

ABSTRACT

Die Erdwärmenutzung mit Erdwärmesonden und -kollektoren hat in den letzten Jahren einen enormen Aufschwung erlebt. Neben neuen Kollektorformen wurden auch neue Materialien entwickelt und eingesetzt, die gegenüber den bis dahin verwendeten konventionellen Rohrwerkstoffen PE80/PE100 erheblich verbesserte Eigenschaften aufweisen und auch neue Einsatzmöglichkeiten erlauben. Im Mittelpunkt steht der Einsatz von vernetztem Polyethylen, insbesondere PE-Xa. Daraus hergestellte Erdwärmesonden oder -kollektoren sind

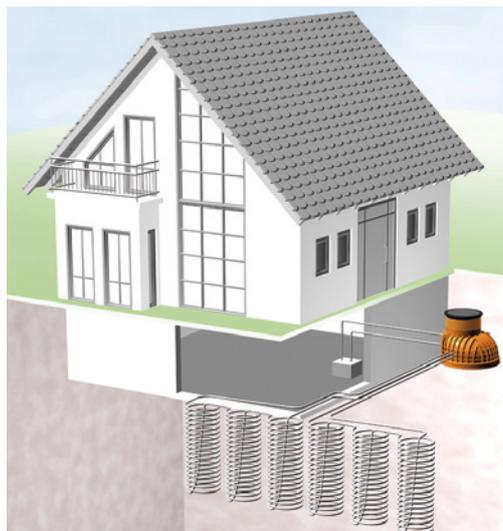


Abb.1: Illustration Einbausituation Helix-Sonden aus PE-Xa

solchen aus unvernetztem Polyethylen hinsichtlich Spannungsriß-, Kerb- und Punktlastbeständigkeit um Größenordnungen überlegen. Gerade in der Erdwärmenutzung sind diese Eigenschaften von gravierender Bedeutung, da Erdwärmesonden beim Einbringen in das Bohrloch sehr hohen mechanischen Belastungen ausgesetzt sind und darüber hinaus beim Betrieb auch noch aufgrund ständiger Temperaturänderungen den Auswirkungen der daraus resultierenden thermomechanischen Kräfte über Jahrzehnte standhalten müssen.

Neue Entwicklungen zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie mit vertikalen Erdwärmesonden

Dipl.-Ing. Guido Kania, Leiter Corporate Technik – Tiefbau
Dipl.-Ing. (FH) Daniel Gottschalk, Technik – Geothermie

1. EINLEITUNG

Erst Erdwärmesonden aus vernetztem Polyethylen ermöglichen aufgrund dessen Temperaturbeständigkeit bis 95°C die Errichtung von Erdwärmesondenspeichern und das unbedenkliche Einspeisen von Überschusswärme aus einer thermischen Solaranlage in die Erdwärmeanlage. In jüngster Zeit werden auch Erdwärmesonden aus erhöht spannungsrißbeständigem Polyethylen (PE-RC) angeboten. Die Span-

nungsriß-, Kerb- und Punktlastbeständigkeit dieser Rohre ist zwar höher als die von konventionellem Polyethylen, kommt aber bei weitem nicht an die Werte von PE-Xa heran und genügt deshalb nicht den Anforderungen der modernen Erdwärmenutzung. Darüber hinaus ist die thermische Beständigkeit von PE-RC nicht besser als die von konventionellem Polyethylen, dessen Druckrohreigenschaften jenseits von 40 °C rapide einbrechen.

Die Nutzung der oberflächennahen Geothermie gewinnt vor dem Hintergrund global steigender Energiekosten, der weltweit geforderten Begrenzung des CO₂-Ausstoßes und der vom Nutzer geforderten Grundlastfähigkeit stark an Bedeutung. In der Anfangszeit der Nutzung der oberflächennahen Geothermie waren grundwasserbasierte, zum Gebirge offene Systeme mit einer direkten Nutzung der im Grundwasser enthaltenen Wärme noch weit verbreitet („standing column wells“). Diese Art der Geothermienutzung bedarf jedoch stets einer aufwändigen wasserrechtlichen Genehmigung und ist nur genehmigungsfähig, wenn existierende Grundwasserhorizonte nicht miteinander verbunden werden. Ebenso muss die problemlose Verpressung des entnommenen Grundwassers im sogenannten „Schluckbrunnen“ über Jahre problemlos möglich sein. Darüber hinaus ist die maximal erreichbare Entzugsleistung bei wasserbasierten Systemen durch den Gefrierpunkt des Wassers begrenzt. Aus den oben genannten

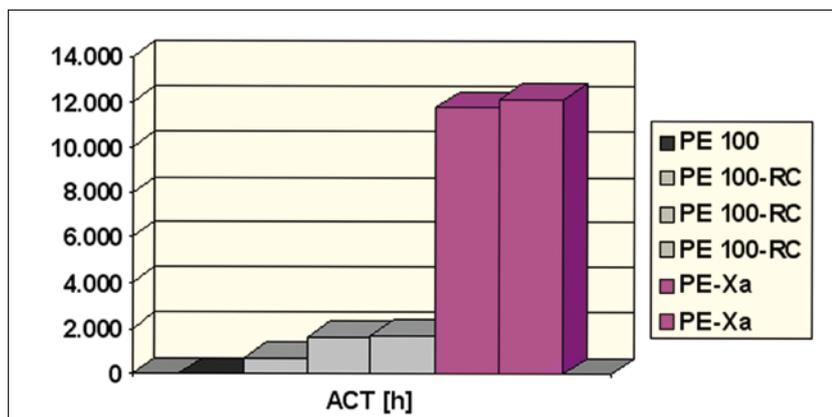


Abb.2: Ergebnisse unterschiedlicher Rohrwerkstoffe im ACT

Gründen werden heute fast ausschließlich geschlossene Kreisläufe zur Nutzung der Geothermie eingesetzt („Closed loop installations“). Ein Glycol-Wasser-Gemisch übernimmt dabei die Funktion des Wärmeträgers. Bis in die 90er Jahre wurden meist Doppel-U-Sonden auf bis zu 100 m abgeteuft. Aufgrund der mit zunehmenden Tiefen steigenden Temperaturen des ungestörten Erdreichs und der damit möglichen höheren Entzugsleistung im Heizfall geht der Trend z.B. im Zuge der thermischen Sanierung von Altbauten zu ständig längeren Erdwärmesonden bei beengten Platzverhältnissen aufgrund der vorhandenen Bebauung. Technisch möglich sind heute Endteufen von einigen hundert Metern, die jedoch deutlich höhere Anforderungen an das verwendete Sondenmaterial stellen als früher.

