

Kunststoffrohre für Fußbodenheizungen

F 1668

F 1668

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen -BMVBW- geförder-ten 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

Querschnittbericht

Kunststoffrohre für Fußbodenheizungen

- B I 5 - 80 01 78 - 126 -

im Auftrage des
Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und
Städtebau, 5300 Bonn

bearbeitet vom
Institut für das Bauen mit Kunststoffen e.V. (IBK)
Osannstraße 37, 6100 Darmstadt
- Bearbeiter: Dipl.-Ing. W. Hasemann

Informationsverbundzentrum RAUM und BAU
der Fraunhofer-Gesellschaft

Inventar-Nr. *F 1668*

Id. Nr. *80-10 2834*



Stand: Juni 1980

| INHALT | Seite |
|---|-------|
| <u>Vorwort</u> | 4 |
| 1. <u>Anforderungen an Fußbodenheizungsanlagen</u> | 6 |
| 1.1. Thermische Behaglichkeit | 7 |
| 1.1.1. Temperaturverteilung im Raum | 7 |
| 1.1.2. Relative Luftfeuchtigkeit | 7 |
| 1.1.3. Wärmekonvektion - Wärmestrahlung | 8 |
| 1.1.4. Wandheizung - Deckenheizung - Fußbodenheizung | 8 |
| 1.1.5. Fußboden-Oberflächentemperaturen | 9 |
| 1.2. Wirtschaftlichkeit | 11 |
| 1.3. Fußbodenheizung als Vollheizung | 12 |
| 1.4. Umweg elektrische Fußboden-Speicherheizung | 13 |
| 1.5. Fußbodenheizung - Niedertemperaturheizung | 14 |
| 2. <u>Verschiedene Wärmeerzeugersysteme für Fußbodenheizungsanlagen</u> | 16 |
| 3. <u>Beschreibung vorhandener Fußbodenheizungs- systeme mit Kunststoffrohren</u> | 18 |
| 3.1. Naßmontagesysteme | 18 |
| 3.1.1. Hauptbestandteile | 18 |
| 3.1.2. Rohrbefestigungen | 19 |
| 3.1.3. Estrich | 20 |
| 3.1.4. Wärmedämmung | 20 |
| 3.1.5. Temperaturverteilung an der Estrichoberfläche | 21 |
| 3.1.6. Verlegeschemen | 22 |
| 3.1.7. Bereiche höherer Fußboden- Oberflächentemperaturen | 24 |
| 3.2. Trockenbausysteme | 24 |
| 3.2.1. "Naß" und "trocken" | 24 |
| 3.2.2. Hauptbestandteile | 25 |
| 3.2.3. "Echte" Trockenbausysteme | 27 |
| 3.2.4. Verlegeschemen | 28 |
| 3.3. Gegenüberstellung der Systeme | 28 |
| 3.3.1. Trägheit der Systeme | 28 |
| 3.3.2. Wärmedehnung der Rohre: behindert - unbehindert | 29 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.3.3. | Einhaltung der Biegeradien, Bindung der Rohrabstände an Vorgaben | 30 |
| 3.3.4. | Mechanische Gefährdung der Rohre | 30 |
| 4. | <u>Rohrwerkstoffe und Eigenschaften</u> | 32 |
| 4.1. | Die gebräuchlichen Rohrwerkstoffe | 32 |
| 4.2. | Gemeinsame Eigenschaften | 32 |
| 4.3. | Eigenschaften und Meßwerte | 32 |
| 4.4. | Kerbschlagzähigkeit | 33 |
| 4.5. | Der Faktor "Zeit" | 34 |
| 4.6. | Innendruck-Zeitstandfestigkeit | 34 |
| 4.6.1. | Allgemeines Verhalten | 34 |
| 4.6.2. | Sonderstellung von vernetztem Polyäthylen | 36 |
| 4.6.3. | Vernetzungsgrad, Vernetzungsverfahren | 37 |
| 4.6.4. | Einfluß der Herstellung auf die Innendruck-Zeitstandfestigkeit | 37 |
| 4.6.5. | Unterschiedliche Belastbarkeit | 38 |
| 4.6.6. | Praxisnahe Annahmen für Druck- und Temperaturbelastung | 39 |
| 4.7. | Alterung und Molekularstruktur | 41 |
| 4.8. | Berstdruckfestigkeit | 42 |
| 4.9. | Schweißbarkeit | 42 |
| 4.10. | "Memory-Effekt" von vernetztem Polyäthylen | 43 |
| 4.11. | Normen für Rohre aus PP, PP-C und PB | 44 |
| 4.12. | Vergleichbarkeit der Normen - Vergleichbarkeit der Werkstoffe | 46 |
| 4.13. | Technische Lieferbedingungen | 48 |
| 5. | <u>Erfahrungen mit Fußbodenheizungsrohren aus Kunststoffen</u> | 49 |
| 5.1. | Rohrdurchmesser | 49 |
| 5.2. | Materialfehler | 50 |
| 5.3. | Transportschäden | 50 |
| 5.4. | Verlegung | 52 |
| 5.4.1. | Falsches Biegen - Spannungsrißgefahr | 52 |
| 5.4.2. | Richtiges Biegen | 52 |
| 5.4.3. | Mindestwerte für Biegeradien | 53 |
| 5.4.4. | Verdrehung - Spannungsrißgefahr | 55 |
| 5.5. | Spannungen durch festen Einbau der Rohre | 55 |
| 5.6. | Chemikalien - Spannungsrißgefahr | 57 |
| 5.7. | Wartungsarbeiten | 58 |
| 5.8. | Sauerstoffdiffusion | 58 |
| 5.8.1. | Korrosionsschäden an Metallteilen | 59 |
| 5.8.2. | Rostschlamm und Betriebsstörungen | 60 |
| 5.8.3. | Einsatz von Oxidationsinhibitoren | 61 |

| | | |
|------|--|----|
| 6. | <u>Zusammenfassung</u> | 63 |
| 7. | <u>Anhang</u> | 67 |
| 7.1. | Literaturverzeichnis | 67 |
| | 7.1.1. Zitierte Schriften | 67 |
| | 7.1.2. Weiteres Schrifttum zum Thema | 69 |
| 7.2. | Abbildungsnachweis | 70 |
| 7.3. | Tabellarische Übersicht: Hersteller von Fußboden- heizungsrohren aus Kunststoffen und Fußboden- heizungs-Systemlieferanten | 71 |
| 7.4. | Anschriften der Hersteller von Kunststoffrohren für Fußbodenheizungen und Systemlieferanten von Fußbodenheizungen mit Kunststoffrohren | 72 |

Vorwort

Die Fußbodenheizung hat in den letzten Jahren eine wachsende Bedeutung gewonnen und breitet sich ständig weiter aus. Diese Entwicklung geschieht unter breiter Beteiligung von Kunststoffen und ist teilweise erst durch Kunststoffe in diesem Maße möglich geworden. Dies gilt sowohl für die wasserführenden Teile der Anlagen als auch für die erforderlichen hochwirksamen Wärmedämmungen. Hierbei werden verschiedene Kunststoffe angewandt. Die ständige technische Weiterentwicklung und die im Laufe der Zeit gesammelten Erfahrungen haben dazu geführt, daß manches System die Werkstoffbasis gewechselt hat. Neue Werkstoffe sind hinzugekommen, neue Systeme entstanden.

Die Vielfalt des Angebotes an Systemen und Werkstoffen ist dazu angebracht, nicht nur den interessierten Laien, den Bauherren, zu verunsichern; auch beim Planer, dem Architekten, beim Konstrukteur, dem Fachingenieur und beim Verarbeiter, dem Heizungsbauer bestehen erhebliche Unsicherheiten in Bezug auf die Eignung von Systemen und insbesondere von Werkstoffen, die heute in der Fußbodenheizung Anwendung finden. Insbesondere das Langzeitverhalten der Kunststoffe und hier besonders der wasserführenden Fußbodenheizungsrohre ist aus mangelnder Kenntnis der Materie immer wieder Anlaß zu Zweifeln. Diese Zweifel hemmen andererseits die Weiterentwicklung der Fußbodenheizungssysteme, da sie sich verzögernd auf ihre Verbreitung auswirken. Es ist einleuchtend, daß eine gewisse Scheu davor besteht, ein System einzuplanen oder einzubauen, solange man sich nicht darüber sicher ist, daß es auf sehr lange Zeit schadenfrei bleiben wird, besonders wenn es nach dem Einbau nicht mehr zugänglich ist.

Die vorliegende Arbeit hat deshalb die Aufgabe, in einem verhältnismäßig frühen Stand der Entwicklung zu untersuchen, welche

Anforderungen an Fußbodenheizungsrohre gestellt werden und festzustellen, wieweit Rohre aus verschiedenen Kunststoffen diesen Anforderungen gewachsen sind. Hierbei muß sowohl auf unterschiedliche Anforderungen eingegangen werden, die von unterschiedlichen Wärmeerzeugern herrühren, als auch auf die stark unterschiedlichen Eigenschaften der Kunststoffe. Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit sind die in zurückliegenden Jahren mit Fußbodenheizungsrohren aus Kunststoffen gemachten Erfahrungen, die in Fachveröffentlichungen ihren Niederschlag gefunden haben. Damit soll dem Planer und dem Bauherren eine Unterlage für die Entscheidungsfindung in die Hand gegeben werden. Außerdem sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie Fehlerquellen in der Auswahl, Anwendung und Verlegung von Kunststoffrohren für Fußbodenheizungen ausgeschaltet werden können.

1. Anforderungen an Fußbodenheizungsanlagen

Die Gründe für die Ausführung der ersten Flächenheizungsanlagen waren überwiegend architektonischer Natur. Die Wirkung des ungestörten Raumes ohne Heizgerät, sei es ein Ofen oder Heizkörper, und ohne irgendwelche, nach rein technisch-physikalischen Gesichtspunkten angeordnete Wandöffnungen hat die Architekten aller Zeiten gereizt. Wenn man von den raffinierten Fußbodenheizungssystemen des alten Rom absieht, sind erste Versuche mit Flächenheizungen in England aus dem ersten Jahrzehnt unseres Jahrhunderts bekannt. Dort wurden Stahlrohre in Gipsputz eingebettet und - bemerkenswerterweise schon damals - nicht mit heißem, sondern mit warmem Wasser beheizt. Seither sind mit Flächenheizungssystemen viele Erfahrungen gesammelt worden und die früher überwiegenden Wand- und Deckenheizungen haben heute weitgehend den Fußbodenheizungen das Feld überlassen müssen. Hierfür sind in erster Linie raumklimatische Gesichtspunkte ausschlaggebend. Von der Fußbodenheizung wird nämlich - gemachten Erfahrungen entsprechend - ein sehr hohes Maß an "thermischer Behaglichkeit" erwartet. Diese Behaglichkeit ist abhängig von möglichst im gesamten Raum gleichmäßigen klimatischen Bedingungen, auf die im weiteren einzugehen sein wird. Hierbei sind zwar Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftbewegung die einzelnen Faktoren, insgesamt gesehen jedoch ist die Wärmestromdichte an der Oberfläche des menschlichen Körpers die kennzeichnende Größe für die thermische Behaglichkeit [1]. Entscheidend für das Wohlbefinden ist nämlich ein Raumklima, bei dem eine allseitige "Entwärmung" des Körpers von der durch Stoffwechsel und Bewegung freigesetzten Energie möglich ist. Diese gleichmäßige, biologisch notwendige Entwärmung des Körpers ist bei einer Fußbodenheizung besser gegeben als bei den übrigen Heizsystemen.

1.1. Thermische Behaglichkeit

1.1.1. Temperaturverteilung im Raum

Eine wichtige Komponente der thermischen Behaglichkeit ist eine gleichmäßige Temperaturverteilung im Raum. Dies betrifft nicht nur die Lufttemperatur sondern auch die Temperatur der raumbegrenzenden Flächen mit Ausnahme des Fußbodens, dessen Temperatur geringfügig höher liegen sollte. Wenn diese Voraussetzungen erfüllt sind, wird eine durchschnittlich um ca. 1 bis 2 °C geringere Raumtemperatur als angenehm empfunden als bei einer ungleichmäßigen Temperaturverteilung oder (was sehr oft der Fall ist) wesentlich kühleren Raumumfassungsflächen. Diese Voraussetzungen können mit Fußbodenheizungen bestens erfüllt werden. Die Art und Weise, wie dies erfolgt, soll in Kapitel 4, "Beschreibung vorhandener Fußbodenheizungssysteme" näher erläutert werden (siehe Seite 24).

1.1.2. Relative Luftfeuchtigkeit

Ein weiterer Faktor, der die thermische Behaglichkeit sehr wesentlich mitbestimmt, ist die relative Luftfeuchtigkeit. Auch hier ist die Gleichmäßigkeit der Verteilung im Raum von entscheidender Bedeutung. Wenn man von der Annahme ausgeht, daß der absolute Wassergehalt der Luft in einem beheizten Raum, ausgedrückt in Gramm je Kilogramm, gleichmäßig verteilt ist, wird deutlich, daß die relative Luftfeuchtigkeit, ausgedrückt in Prozenten des Sättigungsgrades, nur in solchen Räumen gleichmäßig sein kann, in denen auch eine gleichmäßige Temperaturverteilung herrscht. Wo also Räume mit Heizflächen erwärmt werden, die ihre gesamte Wärmeenergie oder einen nennenswerten Teil davon durch Konvektion abgeben, ist eine gleichmäßige Raumtemperatur und somit auch gleichmäßige relative Luftfeuchtigkeit nicht erreichbar.

1.1.3. Wärmekonvektion - Wärmestrahlung

Wo Wärmequellen im Raum, also in erster Linie Heizflächen, starke Konvektion verursachen, sind oft der thermischen Behaglichkeit abträgliche Zugerscheinungen nicht zu vermeiden. Dies ist umso unangenehmer, als natürlich die kühleren Luftströmungen sich in Bodennähe befinden. Die größte Temperaturempfindlichkeit des Menschen liegt jedoch im Bereich der Füße und - nach oben abnehmend - der Beine. Daher ist es zweckmäßig, ein Heizsystem zu wählen, bei dem der Unterschied zwischen der Raumtemperatur und der Temperatur der den Raum beheizenden Fläche so gering ist, wie es technisch gerade eben noch machbar ist. Hierdurch wird die Konvektion weitestgehend vermieden und die Wärme durch Strahlung abgegeben.

1.1.4. Wandheizung - Deckenheizung - Fußbodenheizung

Dieser Gedanke führte zunächst zur Entwicklung von Wand- und Deckenheizungen. Doch zeigte es sich, daß - besonders bei Deckenstrahlungsheizungen - die Temperaturverteilung über die Fläche des Raumes zwar sehr gleichmäßig war, während über die Raumhöhe große Temperaturdifferenzen festgestellt wurden. Hierbei war die Temperaturverteilung die vom physiologischen Standpunkt aus denkbar ungünstigste: sehr hohe Temperaturen unter der Decke (und auch noch in Kopfhöhe) stehen relativ niederen Temperaturen am Boden gegenüber. Abb. 1 zeigt die Temperaturverteilung über die Raumhöhe bei verschiedenen Heizungssystemen, wobei jeweils die strichpunktierte Linie die Behaglichkeitstemperatur angibt, nach links sind die niederen, nach rechts die höheren Temperaturen aufgetragen. Aus diesen Temperaturprofilen ist deutlich zu erkennen, daß die Fußbodenheizung in Bezug auf das thermische Behaglichkeitsempfinden mit minimalen Abstri-

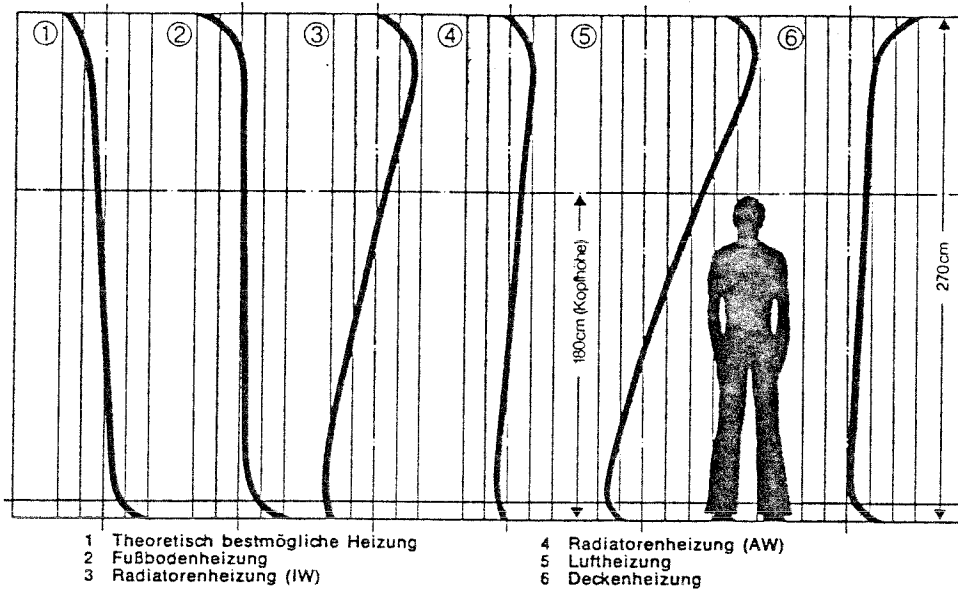


Abb. 1: Temperaturprofile eines Raumes unter dem Einfluß verschiedener Heizungssysteme

chen die Anforderungen erfüllen kann, die an die theoretisch bestmögliche Heizung gestellt werden.

1.1.5. Fußboden-Oberflächentemperaturen

Zur Behaglichkeit tragen nicht nur über die gesamte Raumluft gleichmäßige Temperatur und Luftfeuchtigkeit bei. Für den schon oben angeführten Entwärmungsmechanismus des menschlichen Körpers sind die Fußsohlen als diejenigen von besonderer Bedeutung, die in ständiger Berührung mit dem Fußboden stehen.

Bei nacktem Fuß ist der Wärmeübergang von der Fußsohle an den Boden ausschlaggebend. Bei bekleidetem Fuß werden Zugscheinungen und niedere Lufttemperaturen in Bodennähe sowie bei längerem Aufenthalt auch niedrige Oberflächentemperaturen des Bodens die Hauptursache kalter Füße sein [4]. In beiden Fällen ist die Fußbodenheizung diejenige Heizungsform, die dem Behaglichkeitsempfinden am meisten entgegenkommt. Ein Vergleich von Abb. 1 und Abb. 2 zeigt dies

deutlich: die Oberflächentemperatur des Fußbodens und die Lufttemperatur in Bodennähe sind deutlich höher als die mittlere Raumtemperatur, die ca. 20 °C betragen sollte. Somit liegen sie im oberen rechten Quadranten der Grafik von Abb. 2., also im Behaglichkeitsbereich.

