

Die Eignung von Kunststoffrohren für Niedertemperatur - Flächenheizsysteme

F 1818

F 1818

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen -BMVBW- geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

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

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de



DIE EIGNUNG VON KUNSTSTOFFROHREN
FÜR NIEDERTEMPERATUR-FLÄCHENHEIZSYSTEME

Informationszentrum RAUM und BAU
der Fraunhofer-Gesellschaft
Inventar-Nr. F 1918 lfd. Nr. 82061825



Forschungsauftrag: F 164 - B I 5 - 80 01 79 - 43
Schlußbericht

Forschungsthema: Die Eignung von Kunststoffrohren
für Niedertemperatur-Flächenheiz-
systeme

Auftraggeber: Bundesminister für Raumordnung,
Bauwesen und Städtebau, Bonn

Sachbearbeiter: Dipl.-Phys. G. Poschet

Prof. Dr.-Ing. W. Wuebcken
Institutsdirektor

Dr.-Ing. J. Zöhren
Prüfung und Forschung

Der Bericht umfaßt 29 Seiten mit 3 Tabellen und 12 Bildern.

Würzburg, den

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
Inhalt	I
Vorwort	II
Abkürzungen	III
1. Einleitung	1
2. Zusammenfassung	3
3. Versuchsmaterial	5
4. Versuchsdurchführung	11
4.1 Zeitstandversuche an geraden Rohren	11
4.2 Systemversuche	11
4.3 Zeitstandversuche an gebogenen Rohren	14
5. Ergebnisse	20
5.1 Zeitstandversuche an geraden Rohren	20
5.2 Systemversuche	21
5.2.1 Trockenverlegeverfahren	21
5.2.2 Naßverlegeverfahren	23
5.3 Zeitstandversuche an gebogenen Rohren	25
6. Diskussion der Ergebnisse	26
7. Literatur	28

Vorwort

Das Forschungsvorhaben wurde durch den Fachbeirat der Fördergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoff-Zentrum e.V. angeregt. Die Mittel für das Vorhaben wurden vom Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau bereitgestellt. Ferner trug der Verband Kunststoffherzeugende Industrie e.V. zur Mitfinanzierung bei.

Die Firmen

Becker-Prunte GmbH, Datteln

Deutsche Kapillar-Plastik GmbH + Co KG, Biedenkopf

Felix Schuh + Co GmbH, Nürnberg

Inefa Kunststoffe AG, Itzehoe

Rehau Plastiks AG + Co, Erlangen

Thyssen Plastik Anger KG, Bogen

unterstützten die Arbeit durch kostenfreie Bereitstellung der Versuchsmaterialien.

Die Forschungsarbeit wurde von einer fachkundigen Arbeitsgruppe begleitet und betreut. Die notwendigen Abstimmungen erfolgten in zwei Arbeitskreissitzungen und durch Einzelgespräche.

Dank gilt allen Beteiligten an dieser Arbeit, nicht zuletzt den SKZ-Mitarbeitern, insbesondere den Herren M. Altheimer und J. Barth, die mit der Durchführung und Bewertung der Versuche betraut waren.

Abkürzungen

C	Celsius
h	Stunde
mm	Millimeter
N	Newton (10 N \approx 1 kp)
PB	Polybuten
PP-C	Polypropylen-Copolymerisat
VPE	Vernetztes Polyethylen

1. Einleitung

Seit mehr als zehn Jahren sind Warmwasser-Fußbodenheizungssysteme aus Kunststoffrohren auf dem Baumarkt. Während zunächst vorwiegend raumgestalterische und wohnklimatische Gesichtspunkte für die Anwendung der Fußbodenheizung sprechen, werden heute zunehmend auch wirtschaftliche Erwägungen angeführt [1, 2].

Die Tatsache, daß Fußbodenheizungen mit Warmwasser bis maximal 60°C betrieben werden, läßt dieses Niedertemperatur-Heizungssystem besonders zukunftssicher erscheinen. Dies führte beim Angebot von Fußbodenheizungen zu einer sehr hektischen Entwicklung. Der Zentralverband Sanitär - Heizung - Klima benannte in einer Informationsschrift [3] aus dem Jahre 1978 bereits 50 Anbieter von Warmwasser-Fußbodenheizungen. Auf jeder Fachmesse stellen sich neue Anbieter vor [4].

Nach dem heutigen Stand der Technik werden verschiedene Kunststoffe für Rohre von Fußbodenheizungen im Temperaturbereich bis ca. 60°C eingesetzt. Es handelt sich dabei um

- Polybuten der Firma Shell
- Polypropylen-Copolymere verschiedener Hersteller
- Vernetztes Polyethylen, dessen Vernetzung nach verschiedenen Verfahren vorgenommen wird.

Die verwendeten Werkstoffe sind hinsichtlich ihrer Eigenschaften, ihres Verhaltens und ihrer Verarbeitung unterschiedlich und nicht unmittelbar vergleichbar [5, 6, 7, 8].

Bei einigen Werkstoffen liegen nachweisbare Langzeit-Untersuchungen bzw. -Erfahrungen mit Fußbodenheizungsrohren bis zu etwa 15 Jahren vor. Die Lebensdauer der Rohre wird nach den

üblichen Extrapolationsverfahren [8, 9] ermittelt, dabei wird eine erwartete Lebensdauer von mindestens 50 Jahren zugrunde gelegt. Diese Extrapolation erfolgt aufgrund von Zeitstandkurven, die in Laborversuchen an überwiegend geraden Rohren ermittelt werden. Bisher durchgeführte Untersuchungen [10] und in der Praxis gewonnene Erfahrungen haben erkennen lassen, daß die in den Bogenbereichen der verlegten Kunststoffrohre auftretenden Biegebeanspruchungen wesentlich sein können.

Ein Ziel der Untersuchung war es, festzustellen, ob ein Einfluß der bei der Verlegung und beim Betrieb der Rohre auftretenden werkstoffspezifischen Spannungszustände auf das Langzeitverhalten der eingesetzten Werkstoffe erkennbar ist. Daraus ergab sich die Forderung, daß die Auswahl, die Verlegung und der Betrieb der Rohre möglichst unter Bedingungen zu erfolgen hat, die den in der Praxis auftretenden Beanspruchungen Rechnung tragen.

Aus diesem Grunde wurden für die Untersuchungen sowohl in Estrich eingebettete Rohre (Naßverlegeverfahren) als auch in der Isolierung liegende Rohre, die sich frei bewegen konnten (Trockenverlegeverfahren), einbezogen. Problematisch war hierbei die Tatsache, daß die Zeitraffung nicht - wie in der Kunststoffprüfung üblich - über die Temperatur erfolgen konnte, sondern ausschließlich über eine erhöhte mechanische Beanspruchung. Da höhere Temperaturen zu schnelleren Relaxationserscheinungen, insbesondere in den Biegeradien führen, wurden die Versuche auf eine in der praktischen Anwendung maximale Temperatur von 60°C beschränkt.

2. Zusammenfassung

Als Ergebnis der umfangreichen Untersuchungen ist zu bestätigen, daß Kunststoffrohre aus den drei untersuchten Werkstoffen - Polypropylen-Copolymerisat, Polybuten und vernetztes Polyethylen - grundsätzlich geeignet sind, um daraus funktionsfähige Flächenheizsysteme herzustellen. Die Versuche haben gezeigt, daß bei Einhaltung der empfohlenen Biegeradien $\geq 8 \times$ Rohraußendurchmesser negative Auswirkungen auf die Funktionstüchtigkeit aufgrund von Biegespannungen nicht zu erwarten sind.

Es zeigte sich, daß beim Trockenverlegeverfahren bei einer Wassertemperatur von 60°C die mittlere Rohrwandtemperatur 58°C beträgt, während beim Naßverlegeverfahren unter den gleichen Betriebsbedingungen, bedingt durch die höhere Wärmeableitung, nur eine mittlere Rohrwandtemperatur von $56,5^{\circ}\text{C}$ gemessen wurde. Gleichzeitig wurde beim Naßverlegeverfahren bei der gleichen Wassertemperatur eine um $1 - 3^{\circ}\text{C}$ höhere Estrichtemperatur erzielt.

Ein weiterer Unterschied zwischen den Verlegesystemen ist deutlich hervorzuheben. Beim Naßverlegesystem konnte in keinem Fall ein Versagen der Rohre in der Heizfläche erzeugt werden. Besonders deutlich wurde dies bei den Polypropylen-Rohren, bei denen nach den üblichen Standzeiten die Brüche nur bis zum Estrich erfolgten. Im Estrich selbst war keine Zerstörung zu erkennen.

