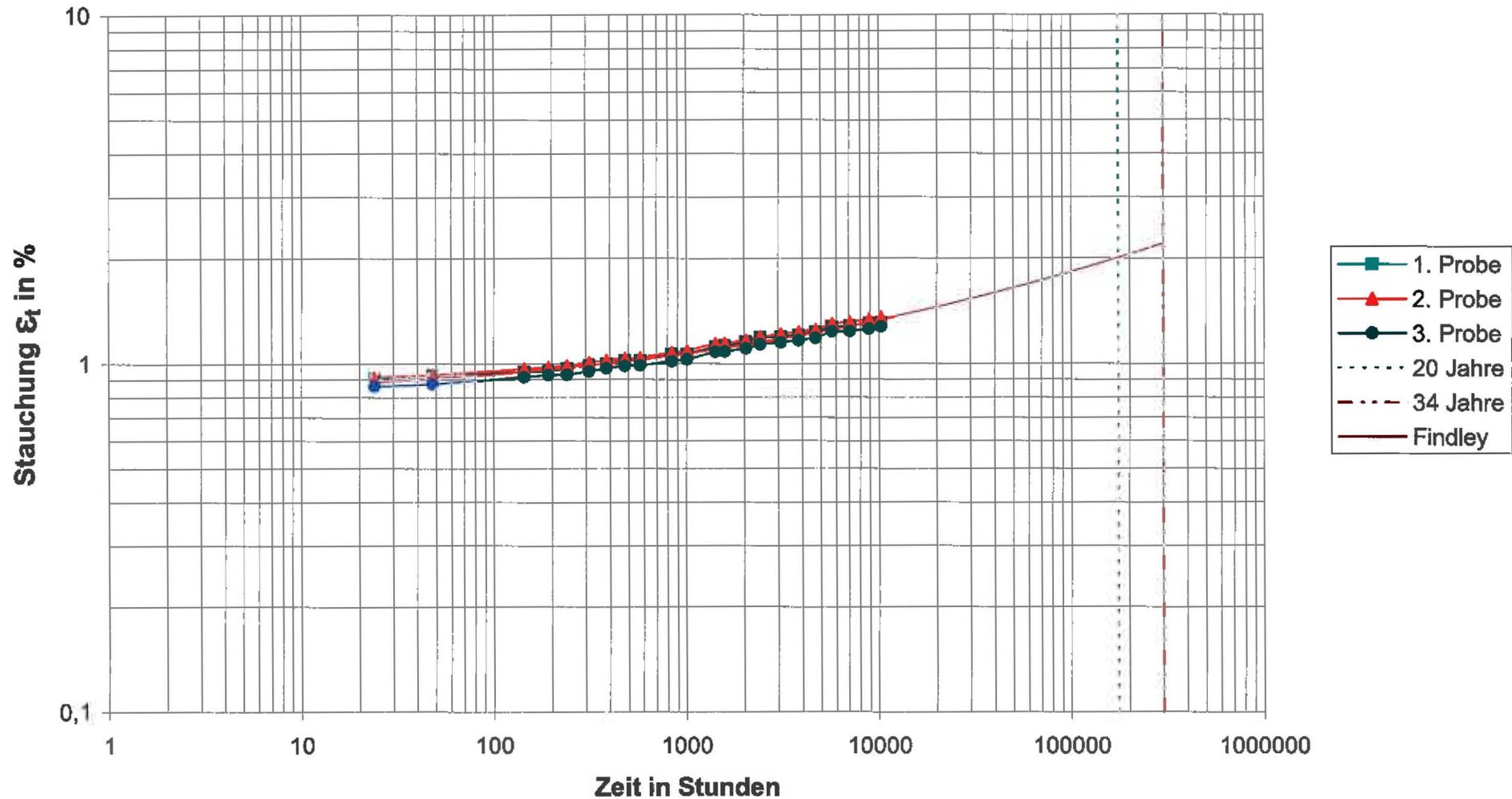


Bestimmtheitsmaß d. lin. Regression $r^2 =$ 0,997 Findley 20 Jahre = 1,64 % Findley 34 Jahre = 1,78 %
 Datum: 10.04.2013 16:02