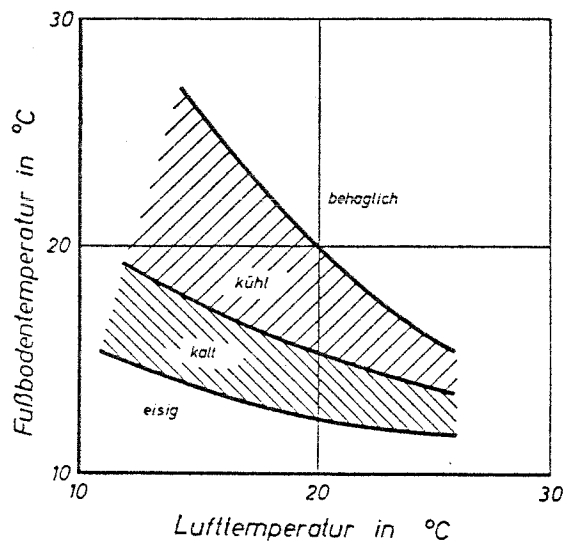


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Fußbodentemperatur und Lufttemperatur für verschiedene Behaglichkeitsempfindungen bei einer Aufenthaltsdauer von 4 Stunden

Allerdings muß andererseits auch eine gewisse Mindestwärmeabgabe des Körpers über die Fußsohlen zur Aufrechterhaltung des Wohlbefindens gewährleistet sein. Daraus ergeben sich auch obere Grenztemperaturen für den Fußboden, die nicht überschritten werden sollten. Sehr oft wird für beheizte Fußböden eine starre Oberflächentemperatur von maximal 25, 27 oder 28 °C angegeben. Dies ist nicht immer unbedingt richtig, da die Wärmeabgabe des Fußes an den Fußboden nicht nur von der Temperaturdifferenz zwischen Fußsohle und Boden abhängt, sondern auch vom Wärmedurchlaßwiderstand der Fußbekleidung und des Bodenbelags [2] . Darüber hinaus kann auch die Kontakttemperatur der Fußsohle variabel sein, je nach dem, ob sich der Körper in Ruhe oder in Bewegung befindet. So können z.B. in Bädern mit Bodenfliesen, die ja sehr oft barfuß oder mit sehr leichten Hausschuhen begangen werden, Fußboden-Oberflächentemperaturen von

ca. 29 °C durchaus noch als richtig angesehen werden. Diese Temperaturen werden allerdings bei richtiger Auslegung der Heizung nur an den wenigen Tagen erreicht, an denen die Außentemperatur auf die für die Berechnung anzunehmenden Minima von -15 bzw. -18 °C sinkt. Bekanntlich führt die Häufung der ungünstigen Annahmen nach DIN 4701, Ausgabe Januar 1959, dazu, daß der wirkliche maximale Wärmeverbrauch nur etwa 70 bis 75 % des errechneten Wärmebedarfs beträgt [3]. Dies ist allerdings ein Effekt, der bei allen Heizungssystemen zu beobachten ist. Er stellt nicht die bei Fußbodenheizungen erwartete Energieeinsparung im Vergleich mit anderen Heizungssystemen dar.

1.2. Wirtschaftlichkeit

Nicht nur die thermische Behaglichkeit, sondern auch die Wirtschaftlichkeit, mit der Fußbodenheizungen arbeiten, läßt sich zu einem Teil aus den in Abb. 1 gezeigten Wärmeprofilen eines Raumes unter dem Einfluß verschiedener Heizungssysteme erkennen. Bei allen anderen Heizungssystemen ist es erforderlich, in den höheren Bereichen des Raumes z.T. wesentlich höhere Temperaturen zu halten, um in Fußbodennähe Temperaturen zu haben, die nicht unter 20 °C liegen. Je höher der Raum ist, umso deutlicher fällt diese Temperaturdifferenz zwischen Boden- und Deckenbereich aus. Bei der Fußbodenheizung dagegen ist die Temperatur über die gesamte Raumhöhe mit Ausnahme einer flachen Zone in Bodennähe gleich. Um also dicht über dem Fußboden 20 °C zu erreichen, muß die gesamte Raumluft nur auf 20 °C aufgeheizt werden, nicht wie bei anderen Systemen im Durchschnitt auf 21,5 bis 22,5 °C. Bei diesen Angaben ist selbstverständlich normale Raumhöhe von 2,50 m im Wohnungsbau vorausgesetzt. In älteren Wohnhäusern und in Gebäuden anderer Nutzung mit höheren Räumen fällt dieser Unterschied zwischen den Durchschnittstemperaturen (s. oben)

natürlich noch größer aus. Die hieraus sich ergebende Energieeinsparung wird allgemein für den Einfamilienhausbereich mit bis zu 20 % beziffert. Einsparungen in dieser Größenordnung lassen sich allerdings nur erreichen, wenn die Fußbodenheizung nicht zugleich auch als Deckenheizung für die darunter liegenden Räume wirkt. Daher muß auf die Wärmedämmung ganz besondere Aufmerksamkeit gerichtet werden. Bei verschiedenen Systemen ist sie unter anderem aus diesem Grund ein fester Bestandteil der Fußbodenheizungsanlage.

1.3. Fußbodenheizung als Vollheizung

Es wird heute von einer Fußbodenheizung auch erwartet, daß sie als Vollheizung eingesetzt werden kann, d.h., daß außer den im Fußboden liegenden Heizrohren keine weiteren Heizflächen im Raum angeordnet werden müssen (siehe Seite 24). Fußbodenheizungssysteme mit Kunststoffrohren können dieser Anforderung gerecht werden; zwar ist, wie oben gezeigt, die Oberflächentemperatur des Fußbodens aus physiologischen Gründen relativ eng begrenzt. Somit kann auch nur eine begrenzte Wärmemenge an den Raum abgegeben werden. Untersuchungen und Berechnungen haben gezeigt, daß der Wärmebedarf normaler Wohn- und Arbeitsräume zwischen 50 und 100 W/m² Fußbodenfläche anzusetzen ist. Früher errechnete und gemessene Werte lagen erheblich höher. Der Grund hierfür liegt in den seither gestiegenen Anforderungen an den allgemeinen Wärmeschutz im Anschluß an die drastische Energieverteuerung und Verknappung. Die für die Raumheizung erforderliche Heizenergie lag in einem mit Mindestwärmeschutz nach DIN 4108 "Wärmeschutz im Hochbau" von 1969 oder gar 1960 ausgestatteten Gebäuden wesentlich höher als in einem Neubau, dessen Wärmeschutz nach den neuesten Vorschriften und Richtlinien ausgelegt ist.

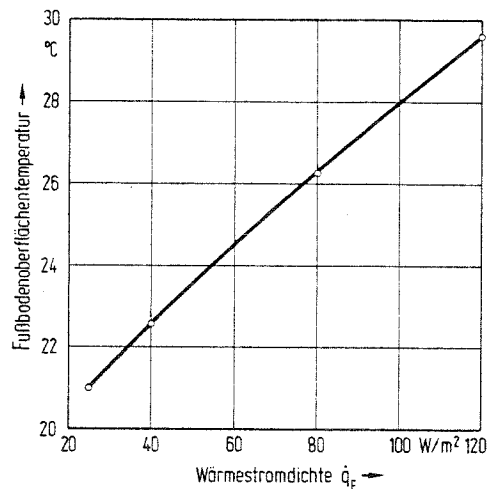


Abb. 3: Zur Einbringung der gewünschten Heizenergie erforderliche Fußbodentemperatur

Die heute erforderliche Wärmemenge kann vom Fußboden bei Einhaltung der physiologisch zuträglichen Oberflächentemperatur durchaus an den Raum abgegeben werden, wie Abb. 3 zeigt.

1.4. Umweg elektrische Fußboden-Speicherheizung

Der Weg von ersten Einsätzen der Fußbodenheizung als Vollheizung bis hin zu den heutigen Warmwasser-Fußbodenheizungen führt über den Umweg der elektrischen Fußboden-Speicherheizung. Hier wurde erstmals eine ausreichende Wärmedämmung der unter der Heizebene liegenden Rohdecke durchgeführt. Hinzu kamen die Temperaturen der elektrischen Widerstandsheizleiter, die wesentlich niedriger lagen, als die Vorlauftemperaturen von 90 bis 95 °C der üblichen Warmwasserheizungen. Zwei Nachteile mußten in Kauf genommen werden. Einerseits müssen elektrische Speicherheizungen schon deshalb als träge Systeme konzipiert werden, weil sie zur Einhaltung vertretbarer Betriebskosten mit preisgünstigem Nachtstrom gespeist werden müssen. Eine Nachregulierung bei plötzlichen Temperaturanstiegen bzw. Temperaturstürzen ist daher nur mit großer zeitlicher Verzögerung (u.U. 24 Std.) möglich. Zum anderen ergeben sich bei elektrischen Fußbodenheizungen gewisse Probleme bei der Möblierung

von Räumen. Die Wärme, die von den elektrischen Heizleitern an Ort und Stelle erzeugt wird, kann nur durch Abstrahlung an der Fußbodenoberfläche abgeführt werden. Daher können nur "hochbeinige" Möbelstücke aufgestellt werden. Bei Möbeln, die flächig auf dem Fußboden stehen, wie z.B. Schränke, Truhen usw., wird nämlich der Abtransport der erzeugten Wärme aus der Fußbodenkonstruktion verhindert, so daß innerhalb des Fußbodenaufbaus durch diesen Wärmestau Überhitzungserscheinungen auftreten. Hierdurch können Schäden an Wärmedämmung, Heizleitern, Estrich, Fußbodenbelag und eventuell auch am Möbelstück entstehen.

1.5. Fußbodenheizung - Niedertemperaturheizung

Überhitzungserscheinungen können bei Warmwasser-Fußbodenheizungen nicht auftreten. Hier wird die primäre Energie nicht an Ort und Stelle, also in der Fußbodenkonstruktion, in Wärme umgewandelt, vielmehr wird die Wärme mittels eines Trägers, in diesem Falle Wasser, herantransportiert. Wenn sich die Umgebung bis zur Temperatur des warmen Wassers aufgeheizt hat, ohne diese Wärme abgeben zu können, erfolgt keine weitere Aufheizung; die "überschüssige", also die nicht abgenommene Wärme, wird - durch den Wärmeträger Wasser selbst - wieder abtransportiert. Aus physiologischen Gründen handelt es sich bei Warmwasser-Fußbodenheizungen, wie oben festgestellt, heute nur noch um sogenannte "Niedertemperaturheizungen". Dieser Begriff ist zwar noch nicht so eindeutig definiert, wie dies bei anderen Temperaturbegriffen aus der Heizungstechnik der Fall ist. Es hat sich jedoch im Sprachgebrauch eingebürgert, solche Heizungen als Niedertemperaturheizungen zu bezeichnen, deren Vorlauftemperatur keinesfalls über 60 °C liegt. Systemabhängig liegen die Vorlauftemperaturen der Fußbodenheizungen zwischen 35 und 60 °C, so daß also Schädigungen der Umgebung der Heizrohre durch überhöhte Temperaturen nicht eintreten können.

Über die hohe Wirtschaftlichkeit von Niedertemperaturheizungen im allgemeinen hinaus [5] werden Fußbodenheizungen durch ihre spezifischen Eigenschaften den Anforderungen noch weiter erhöhter Wirtschaftlichkeit, höchster thermischer Behaglichkeit und geringstmöglicher Beeinflussung der umgebenden Bauteile gerecht .

2. Verschiedene Wärmeerzeugersysteme für Fußbodenheizungsanlagen

Fußbodenheizungsanlagen, die als Niedertemperatur-Heizungen mit warmem Wasser betrieben werden, können mit herkömmlichen Kesselanlagen gekoppelt werden. Allerdings sind diese Heizkessel auf die bisher üblichen Vorlauftemperaturen von 90 - 95 °C abgestellt, mit denen eine Fußbodenheizung nicht betrieben werden kann. Die für die erforderliche Wärmeabgabe der Fußbodenheizung notwendigen Vorlauftemperaturen liegen zwischen mindestens 35 und höchstens 60 °C, wobei ca. 40 bis 45 °C als Normalfall anzusehen ist. Hieraus ergibt sich, daß bei der Koppelung eines konventionellen Heizkessels mit einem Fußbodenheizungssystem aufwendige (und gegen Störungen nicht absolut sichere) Anlagen zur Reduzierung der Vorlauftemperatur erforderlich sind.

Andererseits sind Bestrebungen zur Einsparung fossiler Brennstoffe im Gange, um die notwendige Energieversorgung langfristig sicherstellen zu können. Dadurch wird es interessant, die Anwendung der sogen. "alternativen" und "regenerativen" Wärmequellen ins Auge zu fassen. Hierbei handelt es sich um

- Solarkollektoren und -absorber
- Wärmepumpe
- Nutzung von industrieller "Abwärme" und Restwärme von Fernheiznetzen.

Der Haushalt und Kleinverbraucher ist mit ca. 45 % vom Gesamtenergiebedarf weitaus der größte Energieabnehmer in der Bundesrepublik Deutschland. Der größte Teil der vom Kleinverbraucher abgenommenen Energie, knapp 90 %, wird wiederum für die Raumheizung verbraucht. Hier liegt also der Haupteinsatzbereich der o.g. alternativen Wärmequellen.

Die Nutzung industrieller Abwärme und der Restwärme von Fernheiznetzen stößt auf gewisse Verteilungsschwierigkeiten. Ihre Anwendung

wird, um die Verteilungssysteme wirtschaftlich halten zu können, auf eng begrenzte Bereiche in Ballungsräumen beschränkt bleiben. Für die Anwendung durch Haushalt und Kleinverbraucher eignen sich also nur individuell einsetzbare Wärmequellen wie z.B. Solarkollektoren und Wärmepumpen. Diese beiden Energielieferanten werden für die Koppelung mit Fußbodenheizung noch dadurch zusätzlich interessant, daß das in ihnen erwärmte Wasser genau in dem Temperaturbereich anfällt, der als Vorlauftemperatur für Fußbodenheizungsanlagen geeignet ist. Allerdings ist die Nutzung der Sonnenenergie durch Solarkollektoren und -absorber vorläufig noch nicht so weit entwickelt, daß das erzeugte warme Wasser für eine Heizung ausreichend wäre. Lediglich die Erwärmung des Brauchwassers kann bis jetzt in den Sommermonaten voll, in den Wintermonaten teilweise mit Solarkollektoren befriedigend bewerkstelligt werden.

Von den alternativen Wärmequellen kann also vorläufig nur die Wärmepumpe mit gutem Ergebnis für die Raumheizung herangezogen werden. Wegen der niederen Wassertemperatur, die von der Wärmepumpe abgegeben wird (ca. 40 - 45 °C) eignet sie sich am besten zur Koppelung mit einer Fußbodenheizung. Zur Zeit am unproblematischsten erscheint hierbei die Version der Wärmepumpe, die ihren Wärmebedarf aus dem Erdreich bezieht. Schwierigkeiten können bei Wärmepumpen auftreten, die die Wärme der Umgebungsluft nutzen: bei niederen Außentemperaturen um 0 °C und darunter steigt der Bedarf an Antriebsenergie (Strom, Gas) so steil an, daß ein wirtschaftlicher Betrieb nicht mehr möglich ist. Die Entnahme von Wärme aus Grund- und Oberflächenwasser durch Wärmepumpen ist aus Gründen des Umweltschutzes nicht völlig unbedenklich. Da ein Leck des Systems nicht auszuschließen ist, besteht die Möglichkeit, daß Kühlmittel ins Wasser gelangt. Dies ist nur durch sehr hohen Investitionsaufwand zu vermeiden, wenn ein ähnliches Leckschutzsystem eingesetzt wird, wie es bei Öltanks heute schon geschieht. Ob allerdings die Wirtschaftlichkeit der Anlage bei solchen Investitionen gegeben ist, erscheint mindestens fraglich.

3. Beschreibung vorhandener Fußbodenheizungssysteme mit

Kunststoffrohren

Auf dem Markt wird, wie schon eingangs erwähnt eine Vielzahl von Fußbodenheizungssystemen mit Kunststoffrohren unter fast 30 Markennamen angeboten (siehe Tabelle im Anhang). Bei genauerer Betrachtung der angebotenen Systeme kann festgestellt werden, daß ihre große Zahl auf einige charakteristische Grundtypen zurückgeführt werden kann. Aus einem Kunststoffrohr wird erst dann ein "System", wenn andere Konstruktionsteile hinzutreten. So umfassen manche der angebotenen Systeme nicht viel mehr als ein Befestigungselement für die Kunststoffrohre, andere hingegen den gesamten Fußbodenaufbau unterhalb der lastverteilenden Platte; die dritte Möglichkeit, die die Zahl der Systemnamen ebenfalls vermehrt, besteht darin, daß ein Systemlieferant mit identischen Bauteilen Fußbodenheizungen nach verschiedenen Verlegeschemen baut und diese verschieden benennt. Die große Zahl der Systeme rührt also daher, daß einige Grundelemente und Konstruktionsprinzipien in verschiedener Kombination angewandt werden.

Grundsätzlich sind zwei verschiedene Bauarten zu unterscheiden: Systeme für Trockenmontage (sogen. "Trockenbausysteme") und Systeme für Naßmontage.

3.1. Naßmontagesysteme

3.1.1. Hauptbestandteile

Neben den Rohren sind Wärmedämmung und die "lastverteilende Platte", das heißt der Estrich, die Hauptbestandteile der Naßmontagesysteme. Die Rohre werden voll in den Estrich eingebettet. Die Fixierung der Heizrohre in ihrer Lage erfolgt mit besonderen Be-

festigungselementen entweder auf einer Baustahlmatte, die ebenfalls im Estrich eingebettet wird, oder auf der darunter liegenden, in diesem Falle armierten Wärmedämmung, wobei die Befestigungselemente gleichzeitig Abstandshalter sind, damit die Rohre voll vom Estrich umschlossen werden. Die früher weit verbreitete Verlegemethode, bei der die Rohre mit nacktem Rödeldraht an den Baustahlmatten befestigt wurden, wird heute kaum noch angewandt, da es für den Monteur nicht möglich war, zu entscheiden, wie fest der Draht angezogen werden muß, ohne andererseits Kerbspannungen auf das Rohr aufzubringen. In wenigen Einzelfällen kann es sich auch heute noch als notwendig erweisen, z.B. an einer schwer zugänglichen Stelle o.ä., das Heizrohr mit Draht auf der Baustahlmatte zu befestigen. In diesen seltenen Fällen wird jedoch nur noch mit Kunststoff ummantelter Rödeldraht verwendet.

3.1.2. Rohrbefestigungen

Die auf dem Markt angebotenen Naßmontagesysteme unterscheiden sich also hauptsächlich durch Form und Art der Fixierungselemente in Form von Schellen oder Clips. Der größte Unterschied zwischen den Systemen besteht darin, daß entweder feste oder drehbare Befestigungselemente zum Einsatz kommen. Die Vertreter von Systemen mit drehbaren Fixierungen weisen darauf hin, daß in Bögen nicht mehr Biegespannung auf die Rohre aufgebracht wird, als dies unbedingt erforderlich ist, da sich die Schellen nach dem Spannungszustand der Rohre einstellen. Dem wird entgegengehalten, daß durch Biegung und starre Fixierung der Rohre zwar Spannungszustände in den Rohren erzeugt werden, die sich jedoch im Zeitraum von ungefähr drei Wochen durch die speziellen Eigenschaften der Rohrwerkstoffe abbauen, "relaxieren". Dieser Zeitraum ist gewährleistet, da nach dem Verlegen der Heizrohre der Estrich eingebracht wird, dessen Abbindezeit von mindestens 21 Tagen eingehalten werden muß, bevor die Heizung in Betrieb genommen werden darf.

3.1.3. Estrich

Der Estrich muß als Bestandteil aller Naßmontagesysteme betrachtet werden. Ihm fällt die Aufgabe zu, die in den Kunststoffrohren herangeführte Wärme gleichmäßig zu verteilen. Er wird deshalb vielfach, besonders in Firmenschriften, als "Heizestrich" bezeichnet. Dadurch wird der Gedanke impliziert, es handle sich hierbei um einen Estrich besonderer Art. Dieser Eindruck wird vielfach noch verstärkt, wenn der Estrich, den der Systemlieferant selbst einbaut, eine von Üblichen abweichende Farbgebung erhält. Die Hauptaufgabe des Estrichs ist jedoch die eines jeden Estrichs: er dient als lastverteilende Platte. Nahezu jeder Estrich heute wird nicht nur mit Sand, Wasser und Bindemittel hergestellt, es werden ihm Zusätze beigegeben, die seine Plastizität beim Einbau, seine Dichte und die Homogenität seines Korngefüges günstig beeinflussen. Diese Eigenschaften sind zur Erfüllung der Aufgabe als lastverteilende Platte erforderlich. Daß sie darüber hinaus auch die Nebenaufgabe der gleichmäßigen Wärmeverteilung und die Anlagerung des Estrichs an die Heizrohre, also einen geringen Wärmeübergangswiderstand begünstigen, steht außer Zweifel.