Beim Trockenverlegeverfahren wurde durch die gewählten Prüfbedingungen, die gegenüber der Praxis erhöht waren, in der Heizfläche das übliche Zeitstandversagen hervorgerufen. Es konnte jedoch kein Einfluß der Biegung der Rohre auf die Lebensdauer bei den Werkstoffen Polypropylen und vernetztes Polyethylen festgestellt werden. Nur beim Polybuten wurde ein Bruch in den

Bögen erzielt. Die Standzeit war kürzer als bei geraden Rohren, so ist eine um $0,5 \text{ N/mm}^2$ höhere Umfangsspannung bei der Berechnung der Rohre in Ansatz zu bringen. Dies bedeutet für heute verlegte Fußbodenheizungssysteme, daß der errechnete Sicherheitsfaktor nach 50 Jahren sich etwas verringert, jedoch noch immer in der Größenordnung - je nach Dimensionierung - von ca. 1,5 liegt. Dieser Sicherheitsfaktor bezieht sich auf eine Dauerbetriebstemperatur, die der maximalen Betriebstemperatur entspricht. In der Regel kann von einer mittleren Betriebstemperatur von 40°C ausgegangen werden.

Abschließend ist festzuhalten, daß die Ergebnisse im Prinzip nur für die untersuchten Werkstoffe bzw. Rohre unter Berücksichtigung der gewählten Prüfbedingungen gelten. Eine vollständige, umfassende und endgültige Beurteilung der drei untersuchten Werkstoffe lassen diese Ergebnisse jedoch noch nicht zu. So sollten in weiteren Prüfungen insbesondere auch die aus der Baustellenpraxis sich ergebenden zusätzlichen Beanspruchungen, wie z.B. mechanische Beschädigungen durch Schleifspuren oder Kerben sowie der Einfluß von Heizwasserzusätzen, untersucht werden. Zudem kann aus den Ergebnissen z.Z. noch keine Allgemeingültigkeit für die Eignung anderer Werkstofftypen und Verarbeitungstechniken gezogen werden.

3. Versuchsmaterial

Für die Untersuchungen wurden Rohre aus vier unterschiedlichen Werkstoffen ausgewählt. Dies waren:

- Polypropylen-Copolymerisat der Firma Hoechst AG.
Es handelte sich um den Werkstoff HOSTALEN PPH 2222/34.
- Polypropylen-Copolymerisat der Firma Chem. Werke Hüls AG.
Es wurde der Werkstoff VESTOLEN P 6421 (früher PX 3376) geprüft.
- Polybuten der Firma SHELL AG.
Es wurde der Werkstoff Polybutylen PB 4121 schwarz verwendet.
- Aus vernetztem Polyethylen wurden Rohre verwendet, die nach dem Hochdruckvernetzungs-Verfahren von Thomas Engel hergestellt sind.
Die Rohre hatten einen Vernetzungsgrad, der über den Gel-Gehalt gemessen wurde, von 85 %.

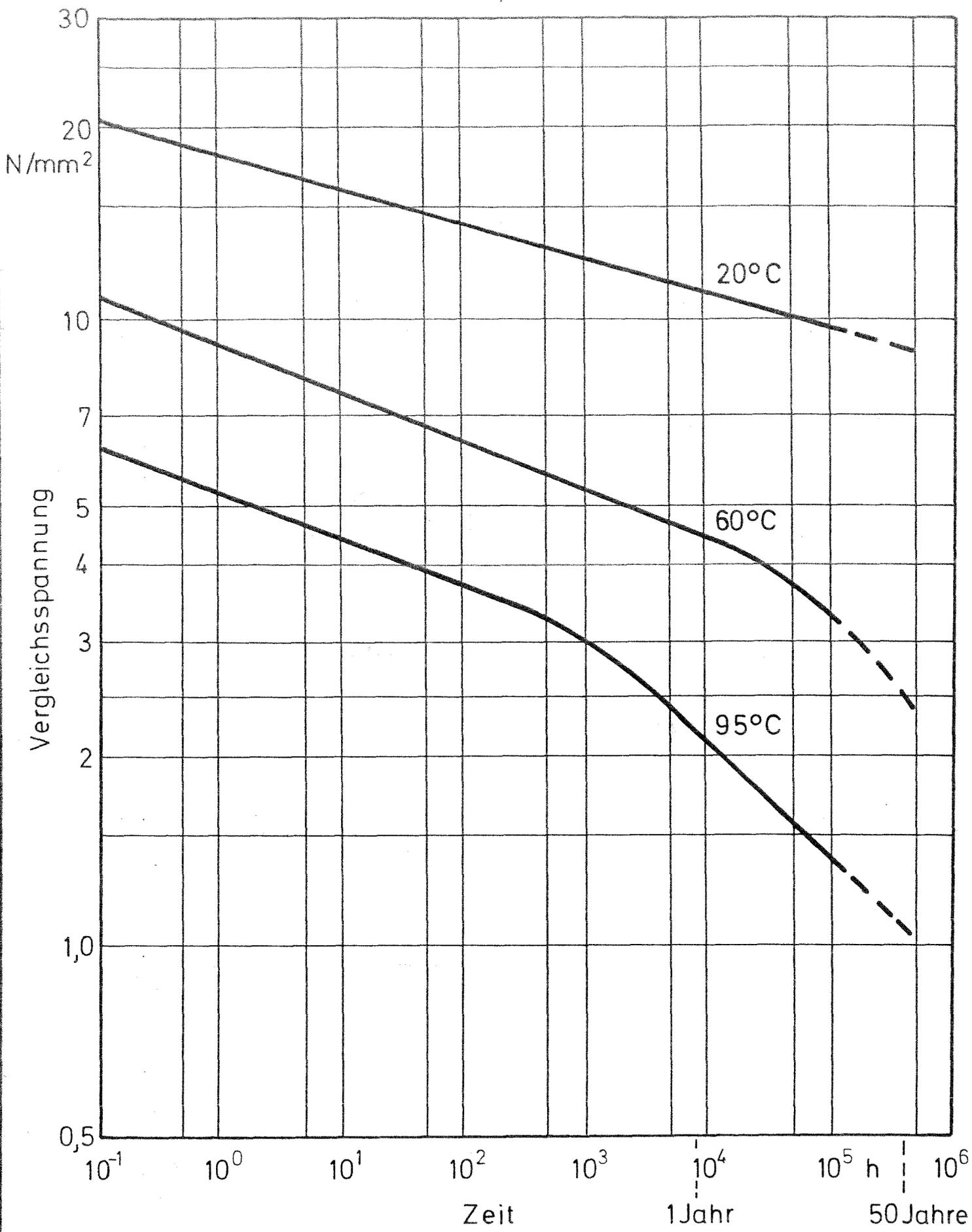
Alle Rohre wiesen die Nenn-Maße von 20 mm x 2,0 mm auf. Das Qualitätsbild wurde vor den Versuchen nach den folgenden Normen bzw. Richtlinien [11, 12, 13] überprüft:

Tabelle 1:

Werkstoff	Norm, Richtlinie
PP-C	DIN 8077/78, Teil 2
PB	SKZ-Richtlinie HR 3.4 (4.79)
VPE	SKZ-Richtlinie HR 3.2 (4.79)