Langzeitkriechverhalten nach DIN EN 1606

Labor: PL 2
 Material-Bezeich.: XPS-Extruderschaum
 Nenndicke: 100 mm
 Startdatum: 12.07.2011

Belastung: 230 kPa
 Rohdichte: 36,6 kg/m³
 Druckbeanspruchung: kPa

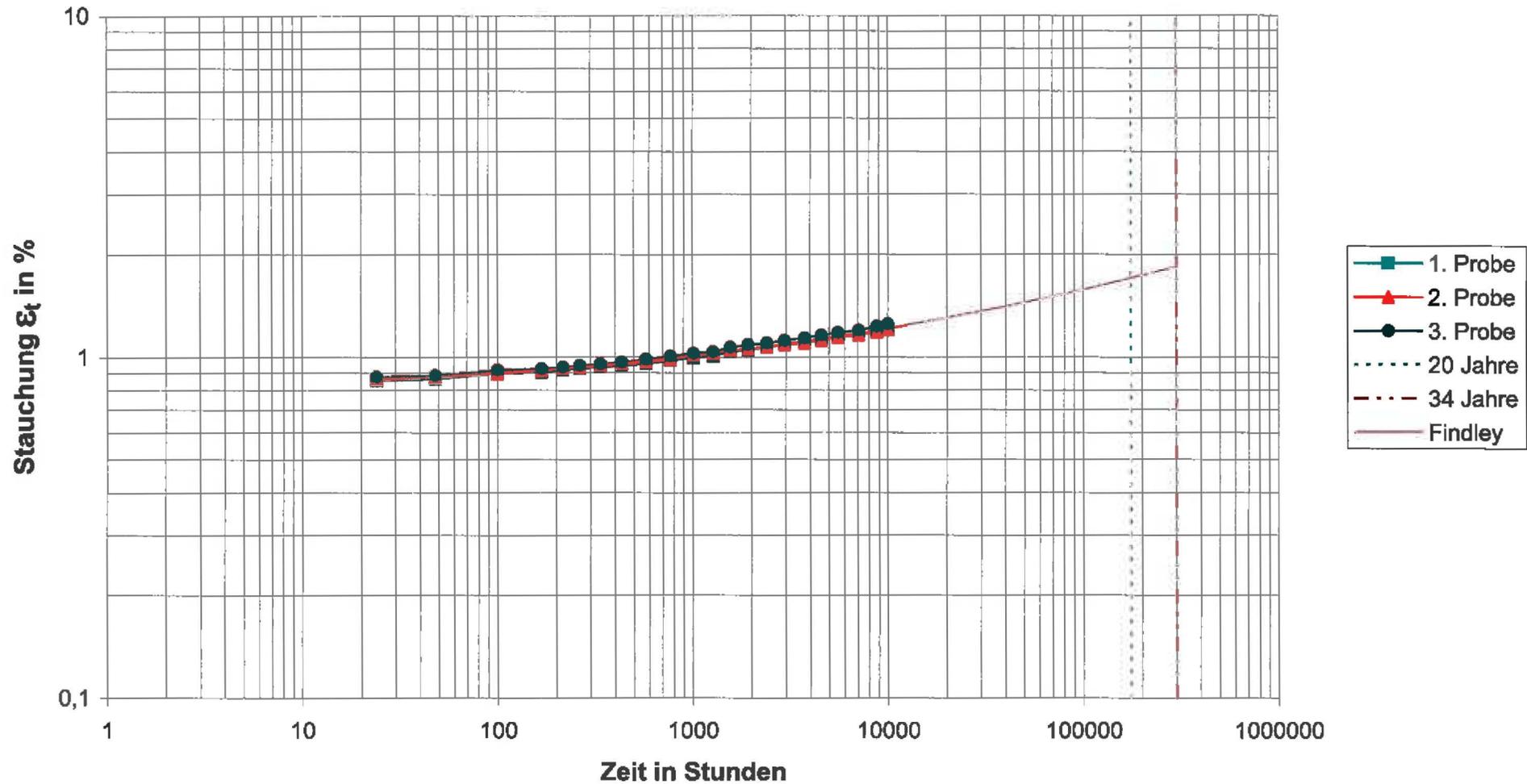


Bestimmtheitsmaß d. lin. Regression $r^2=$ 0,994 Findley 20 Jahre = 2,00 % Findley 34 Jahre = 2,20 %
 Datum: 10.04.2013 16:02

Langzeitkriechverhalten nach DIN EN 1606

Labor: PL 3
Material-Bezeich.: XPS-Extruderschaum
Neendicke: 100 mm
Startdatum: 07.07.2011