Ebenso gewinnt die Anwendung „geothermales Kühlen“ („free cooling“) sowie die Kombination „Heizen & Kühlen mit Geothermie“ stark an Bedeutung. Moderne Systeme müssen auch für eine schnelle Regeneration der Energiequelle „Erdreich“ z.B. über solar erzeugte Überschusswärme, vorbereitet sein. Ebenso muss eine Betriebssicherheit über Jahrzehnte abgesichert werden.

Der planende Ingenieur muss – in Abhängigkeit des Bohrverfahrens, der Endteufe, der vorliegenden Bodenbedingungen und der zu entziehenden Wärmemenge – die für die beabsichtigte Baumaßnahme optimal geeignete und wirtschaftlichste Geothermie-Tiefsonde auswählen. Erschwert wird diese Materialentscheidung durch das branchenweite Fehlen eines aktuellen und anerkannten Qualitätsstandards bzw. einer anerkannten Prüfvorschrift für Geothermie-Sonden mit besonderen Schutzeigenschaften sowie unterschiedliche und zum Teil mißverständliche Aussagen in den maßgeblichen Verlegerichtlinien und Merkblättern für derartige Sondentypen.

Die Frage, welche Werkstoffgeneration der Geothermiesonden für welches Bauvorhaben vorteilhaft eingesetzt werden kann, wird im Folgenden durch Erfahrungsberichte aus Prüflabor und Praxis beantwortet und damit dem planenden Ingenieur, dem Brunnenbohrer und dem

Anwender ein verständlicher Leitfaden für die von ihm zu treffende Qualitätsentscheidung an die Hand gegeben.

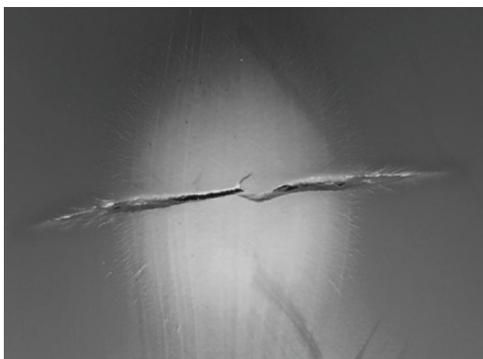


Abb.3: Schadensbild einer durch Punktlast gebrochenen PE100-Geothermiesonde (Blick auf Rohrinneinnenseite, Punktlast von außen)

2. MODERNE WERKSTOFFE ZUR HERSTELLUNG VON DOPPEL-U-SONDEN

Die stetige Weiterentwicklung der zur Sondenherstellung verwendeten polyolefinen Werkstoffe ermöglicht heute, dass immer leistungsfähigere und sicherere Geothermie-Sonden entwickelt werden können.

Welche Belastungen konkret auf das zum

des gewählten Verlegeverfahrens, des umgebenden Erdreichs, des Vorhandenseins von anstehendem Grundwasser, der gewählten Endteufe, dem Verfüllmaterial und den Betriebszuständen „Heizen“ oder „Kühlen“. Gewährleistet werden muss in jedem Falle ein störungsfreier, sicherer Betrieb der Geothermieanlage über die wirtschaftliche Lebensdauer. Bei modernen, erdverlegten SONDENSYSTEMEN, üblichen Betriebstemperaturen und -drücken sollte eine Nutzungsdauer von mindestens 50, besser 100 Jahren angesetzt werden. Bei der Abschätzung der auf das zu verlegende SONDENSYSTEM im jahrzehntelangen Betrieb wirkenden Lasten kommt erschwerend hinzu, dass viele der oben genannten Einflussfaktoren entlang der Bohrtrasse einer ständigen sowohl zeitlichen als auch örtlichen Änderung unterworfen sind. So sind beispielsweise das Erdreich bzw. Gebirge selten über den gesamten Bohrverlauf homogen zusammengesetzt. Eine Bohrung „frei von Riefen“ ist nahezu ausgeschlossen. Eine „gerade Bohrung“ ohne jegliche kleinste Richtungsänderungen ist ebenso nur Theorie und in der Praxis kaum

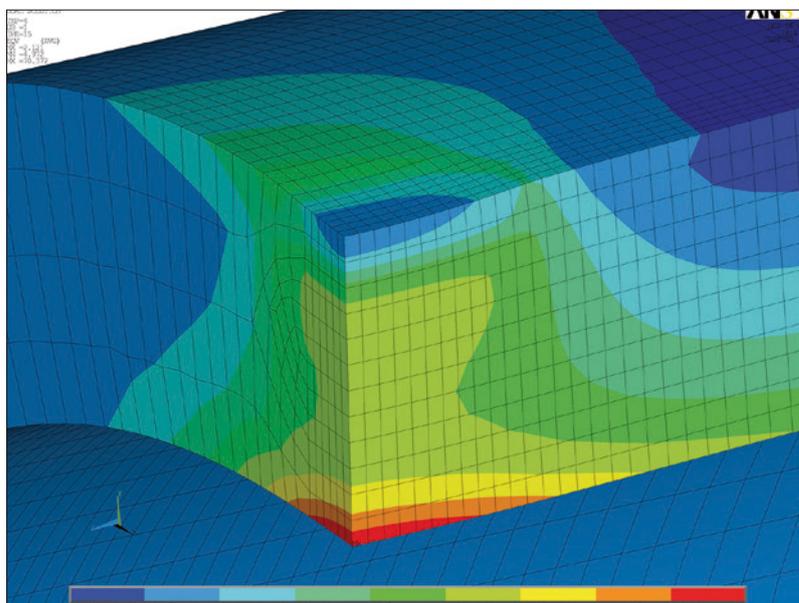


Abb.4: FEM-Berechnung zur Spannungsverteilung eines Druckrohres unter Innendruck mit überlagerter äußerer Punktlast