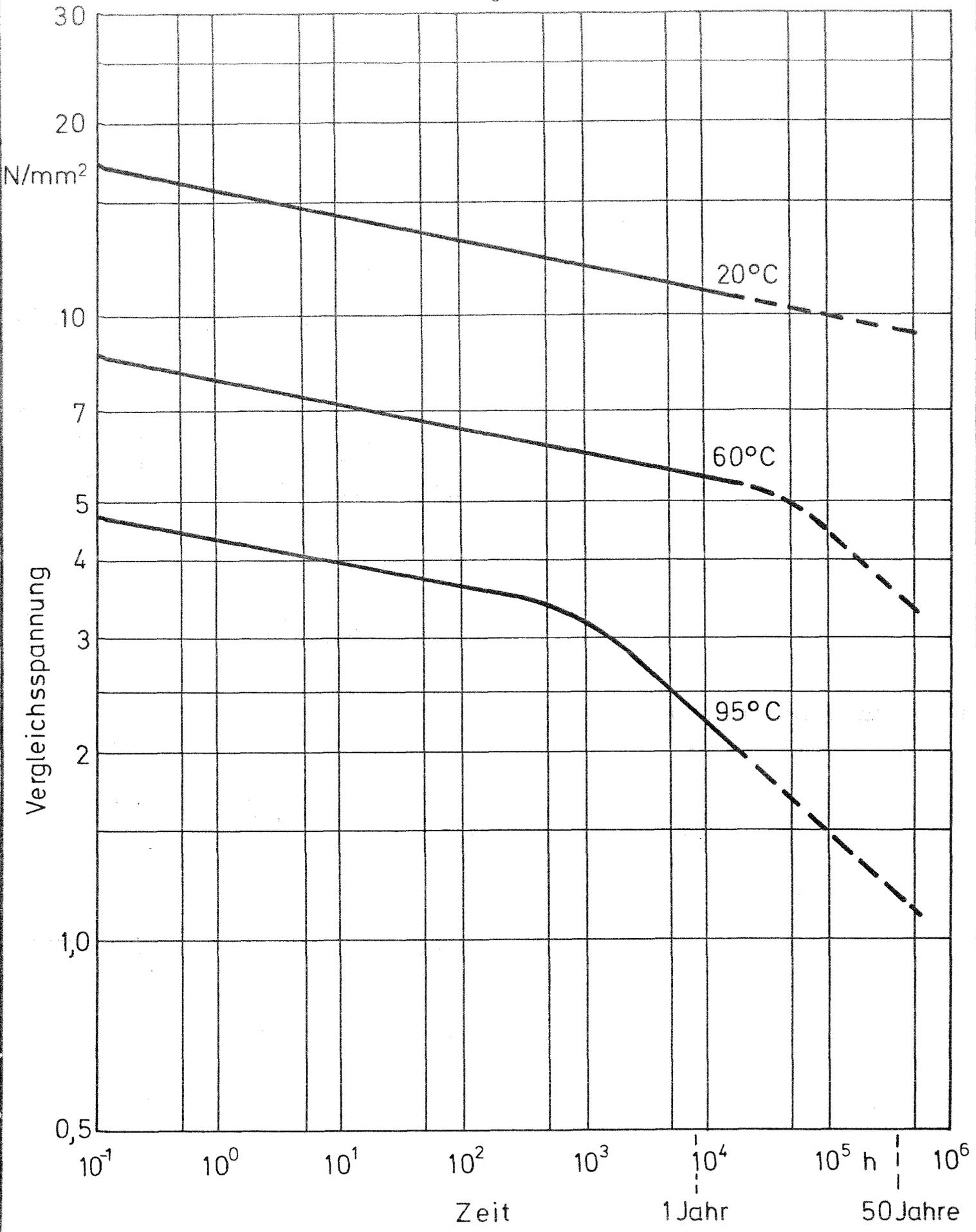
Für die Werkstoffe Polybuten und vernetztes Polyethylen mußten die SKZ-Richtlinien herangezogen werden, da hier zur Zeit keine verabschiedeten Normen bestehen. Für VPE existiert ein DIN-Entwurf 16 892 [14]. Die darin festgelegten Anforderungen wurden von den verwendeten VPE-Rohren erfüllt.

Die von den Herstellern gelieferten Zeitstandkurven der Rohrwerkstoffe sind Bild 1 bis 4 zu entnehmen.