Belastung: 230 kPa
Rohdichte: 36,4 kg/m³
Druckbeanspruchung: 566/3 kPa



Bestimmtheitsmaß d. lin. Regression

$r^2 = 0,996$

Findley 20 Jahre $\epsilon_t = 1,70 \%$

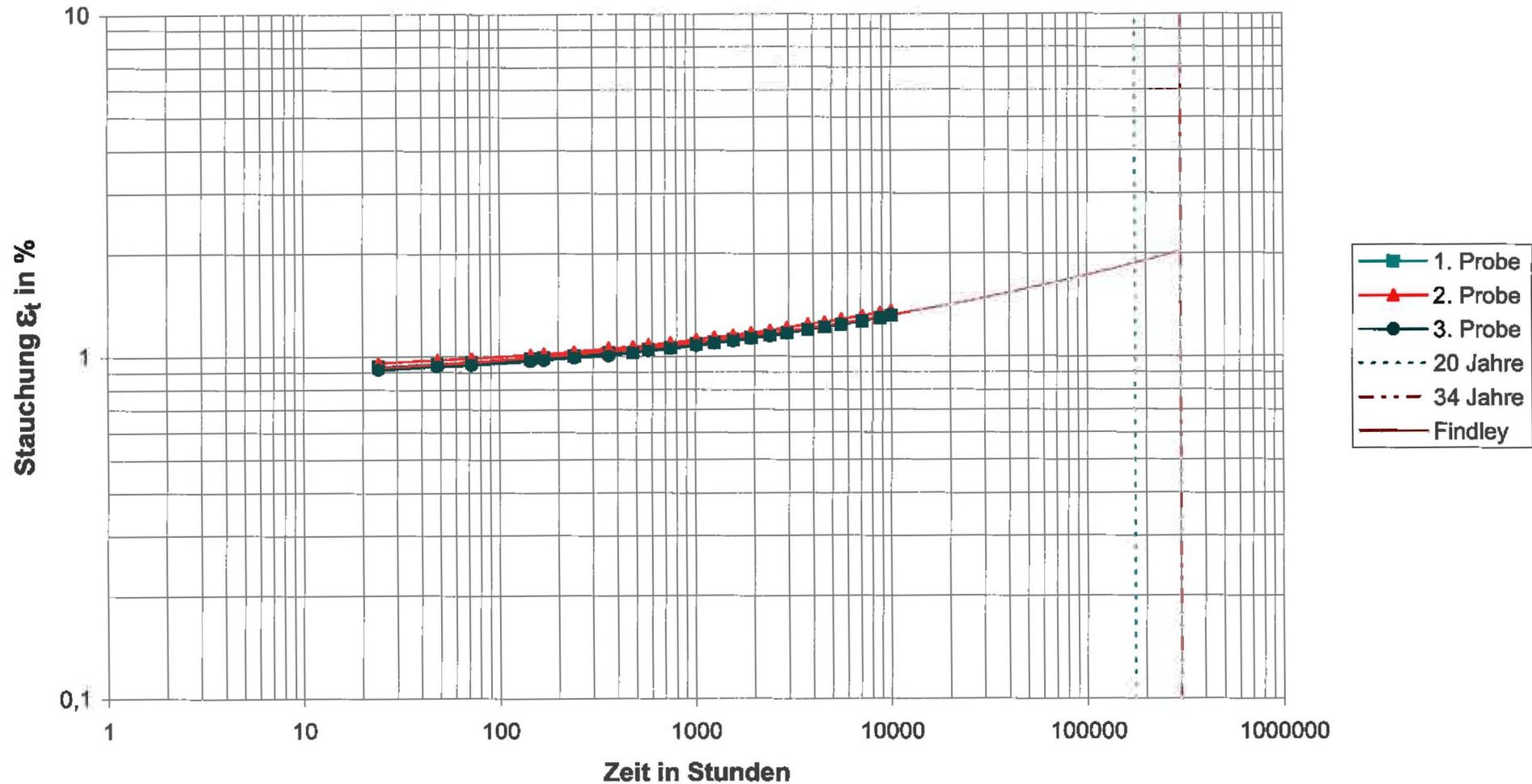
Findley 34 Jahre $\epsilon_t = 1,83 \%$

Datum: 10.04.2013 16:02

Langzeitkriechverhalten nach DIN EN 1606

Labor: IL 1
Material-Bezeich.: XPS-Extruderschaum
Nennstärke: 100 mm
Startdatum: 26.07.12