Einsatz kommende erdverlegte Geothermie-Druckrohrsystem während der Verlegung und im jahrzehntelangen Betrieb zukommen, variiert stark in Abhängigkeit

anzutreffen. Erschwerend kommt hinzu, dass der eigentliche Verlegevorgang der Sonde viele Meter unter der Erdoberfläche und damit für die Verlegemannschaft

vollständig im Verborgenen stattfindet. Ebenso lassen sich für derartig verlegte Geothermiesonden kaum Richtwerte für die auftretenden Punktlasten, z.B. verursacht durch in das Bohrloch hineinragende Steine oder Volumenzuwachs beim Aufrieren des Bohrlochs, abschätzen, da die Lage der Punktlast und deren auf das Rohr wirkende Normalkraft nicht berechnet werden kann. Folglich ist der verantwortliche Planer bei allen hochwertigen Geothermie-Installationen gut beraten, wenn er für derartige Geothermiesondenanlagen nicht das kostengünstigste, wenig punktlastbeständige und nur für maximale Temperaturen von nur 40°C entwickelte Rohrsystem projiziert, und darauf vertraut, dass keine außergewöhnlichen Lasten (Punktlasten, Riefen, usw.) während der Bau- oder Nutzungsdauer auftreten, sondern a priori ein verlegefreundliches, sicheres Rohrsystem verwendet, bei dem die Eignung für Punktlasten, Riefen und Temperaturen bis 95°C im Prüflabor und in der Praxis nachgewie-



Abb.5: Punktlastbeständige Doppel-U-Sonde aus PE-Xa nach DIN 16892 / DIN 16893

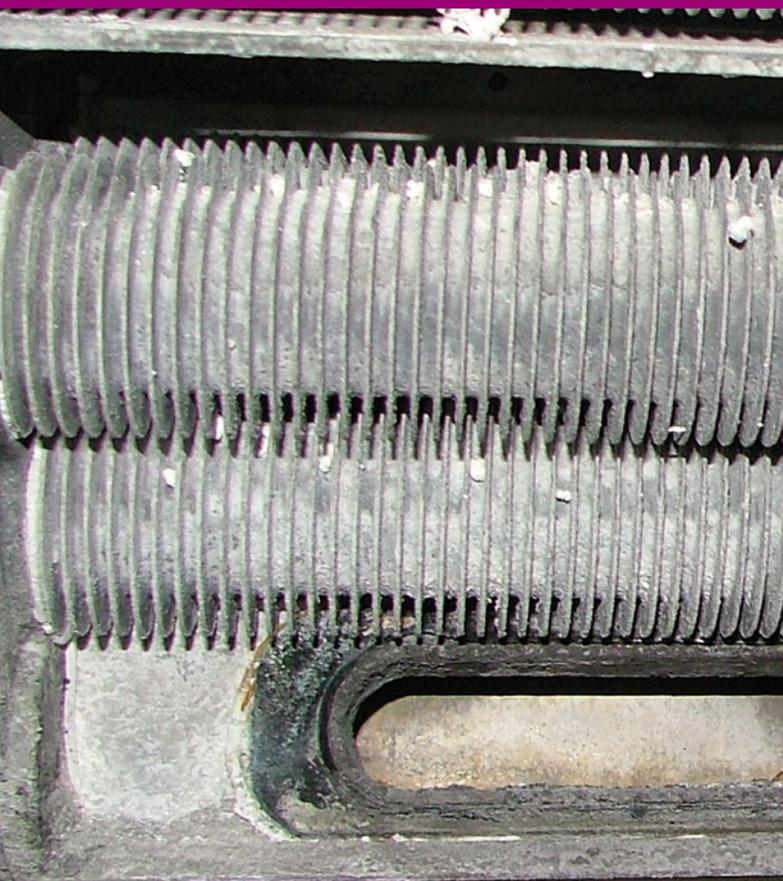
sen worden ist. Denn ein einziger eintretender Schaden an der Geothermie-Sonde würde nicht nur die Funktion der gesamten Geothermie-Sondenanlage außer Betrieb setzen, sondern auch hohe Folgekosten (erneute Tiefbohrung, neue Sonde verteufen) mit sich ziehen, die den Mehrpreis einer Sonde mit hohen Sicherheitsreserven gegenüber einfachen PE100-Sonden weit übersteigen würde. Letztlich müssen alle erdverlegten Geothermiesonden selbstverständlich als überwachungspflichtige Baustoffe für die Verwendung mit dem

jeweiligen Betriebsmedium und Betriebsdruck von der nationalen maßgeblichen Institution zugelassen sein und dann einer laufenden externen Güteüberwachung unterliegen.