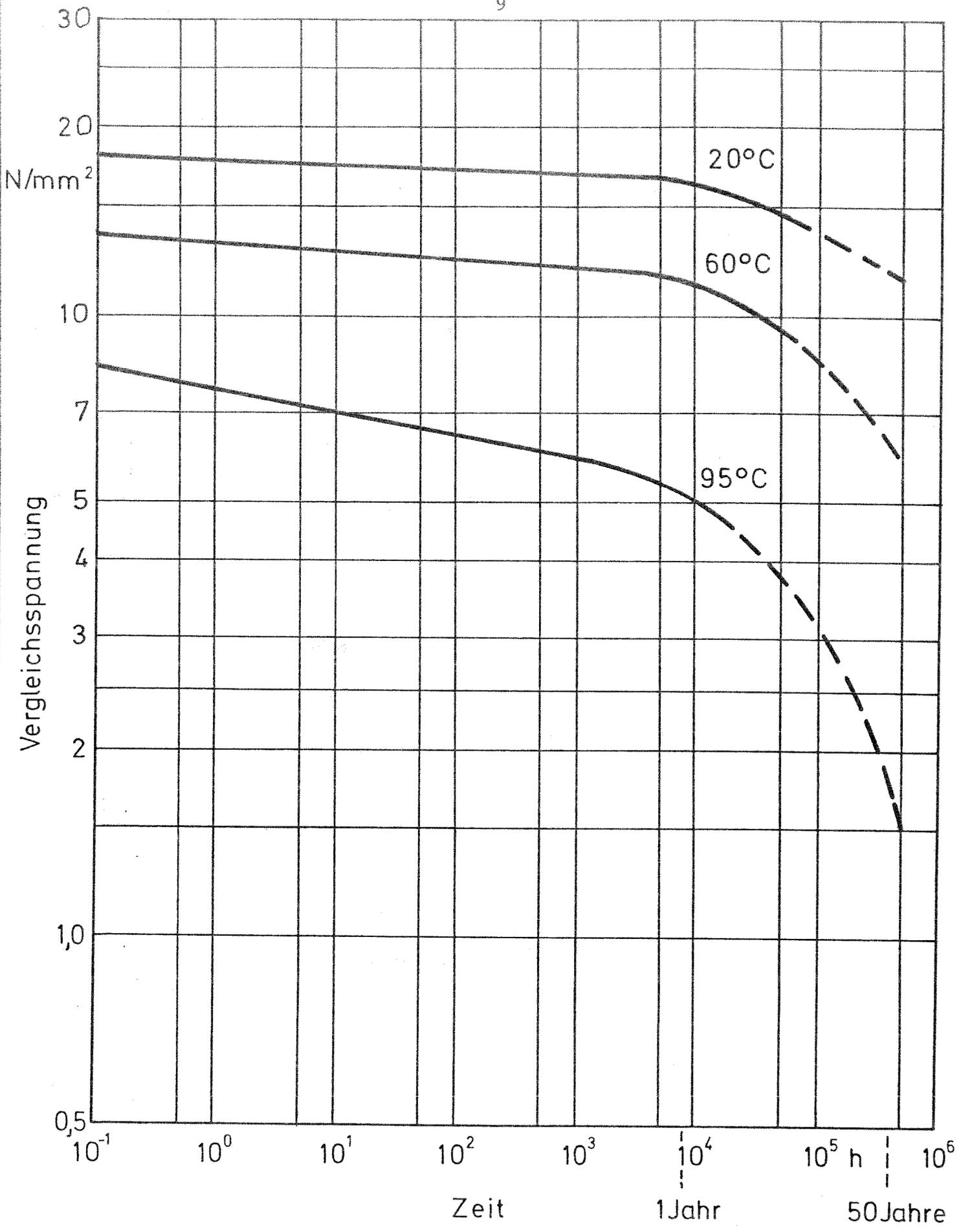
Zeitstandkurven PP-C HOSTALEN PPH 2222

Bild 1



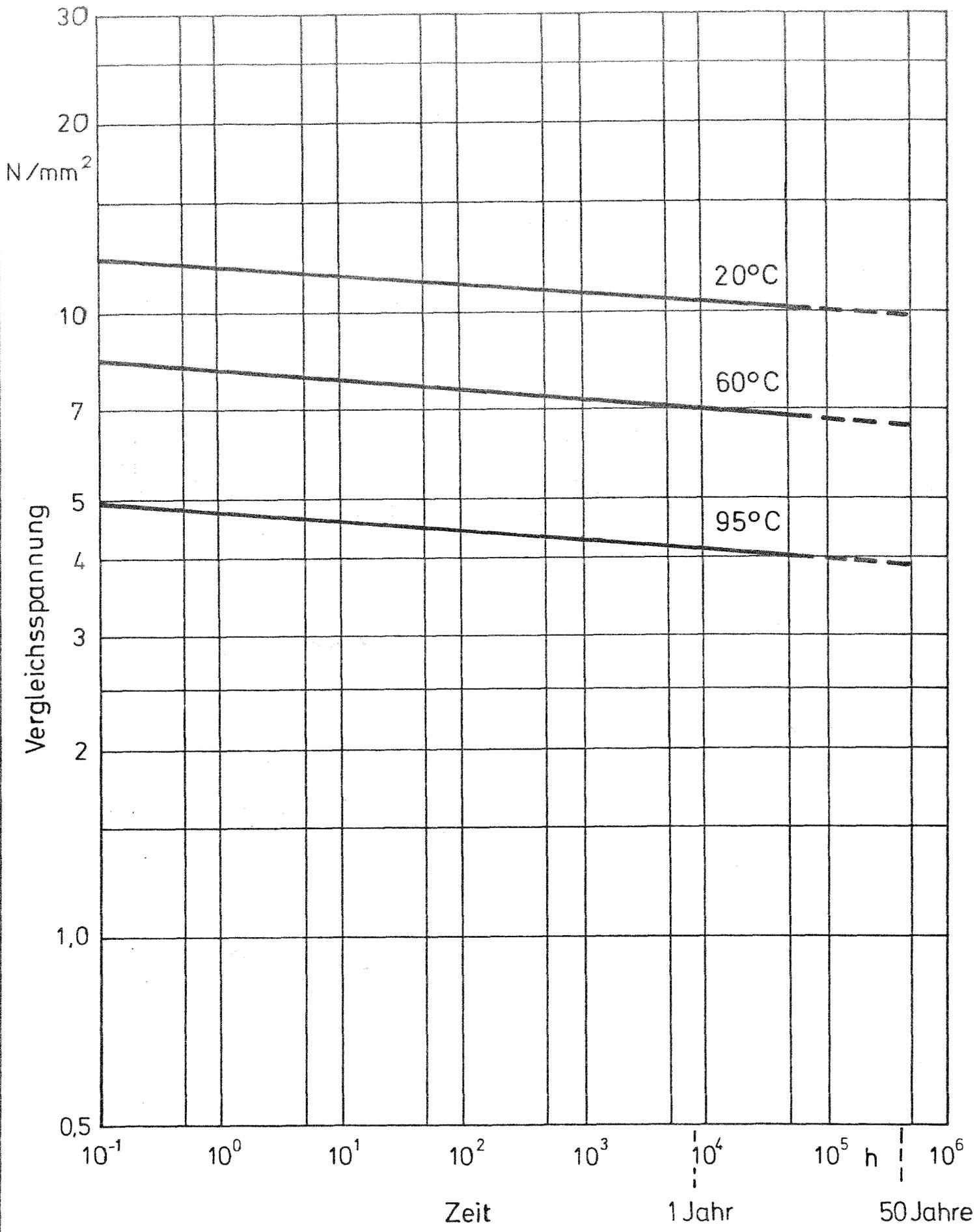
Zeitstandkurven PP-C VESTOLEN P 6421

Bild 2



Zeitstandkurven PB Polybutylen PB 4121

Bild 3



Zeitstandkurven VPE
vernetzt nach Verfahren ENGEL

Bild 4

4. Versuchsdurchführung

4.1 Zeitstandversuche an geraden Rohren

Für die Beurteilung der zu untersuchenden Einflüsse war es notwendig, an den gelieferten Rohren, und zwar an geraden Rohren, die tatsächlichen Spannungen mit dazugehörenden Standzeiten zu kennen. Die Spannungen wurden so gewählt, daß nach ca. 1000 h ein Bruch zu erwarten war, um im Rahmen der vorgegebenen Zeit die Versuche beenden zu können. Die Berechnung der Prüfdrücke bzw. Umfangsspannungen erfolgte mit dem mittleren Außendurchmesser und der geringsten gemessenen Wanddicke. Die Messung erfolgte an jeweils 5 Rohrabschnitten.

4.2 Systemversuche

Für die Untersuchungen wurden die beiden praxisüblichen Verlegearten, das Trocken- und das Naßverlegeverfahren, verwendet. Der Aufbau entsprach Bild 7 bzw. 10 des Merkblattes: Elastische Bodenbeläge, textile Bodenbeläge und Parkett auf beheizten Fußbodenkonstruktionen [15].

Bei beiden Systemen wurde eine Prüffläche der Größe 1,2 m x 1,6 m gewählt. Der Biegeradius der Rohre entsprach dem 8-fachen Rohraußendurchmesser. Die Einbringung erfolgte bei 23°C, wobei die Rohrführung entsprechend Bild 5 ausgeführt wurde. Der anschließend aufgebraachte Estrich hatte eine Gesamthöhe von 60 mm, so daß beide Systeme die gleiche Wärmekapazität besaßen. Aus Bild 6 und 7 ist der Aufbauquerschnitt ersichtlich.

Beim Trockenverlegeverfahren (Bild 5) wurden die Rohre in handelsübliche Systemplatten verlegt. Beim Naßverlegeverfahren erfolgte die Befestigung der Rohre über handelsübliche Rohrhalter an einem Stahlmattenträger.

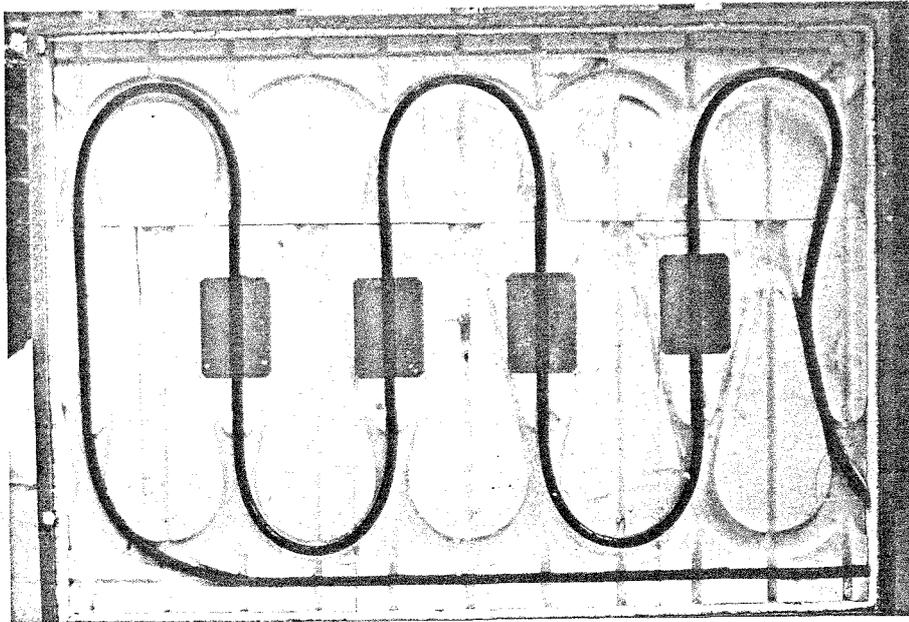


Bild 5: Aufsicht auf Prüffläche

Die Überwachung der Systemprüfung wurde über die Druckkontrolle bzw. die Temperaturmessung vorgenommen. Ein Versagen der Rohre war erkennbar, wenn der Druck im gesamten System abfiel, d.h. wenn die Rohrprüfanlage kein Wasser mehr in das System nachdrücken konnte, um den Druck aufrecht zu erhalten. Dazu mußte ein Wasserverlust von mindestens 2 Litern aufgetreten sein. Konnte der Druck nicht mehr nachgeführt werden, wurde die Pumpe abgestellt. Dieser Zeitpunkt war über einen Zeitzähler am Manometer sowie über die Temperaturmessung festzustellen. Bei den Zeitstandversuchen an geraden Rohren wurde der Bruch bei langsamem Wasseraustritt auf die gleiche Weise ermittelt.

Die verlegten Systeme wurden nach einer vierwöchigen Aushärtung des Estrichs über 14 Tage mit 60°C warmem Wasser bei einem Innendruck von 2 bar getempert. Diese Temperung bei einem praxisgerechten Druck erfolgte, um die Relaxation von Spannungen zu ermöglichen, wie es in der Praxis in der Einlaufphase auch ge-

schieht. Erst nach dieser Temperung begann der eigentliche Versuchsablauf. Der Prüfdruck wurde über eine Rohrprüfanlage aufgebracht und konnte über die gesamte Versuchszeit konstant gehalten werden. Bild 8 zeigt das Prüfschema. Das warme Wasser wurde mittels einer Pumpe im System umgewälzt und lief nach einem Umlauf jeweils durch einen Wärmetauscher. Zwischen Vor- und Rücklauf betrug die Druckdifferenz 0,2 bar.

Die Rohrsysteme wurden über 20 Stunden mit 60°C warmem Wasser beaufschlagt. Danach erfolgte eine zwangsweise Abkühlung des gesamten Systems über 4 Stunden mit 20°C kaltem Wasser. Hierzu wurde der Wärmetauscher aus einem 9 m³ großen, 60°C warmen Temperierbecken in ein 2 m³ fassendes Temperierbecken bei 20°C innerhalb von 2 min umgestellt. Über das Wochenende wurden die Systeme nur mit 60°C warmem Wasser belastet, da der Temperaturwechsel manuell erfolgte.

Die Temperaturen des Systems wurden über Thermoelemente gemessen. In jedem System befand sich jeweils ein Thermoelement

- an der Rohr-Außenwand im Vorlauf,
- an der Rohr-Außenwand im Rücklauf,
- über einem Rohr im Estrich
- zwischen zwei Rohren im Estrich.

