

WISSEN | MATERIAL | VERWENDUNG

PVC-U-Rohre

Branchentrends und Wirtschaftsnews vom Fachverband der Kunststoffrohr-Industrie

2005

Das Langzeitverhalten von PVC-U-Rohren mit unterschiedlicher Stabilisierung

Auftraggeber: Kunststoffrohrverband e.V., Bonn
Dezember 2005

unter Mitwirkung von: Rohr- und Formstückherstellern,
Stabilisatorherstellern und
Rohstoffherstellern

Copyright © 2005 Kunststoffrohrverband e.V.
Alle Rechte vorbehalten

Das Langzeitverhalten von PVC-U-Rohren mit unterschiedlicher Stabilisierung

Auftraggeber:	Kunststoffrohrverband e.V., Bonn
Auftragnehmer:	Stoff- und Systemprüfung, Troisdorf, Dr. M. Lonschien DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe, Dr. J. Wagner
Projektleiter:	Edwin Keller, Kunststoffrohrverband e.V., Bonn
Beteiligte Kooperationspartner:	
Rohr- und Formstück-hersteller	ALPHACAN Omniplast GmbH, Bänninger Kunststoff-Produkte GmbH, Böhm GmbH, Dyka Steenwijk B.V., Friatec AG, Funke Kunststoffe GmbH, Peter van Eyk GmbH & Co.KG, Georg Fischer DEKA GmbH, F.W. Hundhausen GmbH, Edwin Jereb GmbH, Kabelwerk Eupen AG, Kunststoffröhren Sendenhorst GmbH, Magnaplast Hausabflusstechnik GmbH, Gebr. Ostendorf Kunststoffe GmbH & Co.KG, Pipelife Deutschland GmbH & Co.KG, Rehau AG + Co., Karl Schöngen KG, Ferdinand Stückerjürgen GmbH, Uponor Anger GmbH, Dipl.-Ing. Dr. E. Vogelsang GmbH & Co.KG, Wavin GmbH, Westfälische Kunststoff Technik GmbH
Stabilisatorhersteller:	Arkema GmbH (Atofina Deutschland GmbH), Baerlocher GmbH, Chemson AG (Akcros Chemicals GmbH & Co.KG), Crompton Vinyl Additive GmbH (Witco Vinyl Additive GmbH), Reagens GmbH (Henkel KGaA, Neynaber Chemie GmbH, Cognis Deutschland), Rohm and Haas Deutschland GmbH (Morton)
Rohstoffhersteller:	INEOS Vinyls Deutschland GmbH (EVC), Hydro Polymer GmbH, Rovin Rotterdams Vinyluic V.O.F., Solvin GmbH & Co.KG (BASF, Solvay)
Weitere Firmen:	Omya GmbH
Aufsichtsgremium:	Egon Barth; Helmut Diederichs, Dipl.-Ing. Dr. E. Vogelsang GmbH & Co.KG; Hans-Günther Funke, Kunststoffröhren Sendenhorst GmbH; Dr. Peter Kläß, Akcros Chemicals GmbH & Co.KG; Peter Krümpelmann, Chemson AG; Richard Offergelt, Wavin GmbH; Uwe Kreitel, Gütegemeinschaft Kunststoffrohre e.V.; Reinhard Nowack, Alphacan Omniplast GmbH
Beratendes Fachgremium:	Gemeinschaftsausschuss GEA „Neue Stabilisierungen für PVC-Rohre und Rohrleitungsteile“ des Kunststoffrohrverbandes e.V.
Autor:	Egon Barth, Troisdorf

Inhaltsverzeichnis

- 1. Zusammenfassung**
- 2. Prüfprogramm**
- 3. Einleitung**
- 4. Historische Entwicklung des PVC**
- 5. Entwicklung der PVC-U-Rohre**
- 6. Vorbedingungen**
- 7. Ergebnisse des Hauptversuches**
 - 7.1 Physikalische Eigenschaftswerte
 - 7.2 Zeitstand Innendruckversuche
 - 7.3 Extrapolation der Zeitstand-Kennlinien
 - 7.3.1 Verfahren nach DIN 16887
 - 7.3.2 Verfahren nach ISO DIS 9080
 - 7.3.3 Verfahren nach Arrhenius
 - 7.4 Thermische Alterung
 - 7.5 Widerstandsfähigkeit gegen Chemikalieneinwirkung
 - 7.6 Wetterbeständigkeit
- 8. Versuche an Rohren 160 x 4,7 mm**
 - 8.1 Physikalische Eigenschaften
 - 8.2 Kriech- und Abriebverhalten
 - 8.3 Zeitstand-Innendruckversuche
 - 8.4 Versuche an Spritzguss-Formstücken
 - 8.5 Dynamische Druckwechselversuche
 - 8.6 Recyclingversuche
- 9. Resümee**
- 10. Messunsicherheit**
 - 10.1 Messunsicherheitsbetrachtung der Zeitstand-Innendruckversuche
 - 10.2 Streuung der Beckentemperaturen
 - 10.3 Abschätzung der Messunsicherheiten
- 11. Hygieneversuche**
- 12. Ausblick**

Literaturangaben

Veröffentlichungen

Anhang

- Anhang 1 Akkreditierung des Prüflabors 1997 und 2001
- Anhang 2 Qualifikation des Laborpersonals
- Anhang 3 Kalibrierscheine des Deutschen Kalibrierdienst (DKD)
- Anhang 4 Kalibrierprotokoll für die Zeitstand-Innendruckanlage Prüfstände 2 und 5
- Anhang 5 Kalibrierprotokolle für die Temperatur der Zeitstandbecken
- Anhang 6 Kalibrieranweisung für die Zeitstand-Innendruckanlage

1. Zusammenfassung

Seit mehreren Jahrzehnten sind Bleiverbindungen bewährte Stabilisatoren für die Produktion von Kunststoffrohren, Formstücken und Schächten aus weichmacherfreiem PVC-U. Bleistabilisatoren garantieren die Gebrauchseigenschaften dieser Produkte für ihre Lebensdauer von mehr als 50 Jahren (durchschnittliche Nutzungsdauer wasserbaulicher Anlagen nach LAWA-Leitlinien 50 – 80 (100) Jahre für Kanäle aus PVC-U). Dabei liegt der Bleianteil in Rohren und Rohrleitungsteilen unter 1%, ist fest in die PVC-Matrix gebunden und somit nicht mehr bioverfügbar. Die gesundheitliche Unbedenklichkeit wird durch die erforderlichen Zulassungen und laufenden Überwachungen der Trinkwasserrohre kontrolliert und attestiert. Bleistabilisierte Rohre werden seit Jahren ohne Probleme recycelt. Aus ökologischen Gründen ist eine Substitution der Bleistabilisatoren deshalb nicht notwendig.

Trotzdem haben sich die Stabilisator-, PVC-Rohstoff- und Rohrhersteller der politischen Diskussion zur Reduzierung von Blei in der Umwelt geöffnet. Unter Federführung des Kunststoffrohrverbandes (KRV) wurde im Jahre 1996 ein umfangreiches Testprogramm an Rohren mit alternativen Stabilisierungssystemen aus CaZn, Sn und organischen Verbindungen gestartet.

Im Vordergrund stand dabei das Langzeitverhalten dieser Rohre nach DIN 8061, zum Nachweis ihrer Gebrauchstauglichkeit von mehr als 100 Jahren. Dazu wurden mehr als 1250 Rohrproben im Temperaturbereich von 20°C bis 80°C mit unterschiedlichen Spannungen in Zeitstand-Innendruckversuchen und unter dynamischen Druckwechselversuchen geprüft. Gleichzeitig wurden die physikalischen Eigenschaftswerte (über die Anforderungen der einschlägigen Normen- und Richtlinien für Rohre aus PVC-U hinaus) ermittelt, ihre thermische Alterung in Luft bei 60°C – 120°C untersucht, die Wetterbeständigkeit durch natürliche Bewitterung in Troisdorf und Südspanien ermittelt und die Widerstandsfähigkeit gegen Chemikalienwirkung an ausgewählten Angriffsmitteln getestet.

Auch die gesundheitliche Unbedenklichkeit – entsprechend KTW-Empfehlung – wurde für alle eingesetzten Stabilisierungssysteme untersucht und bestätigt.

Der für das umfassende Versuchsprogramm erforderliche organisatorische, zeitliche und finanzielle Aufwand von über 2 Mio. DM spiegelt die unternehmerische Eigenverantwortung aller Beteiligten wieder.

Die ermittelten Versuchsergebnisse, mit Standzeiten bis über 72.000 Stunden in Zeitstand-Innendruckversuchen zeigen, dass PVC-U-Rohre und Formstücke mit den geprüften Stabilisatorsystemen den Anforderungen sowohl an Trinkwasser- als auch an Abwasserrohren und –Formstücken über einen Nutzungszeitraum von mehr als 100 Jahren standhalten.

Zur Zeit werden die aus den Versuchsprogrammen gewonnenen Ergebnisse, insbesondere auf dem Gebiet der Verfahrenstechnik, durch die einzelnen Rohrhersteller auf ihr jeweils gesamtes Produktionsprogramm übertragen und die spezifischen Fertigungsparameter optimiert. Unter Berücksichtigung der damit verbundenen Arbeiten kann die Markteinführung der neuen Stabilisierungssysteme für PVC-U-Abwasserkanäle und –leitungen sowie für PVC-U-Druckrohrleitungen erfolgen.

Bleifreiheit ist jedoch nur für Neuware ohne Recyclatanteile realisierbar. Das erfolgreich praktizierte werkstoffliche Recycling bedingt, dass PVC-U-Rohrsysteme über den Umstellungszeitraum hinaus Bleibestandteile, wenn auch in sehr geringen Mengen, enthalten werden.

2. Prüfprogramm

Vorversuch

An 11 PVC-U-Rohren, 32 x 2,4 mm (7 Stück) und 63 x 3,0 mm (4 Stück), davon:
6 Rohre mit CaZn-Stabilisierung
4 Rohre mit Pb-Stabilisierung
1 Rohr mit Sn-Stabilisierung

1. Physikalische Eigenschaften im Anlieferungszustand
 - Wasseraufnahme (DIN 8061, 4.5) 24 h, 100°C
 - Veränderungen nach Wärmebehandlung (DIN 8061; 4.6)
 - Vicat-Erweichungstemperatur VST (DIN EN 727 / DIN EN ISO 306); Verfahren B 50
 - Thermostabilität DHC (DIN 53381-1); Verfahren C
2. Langzeitverhalten
 - Zeitstand-Innendruckversuche (DIN 8061)
 - a) Berstversuche bei 20 und 60°C
 - b) Zeitstand-Innendruckversuche bei 60°C mit 15 N/mm² und 80°C mit 1, 2, 3, 5, 8 N/mm²

II. Basisversuch für Druckrohre

An 8 PVC-U-Druckrohren 32 x 2,4 mm davon:
4 Rohre mit CaZn-Stabilisierung
2 Rohre mit Sn-Stabilisierung
1 Rohr mit OS-Stabilisierung
1 Rohr mit Pb-Standard-Stabilisierung

1. Physikalische Eigenschaften bei Anlieferung
 - Zugversuch (DIN EN ISO 527-2)
 - E-Modul-Zug (DIN EN ISO 527-2)
 - Schlagzähigkeit (DIN 53453, GKR R 1.1.1); + 23; ± 0; - 20°C; - 40°C
 - Kerbschlagzähigkeit (DIN 53753); DV-Kerb; r = 0,1 mm; + 23°C
 - a) Proben aus Rohren, b) plangepresste Proben
 - Vicat-Erweichungstemperatur VST (DIN EN 727 / DIN EN ISO 306); Verfahren B 50
 - Dichte (DIN 53479)
 - Bestimmung des Längsschrumpfes (DIN EN 743); Verfahren B
 - a) 30 min 140°C; b) 60 min 150°C; c) 30 min 150°C
 - Homogenität nach Warmlagerung (GKR R 1.1.1; 3.2.5)
 - Verklebbarkeit (GKR R 1.1.1)
 - Thermostabilität DHC (DIN 53381-1); Verfahren C
 - Wasseraufnahme (DIN 8061, 4.5) 24 h, 100°C
 - Kugelfall-Methode, Round the clock (DIN EN 744);
± 0°C; + 20°C, - 10°C mit 1,25 kg aus 2 m
2. Physikalische Eigenschaften nach natürlicher Bewitterung
 - a) in Troisdorf, b) in Südspanien
 - Prüfung nach 1, 2 u. 3 Jahren Exposition
 - Zeitstand-Innendruckversuch (DIN 8061)
 - Thermostabilität DHC (DIN 53381-1); Verfahren C
 - Schlagzähigkeit (DIN 53453); + 23°C
 - Farbmessung (ISO 7724-3)
3. Physikalische Eigenschaften nach Wärmealterung in Luft
 - Temperaturen 60, 80, 100, 120°C
 - Lagerungsdauer: 2, 4, 7, 14, 28, 56, 112, 730 Tage
 - Zugversuch (DIN EN ISO 527-2)
 - Schlagzähigkeit (DIN 53453)
 - Kerbschlagzähigkeit (DIN 53753)
 - Thermostabilität DHC (DIN 53381-1); Verfahren C

4. Widerstandsfähigkeit gegen Chemikalieneinwirkung (ISO 4433)
 Angriffsmittel:
 Wasser Lagerungsdauer: 4, 7, 14, 28, 56, 112, x Tagen
 Salzsäure 36%ig Lagerungstemperatur: 60°C
 Schwefelsäure 96%ig
 Essigsäure 50%ig
 Natronlauge 50%ig
 - Massenänderung (ISO 4033)
 - Zugversuch (DIN EN ISO 527-2)
 - E-Modul-Zug (DIN EN ISO 527-2)
 5. Langzeitverhalten
 - Zeitstand-Innendruckversuche (DIN 8061)
 Prüftemperaturen: 20°C iW/aL, 40°C iW/aL
 60°C, 65°C, 70°C, 75°C, 80°C alle iW/aW
 Prüfspannungen: je Temperatur mindestens 3
 Standzeiten: 10 bis > 20.000 h
 6. Hygienische Unbedenklichkeit (KTW-Empfehlungen)
 7. Mikrobiologische Prüfungen (DVGW-Arbeitsblatt W 270)
- III. Ergänzungsversuche „Zusätzliche Prüfungen für Abwasserkanäle und –leitungen“
 an 4 Rohren 160 x 4,7 mm mit je 1 CaZn-, Sn-, OS-, Pb-Rezeptur
1. Physikalische Eigenschaften bei Anlieferung
 - Dichte (DIN ISO 1183)
 - E-Modul-Biege (DIN EN ISO 178)
 - Biegespannung
 - Biegefestigkeit } (DIN 19534)
 - Biegedehnung
 - Schlagzähigkeit (ISO 179)
 - Vicat-Erweichungstemperatur VST (DIN EN ISO 727 / DIN EN ISO 306); Verfahren B 50
 - Maßänderung nach Warmlagerung (DIN EN 479); 60 min, 140°C
 - Homogenität nach Warmlagerung (GKR R 1.1.1); 60 min, 150°C
 - Methylenchloridtest (DIN EN 680)
 - Kugelfallversuch Round the clock (ISO 3127); bei ± 0°C
 - Wasseraufnahme (DIN 8061); 24 h, 100°C
 - Thermostabilität DHC (DIN 53381-1); Verfahren C
 2. Kriechverhalten (Ringsteifigkeit)
 - a) Kurzzeitversuch (DIN EN ISO 9969)
 - b) Langzeitversuch (DIN 16961-2)
 3. Abriebverhalten (DIN 19534-2)
 Kipprinne (Darmstädter Verfahren)
 4. Recycling (1-5 Extrusionen)
 - Dimensionsänderung nach Warmlagerung (DIN EN 743); Verfahren B; 30 min, 140°C
 - Streckspannung
 - Reißfestigkeit } (DIN EN ISO 527-2)
 - Reißdehnung
 - E-Modul-Zug (DIN EN ISO 527-2)
 - Thermostabilität DHC (DIN 53381-1); Verfahren C
 5. Langzeitverhalten¹⁾
 - Zeitstand-Innendruckversuche (DIN 8061)
 20°C: 42 und 35 N/mm²
 60°C: 19, 17, 15, 12,5 N/mm²;
 - Dynamische Druckwechselversuche bei 20°C (DVGW Rohrleitungsstudie)

¹⁾ In die Langzeitversuche sind Spritzgieß-Rohrkappen mit Sn-Stabilisierung integriert

IV. Einstellung der Verfahrenstechnik

1. Produktionsversuche ≥ 4 h Produktionsdauer
Rezepturen: CaZn, Sn und OS
Dimensionen: bis DN 300
 - Druckrohre und –formstücke für Trinkwasserleitungen
 - Druckrohre und –formstücke für Abwasserleitungen
 - Druckrohre und –formstücke für allgemeine Anwendungen
 - Kabelschutzrohre und –formstücke
 - Kanalrohre und –formstücke – Vollwand
 - Kanalrohre und –formstücke – coextrudiert
 - Kanalrohre und –formstücke – profiliert
2. Prüfungen (an Rohren DN 150 bzw. DN 300)
 - Schlagzähigkeit (DIN 53453); bis 23°C
alle Rohre und Formstücke
 - Kugelfallversuch (DIN EN 744); $\pm 0^\circ\text{C}$, $+ 20^\circ\text{C}$
alle Rohre und Formstücke
 - E-Modul-Biege (DIN EN ISO 178); 1 min, 24 h, Kriechmodul 100 Jahre
alle Rohre und Formstücke
 - Biegespannung (DIN EN ISO 899-2); 1 min, 24 h, 100 Jahre
alle Rohre und Formstücke
 - Ringsteifigkeit (Kriechverhalten)
 - a) Kurzzeitversuch (DIN EN ISO 9969)
 - b) Langzeitversuch (DIN 16961-2)Kanalrohre und Formstücke: coextrudiert und profiliert
 - Abriebverhalten (DIN 19534-2);
Kanalrohre und Formstücke: coextrudiert und profiliert

3. Einleitung

Reines Polyvinylchlorid (PVC)-Pulver kann ohne Stabilisierung nicht zu Halbzeugen oder Fertigprodukten verarbeitet werden, weil es sich bei den erforderlichen Verarbeitungstemperaturen von etwa 200°C thermisch zersetzt.

Erste Stabilisierungsversuche erfolgten auf Soda-Basis (Natriumcarbonat), aber erst der Einsatz von Natriumphosphat führte um 1935 zu den ersten brauchbaren Rohren, die auch nach 60-jährigem Einsatz noch funktionstüchtig waren [1].

Aber erst der Einsatz von Stabilisatorsystemen auf der Basis von Bleiverbindungen führte zu hoher thermischer Stabilität und den heute geforderten Gebrauchstauglichkeiten von mehr als 100 Jahren.

Obwohl die Stabilisatoren fest in der PVC-Matrix gebunden und nicht mehr bioverfügbar sind, gerieten sie um 1990 in die politische Diskussion über die Reduzierung der Schwermetalle Pb und Cd. Obzwar eine Substitution der bewährten Pb-Stabilisatoren aus ökologischen Gründen nicht erforderlich ist, haben die Rohrerhersteller auf diese Diskussion reagiert, um kurzfristige Maßnahmen auf evtl. politische Vorgaben vermeiden zu können.

Unter Federführung des Kunststoffrohrverbandes (KRV) haben die PVC-U-Rohrerhersteller am 08.03.1994 den Arbeitskreis „PVC-U-Langzeitverhalten“ gebildet. Dieser Arbeitskreis hat in einem Gemeinschaftsversuch das Verhalten von PVC-U-Rohren mit unterschiedlichen Stabilisierungssystemen aus Pb, CaZn und Sn untersucht. Die durchgeführten Prüfungen wurden auf Eigenschaften begrenzt, welche am ehesten Unterschiede zwischen den drei Stabilisierungssystemen erwarten ließen.

Nachdem sich im Zeitstandverhalten bei 60°C und 80°C Unterschiede auch zwischen Rohren ergaben, welche mit gleichartigen Systemen stabilisiert waren (siehe Vorbedingungen), wurde erkannt, dass zur Sicherung eines der Pb-Stabilisierung vergleichbaren Langzeitverhaltens eine Optimierung der neuen Stabilisatorsysteme und deren eingehende Untersuchung im Zeitstand-Innendruckversuchen erforderlich waren.

Auf Initiative des KRV wurde am 25. Januar 1996 ein Gemeinschaftsausschuss „Neue Stabilisierungen für PVC-U-Rohre und -Rohrleitungsteile“ gebildet. Es gelang alle namhaften Rohrerhersteller, Additivhersteller und PVC-Rohstoffherzeuger für die Mitarbeit in diesem GEA zu gewinnen. Die gemeinsame Anstrengung führte zu einem umfassenden Untersuchungsprogramm an 8 PVC-U-Rohren mit 4 unterschiedlichen CaZn-, 2 verschiedene Sn-, 1 organischer (OS) und einer Standard-Pb-Stabilisierung. In Anlehnung an frühere FNK-Untersuchungen wurden dazu zunächst Rohre der Dimension 32 x 2,4 mm eingesetzt, welche später durch Rohre 160 x 4,7 mm ergänzt wurden.

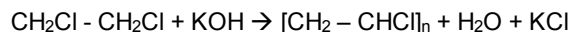
Die an diesen Rohren durchgeführten Untersuchungen umfassen deren

- mechanische Eigenschaften
- thermische Alterung im Temperaturbereich (60 - 120)°C
- Widerstandsfähigkeit gegen Chemikalieneinwirkung
- Wetterbeständigkeit bei natürlicher Bewitterung
- Langzeitverhalten im Zeitstand-Innendruckversuch bei (20 - 80)°C
- hygienische Eigenschaften (entsprechend KTW-Empfehlung)
- Recyclingfähigkeit.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im nachstehenden Bericht zusammengefasst.

4. Historische Entwicklung des PVC

Polyvinylchlorid (PVC) ist der älteste Kunststoff überhaupt. Die Polymerisation des PVC wurde bereits 1835 von Henry Victor Regnault entdeckt. Er beobachtete in Liebig's Gießener Labor, dass aus einem Gemisch von 1.2 Dichlorethan und alkoholischer Kalilauge unter Einwirkung von Sonnenlicht ein weißes Pulver, das Polyvinylchlorid, $[\text{CH}_2\text{-CHCl}]_n$ ausfiel.



Es dauerte jedoch nahezu ein Jahrhundert, bis 1928 in USA und 1930 bei der BASF in Rheinfelden mit seiner technischen Nutzung begonnen wurde. Doch das nun in der Größenordnung von einigen Tonnen zur Verfügung stehende PVC konnte zunächst nicht verarbeitet werden. Obwohl die wichtigsten Verarbeitungsmaschinen, wie Knetter, Kalander, Spritzgussmaschinen und sogar Extruder schon zur Verfügung standen und in der Kautschuk- und Celluloidverarbeitung auch großtechnisch eingesetzt wurden, gelang es nicht, das PVC zu plastifizieren, weil dabei die üblichen Temperaturen von 90 - 120°C zunächst nicht ausreichten.

Deshalb wick man zuerst auf die Herstellung von Mischpolymerisaten aus [2]. Diese „Igelit MP“ ließen sich unter celluloidartigen Bedingungen bei unter 120°C zu Folien, Kabelmassen, Bodenbelägen, Schallplatten usw. verarbeiten. Ein weiterer Ausweg ergab sich durch die Nachchlorierung [3]. Das „Igelit PC“ war leicht löslich und wurde in der Lack- und Klebstoffindustrie eingesetzt. Darüber hinaus wurden aus „Igelit PC“ die ersten synthetischen Fasern der Welt hergestellt [4].

Innerhalb weniger Jahre gelang es dann aber den Verarbeitungstechnikern in Bitterfeld durch Beimischung von Additiven, die Thermostabilität des PVC und damit die Verarbeitungstemperaturen zu erhöhen und auch das „Igelit PCU“ bei 160 - 165°C zu plastifizieren. Damit war gezeigt, dass die an sich geringe Thermostabilität des reinen PVC-U durch geeignete Zusätze so verbessert werden kann, dass seine Weiterverarbeitung möglich ist. Dies wurde zuerst mit einer Soda-Stabilisierung erreicht, die aber sehr schnell durch eine Natriumphosphat-Stabilisierung verbessert wurde. Gleichzeitig stellte man fest, dass die für die Verarbeitung wichtigen rheologischen Eigenschaften durch Gleitmittel wie Paraffin günstig beeinflusst werden konnten.

Neben Tafeln, Folien, Stäben gehörten Rohre zu den ersten Erzeugnissen aus „Igelit PCU“. Die in den Jahren 1934 - 1941 unter der Bezeichnung „Igelit“ und „Vinidur“ hergestellten naturbraunen Rohre von 5 mm bis 120 mm Außendurchmesser wurden praktisch sofort in der Industrie und zur Wasserversorgung eingesetzt und mit Betriebsüberdrücken von 3,5 bis 6 bar betrieben. Sie befinden sich teilweise noch heute im Einsatz. 1991 konnten solche Rohrabchnitte aus 1938 in Bitterfeld installierten Trinkwasserrohren entnommen und untersucht werden. Die Zeitstand-Innendruckversuche an diesen 53 Jahre lang mit 4-5 bar betriebenen Igelit-Rohren (25 x 2,9 mm) und (32 x 3,8 mm) lieferten im Prüfungszeitraum bis zu 10.000 h lineare Zeitstandkennlinien. Deren Extrapolation ergibt für eine Restlebensdauer von etwa 100 Jahren Mindestbruchspannungen von ca. 3,5 bzw. 4,5 N/mm² bei 20°C, was einem zulässigen Innendruck von 10 – 11 bar entspricht [1].

5. Entwicklung der PVC-U-Rohre

Mit dem schnellen Einsatz als Druckrohr wurde bestätigt, dass PVC-U durchaus als Konstruktionswerkstoff geeignet ist. Der praktische Einsatz wurde von Anfang an durch sorgfältige Untersuchungen der Werkstoffeigenschaften begleitet. Bereits 1940 konnte Buchmann [5] PVC-U umfassend charakterisieren und erste Prognosen zur Dauerstandfestigkeit abgeben. Auf der Basis seiner Arbeiten konnten schon 1941 die ersten Normen für PVC-Rohre erscheinen [6].

Der großtechnische Einsatz von PVC-U-Rohren begann aber erst nach 1950. Dieser wurde begleitet von der ständigen Weiterentwicklung der Polymerisation, Verarbeitungsmaschinen, Verarbeitungsbedingungen und Rezepturen, um den immer breiter werdenden Anwendungsbereich abdecken zu können. Inzwischen war auch die Natriumphosphat-Stabilisierung durch die Bleistabilisierung abgelöst. Mit den Pb-Stabilisierungssystemen wurde die thermische Stabilität weiter erhöht. Die bis heute übliche Pb-Stabilisierung hat es ermöglicht, die Verarbeitungstemperaturen und die Extruderleistung zu erhöhen sowie großdimensionierte PVC-U-Rohre herzustellen. In dieser Zeit wurden auch systematische Zeitstand-Innendruckversuche aufgenommen, die sich zunächst aber auf Normaltemperaturen beschränkten. Es war K. Richard, der seine Erfahrung mit warmfesten Stählen auf Kunststoffrohre übertrug. Seine Initiative bewirkte 1955 die Bildung des UA 12.2 im „Fachnormenausschuss Kunststoffe“ des DIN. Ab dem 19.06.1956 nahmen die Rohrerhersteller und Rohstoffherzeuger umfangreiche gemeinsame Zeitstand-Innendruckversuche nicht nur bei Normaltemperaturen sondern bei Temperaturen bis zu 80°C an Rohren aus PVC-U, PE-hart und PE-weich auf [7-12]. Diese Gemeinschaftsversuche, welche in der ISO/TC5/SC6 „Kunststoffrohre“ eine breitere internationale Basis erhielten, ermöglichten es, aus dem bei höheren Temperaturen relativ schnell ermittelten Zeitstand-Innendruckverhalten ein Extrapolationsverfahren anzugeben, mit dem sich die zulässigen Belastungsgrenzen für eine 50-jährige Gebrauchstauglichkeit bei 20°C bestimmen ließen. Aus diesen bis heute gültigen Basisversuchen (Bild 1) wurden außer den Zeitstandkennlinien für das Langzeitverhalten auch die Sicherheitsbeiwerte für die unterschiedlichen Rohrwerkstoffe und die zur Qualitätssicherung der Rohre erforderlichen Mindeststandzeiten in Zeitstand-Innendruckversuchen ermittelt und in der 1960 herausgegebenen Neufassung der DIN 8061 festgelegt.



Bild 1: PVC-U-Rohre 32x2,4 mm Wavin und Dynadur seit 21.07.1959 bzw. 24.11.1956 bei 20°C unter 35 bar Innendruck (20,4 N/mm²) am 22.04.2002

6. Vorbedingungen

Die nach 1950 beginnende schnelle Ausweitung der Einsatzgebiete und Durchmesser der PVC-U-Rohre ist eng verbunden mit der Einführung von Stabilisatorsystemen auf Pb-Basis. Die Pb-Stabilisatoren führten zu einer hohen thermischen Stabilität und sicherten die geforderte Langzeit-Gebrauchstauglichkeit der Rohre von 50 bzw. 100 Jahren.

Zwar sind die Stabilisatoren fest in der PVC-Matrix gebunden und nicht mehr bioverfügbar, was durch entsprechende Zulassungs- und ständige Überwachungsprüfungen an Trinkwasserrohren über Jahrzehnte nachgewiesen ist. Trotzdem wurde Anfang der 90er Jahre die politische Diskussion über die Eliminierung bzw. Reduzierung des Einsatzes von Schwermetallen wie Cd und Pb auch auf Stabilisierungssysteme für Kunststoffe ausgedehnt. Obwohl eine Substitution der bewährten Pb-Stabilisierung aus ökologischen Gründen nicht erforder-

lich ist, haben die PVC-Rohrhersteller die Stabilisatordiskussion aufgegriffen. Im Bewusstsein um die Bedeutung des Langzeitverhaltens und zur Vermeidung kurzfristiger Reaktionen auf politische Vorgaben haben die im Kunststoffrohrverband e.V. und der Gütegemeinschaft Kunststoffrohre e.V. zusammengeschlossenen Rohrhersteller am 08. März 1994 einen Arbeitskreis „PVC-U-Langzeitverhalten“ gebildet.

Ziel dieses Arbeitskreises war die Untersuchung der Auswirkungen anderer Stabilisatorsysteme auf das Langzeitverhalten von PVC-U-Rohren. Dazu wurden Vergleichsversuche an Rohren mit der üblichen Pb-, sowie mit CaZn- und Sn-Stabilisierung, für welche in anderen Anwendungsgebieten (z.B. der Fensterprofilextrusion) schon Erfahrungen vorlagen, vereinbart. Aus Platzgründen wurden dazu Rohre (32 x 2,4 mm) und (63 x 3,0 mm) eingesetzt. Von 4 Mitgliedsfirmen wurden 11 Rohre zur Verfügung gestellt, davon 4 mit unterschiedlichen Pb-, 6 mit unterschiedlichen CaZn- und 1 mit Sn-Systemen stabilisiert. Das Prüfprogramm wurde auf die Eigenschaften beschränkt, welche Unterschiede zwischen den Stabilisierungssystemen erwarten ließen (Tabelle 1).

Rohr-Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Stabilisatorsystem		CaZn	Pb	Pb	Sn	Pb	CaZn	CaZn	CaZn	CaZn	Pb	CaZn
Dimensionen	mm	32x2,5	32x2,5	32x2,1	63x4,8	63x3,0	63x3,0	63x3,0	32x2,6	32x2,5	32x2,5	32x2,5
Wasseraufnahme	mg	148	70	78	143	94	109	105	183	186	82	161
DIN 8061, 4.5	mg/cm ²	1,61	0,76	0,84	1,33	1,01	1,07	1,03	1,89	1,90	0,86	1,64
	%	0,89	0,42	0,56	0,45	0,48	0,53	0,52	1,07	1,13	0,49	0,95
Längenänderung	mm	-4,52	-3,47	-4,14	-3,51	-6,48	-5,19	-6,78	-4,11	-4,66	-3,23	-5,08
DIN 8061, 4.6	%	-2,27	-1,47	-2,08	-1,76	-3,25	-2,96	-3,39	-2,06	-2,33	-1,61	-2,89
Vicat-Erweichungs- temperatur (VST)	°C	82	84	85	83	84	82	83	83	83	85	83
DIN EN ISO 306												
Dehydrochlorierungs- zeit	min	28	37	41	21	25	34	16	28	32	39	27

Tabelle 1: Eigenschaftswerte der PVC-U-Rohre des Vorversuchs im Anlieferungszustand

Die Ermittlung des Zeitstand-Innendruckverhaltens wurde auf Temperaturen von 60°C und 80°C beschränkt. Zwar liegt die Prüftemperatur von 80°C schon im Bereich der Vicat-Erweichungstemperatur der untersuchten Rohre, doch lassen sich bei dieser Grenztemperatur in relativ kurzer Zeit differenzierte Zeitstandkennlinien und eventuell bilineare Kennlinien mit Steilabfall erwarten. Mit der Durchführung der Prüfungen wurde die „Stoff- und Systemprüfung“ der HT-Troplast AG in Troisdorf beauftragt.

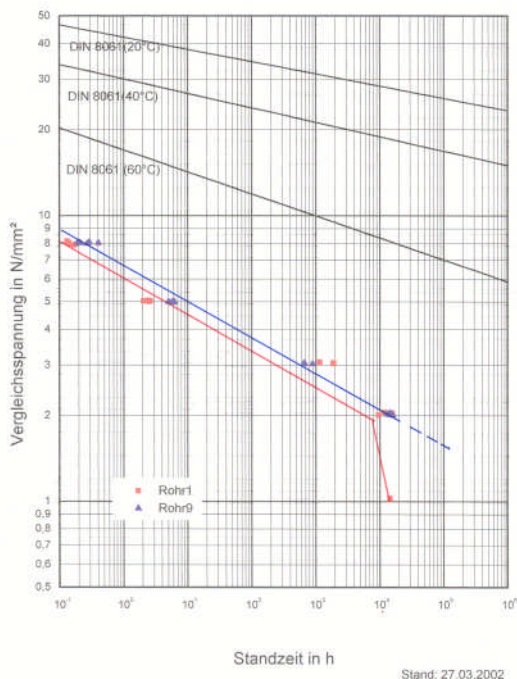


Bild 2: Zeitstandverhalten von Rohren aus PVC-U
Rohr 1 und 9 aus Vorversuch bei +80°C

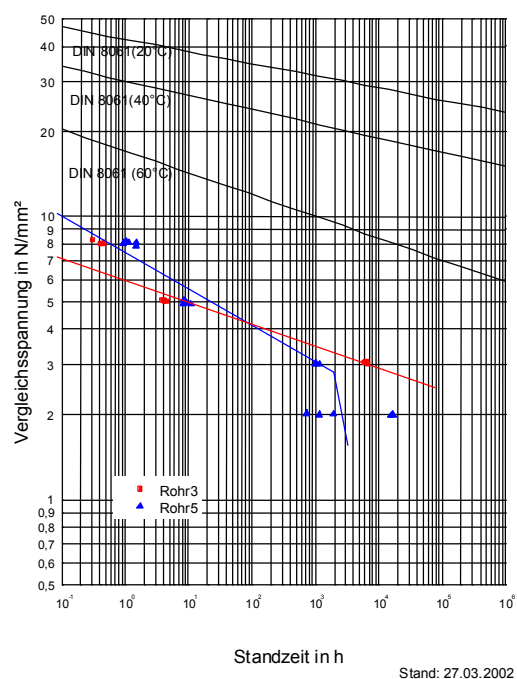


Bild 3: Zeitstandverhalten von Rohren aus PVC-U
Rohr 3 und 5 aus Vorversuch bei +80°C

Der Einfluss der Rezeptur auf das Zeitstandverhalten wurde durch die Voruntersuchung bestätigt. Bei 80°C werden mit beiden Stabilisierungssystemen sowohl lineare als auch bilineare Zeitstandkennlinien erhalten (Tabelle 2, Bilder 2 + 3).

Vergleichsversuche bei 60°C mit i.W/a.Luft in der Prüfanlage der Fa. Friatec ergaben keine charakteristischen Unterschiede zu den mit i.W/a.W (innen Wasser/außen Wasser) erzielten Standzeiten.

Diese Ergebnisse des Vorversuches zeigten die Notwendigkeit von sorgfältigen Zeitstand-Innendruckversuchen zur Ermittlung geeigneter Rezepturen mit ausreichendem Langzeitverhalten auf. Deshalb wurde am 25. Januar 1996 unter Federführung des Kunststoffrohrverbandes e.V. (KRV) ein Gemeinschaftsausschuss „Neue Stabilisierungen für PVC-U-Rohre und -Rohrleitungsteile“ gebildet, in dem Rohr- und Additivhersteller zur Klärung der offenen Fragen zusammenarbeiten.

Rohr-Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Stabilisatorsystem		CaZn	Pb	Pb	Sn	Pb	CaZn	CaZn	CaZn	CaZn	Pb	CaZn
Dimensionen (mm)		32x2,5	32x2,5	32x2,1	63x4,8	63x3,0	63x3,0	63x3,0	32x2,6	32x2,5	32x2,5	32x2,5
80°C	1 N/mm²	14407	>66720	≥19360**					>63600	>11884*	≥18820**	
		≥21595**	>66720	≥19360**					>63600	≥18820**	≥18820**	
		≥21595**	>66720	≥19360**					>63600	≥18820**	≥18820**	
		≥21595**	>66720	≥19360**					>63600	≥18820**	≥18820**	
		14457	>66720	≥19360**					>63600	≥18820**	≥18820**	
	2 N/mm²	9579	9144	≥19360**		720			21584	15031	>11705*	
		14014	9652	≥19360**		1896			29988	14264	≥18820**	
		15533	>4270*	≥19360**		1140			>14456*	15965	≥18820**	
		11838	16870	≥19360**		15605			22756	14264	>11705*	
		15650	>4270*	≥19360**		16630			24934	12850	>14431*	
	3 N/mm²	1152	2925	5797	993	960	485	801	4852	648	≥16995**	6162
		1872	3624	6905	1000	1008	411	607	4872	672	≥16995**	7024
		1896	3720	6258	1359	1152	332	680	4893	888	16995	7722
	5 N/mm²	2,51	2,75	3,81	52,45	8,12	26,84	18,60	4,73	5,78	12,52	5,96
		2,62	2,91	4,09	110,12	8,92	10,50	17,50	5,28	5,03	13,25	3,59
		2,46	2,85	3,91	72,14	8,19	6,51	24,10	3,84	5,62	12,80	5,35
		2,45	2,74	4,43		9,16			4,84	6,07	13,27	3,17
		2,05	2,64	4,15		10,77			5,10	6,05	18,20	7,24
	8 N/mm²	0,17	0,25	0,45	1,34	1,46	1,92	3,56	0,36	0,19	1,01	0,37
		0,13	0,21	0,47	2,21	1,03	1,32	2,86	0,39	0,29	0,55	0,39
		0,14	0,23	0,40	1,36	1,49	1,77	2,68	0,31	0,40	1,31	0,57
		0,14	0,22	0,30		0,94			0,34	0,27	0,44	0,35
		0,18	0,19	0,43		1,13			0,14	0,21	0,47	0,50
60°C	15 N/mm²	627	1558	1042	8884	542	837	1245	14531	185	10091	3249
		839	2672	11643	7010	2763	2660	1459	3485	2382	5305	3600
		1558	2704	14664	12976	2800	3368	1072	5237	2939	9283	4784
60°C	Berstdruck		34,45		34,37	38,19	37,22	38,59				32,62
20°C	N/mm²		65		62,2	58,3	60,3	60,2				60,72
** = Versuch abgebrochen		* = Einspannung defekt								Stand: 19.03.2002		

Tabelle 2: Standzeiten der PVC-U-Rohre aus Vorversuch im Zeitstand-Innendruckversuch

In einem Prüfprogramm, welches selbst den Umfang der FNK-Basisuntersuchung von 1956 übertraf, wurden an 8 PVC-U-Rohren verschiedener Rohrersteller mit 4 unterschiedlichen CaZn-, 2 unterschiedlichen Sn-, 1 organischer (OS) und 1 Standard-Pb-Stabilisierung umfassend die:

- mechanischen Eigenschaften
- hygienischen Eigenschaften
- thermische Alterung
- chemische Widerstandsfähigkeit
- Wetterbeständigkeit und als Schwerpunkt das
- Langzeitverhalten im Zeitstand-Innendruckversuch ermittelt.

7. Ergebnisse des Hauptversuches

Auch der Hauptversuch wurde an Rohren (32 x 2,4 mm) durchgeführt, obwohl sich bereits bei den Vorversuchen gezeigt hat, dass bei dieser kleinen Rohrdimension die verfahrenstechnischen Probleme größer sind als bei normalen Rohrabmessungen von DN 100 bzw. 150 mm. Da aber allein für die Zeitstand-Innendruck-Prüfung 1252 Prüfkörper eingesetzt werden mussten, hätten größere Rohre die Kapazität der Prüfstelle überfordert und auch die Prüfkosten wesentlich erhöht. Natürlich wurden die Zeitstand-Innendruckprüfungen nicht nur auf Rohre (32 x 2,4 mm) beschränkt, sondern mit Rohren 160 x 4,7 mm überprüft. Dabei wurden die Zeitstand-Untersuchungen dieser Rohre auf die Temperaturen von 20°C und 60°C reduziert, während die DN 25-Rohre (32 x 2,4 mm) bei 20°C, 40°C, 60°C, 65°C, 70°C, 75°C und 80°C in Zeitstand-Innendruckversuchen geprüft wurden. Die Temperaturen über 60°C bis zur Grenztemperatur von 80°C wurden gewählt, um die Sicherheit der Extrapolation sowohl nach ISO DIS 9080 als auch nach Arrhenius zu gewährleisten und um eventuelle thermische Alterungsvorgänge erkennen zu können.