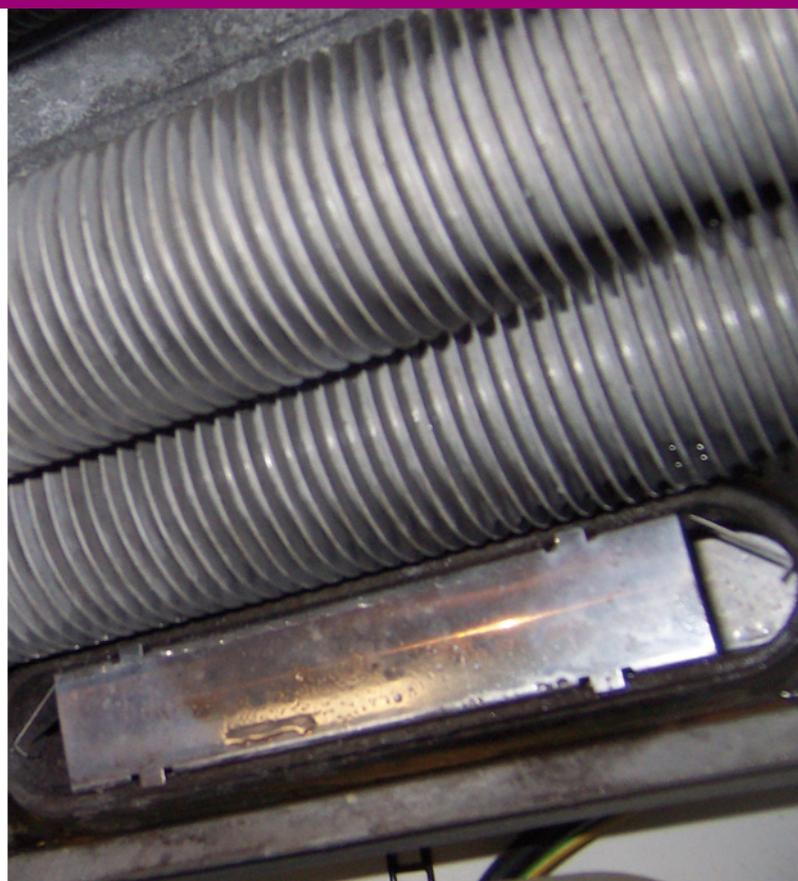
3. KLASSIFIKATION VON PUNKTLASTBESTÄNDIGEN, VERTIKAL VERLEGTEN GEOTHERMIESONDEN

a) Vollwand-Druckrohrsysteme aus PE100-Standardmaterial

Vollwand-Druckrohrsysteme aus PE100-Standardmaterial nach EN 12201 / EN 1555 und DIN 8074 / DIN 8075 sind seit Jahrzehnten in der Gas- und Wasserversorgung bewährt, erfordern aber aufgrund des bekannten begrenzten Widerstandes des Rohrwerkstoffes gegen langsames Risswachstum stets ein das Rohr vor auftretenden Punktlasten schützendes Sandbett zur fachgerechten Verlegung. Aus diesem Grund werden derartige Rohrsysteme heute nur noch für wenig anspruchsvolle Verlegetechniken, z.B. konventionelle-



ohne **rendeMIX**



mit **rendeMIX**

Verlegung im Sandbett im offenen Rohrgraben, eingesetzt und bilden demzufolge den low-end-Bereich für polyolefine Druckrohrsysteme. In der Anfangszeit wurden derartige Rohrsysteme auch zur Herstellung von vertikalen Geothermiesonden nach VDI 4640 eingesetzt. Jedoch zeigte sich schnell, dass beim Einbringen derartiger Sonden in ein Bohrloch in der Praxis stets Riefen und Kerben in die Sonde eingebracht werden. Gerade die durch den hydrostatischen Druck der Sole am stärksten und dauerhaft mit Innendruck belastete Sondenspitze wird, nachdem diese das gesamte Bohrloch passieren musste, erfahrungsgemäß am höchsten belastet. Ebenso müssen derartige, aus einfachen PE100-Materialien hergestellte SONDENSYSTEME allseitig nach der Verlegung mit einem vor Punktlasten schützenden Dämmstoff verdämmt werden. Jedoch kann erfahrungsgemäß nicht auf der gesamten Länge erreicht werden, dass die Sonde konzentrisch im Bohrloch fixiert

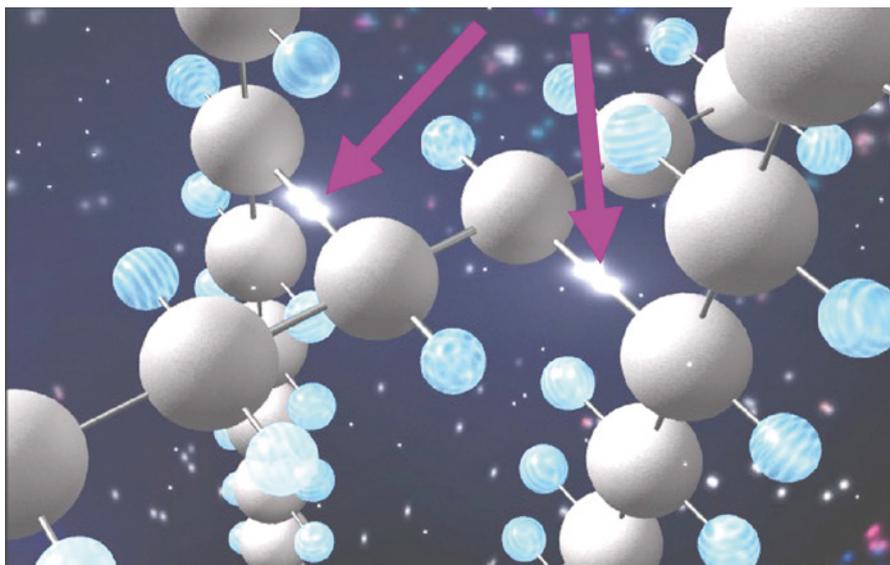


Abb.6: Weitmaschige, dreidimensionale Vernetzung über hochfeste kovalente C-C-Bindungen beim PE-Xa

ist, und das Dämmmaterial allseitig die Sondenrohre vor Punktlasten aus dem Gebirge schützt. Somit muss bei derartigen Einbauten grundsätzlich mit dem Auftreten von ständigen und über Jahrzehnte hinweg

auf das Rohrsystem einwirkenden Punktlasten in der unmittelbaren Umgebung der Rohrleitung gerechnet werden. Bekannte und mehrfach publizierte FEM-Berechnungen zeigen anschaulich, dass

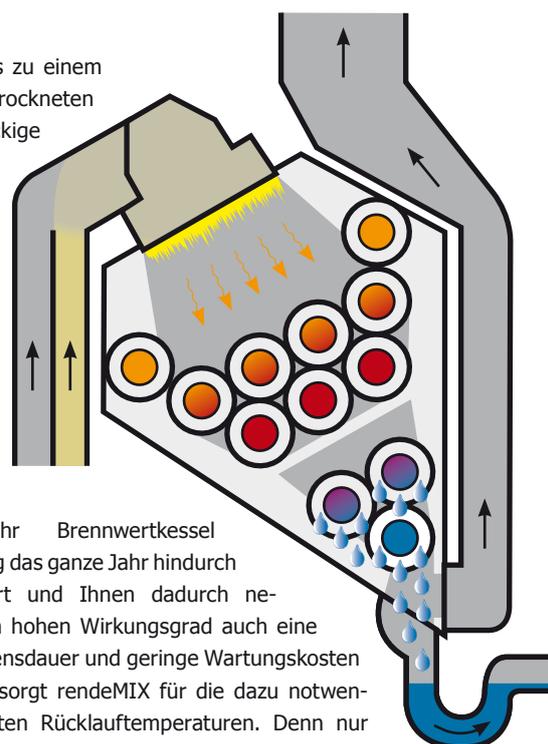
Wie hätten Sie es denn gern?