Die Thermoelemente waren so fixiert, daß sie auf der Rohr-Außenwand auflagen bzw. 15 mm unter der Estrichoberfläche lagen. Die Temperaturen wurden über einen Drucker stündlich registriert. Die an den Rohr-Außenwänden gemessenen Temperaturen sind im zeitlichen Ablauf auf Bild 9 und 10 zu erkennen.

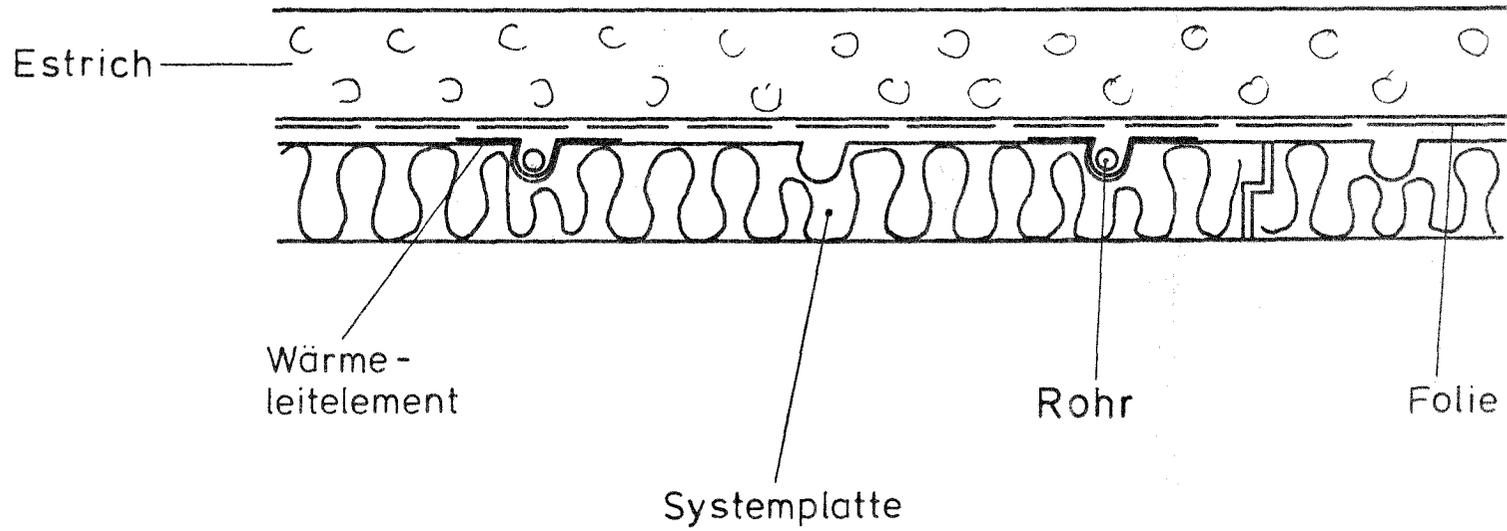
Die Prüfflächen wurden in ein Gestell mit einer Neigung von 10° eingebracht. Der Abstand zwischen den Prüfflächen betrug

25 cm. Hierdurch war gewährleistet, daß zwischen den einzelnen Prüfflächen kein Wärmestau auftrat.

Im gesamten Wasserkreislauf waren verschiedene Werkstoffe eingebracht. Der Wärmetauscher bestand aus 6,5 m Kupferrohr, Nennweite 25, die Verbindungselemente im System waren aus Messing und das Pumpengehäuse bestand aus Grauguß.

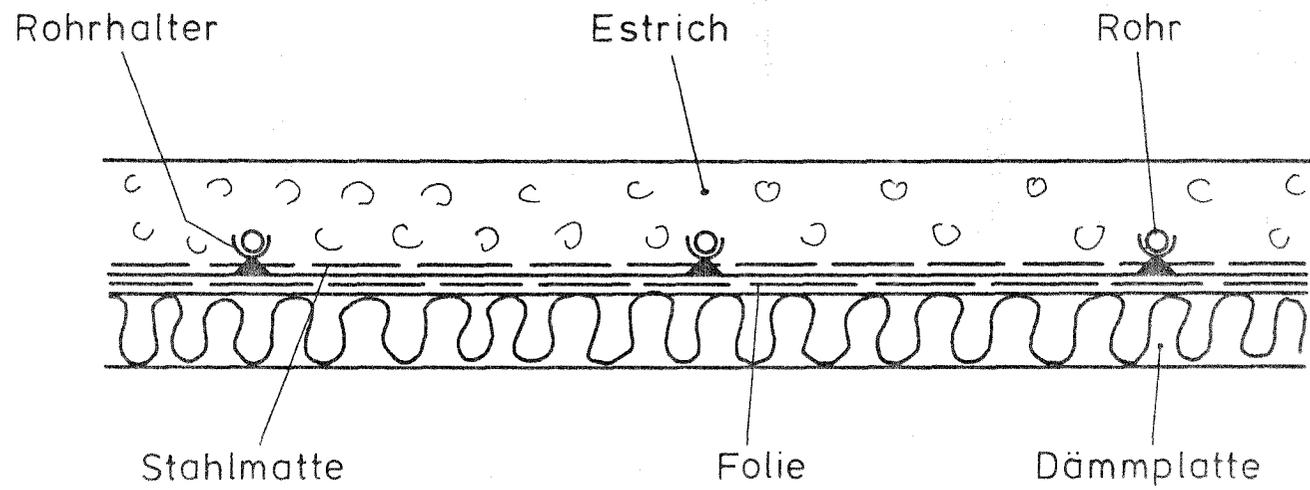
4.3 Zeitstandversuche an gebogenen Rohren

Parallel zu den Systemversuchen wurden Rohrbögen mit einem Biegeradius vom 8-fachen Außendurchmesser in einem Innendruck-Zeitstandversuch bei 60°C geprüft. Auch hier erfolgte vorher eine Temperung über 14 Tage mit 60°C warmem Wasser bei einem Innendruck von 2 bar. Die anschließend aufgebrauchten Prüfspannungen waren die gleichen wie bei der Systemprüfung bzw. bei den Zeitstandversuchen an geraden Rohren.



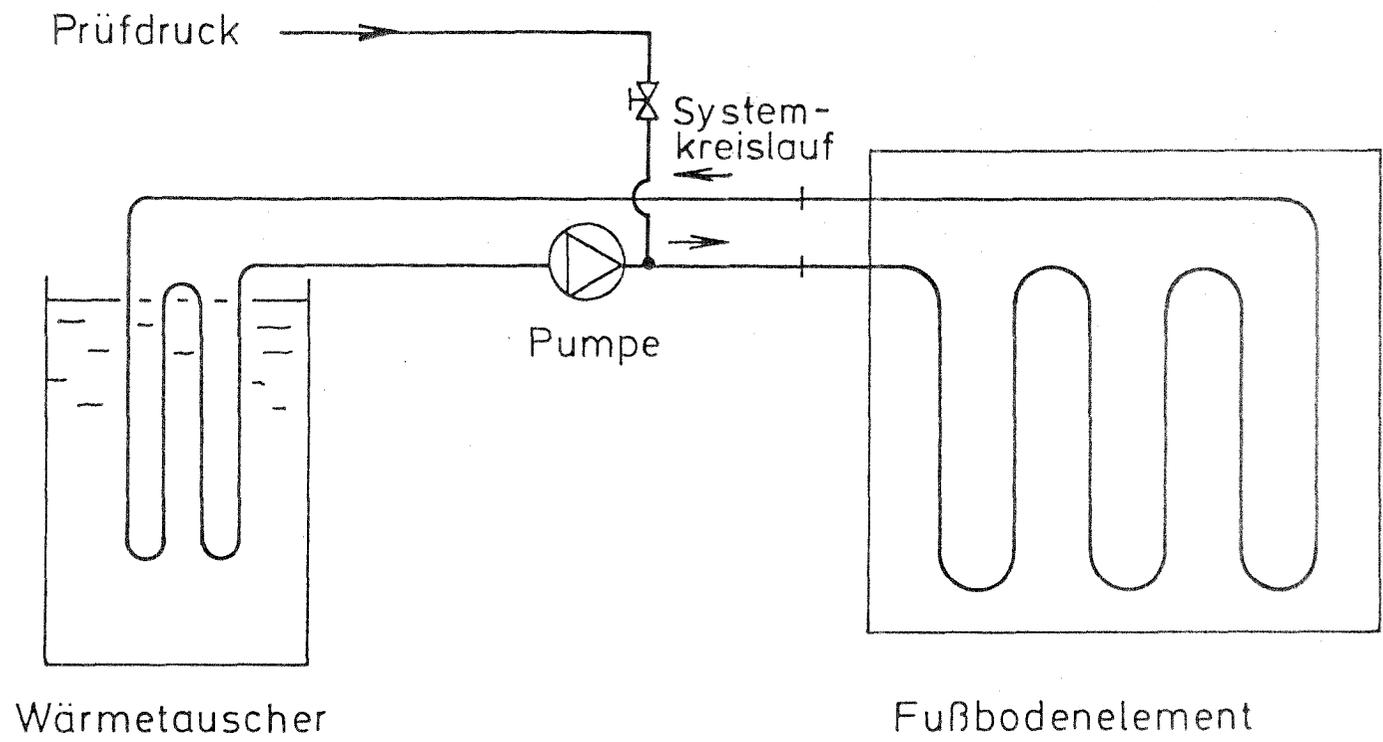
Schnitt durch Versuchsaufbau - Trockenverlegeverfahren