7.1 Physikalische Eigenschaftswerte

Die mechanischen Eigenschaftswerte wurden an Prüfkörpern aus den Rohren 32 x 2,4 mm im Anlieferungszustand ermittelt. Die in Tabelle 3 zusammengefassten Werte zeigen einmal, dass die Anforderungen der DIN 8061 von allen Rohren erfüllt werden [13]. Sie lassen aber auch am Kugelfallversuch [14] und am Methylchloridtest [15] erkennen, dass die Rohre nicht optimal plastifiziert sind, was durch die Beobachtungen bei der Extrusion bestätigt wird, wonach beim Einsatz der neuen Stabilisatorsysteme andere Verfahrensbedingungen erforderlich sind.

7.2 Zeitstand-Innendruckversuche

Die Untersuchung des Zeitstand-Innendruckverhaltens wurde an den Mindestbruchkurven der DIN 8061 ausgerichtet. Die ausgewählten Prüftemperaturen wurden jedoch über die in der DIN 8061 angegebene obere Grenztemperatur von 60°C erweitert und Prüfungen auch bei 65°C, 70°C, 75°C und 80°C vorgenommen.

Das widerspricht zwar dem Grundsatz Zeitstand-Innendruckversuche nur bis zu Temperaturen durchzuführen, die 20°C unter dem Glasumwandlungsbereich (der Vicat-Erweichungstemperatur) bzw. dem Kristallit-Schmelzpunkt bei kristallinen Rohrwerkstoffen (Polyolefine) liegen. Da frühere Untersuchungen an PVC-U-Rohren auch bei 80°C noch lineare Zeitstandkennlinien und Arrheniusgeraden ergeben haben [16, 17], wurde auch der Temperaturbereich von 60°C bis 80°C in das Prüfprogramm einbezogen, um die Basis für die Extrapolation auf die Einsatztemperatur nach DIN 16887 [18] und ISO DIS 9080 [19] zu verbreitern.

Die Auswahl der Prüfspannungen erfolgte so, dass Standzeiten von mehr als 20.000 h erreicht werden konnten. Für jede vorgegebene Prüfspannung wurden je Rezeptur 5 Rohrabschnitte von 45 cm Länge hinsichtlich ihres Außendurchmessers und ihrer Wanddicke vermessen, dokumentiert (Tabelle 4) und der Prüfdruck individuell für jeden Prüfkörper nach

$$p_{e,p} = \frac{20 \times s_{\min} \times \sigma_o}{\bar{d} - s_{\min}} \quad \text{[bar]} \quad (1) \quad \text{errechnet}$$

darin bedeuten:

$s_{\min}$	=	minimale Wanddicke in der Bewertungslänge in mm
σ_o	=	vorgegebene Prüfspannung in N/mm ²
$\bar{d}$	=	mittlerer Außendurchmesser in der Bewertungslänge in mm

Die nach Rezeptur, Prüfspannung und Prüftemperatur gekennzeichneten Rohrabschnitte wurden an beiden Enden mit separaten Prüfverschlüssen verschlossen, so dass die während der Prüfung in axialer Richtung wirkenden Spannungen vom Prüfkörper aufgenommen werden (Bild 4). Durch den mit einer Öffnung versehenen Prüfverschluss werden die Probekörper vollständig mit Wasser gefüllt, an die Prüfanlage angeschlossen und bei 20°C in temperierter Luft bzw. bei höheren Temperaturen in die auf Prüftemperatur aufgeheizten Wasserbäder eingebracht (Bild 5). Nach einer Temperierungszeit von >12 h wird der Innendruck der Prüfkörper stoßfrei mit Wasserdruk auf den Prüfdruck gebracht und über Kontaktmanometer mit einer Abweichung von ±1 % bis zum Bruch der jeweiligen Probe aufrecht erhalten. Die Temperaturen der Wasserbäder schwanken um ±1°C. Die bis zum Bruch der Proben erreichten Standzeiten werden registriert und in den Prüfprotokollen (Tabelle 4) dokumentiert.

Rohr-Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8	Anforderung
Stabilisatorsystem		Sn	CaZn	CaZn	Sn	CaZn	CaZn	Pb	OS	n. DIN 8061
Dichte	g/cm³	1,393 (1,393-1,394)	1,413 (1,413-1,414)	1,406 (1,406-1,407)	1,403 (1,402-1,403)	1,391 (1,391-1,392)	1,395 (1,394-1,395)	1,417 (1,416-1,417)	1,401 (1,401-1,402)	~ 1,4
Streckspannung	N/mm²	53,6±0,7 (52,8-54,5)	50,6±1,0 (49,7-52,1)	54,0±1,0 (52,3-54,5)	54,3±0,9 (53,6-55,7)	53,0±1,0 (51,8-55,0)	54,0±1,0 (52,4-55,1)	53,8±0,5 (53,4-54,7)	52,4±0,7 (51,4-53,1)	
Dehnung bei Streckspannung	%	4,0±1,0 (3,9-4,2)	4,4±0,2 (4,2-4,6)	4,4±0,09 (4,4-4,6)	4,5±0,1 (4,3-4,7)	4,4±0,2 (4,2-4,6)	4,4±0,2 (4,3-4,7)	4,7±0,1 (4,5-4,8)	4,6±0,1 (4,4-4,7)	
Reißfestigkeit	N/mm²	34,9±0,2 (34,6-35,1)	38,3±0,5 (37,5-38,8)	38,1±0,9 (37,2-39,4)	38,0±1,0 (36,1-38,7)	36,1±1,0 (34,9-38,0)	35,7±0,8 (34,7-36,2)	36,5±0,7 (35,8-37,2)	36,6±0,3 (36,2-37,0)	
Reißdehnung	%	25,0±2,0 (24,1-28,2)	38,0±8,0 (33,7-47,1)	30,0±5,0 (26,1-38,2)	30,0±3,0 (27,4-35,1)	29,0±2,0 (26,4-32,2)	31,0±3,0 (29,0-36,6)	34,0±9,0 (30,0-49,8)	50,0±3,0 (28,2-100)	
E-Modul (Zugvers.)	N/mm²	2925 (2880-2970)	3130 (3100-3160)	2925 (2890-2960)	2940 (2930-2950)	3105 (3100-3110)	3040 (3020-3060)	3005 (3000-3010)	2580 (2520-2670)	
Schlagbiegeversuch	+23°C	-	10 ng	10 ng	10 ng	10 ng	10 ng	10 ng	10 ng	9 ng/1 g
	±0°C	-	10 ng	10 ng	10 ng	10 ng	10 ng	10 ng	10 ng	
	-20°C	kJ/m²	6 ng / 4 g (50±10)	10 ng	10 ng	9 ng / 1 g (51,4)	8 ng / 2 g (45±2,0)	10 ng	10 ng	
	-40°C	kJ/m²	50,0±20 (28,7-68,3) 1 ng	10 ng	50,0±20 (32,4-71,6) 5 ng	7 ng / 3 g (64±10)	9 ng / 1 g (65,7)	4 ng / 6 g (50±10)	9 ng / 1 g (73,0)	9 ng / 1 g (83,6)
Kugelfall 1. Versuch Fallgewicht: 0,5 kg Fallhöhe: 0,6 m	+20°C	-	20 ng	-	20 ng	-	17 ng / 3 g	20 ng	20 ng	
	±0°C	-	15 ng / 5 g	40 ng	18 ng / 2 g	18 ng / 2 g	40 ng	13 ng / 7 g	17 ng / 3 g	
	-20°C	-		15 ng / 5 g	-	-	5 ng / 15 g	-	-	
Kugelfall DIN 744-95 (0,5 kg/0,6 m)	±0°C	-	86 ng / 34 g	136 ng / 4 g	155 ng / 15 g	100 ng / 20 g	183 ng / 7 g	91 ng / 29 g	157 ng / 13 g	123 ng / 27 g
Konditionierung: Luft 1 h; ±0°C Beurteilung	-	C	A	B	C	A	C	B	C	
Doppel - V - Kerbschlag- zähigkeit r = 0,1 mm; +23°C	kJ/m²	7,0±2,0 (5,8-11,3)	11,0±2,0 (6,2-13,8)	9,0±1,0 (7,7-10,7)	8,0±1,0 (6,4-10,1)	8,0±1,0 (5,0-9,2)	6,0±0,7 (4,8-6,9)	6,2±0,7 (5,2-7,7)	10,0±1,0 (7,8-12,2)	
Vicat-Erweichungs- temperatur (VST) B 50	°C	83 (83-84)	83 (83-84)	84 (84-85)	82 (82-82)	82 (82-82)	82 (82-82)	84 (84-84)	83 (83-83)	
Maßänderung nach Warmlagerung bei +140°C nach 30 min bei +150°C nach 30 min bei +150°C nach 60 min	%	-2,1±0,1 (2,05-2,28)	-2,79±0,07 (2,74-2,87)	-2,4±0,09 (2,3-2,49)	-2,37±0,02 (2,35-2,39)	-2,62±0,01 (2,61-2,63)	-1,85±0,07 (1,78-1,9)	-2,0±0,2 (1,88-2,18)	-2,2±0,3 (2,02-2,58)	≤ 5
	%	-2,7±0,1 (2,55-2,79)	-4,30±0,4 (3,78-4,63)	-3,70±0,4 (3,4-4,15)	-2,60±0,2 (2,4-2,86)	-3,40±0,2 (3,19-3,54)	-2,60±0,2 (2,38-2,73)	-3,2±0,02 (3,18-3,22)	-3,0±0,4 (2,61-3,27)	
	%	-2,7±0,1 (2,54-2,76)	-4,40±0,2 (4,23-4,56)	-3,90±0,5 (3,32-4,37)	-3,90±0,7 (3,44-4,69)	-3,60±0,2 (3,45-3,82)	-2,70±0,1 (2,63-2,85)	-3,4±0,07 (3,36-3,49)	-3,1±0,3 (2,87-3,45)	
Homogenität nach Warmlagerung bei +150°C nach 30 min	-	keine Blasen, Risse, Aufblätterungen	keine Blasen, Risse, Aufblätterungen	keine Blasen, Risse, Aufblätterungen	keine Blasen, Risse, Aufblätterungen	keine Blasen, Risse, Aufblätterungen	keine Blasen, Risse, Aufblätterungen	keine Blasen, Risse, Aufblätterungen	keine Blasen, Risse, Aufblätterungen	
Methylenchloridtest bei +22°C nach 30 min bei +15°C nach 30 min angegriffene Fläche der An- schrägung	%	angegriffen 5	angegriffen 95	kein Angriff 0	kein Angriff 0	angegriffen 30	angegriffen 30	kein Angriff 0	angegriffen 10	
	%	angegriffen 5	angegriffen 5	kein Angriff 0	kein Angriff 0	kein Angriff 0	angegriffen 15	kein Angriff 0	kein Angriff 0	
Wasseraufnahme	mg	82 (81-83)	100 (99-101)	104 (103-105)	100 (99-101)	125 (123-126)	151 (151-152)	82 (63-106)	99 (98-100)	
	mg/cm²	1,1 (1,1-1,1)	1,3 (1,3-1,3)	1,35 (1,35-1,35)	1,3 (1,3-1,3)	1,6 (1,6-1,6)	2,0 (2,0-2,0)	1,1 (0,8-1,4)	1,58 (1,57-1,59)	
	%	0,62 (0,61-0,62)	0,76 (0,75-0,77)	0,77 (0,77-0,77)	0,73 (0,73-0,74)	0,88 (0,87-0,90)	1,06 (1,05-1,08)	0,61 (0,48-0,79)	0,99 (0,98-1,01)	
Dehydrochlorierung (DHC)	min	28	42	42	34	25	36	32	35	

ng = Anzahl der nicht gebrochenen Proben, g = Anzahl der gebrochenen Proben
A = erfüllt B = weitere Versuche erforderlich C = nicht erfüllt

Tabelle 3: Eigenschaftswerte von PVC-U-Rohren mit unterschiedlicher Stabilisierung – aus Hauptversuch im Anlieferungszustand

Materialbez.: 1		Farbe: grau				
Formel		$\sigma \text{ [N/mm}^2\text{]} = \frac{[\text{bar}] \times \text{dm}}{2 \times \text{s min} \times 10}$			Prüfdruck [bar] = $\frac{\sigma \times 2 \times \text{s min} \times 10}{\text{dm}}$	
Proben-Nr.		16	17	18	19	20
Temperatur	°C	20	20	20	20	20
Probenlängen	cm	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00
Außendurchmesser da	mm	32,20	32,20	32,20	32,20	32,20
	mm	32,20	32,20	32,20	32,20	32,20
	mm	32,20	32,20	32,20	32,20	32,20
Mittelwert da	mm	32,20	32,20	32,20	32,20	32,20
Wanddicke s	mm	2,66	2,71	2,75	2,60	2,65
	mm	2,72	2,62	2,69	2,63	2,59
	mm	2,65	2,65	2,63	2,66	2,61
	mm	2,63	2,63	2,59	2,70	2,73
	mm	2,60	2,66	2,67	2,59	2,59
	mm	2,69	2,71	2,73	2,58	2,61
	mm	2,71	2,60	2,66	2,51	2,55
	mm	2,57	2,55	2,58	2,66	2,61
	mm	2,54	2,61	2,55	2,70	2,73
	mm	2,61	2,63	2,69	2,61	2,60
Wanddicke s min	mm	2,54	2,55	2,55	2,51	2,55
2 s min	mm	5,08	5,10	5,10	5,02	5,10
dm = da – s min	mm	29,66	29,65	29,65	29,69	29,65
Spannung σ	Soll	N/mm ²	30,00	30,00	30,00	30,00
	Ist	N/mm ²	30,36	30,23	30,23	30,23
Prüfdruck	Soll	bar	51,38	51,60	51,60	50,72
	Ist	bar	52,00	52,00	52,00	52,00
Bruchart	-			Dehnbruch		Dehnbruch
Riss	-			Loch		Loch
cm von oben	cm			5,00		16,00
cm von unten	cm			40,00		29,00
Grad von der dünnsten Stelle	-			45		20
Datum:	eingesetzt	-	24.02.97	24.02.97	24.02.97	24.02.97
	Bruch	-		01.12.97		25.06.97
Standzeit	h	> 44256,00	> 44256,00	6648,00	> 44256,00	2904,00
Stand: 04.04.2004						

Tabelle 4: Prüfprotokoll für die Zeitstand-Innendruckversuche

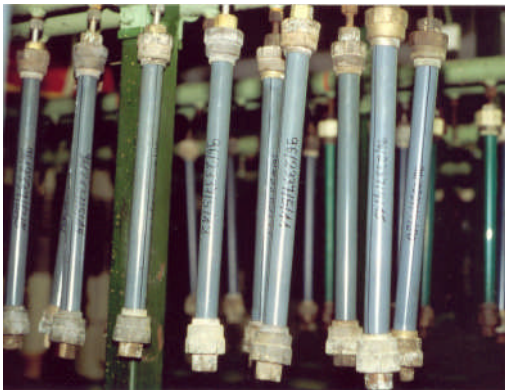


Bild 4: Prüfung des Zeitstand-Innendruckverhaltens der Rohre des Hauptversuches bei 20°C (innen Wasser / außen Luft)

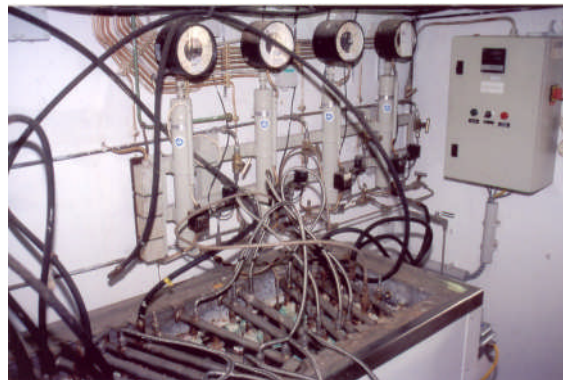


Bild 5: Prüfung des Zeitstand-Innendruckverhaltens der Rohre des Hauptversuches bei 70°C (innen Wasser / außen Wasser)

Inzwischen sind bei den Zeitstand-Innendruckversuchen Standzeiten von über 73.000 Stunden erreicht. Zur Auswertung sind die Standzeiten der gebrochenen und der noch nicht gebrochenen Proben der einzelnen Rohre in den üblichen doppelt-logarithmischen Zeitstanddiagrammen eingetragen (Bilder 6 - 13).

Zur Beurteilung sind in diese Diagramme die Mindestbruchkurven der DIN 8061 für die Temperaturen von 20°C, 40°C und 60°C eingezeichnet. Für die Temperaturen von 70°C, 75°C und 80°C sind die sich aus den Bruchpunkten ergebenden individuellen Mindestbruchkurven der untersuchten Rohre eingetragen. Aus dieser Darstellung der Zeitstand-Innendruckversuche ergibt sich folgende Beurteilung des Zeitstandverhaltens der untersuchten Rohre:

- Im Rahmen der statistischen Fehlergrenzen liegen die Bruchpunkte aller untersuchten Rohre auf bzw. über der Mindestbruchkurve der DIN 8061 bei 20°C.
- Das gilt insbesondere für die von den noch nicht gebrochenen Proben erreichten Standzeiten.
- Deshalb kann angenommen werden, dass die vor Erreichen der Mindestbruchkurve gebrochenen Proben infolge der nicht optimalen Verfahrensbedingungen versagt haben.
- Mit einer einzigen Ausnahme liegen alle Bruchpunkte aller 8 Rohre deutlich über der Mindestbruchkurve der DIN 8061 für 40°C.
- Noch deutlicher wird die Mindestbruchkurve der DIN 8061 für 60°C von allen erreichten Standzeiten überschritten.
- Das gilt mit Ausnahme des Rohres 1 sogar für die bei 65°C von den untersuchten Rohren erreichten Standzeiten.
- Die individuellen Mindestbruchkurven der einzelnen Rohre bei 70°C bzw. 80°C zeigen in ihrer Lage und ihrem Verlauf erwartungsgemäß geringfügige Unterschiede.
- Bedeutsam ist jedoch, dass die Mindestbruchkurven aller 8 Rohre auch bei diesen hohen Temperaturen bis zu den erreichten Standzeiten einen linearen Verlauf zeigen und kein Abknicken erkennen lassen. Im Gegensatz zu einigen Rohren des Vorversuchs.

Die Zeitstandkennlinien in den Bildern 6 - 21 sind durch Standzeiten bis zu 51.000 Stunden belegt.

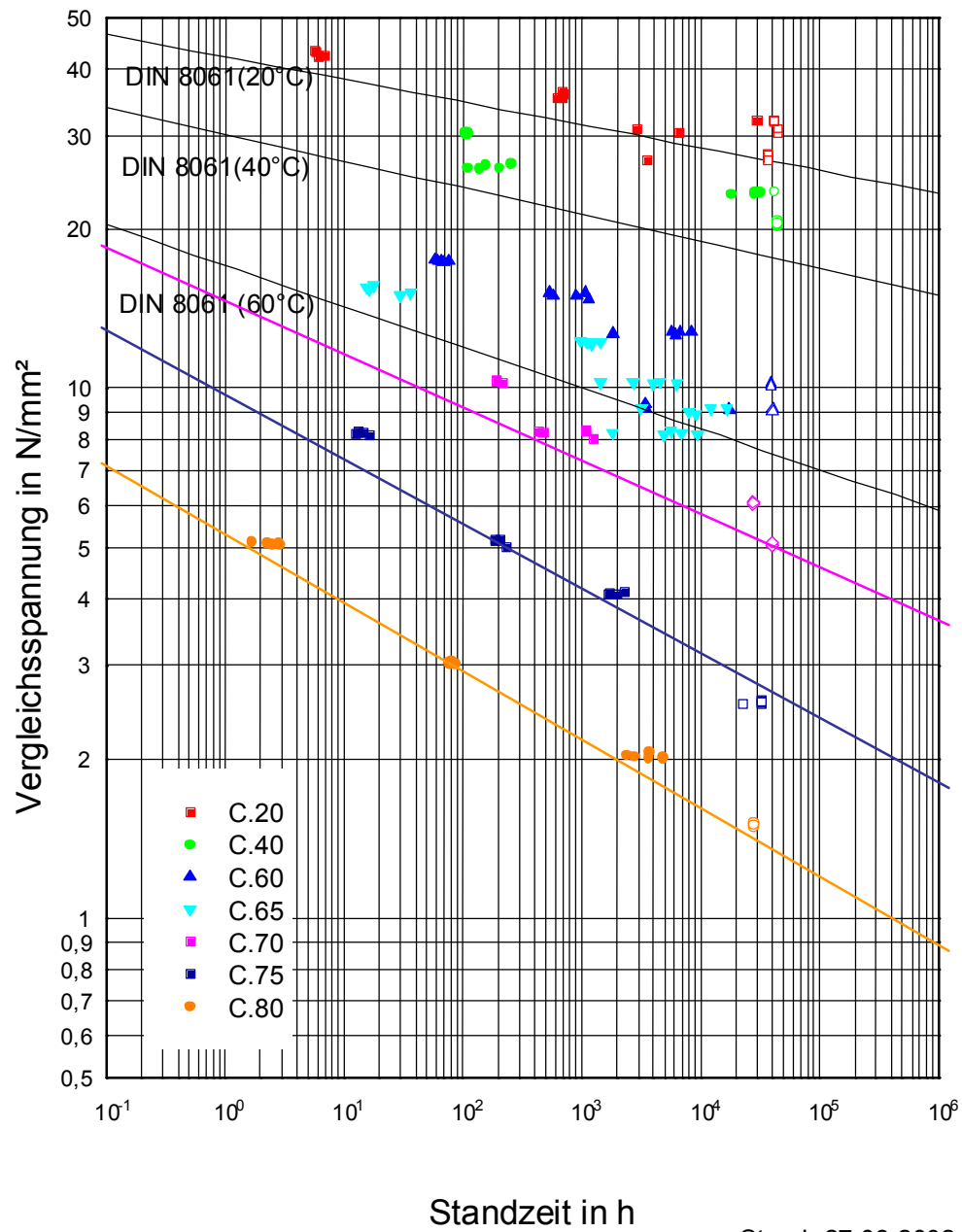
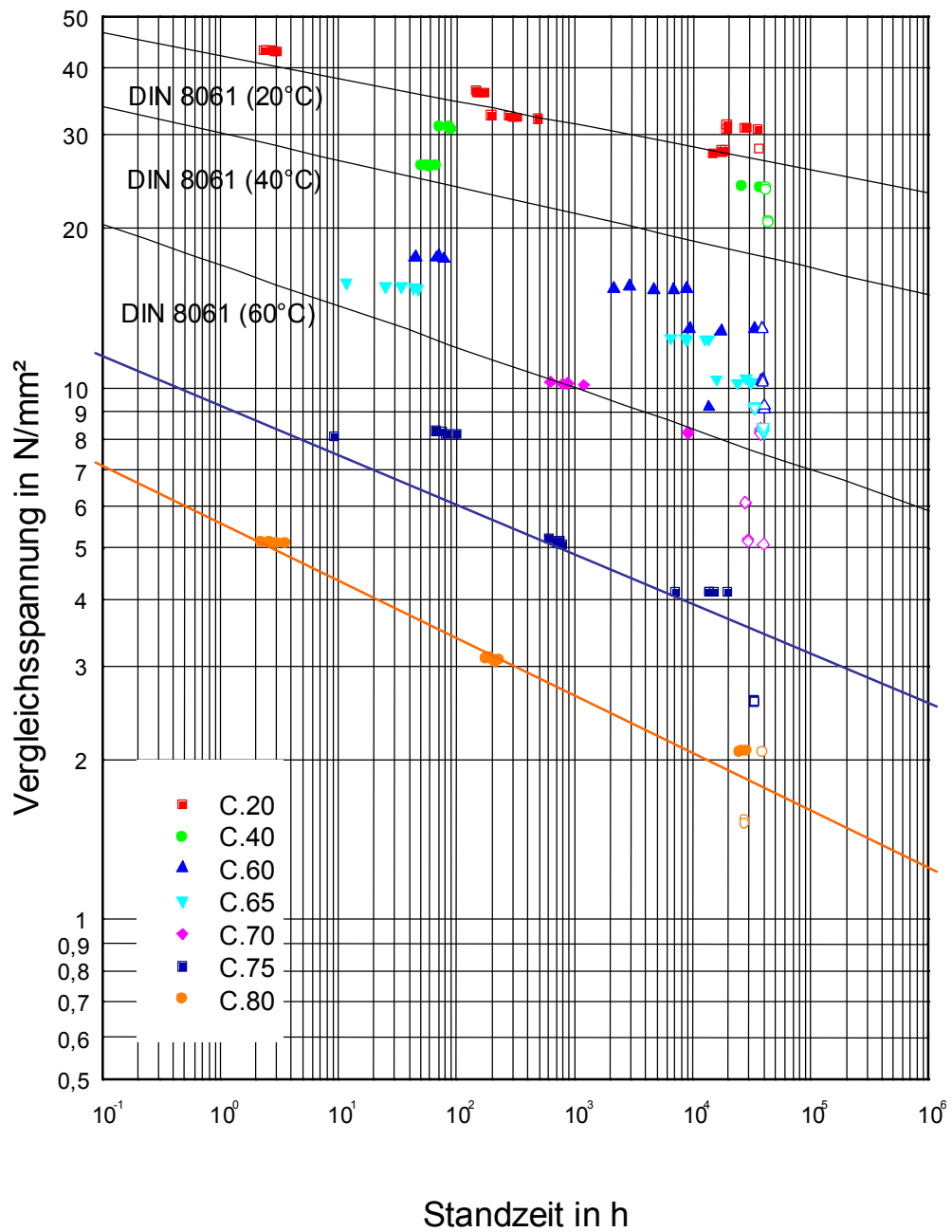
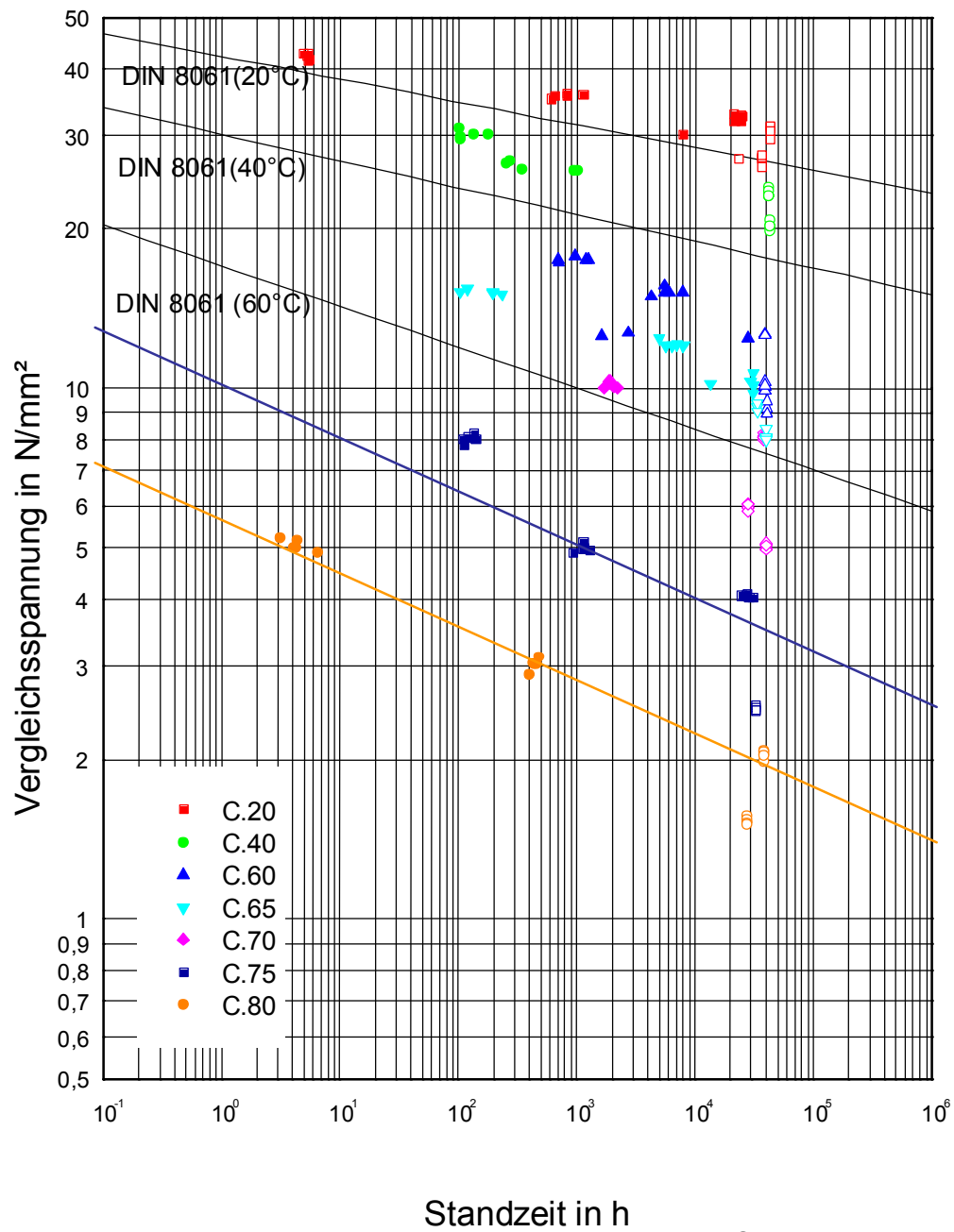