Belastung: 230 kPa
Rohdichte: 36,7 kg/m³



Bestimmtheitsmaß d. lin. Regression

$r^2 = 0,997$

Findley 20 Jahre $\epsilon_t = 1,86 \%$

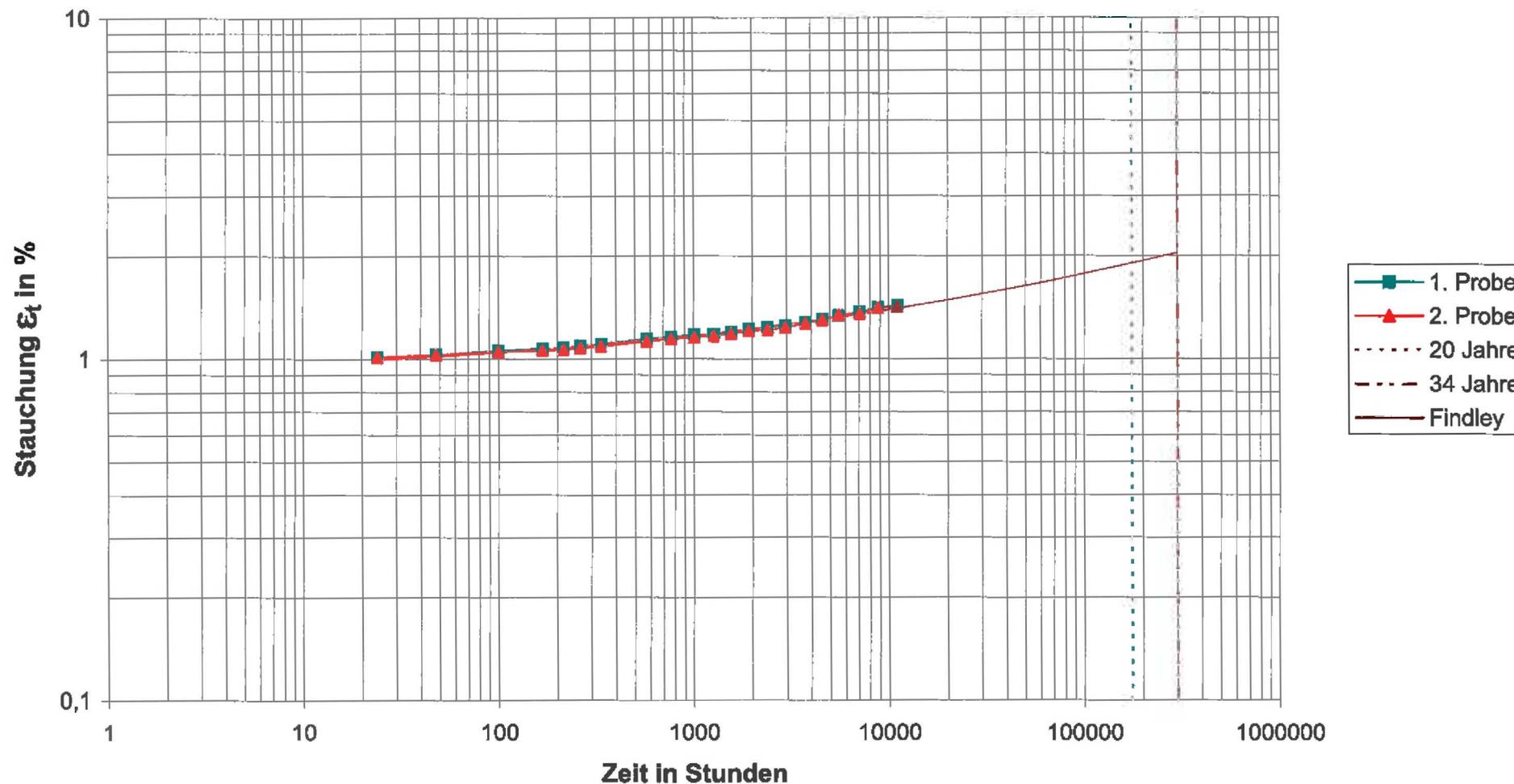
Findley 34 Jahre $\epsilon_t = 2,02 \%$

Datum: 10.04.2013 16:02

Langzeitkriechverhalten nach DIN EN 1606

Labor: IL 2
 Material-Bezeich.: XPS-Extruderschaum
 Nenndicke: 100 mm
 Startdatum: 07.07.2011