Besser nass geschwitzt als trocken gelaufen

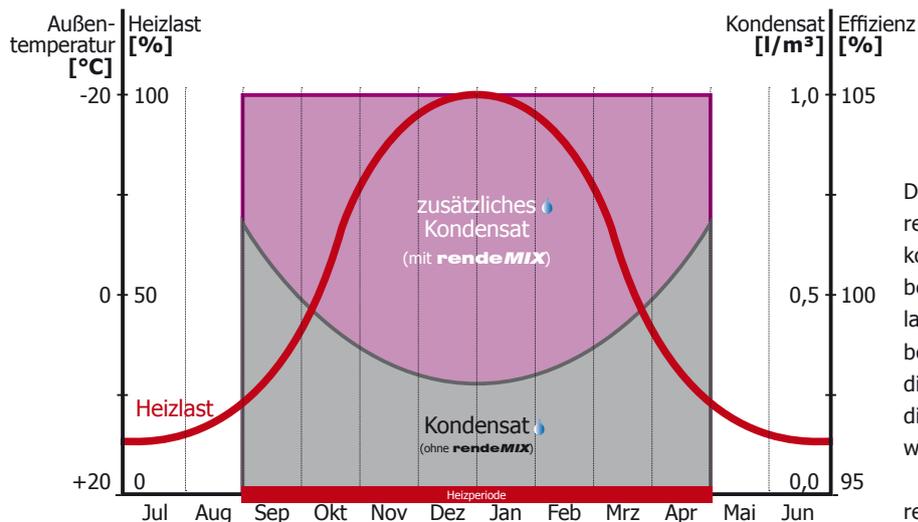
In einem Brennwertkessel soll sich an den kältesten Rohren des Wärmetauschers der im Verbrennungsabgas enthaltene Wasserdampf als Kondensat niederschlagen.

Dabei wird aber nicht nur zusätzliche, sogenannte „latente Wärme“ frei, sondern der Wärmetauscher wird ständig durch das abfließende „Schwitzwas-

ser“ gespült (pro Kubikmeter Gas mit bis zu einem Liter Wasser). Gut so, denn auf eingetrockneten Oberflächen bilden sich äußerst hartnäckige Ablagerungen, die nicht nur höhere Wartungskosten verursachen, sondern auch den frühzeitigen Ausfall des Wärmetauschers zur Folge haben können.



Damit Ihr Brennwertkessel regelmäßig das ganze Jahr hindurch kondensiert und Ihnen dadurch neben einem hohen Wirkungsgrad auch eine lange Lebensdauer und geringe Wartungskosten beschert, sorgt rendeMIX für die dazu notwendigen, kalten Rücklauftemperaturen. Denn nur die garantieren Ihnen einen verschleißarmen und wirtschaftlichen Betrieb.



bei einem im Betrieb befindlichen Druckrohr in diesem Einbauzustand die maximale vom Rohr zu ertragende Spannung an der Rohrinneenseite auftritt. Folglich wird ein derart belastetes Rohr, wird es nicht durch besondere Maßnahmen geschützt, an diesem Punkt der höchsten Spannung in Folge langsamen Risswachstums (slow crack growth, SCG) versagen. Die Versagensmechanismen sind hinreichend erforscht, ebenso sind Prüfmethode zur Beurteilung der Rohrqualität bei auftretenden Punktlasten etabliert, Abb.4.

Unter Punktlast und gleichzeitigem Innendruck stehende Geothermiesonden versagen in der Regel nach einigen Jahren der Einwirkung der Punktlast durch einen Sprödbbruch ohne erkennbare duktile Anteile, Abb.3. Als Folge tritt die unter Druck stehende Sole aus der Geothermiesonde aus. Der Solekreislauf wird gestört, die Funktion der gesamten Geothermieanlage setzt aus. Gegebenenfalls kann im Notbetrieb auf noch vorhandene, funktionierende Sondenkreisläufe umgeschaltet werden, sofern entsprechende Absperr-elemente vorgesehen wurden und im Schadensfall schnell ohne Erdarbeiten zugänglich sind.

b) Sonden aus besonders beständigem PE (z.B. PE 100-RC)

Etwas sicherer gegen derartige Versagensmechanismen durch Punktlasten sind vertikale Geothermiesonden, die aus einem besonders gegen langsames Risswachstum beständigem PE (z.B. PE 100-RC „Resistant to Crack“), hergestellt werden, die meist auf dem Copolymer Hexen basieren.

Auch diese Rohrsysteme sind in der im Juni 2009 erschienenen PAS 1075 „Rohre aus Polyethylen für alternative Verlegetechniken - Abmessungen, technische Anforderungen und Prüfung“ erstmalig geregelt, entsprechen aber weiterhin zusätzlich auch allen Basisanforderungen gemäß DIN 8074/75 bzw. EN 12201 / EN 1555 / EN 13244 bzw. VDI 4640.

Geothermie-Sonden aus PE 100-RC nach PAS 1075 müssen insbesondere einer regelmäßigen internen und externen Qualitätskontrolle durch ein anerkanntes,



Abb.7: PE-Xa-Sonde mit hydraulisch optimiertem Sondenkopf ohne jegliche Schweißnaht

akkreditiertes Prüflabor unterliegen, das sicherstellt, dass eine Mindestnutzungsdauer von 100 Jahren auch bei der baustellenüblichen Verfüllung und Verlegetechnik trotz partiell auf die Rohrleitung einwirkender Punktlasten erreicht wird.

Besonders vorsichtig sollten Anwender und Planer jedoch agieren, wenn Geothermie-Sonden angeboten werden, die zwar als „punktlastbeständig“ angepriesen werden, oder aus Wertstoffen mit selbstgewählten, nicht geschützten Bezeichnungen wie „PE 100 VRC“, „PE 100 RC plus“ etc. ohne den schriftlichen Nachweis der PAS 1075 - Qualität durch ein akkreditiertes Prüfinstitut hergestellt sind.

Bei derartigen Sonden bleiben stets Zweifel, ob tatsächlich das für den Anwendungsfall geforderte Rohr aus 100% PE 100-RC nach PAS 1075 auf die Baustelle geliefert worden ist. Ein dem Anwender zugäng-

licher Schnelltest, mit dem er die Eignung und Qualität der einzelnen im Rohrverbund verwendeten Schichtenwerkstoffe qualifiziert beurteilen kann, fehlt ebenso branchenweit.