3.1.4. Wärmedämmung

Unter der Estrichplatte mit den eingelagerten Heizrohren muß selbstverständlich eine ausreichende Wärmedämmung eingebaut sein. Es muß auf jeden Fall der Effekt vermieden werden, daß die Fußbodenheizung als Deckenheizung für den darunterliegenden Raum wirkt. Eine ungenügende Wärmedämmung hätte zwei unerwünschte Nebenwirkungen. Einerseits ergäbe sich im darunterliegenden Raum eine Temperaturverteilung, wie sie in Abb. 1 auf Seite 9 im Diagramm 6, "Deckenheizung", dargestellt ist. Zum anderen wäre die vom Fußboden nach oben abgegebene Wärmemenge auf jeden Fall zu gering, um den Raum ohne Zusatzheizung ausreichend zu er -

wärmen. Außerdem muß beachtet werden, daß eine reine Wärmedämmung mit Schaumkunststoffen nach DIN 18164 Teil 1 nicht ausreicht. Es ist unbedingt erforderlich, daß die Wärmedämmung auch dem Teil 2 dieser Norm, "Dämmstoffe für die Trittschalldämmung" und den Anforderungen der DIN 4109 "Schallschutz im Hochbau" entspricht.

3.1.5. Temperaturverteilung an der Estrichoberfläche

Selbstverständlich ist die gleichmäßige Temperaturverteilung im Estrich ein theoretischer Idealfall, der in der Praxis nie zu erreichen sein wird. Über den Rohren wird die Temperatur der Estrichoberfläche bzw. der Fußbodenfläche stets höher liegen als über den Rohrzwischenräumen. Je geringer der Verlegeabstand der Rohre ist, umso geringer ist auch dieser Temperaturunterschied. Da sich jedoch die Rohrabstände nicht beliebig verringern lassen, fügen verschiedene Hersteller von Fußbodenheizungssystemen zwischen Estrich und Wärmedämmung eine stark wärmeleitende Schicht ein. Hierbei kann es sich um Bleche oder auch blanke Metallfolien handeln, die eine deutliche Verbesserung der Wärmeverteilung bewirken. Die "Temperaturtäler" im Bereich der Rohrzwischenräume treten weniger deutlich in Erscheinung, d.h. die mittlere Oberflächentemperatur des Fußbodens liegt höher, wenn eine wärmeverteilende Schicht eingebaut wird. Dadurch ist es möglich, mit geringerer Wärmezufuhr die gleiche Raumtemperatur zu erzielen. Somit ergibt sich hier die Möglichkeit, Energie einzusparen, wenn gegenüber der Verlegung ohne Blech oder Metallfolie gleiche Rohrabstände beibehalten werden. Andererseits können auch die Rohrabstände vergrößert und dadurch kürzere Heizkreise erreicht werden, wenn die gleichen Temperaturdifferenzen an der Fußbodenoberfläche in Kauf genommen werden wie in Systemen ohne wärmeverteilende Schicht.

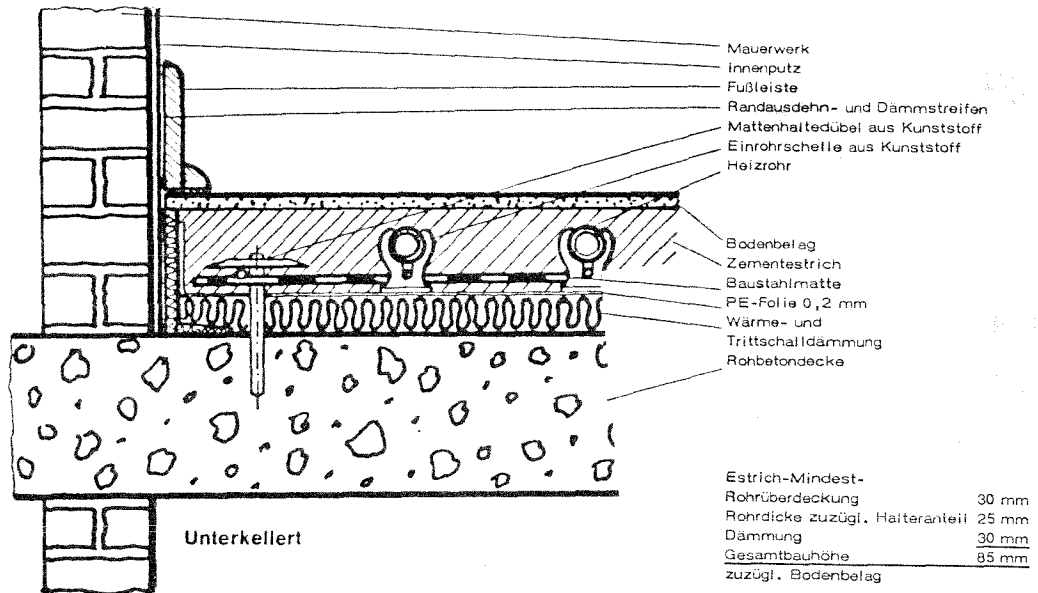


Abb. 4: Naßmontagesystem mit Rohrverankerung aus Kunststoffschellen auf Baustahlmatte

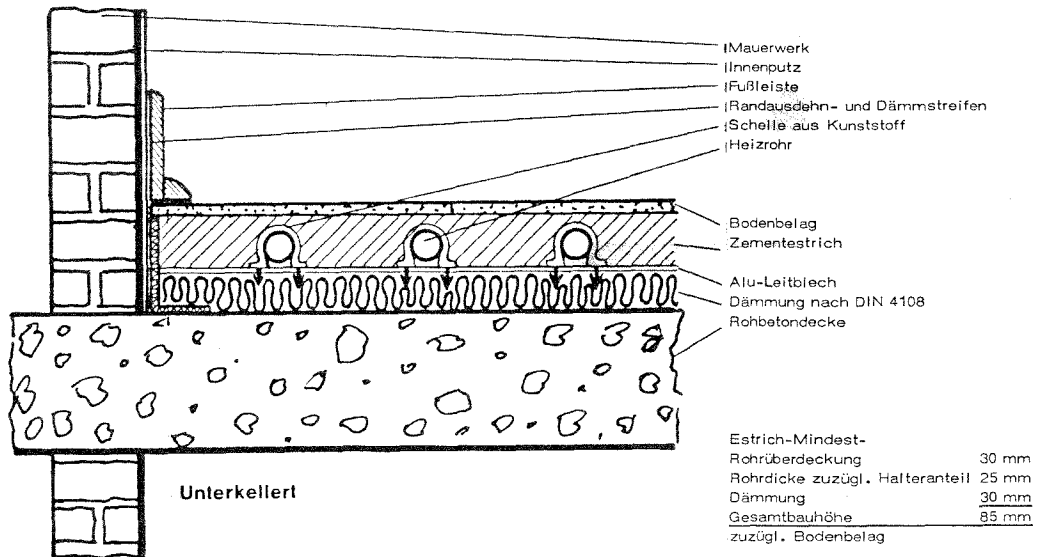


Abb. 5: Naßmontagesystem mit Rohrverankerung aus Kunststoffschellen auf einer wärmeverteilenden Schicht aus Aluminiumblech

3.1.6. Verlegeschemen

Für die gleichmäßige Wärmeverteilung im Raum (nicht nur an der Fußbodenoberfläche) ist schließlich auch die Anordnung der Heizrohre im Grundriß, das sogen. "Verlegeschema" von großer Bedeutung. Beim Eintritt in einen Heizkreis führt das Transport-

medium Wasser noch die gesamte Wärmemenge mit, die zur Beheizung des Raumes erforderlich ist, das Wasser hat die höhere Vorlauftemperatur. Beim Durchlaufen des Heizkreises wird Wärme abgegeben, das Wasser kühlt nach und nach ab und verläßt den Heizkreis mit der deutlich niedrigeren Rücklauftemperatur. Wenn nun dieses Temperaturgefälle nicht durch das Verlegeschema der Heizrohre ausgeglichen wird, dann wird es auf die Fußbodenoberfläche übertragen. Dies ist z.B. bei dem in Abb. 6 dargestellten Verlegeschema der Fall. Sehr vielen Fußbodenheizungssystemen liegt deshalb das in Abb. 7 gezeigte Verlegeschema zugrunde, bei dem Vor- und Rücklauf, also ein wärmeres und ein weniger warmes Rohr stets im Wechsel nebeneinander zu liegen kommen. Dadurch werden, in der Fläche gesehen, die Temperaturdifferenzen ausgeglichen, es stellt sich überall beinahe ideal die mittlere Fußbodentemperatur ein, wie aus dem zugehörigen Temperaturdiagramm abzulesen ist.

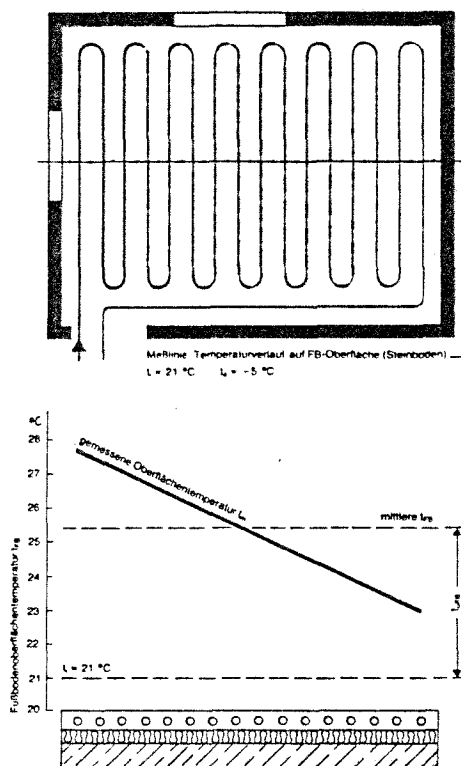


Abb. 6: Rohrführung parallel, Temperaturverlauf auf Fußbodenoberfläche stark abfallend

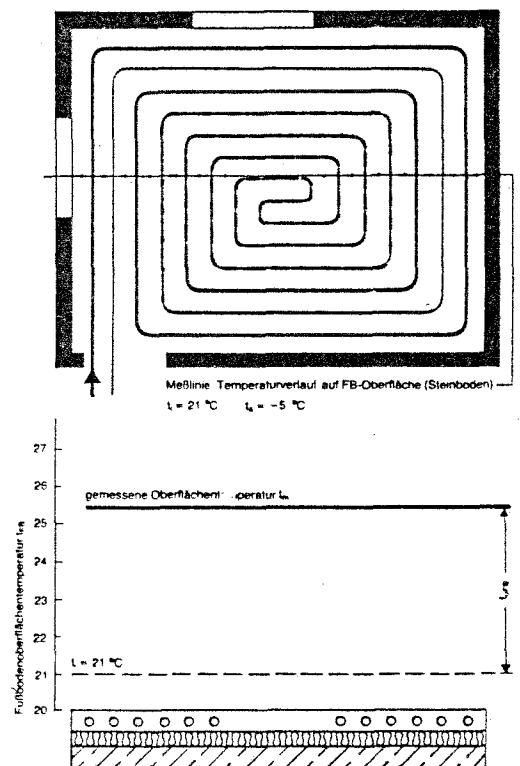


Abb. 7: Rohrführung reversierend, gleichmäßiger Temperaturverlauf

Doch sind auch Fußbodenheizungssysteme am Markt, die versuchen, den Nachteil des Verlegeschemas nach Abb. 6 mit anderen Mitteln auszugleichen: zu diesen Systemen gehören Regelgeräte, die in bestimmten Zeitabständen die Laufrichtung des Heizwassers umkehren, so daß Vorlauf und Rücklauf vertauscht werden. Die mit diesem technischen Aufwand erreichbare gleichmäßige Temperaturverteilung erlaubt die verhältnismäßig einfache Verlegung der Rohre in Schlangenlinien parallel zueinander.

3.1.7. Bereiche höherer Fußboden-Oberflächentemperaturen

Ein Ausnahmefall, in dem es nicht sinnvoll ist auf der gesamten Fußbodenoberfläche eine gleichmäßige Temperatur zu haben, wurde oben bereits erwähnt (Seite 7). Außenwände, besonders wenn sie von großen Fensteröffnungen durchbrochen sind, verlangen zur Erhaltung der Raumbehaglichkeit einen "Konvektionsvorhang" aus aufsteigender Warmluft. Dies ist nicht nur durch Radiatoren zu erreichen. Ein eng verlegtes Rohrregister in einem schmalen Fußbodenstreifen entlang der kalten Wand bewirkt, daß dieser Streifen eine höhere Oberflächentemperatur aufweist als der übrige Fußboden des Raumes. Hierdurch wird die gewünschte Wirkung erzielt. Je länger eine solche Außenwandzone ist, umso eher wird man sie mit einem eigenen, unabhängigen Heizkreis ausrüsten.

3.2. Trockenbausysteme

3.2.1. "Naß" und "trocken"

Die Bezeichnung "Trockenbausystem" erweckt die Vorstellung, daß es sich um ein System handelt, das keinen "nassen" Estrich benötigt, um zu funktionieren. Dies käme der Tendenz zum wirtschaftlichen, weil zeitsparenden trockenen Innenausbau sehr entgegen.

Tatsächlich ist dies jedoch nicht der Fall. Ebenso wie bei den Naßmontagesystemen sind Rohre, Wärmedämmung und lastverteilende Platte die Hauptbestandteile der Trockenbausysteme. Auch bei den Trockenbausystemen fällt der lastverteilenden Platte die Aufgabe zu, die in den Rohren herangeführte Wärme möglichst gleichmäßig zu verteilen und an den Raum abzugeben. Für diesen Zweck hat sich noch kein anderes Material als so hervorragend geeignet erweisen wie eben ein naß eingebrachter mineralischer Estrich. Der Name "Trockenbausystem" besagt lediglich, daß die Heizrohre "trocken" eingebaut werden, also nicht mit dem "nassen" Estrich in Berührung kommen. Allerdings sind seit einiger Zeit auch "echte" Trockenbausysteme am Markt, die ohne "nassen" Estrich auskommen. Sie werden noch gesondert zu besprechen sein.

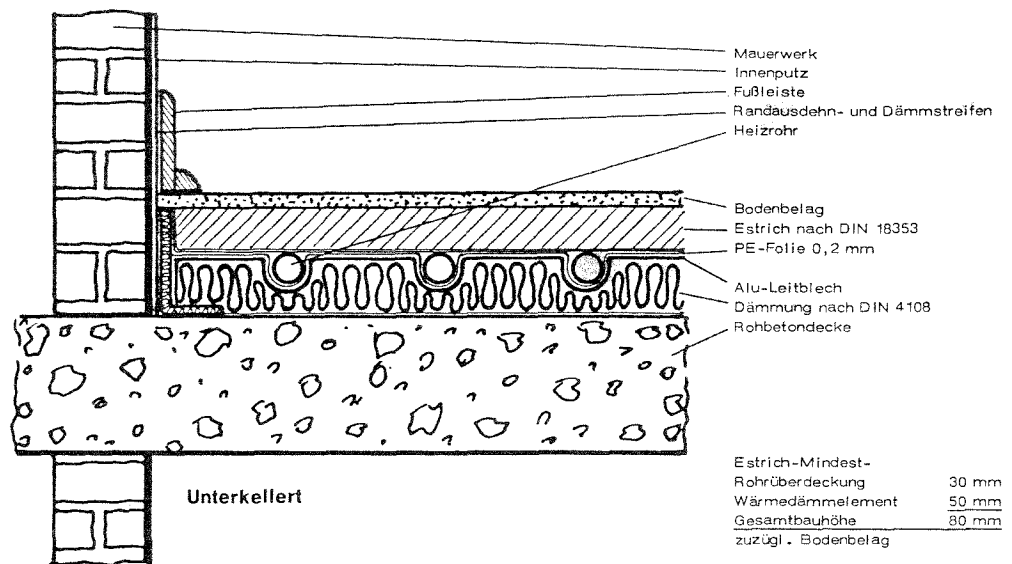


Abb. 8: Schnitt durch ein typisches Trockenbausystem

3.2.2. Hauptbestandteile

Zum Unterschied von Naßmontagesystemen können bei Trockenbausystemen für die Wärme- und Trittschalldämmung mit wenigen Ausnahmen keine glatten Dämmplatten angewandt werden. Es sind vielmehr Formteile erforderlich die aus Polystyrol- oder seltener aus Polyurethan-Hartschaum nach DIN 18164 hergestellt werden. Die Rohre

werden meistens in Nuten verlegt, die in die Dämmplatten eingeformt sind. Da hierdurch die Wärmeabstrahlung des Heizrohres ohne besondere Maßnahmen unterbunden wäre, ist eine Wärmeleitschicht in jedem Fall unabdingbares Bestandteil der Trockenbausysteme. Es handelt sich hierbei entweder um vorgeformte Bleche, die in die Nuten der Dämmplatten eingelegt werden wie Abb. 8 zeigt und ihrerseits zur Aufnahme der Heizrohre bestimmt sind, oder um eine metallische Beschichtung der Wärmedämmplatten, wie dies bei dem System in Abb. 9 der Fall ist.

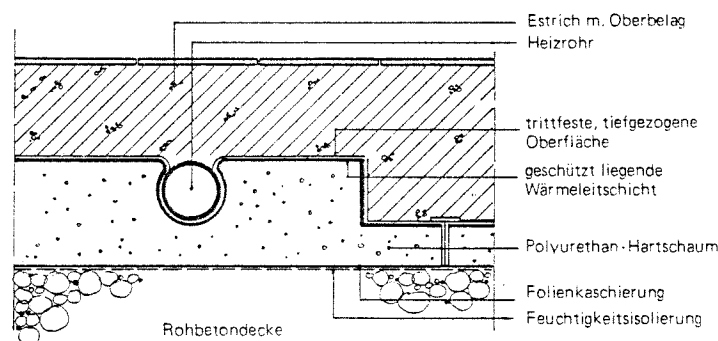


Abb 9: Das abgebildete System weicht von der Mehrzahl der Systeme nicht nur durch die Wahl von Polyurethan-Hartschaum als Werkstoff für die Wärmedämmung ab. Die Wärmeleitschicht ist bereits Bestandteil der Dämmplatten, sie werden nicht wie bei anderen Systemen als Blech eingelegt. Außerdem sind die Dämmplatten mit einer tiefgezogenen Folienkaschierung rundum vor dem Eindringen von Feuchtigkeit geschützt.

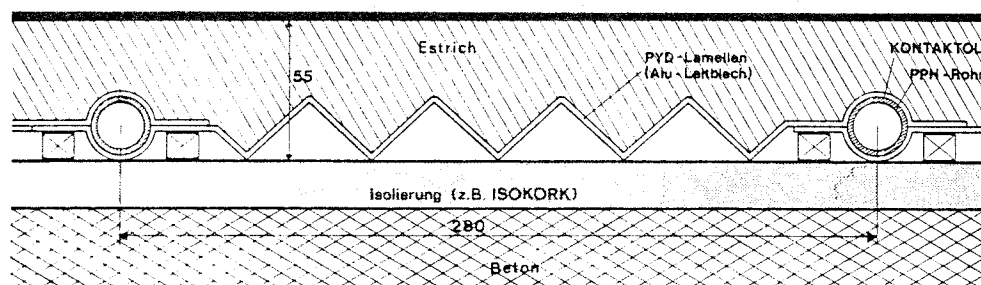


Abb. 10: Dieses Trockenbausystem greift auf den Wärmedämmstoff Kork zurück und leitet die von den Heizrohren abgegebene Wärme durch pyramidenförmig strukturierte Wärmeleitbleche (große Oberfläche) an den Estrich weiter.