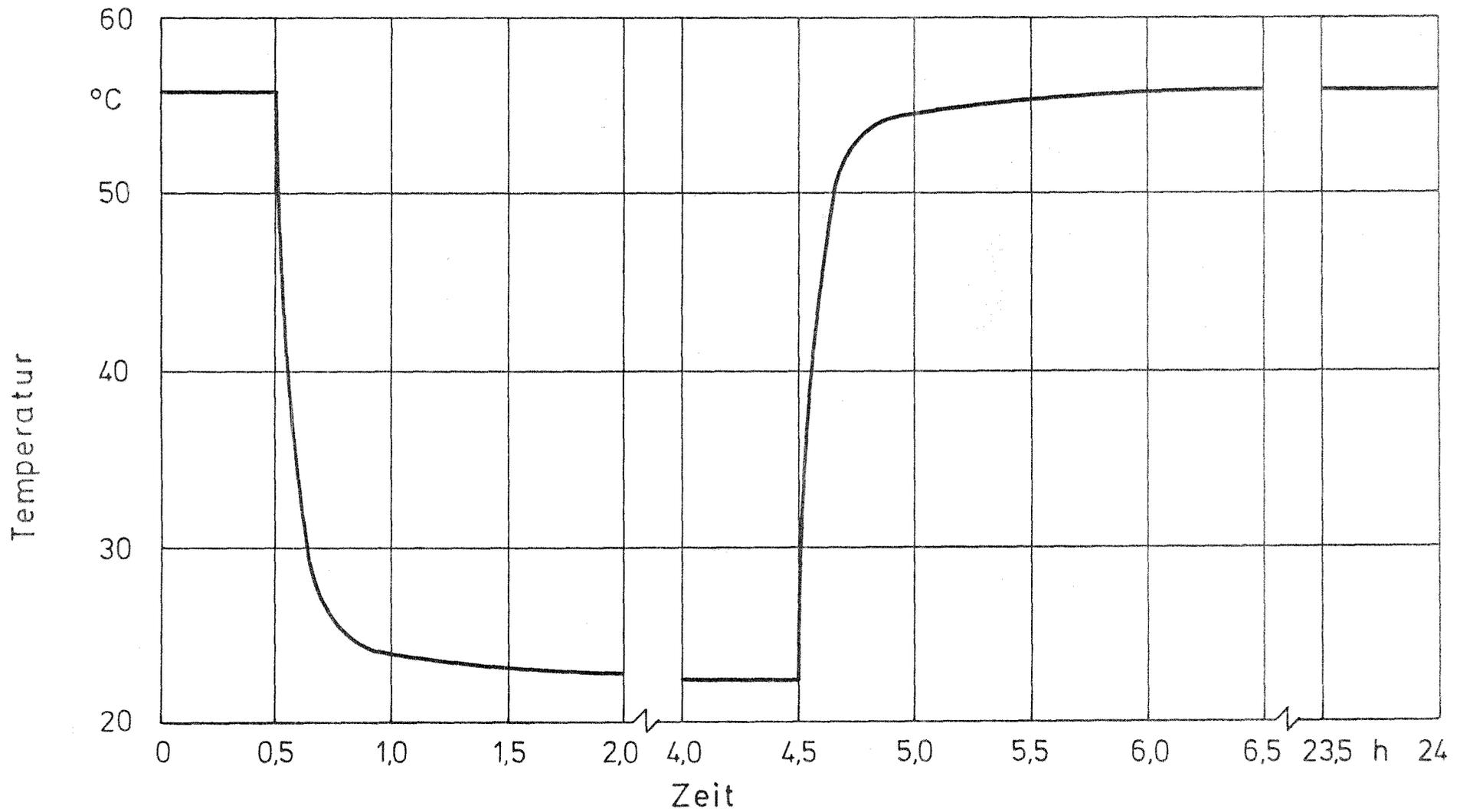
Bild 6

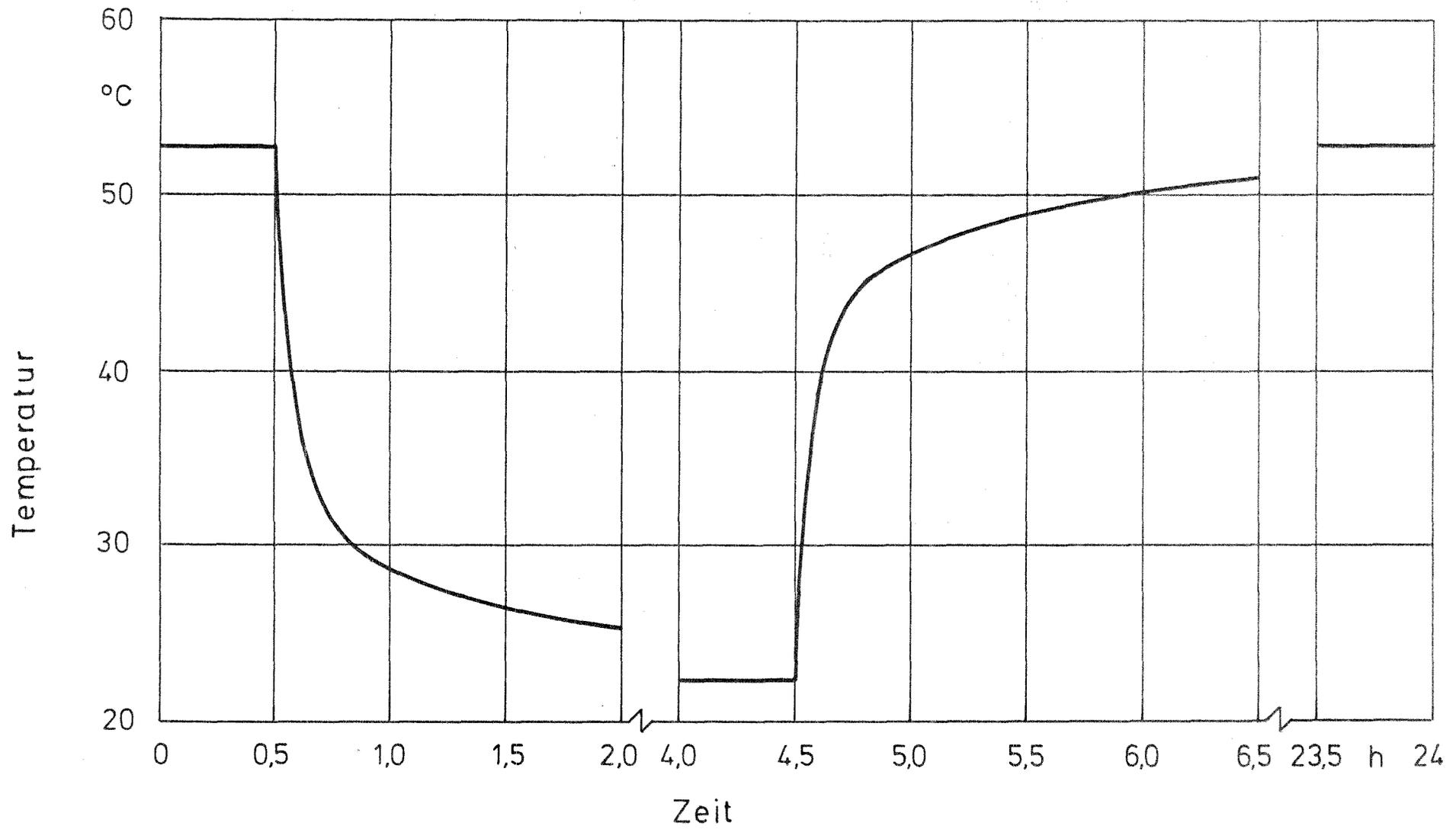


Schnitt durch Versuchsaufbau - Naßverlegeverfahren

Bild 7







Rohraußenwandtemperatur als Funktion der Zeit - Naßverlegeverfahren

Bild 10

5. Ergebnisse

Bei der Auswertung und vergleichenden Beurteilung der in den verschiedenen Versuchsserien - an geraden Rohren, in Systemversuchen, an gebogenen Rohren - erzielten Ergebnisse sind neben den effektiv erzielten Standzeiten und dem Bruchversagen auch die Einflüsse der in Abschnitt 4 genannten Prüfparameter zu berücksichtigen.