PRÜFVERFAHREN

Die zur Beurteilung einer 100-jährigen Mindestnutzungsdauer für PE 100-RC-Sonden und Baustellenbedingungen erforderlichen Prüfverfahren sind etabliert und akkreditiert. Als besonders vorteilhaft stellten sich dabei die Prüfverfahren FNCT, Punktlastversuch und Wärmealterung, heraus. Bei bekannter Korrelation hat es sich darüber hinaus als sinnvoll erwiesen, Prüfzeiten für die Erstprüfung und Überwachungsprüfung durch beschleunigte Prüfverfahren abzukürzen. In diesem Zusammenhang kommt dem „accelerated creep test (ACT)“ herausragende Bedeutung zu. Diesbezüglich liefert die nun erschienene PAS 1075 einen Meilenstein für die Gütesicherung auch derartiger vertikaler Geothermie-Sonden aus PE 100-RC, der weit über den bisher in der VDI 4640 etablierten Stand der Technik für unternetzte Geothermiesonden hinausgeht.

ACT

Als Mindestforderung an die Qualität der Rohstoffes für derartige Rohrsysteme hat sich ein ACT von > 320 h (gemessen

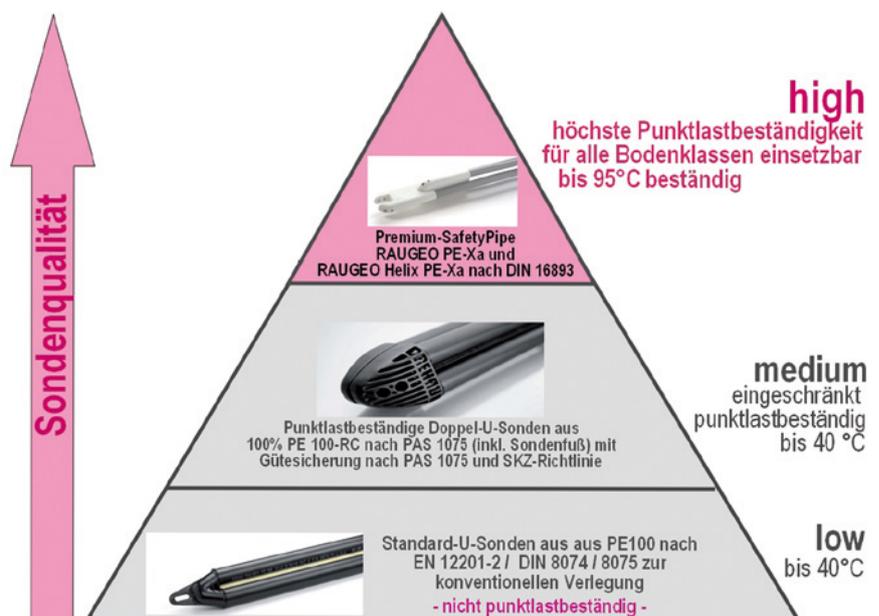


Abb.8: Klassifikation auf dem Markt angebotener Geothermiesondenlösungen



Abb.9: Neue Helix-Sonde aus PE-Xa (transportverpackt und vorbereitet zum Einbau)

am Granulat jeder Rohstoffcharge) als vorteilhaft und in der Praxis beherrschbar erwiesen. Die laufende Prüfung zur Qualitätssicherung der aus diesem Werkstoff gefertigten Vollwand-Rohre sollte einen ACT > 160h, gemessen an Proben aus dem Rohr, mit einer Prüfhäufigkeit von mindestens einmal pro Jahr und Fertigungsgruppe beinhalten.

FNCT

Die vor Jahrzehnten entwickelten Standard-Tests zur Beurteilung des langsamen Risswachstums (z.B. FNCT) sind bei den heutigen modernen PE 100-RC Rohrwerkstoffen nicht mehr sinnvoll zur Unterscheidung einer Sicherheit gegen Spannungsrissbildung einsetzbar, da durchwegs Standzeiten > 8760 h erreicht werden. Bei derartig langen Prüfzeiten, die bei Entwicklung des Prüfverfahrens nicht absehbar waren, wird in erster Linie die Beständigkeit des Werkstoffes bezüglich Wärmealterung geprüft. Zudem muss durch geeignete Maßnahmen sichergestellt werden, dass die verwendeten Netzmittel auch während dieser Prüfzeit nicht oxidativ abgebaut und damit wirkungslos werden. Aus diesem Grund sind auch Zulassungsprüfungen, die z.B. einen FNCT > 8760 h zur Beurteilung der Spannungsrissbeständigkeit eines PE-Werkstoffes fordern, bei bekannter und bestätigter Korrelation zu beschleunigten Verfahren (wie z.B. dem ACT) nicht sinnvoll.

PE 100-RC und PE 100

Auch wenn bei Sonden aus PE 100-RC die Punktlastbeständigkeit gegenüber Sonden aus PE 100 verbessert werden konnte,

haben sowohl PE100-RC als auch PE 100 weiterhin die gemeinsame Schwäche, dass die thermische Beständigkeit sehr eingeschränkt ist und bei Temperaturen jenseits von 40°C die Druckrohreigenschaften rapide einbrechen. Aufgrund dieser eingeschränkten Temperaturbeständigkeit bis etwa 40°C ist die Errichtung von Erdwärmesondenspeichern und das unbedenkliche Einspeisen von Überschusswärme aus einer Solaranlage in die Erdwärmelanlage mit Sonden aus PE 100-RC und PE 100 nicht möglich.



Abb.10: Schneller und einfacher Einbau einer Helix-Sonde aus PE-Xa

c) Vernetztes Polyethylen PE-Xa

Während die stetige Weiterentwicklung der unvernetzten Polyethylenwerkstoffe in den

letzten Jahrzehnten von PE63 über PE80 bisher in der aktuellen Werkstoffgeneration „PE 100-RC“ ihren Höhepunkt fand, so bildet die „Königsklasse“ der vertikalen Geothermiesonden weiterhin ein Sondensystem aus vernetztem Polyethylen PE-Xa nach DIN 16892/DIN 16893, Abb.5. Während die anerkannten technischen Regeln für die Erstprüfung, Zulassungsprüfung und Gütesicherung bei den neuen PE 100-RC Typen mit der PAS 1075 erst seit Juni 2009 vorliegen, existieren beide produktspezifische Anwendungsnormen DIN 16892 / DIN 16893 bereits seit vielen Jahren. Ebenso transportieren mittlerweile mehrere Millionen Kilometer Druckrohre aus PE-Xa die wichtigsten Medien Gas, Wasser und Abwasser zuverlässig seit Jahrzehnten, und wurden oft unter schwierigsten und anspruchsvollsten Bedingungen verlegt.