3.2.3. "Echte" Trockenbausysteme

Ein am Markt befindliches "echtes" Trockenbausystem besteht aus Kunststoff-Trägerelementen, die auf die normale - selbstverständlich für Fußbodenheizung ausreichend bemessene - Wärme- und Trittschalldämmung verlegt werden. Diese Trägerelemente weisen Noppen von der Höhe des Heizrohrdurchmessers auf. Zwischen diesen Noppen werden die Heizrohre verlegt. Nach abgeschlossener Rohrverlegung werden nun ebene, mit einem Lochraster versehene Abdeckplatten verlegt; da das Lochraster der Abdeckplatten dem Noppenraster der Trägerelemente entspricht, können die Abdeckplatten ohne Schwierigkeit mit Schrauben fixiert werden. Auf den Abdeckplatten können nach Angabe des Systemlieferanten geeignete Oberböden wie Mosaik-Parkett, PVC-Beläge, Fliesen oder Teppichböden sofort verlegt werden.

Ein anderes "echtes" Trockenbausystem unterscheidet sich im grundsätzlichen Aufbau nicht sehr wesentlich von dem in Abb. 8 gezeigten System mit herkömmlichem Estrich. Besonderheiten dieses Systems sind die Korkschtüttung unter den Wärmedämmelementen zum Ausgleich von Unebenheiten des Rohbodens sowie die Anwendung eines "Trockenestrichs", in diesem Falle bestehend aus zwei Lagen Gipskartonplatten, die mit versetzten Fugen übereinander zu verlegen sind. Die beiden zuletzt beschriebenen Systeme können durch ihren Verzicht auf mineralisch gebundene, naß eingebrachte Estriche als ausgesprochene "Leichtbausysteme" bezeichnet werden. Dadurch eignen sie sich vorzüglich auch zum nachträglichen Einbau, z.B. bei Altbausanierungen, auf Decken (Holzbalkendecken usw.), die keine oder nur geringe zusätzliche Belastungen aufnehmen können. Die einzige Schwierigkeit bei nachträglichem Einbau besteht in der Überwindung der im Fertigfußboden entstehenden Höhenunterschiede z.B. zwischen Treppenhäusern und Dielen, während in den allermeisten Fällen eine Verringerung der Türdurchgangshöhen um ca. 30 bis 50 mm - besonders in Altbauten - nicht ins Gewicht fällt.

3.2.4. Verlegeschemen

Was bei den Naßmontagesystemen über die Rohrführung gesagt wurde, gilt ohne Einschränkung auch bei den Trockenbausystemen. Es ist allerdings anzumerken, daß bei den Trockenbausystemen das Verlegeschema nach Abb. 7 mit reversierender Rohrführung nur bei wenigen am Markt befindlichen Systemen zur Ausführung kommt, weil es die Anzahl der zum System gehörenden verschieden vorgeformten Dämmplattentypen erheblich vergrößern würde.

3.3. Gegenüberstellung der Systeme

3.3.1. Trägheit der Systeme

Vor- und Nachteile oder auch vermeintliche Vor- und Nachteile von Naßmontage- und Trockenbausystemen werden in Fachkreisen hart diskutiert. Einer der wichtigsten Punkte in dieser Diskussion ist die Trägheit der Systeme. Von den Anhängern der Trockenbausysteme wird vorgebracht, die Naßmontagesysteme seien wegen der großen aufzuheizenden Estrichmasse sehr träge und könnten Temperaturstürze nicht abfangen. Andererseits wird den Trockenbausystemen Trägheit vorgeworfen, weil der unmittelbare Wärmeübergang vom Heizrohr zum Estrich nicht gegeben ist, sondern das Heizrohr im Gegenteil von dem schlechten Wärmeleiter Luft umgeben ist. Beide Argumente sind bedingt richtig, wobei gesagt werden muß, daß eine gewisse Trägheit bei Fußbodenheizungen nicht nachteilig ist, solange sie nicht zu groß ist. Voraussetzung dafür, daß eine Fußbodenheizung als Vollheizung den Wärmebedarf eines Hauses decken kann, ohne daß eine wie auch immer geartete Zusatzheizung im Fall von Spitzenbelastungen erforderlich wird, ist eine hervorragende Wärmedämmung des Hauses. Eine solche Wärmedämmung bewirkt unter anderem, daß Außentemperaturschwankungen mit erheblicher zeitlicher Verzögerung spürbar werden. Wird die Fußbodenheizungsanlage nun außentemperaturabhängig

geregelt, wie dies bei modernen Anlagen fast ausnahmslos der Fall ist, so wird die Regelung sofort auf eine Temperaturänderung reagieren. Durch die Trägheit des Heizungssystems wird der Erfolg der Regelmaßnahme jedoch erst mit zeitlicher Verzögerung im Inneren des Hauses spürbar werden - im Idealfall gleichzeitig mit der Spürbarkeit der Außentemperaturänderung im Hausinneren. Je besser die Wärmedämmung eines Gebäudes ist, umso erwünschter ist eine gewisse Trägheit des Heizungssystems.

3.3.2. Wärmedehnung der Rohre: behindert - unbehindert

Wesentlich größere Bedeutung ist dem häufig diskutierten Streitpunkt beizumessen, ob es für das Fußbodenheizungsrohr schädlich oder nützlich ist, wenn es auf Temperaturveränderungen des Heizwassers mit Dilatationsbewegungen reagieren kann, also spannungsfrei bleibt, wie dies in Trockenbausystemen der Fall ist, oder wenn durch die Fixierung des Rohres im Estrich solche Bewegungen unterbunden werden. Zwar wird bei einer Temperaturänderung des Heizmittels auch der Estrich eine gewisse Wärmedehnung oder -schrumpfung erfahren, der Wärmedehnungskoeffizient des Kunststoffrohres ist jedoch ca. zehnmal so groß wie der des Estrichs. Es entstehen also so wohl im Kunststoffrohr als auch im Estrich Spannungen. Über die Spannungsrelaxation der Kunststoffe wurde bereits oben einiges gesagt. Sie bewirkt, daß die aus der thermischen Dilatation der Kunststoffrohre bzw. deren Verhinderung die in den Rohrwandungen entstehenden Spannungen mit der Zeit auf einen Bruchteil des Ausgangswertes reduziert werden - und somit auch die reaktiven Spannungen im Estrich. Die Art und Zahl der aufgetretenen Schäden spricht dafür, daß weder die feste Verlegung der Rohre in den Naßmontagesystemen noch die Verlegung der Rohre in Trockenbausystemen, die Wärmebewegungen der Rohre zuläßt, eine besonders häufige Schadenursache ist (s. auch Seite 56).

3.3.3. Einhaltung der Biegeradien, Bindung der Rohrabstände an Vorgaben

Es ist nicht zu bestreiten, daß jedes der Systeme dem anderen System gegenüber Vor- und Nachteile hat, deren Zahl und Größe jedoch im Endeffekt einander die Waage halten. So geben z.B. die Rohrhersteller für ihre Erzeugnisse gewisse Mindestbiegeradien an. Diese Biegeradien sollten nicht unterschritten werden, da sonst in den Rohrbögen Spannungen auftreten, die zu vermehrter Spannungsrißbildung führen. Während bei Naßmontagesystemen diese Mindestbiegeradien mit wenigen Ausnahmen durch unachtsame Monteure leicht unterschritten werden können, ist dies bei Trockenbausystemen praktisch nicht möglich, da ja die Rohre nur in den durch die Dämmelemente bzw. Trägerelemente vorgegebenen Radien verlegt werden können. Andererseits können Naßmontagesysteme wesentlich leichter den Ergebnissen der Wärmebedarfsberechnung angepaßt werden, als dies bei Trockenbausystemen der Fall ist: die Rohre können, besonders beim Verlegeschema mit reversierender Rohrführung, nahezu beliebig eng oder weit verlegt werden; zwar können die Rohrabstände untereinander auch bei den Trockenbausystemen verändert werden, jedoch ist dies nur stufenweise möglich, im Rahmen der Vorgaben durch die vorgeformten Dämmelemente, so daß in einem System äußerstenfalls zwei bis drei verschiedene Rohrabstände ausgeführt werden können - im Gegensatz zu den hier beinahe unbegrenzt anpassungsfähigen Naßmontagesystemen.

3.3.4. Mechanische Gefährdung der Rohre

Ein Vorteil der Trockenbausysteme ist es, daß beim Einbringen des Estrichs die Heizrohre wesentlich weniger der Gefahr von mechanischen Beschädigungen ausgesetzt sind als die frei und offen liegenden Rohre von Naßmontagesystemen. Bei Naßmontagesystemen

sind dagegen solche Beschädigungen während dem Einbringen des Estrichs sowohl offensichtlicher, als auch leichter zu beheben.

Die Reihe der Vor- und Nachteile von Naßmontage- und Trockenbausystemen ließe sich sicher noch erheblich verlängern, es ist jedoch bezeichnend, daß beide Gruppen sich nebeneinander am Markt behaupten können.

4. Rohrwerkstoffe und Eigenschaften

4.1. Die gebräuchlichen Rohrwerkstoffe

Als Werkstoffe für Fußbodenheizungsrohre werden heute folgende Kunststoffe eingesetzt:

- Polypropylen (Abkürzung: PP)
- Polypropylen-Copolymerisat (Abkürzung: PP-C)
- Polybuten (Abkürzung: PB)
- Vernetztes Polyäthylen (Abkürzung: VPE)

Weniger gebräuchlich sind heute bereits Hochdruck- und Niederdruck-Polyäthylen (LDPE und HDPE), da sich ihre Druck- und Temperaturbeständigkeit als nicht ausreichend herausgestellt hat. Rohre aus diesen Werkstoffen werden, der geringeren Anforderungen wegen, in der Landwirtschaft eingesetzt, wo sie sich bestens bewähren.

4.2. Gemeinsame Eigenschaften

Die für Fußbodenheizungen eingesetzten Rohrwerkstoffe weisen außer ihrer Druck- und Wärmebeständigkeit einige Eigenschaften auf, die sie für diesen Zweck besonders geeignet machen:

- hohe Spannungsrißbeständigkeit
- hohe Zeitstandfestigkeit
- hohe Alterungsbeständigkeit
- geringes Gewicht
- große Rohrlängen ohne Verbindungsstellen
- problemloses Herstellen von Rohrbögen
- glatte Innenwände, daher geringe Reibungsverluste.

4.3. Eigenschaften und Meßwerte

Die Tabelle auf der nächsten Seite gibt einige typische physikalische Eigenschaften der vier gebräuchlichen Werkstoffe für Fußbodenhei-

zungsrohre wieder. Hierbei handelt es sich um Meßwerte, die nach genormten Prüfverfahren unter festgelegten Prüfbedingungen erlangt wurden. Dadurch ist die Gewähr gegeben, daß die festgehaltenen Eigenschaftswerte untereinander vergleichbar sind. Zwar sind hier bereits einige typische Rohreigenschaften erkennbar, andererseits ist eine Beurteilung der Eignung der Rohrwerkstoffe für den Einsatz als Fußbodenheizungsrohr anhand der in Kurzzeitversuchen gewonnenen Werte aus der obigen Tabelle noch nicht möglich. Eigenschaften wie z.B. die Reißfestigkeit werden im praktischen Einsatz der Rohre niemals voll gefordert werden.

| | | PP | PP-C | PB | VPE |
|------------------------------|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Dichte | g/cm ³ | 0,90 | 0,91 | 0,93 | 0,94 |
| Streckspannung | N/mm ² | 31 | 30 | 17 | 18 |
| Reißfestigkeit | N/mm ² | 34 | 44 | 33 | 27 |
| Reißdehnung | % | 600 | 1000 | 300 | 500 |
| E-Modul | N/mm ² | 1200 | 1000 | 400 | 600 |
| Schlagzähigkeit | KJ/m ² | o.Bruch | o.Bruch | o.Bruch | o.Bruch |
| Kerbschlagzähigkeit | KJ/m ² | 7..15 | 25 | o.Bruch | o.Bruch |
| Kerbschlagzähigkeit 0°C | KJ/m ² | 3 | 5 | 40 | o.Bruch |
| Wärmeleitfähigkeit | W/mK | 0,23 | 0,22 | 0,21 | 0,43 |
| Spez. Wärme | kJ/kg K | 2,10 | 1,68 | 2,09 | 2,10 |
| Längenausdehnungskoeffizient | 10 ⁻⁴ K ⁻¹ | 1,5 | 1,8 | 1,5 | 1,8 |

4.4. Kerbschlagzähigkeit

Wichtig ist hier jedoch bereits die Feststellung der Kerbschlagzähigkeit, besonders bei niederen Temperaturen. Sie gibt Auskunft über das Maß der Gefährdung, der ein Rohr aus einem bestimmten Werkstoff bei der Montage z.B. unter ungünstigen Temperaturbedingungen ausgesetzt ist. Hieraus sind bereits graduelle Unterschiede zu erkennen. Es zeigt sich, daß z.B. Polypropylen relativ empfindlich gegen Belastungen bei Kälte ist, während vernetztes Polyäthylen sich gegen diese Belastungen als ziemlich unempfindlich erweist.

4.5. Der Faktor "Zeit"

Grundsätzlich können nur nach dem Hinzutreten des Faktors "Zeit" aussagekräftige Meßwerte über das Verhalten von Rohrwerkstoffen genommen werden, da sich fast alle physikalischen Eigenschaften der in Frage kommenden Kunststoffe unter Belastung mit der Zeit verändern. Daher können nur Dauerversuche unter praxisgerechten Lasten Aufschluß über die letztlich für den Einsatz von bestimmten Kunststoffen für Fußbodenheizungsrohre entscheidenden Werkstoffeigenschaften geben.

4.6. Innendruck-Zeitstandfestigkeit

4.6.1. Allgemeines Verhalten

Die wichtigste zeitabhängige Eigenschaft von Kunststoffrohren für Fußbodenheizungen ist die Innendruck-Zeitstandfestigkeit. Zur Prüfung dieser Eigenschaft werden die Rohre mit Wasser einer bestimmten konstant zu haltenden Temperatur unter Innendruck gesetzt. Abhängig von der Höhe dieses Innendrucks und dem Außendurchmesser und der Wanddicke des Rohres entsteht in der Rohrwand eine bestimmte "Vergleichsspannung". Gemessen wird die Zeitdauer vom Beginn des Innendruckversuchs bis zum Bruch des Rohres, außerdem die "Vergleichsspannung" in der Rohrwand, bei der der Bruch auftrat. Die Ergebnisse dieser Messungen können in Grafiken veranschaulicht werden [6]. Hierbei wird der Zeitverlauf logarithmisch horizontal, die Vergleichsspannungen ebenfalls logarithmisch vertikal aufgetragen. Im Bereich kurzer Zeiträume verlaufen die sich so ergebenden Kurven verhältnismäßig flach und zunächst bei VPE vollkommen gerade, bei Polypropylen nur ganz leicht gekrümmt. Nach längerer Belastungszeit krümmen sich die Kurven deutlich nach unten, das heißt, die Druckbelastbarkeit der Rohre nimmt ab.

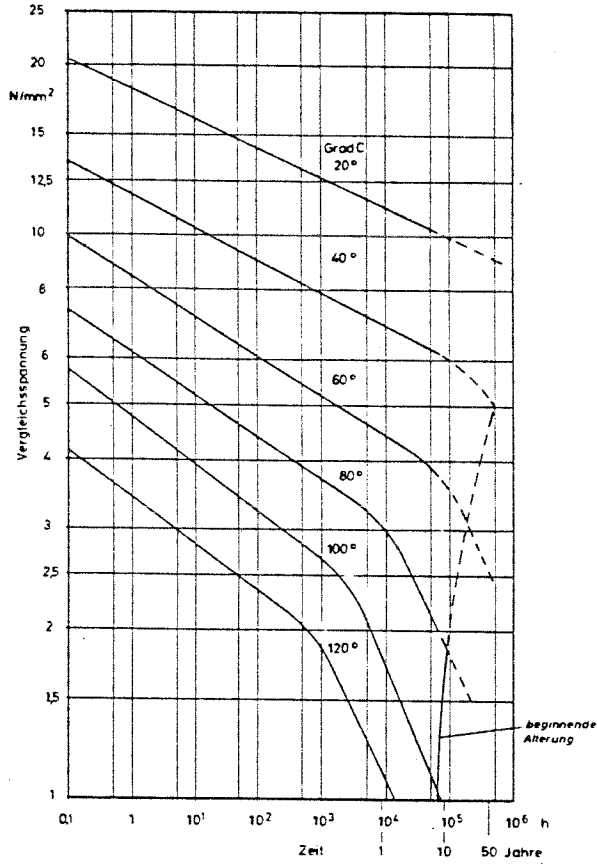


Abb. 11: Innendruck-Zeitstandfestigkeit von Fußbodenheizungsrohren aus Polypropylen-Copolymerisat, Außendurchmesser 20 mm, Wanddicke 2 mm

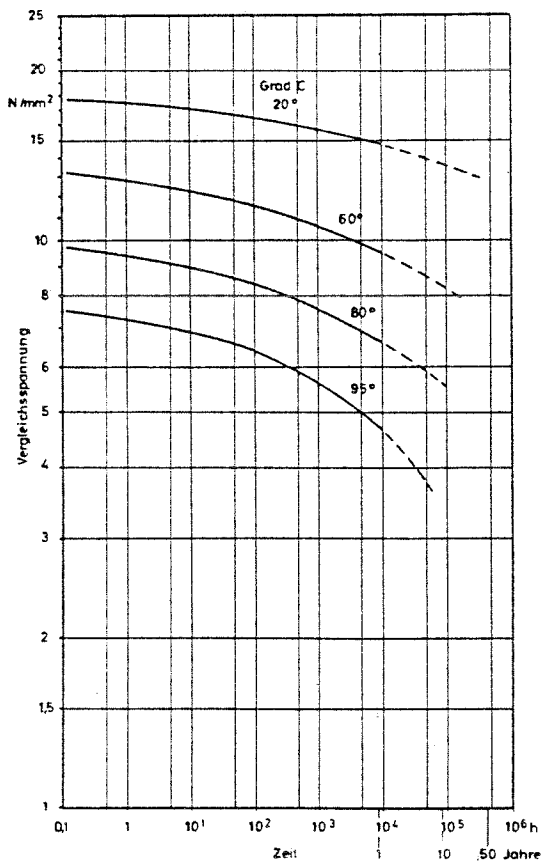


Abb. 12: Innendruck-Zeitstandfestigkeit von Fußbodenheizungsrohren aus Polybuten, Außendurchmesser 20 mm, Wanddicke 2 mm

4.6.2. Sonderstellung von vernetztem Polyäthylen

Eine Ausnahme bildet hier vernetztes Polyäthylen, bei dem in allen Temperaturbereichen während des bisherigen Versuchszeitraums von annähernd 10 Jahren noch keine Krümmung der Belastungskurven festzustellen ist. Hier ist lediglich eine geringfügige Neigung der Geraden abzulesen, das heißt, nach der Entzerrung der logarithmischen Darstellung, daß die Verringerung der Druckbelastbarkeit von Rohren aus vernetztem Polyäthylen ständig abnimmt. Versuche mit den bereits länger gebräuchlichen Rohrwerkstoffen Polypropylen und Polybuten haben gezeigt, daß eine Erhöhung des Molekulargewichts zu einer Verbesserung der Innendruckzeitstandfestigkeit führt. Diese Möglichkeit kann allerdings nicht unbegrenzt ausgenützt werden, da die Erhöhung des Molekulargewichts die Verarbeitung der Werkstoffe erheblich erschwert. Beim Polyäthylen, das nur in Temperaturbereichen unter und bis zu 40°C befriedigende Ergebnisse zeigte, ergab sich die Möglichkeit, die Erhöhung des Molekulargewichts durch einen Ver-

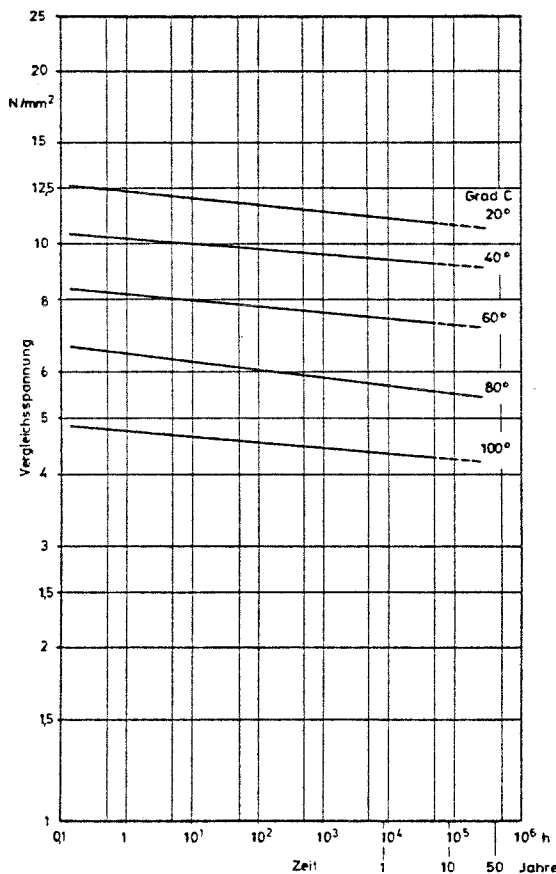


Abb. 13: Innendruck-Zeitstandfestigkeit von Fußbodenheizungsrohren aus vernetztem Polyäthylen, Außendurchmesser 20 mm, Wanddicke 2 mm

netzungsprozeß während des Extrusionsvorgangs zu erzielen. Das Ergebnis rechtfertigte den aufwendigen Herstellungsprozeß.