Bild 6: Zeitstandverhalten von Rohren aus PVC-U, Rohr 1



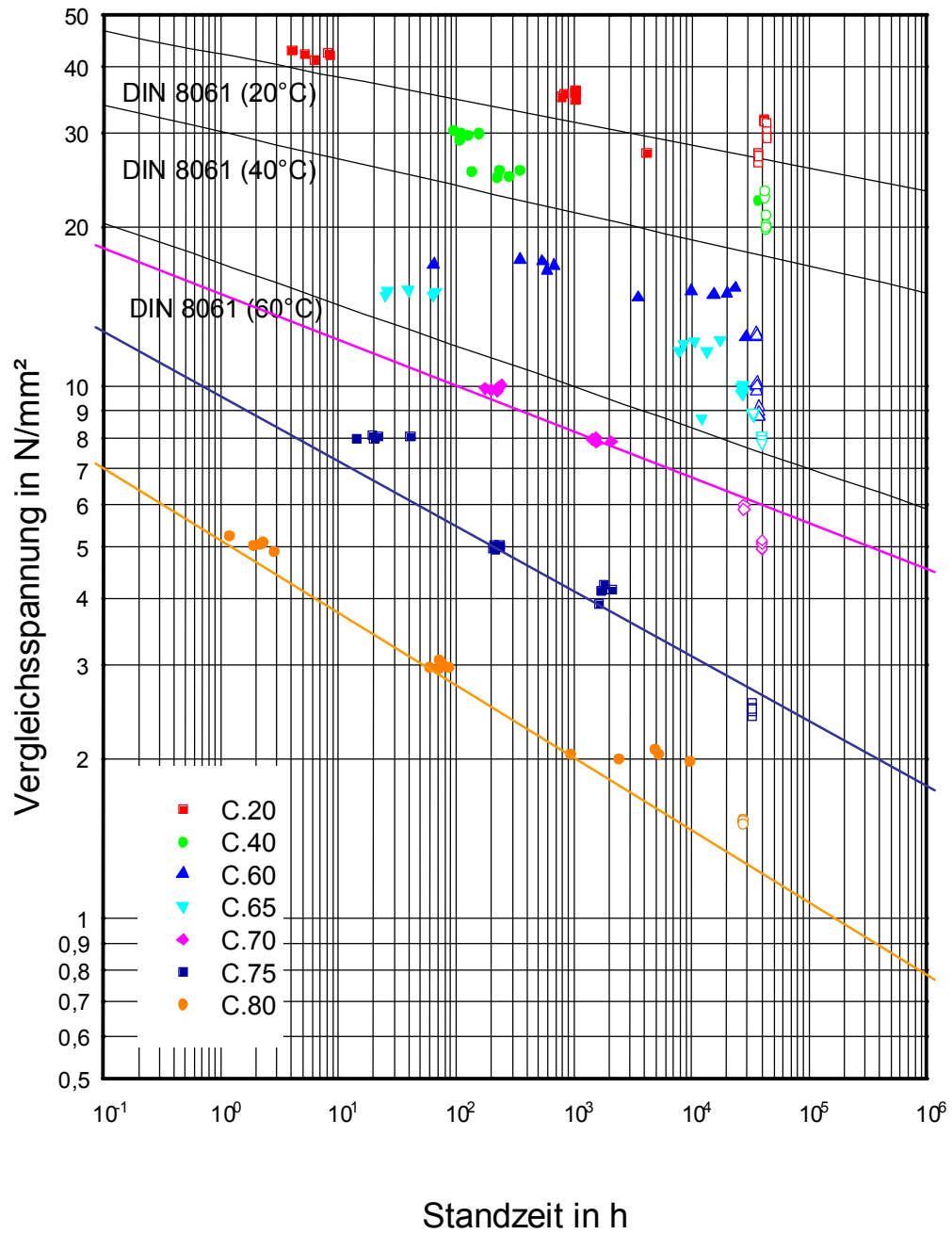
Stand 27.03.2002

Bild 7: Zeitstandverhalten von Rohren aus PVC-U, Rohr 2



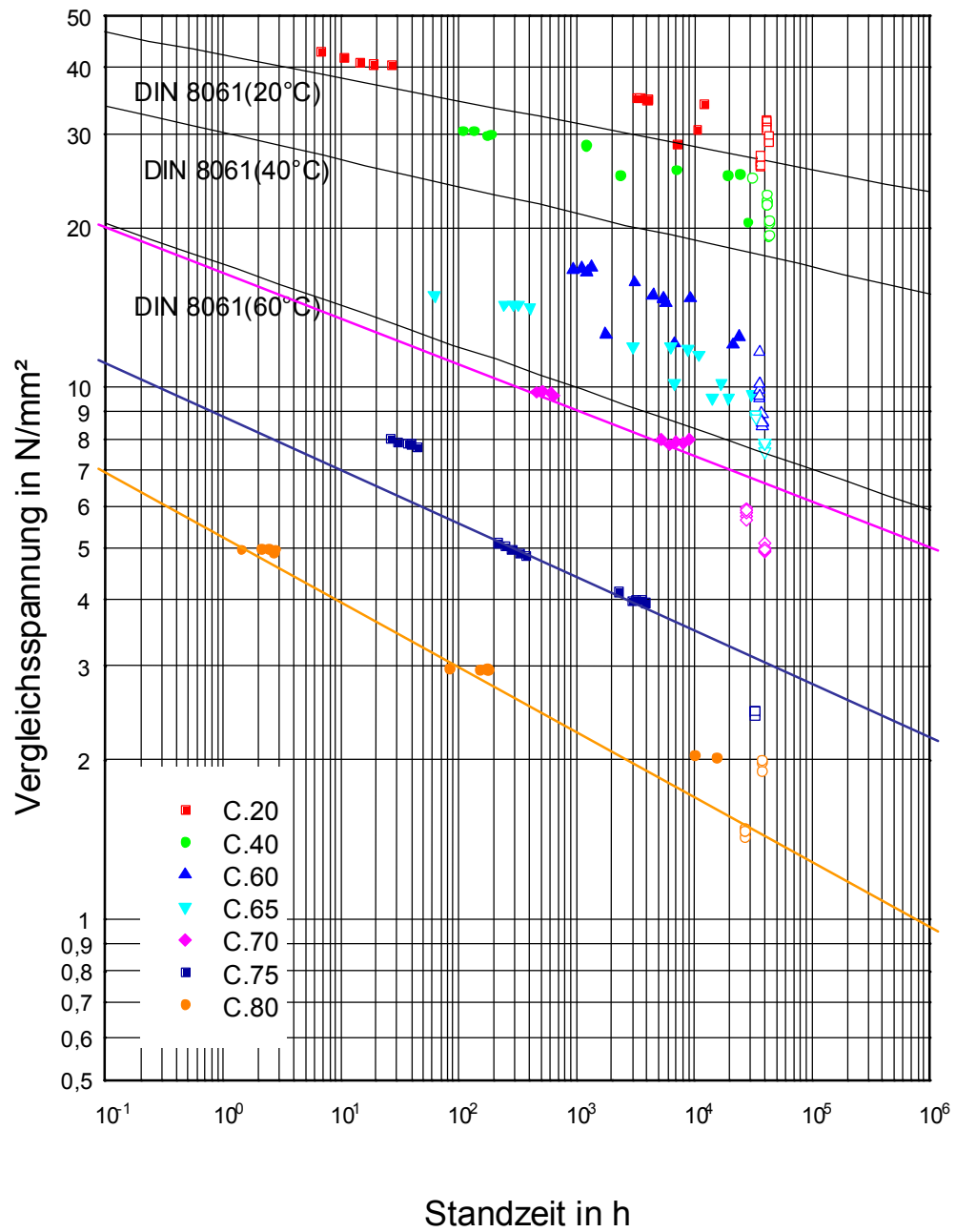
Stand: 27.03.2002

Bild 8: Zeitstandverhalten von Rohren aus PVC-U, Rohr 3



Stand: 27.03.2002

Bild 9: Zeitstandverhalten von Rohren aus PVC-U, Rohr 4



Stand: 27.03.2002

Bild 10: Zeitstandverhalten von Rohren aus PVC-U, Rohr 5

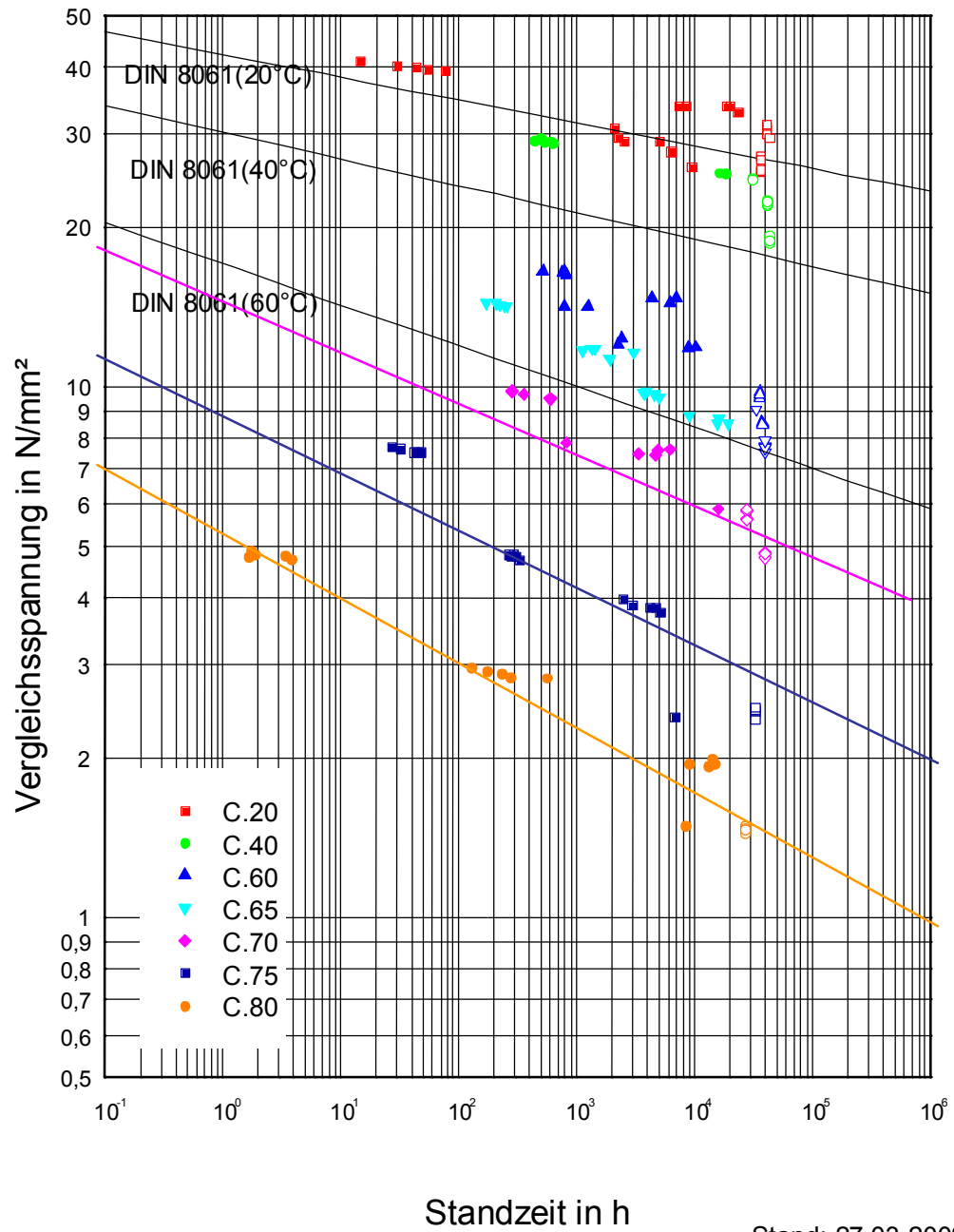


Bild 11: Zeitstandverhalten von Rohren aus PVC-U, Rohr 6

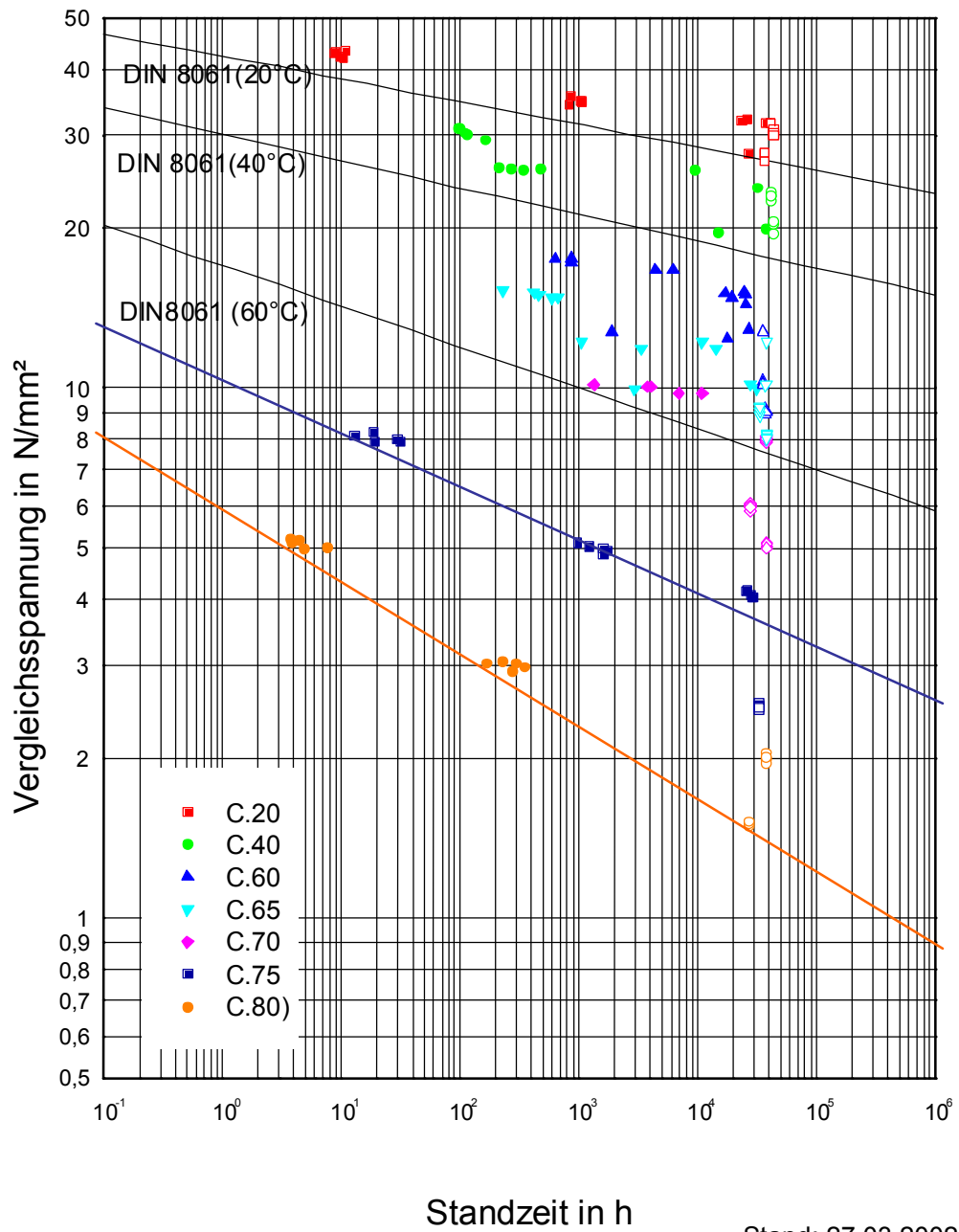
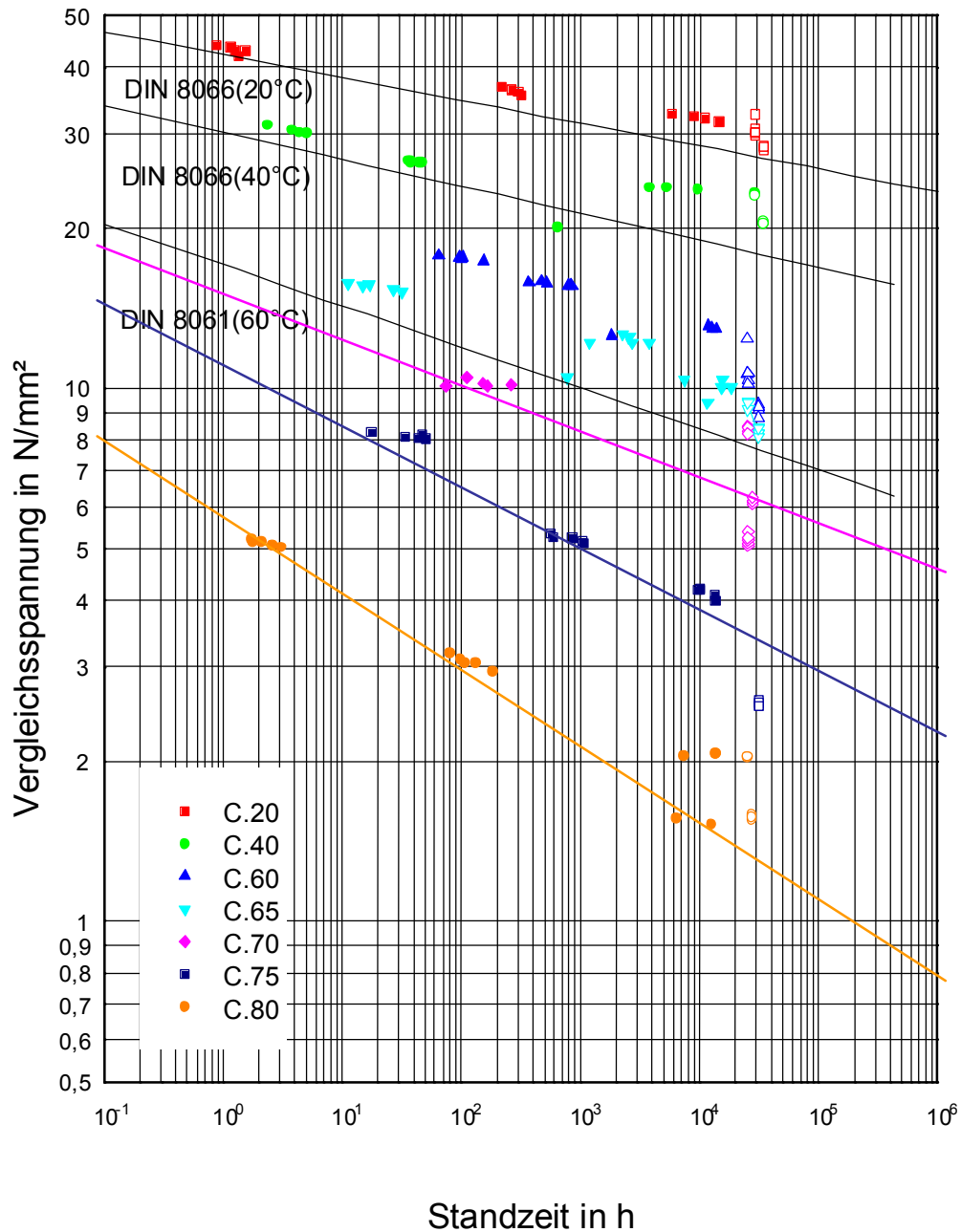


Bild 12: Zeitstandverhalten von Rohren aus PVC-U, Rohr 7



Stand: 27.03.2002

Bild 13: Zeitstandverhalten von Rohren aus PVC-U, Rohr 8

7.3 Extrapolation der Zeitstand-Kennlinien

7.3.1 Verfahren nach DIN 16887

Aufgrund dieser Ergebnisse ist eine Extrapolation auf die Betriebstemperatur erlaubt. Für die Ermittlung der Nutzungsdauer von Rohren bei Betriebstemperaturen aus Zeitstand-Innendruckversuchen bei höheren Temperaturen stehen verschiedene Extrapolationsverfahren zur Verfügung. Eine relativ einfache Bestimmung erlaubt die DIN 16887 für die Extrapolationszeit t_e nach

$$t_e = t_{\max} \cdot K_e \quad (2)$$

aus dem geometrischen Mittelwert der größten gemessenen Standzeiten $t_{\max}$ und dem von der Differenz ΔT der höchsten Prüftemperatur $t_{\max}$ und der Temperatur t_e für die die Extrapolation vorgenommen werden soll ($\Delta T = t_{\max} - t_e$) abhängigem Extrapolationszeitfaktor K_e . Dieser beträgt z.B. für ein ΔT von 10 bis 15 K = 3 und für 35 bis 40 K = 50.

Bezogen auf die für Trinkwasserrohre festgelegte Betriebstemperatur von 20°C ergeben sich aus den Prüftemperaturen von 60°C bis 80°C Differenztemperaturen ΔT von 40 bis 60 K. Damit lässt sich nach (2) für 20°C bei einer maximalen Standzeit $t_{\max}$ von 50.000 h eine Extrapolationszeit $t_e = 50.000 \times 50$ von mindestens $2,5 \times 10^6$ h errechnen, was einer Betriebsdauer von über 200 Jahren entspricht. Unter Berücksichtigung der maximalen Prüftemperatur von 80°C ist diese Extrapolationszeit noch bis zu Betriebstemperaturen von 40°C gültig.

Setzt man den Extrapolationsfaktor K_e ein, der in der ISO DIS 9080:1997 für amorphe Vinylchlorid Polymere bei einer Temperaturdifferenz $\Delta T \geq 30$ K mit $K_e = 100$ festgelegt ist, würde sich die Extrapolationszeit sogar verdoppeln.

7.3.2 Verfahren nach ISO DIS 9080

Mehr Aufwand ist erforderlich, wenn man die Extrapolation nicht allein auf die maximal erreichten Standzeiten bezieht, sondern nach der „Standard Extrapolation Methode“ der ISO DIS 9080 alle Bruchzeiten bei allen Temperaturen einbezieht. Diese Auswertung wurde nach dem „general-4parameter Modell“ im Annex A der ISO DIS 9080 vorgenommen:

$$\lg t = c_1 + c_2/T + c_3 \lg \sigma + c_4 (\lg \sigma)/T + e \quad (3)$$

mit: t = Bruchzeit in Stunden
 T = Temperatur in Kelvin
 σ = Umfangsspannung (Prüfspannung) in Mega Pascal
 c_i = Parameter
 e = Fehlerfaktor

Dabei ergeben sich für die untersuchten Prüftemperaturen Zeitstandkennlinien mit einem unteren Vertrauensbereich von 97,5 % (Bilder 14 - 21) bis zu einer Extrapolationszeit von 50 Jahren. Darüber hinaus ist die Auswertung nach ISO DIS 9080 aber von Bedeutung, weil sie auch Auskunft über den Verlauf der Zeitstandkennlinien gibt. Die berechneten Kennlinien bestätigen die grafisch ermittelten Ergebnisse des linearen Verlaufes über die tatsächlichen Prüfzeiten hinaus bis zur Extrapolationszeit von 50 Jahren.

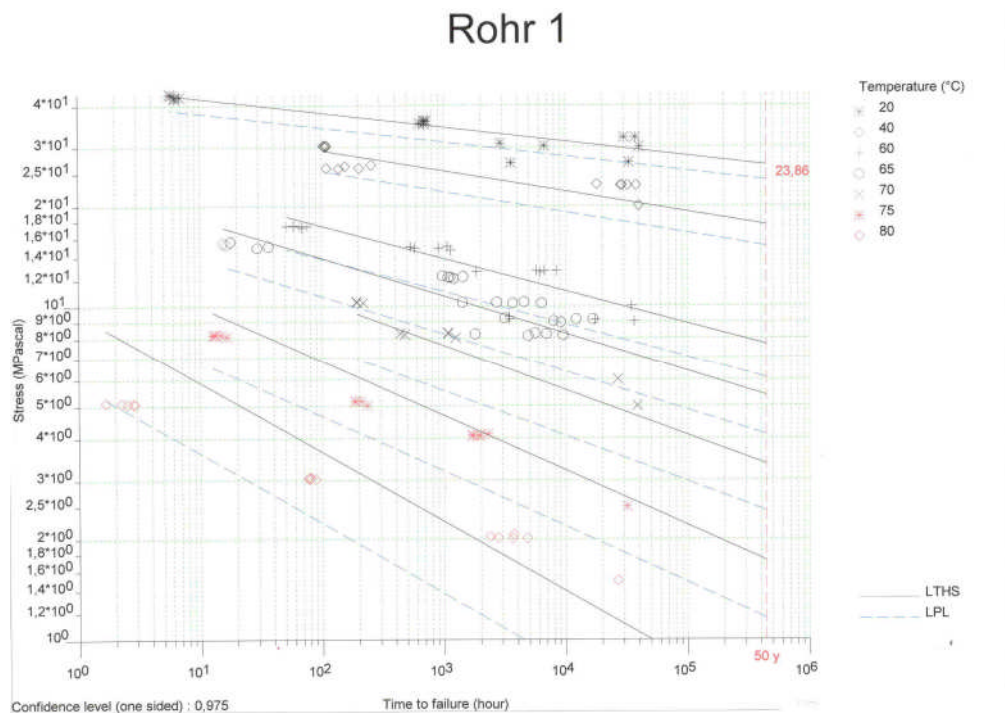


Bild 14: Zeitstandverhalten Rohr 1 bei Auswertung nach ISO DIS 9080:1997

Rohr 2

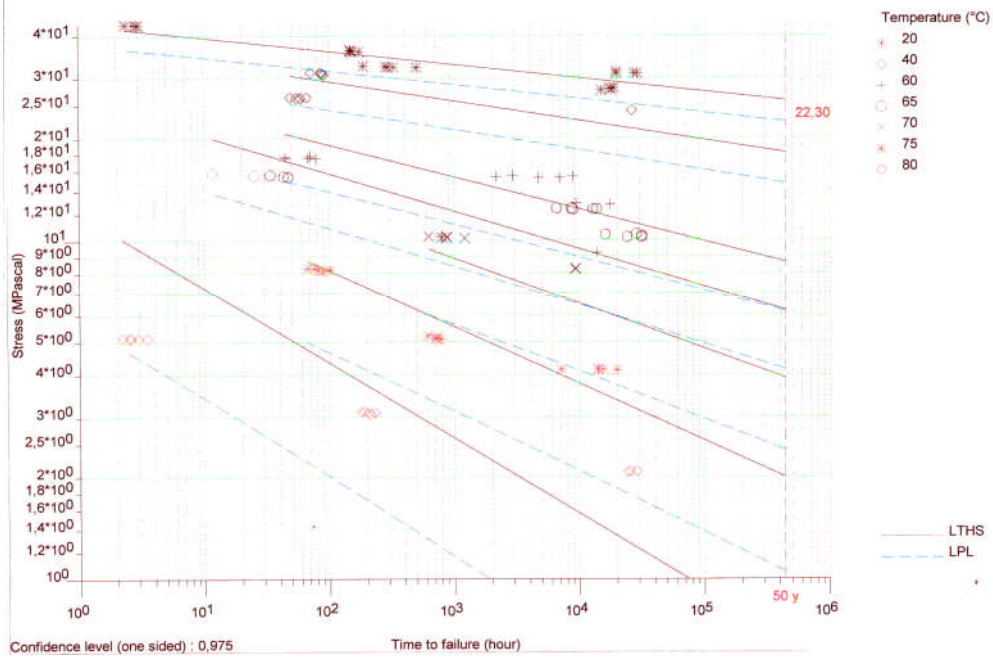


Bild 15: Zeitstandverhalten Rohr 2 bei Auswertung nach ISO DIS 9080:1997

Rohr 3

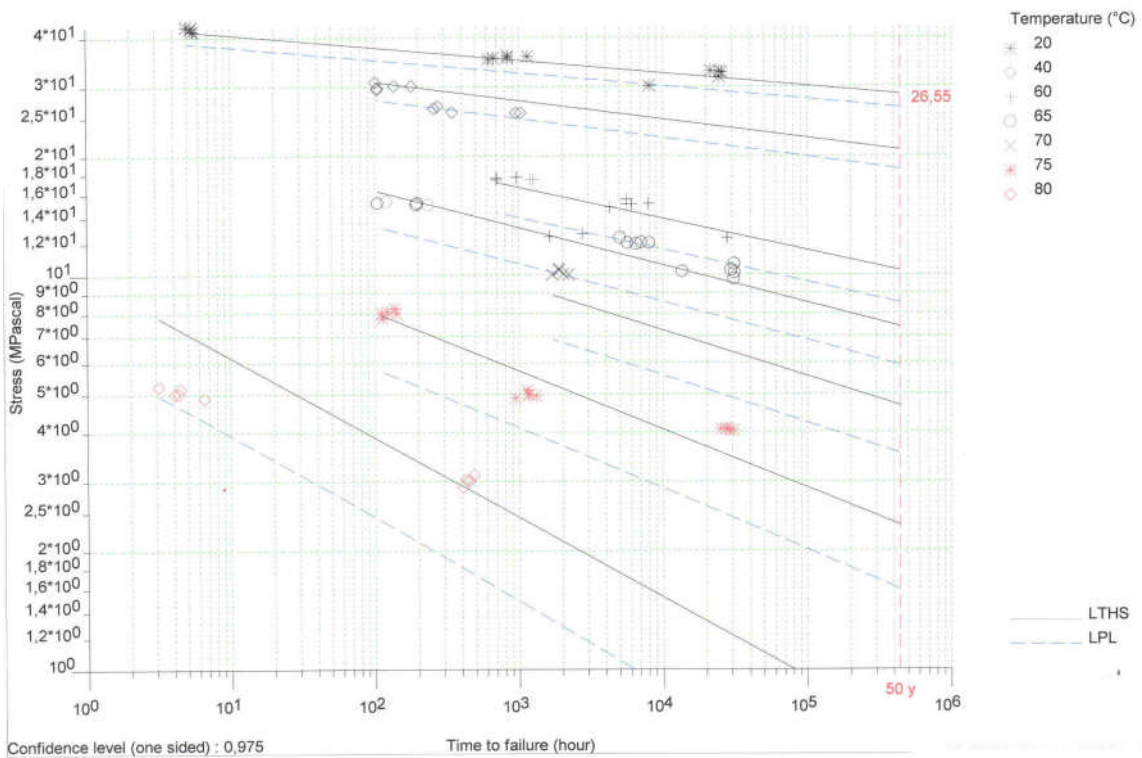


Bild 16: Zeitstandverhalten Rohr 3 bei Auswertung nach ISO DIS 9080:1997

Rohr 4

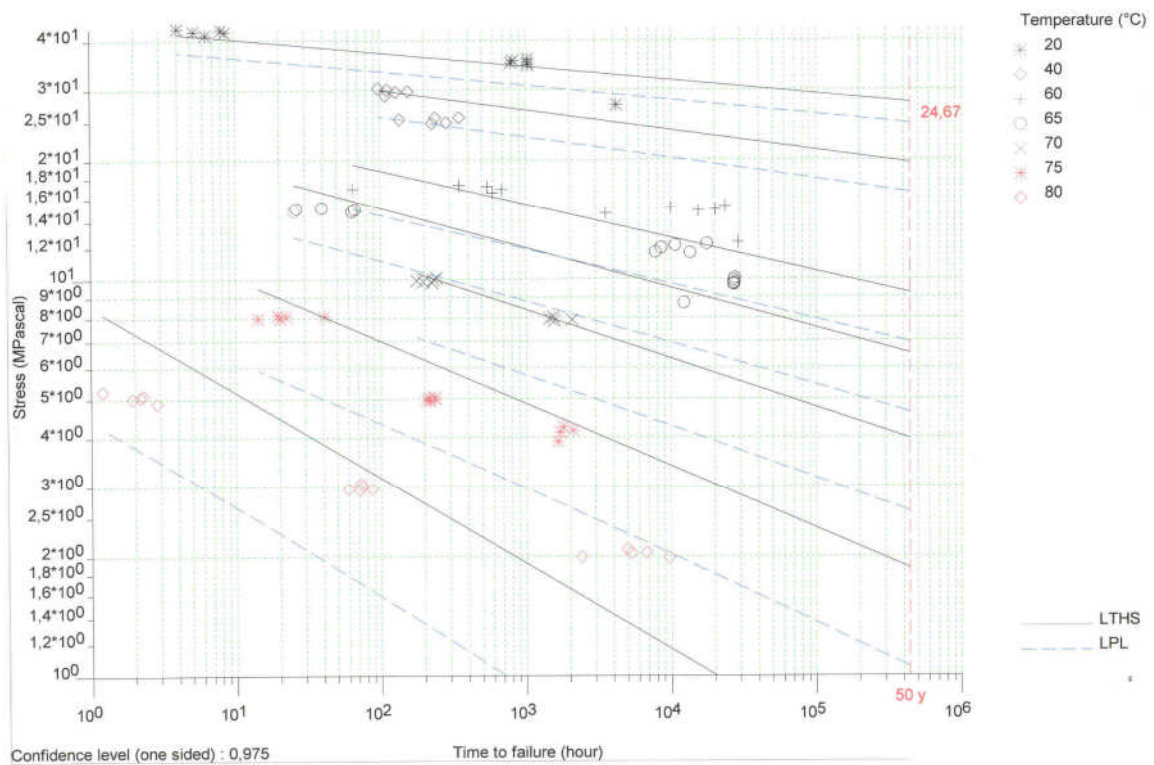


Bild 17: Zeitstandverhalten Rohr 4 bei Auswertung nach ISO DIS 9080:1997

Rohr 5

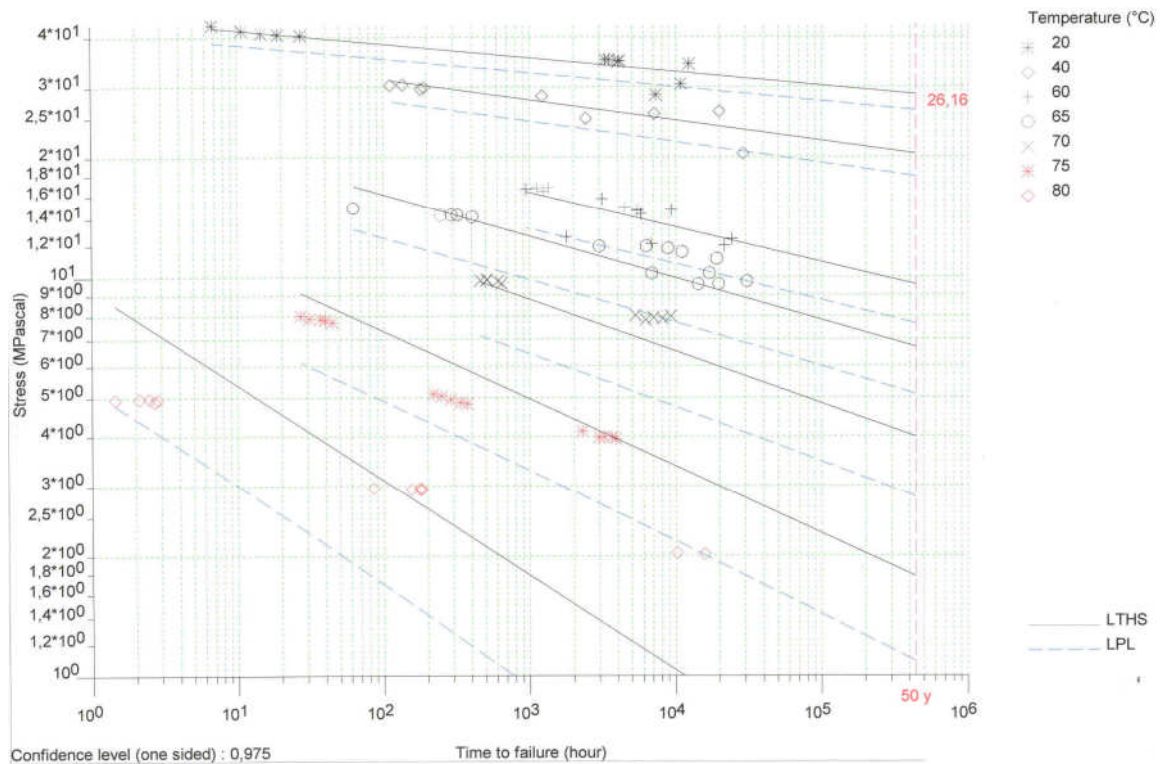


Bild 18: Zeitstandverhalten Rohr 5 bei Auswertung nach ISO DIS 9080:1997

Rohr 6

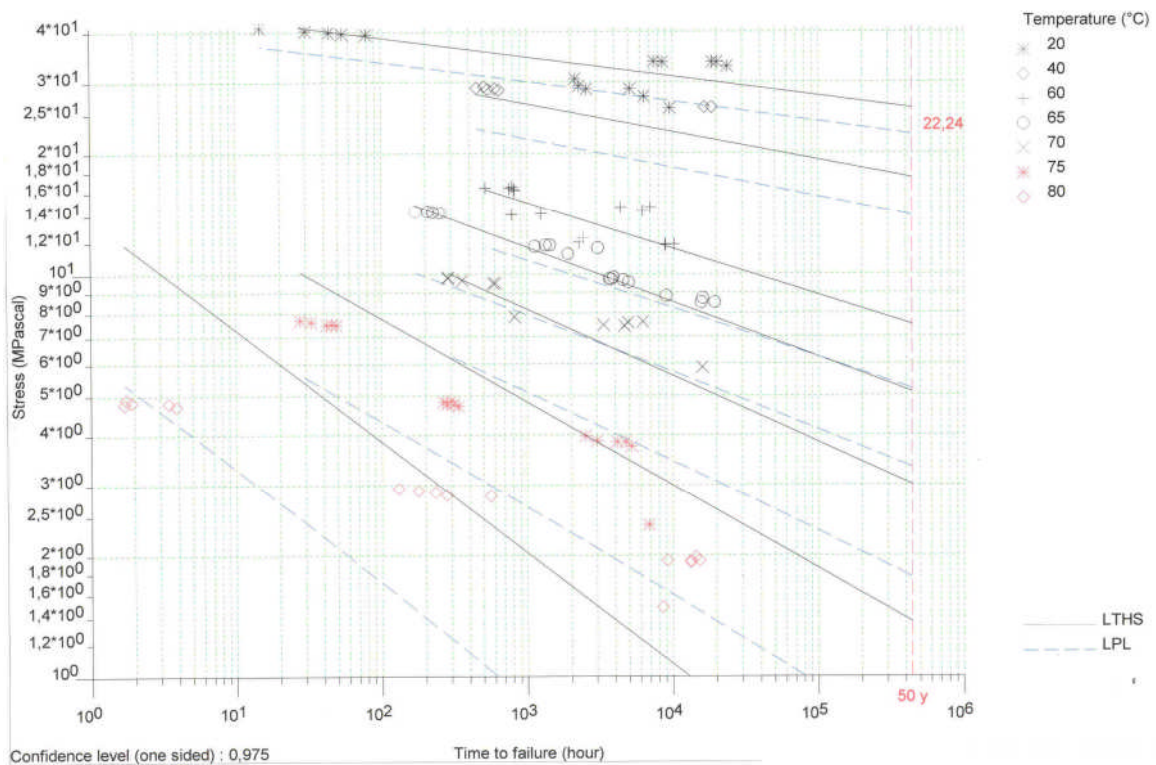


Bild 19: Zeitstandverhalten Rohr 6 bei Auswertung nach ISO DIS 9080:1997

Rohr 7

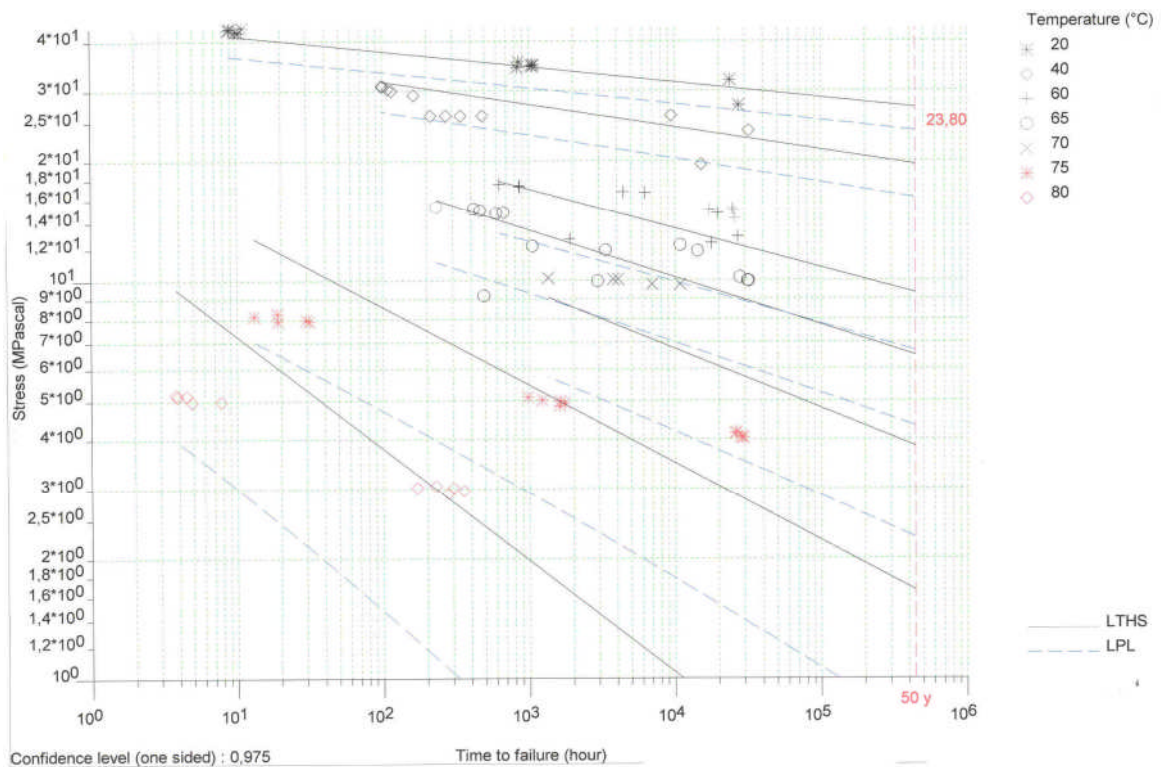


Bild 20: Zeitstandverhalten Rohr 7 bei Auswertung nach ISO DIS 9080:1997

Rohr 8

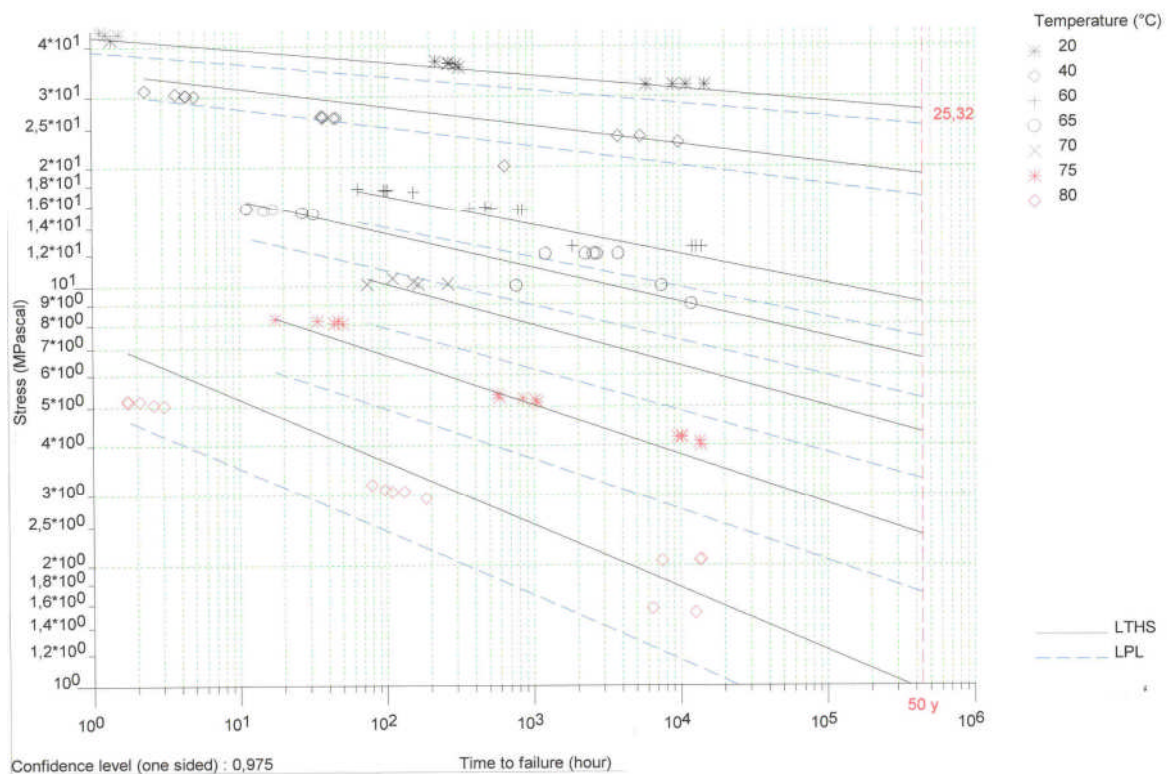


Bild 21: Zeitstandverhalten Rohr 8 bei Auswertung nach ISO DIS 9080:1997

Da ein Ziel des Prüfprogramms jedoch der Nachweis einer Gebrauchstauglichkeit von mehr als 100 Jahren war, wie er für Pb-stabilisierte PVC-U-Trinkwasserversorgungsleitungen schon geführt wurde [20], sind die beiden beschriebenen Extrapolationsmethoden noch durch die Anwendung der Arrhenius-Beziehung überprüft worden.

7.3.3 Verfahren nach Arrhenius

Nach der von Arrhenius gefundenen Beziehung ist die Reaktionsgeschwindigkeit chemischer Vorgänge eine Funktion der Aktivierungsenergie und steigt mit zunehmenden Temperaturen an:

$$K \approx \exp. (A/kt) \text{ oder } \ln k_0 - A/T + H \text{ oder } 1/T = a + b \cdot \ln t \quad (4)$$

mit:

- T = absolute Temperatur in K
- A = Aktivierungsenergie
- H = Konstante
- a = $R/A \cdot \ln k_0$
- b = R/A
- k_0 = Reaktionsgeschwindigkeitskonstante (für 100 % Ausbeute)
- t = Reaktionszeit = Z

Die Bedeutung des Arrhenius-Gesetzes für das Zeitstand-Innendruckverhalten beruht darauf, dass sich aus bei hohen Temperaturen, d.h. mit hoher Aktivierungsenergie und damit „schnell“ ermittelten Ergebnissen die bei niedrigen Temperaturen, d.h. mit geringer Aktivierungsenergie, erst nach langen Einwirkungszeiten zu erwartenden Ergebnisse durch Extrapolation bestimmen lassen.

Die Übertragung auf das Zeitstandverhalten von Werkstoffen gelang Larson und Miller [21] welche bei der Untersuchung des Zeitstandsverhaltens warmfester Stähle feststellten, dass die dabei auftretenden Rissgeschwindigkeiten der Arrhenius-Beziehung folgten. Wenige Jahre später wurde die Larson-Miller-Gleichung von Gloor [22] für die Ermittlung des Zeitstandsverhaltens von PE eingesetzt. Schließlich konnte Retting [23] zeigen, dass auch die Bewegungs- und Umlagerungsvorgänge im PVC dem Arrhenius-Gesetz folgen.

Wendet man die Arrhenius-Beziehung auf die durchgeführten Zeitstand-Innendruckversuche an, kann man die bei gleichen Prüfspannungen und wenigstens 3 verschiedenen Prüftemperaturen erreichten Standzeiten als Parameter für die Reaktionszeit und die absolute Temperatur in die Gleichung einsetzen. Dazu wurden zunächst für die in Frage kommenden Prüfspannungen: 5 N/mm² bei 80°C, 75°C und 70°C;

8 N/mm² bei 75°C, 70°C und 65°C, 10 N/mm² bei 70°C, 65°C und 60°C die geometrischen Mittelwerte $X_0 = \sqrt[n]{X_1 \cdot X_2 \cdot X_n}$ der Bruchzeiten errechnet und in Tabelle 5 zusammengestellt.

Prüfspannung N/mm ²	Prüf-temperatur °C	1000/T	1	2	3	4	5	6	7	8	1 u. 4	2, 3, 5, 6
			Sn	CaZn	CaZn	Sn	CaZn	CaZn	Pb	Sn	Sn	CaZn
5	80	2,83	1,98	2,8	4,35	2,01	2,25	2,37	4,78	2,19	2,00	2,83
	75	2,87	199,65	706	1134	221	286,7	298	1403	789	199,7	511
	70	2,915	>42309	>42309	>42309	>42309	>42309	>42309	>40740	>28200	>42309	>42309
8	75	2,87	13,96	81,9	124,1	21,9	35,14	38,4	21,3	36,13	17,5	60,6
	70	2,915	789,13	22428	>40550	1617	7029	3303	>40550	>28200	1129	12054
	65	2,96	5043	>42480	>42480	>42480	>42480	>42480	>40800	>34224	>14300	>42480
10	70	2,915	202,16	856,4	1940	212,8	541,2	400,5	4361	140,4	209	773
	65	2,96	3374	25435	26015	27249	15857	4164	19856	7545	9588	14458
	60	3,00	>39520	>39520	>39520	>39520	>39520	>39520	>39520	>28200	>39520	>39520

Tabelle 5: Geometrische Mittelwerte der Bruchzeiten und Standzeiten (Std.) der PVC-U-Rohre für die Prüfspannungen 5 N/mm², 8 N/mm² und 10 N/mm²

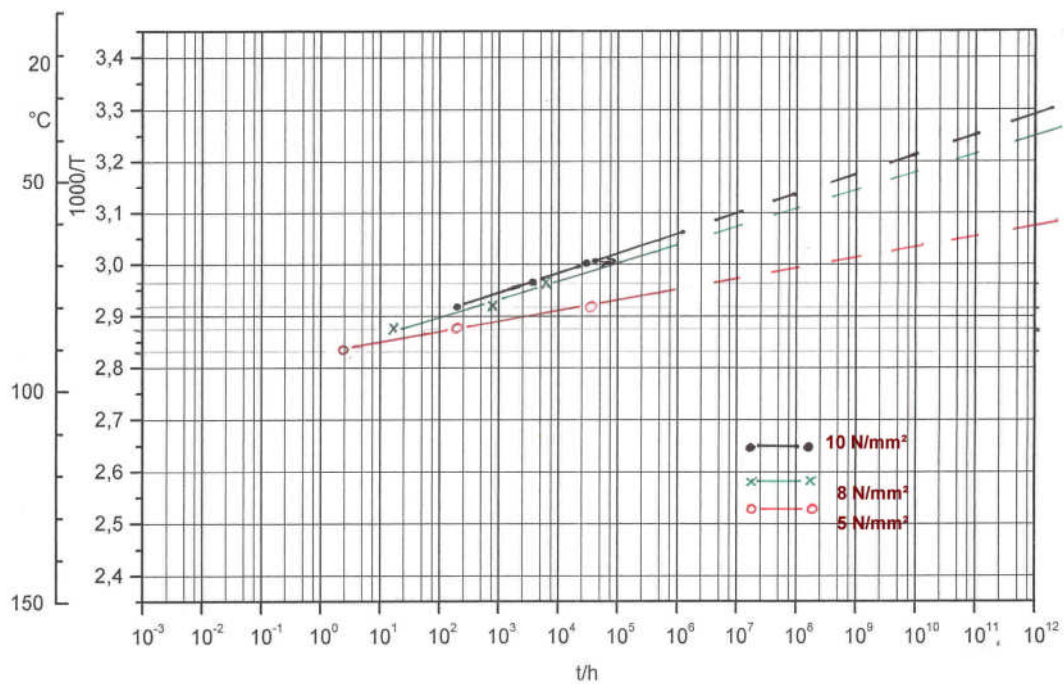


Bild 22: Arrhenius-Diagramm der mit 10 N/mm², 8 N/mm² und 5 N/mm² an Rohr 1 ermittelten Standzeiten bei 80°C, 75°C, 70°C, 65°C und 60°C

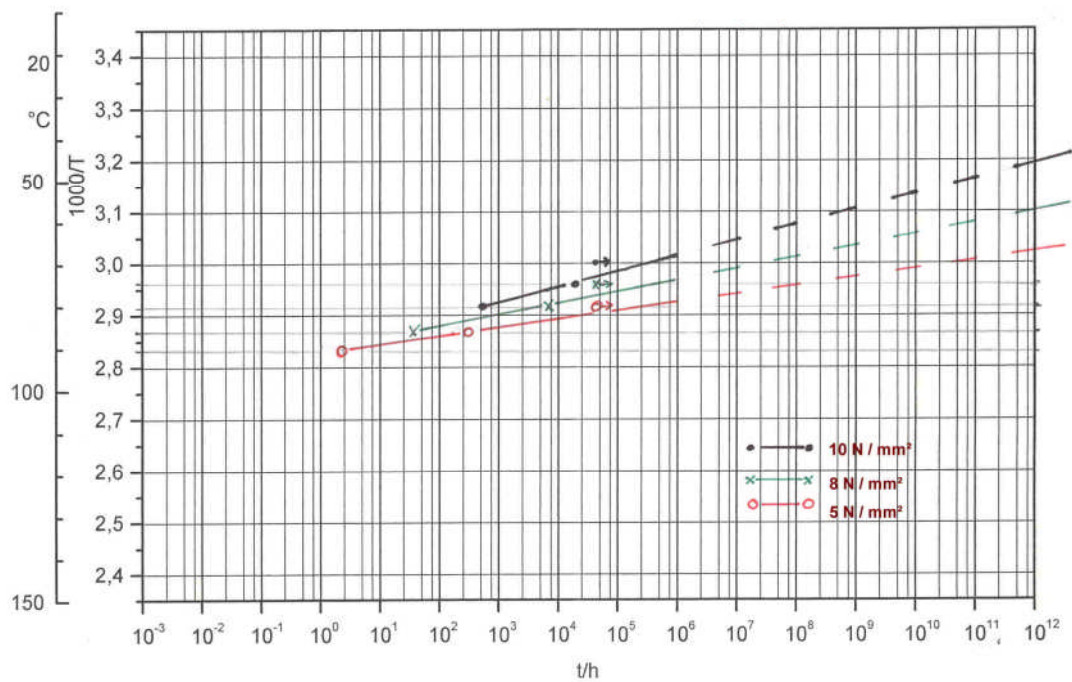


Bild 23: Arrhenius-Diagramm der mit 10 N/mm², 8 N/mm² und 5 N/mm² an Rohr 5 ermittelten Standzeiten bei 80°C, 75°C, 70°C, 65°C

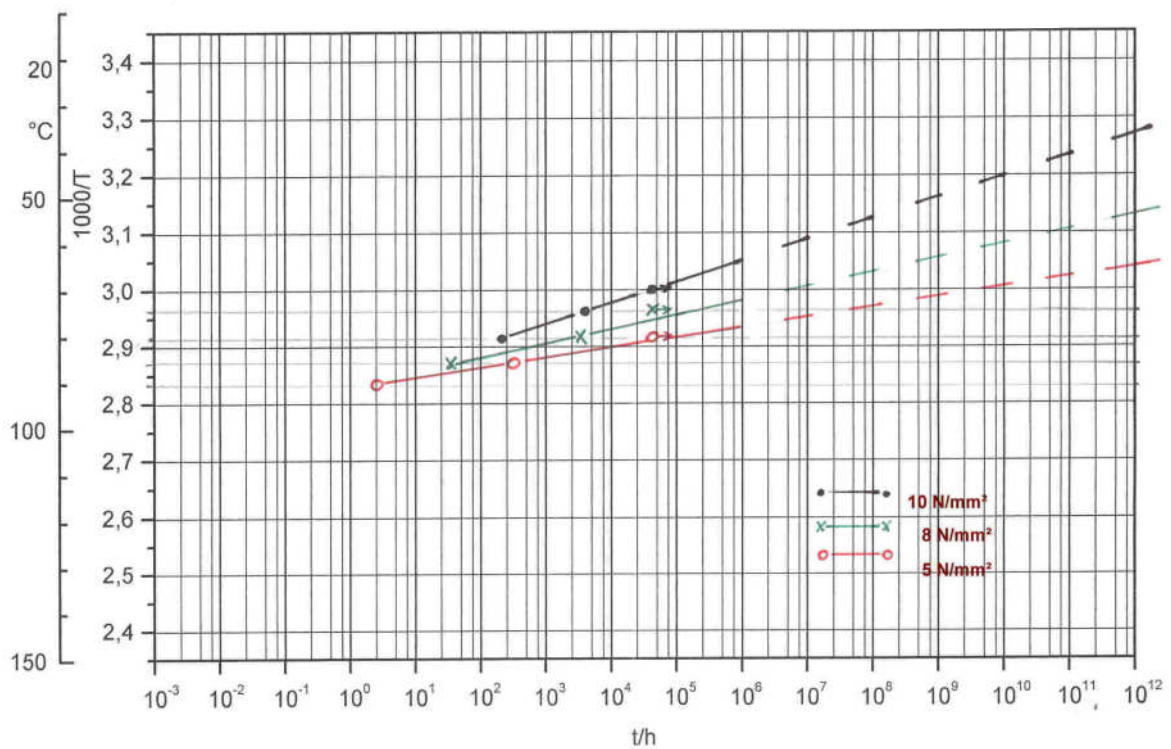


Bild 24: Arrhenius-Diagramm der mit 10 N/mm², 8 N/mm² und 5 N/mm² an Rohr 6 ermittelten Standzeiten bei 80°C, 75°C, 70°C, 65°C und 60°C

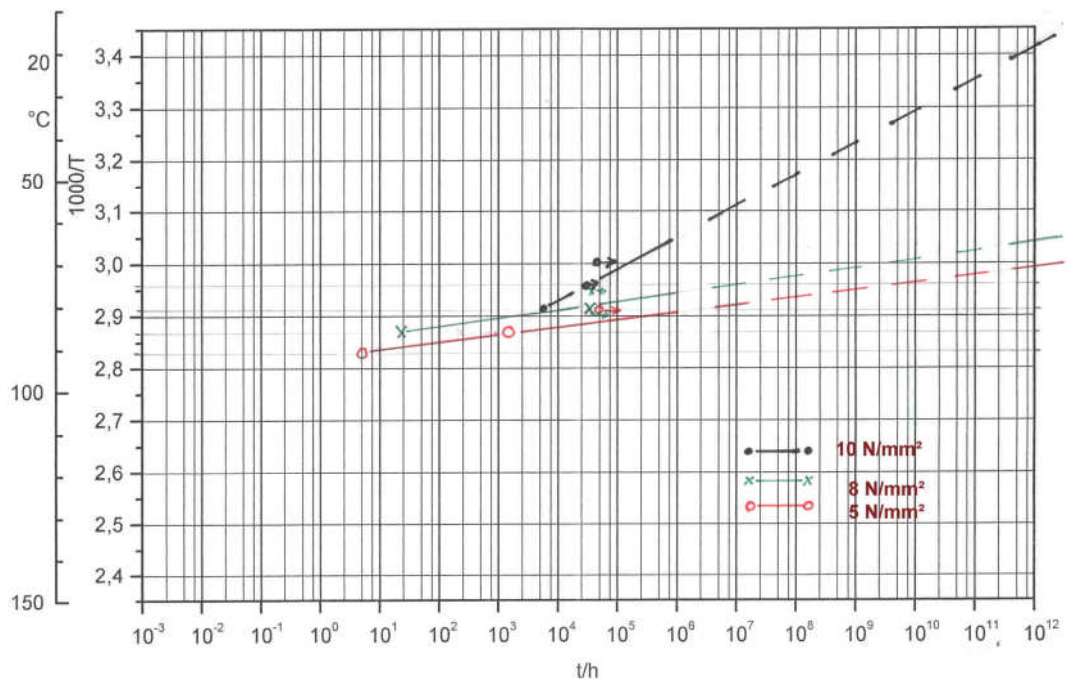


Bild 25: Arrhenius-Diagramm der mit 10 N/mm², 8 N/mm² und 5 N/mm² an Rohr 7 ermittelten Standzeiten bei 80°C, 75°C, 70°C, 65°C und 60°C.