Die als herausragend bekannten Eigenschaften des hochdruckvernetzten Polyethylens wurden schon vom Erfinder Engel beschrieben: Die regelmäßige Vernetzung der langen Polyethylenmoleküle während des schmelzeflüssigen Zustandes durch echte Kohlenstoff-Kohlenstoff-Brückenbindungen (etwa jedes 200. Kohlenstoffatom!) stellen den zur Zeit anerkannten und besten Wirkmechanismus gegen langsames und schnelles Risswachstum im Polyethylen dar. Verglichen mit der auf lediglich verschliffenen Tie-Molekülen beruhenden Wirkungsweise von bimodalen PE100 und PE 100-RC-Typen erfordert es eine um Größenordnungen höhere Aktivierungsenergie, eine echte kovalente Kohlenstoff-Kohlenstoff-Brückenbindung aufzutrennen, als lediglich „verschliffene“ Tie-Moleküle zu entwirren. Aus diesem Grund zeigen hochwertige PE-Xa-Rohrsysteme selbst bei hohen Betriebstemperaturen die größte derzeit bekannte Sicherheit gegen Rissinitiierung sowie langsames und schnelles Risswachstum, Abb.6.

Für den Planer und Anwender unmissverständliche und eindeutige Freigaben zum Einsatz von hochwertigen Rohrsystemen aus PE-Xa unter schwierigsten Verlegebedingungen finden bereits seit 2004 in maßgeblichen Verlegevorschriften, z.B. in der GW 323, Stand Juni 2004, als maßgeb-

liche Richtlinie für die grabenlose Erneuerung von Gas- und Wasserversorgungsleitungen durch Berstlining, Anwendung:

Pkt. 4.4.2.1. Mindestanforderungen [an das Rohrmaterial]:
 „Bei PE-Xa-Rohren ist ein zusätzlicher Rohraußenschutz aufgrund der hohen Vernetzung und Zähigkeit des Werkstoffes nicht erforderlich“.

Die Sicherheitsreserven eines erdverlegten PE-Xa-Rohrsystemes im Praxiseinsatz und die hohe Zufriedenheit mit diesem System sind seit Jahren sprichwörtlich, doch fehlte bisher ein entsprechendes Prüfverfahren, das die überlegene Qualität des Werkstoffes PE-Xa gegenüber nichtvernetzten Polyolefinen wie PE 100-RC illustrieren konnte. Mit dem ACT gelang es, Prüflinge aus PE-Xa (hergestellt aus Rohren) vergleichend zu Prüflingen aus PE 100 und PE 100-RC zu untersuchen, ohne aufgrund von extrem langen Prüfzeiten > 8760 h in den Bereich der Wärmealterung vorzustoßen. Die Ergebnisse aus dem Prüflabor bestätigen die überragende Qualität der vernetzten Druckrohre aus hochreinem PE-Xa, Abb.2.

ERGEBNISSE WERTSTOFFPRÜFUNG PE 100 UND PE-XA

Die Ergebnisse dieser vergleichenden ACT-Untersuchung zeigen, dass neben der bekannten PE100-Klasse, die im ACT lediglich Standzeiten im Bereich von 20 bis etwa 100 h erreicht, die PE 100-RC Rohrwerkstoffe bei Prüfung an aus Granulat hergestellten Probekörpern meist Standzeiten von etwa 300 h bis knapp 1.900 h erreichen. Werden die Probekörper aus extrudierten Rohren gewonnen, so liegen die Ergebnisse tendenziell meist tiefer. Je nach Fertigungsqualität werden ACT-Ergebnisse von >165 h bis etwa 700 h erreicht. Bei einer Prüfung von PE-Xa-Probekörpern, die aufgrund des aufwändigen PE-Xa-Herstellungsprozesses nur aus extrudierten Rohren gewonnen werden konnten, traten Brüche der Probekörper nach 11.771 h und 12.124 h im ACT auf. Damit konnte PE-Xa gegenüber Rohrproben aus PE100-RC eine nochmals um den Faktor 17 (!) erhöhte Standzeit im ACT und damit erhöhte Langzeitqualität aufzeigen.

Diese anerkannt beste Standzeit für PE-Xa im ACT illustriert die selbst die besten derzeit bekannten PE 100-RC-Werkstoffe überragende Sicherheit gegen langsames und schnelles Risswachstum eindrucksvoll. Gleichzeitig wird mit diesen Messwerten die hohe Qualität der auf dem Markt angebotenen hochreinen PE-Xa-Rohrsysteme gegen Punktlastbeständigkeit und Wärmealterung nochmals bestätigt.

Neben diesen überzeugenden Ergebnissen aus der Werkstoffprüfung schätzen viele Anwender die aus der geringen Kristallinität der PE-Xa-Klasse resultierende hohe Flexibilität der hochfesten PE-Xa-Geothermiesonden. Während PE 100-RC-Typen meist in der Steifigkeit noch über PE 100-Rohrsystemen liegen, und dadurch insbesondere bei niedrigen Verlegetemperaturen hohe Kräfte zum Abrollen, zum Einziehen in das Bohrloch oder zum Herstellen einer Schweissverbindung bei Ringbundware erfordern, überzeugen hochflexible und hochfeste PE-Xa-Rohrsysteme den Anwender mit einfachem, flexiblem Baustellenhandling und geringsten Mindestbiegeradien.

Hohe Flexibilität

Nur diese hohe Flexibilität des Werkstoffes PE-Xa ermöglicht es, den, was die Festigkeit betrifft, am meisten belasteten Bereich einer vertikalen Geothermie-Sonde, die Sondenspitze, nahtlos aus einem PE-Xa-Rohr zu biegen und dort, am Ort des höchsten hydrostatischen Druckes, eine durchgehende, hydraulisch optimale Sonde ohne jegliche Schweißnähte herzustellen, Abb.7.