4.6.3. Vernetzungsgrad, Vernetzungsverfahren

Als idealer Vernetzungsgrad für Polyäthylen-Fußbodenheizungsrohre hat sich eine Vernetzung von ca. 80 % der Moleküle erwiesen. Ein geringerer Vernetzungsgrad läßt die Vorteile der Vernetzung nicht ausreichend zur Geltung kommen, ohne daß der Aufwand der Herstellung wesentlich geringer wäre. Ein Vernetzungsgrad über 80 % erschwert hingegen die Verarbeitung der Rohre an der Baustelle übermäßig, weil deren Steifheit durch die Veränderung der Molekularstruktur mit dem Grad der Vernetzung überproportional zunimmt.

Die Schwierigkeit, den idealen Vernetzungsgrad des Polyäthylens während der Herstellung genau zu erreichen, hat dazu geführt, daß mehrere Vernetzungsverfahren entwickelt worden sind, die mit unterschiedlichem aber in jedem Falle großem maschinellen Aufwand arbeiten. Mit diesen Verfahren läßt sich der Vernetzungsgrad verschieden genau erreichen. Eines der genauesten Verfahren bedingt eine sehr niedere Extrusionsgeschwindigkeit der Rohre, so daß der Ausnutzungsgrad der Herstellungsanlagen relativ gering bleibt. Diese Tatsache ist der Grund dafür, daß Rohre aus VPE - entsprechend dem Aufwand des Herstellungsverfahrens - die teuersten Fußbodenheizungsrohre aus Kunststoffen sind, was allerdings durch hervorragende Eigenschaften gerechtfertigt wird.

4.6.4. Einfluß der Herstellung auf die Innendruck-Zeitstandfestigkeit

Nicht nur das Vernetzungsverfahren für Rohre aus Polyäthylen beeinflusst die Eigenschaften des fertigen Rohres. Die sorgfältige oder weniger sorgfältige Extrusion wirkt sich auch auf die Eigen-

schaften - besonders auf die Innendruck-Zeitstandfestigkeit - von Rohren aus Polypropylen und Polybuten aus. Die oben gezeigten Innendruck-Zeitstandfestigkeitskurven gelten daher nicht allgemein, sondern nur für die Rohre eines bestimmten Herstellers. Sie zeigen allerdings sehr typische Eigenarten der Rohre aus den verschiedenen Werkstoffen, die durchaus verallgemeinert werden können.

4.6.5. Unterschiedliche Belastbarkeit

Es kann abgeleitet werden, daß die Druckbelastbarkeit von Rohren aus Polypropylen-Copolymerisat und, nur wenig geringer, von Polybuten-Rohren, für kurze Standzeiten erheblich höher liegt als die von Rohren aus vernetztem Polyäthylen. Umgekehrt zeigen Rohre aus vernetztem Polyäthylen bei langen Standzeiten unter gleichen Bedingungen eine höhere Bruchfestigkeit unter dem Einfluß von Innendruck als solche aus Polybuten und Polypropylen-Copolymerisat.

Aus der festgestellten Innendruck-Zeitstandfestigkeit werden von den Rohrherstellern Richtlinien für die maximal zulässige Beanspruchung ihrer Erzeugnisse aufgestellt, die den Erstellern und Betreibern von Fußbodenheizungsanlagen mehr oder weniger deutlich zur Kenntnis gebracht werden.

Eine solche Herstellerrichtlinie wird in den folgen drei Tabellen wiedergegeben.

Zulässige Beanspruchung für Rohre aus PP-C nach DIN 8077

| Temperatur °C | Betriebsjahre | zulässige Beanspruchung (N/mm ²) | |
|------------------|---------------|---|----------------------|
| | | | p ⁺ (bar) |
| 20 | 50 | 5 | 10 |
| 40 | 10 | 4 | 8 |
| 60 | 10 | 2,5 | 5 |
| 80 | 10 | 1,25 | 2,5 |

+) für Rohre mit Außendurchmesser d = 20 mm und Wanddicke s = 2 mm

Zulässige Beanspruchung für Rohre aus PB

| Temperatur °C | Betriebsjahre | zulässige Beanspruchung (N/mm ²) | Beanspruchung p* (bar) |
|------------------|---------------|---|---------------------------|
| 20 | 50 | 6,5 | 14 |
| 40 | 10 | 5,5 | 12 |
| 60 | 10 | 4,6 | 10 |
| 80 | 10 | 3,0 | 6 |

+) für Rohre mit Außendurchmesser d = 20 mm und Wanddicke s = 2 mm

Zulässige Beanspruchung für Rohre aus VPE

| Temperatur °C | Betriebsjahre | zulässige Beanspruchung (N/mm ²) | Beanspruchung p* (bar) |
|------------------|---------------|---|---------------------------|
| 20 | 50 | 5 | 10 |
| 40 | 10 | 5 | 10 |
| | 25 | 5 | 10 |
| 60 | 10 | 4 | 8 |
| | 25 | 4 | 8 |
| 80 | 10 | 3 | 6 |

+) für Rohre mit Außendurchmesser d = 20 mm und Wanddicke s = 2 mm

4.6.6. Praxisnahe Annahmen für Druck- und Temperaturbelastung

Selbstverständlich stellen solche Tabellen die Übertragung der Maximalanforderungen aus den Innendruck-Zeitstandversuchen dar, die sowohl von der Temperatur als auch vom Druck her nichts mit der Praxis zu tun haben. Wie schon weiter vorne dargelegt, betragen die üblichen Vorlauftemperaturen in Fußbodenheizungssystemen ca. 35 bis 45 °C, schon 60 °C kommen äußerst selten und 80 °C praktisch nie vor. Kurzfristige Ausnahmen von überhöhter Temperaturbelastung der Rohre können nur im Falle solcher Heizungsanlagen auftreten, die als Wärmeerzeuger einen konventionellen Kessel haben. Hier können Störungen in der Regelanlage dazu führen, daß Heizwasser mit der bei Heizkesseln üblichen maximalen Vorlauftemperatur von 95 °C ins

Rohrsystem gelangen. Solche Störungen können aber praktisch nicht lange unbemerkt bleiben, da sich der Fußboden in sehr kurzer Zeit unerträglich aufheizt, was zu einer umgehenden Abschaltung führen wird. Es hat sich allerdings gezeigt, daß Rohre aus VPE solche kurzfristigen Temperaturüberlastungen noch besser überstehen, als Rohre aus anderen Kunststoffen.

Auch die in den vorstehenden Tabellen genannten Drücke sind nicht realistisch und haben mit dem praktischen Betrieb einer Fußbodenheizungsanlage wenig zu tun. Nach DIN 4751 "Heizungsanlagen; Sicherheitstechnische Ausrüstung von Warmwasserheizungen mit Vorlauftemperaturen bis 110 °C" ist der Betriebsdruck solcher Anlagen - auch Fußbodenheizungen gehören dazu - auf 2,5 bar begrenzt. Eine Abweichung nach oben von bis zu 20 %, also 0,5 bar, kann toleriert werden. Damit ist der höchstmögliche jemals auftretende Betriebsdruck einer Warmwasser-Fußbodenheizung auf 3,0 bar festgelegt. Es kann also mit Fug und Recht behauptet werden, daß Fußbodenheizungsrohre aus PP-C, PB und VPE bei einer Dauerbelastung von 45 °C und 3 bar voraussichtlich weit mehr als 50 Betriebsjahre ohne Störung erreichen werden. Doch auch diese Belastungswerte stellen noch keine realistische Beurteilungsgrundlage dar, denn der Druck im Heizungssystem wird nur in den seltensten Fällen den oberen Regelwert von 2,5 bar erreichen; ein wahrscheinlicherer und gebräuchlicher Wert liegt bei 2 bar. Die höchste angesetzte Vorlauftemperatur, bei Fußbodenheizungen eben ca. 45 °C, wird - gemäß der Häufung ungünstiger Annahmen in der DIN 4701 "Heizungen; Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden" - erst bei einer Außentemperatur von - 18°C erreicht. Nach Statistiken tritt diese Temperatur z.B. in München ca. alle 10 Jahre an einem Tag auf, an zwei aufeinanderfolgenden Tagen höchstens alle 20 Jahre! Untersuchungen haben ergeben [3], daß der wirkliche maximale Wärmeverbrauch nur etwa 70 bis 75 % des nach DIN 4701 von 1959 errechneten Wärmebedarfs beträgt. Dadurch wird auch die

Temperaturbelastung der Heizungsrohre gegenüber den oben gezeigten Tabellen noch weiter reduziert. Zieht man zusätzlich in Betracht, daß eine Heizungsanlage im Klimabereich der Bundesrepublik Deutschland nur ca. 8 Monate im Jahr in Betrieb sein muß, so reduziert sich die thermische Belastung der Heizungsrohre gegenüber den theoretischen Annahmen noch einmal erheblich.

4.7. Alterung und Molekularstruktur

Dies ist nicht nur für die Innendruck-Zeitstandfestigkeit der Rohre von großer Bedeutung, sondern für ihr gesamtes Langzeitverhalten. Wie jeder Werkstoff, so sind auch die Kunststoffe der Fußbodenheizungsrohre einem ständigem Alterungsprozeß ausgesetzt. Zwei Komponenten sind für die Alterung der Rohrwerkstoffe von besonderer Bedeutung: Wärme und Sauerstoff. Jede dieser Komponenten allein führt zur Alterung der Kunststoffe, wichtig ist allerdings ihr Zusammenwirken, wobei im Wasser gelöster Sauerstoff die gleiche Wirkung hat wie der Luftsauerstoff.

Die oxidative Alterung, die durch Wärme beschleunigt wird, betrifft alle Kunststoffe, die für die Herstellung von Fußbodenheizungsrohren angewandt werden, allerdings in verschieden starkem Maß. Im Molekulargefüge aller dieser Werkstoffe befinden sich Kohlenstoffatome mit freien Valenzen, an die sich der Sauerstoff anlagert. Das Maß der Oxidation ist abhängig von der Zahl dieser freien Kohlenstoffbindungen; daher wird Polybuten am stärksten von dieser Erscheinung betroffen, am wenigsten das vernetzte Polyäthylen.

Von der allgemein als Alterungserscheinung der Kunststoffe bekannten Versprödung wird das vernetzte Polyäthylen meßbar am wenigsten in Mitleidenschaft gezogen. Erklärbar ist diese Tatsache dadurch, daß sich Brüche der langen Fadenmoleküle bei vernetztem Polyäthylen deshalb weniger auswirken, weil die Moleküle untereinander verbunden -

eben "vernetzt" - sind. Bei den anderen Rohrwerkstoffen ist dies nicht der Fall, hier sind die Molekülketten untereinander nicht verbunden, sondern nur aneinandergelagert.

Aus der Molekularstruktur erklärt sich auch die oben schon erwähnte hervorragende Kerbschlagzähigkeit des vernetzten Polyäthylens, die auch bei niederen Temperaturen (siehe Tabelle auf Seite 33) erhalten bleibt. Versuche eines Rohrherstellers haben ergeben, daß diese für Transport und Montage der Fußbodenheizungsrohre sehr wichtige Eigenschaft beim vernetzten Polyäthylen noch bei extrem niederen Temperaturen erhalten bleibt. Dieses Versuchsergebnis kann deshalb als unvoreingenommen angesehen werden, weil der besagte Hersteller nicht nur Rohre aus VPE, sondern auch solche aus Polypropylen-Copolymerisat und Polybuten erzeugt.

4.8. Berstdruckfestigkeit

Unter den Eigenschaften der Kunststoffrohre für Fußbodenheizungen wird oft die Berstdruckfestigkeit der Rohre in den Vordergrund gestellt. Dadurch könnte der Eindruck entstehen, daß hohe Berstdruckfestigkeit gleichbedeutend sei mit höherer Sicherheit für den Betrieb der Anlagen. Dies ist nur eingeschränkt der Fall. Berstdruckfestigkeit ist - wie z.B. Kerbschlagzähigkeit - eine Eigenschaft, die in Kurzzeitprüfungen ermittelt wird. Herstellerangaben über Berstdruckfestigkeiten beziehen sich notwendigerweise immer auf neue Rohre. Durch den Alterungsprozeß, dem die Rohre unterworfen sind, verringern sich diese Werte jedoch mit der Zeit. Ein Rückschluß von der Berstdruckfestigkeit des neuen Rohres auf die Innendruck-Zeitstandfestigkeit kann nicht gezogen werden.

4.9. Schweißbarkeit

Eine Eigenschaft der Fußbodenheizungsrohre aus Kunststoffen, die Beachtung verdient, ist die Schweißbarkeit. Die Rohre werden in

Ringbunden von üblicherweise 100 bis 120 Metern Länge geliefert. Dies entspricht ungefähr der empfehlenswerten Länge eines Heizkreises; längere Heizkreise erfordern auf Grund größerer Leitungsverluste die Erhöhung der Drücke und Durchflußmengen. Trotzdem können Fälle eintreten, in denen längere Heizkreise erforderlich werden. Dann besteht die Möglichkeit, die Rohre durch Messing-Klemmfittings miteinander zu verbinden. Solche Verbindungen dürfen aber nur so eingebaut werden, daß sie stets frei zugänglich bleiben. Dies ist von der Grundkonzeption der Fußbodenheizung her oft undurchführbar. Daher ist es wichtig, daß Rohre aus Polypropylen, Polypropylen-Copolmerisat und Polybuten durch Muffenschweißung homogen miteinander verbunden werden können. Solche Verbindungsstellen können - wie bei der gesamten Fußbodenheizungsanlage, so auch hier sorgfältigste Ausführung vorausgesetzt - ohne Bedenken in die Fußbodenkonstruktion eingebaut werden.

Ein zwar seltener, aber nicht ganz auszuschließender Fall ist es, daß Fußbodenheizungsrohre bei der Verlegung geknickt werden. Bei Rohren aus Polypropylen, Polypropylen-Copolymerisat und Polybuten müssen solche Knickstellen zur Vermeidung von Folgeschäden unbedingt herausgetrennt werden. Die Rohrenden können in diesem Fall ebenso durch eine Muffenschweißung wieder verbunden werden.

4.10. "Memory-Effekt" von vernetztem Polyäthylen

Rohre aus vernetztem Polyäthylen können nicht verschweißt werden, da der ursprünglich schweißbare thermoplastische Kunststoff durch das Vernetzungsverfahren in seiner Molekülstruktur verändert und in einen "thermoelastischen" Kunststoff verwandelt wird. Das heißt, daß er sich in bestimmten Temperaturbereichen elastisch formen läßt, aber bis zur Zersetzungstemperatur nicht plastisch fließbar wird [7]. Dafür tritt der sogenannte "Memory-Effekt" auf: bei Erhitzung bis zum Schmelzpunkt des Kristallitgefüges, äußerlich da-

durch erkennbar, daß das Rohr glasklar und durchsichtig wird, nimmt es seine ursprüngliche, bei der Extrusion gegebene Form wieder an; Knickstellen müssen also nicht entfernt, sie können "repariert" werden. In wieweit die Molekularstruktur durch den Knick jedoch irreparable Veränderungen erfährt, ist noch nicht vollständig geklärt.

4.11. Normen für Rohre aus PP, PP-C, und PB

Bei der aufgezeigten Unterschiedlichkeit der Eigenschaften von Fußbodenheizungsrohren aus den verschiedenen Werkstoffen stellt sich die Frage nach einer objektiven Vergleichsmöglichkeit der Eignung für den Einsatz der Rohre in Praxis. Solche Vergleichsmöglichkeiten werden in vielen Bereichen der Technik durch Normen geschaffen, die in ihrem Aufbau gleich gestaltet und meist auf bestimmte Anwendungen der genormten Gegenstände bezogen sind. Für Rohre aus Kunststoffen trifft dies nur teilweise zu, besonders für Rohre, die zum Einbau in Fußbodenheizungen angewandt werden. Es existiert hier nur eine einzige voll gültige Norm, nämlich für Rohre aus Polypropylen [8]

DIN 8078 (2.1972)

Rohre aus PP (Polypropylen);

Allgemeine Güteanforderungen, Prüfung

Da die Einsatzmöglichkeit von Polypropylenrohren für Fußbodenheizungen auf Grund ihrer Eigenschaften von Rohren aus anderen Werkstoffen teilweise übertroffen wird, (siehe Tabelle auf Seite 33), und solche Rohre daher immer mehr von Rohren aus Polypropylen-Copolymerisat abgelöst werden, verliert diese Norm für Fußbodenheizungsrohre allmählich an Interesse.

Der zunehmenden Bedeutung von PP-C wurde Rechnung getragen durch die Schaffung des Normenentwurfs [9]

Entwurf DIN 8078 Teil 2 (11.76)

Rohre aus PP-C (Polypropylen-Copolymerisat);

Allgemeine Güteanforderungen, Prüfung

Im Entwurfsstatus besitzt dieses Normblatt natürlich noch keine Verbindlichkeit und soll daher nur auf Vereinbarung und "ausnahmsweise im wirtschaftlichen Verkehr angewendet werden". So ist also die Bedeutung auch dieser Norm für die Praxis vorläufig nur sehr gering.