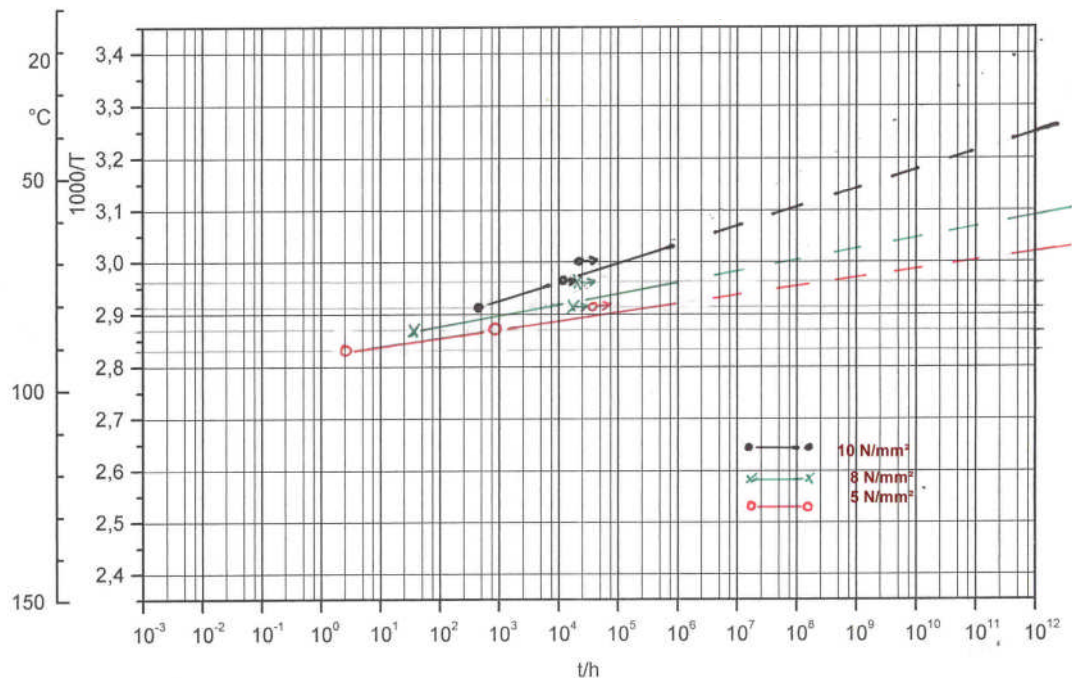


Bild 26: Arrhenius-Diagramm der mit 10 N/mm², 8 N/mm² und 5 N/mm² an Rohr 8 ermittelten Standzeiten bei 80°C, 75°C, 70°C, 65°C und 60°C.

Für die noch nicht gebrochenen Proben sind darin die bisher erreichten Standzeiten angegeben. Wegen der Einfachheit und Anschaulichkeit wurden die Standzeiten der Tabelle 5 in Arrhenius-Diagramme eingetragen und die Standzeiten gleicher Prüfspannung bei den jeweiligen Prüftemperaturen miteinander verbunden. Dabei ist zu erkennen, dass die Standzeiten der noch nicht gebrochenen Proben nicht immer

exakt auf der Geraden der Bruchzeiten liegen, sondern über diesen. Daraus lässt sich als Nebeneffekt abschätzen, welche Standzeiten die noch laufenden Proben erreichen werden bevor sie brechen.

Der Verlauf der Verbindungsgeraden wird mit zunehmender Prüfspannung steiler, was den mit steigender Spannung kürzeren Standzeiten entspricht.

Extrapoliert man die Verbindungsgeraden, ergeben sich für alle 8 Rohre bei 40°C Standzeiten über 10^8 Stunden und bei 20°C über 10^{12} Stunden für die Vergleichsspannungen von 10 N/mm². Aus Platzgründen sind nur von jedem Stabilisierungssystem 1 Arrheniusdiagramm wiedergegeben (Bild 22-26). Der von den anderen Rohren abweichende, steilere Verlauf der 10 N/mm² Kurve des Rohres 7 erklärt sich daraus, dass bei diesem Rohr bisher weder bei 60°C noch bei 65°C Brüche erfolgt sind.

Solche Standzeiten liegen natürlich weit jenseits des menschlichen Zeithorizontes und sollten für die Gebrauchstauglichkeit nicht in Betracht gezogen werden. Schließlich altern nicht nur wir Menschen, sondern auch alles Irdische und es gibt viele außerhalb unseres Einflusses liegende Faktoren, welche die Lebensdauer auch von Rohrleitungen beeinflussen und verkürzen können.

Die mit der Arrheniusfunktion sich abzeichnenden extremen Extrapolationszeiten, welche übrigens auch bei einer Extrapolation der 20°C-Zeitstandkennlinie bis zur Belastung mit 10 N/mm² erreicht werden, sollten nur als Absicherung der mit den anderen Extrapolationsmethoden gewonnenen Gebrauchstauglichkeiten von 100 Jahren gewertet werden.

7.4 Thermische Alterung

Neben den bei den Zeitstand-Innendruckversuchen entstehenden thermischen Belastungen wurden an frei von äußeren Spannungen in Wärmeschränken mit Temperaturregelung und zwangsläufiger Durchlüftung gelagerten Prüfkörpern aus den 8 Rohren Warmlagerungen in Luft bei 60°C bis 120°C vorgenommen, um den Einfluss der thermischen Alterung auf die Gebrauchstauglichkeit zu erfassen. Dabei wurden nach Lagerdauern von 2 bis 730 Tagen (48–17.520 h) als Alterungskriterien die Streckspannung, Reißfestigkeit, Reißdehnung, Schlagzähigkeit und Dehydrochlorierungszeit [24] ermittelt (Tabelle 6). Überträgt man die dabei ermittelten Abnahmen dieser Werte in Arrheniusdiagramme, ergeben sich ebenfalls Geraden, welche extrapoliert die 20°C Linie zwischen 10^5 und 10^7 h schneiden und damit die nach ISO DIS 9080 und DIN 16887 ermittelten Extrapolationszeiten ebenfalls bestätigen. Für diese Auswertung eignen sich am besten die Dehydrochlorierungszeiten [24], welche ein Maß für die thermische Reststabilität sind. In Bild 27 sind als Bezugszeiten die Zeiten eingetragen, bei denen die Stabilitätszeiten auf 50 % des Ausgangswertes abgefallen sind. Aber auch der Abfall der Reißdehnung auf 50 % (Bild 28) und der Bruch der Schlagbiegeproben bei 0°C (Bild 29) ergeben noch brauchbare und ähnlich verlaufende Arrhenius-Kurven, welche für 20°C im Bereich zwischen $2 \cdot 10^5$ h und $2 \cdot 10^6$ h liegen.

Eigenschaft	Temperatur °C	1000/T	1	2	3	4	5	6	7	8
Stabilisatorsystem	°C		Sn	CaZn	CaZn	Sn	CaZn	CaZn	Pb	OS
Reißdehnung (%) 50 % nach (h)	Anlief.		25	38	30	30	29	31	34	50
	60	3,00	>17520	>17520	>17520	>17520	>17520	10920	>17520	5376
	80	2,83	10920	2688	10920	10920	>10920	5376	2688	168
	100	2,68	9240	2688	3400	5376	4800	2628	2688	96
	120	2,54	2688	240	1000	1344	720	168	1344	48
Schlagzähigkeit (°C) alle gebrochen	Anlief.		5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng
	60	3,00	>17520	>17520	>17520	>17520	>17520	>17520	>17520	>17520
	80	2,83	>10920	>10920	>10920	>10920	>10920	>10920	>10920	>10920
	100	2,68	10920	5376	5376	10920	5376	5376	5376	5376
	120	2,54	2688	2688	672	2688	1344	1344	1344	1344
Dehydrochlorierungszeit (min) 50 % nach (h)	Anlief.		28	42	42	34	25	36	32	35
	60	3,00	>17520	>17520	>17520	>17520	>17520	>17750	>17750	>17520
	80	2,839	9600	2688	2688	10920	4800	9240	5376	10920
	100	2,69	4032	336	336	4800	600	672	1344	5376
	120	2,54	580	168	144	1344	96	144	240	288

Tabelle 6: Thermische Alterung in Luft – Abnahme der Eigenschaftswerte auf Grenzwerte nach Lagerungszeit (h)

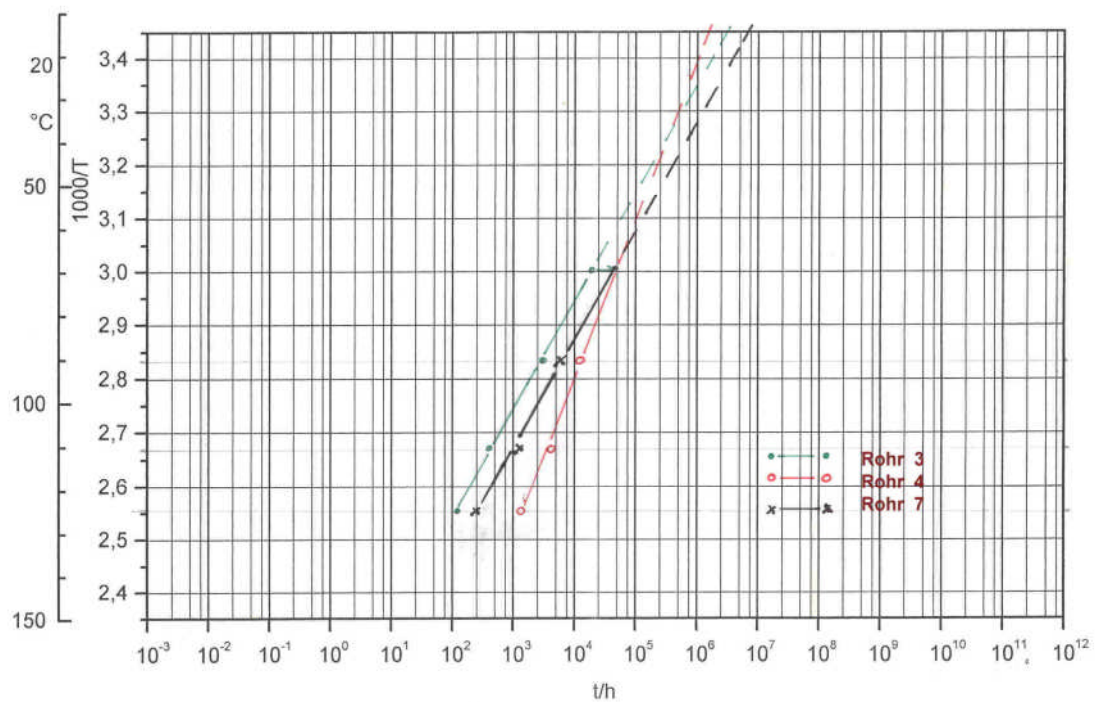


Bild 27: Arrhenius-Diagramm der bei Warmlagerung in Luft von 120°C, 100°C, 80°C und 60°C an den Rohren 3, 4 und 7 ermittelten Lagerungszeiten bis zur Abnahme der DHC-Zeit um 50 %

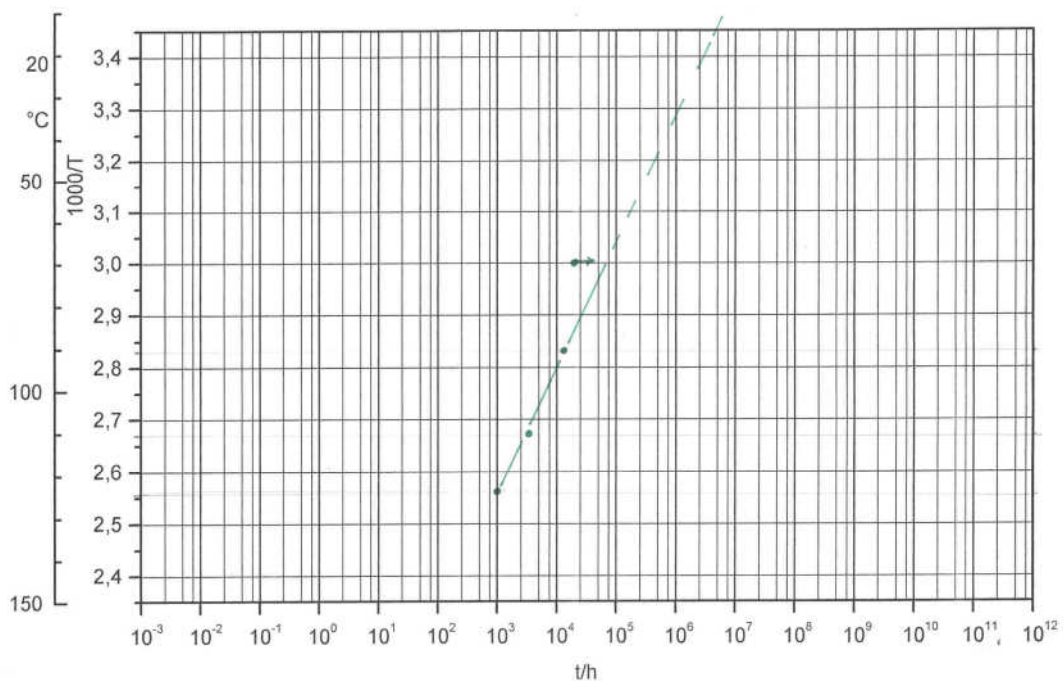


Bild 28: Arrhenius-Diagramm der bei Warmlagerung in Luft von 120°C, 100°C, 80°C und 60°C an Rohr 3 ermittelten Lagerungszeiten bis zur Abnahme der Reißdehnung um 50 %

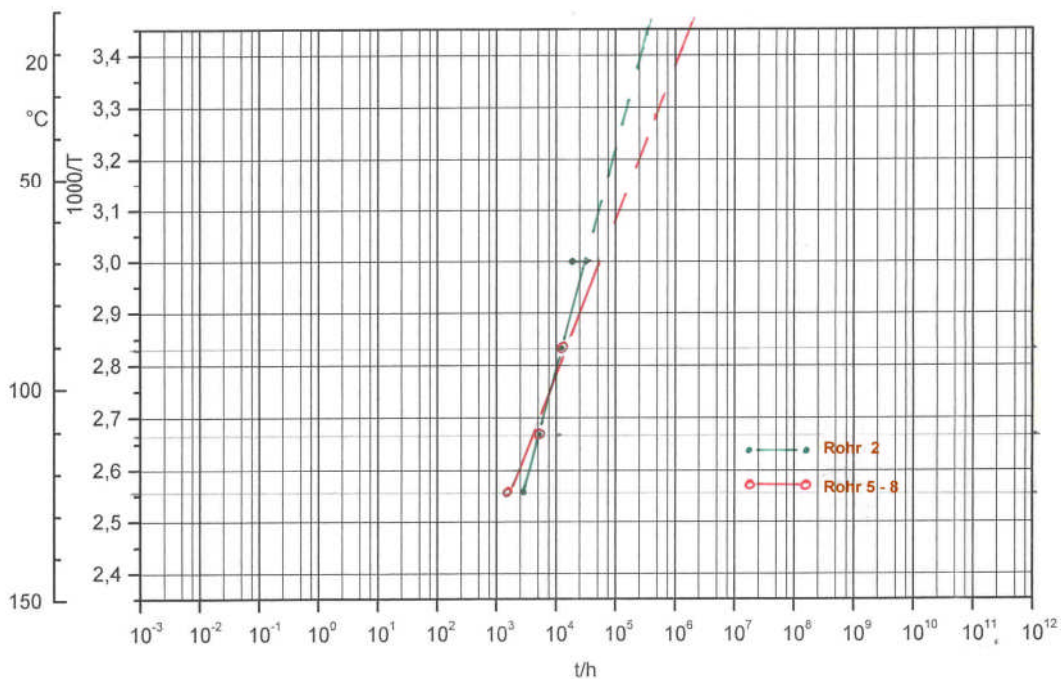


Bild 29: Arrhenius-Diagramm der bei Warmlagerung in Luft von 120°C, 100°C, 80°C und 60°C an den Rohren 2 und 5-8 ermittelten Lagerungszeiten bis zum Bruch der Schlagbiegeproben

7.5 Widerstandsfähigkeit gegen Chemikalieneinwirkung

Für den Einsatz der Rohre zur Ableitung von Abwässern ist auch ihre Widerstandsfähigkeit gegen Chemikalieneinwirkung von Bedeutung. Deshalb wurde diese an einigen ausgewählten Chemikalien überprüft. Dazu wurden Prüfkörper zur Ermittlung der Massenänderung ΔM , der Änderung der Streckspannung Q_s , der Zugfestigkeit Q_z und der Reißdehnung Q_ϵ , frei von äußeren Spannungen, bei 60°C so in den Angriffsmitteln gelagert, dass die gesamte Probenoberfläche von diesen benetzt war. Gemäß dem Immersionsverfahren nach ISO 4433 [25] wurden nach Einwirkungszeiten von 2, 4 usw. bis 240 Tagen die Prüfkörper aus den Angriffsmitteln entnommen und geprüft. Aus den in Tabelle 7 zusammengestellten, nach den Beurteilungskriterien der ISO 4433 (Tabelle 8) ausgewerteten Veränderungen der Eigenschaften gegenüber dem Anlieferungszustand geht hervor, dass nur die Rohre 3 und 7 durchgehend gegen alle ausgewählten Medien als „widerstandsfähig“ (S) zu bezeichnen sind. Andererseits verhalten sich nur die Rohre 4 und 6 nur gegen 96%ige Schwefelsäure als „nicht widerstandsfähig“ (NS). Das durch die Schwefelsäure eine dauerhafte Schädigung des Rohres 6 erfolgt, lässt sich sehr gut aus der stetig zunehmenden Massenänderung erkennen (Bild 30), während z.B. beim Rohr 7 (Bild 31) diese mit 0,02 % nur sehr gering ist.

Die Ergebnisse der durchgeführten Immersionsversuche lassen den Schluss zu, dass die untersuchten Rohre als Kanalrohre für die Ableitung normaler kommunaler Abwässer geeignet sind. Die chemische Widerstandsfähigkeit reicht jedoch nicht bei allen Rohren aus, wenn sie zum Transport von Chemikalien eingesetzt werden sollen. Dann sind entsprechend dem Einsatzzweck weitergehende Prüfungen erforderlich [26] und die Zulassungsbedingungen des DIBt zu beachten [27].

Rohr-Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8
Stabilisatorsystem		Sn	CaZn	CaZn	Sn	CaZn	CaZn	Pb	OS
Wasser	Δ M %	0,38 +	0,37 +	0,33 +	0,34 +	0,47 +	0,54 +	0,18 +	0,53 +
	Qs	122 +	120 +	119 +	120 +	122 +	122 +	110 +	115 +
	Qz	105 +	97,4 +	103 +	98,4 +	102 +	101 +	91,0 +	95,1 +
	Qε	42,8 o	57,9 +	65,5 +	49,7 o	49,6 o	47,7 o	80,6 +	48,8 o
Gesamtbeurteilung		L	S	S	L	L	L	S	L
Essigsäure 50%ig	Δ M %	0,37 +	0,51 +	0,63 +	0,48 +	0,48 +	0,87 +	0,36 +	0,99 +
	Qs	121 +	119 +	116 +	119 +	121 +	117 +	116 +	112 +
	Qz	101 +	97,9 +	97,4 +	95,3 +	101 +	97,8 +	98,4 +	91,8 +
	Qε	55,2 +	62,1 +	62,5 +	54,7 +	45,2 o	50,3 +	86,8 +	47,4 o
Gesamtbeurteilung		S	S	S	S	L	S	S	L
Natronlauge 50%ig	Δ M %	0,02 +	0,01 +	0,03 +	0,10 +	0,04 +	0,01 +	± 0 +	± 0 +
	Qs	120 +	122 +	116 +	119 +	122 +	119 +	116 +	115 +
	Qz	104 +	102 +	100 +	97,6 +	107 +	98,6 +	98,9 +	95,6 +
	Qε	59,2 +	70,3 +	86,7 +	47,3 o	46,9 o	41,6 o	75,3 +	45,8 o
Gesamtbeurteilung		S	S	S	L	L	L	S	L
Salzsäure 36%ig	Δ M %	2,40 +	1,78 +	1,40 +	2,49 +	2,41 +	2,39 +	1,14 +	1,74 +
	Qs	118 +	111 +	113 +	107 +	119 +	116 +	112 +	114 +
	Qz	106 +	99,7 +	103 +	97,1 +	103 +	99,7 +	95,9 +	98,6 +
	Qε	56,8 +	77,4 +	73,3 +	57,7 +	53,1 +	51,9 +	79,1 +	65,2 +
Gesamtbeurteilung		S	S	S	S	S	S	S	S
Schwefelsäure 96%ig	Δ M %	-0,08 +	0,74 +	0,58 +	0,26 +	0,63 +	4,85 o	0,02 +	0,53 +
	Qs	119 +	118 +	115 +	115 +	120 +	98,9 +	116 +	108 +
	Qz	117 +	106 +	109 +	106 +	113 +	114 +	104 +	95,4 +
	Qε	43,2 o	38,4 o	51,3 +	29,3 -	35,9 o	29,7 -	57,1 +	44,6 o
Gesamtbeurteilung		L	L	S	NS	L	NS	S	L

Tabelle 7: Verhalten von PVC-U-Rohren mit unterschiedlicher Stabilisierung bei Medieneinwirkung nach 224 Tagen bei +60°C

Eigenschaft		S Satisfactory	+ resistance	L Limited	o resistance	NS Non Satisfactory	- resistance
Massenänderung M	%	$-0,8 \leq M \leq 3,6$		$3,6 \leq M \leq 10$ $-0,8 \geq M \geq -2$		$M \geq 10$ $M \leq -2$	
Quotient des Elastizitätsmoduls QE	%	$QE \geq 83$		$83 \geq QE \geq 46$		$QE \leq 46$	
Quotient der Zugspannung bei Bruch Qtb	%	$Qtb \geq 80$		$80 \geq Qtb \geq 46$		$Qtb \leq 46$	
Quotient der Reißdehnung Qεb	%	$50 \leq Qεb \leq 125$		$50 \geq Qεb \geq 30$ $125 \leq Qεb \leq 150$		$Qεb \leq 30$ $Qεb \geq 150$	

Tabelle 8: Beurteilungskriterien für die Widerstandsfähigkeit von PVC-U gegen Chemikalieneinwirkung nach ISO 4433-3

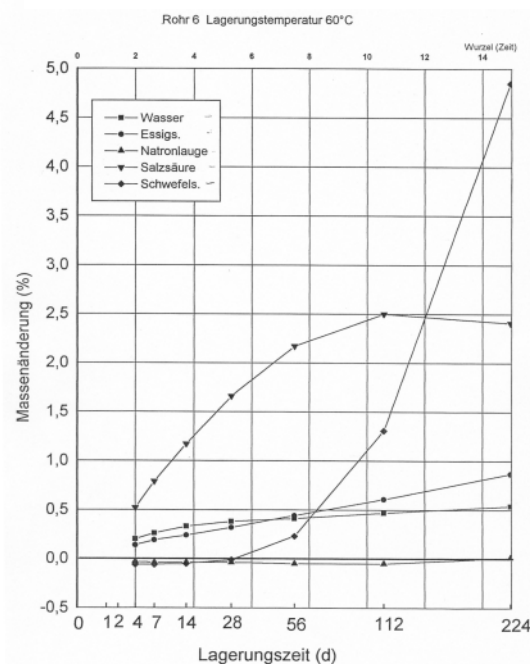


Bild 30: Chemikalienbeständigkeit von PVC-U-Rohren

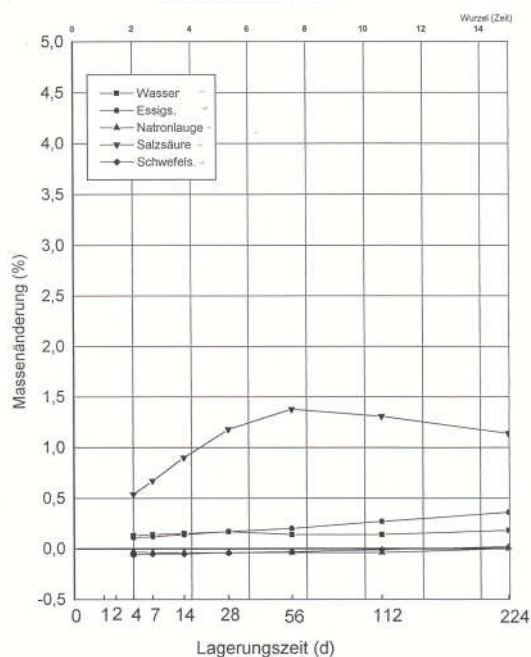


Bild 31: Chemikalienbeständigkeit von PVC-U-Rohren

7.6 Wetterbeständigkeit

Wenn auch die Wetterbeständigkeit für den bestimmungsgemäßen Einsatz von PVC-U-Rohren in Trinkwasser- bzw. Abwasserleitungen keine Rolle spielt, wurde das Verhalten der Rohre unter natürlicher Bewitterung ebenfalls untersucht um deren Auswirkung auf im Freien gelagerte Rohre beurteilen zu können. Dazu wurden 1 m lange Rohrabschnitte unter 45° in südlicher Richtung in Troisdorf und Südspanien exponiert. Nach Bewitterungszeiten von 1, 2 und 3 Jahren wurden die bewitterten Rohre entnommen und deren Schlagzähigkeit im Schlagbiegeversuch, Dehydrochlorierungszeit und Zeitstandfestigkeit ermittelt. Für die Zeitstand-Innendruckversuche standen dazu nur jeweils 1 Probe jedes Rohres für jede der ausgewählten Prüfbedingungen zur Verfügung.

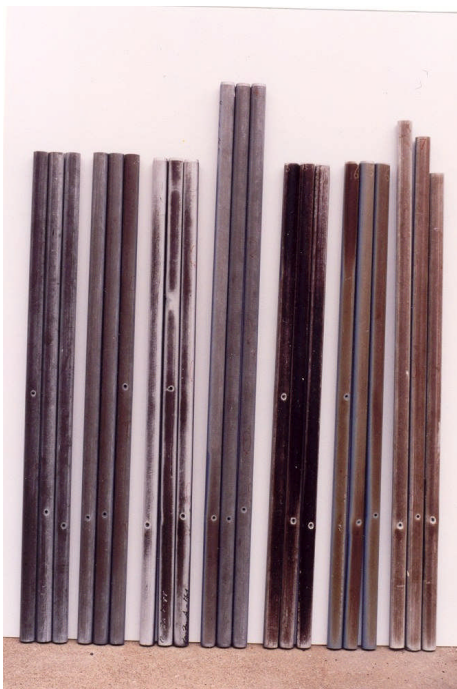


Bild 32: Rohrabschnitte 32 x 2,4 mm nach 1-jähriger natürlicher Bewitterung unter 45°C in Südspanien

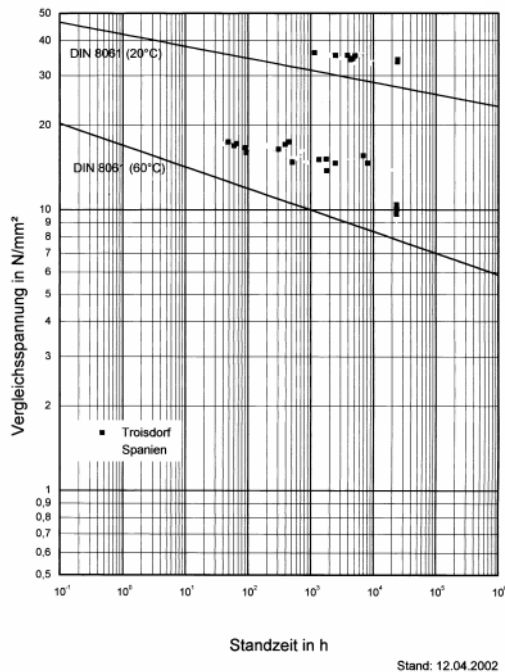
Bereits nach einjähriger Freibewitterung sind alle Rohre erwartungsgemäß deutlich verfärbt. Die Verfärbung der einzelnen Rohre ist unterschiedlich und ungleichmäßig. Außerdem sind die Rohrabschnitte deutlich verformt (Bild 32). Für die Ermittlung der Schlagzähigkeit wurden Kleinstäbe in Anlehnung an DIN 53453 [28] aus den Rohrwänden in axialer Richtung aus den der Sonneneinstrahlung ausgesetzten Oberflächenseiten und den Rückseiten der Rohre entnommen. Jeweils 5 Proben wurden durch den Schlag des Pendelhammers auf die bewitterte Außenoberfläche und auf die Innenoberfläche geprüft. Die der Sonneneinstrahlung ausgesetzte Rohrseite lässt bei der Schlagbiegeprüfung mit der Außenoberfläche in der Zugzone bereits nach einjähriger Bewitterung in Troisdorf und Spanien eine Schädigung erkennen, während beim Schlag auf die bewitterte Außenoberfläche selbst die 2 Jahre in Spanien bewitterten Proben noch nicht brechen (Tabelle 9). Die Dehydrochlorierungszeit lässt ebenfalls nur in dem von der Sonne bestrahlten Rohrabschnitt eine Abnahme der thermischen Reststabilität erkennen.

Im Vergleich zum Anlieferungszustand zeigen die bewitterten Rohre beim Zeitstand-Innendruckversuch bei 20°C deutlich längere Standzeiten als im Ausgangszustand, was auf die durch die Bewitterung eintretende Verhärtung und die damit verbundene Erhöhung der Zugfestigkeit und des E-Moduls zurückzuführen ist. Bei 60°C bleiben die Standzeiten dagegen unter den im Anlieferungszustand gemessenen zurück (Tabelle 10).

Wie aus Bild 33 hervorgeht, liegen aber sowohl die Standzeiten der 1 Jahr bewitterten Proben bei 60°C als auch bei 20°C noch deutlich über den Mindestbruchkurven der DIN 8061. Insgesamt werden nach 1-jähriger Freibewitterung unter 45° Süd in Spanien und Troisdorf die Anforderungen der DIN 8061 noch erfüllt. Die Auswertung der 2- und 3 Jahre bewitterten Rohre ist noch nicht abgeschlossen. In der Praxis sollte eine ungeschützte Lagerung im Freien jedoch unterbleiben und wenn unvermeidbar nur kurzfristig erfolgen um eine Verfärbung und mögliche Schädigung der Rohre zu vermeiden.

8. Versuche an Rohren 160 x 4,7 mm

Ergänzende Versuche wurden aber noch an Rohren der Dimension 160 x 4,7 mm vorgenommen. Nach den positiven Ergebnissen mit den Rohren 32 x 2,4 mm wurden zur Beschränkung des Prüfumfanges die DN 160-Rohre nicht mehr aus allen 8 Rezepturen sondern nur noch aus den Rezepturen 4, 5, 7 und 8 extrudiert und geprüft. Die Extrusion dieser Rohre aus den 4 ausgewählten Rezepturen erfolgte aus einer PVC-Charge und gleichen Mischbedingungen bei der Alphacan Omniplast GmbH mit dem selben Extruder und Werkzeug. Wie die Rohre 32 x 2,4 mm wurden auch die Rohre 160 x 4,7 mm von der Stoff- und Systemprüfung der HT-Troplast AG geprüft. Die an diesen Rohren ermittelten Eigenschaftswerte zeigen ebenfalls, dass die Anforderungen der DIN 8061, sowie der darüber hinaus gehenden Forderungen für die Zulassung als Kanalrohre, von allen Stabilisierungssystemen erfüllt werden (Tabelle 11) [29 - 35].



Von diesen sind insbesondere die Biegefestigkeit, Ringsteifigkeit (Tabelle 11) das Kriechverhalten sowie das Abriebverhalten (Tabelle 12) zu nennen [36 und 37]. Besondere Bedeutung kommt auch bei den Rohren 160 x 4,7 mm dem Zeitstand-Innendruckverhalten zu, wenngleich aus Platzmangel in der Prüfanlage nicht das ganze Prüfprogramm der 8 Rohre 32 x 2,4 mm wiederholt werden konnte. Deshalb wurde die Zeitstand-Innendruckprüfung auf die Einhaltung der DIN 8061 bei 20°C und 60°C beschränkt. Auch konnten nur jeweils 3 bzw. 4 Probekörper je Prüfbedingung eingesetzt werden (Tabelle 13).