Belastung: 230 kPa
 Rohdichte: 36,6 kg/m³
 Druckbeanspruchung: kPa

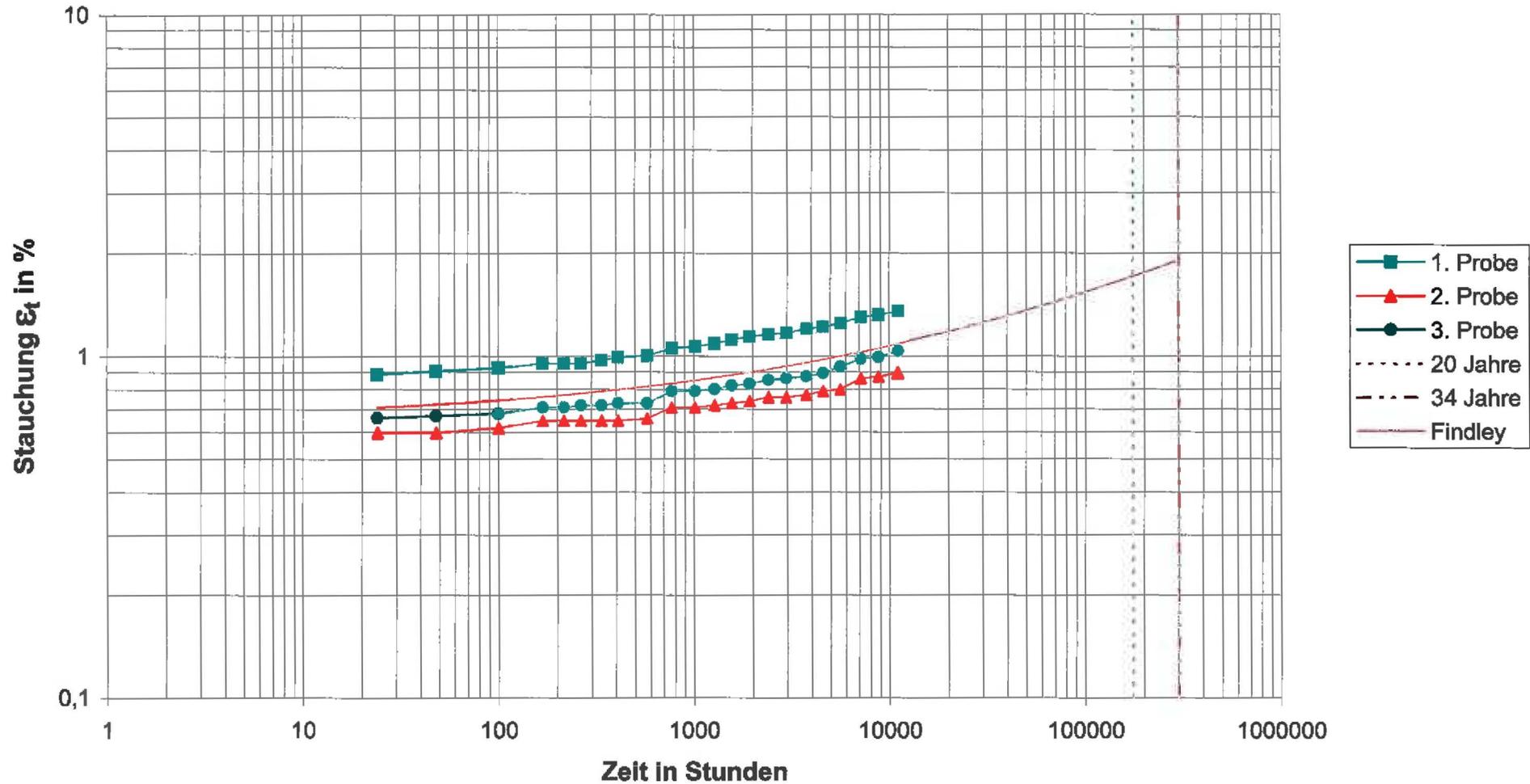


Bestimmtheitsmaß d. lin. Regression $r^2 =$ 0,989 Findley 20 Jahre $\epsilon_t =$ 1,90 % Findley 34 Jahre $\epsilon_t =$ 2,04 %
 Datum: 10.04.2013 16:02

Langzeitkriechverhalten nach DIN EN 1606

Labor: IL 3
Material-Bezeich.: XPS-Extruderschaum
Neandicke: 100 mm
Startdatum: 25.07.2011