Für Rohre aus Polybuten gibt es die [10]

Vornorm DIN 16968 (11.76)

Rohre aus Polybuten - 1 (PB);

Allgemeine Güteanforderungen, Prüfung

Wie ein Normentwurf ist eine Vornorm eine Norm, deren endgültige Fassung anders lauten kann als die vorliegende. Im Gegensatz zum Normentwurf soll nach der Vornorm jedoch bereits gearbeitet werden. Dies ist im vorliegenden Fall jedoch nur mit Einschränkungen möglich. Es gab bisher nur zwei Polybutenhersteller auf der ganzen Welt: eine Tochterfirma einer multinationalen Ölgesellschaft in den USA und ein Chemiewerk in der Bundesrepublik Deutschland. Die DIN 16968 wurde als Minimalanforderung an Rohre aus dem Werkstoff des deutschen Herstellers aufgestellt. Da da dieser die Produktion von PB inzwischen eingestellt hat, werden auch in der Bundesrepublik Deutschland Polybutenrohre nur noch aus dem Material des US-Produzenten extrudiert. Dieser Werkstoff weist allerdings Eigenschaften auf, die von denen des früheren deutschen Polybutens abweichen.

Eine Norm für Rohre aus vernetztem Polyäthylen gibt es nicht. Die Normen

DIN 8073 (3.76)

Rohre aus PE weich (Polyäthylen weich);

Allgemeine Güteanforderungen, Prüfung

und

DIN 8075 Teil 1 (8.76)

Rohre aus PE hart (Polyäthylen hart) Typ 1;

Allgemeine Güteanforderungen, Prüfung

sowie

Entwurf DIN 8075 Teil 2 (11.76)

Rohre aus PE hart (Polyäthylen hart) Typ 2;

Allgemeine Güteanforderungen, Prüfung

können wegen grundsätzlich verschiedener Eigenschaften des vernetzten Polyäthylens nicht herangezogen werden.

4.12. Vergleichbarkeit der Normen - Vergleichbarkeit der Werkstoffe

Vergleicht man nun die Normen DIN 8078 [8], Entwurf DIN 8078 Teil 2 [9] und Vornorm DIN 16968 [10], dann stellt man fest, daß sie in ihrem Aufbau untereinander ähnlich sind und über sehr allgemeine Eigenschaften wie z.B. Lieferzustand und Oberflächenbeschaffenheit der Rohre durchaus vergleichbare Aussagen gemacht werden.

DIN 8078 und Entwurf DIN 8078 Teil 2 verlangen für Rohre aus Polypropylen und Polypropylen-Copolymerisat zwar noch die Messung der Festigkeitseigenschaften beim Schlagbiegeversuch, nicht jedoch Vornorm DIN 16968 für Polybutenrohre; die für Fußbodenheizungsrohre sehr wichtige Kerbschlagzähigkeit wird in keiner der Normen erwähnt, eine bestimmtes Prüfverfahren nirgendwo verbindlich vorgeschrieben.

Vergleicht man in den drei in Frage kommenden Normen die jeweils in Tabelle 3 festgelegten Maße der für die Prüfungen heranzuziehenden Prüfkörper, so stellt man fest, daß in Entwurf DIN 8078 Teil 2 für Rohre aus Polypropylen-Copolymerisat eine Messung sowohl der

Schlagzähigkeit als auch der Innendruck-Zeitstandfestigkeit nur für Rohre von 200 mm Durchmesser und darüber vorgesehen ist, obwohl sich dieser Normentwurf auf die Norm DIN 8077 bezieht, welche die Maße für Rohre aus PP von 10 mm Durchmesser an aufwärts festlegt.

Für den Zeitstand-Innendruckversuch legen die Normblätter DIN 8078, Entwurf DIN 8078 Teil 2 und Vornorm DIN 16968 ein einheitliches Verfahren fest. Dieser Versuch wird an geraden Rohrstücken durchgeführt. Die Normen berücksichtigen jedoch nicht, daß die Innendruck-Zeitstandfestigkeit von gebogenen Rohren z.B. durch die eventuellen Veränderung der Molekularstruktur durch das Biegen, durch Spannungen in Bögen (evtl. verschieden in Abhängigkeit vom Verhältnis von Rohrdurchmesser, Wanddicke und Biegeradius) andere Werte ergeben kann als von geraden Rohren. Bisher sind auch noch keine Zeitstand-Innendruckversuche an gebogenen Fußbodenheizungsrohren verschiedener Herkunft und Werkstoffbasis unter vergleichbaren Versuchsbedingungen durchgeführt worden. Ein entsprechender Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau wird z.Zt. bei einem unabhängigen Kunststoffinstitut durchgeführt. Zwischenergebnisse sind noch nicht bekannt.

Schließlich sei noch die in allen drei Normblättern [8], [9], [10] enthaltene Prüfung des "Verhaltens nach Warmlagerung" erwähnt. Zwar prüfen die Normen weder kurzzeitige noch Langzeit-Festigkeitswerte nach der Wärmebelastung im Vergleich zum Ausgangszustand, sondern lediglich Maßänderungen und Oberflächenbeschaffenheit. Dennoch kann aus den in den Normen festgelegten Versuchsbedingungen geschlossen werden, daß Polybuten beim Einsatz als Fußbodenheizungsrohr sich bei länger anhaltender Temperaturüberlastung (z.B. nicht bemerktem Defekt der Vorlauftemperaturregelung in Verbindung mit einem konventionellen Heizkessel) anders verhalten wird als Polypropylen und Polypropylen-Copolymerisat. Während PP

nach DIN 8078 und PP-C nach Entwurf DIN 8078 Teil 2 unabhängig von der Wanddicke einer Temperaturbelastung von 150 °C für die Dauer von 120 Minuten in Luft oder 30 Minuten im Glykolbad ausgesetzt werden, sieht Vornorm DIN 16968 für PB₁-Rohre eine Temperaturbelastung von 110 °C in Luft vor und zwar gestaffelt nach der Dicke der Rohrwand. Rohre mit Wanddicken bis einschließlich 5mm (als Fußbodenheizungsrohre aus Polybuten werden Rohre mit Wanddicken von 2 mm eingesetzt) werden dieser Temperatur 60 Minuten ausgesetzt, von 5 bis 10 mm beträgt die Einwirkungsdauer 75 Minuten und wenn die Wanddicke 10 mm und darüber beträgt, soll das Rohr 90 Minuten lang mit der Temperatur von 110 °C belastet werden.

4.13. Technische Lieferbedingungen

Weitere Anforderungen werden von den Normen nicht an Rohre gestellt, die - soweit sie im Normenwerk erfaßt sind - sich von der Werkstoffbasis her zum Einsatz als Fußbodenheizungsrohre eignen. Allerdings räumen die Normen ein, daß "in den Technischen Lieferbedingungen für die verschiedenen Anwendungsgebiete einzelne Anforderungen nach dieser Norm wegfallen oder ergänzt werden" können. Allgemein verbindliche "Technische Lieferbedingungen für Fußbodenheizungsrohre aus Kunststoff" bzw. ".... aus PP", ".... aus PP-C", ".... aus PB" oder ".... aus VPE" als einheitliche Mindestanforderung an die Industrieerzeugnisse gibt es bis heute nicht. Ihre Aufstellung wäre geeignet, Mißtrauen und Unsicherheiten bei Planern, Verarbeitern und Bauherren wenn nicht zu beseitigen, so doch mindestens teilweise abzubauen.

5. Erfahrungen mit Fußbodenheizungsrohren aus Kunststoffen

Wenn in diesem Rahmen über Erfahrungen mit Fußbodenheizungsrohren aus Kunststoffen berichtet wird, dann kann es sich nicht um die Erfahrungen handeln, daß - einen verschwindend geringen Prozentsatz ausgenommen - diese Anlagen einwandfrei und zufriedenstellend ihre Aufgabe erfüllen. Es ist eher eine Selbstverständlichkeit, die nicht erwähnt werden muß, daß ein Stück Technik fehlerlos funktioniert. Vielmehr müssen hier Erfahrungen wiedergegeben werden, die dazu führen, daß Bauherren, Planer und Heizungsbauer diese Anlagen besser verstehen bzw. noch optimaler gestalten können. Darüber hinaus gilt es, diejenigen Fälle aufzuzeigen, in denen Fußbodenheizungsanlagen mit Kunststoffrohren Störungen bzw. Schäden aufweisen, um beim Bau oder Betrieb von Fußbodenheizungen die Ursachen solcher Störungen und Schäden künftig möglichst zu vermeiden. Es sei, um jedem Mißverständnis zu begegnen, noch einmal betont, daß hier geschilderte negative Erfahrungen nicht den Normalfall darstellen, sondern - ganz im Gegenteil ! - sich auf eine sehr geringe Anzahl von Anlagen beziehen. Das ist besonders wichtig deshalb, weil sich immer mehr Bauherren (glaubhaften Zahlen zufolge bereits an die 49 %) für den Einbau einer Fußbodenheizungsanlage interessieren.

5.1. Rohrdurchmesser

Bei der Entscheidung für eine Fußbodenheizung mit Kunststoffrohren ist gleichzeitig die Entscheidung für ein bestimmtes System fällig. Viele Systeme werden mit Rohren verschiedenen Durchmessers angeboten. Der übliche und gebräuchlichste Rohraußendurchmesser beträgt 20 mm bei einer Wanddicke von 2 mm, das Rohr hat einen lichten Querschnitt von 200 mm². Es werden allerdings auch Systeme mit Rohren vom Außendurchmesser 16 mm und Wanddicke ebenfalls 2 mm angeboten. Ihr lichter Querschnitt beträgt nur ca.

110 mm², also nur geringfügig mehr als die Hälfte des größeren Rohrquerschnitts, während der innere Rohrumfang mit ca. 38 mm fast genau drei Viertel des größeren inneren Rohrumfangs beträgt. Wenn man nun noch bedenkt, daß die Durchflußmenge im dünneren wie im dickeren Rohr gleich sein muß, wenn (bei gleichem Verhältnis von Vor- und Rücklaufemperatur) die gleiche Wärmemenge transportiert und abgegeben werden soll, dann ist es vorstellbar, daß zur Überwindung des größeren Leitungswiderstandes höhere Pumpenleistungen erforderlich sind. Die Erfahrung bestätigt das. Die Größenordnung dieser Mehrleistung ist rechnerisch feststellbar, sie liegt über 1000 kW/Jahr [11] .

5.2. Materialfehler

Die unangenehmste denkbare Erfahrung, die allerdings nur sehr selten gemacht wird, ist das Undichtwerden von im Fußboden eingebauten Heizungsrohren aus Kunststoff. Wie bereits gezeigt wurde, sind entsprechend sorgfältig hergestellte Rohre aus Polypropylen, Polypropylen-Copolymerisat und vernetztem Polyäthylen durchaus in Lage, die bei Einsatz als Fußbodenheizungsrohr an sie gestellten Anforderungen über einen Zeitraum von mindestens 50 Jahren voll zu erfüllen. Die Qualitätskontrolle der Herstellerwerke, oft noch ergänzt durch regelmäßige Fremdüberwachung durch unabhängige Institute und Materialprüfungsanstalten, bedient sich modernster wissenschaftlicher und technischer Erkenntnisse und Methoden, so daß ein Versagen der Rohre aufgrund von Materialfehlern praktisch ausgeschlossen werden kann.

5.3. Transportschäden

Wesentlich mehr Unsicherheiten als bei der Herstellung der Rohre bestehen bei Transport, Lagerung und Einbau. Hier liegen viele Mög-

lichkeiten der Beschädigung, Schädigung und des "Einbaus" von Folgeschäden.

Am deutlichsten erkennbar sind Transportschäden wie Kratzer, Beschädigungen durch Schlag und ähnliche mechanische Einwirkungen. Sie sollten beim Verlegen des Rohres erkannt und (wie vorne besprochen durch Herausschneiden und Muffenverschweißung der Enden) beseitigt werden. Bei Rohren aus vernetztem Polyäthylen kommen solche Beschädigungen wegen seiner hohen Zähigkeit und Flexibilität ohnehin wesentlich seltener vor.

Wesentlich kritischer als diese leicht erkennbaren mechanischen Beschädigungen sind Schäden aus falscher Lagerung, die nicht ohne weiteres auf den ersten Blick erkennbar sind. So kann man z.B. hin und wieder an Baustellen beobachten, daß Ringbunde von Kunststoffrohren nach dem Abladen bei der Anlieferung tage- und manchmal auch wochenlang im Freien, u.U. in der Sonne liegenbleiben, d.h. der Bewitterung und UV-Bestrahlung ausgesetzt werden. Die Eigenschaften von Bauteilen usw. werden vom Hersteller natürlich in erster Linie auf den vorgesehenen Einsatz abgestimmt, weniger darauf, was damit bei Transport und Zwischenlagerung geschieht. Wie sehr viele Kunststoffe sind auch die Werkstoffe für Fußbodenheizungsrohre UV-empfindlich. Da der Einsatz von Fußbodenheizungsrohren stets ohne Einwirkung von UV-Strahlung erfolgt, werden auch keine Stabilisatoren beigefügt, um sie gegen diese Strahlung beständig zu machen. Daher können die oben beschriebenen Nachlässigkeiten in der Lagerung der Rohre zu Schädigungen der Molekularstruktur durch UV-Strahlung führen, die nicht ohne Materialprüfung erkennbar sind, d.h. in diesem Stadium des Arbeitsablaufes auch nicht mehr erkannt werden. Dadurch kann Rohrmaterial zum Einbau in die Fußbodenheizungsanlagen gelangen, das stärker zur Bildung der gefürchteten Spannungsrisse und zu früherem Nachlassen der Innendruck-Zeitstandfestigkeit neigt als nicht UV-bestrahlte Rohre.

5.4. Verlegung

5.4.1. Falsches Biegen - Spannungsrißgefahr

Ursache für das Undichtwerden von Fußbodenheizungsrohren können auch Verlegefehler sein. Die häufigsten Verlegefehler geschehen (dennoch äußerst selten, das sei immer wieder betont !) beim Biegen der Rohre. Alle Werkstoffe, aus denen Fußbodenheizungsrohre hergestellt werden, Polybuten, Polypropylen, Polypropylen-Copolymerisat und vernetztes Polyäthylen, haben einen niederen Elastizitätsmodul; sie sind daher flexibel und lassen sich leicht biegen. Das kann dazu verleiten, die Rohre "kalt", d.h. bei der auf der Baustelle gerade bestehenden Raumtemperatur zu biegen. Es ist selbstverständlich, daß dadurch in den Rohrbögen beträchtliche Spannungen entstehen, die, wie in Kap. 4 bereits gesagt, mit der Zeit teilweise relaxieren. Ein Spannungsrest jedoch bleibt erhalten, der - nicht in jedem Fall, aber hin und wieder - dazu ausreicht, im Lauf der Zeit Spannungsrisse in den Rohrbögen zu verursachen, besonders wenn andere Umstände hinzukommen, die im weiteren noch zu besprechen sein werden.

5.4.2. Richtiges Biegen

Zur Vermeidung des "Einbaus" solcher Spannungen empfiehlt es sich, die Rohre "warm" zu biegen, d. h. vor dem Biegen auf eine bestimmte Temperatur zu erwärmen. Die Biegetemperatur sollte günstigerweise nur knapp unter dem Kristallitschmelzpunkt des Rohrwerkstoffs liegen. Werden die Rohre bei niedrigeren Temperaturen verformt, dann bleiben - zwar in geringerem Maß, aber immerhin - noch Spannungen in der Rohrwand erhalten, die unter ungünstigen Umständen immer noch den beschriebenen Effekt der Spannungsrißbildung hervorrufen können.

Am empfindlichsten in Bezug auf die Biegetemperatur sind Rohre

aus Polybuten, die sich auch unter Wärmeeinwirkung nur sehr schwer und auch nur bis zu einem gewissen Grad verformen lassen, wobei gravierende Veränderungen in der Molekularstruktur eintreten. Im Verlauf von einigen Tagen bilden sich diese Veränderungen zurück [6]. Allerdings sollten auch Rohre aus Polypropylen und Polypropylen-Copolymerisat nur innerhalb enger, genau kontrollierter Temperaturgrenzen gebogen werden. Daher empfiehlt es sich, alle diese Rohre in einem Flüssigkeitsbad zu erwärmen, dessen Temperatur gut gleichmäßig gehalten werden kann. Üblich und empfehlenswert ist die Anwendung von Glycerin oder Glykol.

Eine Ausnahme in dieser Beziehung bilden Rohre aus vernetztem Polyäthylen auf Grund ihrer thermoelastischen Eigenschaften. Sie können bei Temperaturen von ca. 130°C geformt werden. Dies ist weit entfernt von der Zersetzungstemperatur, die über 250°C liegt. Deshalb hat es sich eingebürgert, daß VPE-Rohre mit einer "weichen" Propangasflamme erhitzt und dann gebogen werden. Das Erreichen der richtigen Biegetemperatur muß nicht unbedingt gemessen werden, es ist optisch zu erkennen: das Rohr wird glasklar und durchsichtig, wie schon in Kapitel 4 bei den Eigenschaften der Rohrwerkstoffe dargestellt.

5.4.3. Mindestwerte für Biegeradien

Aus der Erfahrung haben Rohrhersteller Mindestwerte für die Biegeradien ihrer Rohre aufgestellt, die unter keinen Umständen unterschritten werden sollten, damit die Restspannungen in den Rohrbögen in einer Größenordnung bleiben, in der sie vom Rohrwerkstoff abgebaut werden können. Hierbei können für Rohre von $d = 16$ und $d = 20$ mm Außendurchmesser bei jeweils 2 mm Wanddicke u.U. verschiedene Mindestbiegeradien genannt werden, da sich ja die Spannungen in den Rohren verschiedener Durchmesser verschieden verteilen. Auch die Biegetemperatur hat - wie oben beschrieben -

54

einen wesentlichen Einfluß auf die Spannungen in den Rohrbögen und somit auf den möglichen Biegeradius. Da die Biegeradien vom Rohrdurchmesser abhängig sind, ist man dazu übergegangen, sie in Vielfachen des Rohrdurchmessers auszudrücken. Im Normalfall können Mindestbiegeradien nach folgender Tabelle angenommen werden:

| Biege- temperatur (°C) | PP und PP-C | | PB | | VPE | |
|------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | d = 16 mm | d = 20 mm | d = 16 mm | d = 20 mm | d = 16 mm | d = 20 mm |
| ca. 20 | 20 d | 20 d | 10 d | 10 d | 6 d | 8 d |
| ca. 60 | 8 d | 10 d | 8 d | 10 d | 6 d | 6 d |
| ca. 130 | 4 d | 4 d | 4 d | 4 d | 4 d | 4 d |

Dabei darf die größte Dehnung in der Rohraußenfaser - ganz besonders bei Rohren aus Polypropylen - 2,5 % in keinem Fall überschreiten. Zur Deckung des Wärmebedarfs geht man bei der Berechnung der erforderlichen Vorlauf- und Rücklauf-temperatur meist von einem Rohr-
abstand von 16 cm im Register aus, der sich aus dem in obiger
Tabelle ersichtlichen Mindestbiegeradius von 4 d und einem Rohr-
durchmesser von d = 20 mm ergibt.

Hersteller von Trockenbausystemen legen oftmals ihre Dämmplatten-
Formteile so aus, daß z.B. bei einem Rohr-
abstand von 16 cm (der
ja durch die Formteile schon vorgegeben ist) die Biegeradien der
Rohre größer als 4 d sind, wie folgendes Beispiel deutlich zeigt.