Bild 33: Zeitstandverhalten der Rohre 1 – 8 nach 1 Jahr Bewitterung

Rohr-Nr.	Bewitterungs-		Rohrzone	Prüf- methode	1	2	3	4	5	6	7	8
Stabilisatorsystem	Ort	Zeit [Jahre]			Sn	CaZn	CaZn	Sn	CaZn	CaZn	Pb	OS
Schlagzähigkeit +23°C (kJ/m²)	Anlieferung				5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng
	Troisdorf	1	a	I	9,4 (5,3-13,7)	8,0 (7,1-8,7)	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	8,1 (7,1-8,9)	11,8 (8-15) 1 ng
	Spanien	1			3 ng / 2 g	2 ng / 3 g	5 ng	8,9 (7,4-11,5)	2 ng / 3 g	10,8 (4,4-25,7) 1 ng	2 ng / 3 g	2 ng / 3 g
		2			5,2 (4,9-6,0)	6,0 (3,9-8,3) 1 ng	5 ng	8,7 (6,1-11,5)	5,1 (3,8-8,2) 1 ng	6,3 (4,5-8,7) 1 ng	2 ng / 3 g	
	Troisdorf	1	b	I	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng
	Spanien	1			5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	4 ng / 1 g
		2			5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	
	Schlagzähigkeit +23°C (kJ/m²)	Anlieferung				5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng
Troisdorf		1	a	II	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng
Spanien		1			5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng
		2			5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng
Troisdorf		1	b	II	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	4 ng / 1 g	5 ng	5 ng	
Spanien		1			5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	
		2			5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	5 ng	
Dehydrochlorierungszeit (min)		Anlieferung				28	42	42	34	25	36	32
	Troisdorf	1	a		23	35	37	26	16	30	16	16
	Spanien	1			17	33	31	26	13	25	27	
	Troisdorf	1	b		43	51	49	40	26	38	36	35
	Spanien	1			26	51	49	39	26	40	32	
Rohrzone aus der die Proben entnommen sind:		a b	der Sonneneinstrahlung zugewandte Rohrzone nicht der Sonneneinstrahlung ausgesetzte Rückseite									
Prüfmethode		I II	Schlag des Pendelhammers auf die Rohrinnenseite Schlag des Pendelhammers auf die bewitterte Rohraußenseite									

Tabelle 9: Verhalten von PVC-U-Rohren mit unterschiedlicher Stabilisierung bei natürlicher Bewitterung in Troisdorf und Südspanien

Prüfspannung N/mm ²	Prüftemperatur °C	Bewitterungsort	Rohr Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
			Stabilisierungssystem	Sn	CaZn	CaZn	Sn	CaZn	CaZn	Pb	OS
			Bewitterungszeit	Standzeiten h							
35	20	Anlieferung		683	153,4	821	939	5426	14596	540	240
		Troisdorf	1 Jahr	5080	2498	4279	4666	>24384	>24384	3893	1150
		Spanien	1 Jahr	5770	2048	4686	4820	9048	5175	2800	6264
17	60	Anlieferung		64	61,2	964	445	1551	788	2592	103,7
		Troisdorf	1 Jahr	48,4	65,2	454	90,3	308	93,8	390,7	59,7
		Spanien	1 Jahr	44,5	41,5	198,2	100	730	245,6	412	
15	60	Anlieferung		843	5094	5876	13067	5002	3927	22464	568
		Troisdorf	1 Jahr	513	1366	6936	2478	1362	1802	8112	1779
		Spanien	1 Jahr	495	1362	852	4416	>21240	1366		624
10	60	Anlieferung		>26040	>26040	>26040	>26040	>26040	>26040	>26040	>15720
		Troisdorf	1 Jahr	>23568	>23568	>23568	>23568	>23568	2627	>23568	>23568
		Spanien	1 Jahr	>23568	>23568	>23568	>23568	>23568	>23568	>23568	

Tabelle 10: Zeitstand-Innendruckverhalten bewitterter PVC-U-Rohre 32 x 2,4 mm mit unterschiedlicher Stabilisierung nach natürlicher Bewitterung in Troisdorf und Südspanien

8.1 Physikalische Eigenschaften

Eigenschaft Stabilisatorsystem	Prüfverfahren	Einheit	Rohr I (5)	Rohr II (8)	Rohr III (4)	Rohr IV (7)
			CaZn	OS	Sn	Pb
Dichte (Verf. A)	DIN EN ISO 1183	g/cm ³	1,404	1,406	1,401	1,416
E-Modul 3-Punkt-Biegeversuch	DIN EN ISO 178	MPa	2940 ± 50	2790 ± 30	2820 ± 60	2880 ± 80
Norm Biegespannung Biegefestigkeit Biegedehnung	DIN EN ISO 178	MPa	76,8 ± 0,8	75,3 ± 0,8	72,9 ± 1,0	74,0 ± 0,9
		MPa	86,7 ± 0,8	85,5 ± 0,9	80,0 ± 0,7	85,5 ± 1,5
		%	5,8 ± 0,1	5,7 ± 0,1	5,5 ± 0,1	5,9 ± 0,2
Ringsteifigkeit S	DIN EN ISO 9969	kN/m ²	10,7 (10,4-10,9)	12,0 (11,8-12,2)	11,2 (11,0-11,4)	11,0 (10,7-11,2)
Schlagzähigkeit	ISO 179, 1 fJ +23° ± 0° -10°	°C	10 ng	10 ng	10 ng	10 ng
		°C (kJ/m ²)	9 ng / 1 g (64,4)	9 ng / 1 g (49,3)	8 ng / 2 g (154 ± 9)	10 ng
		°C (kJ/m ²)	7 ng / 3 g (100±30)	--	4 ng / 6 g (130 ± 30)	10 ng
Vicat-Erweichungstemperatur (VST)	DIN EN ISO 306 Verf. B / 50	°C	83 (83-84)	84 (83-84)	83 (83-83)	85 (85-85)
Maßänderung nach Warmlagerung bei +140°C nach 60 min Beurteilung	DIN EN 479	%	-1,43 / -1,49 / -1,20	-0,946 / -1,34 / -0,925	-1,62 / -1,38 / -1,34	-1,78 / -1,44 / -2,04
		-	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.
Homogenität nach Warmlagerung bei +140°C nach 60 min	GKR, R 1.1.1	-	keine Blasen, Risse, Aufblätterungen	keine Blasen, Risse, Aufblätterungen	keine Blasen, Risse, Aufblätterungen	keine Blasen, Risse, Aufblätterungen
Methylenchloridtest bei +20°C nach 30 min bei +15°C nach 30 min	DIN EN ISO 580	%	angegriffen 90-100	angegriffen 80-100	angegriffen 80-100	angegriffen 80-100
		%	angegriffen 70-90	angegriffen 55-85	angegriffen 70-95	angegriffen 80-95
Kugelfallversuch ±0°C Fallgewicht: 0,32 kg Fallhöhe: 2 m Konditionierung: Luft 1 h ± 0°C Bewertung	ISO 3127	-	74 ng / 4 g	96 ng / 0 g	77 ng / 5 g	96 ng / 0 g
		-	B	A	B	A
Beurteilung Wasseraufnahme (24 h +100°C)	DIN 53495	mg	112 ± 1	107,7 ± 0,6	90,7 ± 0,6	68,0 ± 2
		mg/cm ²	1,80 ± 0,015	1,73 ± 0,6	1,47 ± 0,01	1,09 ± 0,026
		%	0,614 ± 0,004	0,568 ± 0,007	0,518 ± 0,007	0,343 ± 0,007
Dehydrochlorierung	DIN 53381	min	34	34	30	24
ng = Anzahl der nicht gebrochenen Proben g = Anzahl der gebrochenen Proben A = erfüllt B = weitere Versuche erforderlich						

Tabelle 11: Eigenschaften von PVC-U-Rohren 160 x 4,7 mm im Anlieferungszustand mit unterschiedlicher Stabilisierung

8.2 Kriech- und Abriebverhalten

Rohr-Nr.		I (5)			II (8)			III (4)			IV (7)		
Stabilisatorsystem		CaZn			OS			Sn			Pb		
Probekörper		a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Kriechverhalten nach DIN 16961-2													
Probekörperlänge	mm	299,8	299,9	299,1	299,7	299,9	299,7	299,4	299,5	298,5	299,4	299,5	297,8
Innendurchmesser	mm	149,4	150,2	150,8	149,7	149,7	149,8	149,4	149,8	150,4	149,0	149,5	150,5
Belastungskraft	N	411	411	411	411	411	411	411	411	411	411	411	411
Querschnittsverformung													
nach 0,1 h	mm	2,51	2,41	2,44	2,22	2,20	2,18	2,39	2,32	2,38	2,36	2,21	2,34
1 h	mm	2,53	2,44	2,47	2,25	2,24	2,19	2,43	2,35	2,50	2,38	2,22	2,36
4 h	mm	2,56	2,45	2,51	2,30	2,28	2,23	2,46	2,39	2,51	2,41	2,23	2,38
24 h	mm	2,60	2,45	2,63	2,31	2,30	2,38	2,48	2,47	2,63	2,43	2,32	2,45
1008 h	mm	3,24	3,03	3,14	2,97	2,83	2,76	3,18	2,91	3,07	3,08	2,71	2,83
2000 h	mm	3,45	3,26	3,29	3,15	3,01	2,92	3,37	3,07	3,25	3,26	2,89	2,94
2 Jahren Schätzwert (17.520 h)	mm	3,83	3,62	3,69	3,66	3,53	3,41	3,76	3,48	3,60	3,55	3,15	3,28
Korrelationskoeffizient	-	0,9957	0,9990	0,9995	0,9988	0,9994	0,9988	0,9929	0,9984	0,9946	0,9921	0,9886	0,9986
Abriebverhalten													
Rohrlänge	cm	100	100		100	100		100	100		100	100	
Prüflänge	cm	70	70		70	70		70	70		70	70	
Prüftemperatur	°C	20	20		20	20		20	20		20	20	
Wasser-Spiegelbreite	mm	140	140		140	140		140	140		140	140	
Eintiefung (24 Messstellen) nach 25.000 Lastspielen	mm	0,073 (0,03-0,13)	0,10 (0,07-0,15)		0,068 (0,02-0,11)	0,11 (0,06-0,17)		0,09 (0,04-0,14)	0,07 (0,02-0,14)		0,05 (0,01-0,10)	0,08 (0,01-0,15)	
50.000 Lastspielen	mm	0,14 (0,07-0,22)	0,178 (0,09-0,22)		0,15 (0,06-0,22)	0,17 (0,10-0,22)		0,15 (0,08-02)	0,16 (0,06-0,23)		0,12 (0,04-0,19)	0,16 (0,08-0,23)	
100.000 Lastspielen	mm	0,26 (0,11-0,36)	0,30 (0,16-0,38)		0,26 (0,13-0,34)	0,28 (0,13-0,39)		0,27 (0,13-0,37)	0,27 (0,10-0,38)		0,23 (0,10-0,33)	0,25 (0,10-0,35)	
Sand-Kies-Wasser-Gemisch													
3-5 mm Ø : 30 % = 1,02 kg													
5-8 mm Ø : 50 % = 1,70 kg													
8-12 mm Ø : 20 % = 0,68 kg													

Tabelle 12: Kriechverhalten und Abriebverhalten von PVC-U-Rohren 160 x 4,7 mm unterschiedlicher Stabilisierung

8.3 Zeitstand-Innendruckversuche

Rohr-Nr.		Rohr I (5)	Rohr II (8)	Rohr III (4)	Rohr IV (7)
Stabilisatorsystem		CaZn	OS	Sn	Pb
Prüftemperatur	Prüfspannung	Standzeiten h			
20°C	42 N/mm²	0,0	3,4	21,9	334,0
		67,0	44,7	22,9	24,0
		34,7	47,7	9,0	45,3
		30,3	0,0	10,2	59,8
		11,4	18,2		
	35 N/mm²	5376	2424	1536	3792
		4104	>4416	>4416	1728
		96	4128	1104	3912
		3528	2232	>3048	>3048
60°C	19 N/mm²	52,8	79,9	9,9	284
		20,8	44,8	15,6	126
		18,6	46,0	41,9	197
	17 N/mm²	17,0	37,0	16,0	60,3
		92,5	32,8	37,6	39,4
		18,0	24,3	13,0	106
		26,5	25,5	15,0	39,6
	15 N/mm²	331	358	115	388
		332	332	119	328
		356	383	311	329
	12,5 N/mm²	2233	>2236	2069	>2260
		>2236	>2236	>2236	>2236
		>2236	>2236	2069	>2236
		>2236	>2236	1026	>2236

Tabelle 13: Zeitstand-Innendruckversuch an PVC-U-Rohren 160 x 4,7 mm mit unterschiedlicher Stabilisierung

8.4 Versuche an Spritzguss-Formstücken

Als weitere Besonderheit ist festzuhalten, dass die Rohrproben wegen der begrenzten Anzahl der vorrätigen Verschlüsse nur teilweise mit den handelsüblichen metallischen Prüfverschlüssen verschlossen werden konnten. Die Mehrzahl der Rohrproben wurde an beiden Enden mit gespritzten PVC-U-Verschlusskappen der Firma Georg Fischer verklebt (Bild 34).

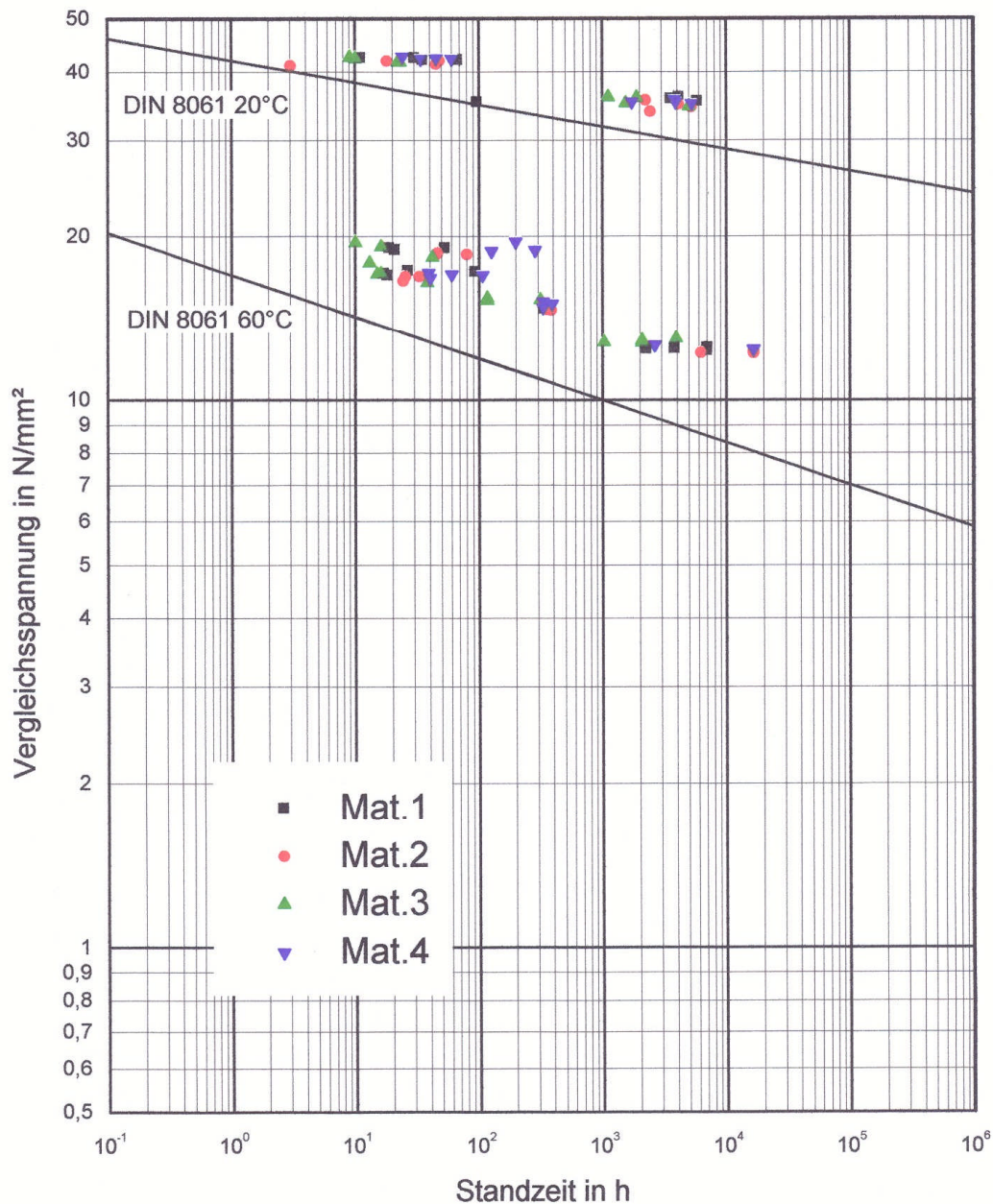


Bild 34: Rohrabschnitte 160 x 4,7 mm mit unterschiedlichen Prüfverschlüssen nach Abschluss der Zeitstand-Innendruckversuche

Zwischen den beiden Verschlussystemen wurden in den Standzeiten der Rohrproben aber keine charakteristischen Unterschiede festgestellt. Wie Bild 35 zeigt, liegen alle Bruchzeiten der Rohre 160 x 4,7 mm sowohl bei 20°C als auch bei 60°C über den Mindestbruchkurven der DIN 8061. Damit wird bestätigt, dass das an den PVC-U-Rohren 32 x 2,4 mm ermittelte Zeitstand-Innendruckverhalten trotz der unterschiedlichen Rheologie der verschiedenen Rezepturen auf die gesamte PVC-U-Rohrpalette übertragbar ist. Gleichzeitig kann aus diesen Ergebnissen der Schluss gezogen werden, dass auch das Langzeitverhalten der im Spritzguss hergestellten PVC-U-Verschlusskappen dem der Rohre entspricht.

8.5 Dynamische Druckwechselversuche

Zur Ergänzung der statischen Zeitstand-Innendruckversuche wurden in Anlehnung an die Versuche von Kirstein [38] an den Rohren 160 x 4,7 noch dynamische Druckwechselversuche bei 20°C durchgeführt. Aus den in Tabelle 14 zusammengestellten Werten und Bild 36 ist zu erkennen, dass die mit einer Amplitude von 10 N/mm² vorgenommenen Druckwechsel sich asymptotisch einem Grenzwert der mittleren Spannung von 30–32 N/mm² annähert und damit im Untersuchungszeitraum in der Größenordnung der Bruchzeiten bei den statischen Zeitstand-Innendruckversuchen liegt.



3.4.2002

Bild 35: Zeitstandverhalten von Rohren aus PVC-U Ø 160 mm bei +20 und +60°C

8.6 Recyclingversuche

Für die ökologische Bewertung der PVC-U-Rohre ist ihre Recyclingfähigkeit von Bedeutung. Nachdem die Hersteller von Kunststoffrohren für die z.Z. im Einsatz befindlichen PVC-U-Rohre mit Pb-Stabilisatorsystemen ein funktionierendes System für das werkstoffliche Recycling aufgebaut haben, musste geklärt werden, ob auch Rohre mit anderen Stabilisatorsystemen mit diesen Recyclingsystemen kompatibel sind. Zu diesem Zweck wurden zunächst aus allen 4 ausgewählten Rezepturen separat und dann aus Mischungen der einzelnen und aller Rezepturen auf einem Laborextruder bei der Fa. Crompton Bänder extrudiert. Nach jeweiliger Regranulierung wurde der Extrusionsvorgang bis zu 5 x wiederholt. Anschließend wurden die nach den einzelnen Extrusionsvorgängen entnommenen Probeständer geprüft. Aufgrund der dabei ermittelten Ergebnisse (Tabelle 15) kann gesagt werden, dass nicht nur Pb-stabilisierte sondern auch die mit den untersuchten Stabilisatorsystemen CaZn, Sn und OS stabilisierten PVC-U-Rohre sowohl miteinander, als auch in Mischungen aller dieser Stabilisatorsysteme, recyclingfähig sind, ohne dass mit einem kritischen Einbruch der Eigenschaftswerte gerechnet werden muss.

Rohr-Nr.			I (5)	II (8)	III (4)	IV (7)	
Temperatur			20°C				
Spannung σ	max.	N/mm²	50,00	50,00	50,00	50,00	
	min.	N/mm²	30,00	30,00	30,00	30,00	
	mittel	N/mm²	40,00	40,00	40,00	40,00	
	Amplitude	N/mm²	10,00	10,00	10,00	10,00	
Prüfdruck	max.	bar	32,40	32,46	30,68	32,70	
	min.	bar	19,44	19,48	18,41	19,60	
Zyklerzahl bis Bruch			-	111	156	115	248

Rohr Nr.			I (5)	II (8)	III (4)	IV (7)	
Temperatur			20°C				
Spannung σ	max.	N/mm²	47,00	47,00	47,00	47,00	
	min.	N/mm²	27,00	27,00	27,00	27,00	
	mittel	N/mm²	37,00	37,00	37,00	37,00	
	Amplitude	N/mm²	10,00	10,00	10,00	10,00	
Prüfdruck	max.	bar	30,00	30,33	30,64	30,26	
	min.	bar	17,24	17,42	17,60	17,39	
Zyklerzahl bis Bruch			-	1164	1011	1399	920

Rohr Nr.			I (5)	II (8)	III (4)	IV (7)	
Temperatur			20°C				
Spannung σ	max.	N/mm²	43,98	43,98	46,17	45,68	
	min.	N/mm²	24,48	24,48	25,71	25,43	
	mittel	N/mm²	34,25	34,25	34,25	34,25	
	Amplitude	N/mm²	9,70	9,70	9,70	9,70	
Prüfdruck	max.	bar	28,20	28,20	28,20	28,20	
	min.	bar	15,70	15,70	15,70	15,70	
Zyklerzahl bis Bruch			-	28373	30722	4089	6148

Stand: 16.10.2000							
-------------------	--	--	--	--	--	--	--

Tabelle 14: Dynamische Druckwechselversuche an PVC-U-Rohren 160 x 4,7 mm

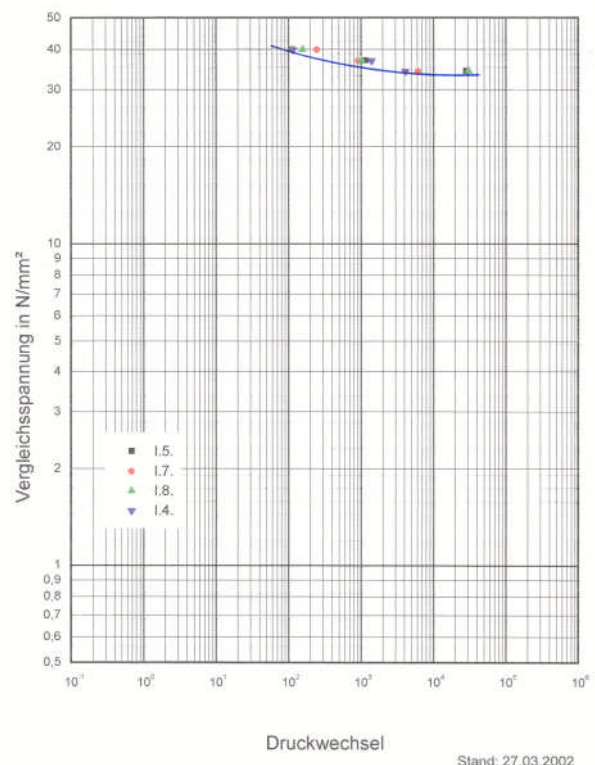


Bild 36: Verhalten aus PVC-U-Rohren 160 x 4,7 mm bei dynamischen Druckwechselversuchen mit Spannungsamplituden von 10 N/mm² bei 20°C

9. Resümee

In der wohl umfangreichsten Untersuchung dieser Art haben die deutschen PVC-U-Rohrhersteller zusammen mit den Additivherstellern das Kurz- und Langzeitverhalten von PVC-U-Rohren aus 8 unterschiedlichen Stabilisatorsystemen untersucht. Neben den wichtigsten mechanischen Eigenschaftswerten wurden deren:

- Zeitstand-Innendruckverhalten
- thermische Alterung
- chemische Widerstandsfähigkeit
- Wetterbeständigkeit
- hygienischen Eigenschaften ermittelt
- Recyclingverhalten.

Rezeptur		4	8	5	7	4 + 5	4 + 8	4 + 7	8 + 5	8 + 7	5 + 7	4+5+7+8
Stabilisierung		Sn	OS	CaZn	Pb	Sn/CaZn	Sn/OS	Sn/Pb	OS/CaZn	OS/Pb	CaZn/Pb	Sn/CaZn/Pb/OS
Schrumpfung	1 x ¹⁾	%	-4,80	-5,30	-3,65	-6,00	-1,80	-4,30	-4,00	-3,95	-6,00	-4,70
	bei 140°C nach 30 min	3 x	%	-4,10	-3,80	-6,60	-6,40	-5,50	-6,30	-2,85	-1,70	-2,15
	5 x	%	-1,60	-0,85	-2,40	-2,15	-1,60	-4,35	-1,55	-1,40	-2,10	-2,35
Streckspannung	1 x	N/mm ²	51,1	51,8	51,6	53,1	52,1	51,7	52,2	53,2	54,2	52,9
	3 x	N/mm ²	52,1	52,6	54,0	53,7	52,6	53,0	54,1	52,5	53,4	52,5
	5 x	N/mm ²	52,5	53,4	53,0	53,6	52,7	53,8	53,3	53,0	53,3	53,3
Reißfestigkeit	1 x	N/mm ²	40,2	41,4	40,3	42,1	38,7	40,6	40,1	40,7	42,5	40,8
	3 x	N/mm ²	39,5	41,2	42,4	41,6	42,3	42,8	40,1	39,3	39,3	38,1
	5 x	N/mm ²	38,5	40,9	40,0	39,2	39,3	41,9	39,5	40,4	39,2	38,6
Reißdehnung	1 x	%	84,5	80,3	69,8	84,8	38,4	54,2	64,6	93,3	83,1	78,0
	3 x	%	41,9	86,3	98,3	89,4	10,5	119	67,6	58,7	54,3	42,2
	5 x	%	69,8	87,0	75,7	69,0	68,2	81,7	79,3	73,7	45,0	65,2
E-Modul	1 x	N/mm ²	2728	2769	2884	2880	2911	2778	2745	2793	2894	2789
	3 x	N/mm ²	2686	2829	2869	2820	2807	2822	2855	2788	2825	2826
	5 x	N/mm ²	2726	2805	2780	2687	2794	2851	2794	2915	2827	2869
Thermostabilität	1 x	min	155	148	105	107	116	161	120	79	120	111
DHC (180°C / 200µS)	3 x	min	165	138	99	111	114	155	118	84	115	109
	5 x	min	147	139	95	115	113	144	118	78	110	106

¹⁾ Zahl der Extrusionsvorgänge

Tabelle 15: Recyclingversuch an PVC-U-Rohren mit unterschiedlicher Stabilisierung

Dazu wurden Zeitstand-Innendruckversuche mit immerhin insgesamt 1700 Rohrproben durchgeführt. Bei Prüftemperaturen von 20°C bis 80°C sind bis zum Beginn der Auswertung mit noch in Prüfung befindlichen Proben Standzeiten von inzwischen über 50000 Stunden erreicht. Die bei 20°C laufenden Proben wurden nach 51000 h nicht abgebrochen. Diese noch in Prüfung befindlichen Rohre erreichten am 03.08.2005 z.B. mit $\sigma = 30 \text{ N/mm}^2$ Standzeiten von > 73030 h. Mit diesen Ergebnissen wurden Extrapolationsversuche nach DIN 16887, ISO DIS 9080 und Arrhenius vorgenommen. Bei diesen Extrapolationen und solchen mit den Ergebnissen der thermischen Alterung in Luft von 60°C bis 120°C ergeben sich mit den extrapolierten Geraden Schnittpunkte mit der 20°C-Linie bei Zeiten von $\geq 10^6$ Stunden.

Alle 8 untersuchten Rezepturen liefern im Zeitstand-Innendruckversuch bei allen Prüftemperaturen, auch bei 80°C, bis zu den jetzt erreichten Standzeiten von über 5 Jahren lineare Zeitstandkennlinien. Im Rahmen der statistischen Fehlergrenzen erreichen die Proben Bruchzeiten, die bei 20°C, 40°C und 60°C auf bzw. über den Mindestbruchkurven der DIN 8061 liegen. Damit kann gesagt werden, dass mit den 8 untersuchten Stabilisator-Rezepturen PVC-U-Rohre herstellbar sind, welche den Anforderungen der DIN 8061 in allen Eigenschaften entsprechen und darüber hinaus eine Gebrauchstauglichkeit von $\geq 10^6$ Stunden, d.h. von über 100 Jahren, erwarten lassen. Das gilt nicht nur für Druckwasserrohre sondern nach den Ergebnissen der Biegefestigkeit, Ringsteifigkeit, des Kriechverhaltens und des Abriebverhaltens auch für drucklose Abwasserrohre.

Dabei bedarf die komplette Umstellung eines vollständigen PVC-U-Rohrsystems von der bewährten Pb-Stabilisierung auf eines der untersuchten anderen Stabilisierungssysteme sicher noch einigen verfahrenstechnischen Entwicklungsaufwand. Auch die Mehrkosten dieser Systeme müssen noch ermittelt werden.

Obwohl eine Gebrauchstauglichkeit von 100 Jahren für menschliche Maßstäbe schon eine lange Zeitspanne darstellt, die sich über mindestens 2 Generationen erstreckt, erscheint diese Prognose nach der umfangreichen und nach unterschiedlichen Gesichtspunkten durchgeführten Untersuchung gesichert. Wobei für Rohre mit anderen Rezepturen und Verarbeitungsbedingungen sowie großen Dimensionen ein Nachweis des entsprechenden Verhaltens erforderlich ist, um vorzeitiges Versagen zu vermeiden.

Die gute Prognose schließt natürlich nicht aus, dass es auch in Rohrleitungen aus PVC-U-Rohren der untersuchten Qualität nach deutlich kürzeren Betriebszeiten zu Brüchen kommen kann. Dazu sind die Faktoren, welche ihre Funktionstüchtigkeit beeinflussen können zu umfangreich und unterschiedlich. Doch werden sicher auch heute verlegte PVC-U-Rohrleitungen teilweise noch länger als prognostiziert ihren Dienst versehen und nach noch viel längeren Zeiten als historische Funde wieder zu Tage gebracht werden.

10. Messunsicherheit

10.1 Messunsicherheitsbetrachtung der Zeitstand-Innendruckversuche

Als Einflussgrößen der Messunsicherheit sind im Allgemeinen zu nennen:

- die Genauigkeit des Messgerätes,
- der Kalibrierstatus,
- die Wiederholbarkeit der Messergebnisse,
- Temperatur, Feuchte, Druck etc.

Diese Einflussgrößen werden im Folgenden bezüglich der Prüfung „Bestimmung des Zeitstand-Innendruckverhaltens“ diskutiert.

Zuvor werden die für die Zeitstand-Innendruckprüfung relevanten Normen benannt:

DIN 8061:1994-08

Rohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid - Allgemeine Qualitätsanforderungen

DIN 8062:1988-11

Rohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U, PVC-HI) - Maße

DIN 16887:1990-07

Prüfung von Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen - Bestimmung des Zeitstand-Innendruckverhaltens

DIN 53759:1975-02

Prüfung von Kunststoff-Fertigteilen - Zeitstand-Innendruckversuch an Hohlkörpern

DIN EN 921:1995-01

Kunststoff-Rohrleitungssysteme Rohre aus Thermoplasten Bestimmung des Zeitstand-Innendruckverhaltens bei konstanten Temperatur

ISO DIS 9080:1997 (heute DIN EN ISO 9080:2003-10)

Plastics piping and ducting systems - Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation

Als entscheidende physikalische Kenngrößen zur Beeinflussung der Prüfergebnisse werden übereinstimmend die **Prüftemperatur** und der **Prüfdruck** benannt, weshalb eine sehr genaue Einhaltung der Grenzwerte gefordert ist:

a) Prüftemperatur

(Lufttemperatur bei 20° und 40°C i.W./a.L. bzw. Beckentemperatur bei 60°C, 65°C; 70°C ; 75°C und 80°C i.W./a.W.):

Geforderter Grenzwert : Prüftemperatur $\pm 1^\circ\text{C}$, oder ggf. $+ 3^\circ\text{C} / - 1^\circ\text{C}$ (siehe DIN EN 921, 4.2)

Unter Punkt 9.2 dieses Berichtes sind die Streuungen der Beckentemperaturen graphisch dargestellt sowie deren mittlere Temperatur angegeben. Diese Zusammenstellungen zeigen, dass die geforderte Grenzabweichung von $\pm 1^\circ\text{C}$ bei allen Beckentemperaturen eingehalten wird.

b) Prüfdruck :

Geforderter Grenzwert : Prüfdruck $+ 2 \% / - 1 \%$ (siehe DIN EN 921, 4.4)

Im Anhang 4 dieses Berichtes sind die Kalibrierprotokolle der Druckprüfung der Prüfstände 2 und 5 zu finden.

Diese zeigen, dass die geforderte Grenzabweichung von $+ 2 \% / - 1 \%$ für alle Prüfdrücke eingehalten wird.

Kalibrierung der Prüfgeräte

Die DIN EN 921 verweist in ihrem im Abschnitt 7.1 „Kalibrierung der Prüfgeräte“ auf die regelmäßige Kalibrierung der Prüfgeräte zur Temperatur- und Druckkontrolle sowie der Einrichtungen zur Messung von Temperatur, Druck und Zeit.

Im Anhang dieses Berichtes sind folgende Kopien zu finden:

- Kalibrierscheine der verwendeten Prüfgeräte (Anhang 3),
- Kalibrierprotokolle für die Temperatur der Zeitstandbecken , (Anhang 5),
- Kalibrieranweisung (KA-176 der HT TROPLAST AG), nach welcher die Druck-Prüfstände kalibriert wurden, (Anhang 6).

Wiederholbarkeit der Messergebnisse

Die nachfolgende Graphik zeigt die Streuung der Messwerte des Zeitstand-Innendruckversuches als Funktion der Prüftemperatur. Auf der X-Achse ist die mittlere Standzeit aller 5 Proben jeder Druckstufe mit der dazugehörigen Standardabweichung (Y-Achse) dargestellt.

(Hinweis: Da mathematisch eine Mittelwertbildung von Zahlenwerten „> X Stunden“ nicht möglich ist, wurden diese Werte als Bruchzeiten angenommen).

Bild 37 zeigt im Einzelnen:

- die Streuung ist für alle Temperaturen vergleichbar
- die Streuung beträgt ca. 10 % vom jeweiligen Messwert.

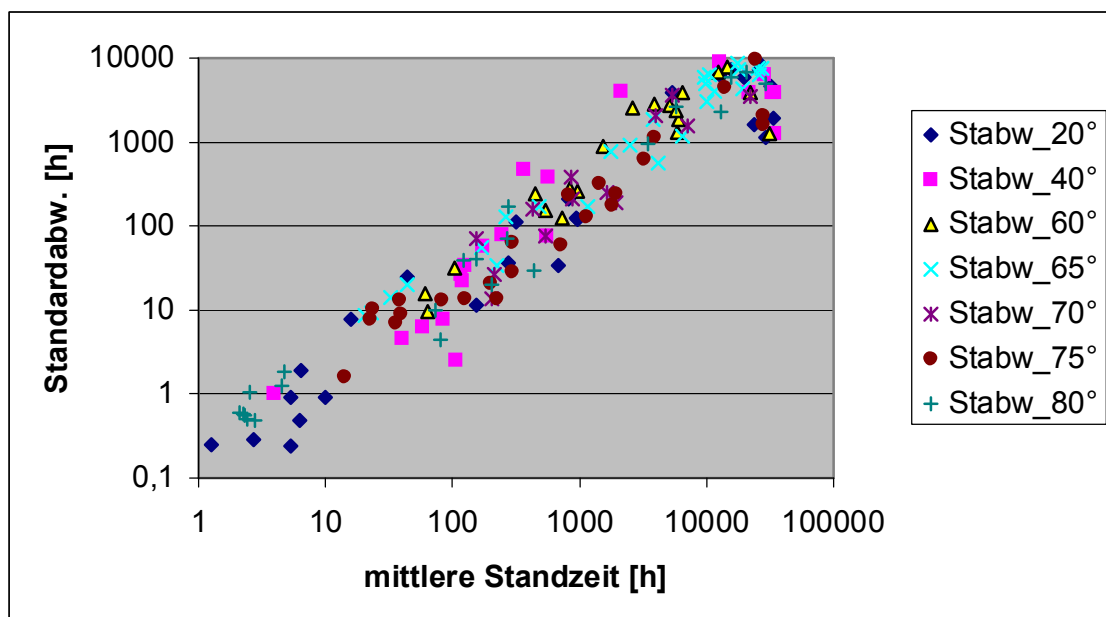


Bild 37: Streuung Zeitstand-Innendruckversuch

Abschätzung der Messunsicherheit:

Die Abschätzung der Messunsicherheit für den Zeitstand-Innendruckversuch gemäß dem QM-Handbuch der Stoff- und Systemprüfung, Arbeitsanweisung 21-02, Ausgabe Januar 2003, Abschnitt 4.2 Messunsicherheit von Prüfergebnissen in Verbindung mit der Tabelle „Fehlergrößen und deren Einfluss“ (siehe unter 9.3 auf der Seite 6, Abschnitt 2.8 „Langzeitverhalten von Hohlkörpern“, DIN 53759), weist eine Messunsicherheit von **einer halben Dekade bei Standzeit** aus.

Nachfolgend wird mit Hilfe eines vereinfachten Ansatzes unter Einbeziehung der max. Toleranzgrenzen für Druck und Temperatur, sowie der Streuung der Messwerte die Messunsicherheit „ u_{ges} “ nach untenstehender Formel berechnet:

$$u_{ges} = \sqrt{u_{Temperatur}^2 + u_{Druck}^2 + u_{Streuung}^2}$$

Temperatur: $\pm 1^\circ\text{C}$

entspricht bei 20°C = 5 % , bei 80°C = 1,25 %
gewählt: $u_{Temperatur} = 0,05$

Druck: + 2 % / - 1%

gewählt: $u_{Druck} = 0,03$

Wiederholung der Messergebnisse:

gewählt: $u_{\text{Streuung}} = 0,1$

$$u_{\text{ges}} = \sqrt{0,05^2 + 0,03^2 + 0,1^2}$$

$$u_{\text{ges}} = 0,116$$

Die erweiterte Messunsicherheit „U“ mit dem Erweiterungsfaktor „k“ = 2

$$U = u_{\text{ges}} \times 2$$

beträgt $U = 0,23 = 23 \%$

Rohr-Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8	8a
Standzeit bei 42 N/mm² / + 20°C	h	5,66	2,67	5,53	8,01	6,75	78,92	8,84	0,89	5,57
		6,87	2,43	5,46	5,18	14,62	54,11	11	1,54	5,98
		6,22	2,35	4,93	4,01	27,08	30,37	10,38	1,26	4,26
		6,27	2,9	5,41	6,25	10,73	43,72	9,02	1,37	-
		5,8	3	5,32	8,52	18,99	14,74	9,88	1,15	-
		Mittelwert	6,164	2,67	5,33	6,394	15,634	44,372	9,824	1,242
Standardabweichung	0,474	0,284	0,236	1,891	7,857	24,305	0,910	0,244	0,898	
Standzeit bei 35 N/mm² / + 20°C	h	694,8	148,9	666,5	792	4009	18669	1031,6	267,2	1284
		683,7	146,5	833,9	1031,6	4102	8541	1060,9	219,4	340
		690,2	152,9	1151,1	1030	12265	7438	1072,5	267,2	348,6
		719	146	836	1028,2	3275	23700	849,8	300	343,6
		627	172,9	615,9	814,5	3481	20095	829,9	315,7	-
		Mittelwert	682,94	153,44	820,68	939,26	5426,4	15688,6	968,94	273,9
Standardabweichung	33,998	11,215	209,340	124,420	3838,705	7273,965	118,990	37,042	469,980	
Standzeit bei 32 N/mm² / + 20°C	h	34296	495,7	24513	34296	34296	34296	34296	10967	5912
		34296	281,3	21302	34296	34296	34296	34296	8935	6602
		34296	187,3	25507	34296	34296	34296	34296	14717	15336
		29976	293,8	24514	34296	34296	2140	34296	5868	-
		34296	324,7	24515	34296	34296	34296	23777	22464	-
		Mittelwert	33432	316,56	24070,2	34296	34296	27864,8	32192,2	12590,2
Standardabweichung	1931,963	112,502	1606,98	0,000	0,000	14380,600	4704,240	6387,457	5253,104	
Standzeit bei 30 N/mm² / + 20°C	h	37080	37080	37080	37080	37080	6360	37080	22464	
		37080	28752	37080	37080	37080	2568	37080	22464	
		6648	27024	8016	37080	7272	2280	37080	22464	
		37080	19536	37080	37080	37080	37080	37080	22464	
		2904	19536	37080	37080	10752	5088	37080	22464	
		Mittelwert	24158,4	26385,6	31267,2	37080	25852,8	10675,2	37080	22464
Standardabweichung	17743,075	7317,985	12997,816	0,000	15422,632	14859,822	0,000	0,000		
Standzeit bei 27 N/mm² / + 20°C	h	29904	29904	29904	29904	29904	29904	29904	27600	
		29904	18624	29904	29904	29904	9552	29904	27600	
		29904	14784	29904	29904	29904	29904	27312	27600	
		29904	17280	29904	29904	29904	29904	29904	27600	
		3552	17856	29904	4200	29904	29904	29904	27600	
		Mittelwert	24633,6	19689,6	29904	24763,2	29904	25833,6	29385,6	27600
Standardabweichung	11784,973	5888,604	0,000	11495,178	0,000	9101,691	1159,178	0,000		
Stand: 05.06.2001										

Tabelle 16: Zeitstand-Innendruckversuche an Rohre mit unterschiedlicher Stabilisierung; Rohrdimension: 32 x 2,4 mm; Farbe: grau, bei + 20°C

Rohr-Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8	
Standzeit bei 30 N/mm² / + 40°C	h	103,2	86,2	104,7	111,1	135,4	508,2	163,2	4,3	
		109,1	70,9	179,8	127,4	189,6	540,9	108,9	4,98	
		109,1	88,4	136,1	108,4	179,5	450,5	115,2	3,72	
		106,3	85,3	104,3	96,7	111,4	641	98,9	2,31	
		105,2	90,6	101,5	154,8	1220	604,1	100,3	4,36	
Mittelwert		106,58	84,28	125,28	119,68	367,18	548,94	117,3	3,934	
Standardabweichung		2,555	7,757	33,611	22,483	477,809	75,717	26,502	1,012	
Standzeit bei 26 N/mm² / + 40°C	h	254,6	66	274,5	348	24528	24528	341,2	37,15	
		109,4	59,2	257	226	19800	24528	481	36,15	
		138	58,5	955,1	284	7095	16493	270,6	37,05	
		202,6	54,6	1027,8	135,1	24528	18511	9435	45,77	
		155,7	48,9	344,1	237,9	2422	24528	213	44,17	
Mittelwert		172,06	57,44	571,7	246,2	15674,6	21717,6	2148,16	40,058	
Standardabweichung		57,227	6,295	385,418	78,441	10283,789	3913,878	4074,698	4,536	
Standzeit bei 23 N/mm² / + 40°C	h	18019	34848	34848	34848	34848	34848	34848	5331	
		28371	34848	34848	34848	34848	34848	34848	9676	
		32064	26048	34848	34848	34848	34848	31968	22488	
		28955	34848	34848	34848	34848	34848	34848	3765	
		34848	34848	34848	34848	34848	34848	34848	22488	
Mittelwert		28451,4	33088	34848	34848	34848	34848	34272	12749,6	
Standardabweichung		6384,795	3935,48	0,000	0,000	0,000	0,000	1287,975	9149,844	
Standzeit bei 20 N/mm² / + 40°C	h	36768	36768	36768	36768	36768	36768	36768	640	
		36768	36768	36768	36768	36768	36768	15168	27600	
		36768	36768	36768	36768	28968	36768	36768	27600	
		36768	36768	36768	36768	36768	36768	36768	27600	
		Mittelwert		36768	36768	36768	36768	34818	36768	31368
Standardabweichung		0,000	0,000	0,000	0,000	3900	0,000	10800	13480	
Stand: 05.06.2001										

Tabelle 17: Zeitstand-Innendruckversuche an Rohren mit unterschiedlicher Stabilisierung; Rohrdimension: 32 x 2,4 mm; Farbe: grau; bei + 40°C