Gute Druckeigenschaften bei hohen Temperaturen

Aufgrund der Vernetzung der Molekülketten bleiben die guten Druckeigenschaften der Rohrsysteme aus PE-Xa auch bei hohen Temperaturen erhalten. Dies ermöglicht, die aus einer thermischen Solaranlage im Sommer erhaltene Überschusswärme mit einer Vorlauftemperatur von bis zu 95°C direkt zur Regeneration des Erdreichs in die Tiefensonde einzuleiten. Ebenso werden mit PE-Xa-Sonden saisonale Geothermie-Sonden-Speicheranwendungen als zukunftssträchtige, energieeffiziente Anwendung möglich. Aus diesem Grund

werden die über Jahre bewährten PE-Xa-Tiefensonden aus vernetztem PE-Xa weiterhin die Oberklasse der punktlastbeständigen vertikalen Geothermiesonden anführen und trotz der sich entwickelnden PE 100-RC-Rohrqualitäten ihren festen Platz im obersten Marktsegment derartiger Geothermiesonden ausbauen. Eine Klassifikation einer Auswahl der aktuell auf dem Markt erhältlichen Geothermiesonden ist in Abb.8 zu finden.

4. NEUE GEOTHERMIEANWENDUNGEN

Der vernetzte Hochleistungswerkstoff PE-Xa ermöglicht aufgrund seines Memory-Effektes auch neue Bauformen für vertikale Geothermiesonden.

Wird das vernetzt extrudierte Rohr zum Abkühlen in eine helixartige Spirale gelegt, so behält die Rohranordnung diese Form auch nach dem Abkühlen. Dadurch wird es möglich, eine schraubenförmige vertikale Erdwärmesonde herzustellen, die in mit üblichen Erdbohrgeräten hergestellte Bohrlöcher von etwa 3-5 m Tiefe und etwa 400 m Durchmesser passt. Damit erreichen derartige, meist genehmigungsfreie Geothermiesonden je nach anstehendem Boden und Grundwasser Entzugsleistungen von etwa 300 – 800 W / Stück.

Nach dem Einbringen der Helixsonde wird das Bohrloch durch Einschlämmen oder durch Auffüllen mit fließfähigem, selbstverdichtendem Dämmmaterial verfüllt und die in der benötigten Anzahl verteuften Helix-Sonden hydraulisch zu Gruppen zusammengeschaltet.

Die bekannten positiven Eigenschaften des Werkstoffes PE-Xa bleiben dabei vollständig erhalten, d.h. auch die aus dem Werkstoff PE-Xa gefertigten Helix-Sonden sind dauerhaft punktlastbeständig und können ebenso mit Temperaturen bis 95°C zur solaren Regeneration des Erdreichs beaufschlagt werden.

5. FAZIT

Für einfachste Geothermie-Anwendungen (nur Heizfall, keine solare Regeneration des Erdreiches im Sommerbetrieb) sind für geringe Endteufen noch Geothermie-Sonden aus PE 100 bei Sicherstellung einer ordnungsgemäßen Verfüllung einsetzbar,

wobei deren Langzeitfestigkeit durch im Betrieb einwirkende mögliche Punktlasten und Vorschädigungen durch Riefen/Kerben während der Bauphase dennoch nicht dauerhaft gesichert ist. Geothermie-Sonden aus 100% PE 100-RC mit zugesicherten Eigenschaften nach PAS 1075 weisen gegenüber den herkömmlichen PE 100-Sonden aufgrund der etwas höheren Punktlast-Festigkeit eine leichte Verbesserung auf.

Die Laboruntersuchungen zeigen, dass nur mit Erdsonden aus PE-Xa eine dauerhafte Lösung des branchenbekannten Problems der auftretenden Punktlasten erreicht wird. Die für die Praxis und zukünftige Anwendungen ebenso relevante Beschränkung der Vorlauf-Temperaturen von max. 40°C bleibt bei PE 100-RC voll erhalten. Damit ist die zur Erreichung einer optimalen Energieeffizienz der Gesamtanlage zukünftig immer wichtigere solare Regeneration des Erdreiches mit Sonden

aus PE 100-RC nicht möglich, was deren Zukunftsfähigkeit und damit Marktbedeutung stark begrenzt. Die Premiumklasse aller bekannten polymeren Geothermie-Sondenanwendungen bilden weiterhin die seit Jahrzehnten bewährten schweißnahtlosen PE-Xa-Geothermie-Sondensysteme nach DIN 16892/DIN 16893. Deren überlegene Qualität bestätigt sich nicht nur im jahrelangen Praxiseinsatz, sondern auch bei Anwendung modernster Untersuchungsmethoden im Prüflabor. Als Folge werden oberflächennahe vertikale Geothermiesonden aus hochwertigem PE-Xa zunehmend auch in neuen Bauformen, z.B. als erdverlegte Helixsonden, eingesetzt.

*Autoren: Dipl.-Ing. Guido Kania,
Leiter Corporate Technik – Tiefbau,
Dipl.-Ing. (FH) Daniel Gottschalk,
Technik – Geothermie,
REHAU, Erlangen
Fotos / Grafiken: REHAU
www.rehau.de*

Literatur

- [1] Helmreich, A: Funktionelle Schichten – Mehrwert für Versorgungssysteme. Tagungsband Wiesbadener Kunststoffrohrtage 2004, Wiesbaden 2004.
- [2] Hessel J., (2001), Mindestlebensdauer von erdverlegten Rohren aus Polyethylen ohne Sandeinbettung, Teil 2. In: „3R international“ (2001), 40. Jahrgang, Heft 6, S. 360-366. Vulkan-Verlag, D - Essen, Huysenallee 52-56
- [3] Hessel J., (2005), Verfahren zum Nachweis des Sicherheitsfaktors für Rohre aus Polyethylen unter komplexer Beanspruchung. In: 3R international“ (2005), 44. Jahrgang, Heft 5, S. 277-283. Vulkan-Verlag, D- Essen, Huysenallee 52-56
- [4] Kisselbach, G.: Die Belastungs- und Beanspruchungsverhältnisse erdverlegter Gasrohrleitungen. In: „3R international“ 28 (1989), Heft 8, S. 541 - 547, Vulkan-Verlag, D - Essen, Huysenallee 52-56
- [5] Kisselbach, G.: Sicherheit und Nutzungsdauer erdverlegter PE-Druckrohrleitungen, Teil 1: Rohrversagen bei Punktlagerungen?, In: „GWF Wasser. Abwasser“ (2004), Heft Nr. 1, S. 43 - 51.
- [6] Technische Mitteilung DVGW-Merkblatt GW 323: Grabenlose Erneuerung von Gas- und Wasserversorgungsleitungen durch Berstlining; Anforderung, Gütesicherung und Prüfung“. Bonn 2004.