Belastung: 230 kPa
Rohdichte: 36,6 kg/m³
Druckbeanspruchung: kPa



Bestimmtheitsmaß d. lin. Regression

$r^2 = 0,991$

Findley 20 Jahre $\epsilon_t = 1,70 \%$

Findley 34 Jahre $\epsilon_t = 1,90 \%$

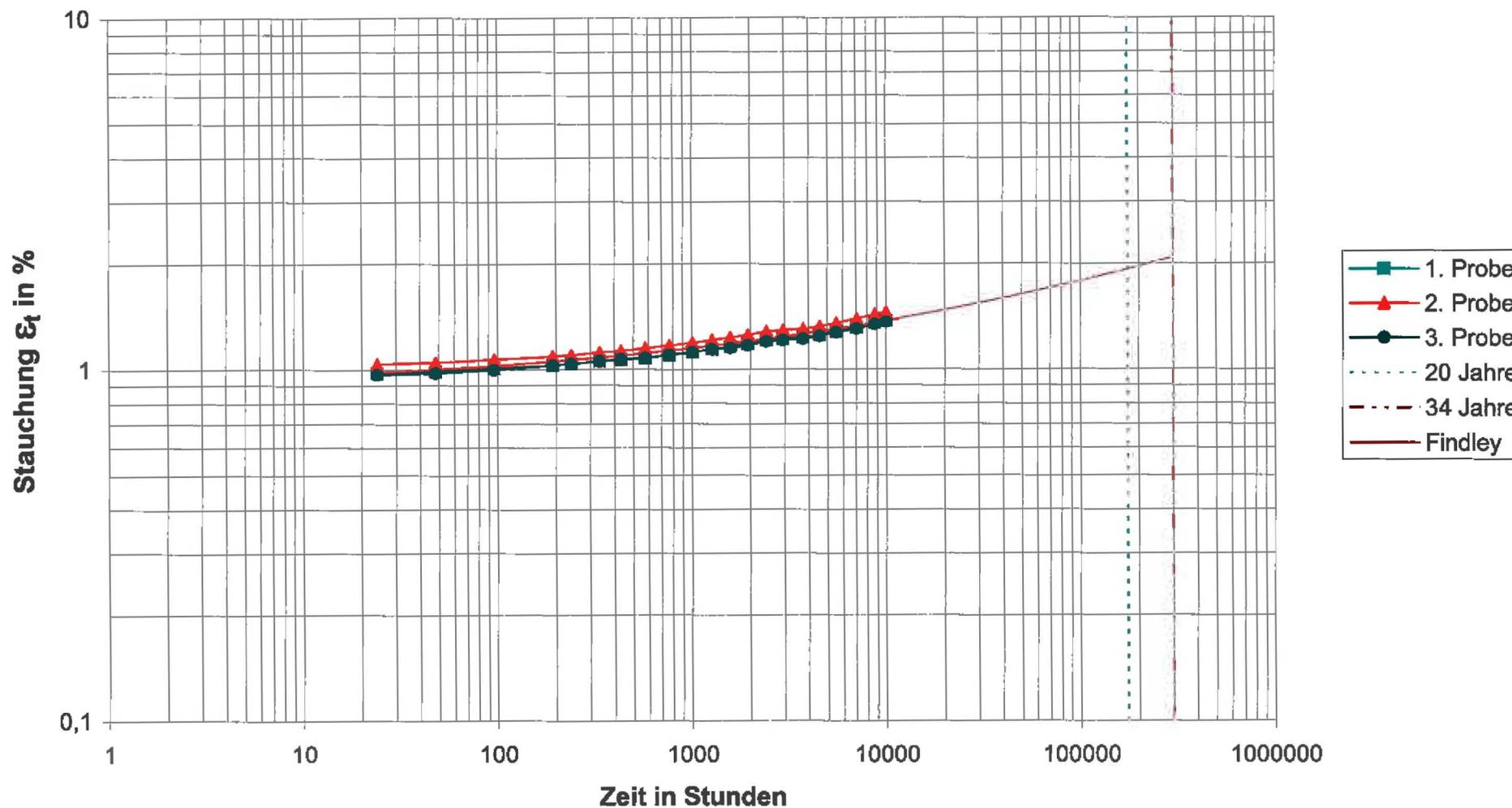
Datum: 10.04.2013 16:02

Langzeitkriechverhalten nach DIN EN 1606



Labor: IL 4
Material-Bezeich.: XPS-Extruderschaum
Nennstärke: 100 mm
Startdatum: 08.08.2011