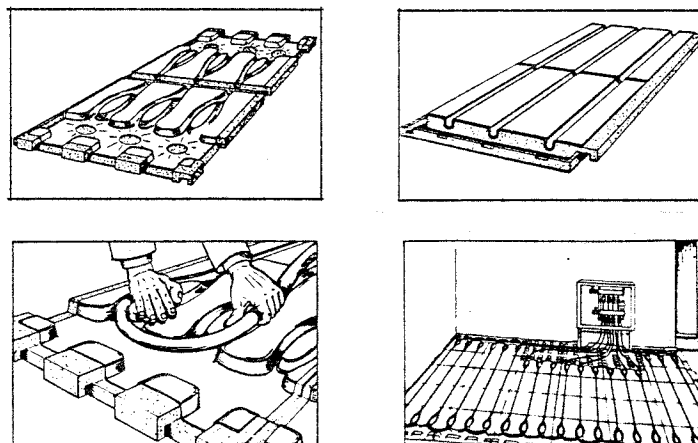


Abb. 11: Formteile eines Trockenbausystems, die Biegeradien von mehr als der Hälfte des Rohr-
abstandes vorgeben.

Wesentlich kritischer als bei den Trockenbausystemen, wo sie vom System her vorgegeben sind, ist die Einhaltung der Mindestbiegeradien bei den Naßmontagesystemen. Hier müssen die Rohrbögen besonders sorgfältig gebogen und befestigt werden, da sich die Rohre sonst nicht in Halbkreisform halten, sondern sich an der Übergangsstelle von der Geraden in den Bogen wieder etwas strecken. Dadurch verliert der Bogen die Halbkreisform und nimmt annähernd Parabelform an. Hierbei liegt der Krümmungsradius am Parabelscheitel mit Sicherheit deutlich unter dem angestrebten Biegeradius.

5.4.4. Verdrehung - Spannungsrißgefahr

Spannungsrisse an Fußbodenheizungsrohren müssen nicht notwendigerweise nur in Rohrbögen auftreten, wenngleich auch hier wegen der Dehnung der Außenfaser der Bögen die größte Gefahr liegt. Auch andere Spannungen, die allerdings wesentlich seltener angetroffen werden, können zu Spannungsrißkorrosion führen. Sie sind fast ausschließlich auf Verlegefehler zurückzuführen, wie z.B. das Verdrehen des Rohres. Zur Vermeidung solcher im Grunde überflüssigen Belastungen der Rohre hat es sich als günstig erwiesen, Abwickelvorrichtungen als Verlegehilfen zu gebrauchen, die das Abknicken oder Verdrehen des Rohres fast völlig ausschließen.

5.5. Spannungen durch festen Einbau der Rohre

Für die Spannungsrißkorrosion der Kunststoffrohre in Naßmontagesystemen wird oft die Tatsache verantwortlich gemacht, daß diese Rohre im Estrich so festgelegt sind, daß sie keine temperaturbedingten Dehnungs- und Schrumpfbewegungen ausführen können. Es ist richtig, daß diese Bewegungen unterbunden werden. Die daraus resultierenden Kräfte, die in den Rohren auftreten, können zwar nicht vernachlässigt werden, aber es ist zu berücksichtigen,

daß sie, da es sich nicht um kurzfristig oft wiederholte große Temperaturschwankungen handelt, wie andere Spannungen in den Rohrwänden auch, in einem gewissen Zeitraum teilweise - erfahrungsgemäß ungefähr auf die Hälfte des Ausgangswertes - relaxieren. Dabei können sich meistens Druck-, wesentlich seltener Zugspannungen ergeben. Je niedriger die Raumtemperatur beim Einbringen des Estrichs ist, umso höher werden die auftretenden Druckspannungen sein, wenn die Rohre ihre Betriebstemperatur, d.h. im Maximalfall die höchste mögliche Vorlauftemperatur erreichen.

Abhängig vom Rohrwerkstoff sind diese Spannungen verschieden. Ihre Größen können rechnerisch vermittelt werden aus dem Elastizitätsmodul E des jeweiligen Rohrwerkstoffs, seinem Wärmeausdehnungskoeffizienten α und der auftretenden Temperaturdifferenz Δt zwischen Einbringtemperatur des Estrichs und höchster Vorlauftemperatur. Es besteht nach dem Hooke'schen Gesetz folgende Abhängigkeit:

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

Nimmt man als Raumtemperatur beim Einbringen des Estrichs 15 °C und als maximale Vorlauftemperatur z.B. - hoch gegriffen - 55 °C an, so ergeben sich als Zahlenbeispiele für die Rohre aus den vier in Frage kommenden Werkstoffen folgende Druckspannungen:

| | |
|-------|---|
| PP: | $\sigma = 1200 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 40 = 7,2 \text{ N/mm}^2$ |
| PP-C: | $\sigma = 1000 \cdot 1,8 \cdot 10^{-6} \cdot 40 = 7,2 \text{ N/mm}^2$ |
| PB: | $\sigma = 400 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 40 = 2,4 \text{ N/mm}^2$ |
| VPE: | $\sigma = 600 \cdot 1,8 \cdot 10^{-6} \cdot 40 = 4,3 \text{ N/mm}^2$ |

Die Werte für Elastizitätsmoduln und Wärmeausdehnungskoeffizienten der Rohrwerkstoffe sind der Tabelle auf Seite 33 entnommen.

Selbstverständlich bewirken die Druckspannungen im Fußbodenheizungsrohr als Reaktion Zugspannungen im Estrich. Schon aus

diesem Grunde ist es erforderlich, den Estrich unter Zusatz von Vergütungsmitteln herzustellen, da unvergütete Estriche den so auftretenden inneren Belastungen kaum standhalten können. Allerdings muß gesagt werden, daß diese Zugspannungen im Estrich nur einen Bruchteil derjenigen betragen, die auftreten, wenn Metallrohre als Fußbodenheizungsrohre eingesetzt werden. In letzterem Fall ist das Reißen des Estrichs von vornherein wesentlich wahrscheinlicher als beim Einbau von Kunststoffrohren.

5.6. Chemikalien - Spannungsrißgefahr

Ein weiterer Faktor, der die Spannungsrißbildung bei Fußbodenheizungsrohren aus Kunststoffen maßgeblich beeinflusst, ist die chemische Beschaffenheit des Heizwassers bzw. die Zugabe von Zusatzchemikalien. Deshalb sollten nur Chemikalien beigegeben werden, die vom Rohrhersteller geprüft und für seine Rohre freigegeben worden sind. Ein Erfahrungsbeispiel sei hier geschildert.

Der Kalkgehalt des Leitungswassers, mit dem ja auch Heizungsanlagen befüllt werden, ist regional, je nach Bodenbeschaffenheit, verschieden. In Gegenden mit stark kalkhaltigem Wasser kommt es in konventionellen öl-, gas- oder feststoffgefeuerten Kesseln nach einiger Zeit zu einem geringen Kalkansatz, der deutlich hörbare Kochgeräusche verursachen kann. Der durchschnittliche Heizungsinstallateur kennt ein probates Mittel zur Beseitigung dieser Geräusche: die Zugabe einer vom Gesamtinhalt der Heizungsanlage abhängigen Menge eines normalen Geschirrspülmittels genügt, um die Geräusche ein für allemal zu beseitigen. Durch die im Geschirrspülmittel enthaltenen Detergentien (Benetzungsmittel) wird der Ansatz von Gasblasen an der dünnen Kalkschicht verhindert; somit entstehen keine Siedegeräusche, die durch das Ablösen und Aufsteigen der Blasen erzeugt werden. Leider verstärkt die Berührung mit Detergentien jedoch die Neigung aller Polyolefine, also aller

in Frage kommenden Werkstoffe für Fußbodenheizungsrohre zur Bildung von Spannungsrissen. Daher wurden einige Fußbodenheizungsanlagen nach Beseitigung der Kesselsiedegeräusche auf die beschriebene Weise undicht. Oft wird behauptet, Spannungsrissbildung entstehe bereits durch in die Fußbodenkonstruktion eingedrungene Bodenreinigungsmittel (bei Fliesen- und Natursteinböden), die Detergentien enthielten. Daß dies stark übertrieben ist, zeigt sich allein an der verhältnismäßig sehr geringen Zahl der Schäden, die, wenn diese Behauptung zuträfe, wesentlich größer sein müßte.

5.7. Wartungsarbeiten

Da sich auch Anlagen mit Rohren aus Polypropylen, Polypropylen-Copolymerisat und Polybuten nicht vollständig aus diesen Kunststoffen herstellen lassen, können sie auch nicht vollständig homogen verschweißt werden. Daher sind nicht nur in Anlagen mit Rohren aus vernetztem Polyäthylen Metallteile enthalten, wie z.B. Verteiler u. dergl. mehr. Die Kunststoffrohre können an diese Metallteile nur mit Klemmverschraubungen angeschlossen werden, d.h., die Rohrwand wird einem Druck ausgesetzt. Da - wie schon mehrfach aufgezeigt - Spannungen in thermoplastischen Kunststoffen mit der Zeit relaxieren, können u.U. diese Klemmverschraubungen undicht werden. Es ist daher empfehlenswert, solche Anlagenteile regelmäßig zu überprüfen. Selbstverständlich sollen die Anschlüsse möglichst offen oder äußerstenfalls durch Revisionsöffnungen zugänglich sein.

5.8. Sauerstoffdiffusion

Von vielen Heizungsbauern werden Kunststoffrohre für Fußbodenheizungen abgelehnt, weil durch diese Rohre Sauerstoff in die Heizungsanlage eindringt. Die Tatsache der Sauerstoffdiffusion

durch die Kunststoffrohre hindurch kann tatsächlich nicht bestritten werden. Hiervon sind sämtliche Rohrwerkstoffe für Fußbodenheizungsrohre gleichermaßen betroffen. Über die Größenordnung der Diffusion besteht noch keine endgültige Klarheit, es steht jedoch fest, daß die eindiffundierenden Sauerstoffmengen relativ sehr gering sind. Versuche, den Sauerstoffgehalt im Heizwasser von Heizungsanlagen mit Kunststoffrohren zu bestimmen, hatten unterschiedliche Erfolge. Während schwedische Versuche einen Sauerstoffgehalt zeigten, konnte bei Versuchen eines Materialprüfungsamtes in der Bundesrepublik Deutschland [12] kein Sauerstoff im Heizwasser nachgewiesen werden. Hierbei ist anzumerken, daß die schwedischen Versuche an normalen Radiatorheizsystemen vorgenommen wurden, deren Heizkörper mit Kunststoffrohren verbunden waren, während die deutschen Versuche an Fußbodenheizungen durchgeführt wurden. Aus diesem Sachverhalt könnte der Schluß gezogen werden, daß die Einbettung der Rohre in den Estrich oder ihr Einschluß in die Fußbodenkonstruktion unterhalb des Estrichs den Zutritt des Sauerstoffs zum Rohr verhindert. Andere Versuche haben jedoch ergeben, daß dies nicht zutrifft. Sauerstoff diffundiert auch in Kunststoffrohre ein, die vollständig von Estrich umschlossen sind. Die eindiffundierende Sauerstoffmenge ist allerdings so gering, daß der Einsatz von Entgasungsgeräten im Heizkreislauf wirkungslos bleibt. Der Sauerstoff tritt nie in Bläschen, sondern nur gelöst auf.

5.8.1. Korrosionsschäden an Metallteilen

Die Gefahr der Sauerstoffdiffusion wird gewöhnlich in Korrosionsercheinungen gesehen. Die Kunststoffrohre werden hierbei keiner besonderen Belastung ausgesetzt, die über den normalen oxidativen Alterungsprozeß hinausgeht, wie er bereits in Kapitel 4 beschrieben wurde. Vielmehr wird die Korrosion der Metallteile der Heizungsanlage

befürchtet. Es ist richtig, daß der Sauerstoff, der durch die Kunststoffrohre in die Systeme eindringt, vollständig durch Oxidationsprozesse von Metallen verbraucht wird und zwar schneller, als die Diffusion vor sich geht (weshalb ein Nachweis von im Heizwasser gelöstem Sauerstoff praktisch nicht möglich ist). Hierzu ist allerdings zu sagen, daß die Frage der Korrosion ein ursächliches Problem von Heizungsanlagen ist, das bei konventionellen, vollmetallischen Systemen seit eh und je diskutiert wurde und nicht erst mit dem Auftreten der Kunststoffrohre im System aktuelle Bedeutung erlangt hat. Jedenfalls ist die durch die Kunststoffrohre eindiffundierende Sauerstoffmenge so gering, daß ausgesprochene Korrosionsschäden, Lochfraß, Durchrostungen u. dergl. bisher nicht beobachtet [12] bzw. entsprechende Behauptungen nicht schlüssig bewiesen worden sind.

5.8.2. Rostschlamm und Betriebsstörungen

Die durch den Sauerstoff erzeugte Korrosion hat vielmehr den Charakter eines gleichförmigen Oberflächenabtrages, d.h. der Bildung einer dünnen oberflächlichen Rostschicht, die durch das strömende Wasser abgetragen und fortgespült wird. Dies ist eine normale Erscheinung, die auch bei vollmetallischen Heizungssystemen auftritt. Entsprechend den Strömungsverhältnissen setzen sich die Rostpartikel bei solchen Systemen dann z.B. in Radiatoren ab, wo sie - wenn sich nach einigen Jahren eine größere Rostschlamm-Schicht gebildet hat - die Leistung der Radiatoren erheblich verringert. In den Kunststoffrohren der Fußbodenheizungen kann sich wegen der Glätte oder Rohrwände und der im Rohrquerschnitt ziemlich gleichmäßigen Strömung kein Rostschlamm absetzen.

Es sind einige wenige Fälle bekannt geworden, in denen Betriebsstörungen auftraten, die auf die Oxidation von Metallteilen in Fußboden-

heizungsanlagen mit Kunststoffrohren zurückzuführen waren. In diesen Fällen hatten sich im Wasser schwebende Rostpartikel in Pumpen, Mischerventilen, Verteilern und ähnlichen Regelgeräten festgesetzt und diese Anlagenteile blockiert. Gleichartige Betriebsstörungen sind jedoch auch bei konventionellen, vollmetallischen Heizsystemen bekannt und können somit nicht den Kunststoffrohren bzw. der durch sie möglichen Sauerstoffdiffusion angelastet werden. Geringfügigste Undichtheiten eines wie auch immer gearteten Heizungssystems, die auf der Saugseite der Umwälzpumpe liegen, lassen wesentlich größere Sauerstoffmengen in das System gelangen, als dies durch die Diffusion bei Kunststoffrohren möglich ist. Dadurch wird das Problem der Sauerstoffaufnahme von Heizungssystemen durch Kunststoffrohre in die ihm zukommende Größenordnung verwiesen.

5.8.3. Einsatz von Oxidationsinhibitoren

Selbstverständlich sind auch Betriebsstörungen durch Rostschlamm - so selten sie auch vorkommen mögen -, die Überlegung wert, wie ihnen von vornherein vorgebeugt werden könnte. Vorrangig kommt hier die Verhinderung des Oxidationsprozesses in Frage. Der Einbau von Filtern und Sieben macht eine regelmäßige Wartung der Anlage erforderlich. Wenn diese, und das ist erfahrungsgemäß der Fall, nicht oder zu selten erfolgt, sind gerade diese Filter Ursache für den Zusammenbruch des Systems. Folgerichtig wäre also der Einsatz von dem Heizwasser zuzugebenden Oxidationsinhibitoren. Langzeiterfahrungen mit solchen chemischen Substanzen in Zusammenhang mit den Kunststoffrohren, die in Fußbodenheizungen zur Anwendung gelangen, liegen jedoch noch nicht in ausreichendem Maße vor. Ein Einzelfall, der in der Zukunft jedoch vielleicht repräsentative Bedeutung erlangen kann, ist die Rasenheizung im Olympiastadion München, die 7000 m VPE-Rohr umfaßt. Hier kam ein Inhibitor in Zusammenarbeit mit einem Frostschutzmittel zum Einsatz.

Bei regelmäßigen Untersuchungen hat sich bis heute noch keine Rostbildung in der Anlage gezeigt. Ob allerdings der grundsätzliche Einsatz von Oxidationsinhibitoren bei Fußbodenheizungen gerechtfertigt ist, kann auch an diesem Einzelfall nicht geklärt werden. Sicher ist, daß sowohl der wirtschaftliche Aufwand als auch der nicht unbedingt positive psychologische Effekt einer solchen Maßnahme in keinem Verhältnis zur Seltenheit stehen, mit der Betriebsstörungen durch Rostschlamm in Fußbodenheizungsanlagen auftreten, zumal die Kunststoffrohre nur zum geringen Teil zur Sauerstoffanreicherung des Heizwassers beitragen.

6. Zusammenfassung

Bis 1978 sind in der Bundesrepublik Deutschland nach Angaben verschiedener Firmen ca. 65 bis 70 Millionen Meter Kunststoffrohre in Fußbodenheizungsanlagen verlegt worden. Die Schadenhäufigkeit solcher Anlagen ist sehr gering; sie wird zumeist überschätzt, da der einzelne Schaden wegen der Höhe der Folgeschäden weitaus mehr Publizität erlangt als Schäden konventioneller (besser zugänglicher) Heizungssysteme.

Wegen der energiewirtschaftlichen Situation war es erforderlich, die Wärmeschutzbestimmungen für das Bauwesen erheblich zu verschärfen. Dadurch wurde die Wärmedämmung der Neubauten auf ein Mindestmaß festgelegt, das den Wärmeverlust sehr gering hält. Die erforderliche Wärmeleistung für den Ersatz der verlorenen Wärmeenergie kann nun von Fußbodenheizungen erbracht werden, ohne daß die Fußboden-Oberflächentemperaturen zu hoch werden, sie werden im Gegenteil als sehr angenehm empfunden. Auf Grund der Temperaturverteilung im Raum und der überwiegend durch Strahlung abgegebenen Wärme sind Fußbodenheizungen die physiologisch zuträglichsten Heizungen; weil die Wärmeverteilung so günstig ist, kann die Raumtemperatur im Durchschnitt 1 bis 2 °C niedriger gehalten werden als bei anderen Heizungen, ohne daß dies als unangenehm empfunden würde. Das ist ein wichtiger Beitrag zur Einsparung von Heizenergie.

Weitere Möglichkeiten zur Energieeinsparung bieten Fußbodenheizungen mit Kunststoffrohren durch die niederen erforderlichen Vorlauftemperaturen zwischen 30 und 60 °C. Dadurch sind sie geeignet zur Koppelung mit alternativen bzw. regenerativen Wärmeerzeugersystemen: Solarkollektoren und -absorber, Wärmepumpen, industrieller Abwärme und - anders nicht mehr nutzbarer - Restwärme von Fernheiznetzen. Besonders die Wärmepumpe, die die Wärme dem Erdreich entzieht, scheint z.Zt. das chancenreichste System zu sein.

Fußbodenheizungen mit Kunststoffrohren können nach ihrer Bauart grundsätzlich in zwei verschiedene Systeme unterschieden werden: Naßmontagesysteme und Trockenbausysteme. Grundsätzlich haben beide Bauarten die Hauptbestandteile: Rohr, Wärmedämmung und Estrich; bei den Naßmontagesystemen kann, bei den Trockenbausystemen muß eine wärmeverteilende Schicht (Blech oder Metallfolie) hinzukommen. Bei den Naßmontagesystemen werden die Rohre direkt in den Estrich eingebettet, bei den Trockensystemen liegen sie - es gibt wenige Ausnahmen - in Vertiefungen der vorgeformten Wärmedämmplatten. Beide Bauarten haben wärmetechnische und verletechnische Vor- und Nachteile, die einander, abhängig vom Einsatz, die Waage halten.