5.1 Zeitstandversuche an geraden Rohren

Wie eingangs erwähnt, erfolgten diese Versuche an den Rohren im Anlieferzustand ohne vorherige Temperung. In verschiedenen Prüfserien wurden unter Variation der Prüfspannungen die Standzeiten bei 60°C ermittelt.

Aus diesen Ergebnissen wurden die Prüfspannungen bzw. die Prüfdrücke für die verschiedenen Werkstoffe entsprechend Tabelle 2 festgelegt, die bei den weiteren Versuchen an den Rohren Anwendung fanden.

Tabelle 2: Gewählte Prüfspannungen bzw. -drücke bei 60°C

Werkstoff	Prüfspannung in N/mm ²	Prüfdruck in bar
HOSTALEN PPH 2222	6,8	15,1
VESTOLEN P 6421	8,0	17,8
PB 4121	13,0	28,0
VPE (Engel)	7,8	17,2

5.2 Systemversuche

5.2.1 Trockenverlegeverfahren

Bei den beiden untersuchten Polypropylen-Typen lagen die Standzeiten unter Berücksichtigung der Vortemperatur in der gleichen Größenordnung wie bei den Versuchen an geraden und gebogenen Rohren. In keinem Fall konnte festgestellt werden, daß ein Versagen durch die Verlegung bzw. Biegung der Rohre beschleunigt wurde.

Bei allen Versuchen an den PP-Rohren zeigte sich das Versagen durch den Innendruck in Brüchen bzw. in Rißbildungen über den Umfang verteilt in Axialrichtung der Rohre, durch die das Wasser langsam ausperlte (Bild 11).

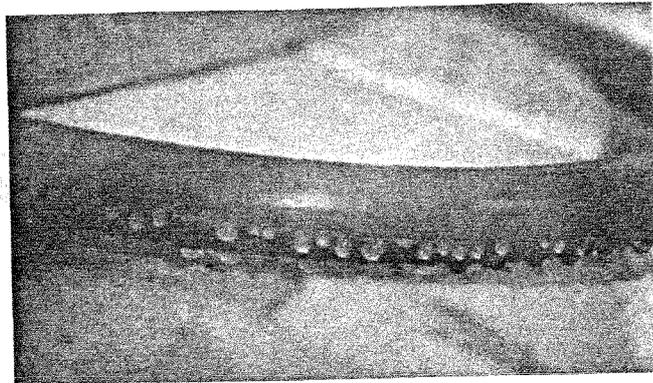


Bild 11: Versagensbild an PP-Rohren
Ausperlen von Wasser

Beim vernetzten Polyethylen ergab sich kein Bruch im System. Auch hier lagen die Standzeiten in der Größenordnung wie bei den Versuchen an geraden und gebogenen Rohren. Die Brüche erfolgten als Verformungsbrüche nach Aufweitungen bis zu 28,5 % außerhalb des Systems hinter der Pumpe, wo ein geringfügig

höherer Druck herrschte. Auch für diesen Werkstoff gilt, daß die durch die Verlegung aufgebrauchten Spannungen schnell genug relaxierten, ohne die Lebensdauer des Rohres zu beeinflussen.

Die Relaxation der Biegespannungen bei den Werkstoffen PP-C und VPE konnte auch nach Beendigung der Versuche und Entfernung des Estrichs daran erkannt werden, daß die Rohre in den Rillen der Isolierung liegenblieben, d.h. spannungsfrei entsprechend der ihnen aufgezwungenen Richtung durch die Verlegung lagen. Vor Beginn der Versuche mußten die Rohre niedergehalten werden, um ein Herausspringen aus dem Versuchsaufbau zu verhindern.

Anders verhielt sich der Werkstoff Polybuten. Der Bruch erfolgte als Verformungsbruch nach einer relativ kurzen Belastungszeit, die erheblich unter der der geraden Rohre lag. Dies war aufgrund der flachen Zeitstandkurven bei 60°C zu erwarten, wenn die Spannungen nicht schnell genug relaxierten. Eine Standzeit von ca. 1000 h war anzunehmen. Vergleicht man in den Zeitstandkurven die Spannungen, die den einzelnen Standzeiten entsprechen, so ergibt sich für die Standzeit von nur 61 Stunden bei 60°C eine um etwa 0,5 N/mm² höhere Spannung. Diese Spannung wurde offensichtlich durch die Verlegung auf die Rohre in den Bereichen der Biegeradien zusätzlich aufgebracht.

Die Temperung des Systems über 14 Tage bei 60°C dürfte nicht ausgereicht haben, um die verlegebedingten Spannungen ausreichend relaxieren zu lassen. Das System mit den Polybuten-Rohren wurde nach dem ersten Versagen repariert, um weitere Ausfälle zu erzielen. Diese traten ausschließlich in den Biegeradien auf, und zwar nach 73,5 bzw. 96 Stunden bei 60°C.

Nach Beendigung der Versuche wurde der Estrich vollständig entfernt. Die nicht relaxierten Spannungen waren eindeutig dadurch zu erkennen, daß die Polybuten-Rohrleitungen in den Biegeradien aus den in der Isolierung vorgegebenen Rillen heraussprangen.

5.2.2 Naßverlegeverfahren

Beim Naßverlegeverfahren zeigte sich ein vollständig anderes Verhalten. Die Rohre versagten in keinem Fall im System. Die Ummantelung des Estrichs führte offensichtlich dazu, daß Spannungen des Rohres vom Estrich aufgenommen wurden, so daß die Rohrwandung weitgehend entlastet wurde. Brüche wurden ausschließlich in der Zuleitung zum Estrich erzielt, die Standzeiten lagen in der Größenordnung, wie sie an den geraden Rohren gemessen wurden. Weiterhin wird sich auf die Lebensdauer der Rohre im Estrich positiv ausgewirkt haben, daß durch die bessere Wärmeableitung die Rohrwandtemperatur etwa $1,5^{\circ}\text{C}$ unter der mittleren Rohrwandtemperatur der Rohre beim Trockenverlegeverfahren lag. Im einzelnen wurden folgende Temperaturen gemessen:

Tabelle 3: Temperaturen in den Systemen während der Heizphase

Verlegeverfahren	Temperatur in $^{\circ}\text{C}$		
	Mittlere Rohrwandtemperatur	Estrich über Rohr	Estrich zwischen Rohren
Trocken	58	40	33
Naß	56,5	43	34

Der Einfluß der Abstützung beim Naßverlegeverfahren war am deutlichsten bei den Polypropylen-Rohren ersichtlich. Die Rohrbrüche lagen ausnahmslos außerhalb des Estrichs bis zu der

Stelle, an der die Rohre in den Estrich hineinliefen. Hier war ein abrupter Übergang zum unversehrten Rohr (Bild 12). Auch an der Rohrrinnenwand konnten keine Anrisse bei mikroskopischer Betrachtung festgestellt werden.

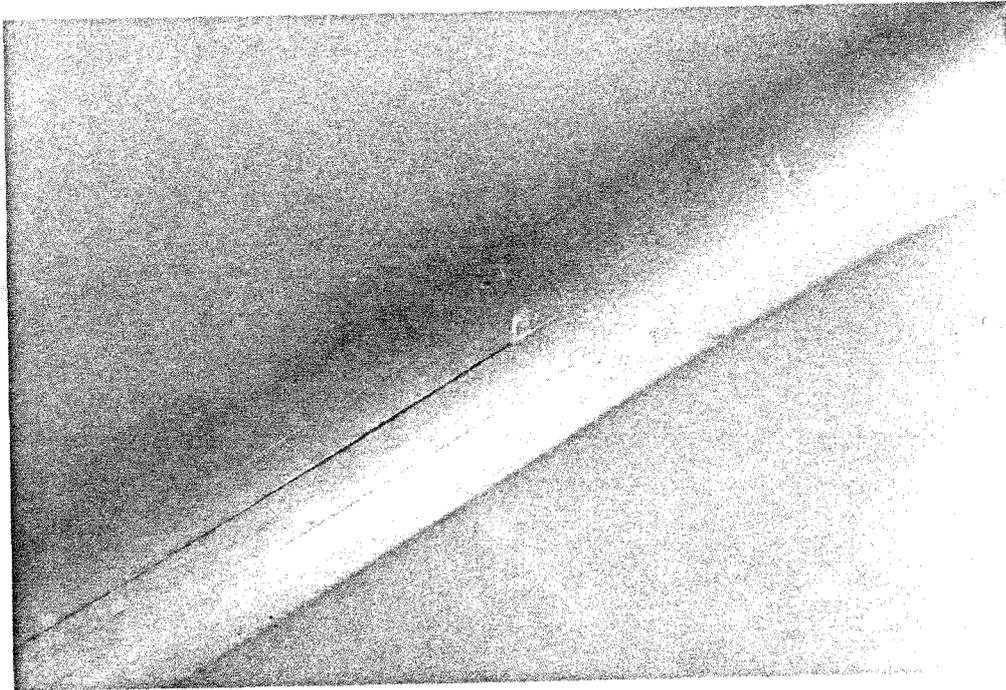


Bild 12: Versagensbild an PP-Rohren am Übergang
Luft/Estrich, Brüche in Axialrichtung

Während der Versuche am System wurde der Außendurchmesser der Rohre außerhalb des Systems in Abhängigkeit von der Zeit gemessen. Hier kam es zu erheblichen Dehnungen der Rohre, die je nach Werkstoff sehr unterschiedlich waren.