Rohr-Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8
Standzeit bei 17 N/mm² / + 60°C	h	65,5	45,3	1195,6	588,8	1116,6	818,9	6201	153,9
		75,9	78,4	967,6	542	946,2	789,5	857,4	64,3
		69,1	70,4	701,6	64,6	1237,4	517,2	627,2	102,7
		51,5	67,6	1256,2	346,8	3115,4	813,4	860	96,6
		58,5	44,3	696,9	682,4	1342,6	752,4	4415	99,3
Mittelwert	64,1	61,2	963,58	444,92	1551,64	738,28	2592,12	103,36	
Standardabweichung	9,438	15,491	264,21	245,354	886,511	126,335	2560,142	32,181	
Standzeit bei 15 N/mm² / + 60°C	h	904,3	4688	5546	23538	5436	1248	25481	520
		577,2	6876	4264	20155	9286	4394	19631	787
		1137,8	2153	7941	15400	5460	6206	17130	541
		530,8	8832	6062	3543	5755	785,4	24819	474
		1063,4	2920	5568	9934	4456	7000	25258	368
Mittelwert	842,7	5093,8	5876,2	14514	6078,6	3926,68	22463,8	538	
Standardabweichung	277,20	2769,872	1332,397	7990,271	1858,801	2824,091	3838,365	154,378	
Standzeit bei 12,5 N/mm² / + 60°C	h	6182	31800	31800	31800	1777	10204	31800	12723
		5745	31800	27779	31800	24198	8897	31800	1843
		1843	17547	31800	31800	21513	2444	17759	13880
		8367	31800	1630	31800	31800	2279	27015	21360
		6679	9363	2759	28989	6812	8947	1901	11975
Mittelwert	5763,2	24462	19153,6	31237,8	17220	6554,2	22055	12356,2	
Standardabweichung	2406,354	10456,287	15573,374	1257,117	12515,105	3863,493	12640,916	6967,74	
Standzeit bei 10 N/mm² / + 60°C	h	31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	21360
		31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	21360
		31680	787,1	31680	31680	31680	31680	31680	21360
		31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	21360
		31680	31680	31680	31680	31680	31680	31680	21360
Mittelwert	31680	25501,42	31680	31680	31680	31680	31680	21360	
Standardabweichung	0,000	13815,725	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Standzeit bei 9 N/mm² / + 60°C	h	33262	33262	33262	33262	33262	33262	33262	27384
		3461	13709	33262	33262	33262	33262	33262	27384
		17431	33262	33262	33262	33262	33262	33262	27384
		33262	33262	33262	33262	33262	33262	33262	27384
		3441	33262	33262	33262	33262	33262	33262	27384
Mittelwert	18171,4	29351,4	33262	33262	33262	33262	33262	27384	
Standardabweichung	14911,247	8744,367	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Stand: 01.06.2001									

Tabelle: 18: Zeitstand-Innendruckversuche an Rohren mit unterschiedlicher Stabilisierung; Rohrdimension: 32 x 2,4 mm; Farbe: grau; bei + 60°C

Rohr-Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8
Standzeit bei 15 N/mm ² / + 65°C	h	29,42	33,75	194,1	63,64	62,2	207,3	231,2	14,8
		15,41	43,14	104	25,2	291,6	224,8	669,7	26,9
		16,4	25,13	120	26,23	404,8	256,7	418,1	11,3
		36,43	47	196,4	66,3	244,8	247,5	596,1	31,8
		17,76	11,72	234,1	39,36	319,9	171,2	462,1	16,9
Mittelwert		23,08	32,15	169,72	44,15	264,66	221,50	475,44	20,34
Standardabweichung		9,356	14,235	55,322	19,835	127,280	34,124	169,864	8,640
Standzeit bei 12 N/mm ² / + 65°C	h	1436,8	13630	6491	7818	10992	1338	3339	2576
		973,4	8824	5643	8566	6280	1434,3	33974	3782
		1202,8	8560	7040	10637	8825	1131,9	1052,5	1209
		1081,7	12718	7985	17633	19068	1913,5	10875	2260
		1128,6	6513	5010	13539	2994,5	3069,7	14293	2695
Mittelwert		1164,66	10049	6433,8	11638,6	9631,9	1777,48	12706,7	2504,4
Standardabweichung		173,406	3006,999	1165,069	4018,252	6058,697	777,178	13055,111	923,514
Standzeit bei 10 N/mm ² / + 65°C	h	4544	16017	31042	27311	19661	3935	33418	14890
		3969	28354	13522	27115	14218	3785	31954	14890
		1419	31282	29530	27043	30826	4583	27874	767
		2707	23960	30898	27187	6844	4993	31450	14890
		6314	31378	31114	27571	17002	3673	2948	7434
Mittelwert		3790,6	26198,2	27221,2	27245,4	17710,2	4193,8	25528,8	10574,2
Standardabweichung		1855,105	6441,810	7685,537	207,183	8755,015	569,106	12786,475	6362,398
Standzeit bei 9 N/mm ² / + 65°C	h	7955	29203	29203	12289	29203	29203	29203	11776
		16725	29203	29203	29203	29203	9009	29203	21432
		3147	29203	29203	29203	29203	15717	491	21432
		9100	29203	29203	29203	29203	19434	29203	21432
		12161	29203	29203	29203	29203	16079	29203	21432
Mittelwert		9817,6	29203	29203	25820,2	29203	17888,4	23460,6	19500,8
Standardabweichung		5041,945	0,000	0,000	7564,171	0,000	7369,561	12840,397	4318,294
Standzeit bei 8 N/mm ² / + 65°C	h	9476	35640	35640	35640	35640	35640	35640	27384
		4916	35640	35640	35640	35640	35640	35640	27384
		6932	35640	35640	35640	35640	35640	35640	27384
		1800	35640	35640	35640	35640	35640	35640	27384
		5612	35640	35640	35640	35640	35640	35640	27384
Mittelwert		5747,2	35640	35640	35640	35640	35640	35640	27384
Standardabweichung		2810,572	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Stand: 01.06.2001									

Tabelle 19: Zeitstand-Innendruckversuche an Rohren mit unterschiedlicher Stabilisierung; Rohrdimension: 32 x 2,4 mm; Farbe: grau; bei + 65°C

Rohr-Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8
Standzeit bei 10 N/mm² / + 70°C	h	217,5	1204,5	2211,6	241,8	510,6	605,9	1351	262,7
		217,4	870,4	2036,4	177,3	458,2	285	4083	153
		192,5	622	1702,9	196,3	644,2	358,4	3784	165,6
		192,6	792,9	1911,8	224,3	606,7	285	6965	110,6
		192,6	870,3	1872,4	231	507,7	584,3	10852	74,11
		202,52	872,02	1947,02	214,14	545,48	423,72	5407	153,202
Mittelwert									
Standardabweichung		13,629	211,73	189,996	26,59	77,064	159,475	3637,088	71,088
Standzeit bei 8 N/mm² / + 70°C	h	478,3	33710	33710	1537,4	9217	6226	33710	21316
		1079,2	33710	33710	2073,5	8083	4653	33710	21316
		1086,8	9230	33710	1444,9	6211	3350	33710	21316
		437,5	9222	33710	1563,3	5281	820,4	33710	21316
		1247	33710	33710	1537,6	7021	4936	33710	21316
		865,76	23916,4	33710	1631,34	7162,6	3997,08	33710	21316
Mittelwert									
Standardabweichung		378,58	13410,439	0,000	251,25	1543,835	2048,774	0,000	0,000
Standzeit bei 6 N/mm² / + 70°C	h	23736	23736	23736	23736	23736	23736	23736	23736
		23736	23736	23736	23736	23736	15908	23736	23736
		23736	23736	23736	23736	23736	23736	23736	23736
		23736	23736	23736	23736	23736	23736	23736	23736
		23736	23736	23736	23736	23736	23736	23736	23736
		23736	23736	23736	23736	23736	22170,4	23736	23736
Mittelwert									
Standardabweichung		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3500,788	0,000	0,000
Standzeit bei 5 N/mm² / + 70°C	h	35532	35532	35532	35532	35532	35532	35532	21360
		35532	35532	35532	35532	35532	35532	35532	21360
		35532	35532	35532	35532	35532	35532	35532	21360
		35532	35532	35532	35532	35532	35532	35532	21360
		35532	35532	35532	35532	35532	35532	35532	21360
		35532	35532	35532	35532	35532	35532	35532	21360
Mittelwert									
Standardabweichung		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Stand: 09.10.2001									

Tabelle 20: Zeitstand-Innendruckversuche an Rohren mit unterschiedlicher Stabilisierung, Rohrdimension: 32 x 2,4 mm; Farbe: grau, bei + 70°C

Rohr-Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8
Standzeit bei 8 N/mm ² / + 75°C	h	12,55	66,7	112,8	20,1	39,55	41,76	13,09	50,53
		16,43	75,4	122,1	14,22	30,82	32,65	19,09	33,75
		14,75	81,5	137	22,2	26,92	45,38	18,87	46,93
		13,19	89,1	140,7	40,9	36,85	27,5	29,82	44,05
		13,19	100,7	110,8	19,43	44,32	48,89	31,26	17,47
		14,02	82,68	124,68	23,37	35,69	39,24	22,43	38,55
Mittelwert		14,02	82,68	124,68	23,37	35,69	39,24	22,43	38,55
Standardabweichung		1,572	12,997	13,683	10,23	6,916	8,922	7,805	13,336
Standzeit bei 5 N/mm ² / + 75°C	h	186,9	611,9	1137,7	215,8	219	278,5	974,7	1059
		186,9	734,7	1303,5	212,9	285,8	264,5	1628,2	1025
		186,9	710	938,2	206,4	333,7	311,8	1220,6	585
		207,8	708,8	1169,5	236,8	374	297,9	1607,9	569
		233,7	775,5	1153,6	234,4	247,9	336,1	1747,3	844
		200,44	708,18	1140,5	221,26	292,08	297,76	1435,74	816,4
Mittelwert		200,44	708,18	1140,5	221,26	292,08	297,76	1435,74	816,4
Standardabweichung		20,678	60,226	130,877	13,552	62,799	28,037	325,036	233,39
Standzeit bei 4 N/mm ² / + 75°C	h	1709,2	7117	27683	1707	2973	3016,2	29516	13709
		1699,8	13950	27090	1787,7	3884	5200	25680	9497
		1909,8	15264	30682	2100,8	3660	2514,2	26440	10164
		2283,6	19771	28860	1712,9	3221	4742	28338	10113
		1985,5	14024	25071	1650,4	2284	4157	28785	13419
		1917,58	14025,2	27877,2	1791,76	3204,4	3925,88	27751,8	11380,4
Mittelwert		1917,58	14025,2	27877,2	1791,76	3204,4	3925,88	27751,8	11380,4
Standardabweichung		239,528	4535,354	2083,564	179,519	626,575	1136,135	1623,015	2013,169
Standzeit bei 2,5 N/mm ² / + 75°C	h	28704	28704	28704	28704	28704	6830	28704	27384
		28704	28704	28704	28704	28704	28704	28704	27384
		28704	28704	28704	28704	28704	28704	28704	27384
		28704	28704	28704	28704	28704	28704	28704	27384
		28704	28704	28704	28704	28704	28704	28704	27384
		28704	28704	28704	28704	28704	28704	28704	27384
Mittelwert		28704	28704	28704	28704	28704	24329,2	28704	27384
Standardabweichung		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	9782,35	0,000	0,000
Stand: 09.10.2001									

Tabelle 21: Zeitstand-Innendruckversuche an Rohren mit unterschiedlicher Stabilisierung, Rohrdimension: 32 x 2,4 mm; Farbe: grau, bei + 75°C

Rohr-Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8
Standzeit bei 5 N/mm² / + 80°C	h	1,67	2,59	4,41	1,2	1,44	1,7	3	2,09
		2,87	2,96	4,08	1,93	2,83	1,75	7,74	1,74
		2,26	2,21	3,12	2,84	2,11	1,91	3,89	2,6
		2,83	3,49	4,3	2,29	2,7	3,43	4,87	1,72
		2,5	2,72	6,48	2,18	2,48	3,87	3,81	3,05
		2,426	2,794	4,478	2,088	2,312	2,532	4,662	2,24
Mittelwert									
Standardabweichung									
Standzeit bei 3 N/mm² / + 80°C	h	76,21	188	405,1	70,95	154	177,7	170,5	97,1
		78,21	177,7	483,5	86,75	84,88	232,7	356,2	130,9
		80,12	205	425,6	59,34	177,65	278,6	278,6	184,7
		79,88	213	438,3	72,13	182,74	130,1	300	88,9
		87,84	228,4	455,9	74,62	177,65	560	228,4	107,9
		80,45	202,42	441,68	72,758	155,384	275,82	266,74	121,9
Mittelwert									
Standardabweichung									
Standzeit bei 2 N/mm² / + 80°C	h	2371	24261	34744	4975	10152	9163	34744	7442
		2760	25491	34744	6730	15756	15190	34744	21432
		4815	28658	34744	9640	34744	13347	34744	21432
		3645	34744	34744	2400	34744	13152	34744	13467
		3715	34744	34744	5263	34744	14230	34744	13707
		3461,2	29579,6	34744	5801,6	26028	13016,4	34744	15496
Mittelwert									
Standardabweichung									
Standzeit bei 1,5 N/mm² / + 80°C	h	23736	23736	23736	23736	23736	23736	23736	6425
		23736	23736	23736	23736	23736	8495	23736	12551
		23736	23736	23736	23736	23736	23736	23736	23736
		23736	23736	23736	23736	23736	23736	23736	23736
		23736	23736	23736	23736	23736	23736	23736	23736
		23736	23736	23736	23736	23736	20687,8	23736	18036,8
Mittelwert									
Standardabweichung									
Stand: 09.10.2001									

Tabelle 22: Zeitstand-Innendruckversuche an Rohren mit unterschiedlicher Stabilisierung, Rohrdimension: 32 x 2,4 mm; Farbe: grau, bei + 80°C

10.2 Streuung der Beckentemperaturen

Becken	Soll-Temperatur [°C]	Ist-Temperatur (Mittelwerte) [°C]
1	60	60,008
2	60	60,727
3	65	64,588
7	65	65,242
4	70	69,950
5	75	75,181
6	80	80,403

Tabelle 23: Mittelwerte der Beckentemperaturen

10.3 Abschätzung der Messunsicherheiten

Auszug aus dem Qualitätsmanagement-Handbuch der Stoff- und Systemprüfung Abschnitt 5.4.6/5.10.3 c
„Abschätzung der Messunsicherheit“ – Tabelle „Fehlergrößen und deren Einfluss“, Ausgabe B: 09.01.2003

11. Hygieneversuche

12. Ausblick

Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die dabei eingesetzten Stabilisierungssysteme aus CaZn, Sn und OS im Vergleich zu den langjährig bewährten Pb-Systemen für PVC-U-Rohre und –Formstücke als gleichwertig zu beurteilen sind.

Dies gilt für folgende Eigenschaften:

- die physikalischen Werkstoffeigenschaften
- das Zeitstand-Innendruckverhalten
- das Alterungsverhalten unter thermischer Belastung
- die Wetterbeständigkeit
- die Recyclingfähigkeit
- die hygienischen Eigenschaften.

Die an PVC-U-Druckrohren mit homogener Rohrwand und an Spritzgieß-Rohrkappen vorgenommenen Versuche lassen aber nicht nur für PVC-U-Druckrohrleitungen, Rohrverbindungen und Rohrleitungsteile, sondern auch für drucklose PVC-U-Rohre und –Formstücke wie z.B.:

- Rohre mit homogener Rohrwand und Formstücke für Abwasserkanäle und –leitungen (nach DIN V 19534 bzw. DIN EN 1401)
- Rohre mit profilierten Wandungen und glatter Rohrrinnenfläche (nach DIN 16961 bzw. prEN 13476)
- Rohre, coextrudiert, kerngeschäumt, innen und außen glatt für Abwasserkanäle und –leitungen (nach DIN 16961 bzw. prEN 13476)

ein gleichwertiges Verhalten mit einer Gebrauchstauglichkeit von mehr als 100 Jahren erwarten. Das gilt auch für spezifische Anforderungen wie z.B. die Biegesteifigkeit, das Kriechverhalten und den Abrieb. Weder diese, noch andere relevante Werkstoffeigenschaften wie die Zugfestigkeit, der Elastizitätsmodul, die Schlagzähigkeit oder die Vicat-Temperatur sind durch die untersuchten Stabilisierungssysteme maßgeblich verändert.

Voraussetzung für die Erfüllung der entsprechenden Anforderungen ist natürlich die Einhaltung der für das jeweilige Stabilisatorsystem spezifischen verfahrenstechnischen Parameter, um über den gesamten Dimensionsbereich eine optimale Plastifizierung und gleichbleibende Qualität der Rohre und Formstücke zu sichern.

Die chemische Widerstandsfähigkeit von PVC-U-Rohren mit den geprüften Stabilisatorsystemen reicht wohl für den Transport normaler Abwässer aus. Für den Einsatz als Chemierohrleitungen sind aber Untersuchungen der Widerstandsfähigkeit gegen die in Frage kommenden Angriffsmittel erforderlich.

Literaturangaben

- | | | |
|-----|--|---|
| [1] | Nowack R.E., Barth E., Otto I., Braun E.W. | 60 Jahre Erfahrungen mit Rohrleitungen aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U); KRV Nachrichten 1/95 |
| [2] | Fickentscher H., Ludwigshafen | DRP 634408 (1930) |
| [3] | Schönburg C., Rheinfelden
Wick G. | DRP 596911 (1932)
DRP 651878 (1935) |
| [4] | Gajewski F., Esselmann P., Rein H. | Entwicklung von PVC-C-Fasern in Wolfen |

- [5] Buchmann W.
 - a) Z. KDI, Bd. 84 (1940), S. 425-431
 - b) Forschung Ing.-Wesen, Bd. 12 (1941), S. 174-181
 - c) Kunststoffe, Bd. 30 (1940), S. 357-365
- [6] DIN 8061 Kunststoffsrohre aus Polyvinylchlorid (Rohrtyp) – Eigenschaften und Richtlinien für die Verwendung (Juli 1941)
- DIN 8062 Kunststoffsrohre aus Polyvinylchlorid (Rohrtyp) – Maße (Juli 1941)
- [7] Richard K., Diedrich G. Kunststoffe 45 (1955), S. 429-433
Kunststoffe 46 (1956), 5, S. 183-190
- [8] Richard K., Gaube E., Diedrich G. Kunststoffe 49 (1959), 19, S. 515-525
- [9] Nümann E., Umminger O. Kunststoffe 49 (1959), 3, S. 113-116
- [10] Niklas H., Eißfländer K. Kunststoffe 49 (1959), 3, S. 109-113
- [11] Richard K., Ewald R. Kunststoffe 49 (1959), 3, S. 116-120
- [12] Richard K., Diedrich G. Kunststoffe 46 (1956), S. 183-190
- [13] DIN 8061 Rohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid; Allgemeine Qualitätsanforderungen
- [14] DIN EN 744 Rohre aus Thermoplasten – Prüfverfahren für die Widerstandsfähigkeit gegen äußere Schlagbeanspruchung im Umfangsverfahren
- KRV A. 10.1.1 Ermittlung der Schlagzähigkeit von Rohren aus Polyvinylchlorid hart (PVC-hart) nach der „round the clock-Methode“
- [15] EN 580 Rohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U) – Prüfverfahren für die Beständigkeit gegen Dichlormethan bei einer festgelegten Temperatur (DCMT)
- [16] Barth E. Das Langzeitverhalten von Rohren aus PVC-U; 3R international, 31 (1992), 5, S. 271-278
- [17] Arrhenius S.A. Zeitschr. f. physikalische Chemie 3 (1889), 4, S. 226 ff.
- [18] DIN 16887:1990-7 Prüfung von Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen; Bestimmung des Zeitstand-Innendruckverhaltens
- [19] ISO DIS 9080:1997 Plastics piping and ducting systems; Determination of long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation
- [20] Barth E. Das Langzeitverhalten von Trinkwasser-Versorgungsrohren aus PVC-U; KRV Nachrichten 1/1993, S. 1-8
- [21] Larson F.R., Miller J. Trans. Americ. Soc. Mech. Engrs. 74 (1952), S. 765-775
- [22] Gloor W.E. Modern Plastics 36 (Okt. 1959), S. 144-148
- [23] Retting W. Physik in unserer Zeit 8 (1977), 1, S. 17-32
- [24] DIN 53381-1 Prüfung von Kunststoffen; Bestimmung der Thermostabilität von Polyvinylchlorid (PVC); Dehydrochlorierungsverfahren

- | | |
|---|---|
| [25] ISO 4433-3 | Thermoplastische Rohre – Widerstand gegen chemische Fluide – Klassifizierung – Teil 3: Weichmacherfreie Polyvinylchlorid (PVC-U), hochschlagzähes Polyvinylchlorid (PVC-HI) und chlorierte Polyvinylchlorid (PVC-C) Rohre |
| [26] Barth E., Hessel J., Kempe B. | Die Bestimmung der chemischen Widerstandsfähigkeit von Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen; Materials and Corrosion 48 (1997), S. 273-288 |
| [27] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) | Bau- und Prüfgrundsätze für Rohrleitungsteile für oberirdisch verlegte Rohrleitungen aus Thermoplasten |
| [28] DIN 53453 (ersetzt durch DIN EN ISO 179) | Prüfung von Kunststoffen – Schlagbiegeversuch Kunststoffe – Bestimmung der Charpy-Schlagzähigkeit |
| [29] DIN EN ISO 1183 | Kunststoffe - Verfahren zur Bestimmung der Dichte von nicht verschäumten Kunststoffen |
| [30] DIN EN ISO 178 | Kunststoffe – Bestimmung der Biege-eigenschaften |
| [31] DIN EN ISO 9969 | Thermoplastische Rohre – Bestimmung der Ringsteifigkeit |
| [32] DIN EN ISO 306 | Kunststoffe – Thermoplaste – Bestimmung der Vicat-Erweichungstemperatur (VST) |
| [33] GKR-Richtlinie R 1.1.1 | Druckrohre aus PVC-U |
| [34] ISO 3127 | Unplasticized polyvinylchloride (PVC) pipes for the transport of fluids – Determination and specification of resistance to external blows |
| [35] DIN 53471 | Prüfung von Kunststoffen – Bestimmung der Wasseraufnahme nach Lagerung in kochendem Wasser |
| [36] DIN EN ISO 9967 | Thermoplastische Rohre – Bestimmung des Kriechverhaltens |
| [37] DIN 16961-1 | Rohre und Formstücke aus thermoplastischen Kunststoffen mit profilierter Wandung und glatter Rohrrinnenfläche – Teil 1: Maße |
| DIN 16961-2 | Rohre und Formstücke aus thermoplastischen Kunststoffen mit profilierter Wandung und glatter Rohrrinnenfläche – Teil 2: Technische Lieferbedingungen |
| [38] Kirstein C.E. | Festigkeitsverhalten von Rohren aus PVC-hart – Dissertation Universität Stuttgart (TH) 1975 |

Veröffentlichungen

- | | |
|---|---|
| 3R International (42), Heft 9, 2003, S. 607 – 616 | „Stabilisatoren neuer Generation für Rohrsysteme aus PVC-U“ |
| KRV Nachrichten 1/2003, S. 17-27 | „Stabilisatoren neuer Generation für Rohrsysteme aus PVC-U, Teil 1“ |
| KRV Nachrichten 2/2003, S. 20-26 | „Stabilisatoren neuer Generation für Rohrsysteme aus PVC-U, Teil 2“ |

Anhang 1: Akkreditierung des Prüflabors 1997 und 2001

DAP-P-00.820-00-95-20 vom 10.04.1997
Gültigkeitsdauer: 29.06.1995 bis 28.06.2000

DAP-PL-0820.00 vom 08.08.2001
Gültigkeitsdauer: 08.08.2001 – 07.08.2006

DAP Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH

vertreten im

Deutschen AkkreditierungsRat



Akkreditierung

Die DAP Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH bestätigt hiermit, daß die

HT Troplast AG
Qualitätswesen/Stoff- und Systemprüfung

Kaiserstraße
D-53840 Troisdorf

die Kompetenz nach DIN EN 45 001 besitzt, Prüfungen in den Bereichen

**Werkstoffuntersuchungen von Polymeren; mechanisch-technologische,
thermische, elektrische und optische Prüfungen an Polymeren;
Verhalten von Polymeren gegen Flüssigkeiten, Dämpfe und Gase;
ausgewählte physikalische, physikalisch-chemische und chemische
Untersuchungen von Abwasser, Wasser und Mineralölerzeugnissen**

auszuführen.

Die Akkreditierung ist gültig bis 28-06-2000.

Die Anlage ist Bestandteil der Urkunde und besteht aus 7 Seiten.

DAR-Registriernummer: **DAP-P-00.820-00-95-20**

Berlin, 10-04-1997


Dipl.-Ing. M. Kindler
Geschäftsführender Direktor
DAP Deutsches
Akkreditierungssystem
Prüfwesen GmbH




Dipl.-Chem. G. Göhle
Verantwortlicher Begutachter der DAP GmbH
TÜV Berlin-Brandenburg e.V.
Berlin

DAP Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH

Gesellschafter: Verband der Materialprüfungsämter e.V. (VMPA)

Mit der Begutachtung beauftragte Institution:
Verband der Technischen Überwachungs-Vereine e. V. (VdTÜV)

Anlage zur Akkreditierungsurkunde DAP-P-00.820-00-95-20

Gültigkeitsdauer: 29-06-1995 bis 28-06-2000

Urkundeninhaber:

HT Troplast AG
Qualitätswesen/Stoff und Systemprüfung

Kaiserstraße
D-53840 Troisdorf

Prüfungen in den
Bereichen:

Werkstoffuntersuchungen von Polymeren; mechanisch-
technologische, thermische, elektrische und optische
Prüfungen an Polymeren; Verhalten von Polymeren gegen
Flüssigkeiten, Dämpfe und Gase; ausgewählte physikali-
sche, physikalisch-chemische und chemische Untersu-
chungen von Abwasser, Wasser und Mineralölerzeug-
nissen

verwendete Abkürzungen: siehe Seite 6

1. Werkstoffuntersuchungen von Polymeren

DIN 53 474 1991-09	Prüfung von Kunststoffen, Kautschuk und Elastomeren; Bestimmung des Chlorgehaltes
DIN 53 568-1 1974-07	Prüfung von Kunststoffen, Kautschuk und Elastomeren; Bestimmung des Glührückstandes ohne chemische Vorbehand- lung der Probe
DIN 53 568-2 1978-05	Prüfung von Kautschuk, Elastomeren und Kunststoffen; Bestimmung des Glührückstandes nach Säure-Behandlung der Probe (Sulfatasche)
DIN 53 715 1991-05	Prüfung von Kunststoffen; Bestimmung des Wassergehaltes durch Titration nach Karl Fischer
DIN 53 726 1983-09	Prüfung von Kunststoffen; Bestimmung der Viskositätszahl und des <i>k</i> -Wertes von Vinylchlorid(VC)-Polymerisaten

2. Mechanisch-technologische Prüfungen

2.1 Maße und Gewichte

DIN EN 22 286 1993-11	Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien; Bestimmung der Rollencharakteristik
DIN 53 479 1976-07	Prüfung von Kunststoffen und Elastomeren; Bestimmung der Dichte

in Verbindung mit:

<i>DIN 16 959 1973-09</i>	<i>Tafeln aus Polyvinylchlorid (PVC) weich; Technische Lieferbedingungen</i>
-------------------------------	--

2.2 Druck- und Härteprüfungen

DIN EN ISO 604 1997-02	Kunststoffe - Bestimmung von Druckeigenschaften
DIN EN ISO 2039-1 1996-12	Kunststoffe - Bestimmung der Härte - Teil 1: Kugeleindruck- versuch
DIN EN 433 1994-11	Elastische Bodenbeläge - Bestimmung des Resteindrucks nach konstanter Belastung
DIN 53 421 1984-06	Prüfung von harten Schaumstoffen; Druckversuch
DIN 53 577 1988-12	Prüfung von weich-elastischen Schaumstoffen; Bestimmung der Stauchhärte und der Federkennlinie im Druckversuch

in Verbindung mit:

<i>ISO 7214 1998-03</i>	<i>Cellular Plastics - Polyethylene - Methods of test</i>
-----------------------------	---

2.3 Zugversuche

DIN EN ISO 527-1 1996-04	Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 1: Allge- meine Grundsätze
DIN EN ISO 527-2 1996-07	Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 2: Prüf- bedingungen für Form- und Extrusionsmassen
DIN EN ISO 527-3 1995-10	Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 3: Prüf- bedingungen für Folien und Tafeln
DIN EN ISO 8256 1997-02	Kunststoffe - Bestimmung der Schlagzugzähigkeit
E DIN EN 1851-2 1995-06	Weiche Dach- und Dichtungsbahnen - Bestimmung des Verhal- tens der Fügenaht - Teil 2: Bahnen aus Kunststoffen und Elasto- meren

Anlage zur Akkreditierungsurkunde DAP-P-00.820-00-95-20

DIN 53 356 1982-08	Prüfung von Kunstleder und ähnlichen Flächengebilden; Weiterreißversuch
DIN 53 357 1982-10	Prüfung von Kunststoffbahnen und -folien; Trennversuch der Schichten
DIN 53 363 1969-05	Prüfung von Kunststoff-Folien; Weiterreißversuch an trapezförmigen Proben mit Einschnitt
DIN 53 504 1994-05	Prüfung von Kautschuk und Elastomeren; Bestimmung von Reißfestigkeit, Zugfestigkeit, Reißdehnung und Spannungswerten im Zugversuch
DIN 53 571 1986-01	Prüfung von weichelastischen Schaumstoffen; Zugversuch; Bestimmung der Zugfestigkeit und der Dehnung beim Bruch
DVS 2203-2 1985-07	Prüfen von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen; Zugversuch

in Verbindung mit:

<i>DIN 16 726 1986-12</i>	<i>Kunststoff-Dachbahnen, Kunststoff-Dichtungsbahnen; Prüfungen</i>
<i>UEAtc Technical Guide 1997-04</i>	<i>Reinforced and/or underfaced roof sealing systems made of PVC-P sheeting incompatible with bitumen</i>
<i>DIN 16 927 1988-12</i>	<i>Tafeln aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid; Technische Lieferbedingungen</i>
<i>DVS 2211 1979-11</i>	<i>Schweißzusätze für thermoplastische Kunststoffe, Geltungsbereich, Prüfungen</i>

2.4 Biegeversuche

DIN EN ISO 178 1997-02	Kunststoffe - Bestimmung der Biegeeigenschaften
DIN EN 435 1994-11	Elastische Bodenbeläge - Bestimmung der Biegsamkeit
DIN 53 361 1982-06	Prüfung von Kunstleder und ähnlichen Flächengebilden; Bestimmung des Verhaltens beim Falzen in der Kälte

2.5 Schlagbiege- und Stoßversuche

DIN 53 453 1975-05	Prüfung von Kunststoffen; Schlagbiegeversuch
DIN 53 753 1981-04	Prüfung von thermoplastischen Kunststoffen; Schlagbiegeversuch an Probekörpern mit Loch- oder Doppel-V-Einkerbung

in Verbindung mit:

<i>DIN 16 830 1991-07</i>	<i>Fensterprofile aus hochschlagzähem Polyvinylchlorid (PVC-HI)</i>
-------------------------------	---

Anlage zur Akkreditierungsurkunde DAP-P-00.820-00-95-20

*RAL GZ 716/1 Kunststoff-Fenster, Gütesicherung
1994-01*

*UEAtc-Leitlinien Fenster aus PVC hart
1997-07*

2.6 Verschleißprüfungen

DIN EN 660-1 Elastische Bodenbeläge - Ermittlung des Verschleißverhaltens -
1996-02 Teil 1: Stuttgarter Prüfung

DIN EN 660-2 Elastische Bodenbeläge - Ermittlung des Verschleißverhaltens -
1996-02 Teil 2: Frick-Taber-Prüfung

DIN 51 963 Prüfung von organischen Bodenbelägen (außer textilen Boden-
1980-12 belägen); Verschleißprüfung (20-Zyklen-Verfahren)

in Verbindung mit:

*DIN EN 649 Elastische Bodenbeläge - Homogene und heterogene
1997-01 Polyvinylchlorid-Bodenbeläge - Spezifikation*

2.7 Kurzzeitverhalten von Hohlkörpern

DIN 53 758 Prüfung von Kunststoff-Fertigteilen; Kurzzeit-Innendruckversuch
1975-02 an Hohlkörpern

2.8 Langzeitverhalten von Hohlkörpern

DIN 53 444 Prüfung von Kunststoffen; Zeitstand-Zugversuch
1990-01

DIN 53 759 Prüfung von Kunststoff-Fertigteilen; Zeitstand-
1975-02 Innendruckversuch an Hohlkörpern

in Verbindung mit:

*DIN 8061 Rohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid -
1994-08 Allgemeine Qualitätsanforderungen*

*GKR-Richtlinie Druckrohre aus PVC hart
R 1.1.1
1986-01*

*E DIN 50 014 Klimate und ihre technische Anwendung;
1985-07 Normalklimate*

*DIN 50 015 Klimate und ihre technische Anwendung; Konstante
1975-08 Prüfkimate*

3. Thermische Prüfungen

DIN ISO 1133 1993-02	Kunststoffe; Bestimmung des Schmelzindex (MFR) und des Volumen-Fließindex (MVR) von Thermoplasten
DIN EN ISO 75-1 1996-03	Kunststoffe - Bestimmung der Wärmeformbeständigkeitstemperatur; Teil 1: Allgemeine Prüfverfahren
DIN EN ISO 75-2 1996-03	Kunststoffe - Bestimmung der Wärmeformbeständigkeitstemperatur; Teil 2: Kunststoffe und Hartgummi
DIN EN ISO 306 1997-01	Kunststoffe - Thermoplaste - Bestimmung der Vicat-Erweichungstemperatur (VST)
DIN EN 434 1994-11	Elastische Bodenbeläge - Bestimmung der Maßänderung und Schlüsselung nach Wärmeeinwirkung
DIN 53 377 1969-05	Prüfung von Kunststoff-Folien; Bestimmung der Maßänderung
DIN 53 381-1 1983-05	Prüfung von Kunststoffen; Bestimmung der Thermostabilität von Polyvinylchlorid (PVC); Dehydrochlorierungsverfahren
DIN 53 431 1977-08	Prüfung von harten Schaumstoffen; Bestimmung der Formstabilität
DIN 75 200 1980-09	Bestimmung des Brennverhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeuginnenausstattung

in Verbindung mit:

*DIN EN ISO 12543 Glas im Bauwesen - Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas
1998-08*

4. Elektrische Prüfungen

DIN IEC 167 1993-12	Prüfverfahren für Elektroisierstoffe; Isolationswiderstand von festen, isolierenden Werkstoffen
DIN 51 953 1975-08	Prüfung von organischen Bodenbelägen; Prüfung der Ableitfähigkeit für elektrostatische Ladungen für Bodenbeläge in explosionsgefährdeten Räumen

in Verbindung mit:

*DIN 7737 Schichtpressstoff- Erzeugnisse
1959-09 Vulkanfiber, Typen*

5. Optische Prüfungen und Bewitterung

DIN EN 20 105-A02 1994-10	Textilien - Farbechtheitsprüfungen - Teil A02: Graumaßstab zur Bewertung der Änderung der Farbe
DIN 53 384 1989-04	Prüfung von Kunststoffen; Künstliches Bewittern oder Bestrahlen in Geräten; Beanspruchung durch UV-Strahlung

Anlage zur Akkreditierungsurkunde DAP-P-00.820-00-95-20

DIN 53 386
1982-06

Prüfung von Kunststoffen und Elastomeren; Bewitterung im Freien

DIN 53 387
1989-04

Prüfung von Kunststoffen und Elastomeren; Künstliches Bewittern oder Bestrahlen in Geräten; Beanspruchung durch gefilterte Xenonbogenstrahlung

6. Verhalten gegen Flüssigkeiten, Dämpfe und Gase

DIN 52 615
1987-11

Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen

DIN 53 122-1
1974-11

Prüfung von Kunststoff-Folien, Elastomerfolien, Papier, Pappe und anderen Flächengebilden; Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit; Gravimetrisches Verfahren

DIN 53 433
1983-07

Prüfung von harten Schaumstoffen; Bestimmung der Wasseraufnahme im Untertauchversuch

DIN 53 495
1984-04

Prüfung von Kunststoffen; Bestimmung der Wasseraufnahme

DIN 75 201
1992-09

Bestimmung des Foggingverhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeug-Innenausstattung

7. Ausgewählte physikalische, physikalisch-chemische und chemische Untersuchungen von Abwasser, Wasser und Mineralölerzeugnissen

DIN ISO 3451-5
1991-04

Kunststoffe; Bestimmung der Asche; Polyvinylchlorid

DIN ISO 1887
1984-12

Textilglas; Bestimmung des Glühverlustes

DIN ISO 2592
1981-09

Mineralölerzeugnisse; Bestimmung des Flamm- und Brennpunktes im offenen Tiegel nach Cleveland

DIN EN ISO 787-2
1995-04

Allgemeine Prüfverfahren für Pigmente und Füllstoffe - Teil 2: Bestimmung der bei 105 °C flüchtigen Anteile

DIN EN 1189
1996-12

Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von Phosphor - Photometrisches Verfahren mittels Ammoniummolybdat

DIN EN 22 719
1993-12

Mineralölerzeugnisse und Schmierstoffe; Bestimmung des Flammpunktes; Verfahren nach Pensky-Martens im geschlossenen Tiegel

DIN 38 405-D 5
1985-01

Bestimmung der Sulfat-Ionen

DIN 38 405-D 9
1979-05

Bestimmung des Nitrat-Ions

DIN 38 406-E 3
1982-09

Bestimmung von Calcium und Magnesium

Anlage zur Akkreditierungsurkunde DAP-P-00.820-00-95-20

DIN 38 406-E 5 1983-10	Bestimmung des Ammoniumstickstoffs
DIN 38 406-E 6 1981-05	Bestimmung von Blei
DIN 53 015 1978-09	Viskosimetrie; Messung der Viskosität mit dem Kugelfall- Viskosimeter nach Höppler

verwendete Abkürzungen:

EN	Europäische Norm
DVS	Deutscher Verband für Schweißtechnik e.V.
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	Internationale Organisation für Normung

Für *alle* vorstehend aufgeführten Prüfgebiete sind prüfberichtszeichnungsberechtigt:

Dr. rer. nat. Martin Londschein	Diplom-Physiker
Dr. rer. nat. Wolfgang Frings	Diplom-Chemiker
Dr. rer. nat. Volker Hofmann	Diplom-Chemiker

Anlage zur Akkreditierungsurkunde DAP-P-00.820-00-95-20

Für das nachstehende Prüfgebiet sind prüfberichtszeichnungsberechtigt:

Mechanische Prüfungen; Thermische Prüfungen; Elektrische Prüfungen; Optische Prüfungen und Bewitterung; Verhalten gegen Flüssigkeiten, Dämpfe und Gase

Max Bischur
Werner Bergfelder

Physiklaborant
Physiklaborant

Ausgewählte physikalische, physikalisch-chemische Untersuchungen von Abwasser, Wasser und Mineralölerzeugnissen, Werkstoffuntersuchungen an Polymeren

Andreas Hemkes

Chemotechniker

DAP Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH

vertreten im

Deutschen AkkreditierungsRat



Akkreditierung

Die DAP Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH bestätigt hiermit, daß die

HT Troplast AG
Qualitätswesen/Stoff- und Systemprüfung

Mülheimerstraße 26
53840 Troisdorf

die Kompetenz nach DIN EN ISO/IEC 17025:2000 besitzt, Prüfungen in den Bereichen

Werkstoffuntersuchungen von Polymeren; mechanisch-technologische,
thermische, elektrische und optische Prüfungen an Polymeren;
Verhalten von Polymeren gegen Flüssigkeiten, Dämpfe und Gase;
ausgewählte physikalische, physikalisch-chemische und chemische
Untersuchungen von Wasser, Abwasser und Mineralölerzeugnissen

für die in der Anlage aufgeführten Prüfverfahren auszuführen.

Das Laboratorium hat nachgewiesen, daß es für seine Prüftätigkeit ein Qualitätsmanagementsystem betreibt, welches auch die Anforderungen der DIN EN ISO 9002:1994 erfüllt.

Die Akkreditierung ist gültig vom 08-08-2001 bis 07-08-2006.

DAR-Registriernummer: DAP-PL-0820.00

Berlin, 08-08-2001

Dr.-Ing. K. Berner
Geschäftsführer
DAP Deutsches Akkreditierungssystem
Prüfwesen GmbH



Dipl.-Chem. G. Göhle
Verantwortlicher Begutachter der DAP GmbH
TÜV Anlagentechnik GmbH
Berlin

Das DAP ist Unterzeichner des Multilateralen Abkommens (MLA) der European co-operation for Accreditation (EA) und der Gegenseitigen Anerkennungsvereinbarung (MRA) der International Laboratory Accreditation Co-operation (ILAC). Für Prüflaboratorien wurden von EA weitere bilaterale Abkommen zur gegenseitigen Anerkennung abgeschlossen.

Die Unterzeichner dieser Abkommen aus den nachfolgend aufgeführten Staaten erkennen ihre Akkreditierungen von Prüflaboratorien gegenseitig an:

Australien – Belgien – Brasilien – Volksrepublik China – Dänemark – Deutschland – Finnland – Frankreich – Großbritannien – Hongkong – Indien – Irland – Italien – Japan – Kanada – Republik Korea – Neuseeland – Niederlande – Norwegen – Österreich – Portugal – Schweden – Schweiz – Singapur – Spanien – Südafrika – Taiwan – Tschechien – USA – Vietnam.

Die Akkreditierung erfolgt aufgrund einer Begutachtung und des mit der Akkreditierungsstelle abgeschlossenen Vertrages über die Akkreditierung eines Prüflaboratoriums nach den Regeln und Verfahren des Deutschen Akkreditierungssystems, gemäß den Normen DIN EN ISO/IEC 17025, DIN EN 45002 und DIN EN 45003.

Die materiellen und personellen Voraussetzungen nach DIN EN ISO/IEC 17025 für die in der Akkreditierungsurkunde angegebenen Prüfgebiete sowie für die in der Anlage zur Akkreditierungsurkunde beschriebenen Verfahren sind erfüllt.

Angaben über den Umfang der Akkreditierung (Prüfgebiete, Verfahren und Spezifikationen) sind in der Anlage zu dieser Akkreditierungsurkunde aufgeführt.

Die Anlage sowie die eingereichten Unterlagen sind Bestandteil der Akkreditierung. Änderungen bedürfen der Schriftform.

Die Akkreditierung wird unter dem Vorbehalt des jederzeitigen Widerrufs bei Wegfall der im Vertrag sowie in der Anlage zu dieser Akkreditierungsurkunde festgelegten Voraussetzungen erteilt.

Akkreditierungsurkunden und Anlagen dürfen nur unverändert weiterverbreitet werden. Die auszugsweise Veröffentlichung bedarf der Genehmigung der Akkreditierungsstelle. Es darf nicht der Anschein erweckt werden, daß der Kontrolle des Prüflaboratoriums auch solche Produkte und Leistungen des Trägers unterliegen, die von dieser Akkreditierung nicht erfaßt werden. Sollte der Anschein dennoch erweckt werden, so ist die Akkreditierungsstelle berechtigt, Änderungen zu verlangen.