Belastung: 230 kPa
Rohdichte: 36,8 kg/m³
Druckbeanspruchung: kPa



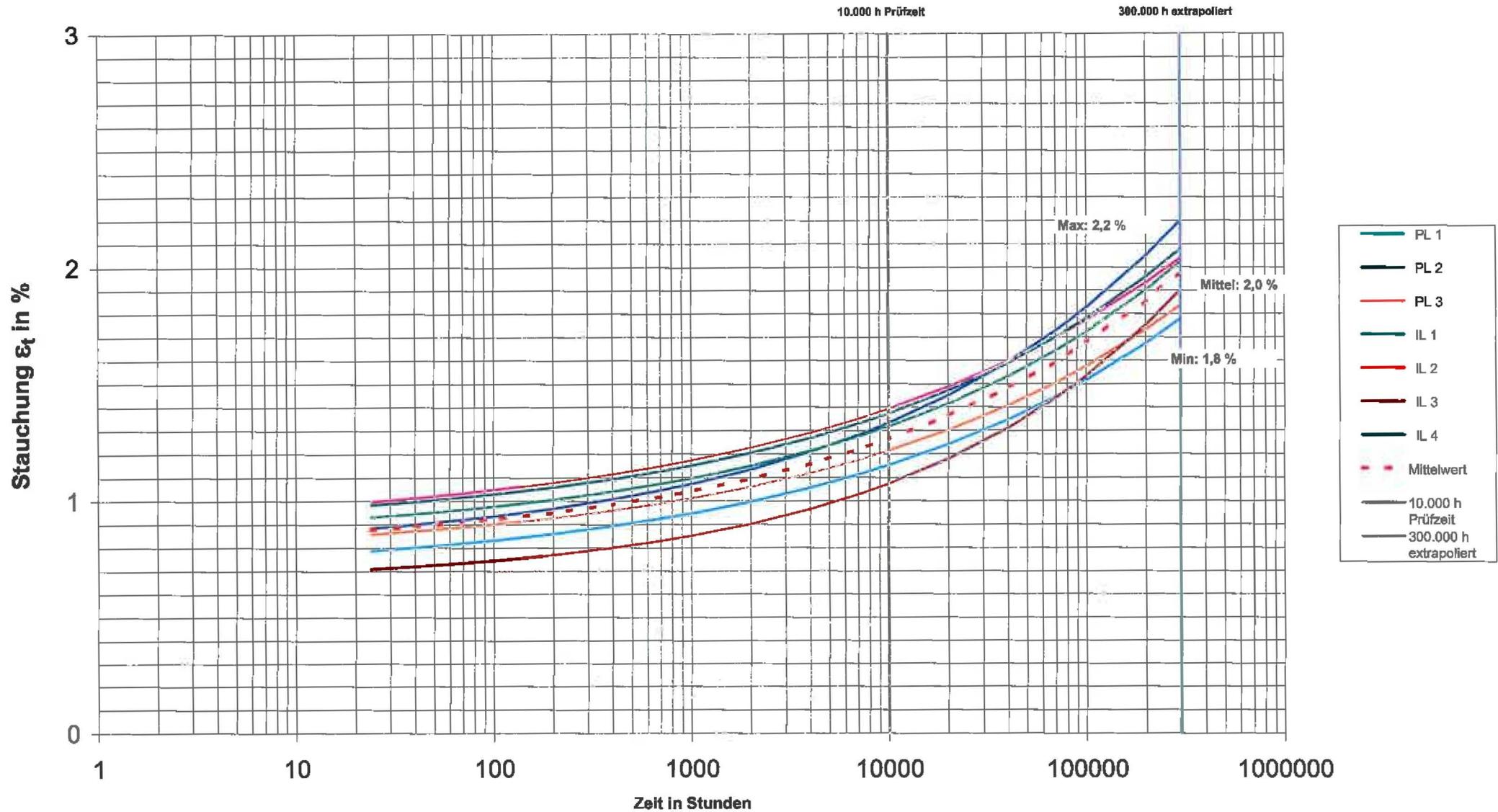
Bestimmtheitsmaß d. lin. Regression $r^2 =$ 0,993 Findley 20 Jahre = 1,92 % Findley 34 Jahre = 2,08 %
 Datum: 10.04.2013 16:02

Langzeitkriechverhalten nach DIN EN 1606



Antragsteller: alle Teilnehmer
Material-Bezeich.: XPS-Extruderschaum
Nennstärke: 100 mm
Startdatum: 5.7 - 8.8.2011

Belastung: 230 kPa
Rohdichte: $36,6 \pm 0,3 \text{ kg/m}^3$
Druckbeanspruchung: $560 \pm 7 \text{ kPa}$



**Schlüsselliste für den Abschlussbericht
FO-5-09 Langzeit-Kriechverhalten XPS
- Rundversuch -**

PL 1	MPA Stuttgart
PL 2	IFBP
PL 3	FIW
PL 4	MPA NRW
IL 1	BASF
IL 2	DOW
IL 3	URSA
IL 4	Austrotherm