5.3 Zeitstandversuche an gebogenen Rohren

Bei den gebogenen Rohren konnte im Zeitstandversuch bei 60°C das Verhalten der Rohre beim Trockenverlegeverfahren nachgestellt werden. Die Polypropylen-Rohre und vernetzten Polyethylen-Rohre erreichten die Standzeiten, die an geraden Rohren gemessen wurden. Polybuten-Rohre erreichten die Standzeiten der geraden Rohre nicht und versagten nach 460 bis 610 Stunden im Bogen im Bereich der maximalen Zugspannung. Der Bruch erfolgte in axialer Richtung. Lage und Art des Bruches entsprachen den Brucherscheinungen, die beim Trockenverlegeverfahren erzielt wurden.

6. Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigten eindeutig, daß Polypropylen- und ver-netzte Polyethylen-Rohre nach kurzer Zeit so weit relaxieren, daß ein Einfluß der Verlegung nicht mehr feststellbar war.

Anders verhält es sich beim Polybuten. Rohre aus diesem Werkstoff versagten beim Trockenverlegeverfahren nach kürzeren Zeiten. Ein Vergleich der Umfangsspannungen, die entsprechend den Zeitstandkurven zu den erreichten Standzeiten gehören, ergibt eine um $0,5 \text{ N/mm}^2$ höhere Spannung in den Biegeradien. Dies bedeutet, daß man beim Polybuten mit um $0,5 \text{ N/mm}^2$ erhöhten Spannungen rechnen muß. Damit ist jedoch nicht gesagt, daß Polybuten-Rohre für Niedertemperatur-Fußbodenheizungen ungeeignet wären. Der Sicherheitsfaktor, der gegenüber den Polypropylen-Rohren immer wesentlich höher angegeben wurde, muß aufgrund dieser Ergebnisse reduziert werden. Trotzdem ist noch mit einem Sicherheitsfaktor von etwa 1,5 zu rechnen.

Die Systemversuche wurden gegenüber der Praxis mit erheblich erhöhten Spannungen durchgeführt, und zwar so, daß bewußt nach maximal 2000 h Brüche eintraten. Dies bedeutet, daß Relaxationserscheinungen nicht - wie in der Praxis - über längere Zeiten ablaufen konnten. Daher ist nicht auszuschließen, daß sich Polybuten-Rohre als Flächenheizsystem günstiger als hier erfaßt verhalten.

Ein Vergleich der beiden Verlegeverfahren zeigt eindeutig, daß das Naßverlegeverfahren entscheidende Vorteile bietet. Der Estrich schwindet auf das Rohr auf und verhindert somit eine Dehnung des Rohres. Dies führt offensichtlich zu einer solchen Entlastung, daß die Lebensdauer der Rohre vergrößert wird. Dieser Effekt kann jedoch nur erzielt werden, wenn die Rohre vollständig durch den Estrich ummantelt sind. Eine teilweise

Ummantelung bei Rohren, die auf der Isolierung aufliegen, kann den gegenteiligen Effekt bewirken, da die Rohre sich dann einseitig verformen können.

Weiterhin wirkt sich positiv aus, daß durch den besseren Wärmeübergang zwischen Rohr und Estrich die mittlere Rohrwandtemperatur niedriger ist. Zusätzlich ist in Anrechnung zu bringen, daß bei gleicher Estrich-Temperatur auch die Vorlauf-temperatur des Heizwassers erniedrigt werden kann. Dies würde eine zusätzliche Verringerung der Rohrwandtemperatur zur Folge haben.

Die zu den Systemuntersuchungen parallel durchgeführten Zeitstanduntersuchungen an gebogenen Rohren haben gezeigt, daß solche Versuche den Einfluß der Biegung der Rohre auf das Langzeitverhalten nachstellen können. Es wäre daher wünschenswert, neben den üblichen Versuchen in der Gütesicherung [16] bei 95°C auch Untersuchungen an gebogenen Rohren bei 60°C durchzuführen. Parallel hierzu sollte ein Versuch an geraden Rohren vorgenommen werden, um den Einfluß auf die Ist-Standzeiten zu erkennen. Dieser Versuch scheint jedoch ausschließlich für den Werkstoff Polybuten sinnvoll zu sein, da bei den Werkstoffen Polypropylen und vernetztes Polyethylen die Relaxation auch bei 60°C so schnell abläuft, daß kein Einfluß der Biegung mehr zu erkennen sein wird. Neue Werkstoffe könnten jedoch auch in diesem Versuch an gebogenen Rohren besser beurteilt werden.

7. Literatur

- [1] Lutz, H. Thermische Behaglichkeit in Wohn- und Arbeitsräumen
Gesundheitsingenieur 91 (1970)
- [2] Olesen, B. W. Messungen zur thermischen Behaglichkeit der Fußbodenheizung
Kunststoffe im Bau 15 (1980) H. 2, S. 80 ff
- [3] Wärmepumpen, Solaranlagen, Niederdruck-
heizung
Technische Informations-Broschüre
Herausg.: Zentralverband Sanitär - Heizung
- Klima, St. Augustin, 1978
- [4] Poschet, G. Die Kunststoffe auf der Bau 80. Fuß-
bodenheizung und andere Heizungssysteme
Kunststoffe im Bau 15 (1980) H. 1, S. 13 ff
- [5] Meinhard, J.
Hoffmann, A. Polypropylen - ein bewährter Werkstoff
für Fußbodenheizungen
Swiss Plastics 1 (1979) H. 7/8, S. 33 ff
- [6] Dahms, H. Kunststoffrohre aus Polybuten und hoch-
druckvernetztem Polyethylen für Fußboden-
heizungssysteme
Kunststoffe im Bau 15 (1980) H. 2, S. 82 ff
- [7] Binder, K. 13 Jahre praktische Bewährung von Poly-
buten-Warmwasserrohren
Kunststoffe im Bau 15 (1980) H. 2, S. 94
- [8] Lützwow, W. Warmwasserleitungen: Lebensdauer von
Kunststoffrohren
VDI-Berichte 337 (1979) S. 61 ff
- [9] Bassewitz v., A. Zeitraffende Prüfmethode und Extrapolations-
verfahren zur Dimensionierung von
Kunststoffen
Plastverarbeiter 32 (1981) H. 4, S. 442 ff
- [10] Dworski, K. Fußboden-Heizungsrohre aus Kunststoff
Polypropylen
Der Maschinenschaden 53 (1980) H. 4, S. 162 ff
- [11] DIN 8078 Teil 2
Rohre aus Polypropylen (PP), Typ 2,
Allgemeine Güteanforderungen, Prüfung

- [12] SKZ-Richtlinie HR 3.4
Prüf- und Überwachungsbestimmungen
Heizungsrohre aus PB
- [13] SKZ-Richtlinie HR 3.2
Prüf- und Überwachungsbestimmungen
Heizungsrohre aus VPE
- [14] DIN E 16 892 (5/80)
Rohre aus vernetztem Polyethylen (VPE)
Allgemeine Güteanforderungen, Prüfung
- [15] Merkblatt: Elastische Bodenbeläge,
textile Bodenbeläge und Parkett auf
beheizten Fußbodenkonstruktionen
Januar 1981, Herausg: Zentralverband
des Deutschen Baugewerbes e.V. (ZDB),
Bonn
- [16] Poschet, G. Qualitätsanforderungen an Kunststoff-
rohre in Fußbodenheizungen
Qualitätsrichtlinien, Qualitäts-
sicherung
Kunststoffe im Bau 15 (1980) H. 2,
S. 85 ff