* im Geltungsbereich des EA-MLA-Abkommens

DAP Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH

Gesellschafter: VMPA, DGZfP, DVS, GL, LGA, VdTÜV

Als Leitender Begutachter wurde Herr Dr.-Ing. K. Oberste Lehn -
Verband der Technischen Überwachungs-Vereine e.V. (VdTÜV) - beauftragt.

Anlage zur Akkreditierungsurkunde DAP-PL-0820.00

Gültigkeitsdauer: 08-08-2001 bis 07-08-2006

Urkundeninhaber:

HT Troplast AG
Qualitätswesen/Stoff- und Systemprüfung

Mülheimerstraße 26
53840 Troisdorf

Prüfungen in den
Bereichen:

**Werkstoffuntersuchungen von Polymeren; mechanisch-
technologische, thermische, elektrische und optische Prü-
fungen an Polymeren; Verhalten von Polymeren gegen
Flüssigkeiten, Dämpfe und Gase;
ausgewählte physikalische, physikalisch-chemische und
chemische Untersuchungen von Wasser, Abwasser und
Mineralölerzeugnissen**

verwendete Abkürzungen: siehe letzte Seite

1. Werkstoffuntersuchungen von Polymeren

DIN EN ISO 1628-2
1999-11

Kunststoffe - Bestimmung der Viskosität von Polymeren in ver-
dünnter Lösung unter Verwendung von Kapillarviskosimetern -
Teil 2: Vinylchlorid-Polymere

DIN 53474
1998-06

Prüfung von Kunststoffen, Kautschuk und Elastomeren;
Bestimmung des Chlorgehaltes (Aufschluß nach Wickbold)

DIN 53568-1
1974-07

Prüfung von Kunststoffen, Kautschuk und Elastomeren;
Bestimmung des Glührückstandes ohne chemische Vorbe-
handlung der Probe

DIN 53568-2
1978-05

Prüfung von Kautschuk, Elastomeren und Kunststoffen;
Bestimmung des Glührückstandes nach Säure-Behandlung
der Probe (Sulfatasche)

DIN 53715
1991-05

Prüfung von Kunststoffen; Bestimmung des Wassergehaltes
durch Titration nach Karl Fischer



2. Mechanisch-technologische Prüfungen

2.1 Maße und Gewichte

DIN EN ISO 2286-1 1998-07	Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien; Bestimmung der Rollencharakteristik; Teil 1: Bestimmung der Länge, Breite und Nettomasse
DIN EN ISO 2286-2 1998-07	Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien; Bestimmung der Rollencharakteristik; Teil 2: Bestimmung der flächenbezogenen Gesamtmasse, der flächenbezogenen Masse der Beschichtung und der flächenbezogenen Masse des Trägers
DIN EN ISO 2286-3 1998-07	Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien; Bestimmung der Rollencharakteristik; Teil 3: Bestimmung der Dicke
DIN 53479 1976-07	Prüfung von Kunststoffen und Elastomeren; Bestimmung der Dichte

in Verbindung mit:

DIN 16959
1973-09

*Tafeln aus Polyvinylchlorid (PVC) weich;
Technische Lieferbedingungen*

2.2 Druck- und Härteprüfungen

DIN EN ISO 604 1997-02	Kunststoffe - Bestimmung von Druckeigenschaften
DIN EN ISO 2039-1 1996-12	Kunststoffe - Bestimmung der Härte - Teil 1: Kugeleindruckversuch
DIN EN ISO 3386-1 1998-06	Polymere Materialien, weich-elastische Schaumstoffe - Bestimmung der Druckspannungs-Verformungseigenschaften; Teil 1: Materialien mit niedriger Dichte
DIN EN ISO 3386-2 1998-06	Polymere Materialien, weich-elastische Schaumstoffe - Bestimmung der Druckspannungs-Verformungseigenschaften; Teil 2: Materialien mit hoher Dichte
DIN EN 433 1994-11	Elastische Bodenbeläge - Bestimmung des Resteindrucks nach konstanter Belastung
DIN 53421 1984-06	Prüfung von harten Schaumstoffen; Druckversuch

in Verbindung mit:

ISO 7214
1998-03

Cellular Plastics - Polyethylene - Methods of test



2.3 Zugversuche

DIN EN ISO 527-1 1996-04	Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 1: Allgemeine Grundsätze
DIN EN ISO 527-2 1996-07	Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 2: Prüfbedingungen für Form- und Extrusionsmassen
DIN EN ISO 527-3 1995-10	Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 3: Prüfbedingungen für Folien und Tafeln
DIN EN ISO 1798 2000-01	Weich-elastische polymere Schaumstoffe - Bestimmung der Zugfestigkeit und der Bruchdehnung
DIN EN ISO 8256 1997-02	Kunststoffe - Bestimmung der Schlagzugzähigkeit
DIN EN 12316-2 2001-01	Abdichtungsbahnen - Bestimmung des Schälwiderstandes der Fügenähte - Teil 2: Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dach- abdichtungen
DIN 53356 1982-08	Prüfung von Kunstleder und ähnlichen Flächengebilden; Weiter- reißversuch
DIN 53357 1982-10	Prüfung von Kunststoffbahnen und -folien; Trennversuch der Schichten
DIN 53363 1969-05	Prüfung von Kunststoff-Folien; Weiterreißversuch an trapezför- migen Proben mit Einschnitt
DIN 53504 1994-05	Prüfung von Kautschuk und Elastomeren; Bestimmung von Reiß- festigkeit, Zugfestigkeit, Reißdehnung und Spannungswerten im Zugversuch
DVS 2203-2 1985-07	Prüfen von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunst- stoffen; Zugversuch

in Verbindung mit:

ISO 11833-1 1998-07	<i>Plastics - Unplasticized poly(vinyl chloride) sheets - Types, dimensions and characteri- stics - Part 1: Sheets of thickness not less than 1 mm</i>
DIN EN 12943 1999-12	<i>Schweißzusätze für thermoplastische Kunst- stoffe - Geltungsbereich, Kennzeichnung, Anforderung, Prüfung</i>
DIN 16726 1986-12	<i>Kunststoff-Dachbahnen, Kunststoff- Dichtungsbahnen; Prüfungen</i>
DIN 16927 1988-12	<i>Tafeln aus weichmacherfreiem Polyvinyl- chlorid; Technische Lieferbedingungen</i>
DVS 2211 1979-11	<i>Schweißzusätze für thermoplastische Kunst- stoffe, Geltungsbereich, Kennzeichnung, Anforderung, Prüfungen</i>



UEAtc Technical Guide Reinforced and/or underfaced roof sealing
1997-04 systems made of PVC-P sheeting incompat-
ible with bitumen

2.4 Biegeversuche

DIN EN ISO 178
1997-02

Kunststoffe - Bestimmung der Biegeeigenschaften

DIN EN 435
1994-11

Elastische Bodenbeläge - Bestimmung der Biegsamkeit

DIN EN 1876-1
1998-01

Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien;
Prüfungen bei niedrigen Temperaturen; Teil 1: Biegeversuch

2.5 Schlagbiege- und Stoßversuche

DIN EN ISO 179-1
2001-06

Kunststoffe - Bestimmung der Charpy-Schlageigenschaften -
Teil 1: Nichtinstrumentierte Schlagzähigkeitsprüfung

DIN 53753^{*}
1981-04

Prüfung von thermoplastischen Kunststoffen; Schlagbiegever-
such an Probekörpern mit Loch- oder Doppel-V-Einkerbung

in Verbindung mit:

DIN 16830-1
1991-07

Fensterprofile aus hochschlagzähem Poly-
vinylchlorid (PVC-HI); Prüfverfahren

DIN 16830-2
1991-07

Fensterprofile aus hochschlagzähem Poly-
vinylchlorid (PVC-HI), weiß; Anforderungen

DIN 16830-3
2000-11

Fensterprofile aus hochschlagzähem Poly-
vinylchlorid (PVC-HI) - Teil 3: Profile mit
beschichteten, farbigen Oberflächen; Anfor-
derungen

DIN 16830-4
2000-11

Fensterprofile aus hochschlagzähem Poly-
vinylchlorid (PVC-HI) - Teil 4: Profile mit
beschichteten, farbigen Oberflächen;
Prüfverfahren

RAL- GZ 716/1
Abschnitt I
1998-10

Kunststoff-Fenster - Gütesicherung - Ab-
schnitt I: Kunststoff-Fensterprofile

RAL- GZ 716/1
Abschnitt II
2000-08

Kunststoff-Fenster - Gütesicherung - Ab-
schnitt II: Extrudierte Dichtungsprofile

RAL- GZ 716/1
Abschnitt III
2000-01

)Kunststoff-Fenster - Gütesicherung - Ab-
schnitt III: Eignungsnachweis für Kunststoff-
Fenstersysteme



^{*} von DIN zurückgezogen, jedoch als normatives Dokument weiter anwendbar

*UEAtc-Leitlinien
1997-07*

Fenster aus PVC hart

2.6 Verschleißprüfungen

DIN EN 660-1 1999-06	Elastische Bodenbeläge - Ermittlung des Verschleißverhaltens - Teil 1: Stuttgarter Prüfung
DIN EN 660-2 1999-06	Elastische Bodenbeläge - Ermittlung des Verschleißverhaltens - Teil 2: Frick-Taber-Prüfung
DIN 51963 1980-12	Prüfung von organischen Bodenbelägen (außer textilen Boden- belägen); Verschleißprüfung (20-Zyklen-Verfahren)

in Verbindung mit:

*DIN EN 649
1997-01*

*Elastische Bodenbeläge - Homogene und
heterogene Polyvinylchlorid-Bodenbeläge -
Spezifikation*

2.7 Kurzzeitverhalten von Hohlkörpern

DIN 53758 1975-02	Prüfung von Kunststoff-Fertigteilen; Kurzzeit-Innendruck- versuch an Hohlkörpern
----------------------	---

2.8 Langzeitverhalten von Hohlkörpern

DIN EN ISO 899-1 1997-03	Kunststoffe; Bestimmung des Kriechverhaltens; Teil 1: Zeitstand-Zugversuch
DIN 53759 1975-02	Prüfung von Kunststoff-Fertigteilen; Zeitstand-Innendruckver- such an Hohlkörpern

in Verbindung mit:

*DIN 8061
1994-08*

*Rohre aus weichmacherfreiem Polyvinyl-
chlorid - Allgemeine Qualitätsanforderungen*

*DIN 50014
1985-07*

*Klimate und ihre technische Anwendung;
Normalklimate*

*DIN 50015
1975-08*

*Klimate und ihre technische Anwendung;
Konstante Prüfkimate*

*GKR-Richtlinie
R 1.1.1
1986-01*

Druckrohre aus PVC hart



3. Thermische Prüfungen

DIN ISO 2796 1999-11	Harte Schaumstoffe - Bestimmung der Formstabilität
DIN EN ISO 75-1 1996-03	Kunststoffe - Bestimmung der Wärmeformbeständigkeitstemperatur; Teil 1: Allgemeine Prüfverfahren
DIN EN ISO 75-2 1996-03	Kunststoffe - Bestimmung der Wärmeformbeständigkeitstemperatur; Teil 2: Kunststoffe und Hartgummi
DIN EN ISO 306 1997-01	Kunststoffe - Thermoplaste - Bestimmung der Vicat-Erweichungstemperatur (VST)
DIN EN ISO 1133 2000-02	Kunststoffe; Bestimmung des Schmelzindex (MFR) und des Volumen-Fließindex (MVR) von Thermoplasten
DIN EN 434 1994-11	Elastische Bodenbeläge - Bestimmung der Maßänderung und Schlüsselung nach Wärmeeinwirkung
DIN 53377 1969-05	Prüfung von Kunststoff-Folien; Bestimmung der Maßänderung
DIN 53381-1 1983-05	Prüfung von Kunststoffen; Bestimmung der Thermostabilität von Polyvinylchlorid (PVC); Dehydrochlorierungsverfahren
DIN 75200 1980-09	Bestimmung des Brennverhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeuginnenausstattung

in Verbindung mit:

*DIN EN ISO 12543
1998-08*

Glas im Bauwesen - Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas

4. Elektrische Prüfungen

DIN IEC 167 1993-12	Prüfverfahren für Elektroisolierstoffe; Isolationswiderstand von festen, isolierenden Werkstoffen
DIN EN 1081 1998-04	Elastische Bodenbeläge; Bestimmung des elektrischen Widerstandes
SNV DIN 51953 1975	Prüfung von organischen Bodenbelägen; Prüfung der Ableitfähigkeit für elektrostatische Ladungen für Bodenbeläge in explosionsgefährdeten Räumen

in Verbindung mit:

*DIN 7737
1959-09*

*Schichtpreßstoff-Erzeugnisse
Vulkanfiber, Typen*



5. Optische Prüfungen und Bewitterung

DIN EN ISO 4892-2 2000-11	Kunststoffe - Künstliches Bewittern oder Bestrahlen in Geräten - Teil 2: Gefilterte Xenonbogenstrahlung
DIN EN ISO 4892-3 2000-10	Kunststoffe - Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten - Teil 3: UV-Leuchtstofflampenstrahlung
DIN EN 20105-A02 1994-10	Textilien - Farbechtheitsprüfungen - Teil A02: Graumaßstab zur Bewertung der Änderung der Farbe
DIN 53386 1982-06	Prüfung von Kunststoffen und Elastomeren; Bewitterung im Freien

6. Verhalten gegen Flüssigkeiten, Dämpfe und Gase

DIN ISO 2896 1999-11	Harte Schaumstoffe - Bestimmung der Wasseraufnahme
DIN EN ISO 62 1999-08	Kunststoffe - Bestimmung der Wasseraufnahme
DIN 52615 1987-11	Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen
DIN 53122-1 1974-11	Prüfung von Kunststoff-Folien, Elastomerfolien, Papier, Pappe und anderen Flächengebilden; Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit; Gravimetrisches Verfahren
DIN 75201 1992-09	Bestimmung des Foggingverhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeug-Innenausstattung

7. Ausgewählte physikalische, physikalisch-chemische und chemische Untersuchungen

DIN ISO 3451-5 1991-04	Kunststoffe; Bestimmung der Asche; Polyvinylchlorid
DIN ISO 1887 1984-12	Textilglas; Bestimmung des Glühverlustes
DIN EN ISO 787-2 1995-04	Allgemeine Prüfverfahren für Pigmente und Füllstoffe - Teil 2: Bestimmung der bei 105 °C flüchtigen Anteile
DIN ISO 2592 1981-09	Mineralölerzeugnisse; Bestimmung des Flamm- und Brennpunktes im offenen Tiegel nach Cleveland
DIN EN 22719 1993-12	Mineralölerzeugnisse und Schmierstoffe; Bestimmung des Flammpunktes; Verfahren nach Pensky-Martens im geschlossenen Tiegel
DIN 53015 2001-01	Viskosimetrie; Messung der Viskosität mit dem Kugelfall-Viskosimeter nach Höppler



DIN 38405-D 5 1985-01	Bestimmung der Sulfat-Ionen
DIN 38405-D 9 1979-05	Bestimmung des Nitrat-Ions
DIN EN 1189 (D 11) 1996-12	Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von Phosphor - Photometrisches Verfahren mittels Ammoniummolybdat
DIN 38406-E 3 1982-09	Bestimmung von Calcium und Magnesium
DIN 38406-E 5 1983-10	Bestimmung des Ammoniumstickstoffs
DIN 38406-E 6 1998-07	Bestimmung von Blei mittels Atomabsorptionsspektrometrie

verwendete Abkürzungen:

DGZfP	Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V.
DVS	Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V.
GL	Germanischer Lloyd AG
LGA	Landesgewerbeanstalt Bayern
VdTÜV	Verband der Technischen Überwachungs-Vereine e.V.
VMPA	Verband der Materialprüfungsämter e.V.
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EN	Europäische Norm
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
SNV	Schweizerische Normen-Vereinigung

Für *alle* vorstehend aufgeführten Prüfgebiete sind prüfberichtszeichnungsberechtigt:

Dr. rer. nat. Martin Londschein	Diplom-Physiker
Dr. rer. nat. Volker Hofmann	Diplom-Chemiker
Inga Mickely	Diplom-Chemikerin
Anton Wohlgemuth	Diplomingenieur (FH) Verfahrenstechnik

Für die nachstehenden Prüfgebiete sind prüfberichtszeichnungsberechtigt:

Mechanische Prüfungen; Thermische Prüfungen; Elektrische Prüfungen; Optische Prüfungen und Bewitterung; Verhalten gegen Flüssigkeiten, Dämpfe und Gase

Werner Bergfelder	Physiklaborant
Theresia Stricker	Werkstoffprüferin

Ausgewählte physikalische, physikalisch-chemische Untersuchungen von Wasser, Abwasser und Mineralölerzeugnissen, Werkstoffuntersuchungen an Polymeren

Andreas Hemkes	Chemotechniker
----------------	----------------



Anhang 2: Qualifikation des Laborpersonals

Auszug aus dem Qualitätsmanagement-Handbuch der Stoff- und Systemprüfung

„Mitarbeiter-/Ausbildungsliste“

- Ausgaben:
- Erstausgabe 1/1996
 - Ausgabe B 10/1999
 - Ausgabe D 10/2002
 - Ausgabe E 02/2004

	Qualitätsmanagement-Handbuch Mitarbeiter-/Ausbildungsliste			QW-SP	
				QMH C-07	
				Ausgabe	Jan.96
Teil C	Erstausgabe: Jan. 96	Ersatz für:	vom:	Seite 1	von 1

Name	Ausbildung	Berufserfahrung / MA QW-SP seit:	Sonstiges
W. Bergfelder	Physiklaborant	1964	
D. Bischur	Physiklaborantin	1965	
M. Bischur	Physiklaborant	1959	
Dr. W. Frings	Dipl. Chemiker	1992/1994	
A. Hemkes	Chemielaborant	1980	
H. Klein	Chemielaborant	1975	Qualitätsprüfer, Industriemeister, Sicherheitsbeauftragte
E. Lauterbach	angelernte Prüferin	1968	Erste Hilfe-Helferin, Einzelhandelskaufmann
Dr. M. Lonschien	Dipl. Physiker	1987/1992	Qualitätsmanager, Fachauditor, Strahlenschutzfachkunde
K.-B. Lülsdorf	Werkstoffprüfer	1980	Qualitätsprüfer, Qualitätsassistent
T. Stricker	Werkstoffprüfer	1986	Erste Hilfe-Helferin, Qualitätsprüfer
C. Treutler	Techniker (Kunststofftechnik)	1967/1994	Chemielaborant,
M. Wagner	Techniker (Kunststoffverarb.)	1982	Werkstoffprüfer, Qualitätsprüfer, Qualitätsassistent
A. Wiedemann	Techniker (Kunststoffverarb.)	1990	Werkstoffprüfer, Qualitätsprüfer, Qualitätsassistent
B. Wirges	Techniker (Kunststoffverarb.)	1989	Werkstoffprüfer, Qualitätsprüfer, Qualitätsassistent

Ersteller:	Prüfung:		Freigabe:		Index:
26.06.1996	26-6-96		27.06.96		
Gonsch	W. Frings		V. Hofmann		
Dr. M. Lonschien	Dr. W. Frings		Dr. V. Hofmann		

	Qualitätsmanagement-Handbuch Mitarbeiter-/Ausbildungsliste	QW-SP
		QMH C-07
		Ausgabe b 10/99
Teil C	Erstausgabe: Jan. 96	Seite 1 von 1

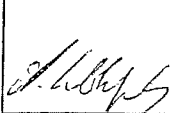
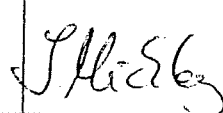
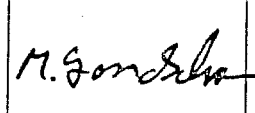
Name	Ausbildung	Berufserfahrung / MA QW-SP seit:	Sonstiges
W. Bergfelder	Physiklaborant	1964	
D. Bischur	Physiklaborantin	1965	
I. Fischer	Techniker (Kunststoffverarb.)	1985/1997	Qualitätsprüfer
Dr. W. Frings	Dipl. Chemiker	1992/1994	
A. Hemkes	Chemielaborant	1980	
H. Klein	Chemielaborant	1975	Qualitätsprüfer, Industriemeister, Sicherheitsbeauftragte
E. Lauterbach	angelernte Prüferin	1968	Erste Hilfe-Helferin, Einzelhandelskaufmann
Dr. M. Lonschien	Dipl. Physiker	1987/1992	Qualitätsmanager, Fachauditor, Strahlenschutzfachkunde
K.-B. Lülsdorf	Werkstoffprüfer	1980	Qualitätsprüfer, Qualitätsassistent
B. Pesch	Werkstoffprüfer	1984	Qualitätsprüfer, QII
N. Steinsberger	Chemielaborantin	1995/1998	
T. Stricker	Werkstoffprüfer	1986	Erste Hilfe-Helferin, Qualitätsprüfer
C. Treutler	Techniker (Kunststofftechnik)	1967/1994	Chemielaborant,
M. Wagner	Techniker (Kunststoffverarb.)	1982	Werkstoffprüfer, Qualitätsprüfer, Qualitätsassistent
A. Wiedemann	Techniker (Kunststoffverarb.)	1990	Werkstoffprüfer, Qualitätsprüfer, Qualitätsassistent

Ersteller:	Prüfung:		Freigabe:		Index:
7.6.00 <i>G. Lonschien</i>	7.6.00 <i>W. Frings</i>		7.6.00 <i>G. Lonschien</i>		
Dr. M. Lonschien	Dr. W. Frings		Dr. M. Lonschien		

Name	Ausbildung	Berufser- fahrung / MA QW-SP seit:	Sonstiges
W. Bergfelder	Physiklaborant	1964	
D. Bischur	Physiklaborantin	1965	
N. Degen	Chemielaborantin	1995/1998	
O. Fibich	Chemielaborantin	2001	
H-U. Guhrke	Meß- und Regelmechaniker	2002	
A. Hemkes	Chemotechniker	1982	
H. Klein	Chemielaborant	1975	Qualitätsprüfer, Industriemeister, Sicherheitsbeauftragte
E. Lauterbach	angelernete Prüferin	1968	Erste Hilfe-Helferin, Einzelhandelskaufmann
Dr. M. Lonschien	Dipl. Physiker	1987/1992	Qualitätsmanager, Fachauditor, Strahlenschutzfachkunde
K.-B. Lülsdorf	Werkstoffprüfer	1980	Qualitätsprüfer, Qualitätsassistent
Th. Mais	Datenkommunikations- Techniker	1996/2002	
I. Mickley	Staatl. geprüfte Lebensmittelchemikerin	2000/2000	Umweltkoordinator
B. Pesch	Werkstoffprüfer	1984	Qualitätsprüfer, QII
Th. Stricker	Werkstoffprüfer	1986	Erste Hilfe-Helferin, Qualitätsprüfer
M. Wagner	Techniker (Kunststoffverarb.)	1982	Werkstoffprüfer, Qualitätsprüfer, Qualitätsassistent
A. Wohlgemuth	Dipl.-Ing. Verfahrenstechnik	1982/2001	
F. Wonner	Meß -und Regelmechaniker	1989/2001	EDV-Koordinator

Ersteller:	Prüfung:	QM-Vermerk	Freigabe:		Index:
					A : Januar 1996
					B : Oktober 1999
					C : März 2002
A. Wohlgemuth	I. Mickley	Wessel	Dr. M. Lonschien		QMV/07d_ma.doc

Name	Ausbildung	Berufser- fahrung / MA QW-SP seit:	Sonstiges
W. Bergfelder	Physiklaborant	1964	
N. Degen	Chemielaborantin	1995/1998	
H-U. Guhrke	Meß- und Regelmechaniker	2002	
A. Hemkes	Chemotechniker	1982	
H. Klein	Chemielaborant	1975	Qualitätsprüfer, Industriemeister, Sicherheitsbeauftragte
E. Lauterbach	angelernete Prüferin	1968	Erste Hilfe-Helferin, Einzelhandelskaufmann
Dr. M. Lonschien	Dipl. Physiker	1987/1992	Qualitätsmanager, Fachauditor, Strahlenschutzfachkunde
K.-B. Lülsdorf	Werkstoffprüfer	1980	Qualitätsprüfer, Qualitätsassistent
Th. Mais	Datenkommunikations- Techniker	1996/2002	
I. Mickley	Staatl. geprüfte Lebensmittelchemikerin	2000/2000	Umweltkoordinator
B. Pesch	Werkstoffprüfer	1984	Qualitätsprüfer, QII
Th. Stricker	Werkstoffprüfer	1986	Erste Hilfe-Helferin, Qualitätsprüfer
M. Wagner	Techniker (Kunststoffverarb.)	1982	Werkstoffprüfer, Qualitätsprüfer, Qualitätsassistent
A. Wohlgemuth	Dipl.-Ing. Verfahrenstechnik	1982/2001	
F. Wonner	Meß -und Regelmechaniker	1989/2001	EDV-Koordinator
O. Zoch	Chemielaborantin	2001	

Ersteller:	Prüfung:	QM-Vermerk	Freigabe:	Index:
				A : Januar 1996
				B : Oktober 1999
				C : März 2002
A. Wohlgemuth	I. Mickley		Dr. M. Lonschien	D : Oktober 2002

Anhang 3: Kalibrierscheine des Deutschen Kalibrierdienst (DKD)

Anhang 3.1: Druckmessung

Messgerät:

Messkette aus Druckaufnehmer und Messverstärker

Hersteller: Hottinger Baldwin Messtechnik, Darmstadt

Fabrikat/Serien-Nr.: ND62688; 33776

Fremdkalibrierung durch Hersteller

Kalibrierschein: 03110; DKD-K-00101; 94-03

Kalibrierschein: 04893; DKD-K-00101; 96-11

Kalibrierschein: 05892; DKD-K-00101; 98-05

Anhang 3.2: Temperaturmessung

Messgerät:

Impac Tasto therm MP 1300 Memo

mit Messfühler

Serien-nr.: 1350111

Eigenkalibrierung mit Temperaturkalibrator „Gemini“

Hersteller: ISOTECH Isothermal Technology Ltd., Southport

Serien-Nr.: 10729/1

Kalibrierschein: 3400749, Nederlands Meetinstituut 08/1995

3407512, Nederlands Meetinstituut 07/2002

DEUTSCHER KALIBRIERDIENST (DKD)

Kalibrierlaboratorium für mechanische Meßgrößen
Calibration laboratory for mechanical quantities

AKKREDITIERT DURCH DIE PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (PTB)



03110
DKD-K-00101
94-03

Kalibrierschein *Calibration Certificate*

Kalibrierzeichen
Calibration mark

Gegenstand
Object Meßkette aus Referenzdruckaufnehmer
und Digitalkompensator

Hersteller
Manufacturer Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH
Darmstadt

Typ
Type PAP31/200bar ; DK38.D20

Fabrikate/Serien-Nr.
Serial number D62688 ; 33776

Auftraggeber
Customer Hüls Troisdorf AG, Troisdorf

Auftragsnummer
Order No. ZK 196104 A

Anzahl der Seiten des Kalibrierscheines
Number of pages of the certificate 8

Datum der Kalibrierung
Date of calibration 23.03.1994

Der Deutsche Kalibrierdienst ist Unterzeichner des multilateralen Übereinkommens der Western European Calibration Cooperation (WECC) zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibrierscheine.

Die Kalibrierung erfolgt auf der Grundlage des zwischen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt und dem Träger abgeschlossenen Vertrages.

Dieser Kalibrierschein dokumentiert die Rückführbarkeit auf nationale Normale zur Darstellung der physikalischen Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI).

Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.

The Deutscher Kalibrierdienst is signatory to the multilateral agreement of the Western European Calibration Cooperation (WECC) for the mutual recognition of calibration certificates.

The calibration is performed according to the stipulations of the contract between the Physikalisch-Technische Bundesanstalt and the holder of the calibration laboratory.

This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the physical units of measurement according to the International System of Units (SI).

The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.

Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung sowohl der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt als auch des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Stempel haben keine Gültigkeit.

This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of both the Physikalisch-Technische Bundesanstalt and the issuing laboratory.

Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Stempel
Seal



stellv. Leiter des Kalibrierlaboratoriums
Head of the calibration laboratory

Harreus

Bearbeiter
Person responsible

[Signature] *[Signature]*

HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GMBH

Zertifiziert nach DIN ISO 9001 (DQS-10001) DATech-akkreditiert als EMV-Prüflaboratorium
Certified in accordance with ISO 9001 DATech accredited as EMC test laboratory

Im Tiefen See 45 D - 64293 Darmstadt
Telefon: (06151) 803 - 436 . Telefax: (06151) 895677
Telex: 419341 Telegramm: Messtechnik Darmstadt

DEUTSCHER KALIBRIERDIENST (DKD)

+-----+

: 03110 :

Seite 2 zum Kalibrierschein vom 23.03.1994

+-----+

: DKD-K- :

Der Aufnehmer wurde auf einem 600bar Überdruck-Kolbenmanometer kalibriert.

: 00101 :

+-----+

: 94-03 :

PTB Prüfzeichen 0029 PTB 90

+-----+

von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt
bestätigte Unsicherheit der Kalibriermethode :

zwischen 60bar und 600bar 0.010% der eingestellten Druckstufe.

Die Kalibrierung ist nur gültig bei Verwendung von Ausgebern gleicher Bauart, wie sie unten beschrieben sind.

Umgebungstemperatur: 23.0 Grad C

Umgebungsluftdruck: 1008 hPa

Umgebungsfeuchte : 60 %

Druckübertragungsmittel: Öl

Angaben zum Aufnehmer

Typ : PAP31/200bar

F.-Nr. : D62688

Nullsignal: 0.00920mV/V

Einbauteile : *****

Kalibrierbereich : 200bar

Kalibrierzubehör : *****

Angaben zum Kabel

Länge(fest verbunden): 3m

Verlängerung: *****

Ausführung : 6-adrig

Anschluss Ausgeber (Messverstärker) : 6-Leiter

Sonstiges Zubehör:

Angaben zum Ausgeber:

Verstärkertyp : DK38.D20

F.-Nr. : 33776

Brückenspeisespannung : 5V/225Hz
(spg., Frequ., Form)

Filter : 4

Anschlussart : 6-Leiter

Kalibriersignal: 249.702bar

Mess-Stelle : Progr.: 0

Messbereich: 200bar=200.000bar

Angaben zum Anzeiger

Anzeigertyp : *****

F.-Nr. : *****

Anzeigeranpassung : 0 bar = 0.00000mV/V ; 200.157bar = 2.00237mV/V

 Programm-Name: DKDDruck, Version: 1.01

Messreihen R1, R2, R3 und R3(abw) in unveränderter Einbaulage in bar.
 Die Belastungszeit am Messbereichsendwert von R3 betraegt 10 Minuten.

Die Werte wurden nach dreimaliger Vorbelastung mit dem Messbereichs-
 endwert erfasst.

Umgebungstemperatur: 23.0 Grad C

Ueberdruck in bar	R1 in bar	R2 in bar	R3 in bar	R3(abw) in bar
0.00000	0.000	0.000	0.000	0.002
20.00677	20.001	20.000	20.001	20.030
40.02426	40.027	40.025	40.027	40.064
60.04661	60.051	60.054	60.054	60.105
80.06362	80.074	80.074	80.076	80.130
100.07163	100.085	100.086	100.087	100.143
120.08815	120.103	120.103	120.105	120.164
140.10639	140.120	140.122	140.123	140.172
160.12340	160.138	160.138	160.139	160.178
180.13921	180.147	180.148	180.149	180.172
200.15672	200.156	200.157	200.156	200.157

Seite 4 zum Kalibrierschein vom 23.03.1994

Die Gesamtmessunsicherheit nach DKD-3, 'Ermittlung von Messunsicherheiten' Ausgabe 1990, ergibt sich aus der arithmetischen Addition der Relativen Spannweiten pro Pruefteillast und der von der PTB bestaetigten Anschlussmessunsicherheit pro Pruefteillast.

Fuer die nachfolgenden Berechnungen werden alle Messwerte rechnerisch um den Nullversatz der jeweiligen Messreihe korrigiert.

Arithmetischer Mittelwert aus R1, R2 und R3.

Die Relative Spannweite ist auf 0.0001% gerundet.

Die Relative Umkehrspanne ist auf 0.0001% gerundet.

Ueberdruck in bar	Arithmetischer Mittelwert in bar	Relative Spannweite in Prozent vom Messwert	Relative Umkehrspanne in Prozent vom Messwert
0.00000	0.0000	----	----
20.00677	20.0007	0.0050	0.1450
40.02426	40.0263	0.0050	0.0924
60.04661	60.0530	0.0050	0.0849
80.06362	80.0747	0.0025	0.0674
100.07163	100.0860	0.0020	0.0560
120.08815	120.1037	0.0017	0.0491
140.10639	140.1217	0.0021	0.0350
160.12340	160.1383	0.0006	0.0244
180.13921	180.1480	0.0011	0.0128
200.15672	200.1563	0.0005	0.0005

Die Gleichungen wurden aus den aufgebrachten Druckstufen und den zugehörigen Mittelwerten der Aufwaertsmessreihen errechnet.

Ausgleichspolynome (kubisch):

Koeffizienten des Ausgleichspolynoms: $y = A + Bx + Cx^2 + Dx^3$

Anzeigewert = f (Ueberdruck)

x = Druck in bar

y = ausgeglichener Anzeigewert in bar

Ordinate	(A):	-1.175898672921835E-02
Linearer Koeffizient	(B):	1.000320282923304
Quadratischer Koeffizient	(C):	1.425375994495462E-07
Kubischer Koeffizient	(D):	-7.217153090195166E-09

Koeffizienten des inversen Ausgleichspolynoms: $x = a + by + cy^2 + dy^3$

Ueberdruck = f (Anzeigewert)

x = ausgeglichener Druck in bar

y = Anzeigewert in bar

Ordinate	(a):	1.175194197869781E-02
Linearer Koeffizient	(b):	.9996800234842226
Quadratischer Koeffizient	(c):	-1.456120069819805E-07
Kubischer Koeffizient	(d):	7.225643492168657E-09

Ausgleichspolynome (linear):

Koeffizienten des Ausgleichspolynoms: $y = A + Bx$

Anzeigewert = f (Ueberdruck)

x = Druck in bar

y = ausgeglichener Anzeigewert in bar

Ordinate	(A):	3.025369916192853E-03
Linearer Koeffizient	(B):	1.000046926670714

Koeffizienten des inversen Ausgleichspolynoms: $x = a + by$

Ueberdruck = f (Anzeigewert)

x = ausgeglichener Druck in bar

y = Anzeigewert in bar

Ordinate	(a):	-3.023756964428238E-03
Linearer Koeffizient	(b):	.9999530621697155

Seite 6 zum Kalibrierschein vom 23.03.1994

Relative Interpolationsabweichungen der Ausgleichskurve 3.Grades

Die Relative Interpolationsabweichung ist auf 0.0001% gerundet.

Ueberdruck in bar	Mittlere Anzeigewerte in bar	Ausgeglichenen Werte in bar	Rel. Inter- polations- abweichung in Prozent
20.00677	20.0007	20.0014	-0.0037
40.02426	40.0263	40.0251	0.0031
60.04661	60.0530	60.0530	-0.0001
80.06362	80.0747	80.0747	0.0000
100.07163	100.0860	100.0861	-0.0001
120.08815	120.1037	120.1044	-0.0006
140.10639	140.1217	140.1224	-0.0005
160.12340	160.1383	160.1370	0.0009
180.13921	180.1480	180.1476	0.0002
200.15672	200.1563	200.1569	-0.0003

Interpolationstabelle zur Ausgleichskurve 3.Grades

Die ausgeglichenen Werte sind in Abhaengigkeit vom Druck mit Hilfe des Ausgleichspolynoms $y=f(x)$ berechnet.

Ueberdruck in bar	Ausgegliche ne Werte in bar
10.00000	9.991
20.00000	19.995
30.00000	29.998
40.00000	40.001
50.00000	50.004
60.00000	60.006
70.00000	70.009
80.00000	80.011
90.00000	90.013
100.00000	100.014
110.00000	110.016
120.00000	120.016
130.00000	130.016
140.00000	140.016
150.00000	150.015
160.00000	160.014
170.00000	170.011
180.00000	180.008
190.00000	190.005
200.00000	200.000

Seite 8 zum Kalibrierschein vom 23.03.1994

Interpolationstabelle zur inversen Ausgleichskurve 3. Grades

Die ausgeglichenen Druckwerte sind in Abhängigkeit der Anzeigewerte mit Hilfe des Ausgleichspolynoms $x=f(y)$ berechnet.

Anzeigewerte	Überdruck
in	in
bar	bar

10.000	10.00854
20.000	20.00535
30.000	30.00222
40.000	39.99918
50.000	49.99629
60.000	59.99359
70.000	69.99112
80.000	79.98892
90.000	89.98704
100.000	99.98552
110.000	109.98441
120.000	119.98374
130.000	129.98357
140.000	139.98393
150.000	149.98487
160.000	159.98642
170.000	169.98865
180.000	179.99158
190.000	189.99526
200.000	199.99974

DEUTSCHER KALIBRIERDIENST (DKD)

Kalibrierlaboratorium für mechanische Meßgrößen
Calibration laboratory for mechanical quantities

AKKREDITIERT DURCH DIE PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (PTB)



Elektrisches
Messen
mechanischer
Größen

HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GMBH

Im Tiefen See 45 · D - 64293 Darmstadt
Telefon: (06151) 803-436 · Telefax: (06151) 803-590

Kalibrierschein Calibration Certificate

Kalibrierzeichen
Calibration mark

04893

DKD-K-
00101

96-11

Gegenstand
Object
**Meßkette aus Referenzdruckaufnehmer
und Digitalkompensator**

Hersteller
Manufacturer
**Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH,
Darmstadt**

Typ
Type
P31AP / 200bar ; DK38

Fabrikate/Serien-Nr.
Serial number
D62688 ; 33776

Auftraggeber
Customer
HT Troplast AG, Troisdorf

Auftragsnummer
Order No.
ZK416757A

Anzahl der Seiten des Kalibrierscheines
Number of pages of the certificate
12

Datum der Kalibrierung
Date of calibration
12.11.1996

Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung sowohl der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt als auch des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums.

Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Stempel haben keine Gültigkeit.

This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of both the Physikalisch-Technische Bundesanstalt and the issuing laboratory.

Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Der Deutsche Kalibrierdienst ist Unterzeichner des multilateralen Übereinkommens der Western European Calibration Cooperation (WECC) zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibrierscheine.

Die Kalibrierung erfolgt auf der Grundlage des zwischen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt und dem Träger abgeschlossenen Vertrages.

Dieser Kalibrierschein dokumentiert die Rückführbarkeit auf nationale Normale zur Darstellung der physikalischen Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI).

Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.

The Deutscher Kalibrierdienst is signatory to the multilateral agreement of the Western European Calibration Cooperation (WECC) for the mutual recognition of calibration certificates.

The calibration is performed according to the stipulations of the contract between the Physikalisch-Technische Bundesanstalt and the holder of the calibration laboratory.

This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the physical units of measurement according to the International System of Units (SI).

The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.

Stempel
Seal



Datum
Date

14.11.1996

Stellv. Leiter des Kalibrierlaboratoriums
Deputy Head of the calibration laboratory

Harreus

Bearbeiter
Person responsible

Fraiss

Zertifiziert nach DIN EN ISO 9001 (DQS-10001)
Certified according to ISO 9001 by DQS

Akkreditiert als EMV-Prüflaboratorium (DAT-P-006, -012)
Accredited as EMC testing laboratory by DATech

Seite / page 1

D E U T S C H E R K A L I B R I E R D I E N S T (DKD)

+-----+
: 04893 :
+-----+
: DKD-K- :
: 00101 :
+-----+
: 96-11 :
+-----+

Seite 2 zur Kalibrierung vom 12.11.1996

Der Aufnehmer wurde auf einem 600bar Überdruck-Kolbenmanometer kalibriert.

PTB Prüfzeichen 0022 PTB 95

von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt
bestätigte Unsicherheit der Kalibriermethode :

zwischen 60bar und 600bar 0.01 % der eingestellten Druckstufe.

Die Kalibrierung ist nur gültig bei Verwendung von Ausgebern gleicher Bauart, wie sie unten beschrieben sind.

Umgebungstemperatur: 21.7 Grad C Umgebungsluftdruck: 986 hPa

Umgebungsfeuchte : 58 % Druckübertragungsmittel: Oel

Angaben zum Aufnehmer

Typ : P31AP/200bar F.-Nr. : D62688
Nullsignal: 0,00879mV/V Einbauteile : standard
Kalibrierbereich : 200bar Kalibrierzubehör : -

Angaben zum Kabel

Länge(fest verbunden): 3m Verlängerung: -
Ausführung : 6-adrig
Anschluss Ausgeber (Messverstärker) : 6-Leiter
Sonstiges Zubehör: -

Angaben zum Ausgeber:

Verstärkertyp : DK38 F.-Nr. : 33776
Brückenspeisespannung : 5V / 225Hz Filter : 4
(spg., Frequ., Form)
Anschlussart : 6-Leiter Kalibriersignal: 249,700bar
Mess-Stelle : Progr.: 0 Messbereich: 200,000bar

Angaben zum Anzeiger

Anzeigertyp : - F.-Nr. : -
Anzeigeranpassung : 0,000bar = 0,00000mV/V ; 200,000bar = 2,00081mV/V

Der Ausgeber ist Eigentum des Kunden.

Programm-Name: DKDDruck, Version: 1.02

Messreihen R1, R2, R3 und R3(abw) in unveraenderter Einbaulage in mV/V.
Die Belastungszeit am Messbereichsendwert von R3 betraegt 10 Minuten.

Die Werte wurden nach dreimaliger Vorbelastung mit dem Messbereichs-
endwert erfasst.