Als Werkstoffe für Fußbodenheizungsrohre werden heute eingesetzt: Polypropylen (PP), Polypropylen-Copolymerisat (PP-C), Polybuten (PB) und vernetztes Polyäthylen (VPE). Das früher häufig eingesetzte Niederdruck-Polyäthylen (HDPE) hat seine Bedeutung auf diesem Sektor verloren. Alle heute angewandten Rohre aus den vier genannten Werkstoffen zeichnen sich aus durch gute Spannungsrißbeständigkeit, gute Innendruck-Zeitstandfestigkeit und Alterungsbeständigkeit, geringes Gewicht, große Rohrlängen, glatte Innenwände und die Möglichkeit, ohne großen mechanischen Aufwand Rohrbogen herzustellen. Die Langzeiteigenschaften der Rohre sind für den Einsatz in Fußbodenheizungen von entscheidender Bedeutung. Auf Grund ihrer Molekularstruktur unterscheiden sich hier die eingesetzten Kunststoffe etwas; sie sind jedoch alle für den Einsatz als Fußbodenheizungsrohr geeignet und lassen auch unter ungünstigen Einsatzbedingungen eine Lebensdauer von über 50 Jahren erwarten.

Die bisher vorliegenden Erfahrungen mit Fußbodenheizungsrohren aus PP, PP-C, PB und VPE haben gezeigt, daß Schäden in Anlagen wegen der strengen Werkskontrollen kaum auf Materialfehler, sondern überwiegend auf Einwirkungen bei Transport und Lagerung sowie Fehler

bei Einbau und Betrieb der Anlagen zurückzuführen sind. Besonders die Gefahr der Spannungsrißbildung in Rohrbögen kann durch richtiges Verlegen (Biegen der Rohrbögen unter Einhaltung der richtigen Biege-
radien und Biegetemperaturen) reduziert werden. Die Frage der Sauerstoffdiffusion durch Kunststoffrohre und hieraus resultierende Rostschäden an Metallteilen der Heizungsanlagen ist dahingehend zu beantworten, daß der durch die Rohre eindiffundierende Sauerstoffanteil des Heizwassers geringer ist, als derjenige Teil, der durch Undichtigkeiten auf der Saugseite der Umwälzpumpe eindringt. Rostschäden auf Grund der Sauerstoffdiffusion durch Kunststoffrohre sind bis jetzt nicht bekannt geworden, entsprechende Behauptungen blieben bislang unbewiesen. Betriebsstörungen durch Rostschlamm sind selten und können auch in anderen Heizungssystemen auftreten.

Abschließend in tabellarischer Form ein kurzer Kriterienkatalog für den Einsatz von Rohren aus PB, PP, PP-C und VPE in Fußbodenheizungsanlagen (siehe Seite 67).

| | PB | PP | PP-C | VPE |
|---|-------------|-------------|---------|---------------|
| Alterungsbeständigkeit | gut | gut | gut | sehr gut |
| Temperaturbeständigkeit | gut | gut | gut | sehr gut |
| Innendruck-Zeitstandfestigkeit (s. Grafiken Seite | gut | gut | gut | sehr gut |
| Spannungsrißbeständigkeit | gut +) | gut +) | gut +) | sehr gut +) |
| Schlagzähigkeit (s. Tabelle Seite | gut | gut | gut | gut |
| Kerbschlagzähigkeit bei tiefen Temperaturen (Tabelle Seite | weniger gut | sehr gering | gering | sehr gut |
| Verarbeitbarkeit (Herstellung von Bögen) | gut | gut | gut | sehr gut |
| Schweißbarkeit | möglich | möglich | möglich | nicht möglich |
| Preis | günstig | mittel | mittel | am teuersten |

+) bei Vermeidung von Einbaufehlern sowie Belastung mit Detergentien und anderen unverträglichen Chemikalien.

7. Anhang

7.1. Literaturverzeichnis

7.1.1. Zitierte Schriften

- [1] Frank, W.
"Zur Frage des thermischen Behagens"
Gesundheits-Ingenieur 96 (1975)
- [2] Lutz, H.
"Fußbodenheizung, - Niedertemperaturflächenheizung von heute"
Vortrag auf der "Norddeutschen Fachtagung 78", veranstaltet von
der Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung e.V. (HEA)
Außenstelle Hannover am 7. November 1978
- [3] Stein, M.
"Wärmetechnische Berechnung der Warmwasser-Fußbodenheizung
mit Kunststoffrohren"
Kunststoffe im Bau, Heft 2/78
- [4] Schüle, W.
"Fußwärme und Wärmeableitung von Fußböden"
Berichte aus der Bauforschung des Bundesministers für Wohnungs-
wesen, Städtebau und Raumordnung, Heft 40, "Fußwärme, Wärme-
schutz, Sonnenwärmeeinstrahlung und Raumklima"
- [5] Böbel, A.
"Analyse der Kosten von Niedertemperaturheizsystemen"
Vortrag auf der "Norddeutschen Fachtagung 78", veranstaltet von
der Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung e.V. (HEA)
Außenstelle Hannover am 7. November 1978

- [6] Dahms, G.
"Rehau-Rohre in der Heizungstechnik"
Rehau-Mitteilungen 16/78

- [7] Saechtling - Zebrowski
Kunststoff-Taschenbuch, 21. Ausgabe 1979
Carl Hanser Verlag München

- [8] DIN 8078 (2.1972)
"Rohre aus PP (Polypropylen); Allgemeine Güteanforderungen,
Prüfung"

- [9] Entwurf DIN 8078 Teil 2 (11.1976)
"Rohre aus PP-C (Polypropylen-Copolymerisat); Allgemeine
Güteanforderungen, Prüfung"

- [10] Vornorm DIN 16968 (11.1976)
"Rohre aus Polybuten-1 (PB); Allgemeine Güteanforderungen,
Prüfung"

- [11] "Info 1/79"
Informationsschrift der Firma Wärmebodentechnik GmbH

- [12] Genath, B. (Hrsg.)
"Luft in Fußbodenheizungen mit Kunststoffrohr" (Bericht über
eine Fachdiskussion)
Sanitär- und Heizungstechnik 4/80

7.1.2. Weiteres Schrifttum zum Thema

Bach, H.

"Heizkörper und Fußbodenheizung. Ansätze zu einem Vergleich"
Klima- und Kälte-Ingenieur Heft 3/1977

Dworski, K.

"Ein Schadenbeispiel an Fußbodenheizungsrohren aus Polypropylen (PP)"
Der Maschinenschaden 52 (1979) Heft 3

Frank, W.

"Die Wärmeabgabe des bekleideten und unbekleideten Fußes"
Gesundheits-Ingenieur 81 (1960)

Gebler, H.

"Fußbodenheizung mit Kunststoffrohren"
Kunststoffe im Bau, Heft 3/79

Kolmar, A. und Liese, W.

"Die Strahlungsheizung"
R. Oldenbourg-Verlag München, 1957

Lutz, H.

"Thermische Behaglichkeit in Wohn- und Arbeitsräumen"
Gesundheits-Ingenieur 91 (1970)

Lutz, H.

"Fußbodenheizung im Altbau"
Haustechnische Rundschau, Heft 3/77

Meinhard, J. und Hofmann, A.

"Polypropylen als Werkstoff für Fußbodenheizungen bewährt"
Sanitär- und Heizungstechnik (1978) Nr. 9

7.2. Abbildungsnachweis

- Abb. 1: (nach Kolmar): Firmenschrift der Krauss-Maffei Austria
- Abb. 2: (nach Frank): Schüle, W.: "Fußwärme und Wärmeableitung von Fußböden" (siehe 7.1.1. [4])
- Abb. 3: Stein, M.: "Wärmetechnische Berechnung der Warmwasser-Fußbodenheizung mit Kunststoffrohren" (siehe 7.1.1. [3])
- Abb. 4, 5 und 8: Firmenprospekt der Firma Wärmebodentechnik GmbH
- Abb. 6 und 7: Drum, G.: "Warmwasser-Fußbodenheizungen mit Kunststoffrohren", Kunststoffe im Bau, Heft 2/80
- Abb. 9: Firmenprospekt der Firma eht Siegmund GmbH
- Abb. 10: Firmenprospekt der Firma Dürst
- Abb. 11, 12 und 13: Dahms, G.: "Rehau-Rohre in der Heizungs-technik" (siehe 7.1.1. [6])

7.3. Tabellarische Übersicht: Hersteller von Fußbodenheizungsrohren
und Fußbodenheizungs-Systemlieferanten

| Firmenname | Leistung der Firma | | | | Hersteller der vertriebenen oder eingebauten Rohre | Rohrwerkstoff | | | | | Handelsname und Bemerkungen |
|---------------------------|--------------------|---------------|------------------|-----------------|--|-----------------|-----------------|--------------------|----|------|---|
| | Rohr-Hersteller | Rohr-Vertrieb | System-Lieferant | System-Einbauer | | PB | PE | VPE | PP | PP-C | |
| | | | | | | Engel-Verfahren | Silan-Verfahren | sonstige Verfahren | | | |
| 1. Anwo-Flachheizkörper | o | | o | | | | | | | o | Anwo |
| 2. Aquatherm | | | o | o | Wirsbo Pex | | | o | | | |
| 3. ASV Stübbe | | o | o | | | o | o | | | | |
| 4. BHG-Wärmepumpen | | o | o | o | Westf. K'technik, Hago-Plast | | | o | | o | BHG-Niedertemperatur-Heizsystem |
| 5. BR-Röhrenhandelsges. | | o | o | | | | | | | o | Braun-Fußbodenheizung |
| 6. Conrath | | o | | | Dürst (Schweiz) | | | | | o | PYD |
| 7. Dehoust | o | | | | | | | | | | o |
| 8. Deria-Destra | | o | o | o | Rehau | | | o | | | Deria-VPE 210 |
| 9. Deutsche Kapillar-Pl. | o | | | | | | | | | o | Dekaprop |
| 10. Draka-Plast | o | | | | | | | | | o | Draka-Therm |
| 11. Egeplast | o | o | | | | o | o | | | o | Egetherm |
| 12. EHT Siegmund | o | | o | | | | | | | o | Rohre: Thermax; Systeme: Wärmeboden "Opti" + "Vari" |
| 13. Europlast Rohrwerk | o | | | | | | | o | o | o | |
| 14. Exte-Extrudertechnik | o | | | | | | | | | o | Exte-Wärmetausrohr |
| 15. Fränkische Rohrwerke | o | | | | | o | | | o | o | FF-therm |
| 16. Groco | | o | o | o | | | | | | o | Semo Therm |
| 17. Hago-Plast | o | | | | | | | | | | |
| 18. Inefa | o | | o | | | | | | | o | Inefa |
| 19. Kömmerling | o | | o | | | | | o | | | Kömatherm |
| 20. Kunststoffwerk Höhn | o | | | | | | | | | o | Brandalen |
| 21. D.F. Liedelt | | o | o | | Rehau | | | o | | | Velta |
| 22. Multibeton | o | | o | | | | | | | o | Multibeton |
| 23. Nordrohr | o | | o | | | | | | | | o |
| 24. Omniplast | o | | | | | o | o | | | o | o |
| 25. Perobe | | o | o | o | Thyssen Plastik Anger | o | | | | | GTFH-Rohr; Perobe-Syst. |
| 26. Pflüger | | o | o | | | | | | | o | Terigen |
| 27. Polytherm | o | | o | | | o | | | | o | Polytherm |
| 28. Purmo | | | o | | Kunststoffwerk Höhn | | | | | | o |
| 29. Rehau Plastiks | o | | | | | | | o | | | |
| 30. Rhiamer | o | | | | | o | o | | | o | Rhiatherm |
| 31. Ritter | | o | o | | Tuflex (Schweiz), Rehau, Simona | o | | | | | Ritter |
| 32. Felix Schuh | | | o | | Simona, Westf. K'technik | | | | | o | Thermo-Grund |
| 33. Simona | o | | | | | o | o | | | o | Rhiatherm |
| 34. Gebr. Sulzer | | | o | o | Wirsbo Pex | | | o | | | Goflästra |
| 35. TA Tour & Andersson | | | o | o | Wirsbo Pex | | | o | | | Goflästra |
| 36. Terratherm | o | | o | | | | | | | o | Terratherm |
| 37. Thermolutz | | o | o | | Tuflex (Schweiz), Rehau, Simona | o | | | | | Thermolutz/Ritter |
| 38. Thermo Technik | | | o | | | | | | | o | Wärmebeton |
| 39. Thermoval | | | o | | Thermoval (Österreich) | | | | | o | Thermoval |
| 40. Thyssen Plastik Anger | o | | o | | | o ^{*)} | | | | | Gaboterm *) mit Schutzrohr aus PP |
| 41. Ufermann | | | o | o | Rehau, Fränkische Rohrw. | o | o | | | | System Ritter |
| 42. Universa | | | o | | | | | | | o | Universa |
| 43. VMH Multistar | o | | o | | | | | | | o | Multistar |
| 44. Wärmebodentechnik | | o | o | | VPE: Transex (Frankreich) PP: | | | o | | o | |
| 45. Wavin | o | | | | | | | | | o | Wavitherm |
| 46. Westfälische K'techn. | o | | | | | | | | | o | |
| 47. Wirsbo Pex | o | | | | | | | o | | | |
| 48. ZinCo | | o | | | | | | | | o | ZinCo |
| 49. Helmut Zink | o | | o | | | | | | | o | Radiconn |

7.4. Anschriften der Hersteller von Kunststoffrohren für Fußboden-
heizungen (H) und Systemlieferanten von Fußbodenheizungen
mit Kunststoffrohren (S)

1. Anwo-Flachheizkörper GmbH & Co. KG (H + S)
Harkortstraße 8
4760 Werl
Telefon 02922/5051
2. Aquatherm GmbH Warmwasser-Fußbodenheizung (S)
Postfach 105
5952 Attendorn-Biggen
Telefon 02722/5905
3. ASV Stübbe GmbH & Co. KG (S)
Postfach 1765
4973 Vlotho
Telefon 05733/13211
4. BHG-Wärmepumpen Bernhard Grevenbrock (S)
Eppengrawen 10
4282 Velen-Ramsdorf
Telefon 02863/5422
5. BR-Röhrenhandelsgesellschaft mbH (S)
Altenbachstraße
8750 Aschaffenburg 9
Telefon 06028/7594
6. Ernst Conrath, PYD-Vertrieb (S)
Friedrich-List-Straße 57
6078 Neu Isenburg
Telefon 06102/36453
7. Dehoust GmbH Tank- und Behälterbau (H)
Postfach 1140
6906 Leimen
Telefon 06224/71034
8. Deria-Destra GmbH für Strahlungswärme (S)
Postfach 100507
4630 Bochum
Telefon 0234/16037

9. Deutsche Kapillar-Plastik GmbH & Co. KG (H)
Postfach 1204
3560 Biedenkopf
Telefon 06461/2007
10. Draka-Plast GmbH (H)
Postfach 210369
5600 Wuppertal 21
Telefon 0202/464068
11. Egeplast Werner Strumann GmbH & Co. (H)
Postfach 1229
4407 Emsdetten
Telefon 02572/4051
12. EHT Siegmund GmbH (H + S)
Lohrbergstraße 25
5463 Unkel
Telefon 02224/5927
13. Europlast Rohrwerk GmbH (H)
Postfach 130160
4200 Oberhausen 13
Telefon 0208/68981
14. Exte-Extrudertechnik-GmbH (H)
Postfach 1220
5272 Wipperfürth 1
Telefon 02281/87071
15. Fränkische Rohrwerke Gebr. Kirchner GmbH & Co. (H)
Postfach 40
8729 Königsberg
Telefon 09525/81
16. Groco Handelsgesellschaft mbH (S)
Goethestraße 5-7
5090 Leverkusen 3
Telefon 02171/46688
17. Hago-Plast
4434 Ochtrup
Telefon 02553/3844
18. Inefa Kunststoffe AG (H + S)
Postfach 1369
2210 Itzehoe
Telefon 04821/61091

19. Gebrüder Kömmerling Kunststoffwerke GmbH (H + S)
Postfach 2165
6780 Pirmasens
Telefon 06331/881
20. Kunststoffwerk Höhn GmbH (H)
5439 Höhn
Telefon 02661/3055
21. D. F. Liedelt GmbH (S)
Robert-Koch-Straße 11
2000 Norderstedt
Telefon 040/5240077
22. Multibeton GmbH
Postfach
5060 Bergisch Gladbach 3
23. Nordrohr Kunststoffröhrenwerk GmbH & Co. KG (H + S)
Postfach 1269
2200 Elmshorn
Telefon 04121/22026
24. Omniplast GmbH & Co. (H + S)
Postfach 49
6332 Ehringshausen
Telefon 06443/901
25. Perobe-Elektro-Heizungsbau GmbH & Co. (S)
Waldstraße 1
4792 Bad Lippspringe
Telefon 05252/4081
26. Pflüger Apparatebau GmbH & Co. KG (S)
Postfach 3056
4690 Herne 1
Telefon 02323/63024
27. Polytherm-Vertriebsgesellschaft
haustechnischer Artikel mbH & Co. (H + S)
Laurenzstraße 13
4434 Ochtrup
Telefon 02553/2012
28. Purmo Verkaufsgesellschaft mbH (S)
Postfach 210425
3000 Hannover 21
Telefon 0511/793014

29. Rehau Plastiks AG + Co. (H)
Ytterbium
8520 Erlangen-Eltersdorf
Telefon 09131/605265
30. Rhiamer Kunststoffwerk GmbH (H)
Postfach 5563
7800 Freiburg
Telefon 0761/50536
31. Ritter Heiztechnik GmbH (S)
Postfach 110448
4200 Oberhausen 11
Telefon 0208/667061
32. Felix Schuh + Co. GmbH (S)
Postfach 130440
4300 Essen 13
Telefon 0201/275031
33. Simona GmbH Kunststoffwerke (H)
Postfach 133
6570 Kirn
Telefon 06752/141
34. Gebrüder Sulzer Heizungs- und Klimatechnik GmbH (S)
Postfach 1303
7000 Stuttgart 1
Telefon 0711/66791
35. TA Tour & Andersson GmbH (S)
Postfach 011909
4330 Mülheim an der Ruhr
Telefon 0208/58051
36. Terratherm Gesellschaft für Wärmetechnik mbH (H + S)
8120 Lichtenau
Post Weilheim/Obb.
Telefon 08809/512
37. Thermolutz GmbH & Co. Heizungstechnik KG (S)
Bebenhäuserhofstraße 8
7410 Reutlingen 1
Telefon 07121/370011
38. Thermo Technik Vertriebsgesellschaft (S)
Postfach 1567
7928 Giengen an der Brenz
Telefon 07322/7025

39. Thermoval Systemheizungen Deutschland GmbH (S)
Aachener Straße 106-108
5000 Köln 40
Telefon 02234/74036
40. Thyssen Plastik Anger KG (H + S)
Postfach 800140
8000 München 80
Telefon 089/41351
41. Ufermann GmbH (S)
Roßbergring 2
6107 Reinheim 5
Telefon 06162/4687
42. Universa Heizungssysteme GmbH + Co. KG (S)
Postfach 4246
4500 Osnabrück
Telefon 0541/571035
43. VMH Multistar
Postfach 101320
5090 Leverkusen 1
Telefon 0214/45047
44. Wärmebodentechnik GmbH (S)
Konrad-Adenauer-Ring 17
4100 Duisburg 11
Telefon 0203/580031
45. Wavin GmbH Kunststoffröhrenwerk (H)
4471 Twist 1
Telefon 05936/121
46. Westfälische Kunststofftechnik GmbH (H)
Postfach 1280
4322 Sprockhövel 1
Telefon 02324/7565
47. Wirsbo Pex GmbH (H)
Postfach 1128
6056 Heusenstamm
Telefon 06104/2044

48. ZinCo Solartechnik Walter Zink (S)

Postfach 2068

7440 Nürtingen

Telefon 07022/6661

49. Helmut Zink GmbH (H + S)

Kelterstraße 43

7441 Unterensingen

Telefon 07022/63011