Umgebungstemperatur: 21.7 Grad C

Ueberdruck in bar	R1 in mV/V	R2 in mV/V	R3 in mV/V	R3 (abw) in mV/V
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00002
20.00892	0.20016	0.20017	0.20016	0.20042
40.02611	0.40041	0.40044	0.40044	0.40082
60.04873	0.60078	0.60078	0.60078	0.60126
80.06536	0.80108	0.80108	0.80108	0.80168
100.07295	1.00129	1.00128	1.00127	1.00186
120.08901	1.20151	1.20152	1.20155	1.20211
140.10650	1.40178	1.40179	1.40181	1.40229
160.12370	1.60202	1.60202	1.60203	1.60247
180.13893	1.80223	1.80221	1.80220	1.80246
200.15557	2.00236	2.00236	2.00236	2.00247

Seite 4 zur Kalibrierung vom 12.11.1996

Die Gesamtmessunsicherheit nach DKD-3, 'Ermittlung von Messunsicherheiten' Ausgabe 1990, ergibt sich aus der arithmetischen Addition der Relativen Spannweiten pro Pruefteillast und der von der PTB bestaetigten Anschlussmessunsicherheit pro Pruefteillast.

Fuer die nachfolgenden Berechnungen werden alle Messwerte rechnerisch um den Nullversatz der jeweiligen Messreihe korrigiert.

Arithmetischer Mittelwert aus R1, R2 und R3.

Die Relative Spannweite ist auf 0.0001% gerundet.

Die Relative Umkehrspanne ist auf 0.0001% gerundet.

Ueberdruck in bar	Arithmetischer Mittelwert in mV/V	Relative Spannweite in Prozent vom Messwert	Relative Umkehrspanne in Prozent vom Messwert
0.00000	0.000000	----	----
20.00892	0.200163	0.0050	0.1299
40.02611	0.400430	0.0075	0.0949
60.04873	0.600780	0.0000	0.0799
80.06536	0.801080	0.0000	0.0749
100.07295	1.001280	0.0020	0.0589
120.08901	1.201527	0.0033	0.0466
140.10650	1.401793	0.0021	0.0342
160.12370	1.602023	0.0006	0.0275
180.13893	1.802213	0.0017	0.0144
200.15557	2.002360	0.0000	0.0055

Die Gleichungen wurden aus den aufgetragenen Druckstufen und den zugehörigen Mittelwerten der Aufwärtssmessreihen errechnet.

Ausgleichspolynome (kubisch):

Koeffizienten des Ausgleichspolynoms: $y = A + B \cdot x + C \cdot x^2 + D \cdot x^3$
Anzeigewert = f (Ueberdruck)
x = Druck in bar
y = ausgeglichener Anzeigewert in mV/V

Ordinate	(A):	-2.470435028089614E-05
Linearer Koeffizient	(B):	1.000410128302672E-02
Quadratischer Koeffizient	(C):	3.017473759430179E-08
Kubischer Koeffizient	(D):	-1.496413797470242E-10

Koeffizienten des inversen Ausgleichspolynoms: $x = a + b \cdot y + c \cdot y^2 + d \cdot y^3$
Ueberdruck = f (Anzeigewert)
x = ausgeglichener Druck in bar
y = Anzeigewert in mV/V

Ordinate	(a):	2.464488387774165E-03
Linearer Koeffizient	(b):	99.95902830000422
Quadratischer Koeffizient	(c):	-3.016319586610868E-02
Kubischer Koeffizient	(d):	1.494690305884492E-02

Ausgleichspolynome (linear):

Koeffizienten des Ausgleichspolynoms: $y = A + B \cdot x$
Anzeigewert = f (Ueberdruck)
x = Druck in bar
y = ausgeglichener Anzeigewert in mV/V

Ordinate	(A):	4.196079711255178E-05
Linearer Koeffizient	(B):	.0100044262197854

Koeffizienten des inversen Ausgleichspolynoms: $x = a + b \cdot y$
Ueberdruck = f (Anzeigewert)
x = ausgeglichener Druck in bar
y = Anzeigewert in mV/V

Ordinate	(a):	-4.193015443865984E-03
Linearer Koeffizient	(b):	99.95575628824977

Seite 6 zur Kalibrierung vom 12.11.1996

Relative Interpolationsabweichungen der Ausgleichskurve 3.Grades

Die Relative Interpolationsabweichung ist auf 0.0001% gerundet.

Ueberdruck in bar	Mittlere Anzeigewerte in mV/V	Ausgeglichene Werte in mV/V	Rel. Inter- polations- abweichung in Prozent
20.00892	0.200163	0.200157	0.0029
40.02611	0.400430	0.400439	-0.0023
60.04873	0.600780	0.600785	-0.0009
80.06536	0.801080	0.801074	0.0008
100.07295	1.001280	1.001267	0.0013
120.08901	1.201527	1.201534	-0.0006
140.10650	1.401793	1.401796	-0.0002
160.12370	1.602023	1.602028	-0.0003
180.13893	1.802213	1.802208	0.0003
200.15557	2.002360	2.002361	0.0000

Seite 7 zur Kalibrierung vom 12.11.1996

Interpolationstabelle zur Ausgleichskurve 3.Grades

Die ausgeglichenen Werte sind in Abhaengigkeit vom Druck mit Hilfe des Ausgleichspolynoms $y=f(x)$ berechnet.

Ueberdruck in bar	Ausgegliche ne Werte in mV/V
10.00000	0.10002
20.00000	0.20007
30.00000	0.30012
40.00000	0.40018
50.00000	0.50024
60.00000	0.60030
70.00000	0.70036
80.00000	0.80042
90.00000	0.90048
100.00000	1.00054
110.00000	1.10059
120.00000	1.20064
130.00000	1.30069
140.00000	1.40073
150.00000	1.50076
160.00000	1.60079
170.00000	1.70081
180.00000	1.80082
190.00000	1.90082
200.00000	2.00081

Interpolationstabelle zur inversen Ausgleichskurve 3.Grades

Die ausgeglichenen Druckwerte sind in Abhaengigkeit der Anzeigewerte mit Hilfe des Ausgleichspolynoms $x=f(y)$ berechnet.

Anzeigewerte in mV/V	Ueberdruck in bar
0.10000	9.99808
0.20000	19.99318
0.30000	29.98786
0.40000	39.98221
0.50000	49.97631
0.60000	59.97025
0.70000	69.96413
0.80000	79.95804
0.90000	89.95205
1.00000	99.94628
1.10000	109.94079
1.20000	119.93569
1.30000	129.93106
1.40000	139.92700
1.50000	149.92359
1.60000	159.92091
1.70000	169.91908
1.80000	179.91816
1.90000	189.91825
2.00000	199.91944

Tabelle der Anzeigewerte in bar nach der durchgefuehrten Aufnehmer-
anpassung bei vorgegebenem Druck. Eingestellt wurde der Endwert aus der
Interpolationstabelle zur Ausgleichskurve 3. Grades.

Ueberdruck in bar	Anpassung in bar
10.00000	9.9979
20.00000	19.9988
30.00000	30.0001
40.00000	40.0017
50.00000	50.0036
60.00000	60.0056
70.00000	70.0077
80.00000	80.0098
90.00000	90.0117
100.00000	100.0135
110.00000	110.0149
120.00000	120.0160
130.00000	130.0166
140.00000	140.0166
150.00000	150.0160
160.00000	160.0147
170.00000	170.0125
180.00000	180.0094
190.00000	190.0052
200.00000	200.0000

Seite 10 zur Kalibrierung vom 12.11.1996

Die Gleichungen wurden aus den aufgetragenen Druckstufen und den zugehörigen Anzeigewerten nach der Aufnehmeranpassung errechnet.

Ausgleichspolynome (kubisch):

Koeffizienten des Ausgleichspolynoms:

$$Y = A + B \cdot x + C \cdot x^2 + D \cdot x^3$$

Anzeigewert = f (Ueberdruck)

x = Druck in bar

y = ausgeglichener Anzeigewert in bar

Ordinate	(A):	-2.469440573168091E-03
Linearer Koeffizient	(B):	1.000007419954283
Quadratischer Koeffizient	(C):	3.016259094661467E-06
Kubischer Koeffizient	(D):	-1.495811425862718E-08

Koeffizienten des inversen Ausgleichspolynoms: $x = a + b \cdot y + c \cdot y^2 + d \cdot y^3$

Ueberdruck = f (Anzeigewert)

x = ausgeglichener Druck in bar

y = Anzeigewert in bar

Ordinate	(a):	2.466501286613096E-03
Linearer Koeffizient	(b):	.9999927456205502
Quadratischer Koeffizient	(c):	-3.017931841261432E-06
Kubischer Koeffizient	(d):	1.496244881249201E-08

Ausgleichspolynome (linear):

Koeffizienten des Ausgleichspolynoms:

$$Y = A + B \cdot x$$

Anzeigewert = f (Ueberdruck)

x = Druck in bar

y = ausgeglichener Anzeigewert in bar

Ordinate	(A):	2.639024426547814E-03
Linearer Koeffizient	(B):	1.000056869583505

Koeffizienten des inversen Ausgleichspolynoms: $x = a + b \cdot y$

Ueberdruck = f (Anzeigewert)

x = ausgeglichener Druck in bar

y = Anzeigewert in bar

Ordinate	(a):	-2.637921625639814E-03
Linearer Koeffizient	(b):	.9999431245775923

Seite 11 zur Kalibrierung vom 12.11.1996

Interpolationstabelle zur Ausgleichskurve 3.Grades nach der
AufnehmeranpassungDie ausgeglichenen Werte sind in Abhaengigkeit vom Druck mit
Hilfe des Ausgleichspolynoms $y=f(x)$ berechnet.

Ueberdruck in bar	Ausgegliche ne Werte in bar
10.00000	9.998
20.00000	19.999
30.00000	30.000
40.00000	40.002
50.00000	50.004
60.00000	60.006
70.00000	70.008
80.00000	80.010
90.00000	90.012
100.00000	100.013
110.00000	110.015
120.00000	120.016
130.00000	130.017
140.00000	140.017
150.00000	150.016
160.00000	160.015
170.00000	170.012
180.00000	180.009
190.00000	190.005
200.00000	200.000

Seite 12 zur Kalibrierung vom 12.11.1996

Interpolationstabelle zur inversen Ausgleichskurve 3.Grades nach der
AufnehmeranpassungDie ausgeglichenen Druckwerte sind in Abhaengigkeit der Anzeigewerte
mit Hilfe des Ausgleichspolynoms $x=f(y)$ berechnet.

Anzeigewerte in bar	Ueberdruck in bar
10.000	10.00211
20.000	20.00123
30.000	29.99994
40.000	39.99831
50.000	49.99643
60.000	59.99440
70.000	69.99230
80.000	79.99023
90.000	89.98828
100.000	99.98652
110.000	109.98507
120.000	119.98399
130.000	129.98339
140.000	139.98336
150.000	149.98397
160.000	159.98533
170.000	169.98753
180.000	179.99064
190.000	189.99477
200.000	200.00000

DEUTSCHER KALIBRIERDIENST **DKD**

Kalibrierlaboratorium für mechanische Meßgrößen
Calibration laboratory for mechanical quantities

AKKREDITIERT DURCH DIE

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (PTB)



Elektrisches
Messen
mechanischer
Größen

HBM Mess- und Systemtechnik GmbH

DKD-Kalibrierlaboratorium

Im Tiefen See 45 · DE - 64293 Darmstadt

Tel. +49 / (0)6151 / 803-436 · Fax. +49 / (0)6151 / 803-590

Kalibrierschein *Calibration Certificate*

Kalibrierzeichen
Calibration mark

05892

DKD-K-
00101

98-05

Gegenstand
Object

**Meßkette aus Druckaufnehmer und
Meßverstärker**

Dieser Kalibrierschein dokumentiert die Rückführung auf nationale Normale zur Darstellung der Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI).

Hersteller
Manufacturer

**Hottinger Baldwin Messtechnik,
Darmstadt**

Der Deutsche Kalibrierdienst ist Unterzeichner des multilateralen Übereinkommens der European cooperation for Accreditation of Laboratories (EAL) zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibrierscheine.

Typ
Type

PAP31/200bar , DK38

Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.

Fabrikat/Serien-Nr.
Serial number

ND62688 , 33776

This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).

Auftraggeber
Customer

HT Troplast AG , DE - 53840 Troisdorf

The Deutscher Kalibrierdienst is signatory to the multilateral agreement of the European cooperation for Accreditation of Laboratories (EAL) for the mutual recognition of calibration certificates.

Auftragsnummer
Order No.

1036444A

The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.

Anzahl der Seiten des Kalibrierscheines
Number of pages of the certificate

8

Datum der Kalibrierung
Date of calibration

13.05.1998

Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung sowohl der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt als auch des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Stempel haben keine Gültigkeit.

This calibration certificate may not reproduced other than in full except with the permission of both the Physikalisch-Technische Bundesanstalt and the issuing laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Stempel
Seal



Datum
Date

16.05.1998

Leiter des Kalibrierlaboratoriums
Head of the calibration laboratory

Werner

Bearbeiter

Person in charge

Dascher

DEUTSCHER KALIBRIERDIENST (DKD)

Seite 2 zur Kalibrierung vom 13.05.1998

Der Aufnehmer wurde auf einem 600bar Überdruck-Kolbenmanometer kalibriert.

PTB Prüfzeichen 0022 PTB 96

von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt
bestätigte Unsicherheit der Kalibriermethode :

zwischen 60bar und 600bar $\leq 0.01\%$ der eingestellten Druckstufe.

Die Kalibrierung ist nur gültig bei Verwendung von Ausgebern gleicher Bauart, wie sie unten beschrieben sind.

Umgebungstemperatur: 23.5 Grad C

Umgebungsluftdruck : 1007 hPa

Umgebungsfeuchte : 60 %

Druckübertragungsmittel: Öl

Angaben zum Aufnehmer

Typ : PAP31/200bar

F.-Nr. : ND62688

Nullsignal: 0,00894 mV/V

Einbauteile : Standard

Kalibrierbereich : 200 bar

Kalibrierzubehör : -

Angaben zum Kabel

Länge(fest verbunden): 3m

Verlängerung: -

Ausführung : 6-adrig

Anschluss Ausgeber (Messverstärker) : 6-Leiter

Sonstiges Zubehör: -

Angaben zum Ausgeber:

Verstärkertyp : DK38

F.-Nr. : 33776

Brückenspeisespannung : 5V/225Hz
(spg., Frequ., Form)

Filter : 4

Anschlussart : 6-Leiter

Kalibriersignal: 2.49802 mV/V

Mess-Stelle : Kanal 1

Messbereich: 2mV/V

Angaben zum Anzeiger

Anzeigertyp : -

F.-Nr. : -

Anzeigeranpassung : -

Sonstiges : -

Der Ausgeber ist Eigentum des Kunden.

+-----+
: 05892 :
+-----+
: DKD-K- :
: 00101 :
+-----+
: 98-05 :
+-----+

Programm-Name: DKDDruck, Version: 1.02

Messreihen R1, R2, R3 und R3(abw) in unveraenderter Einbaulage in mV/V.
Die Belastungszeit am Messbereichsendwert von R3 betraegt 10 Minuten.

Die Werte wurden nach dreimaliger Vorbelastung mit dem Messbereichs-
endwert erfasst.

Umgebungstemperatur: 23.5 Grad C

Ueberdruck in bar	R1 in mV/V	R2 in mV/V	R3 in mV/V	R3 (abw) in mV/V
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00003
20.00797	0.20014	0.20011	0.20014	0.20039
40.02436	0.40038	0.40038	0.40038	0.40078
60.04619	0.60067	0.60068	0.60068	0.60123
80.06202	0.80098	0.80098	0.80099	0.80156
100.06882	1.00120	1.00116	1.00114	1.00178
120.08409	1.20144	1.20139	1.20142	1.20203
140.10078	1.40164	1.40164	1.40165	1.40218
160.11720	1.60188	1.60188	1.60188	1.60230
180.13163	1.80209	1.80209	1.80206	1.80232
200.14748	2.00223	2.00221	2.00222	2.00231

+-----+
: 05892 :
+-----+
: DKD-K- :
: 00101 :
+-----+
: 98-05 :
+-----+

Seite 4 zur Kalibrierung vom 13.05.1998

Die Gesamtmessunsicherheit nach DKD-3, 'Ermittlung von Messunsicherheiten Ausgabe 1990, ergibt sich aus der arithmetischen Addition der Relativen Spannweiten pro Pruefteillast und der von der PTB bestaetigten Anschlussmessunsicherheit pro Pruefteillast.

Fuer die nachfolgenden Berechnungen werden alle Messwerte rechnerisch um den Nullversatz der jeweiligen Messreihe korrigiert.

Arithmetischer Mittelwert aus R1, R2 und R3.

Die Relative Spannweite ist auf 0.0001% gerundet.

Die Relative Umkehrspanne ist auf 0.0001% gerundet.

Ueberdruck in bar	Arithmetischer Mittelwert in mV/V	Relative Spannweite in Prozent vom Messwert	Relative Umkehrspanne in Prozent vom Messwert
0.00000	0.000000	----	----
20.00797	0.200130	0.0150	0.1249
40.02436	0.400380	0.0000	0.0999
60.04619	0.600677	0.0017	0.0916
80.06202	0.800983	0.0012	0.0712
100.06882	1.001167	0.0060	0.0639
120.08409	1.201417	0.0042	0.0508
140.10078	1.401643	0.0007	0.0378
160.11720	1.601880	0.0000	0.0262
180.13163	1.802080	0.0017	0.0144
200.14748	2.002220	0.0010	0.0045

Seite 5 zur Kalibrierung vom 13.05.1998

Die Gleichungen wurden aus den aufgebrauchten Druckstufen und den zugehörigen Mittelwerten der Aufwaertsmessreihen errechnet.

Ausgleichspolynome (kubisch):

Koeffizienten des Ausgleichspolynoms: $y = A + B \cdot x + C \cdot x^2 + D \cdot x^3$
 Anzeigewert = f (Ueberdruck)
 x = Druck in bar
 y = ausgeglichener Anzeigewert in mV/V

Ordinate	(A):	-2.261004940437637E-05
Linearer Koeffizient	(B):	1.000271562921535E-02
Quadratischer Koeffizient	(C):	3.704874126772032E-08
Kubischer Koeffizient	(D):	-1.569161559588945E-10

Koeffizienten des inversen Ausgleichspolynoms: $x = a + b \cdot y + c \cdot y^2 + d \cdot y^3$
 Ueberdruck = f (Anzeigewert)
 x = ausgeglichener Druck in bar
 y = Anzeigewert in mV/V

Ordinate	(a):	2.257274158115457E-03
Linearer Koeffizient	(b):	99.97286306922079
Quadratischer Koeffizient	(c):	-3.701978304769223E-02
Kubischer Koeffizient	(d):	1.567144428880446E-02

Ausgleichspolynome (linear):

Koeffizienten des Ausgleichspolynoms: $y = A + B \cdot x$
 Anzeigewert = f (Ueberdruck)
 x = Druck in bar
 y = ausgeglichener Anzeigewert in mV/V

Ordinate	(A):	-3.724472914768239E-07
Linearer Koeffizient	(B):	1.000424702044641E-02

Koeffizienten des inversen Ausgleichspolynoms: $x = a + b \cdot y$
 Ueberdruck = f (Anzeigewert)
 x = ausgeglichener Druck in bar
 y = Anzeigewert in mV/V

Ordinate	(a):	3.806371500469588E-05
Linearer Koeffizient	(b):	99.95754706702168

+-----+
: 05892 :
+-----+
: DKD-K- :
: 00101 :
+-----+
: 98-05 :
+-----+

Seite 6 zur Kalibrierung vom 13.05.1998

Relative Interpolationsabweichungen der Ausgleichskurve 3.Grades

Die Relative Interpolationsabweichung ist auf 0.0001% gerundet.

Ueberdruck in bar	Mittlere Anzeigewerte in mV/V	Ausgeglichene Werte in mV/V	Rel. Inter- polations- abweichung in Prozent
20.00797	0.200130	0.200125	0.0025
40.02436	0.400380	0.400379	0.0003
60.04619	0.600677	0.600702	-0.0042
80.06202	0.800983	0.800972	0.0014
100.06882	1.001167	1.001151	0.0016
120.08409	1.201417	1.201407	0.0008
140.10078	1.401643	1.401661	-0.0013
160.11720	1.601880	1.601890	-0.0006
180.13163	1.802080	1.802068	0.0007
200.14748	2.002220	2.002222	-0.0001

Interpolationstabelle zur Ausgleichskurve 3.Grades

Die ausgeglichenen Werte sind in Abhaengigkeit vom Druck mit Hilfe des Ausgleichspolynoms $y=f(x)$ berechnet.

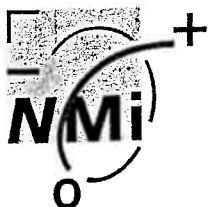
Ueberdruck in bar	Ausgegliche ne Werte in mV/V
10.00000	0.10001
20.00000	0.20005
30.00000	0.30009
40.00000	0.40014
50.00000	0.50019
60.00000	0.60024
70.00000	0.70030
80.00000	0.80035
90.00000	0.90041
100.00000	1.00046
110.00000	1.10052
120.00000	1.20057
130.00000	1.30061
140.00000	1.40065
150.00000	1.50069
160.00000	1.60072
170.00000	1.70074
180.00000	1.80075
190.00000	1.90075
200.00000	2.00075

Seite 8 zur Kalibrierung vom 13.05.1998

Interpolationstabelle zur inversen Ausgleichskurve 3.Grades

Die ausgeglichenen Druckwerte sind in Abhaengigkeit der Anzeigewerte mit Hilfe des Ausgleichspolynoms $x=f(y)$ berechnet.

Anzeigewerte in mV/V	Ueberdruck in bar
0.10000	9.99919
0.20000	19.99547
0.30000	29.99121
0.40000	39.98648
0.50000	49.98139
0.60000	59.97603
0.70000	69.97050
0.80000	79.96488
0.90000	89.95927
1.00000	99.95377
1.10000	109.94847
1.20000	119.94346
1.30000	129.93885
1.40000	139.93471
1.50000	149.93115
1.60000	159.92826
1.70000	169.92613
1.80000	179.92486
1.90000	189.92455
2.00000	199.92528



Nederlands Meetinstituut

Certificate

Certificate number 3407512

Page 1 of 2

Applicant HT Troplast AG
Kaiserstrasse
D538 40 Troisdorf

Item A calibration furnace

Manufacturer : Isothermal Technology Ltd.
Type : Gemini
Range : 50 °C to 300 °C
Resolution : 0,1 °C
Identification number : 0318 1001 (10729-1)

Calibration
Procedure

The temperature of the furnace was calibrated with a standard thermometer based on the ITS-90 and compared with the indicator of the oven at an ambient temperature of $(23 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$. The standard thermometer with a tube diameter of 6 mm fits narrowly in the insert. The thermometer was isolated with ceramic wool with a height of 16,5 cm and a thickness of 1 cm. With the used combination of standard thermometer and furnace pocket an uncertainty resulting from the vertical temperature gradient in the temperature block was estimated and included in the uncertainty budget.

Calibration
period 30 May 2002 until 3 June 2002

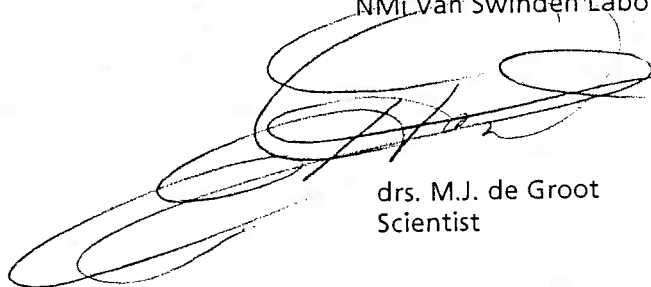
Result The result of the calibration is given on page 2.
The reported uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor of $k = 2$, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95 %.

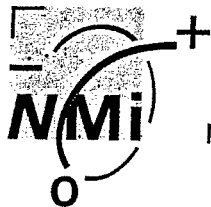
Traceability The calibration services of NMI VSL are traceable to primary and/or (inter)national accepted measurement standards.

Carried out by

Delft, 2 juli 2002
NMI Van Swinden Laboratorium B.V.


Richard van Breugel


drs. M.J. de Groot
Scientist



Nederlands Meetinstituut

Certificate

Certificate number 3407512

Page 2 of 2

Results

The result of the calibration and the related uncertainty is given here.

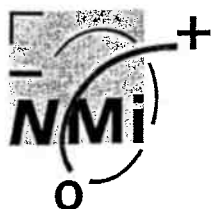
The table below contains the following data:

1. the temperature t_{90} according to the ITS-90;
2. the indicator value t ;
3. the difference $t_{90}-t$.

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	$t/^{\circ}\text{C}$	$t_{90}-t/^{\circ}\text{C}$
50,0	50,4	-0,4
100,0	100,4	-0,4
150,0	150,4	-0,4
200,0	200,5	-0,5

$$\text{Temperature} = t + (t_{90}-t)$$

The uncertainty in the difference $t_{90}-t$ amounted to 0,6 °C.



Nederlands Meetinstituut

Certificate

Certificate number 3400749
Page 1 of 2

Applicant HT Troplast AG
Kaiserstrasse
D538 40 Troisdorf

Item A calibration furnace
Manufacturer : Isotech
Type : Gemini
Range : Ambient temperature to 300 °C
Resolution : 0,1 °C
Identification number : 0318 1001 (10729-1)

Calibration Procedure The temperature of the furnace was calibrated with a standard thermometer based on the ITS-90 and compared with the indicator of the furnace. The ambient temperature was $(23 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$.
The immersion depth of the standard thermometer was 16 cm. De corrections given on page 2 are the results of the measurements at this immersion depth.
The vertical temperature profile of the furnace was determined by measuring the temperature of the furnace at a decreasing immersion depth of the standard thermometer.
The horizontal temperature profile of the furnace was measured with two standard thermometers. While one of the standard thermometers was left in one of the pockets, the other standard thermometer was moved to an other pocket.
The top of the furnace was covered with ceramic wool.

Calibration period 24 august 1995 until 25 august 1995.

Result The result of the calibration is given on page 2.
The given uncertainty is based on two times the standard deviation (2s).

Traceability The measurements have been executed using standards which are traceable to primary and/or (inter)national standards.

Carried out by

N.C. Lacroes

Delft, 31 August 1995
NMI Van Swinden Laboratorium B.V.

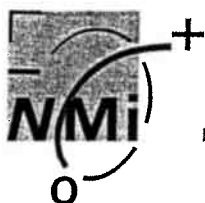
Drs. M.J. de Groot
Scientist

Nederlands Meetinstituut
P.O. Box 654
2600 AR Delft (NL)
Schoemakerstraat 97
2628 VK Delft
Telephone +31 15 69 15 00
Telefax +31 15 61 29 71

Nederlands Meetinstituut N.V. (Registered at the
Chamber of Commerce Delft number 28701)
Offices: Delft, Bergum, Bilthoven, Dordrecht, Helmond
Subsidiary companies:
NMI Van Swinden Laboratorium B.V. (28703)
NMI Ukwezen B.V. (28700)
NMI Certin B.V. (33418)
NMI Test- en Adviescentrum (TAC) B.V. (28702)

This certificate is issued under the provision that Nederlands
Meetinstituut N.V. nor its subsidiary companies accept any
liability.

Reproduction of the complete certificate is allowed.
Parts of the certificate may only be reproduced after written
permission.



Nederlands Meetinstituut

Certificate number
Page 2 of 2

3400749

Results

The result of the calibration and the related uncertainty is given here.

The table below contains the following data:

1. the indicator value t_i
2. the difference $t_{90}-t_i$
3. the difference $t_{68}-t_i$

With t_{90} the temperature according to the ITS-90 and t_{68} the temperature according to the IPTS-68.

t [°C]	$t_{90}-t$ [°C]	$t_{68}-t$ [°C]
50,0	-0,4	-0,4
100,0	-0,5	-0,4
150,0	-0,5	-0,5
200,0	-0,6	-0,5

$$\text{Temperature} = t + (t_{90}-t)$$

The uncertainty in the difference $t_{90}-t$ amounted to 0,2 °C.

The observed vertical temperature profile of this furnace in combination with the used standard thermometer amounted to 0,4 °C over 4 cm from the bottom.
The horizontal temperature profile measured at 50 °C and 200 °C for this furnace in combination with the used standard thermometers was to 0,05 °C.

Remarks

When using metal block furnace attention must be paid to the following:

- a. The thermometer must fit tightly in the furnace pocket.
- b. The top of the temperature block must be covered with ceramic wool, while the emerging part of the thermometer is isolated with a ceramic tube.
- c. Assure that for each type of thermometer the vertical temperature profile of the furnace is within the required uncertainty limits.

Anhang 4: Kalibrierprotokolle für die Zeitstand- Innendruckversuche der Prüfstände 2 und 5

Prüfstand 2: 08.02.2000

Prüfstand 5: 14.02.2000

Kalibrierprotokoll

Datum der Prüfung:
08.02.00

Stempel des Prüfers:
K 85

Meß-/Prüfmittelbezeich.: Prüfstand 2

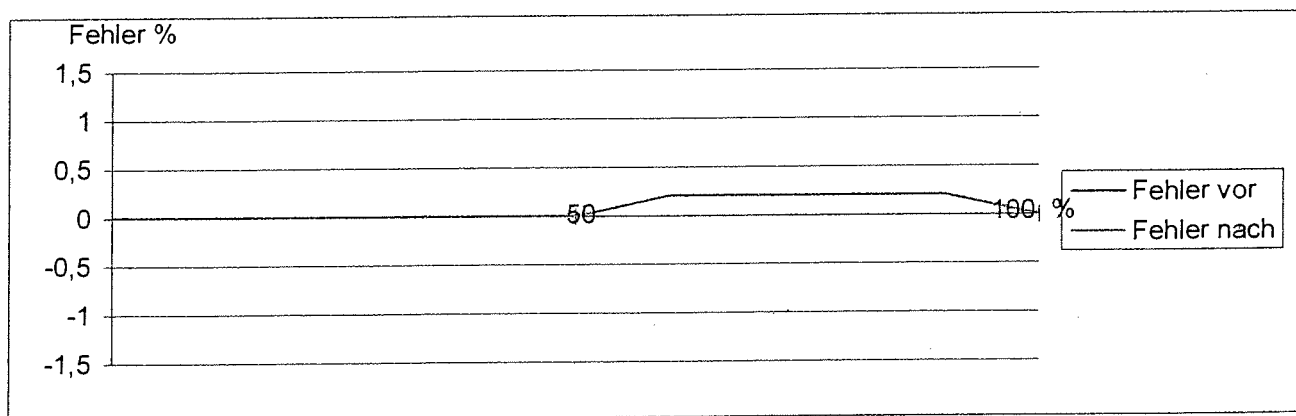
Name des Prüfers:
Wonner

Prüfmittel-Ident-Nr.: 0318C104

Prüfung nach KA-NR.:
KA 58

Eingang		Ausgang		Istwert	Istwert	Differenz	Differenz	Fehler %	Fehler %
%	bar	%	bar	vor der Kal.	nach der Kal.	vor der Kal.	nach der Kal.	vor der Kal.	nach der Kal.
0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
10	5	10	5,00	5,00	5,00	0	0	0	0
20	10	20	10,00	10,00	10,00	0	0	0	0
30	15	30	15,00	15,00	15,00	0	0	0	0
40	20	40	20,00	20,00	20,00	0	0	0	0
50	25	50	25,00	25,00	25,00	0	0	0	0
60	30	60	30,00	30,10	30,10	0,1	0,1	0,2	0,2
70	35	70	35,00	35,10	35,10	0,1	0,1	0,2	0,2
80	40	80	40,00	40,10	40,10	0,1	0,1	0,2	0,2
90	45	90	45,00	45,10	45,10	0,1	0,1	0,2	0,2
100	50	100	50,00	50,00	50,00	0	0	0	0

Prüfwerte Diagramm



Prüfergebnis : Die maximale Abweichung betrug vor der Prüfung :

Die maximale Abweichung beträgt nach der Prüfung :

Zulässige maximale Fehlergrenze: $\pm 0,5\%$

Die Abweichung liegt innerhalb der Fehlergrenzen

Ja ☒

Nein ☐

Kalibriermittel (NR.aus Ordner 6 - Kalibriergeräte):

Kalibrierung durchgeführt von: **Wonner**

Kalibrierintervall: **24 Monate**

Kalibrierprotokoll

Datum der Prüfung:
14.02.00

Stempel des Prüfers:
K 85

Name des Prüfers:
Wonner

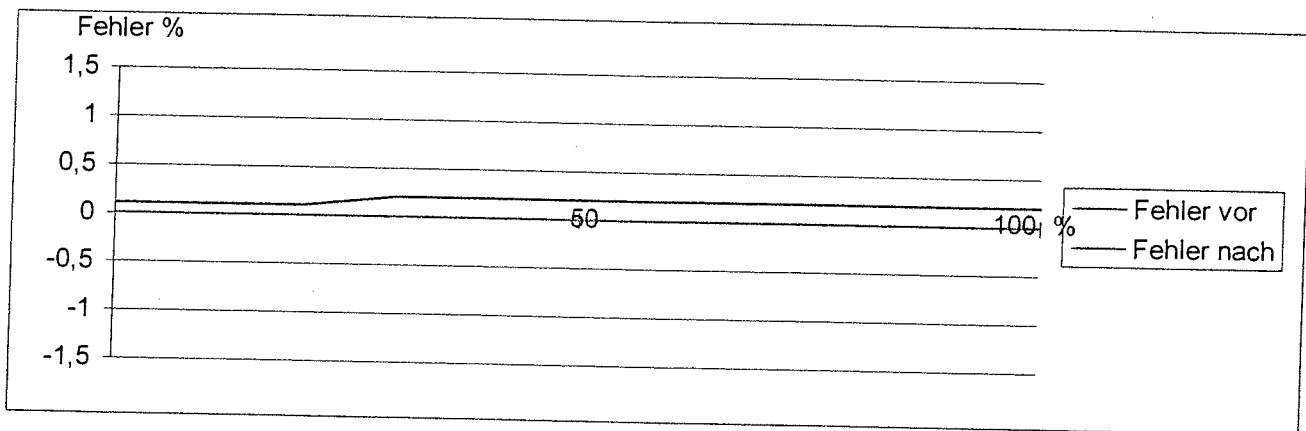
Prüfung nach KA-NR.:
KA 58

Meß-/Prüfmittelbezeich.: Prüfstand 5

Prüfmittel-Ident-Nr.: 0318C015

Eingang		Ausgang		Istwert	Istwert	Differenz	Differenz	Fehler %	Fehler %
%	bar	%	bar	vor der Kal.	nach der Kal.	vor der Kal.	nach der Kal.	vor der Kal.	nach der Kal.
0	0	0	0,00	0,02	0,00	0,02	0	0,1	0
10	2	10	2,00	2,02	2,00	0,02	0	0,1	0
20	4	20	4,00	4,02	4,00	0,02	0	0,1	0
30	6	30	6,00	6,04	6,00	0,04	0	0,2	0
40	8	40	8,00	8,04	8,00	0,04	0	0,2	0
50	10	50	10,00	10,04	10,00	0,04	0	0,2	0
60	12	60	12,00	12,04	12,00	0,04	0	0,2	0
70	14	70	14,00	14,04	14,00	0,04	0	0,2	0
80	16	80	16,00	16,04	16,00	0,04	0	0,2	0
90	18	90	18,00	18,04	18,00	0,04	0	0,2	0
100	20	100	20,00	20,04	20,00	0,04	0	0,2	0

Prüfwerte Diagramm



Prüfergebnis : Die maximale Abweichung betrug vor der Prüfung :

Die maximale Abweichung beträgt nach der Prüfung :

Zulässige maximale Fehlergrenze: $\pm 0,5\%$

Die Abweichung liegt innerhalb der Fehlergrenzen

Ja ☒ * Nein ☐

Kalibriermittel (NR.aus Ordner 6 - Kalibriergeräte):

Kalibrierung durchgeführt von: **Wonner**

Kalibrierintervall: **24 Monate**

Anhang 5: Kalibrierprotokoll für die Temperatur der Zeitstandbecken

Innerbetriebliche Kalibrierstelle (IK)

autorisierte innerbetriebliche Kalibrierstelle für Meß- und Prüfmittel

Stoff- und Systemprüfung

Kalibrierprotokoll

Aktenzeichen:

Seite 1 von 2

Protokoll Nr.:

Meß-/Prüfmittelbezeichnung:	Wasserbecken		
Ident.-Nr.:	s. Seite 2		
Kalibriermittel:	Tastotherm Memo 1300	Ident.-Nr.:	0318101 5
Kalibrieranweisung:	177	Ident.Nr.:	
Kalibrierung durchgeführt von:	H. Klein	persönlicher Stempel:	
Auftragsnummer:		vom:	
Datum der Kalibrierung:	07.04.2000		
Nächste Fälligkeit:	04.2002		
Kalibrierintervall:	Alt:	1 Jahr	Neu: 2 Jahre

Die Kalibrierung erfolgt auf der Grundlage der QMV 11.1 "Qualitätsmanagement für Meß- und Prüfmittel" und der QMV 11.1 "Kalibrierung von Meßmitteln, Prüfmitteln und Normalen". Dieses Kalibrierprotokoll dokumentiert die Rückführbarkeit auf die in der QMV 11.2 genannten Normale, Standards und Referenzmaterialien. Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Prüfmittelverwalter verantwortlich.

Visuelle Erstbeurteilung

--

Meßergebnisse:

siehe Seite 2

Justierung durchgeführt? ja: ☐ nein: ☒	erneut Kalibriert? ja: ☐ nein: ☒	Bericht zur Wartung/Instandhaltung beigelegt? ja: ☐ nein: ☒
--	--	---

Abschlußbefund:

Meß-/Prüfmittelstatus bezogen auf den Verwendungszweck:	Abweichungen in der Toleranz:	Bemerkungen:
einsatzfähig ☒	ja: ☒ nein: ☐	
bedingt einsatzfähig ☐	Kalibrierintervall neu abstimmen? ja: ☐ nein: ☒	
nicht einsatzfähig ☐	Kalibrieretikett vergeben ja: ☒ nein: ☐	

Innerbetriebliche Kalibrierstelle (IK)

autorisierte innerbetriebliche Kalibrierstelle für Meß- und Prüfmittel

Aktenzeichen:

Seite 3 von 2

Stoff- und Systemprüfung

Protokoll Nr.:

Meßergebnisse zum Kalibrierprotokoll

Becken - Nr.:	Sollwert	Anzeige Thermometer	Meßwert
0318 - T002 - 1	60	59,0	59,0 - 59,5
0318 - T002 - 2	60	60,8	59,1 - 59,4
0318 - T002 - 3	65	65,2	64,4 - 64,8
0318 - T002 - 4	70	69,8	69,5 - 69,8
0318 - T002 - 5	75	75,2	74,5 - 74,7
0318 - T002 - 6	80	80,9	79,5 - 80,1
0318 - T002 - 7	65	65	64,2 - 64,5

30.05.2000

Das Kalibrierprotokoll verliert seine Gültigkeit mit Ablauf des Fälligkeitstermins für die nächste Kalibrierung des Meß-/Prüfmittels oder nach vorgenommenen Wartungs- und/oder Justierarbeiten (Versiegelung/Plombierung verletzt), welche die Genauigkeit des Meß-/Prüfmittels beeinflussen.

Qualitätswesen

Stoff- und Systemprüfung

Anhang 6: Kalibrieranweisung für die Zeitstand-Innendruckanlage

Kalibrieranweisung KA-176 der HT TROPLAST AG

Anhang 6: Kalibrieranweisung für die Zeitstand-Innendruckanlage

Kalibrieranweisung KA-176 der HT TROPLAST AG

	Kalibrieranweisung (KA)	KA: 176 Ausgabe B: 1/98 Seite: 1 von 1
Prüfmittel:	Druckstand der Zeitstandinnendruckanlage	
Kalibriermittel:	Meßbrücke DK-36 mit Drucksonde PAP 31/20  bar	

Gültigkeitsbereich

HT TROPLAST AG, einschließlich der Beteiligungen und externer Dienstleistungen 

Definitionen

entfällt

Beschreibung des Verfahrens

Der Druckkalibrator wird parallel zu den Rohren, die unter einem Nenndruck  geprüft werden sollen, und dem zugehörigen Anzeigemanometer angeschlossen. Der für diesen Druckstand vorgegebene maximale Druck wird durch Überprüfen eines Schaltzyklusses ermittelt.
Gegebenenfalls wird der Schaltpunkt des Schaltzyklusses justiert.

Anforderung

Der maximale Druck darf höchstens um 1% des Endwertes des Schaltmanometers  vom vorgegebenen Nenndruck abweichen.
Die sich hierbei ergebende Druckanzeige des Manometers darf maximal um  10% gegenüber dem Skalawert abweichen.

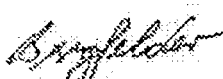
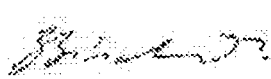
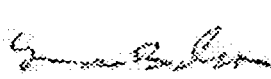
Mitgeltende Unterlagen

QMV 11.1, QMV 11.2

Für die Kalibrierung und Justierung dürfen nur Vergleichsgeräte verwendet werden, die einen Bezug  zu höherwertigen Normalen (z. B. DKD) haben. Wenn im Ausnahmefall keine Normale zur Verfügung stehen, muß die Basis der Kalibrierung und Justierung dokumentiert werden.

Wenden bei der Kalibrierung Prüfmittel gefunden, deren Toleranzgrenze (Fehlergrenze) überschritten  ist, muß umgehend eine Meldung an den Prüfmittelverantwortlichen erfolgen.

Die Ist-Daten der Kalibrierung und Justierung sind auf dem Protokollblatt zu dokumentieren; die  muß mit einem Kaliberzettel versehen, aus dem das Kalibrierdatum und der nächste Kalibriertermin ersicht  ist.

Erstellung/Änderung: Bearbeiter	Prüfer: Bismar	Freigegeben: Hr. Luchsen	Index
			A: von 2.2.1996
27.01.98	27.1.98	2.2.98	