

# **Großrohre aus PE 100 in der Abwasseraufbereitung**

## **PE 100 large-caliber pipes in waste-water treatment**

Thomas Böhm, Matthias Haese und Jochen Obermayer



# Großrohre aus PE 100 in der Abwasseraufbereitung

## PE 100 large-caliber pipes in waste-water treatment

Von Thomas Böhm, Matthias Haese und Jochen Obermayer

*Neue Reinigungsverfahren zur Abwasseraufbereitung machen es heute möglich und notwendig, die Abwässer noch besser als bisher zu reinigen. Künftig wird vor allem die Rückhaltung der schwer abbaubaren und ökologisch kritischen Reststoffe, wie Arzneimittelrückstände, Chemikalien usw., im Mittelpunkt der angestrebten Qualitätsverbesserungen stehen. Eine große Rolle spielen in Zukunft auch die Vorgaben der Europäischen Union, die eine einheitliche europäische Regelung im Bereich des Gewässerschutzes und der Anlageneignung vorsieht.*

*Um diese Aufgaben technisch und qualitativ bewältigen zu können, bedarf es einer Kapazitätsausweitung der bisherigen Betriebsfläche beim Zweckverband „Klärwerk Steinhäule“. Es werden weitere Klärbecken und eine Filteranlage benötigt, die dem Zweckverband den Ausbau des Klärwerkes entsprechend dem jeweiligen Stand der Technik ermöglichen [1]. Frei verlegte Druckrohrleitungen mit einem Innendurchmesser von DN 1000 bis DN 1400 für die unterirdischen Denitrifikationsbecken mit vielen Sonderbauteilen erforderten eine detaillierte technische Vorplanung hinsichtlich der statischen Auslegungen und der konstruktiven Gestaltung der Rohrleitungen. In Zusammenarbeit mit einer Verlegefirma und Ingenieurbüros wurden für dieses Anwendungsbeispiel gewickelte Großrohre aus PE 100 zur Abwasseraufbereitung verlegt.*

*New cleaning processes introduced in waste-water treatment nowadays make it both possible and necessary to clean this water even better than previously. The focus of the targeted quality improvements will, in future, be on the capture of poorly degradable and ecologically critical residues, such as remnants of pharmaceuticals, chemicals, etc. The requirements specified by the European Union, which is planning a standardized European regulatory instrument in the field of water protection and plant approvals, will also play a major role.*

*The Klärwerk Steinhäule treatment plant operator will need an expansion of the capacity of its operating site up to now in order to be able to meet these technical and qualitative challenges. Further clarifying basins and a filter plant are needed, and will enable the municipal confederation to expand its treatment plant to correspond to the state of the technological art [1]. Exposed pressurized pipelines of internal diameters ranging from DN 1000 to DN 1400 for the underground denitrification basins, featuring a large range of special components, have necessitated detailed advance technical planning with respect to stress-analysis and structural design of the pipelines. Wound PE 100 large-caliber pipes have been installed for waste-water treatment in cooperation with an installation contractor and engineering consultancies.*

### Zweckverband Klärwerk Steinhäule

Unweit der Donau, unterhalb des Kraftwerks „Böfinger Halde“, im sogenannten „Steinhäule“ auf Pfulher Gemarkung, befindet sich das Klärwerk, das nach seiner Lage benannt wurde. Träger ist der Zweckverband „Klärwerk

Steinhäule“, zu dem sich die Städte Ulm, Neu-Ulm, Senden und Blaubeuren sowie die Gemeinden Berghülen, Blaustein, Dornstadt, Illerkirchberg, Illerrieden, Schnürpflingen und Staig zusammengeschlossen haben. Das aus dem Einzugsgebiet zugeleitete Abwasser wird - gemäß den gesetzlichen Vorschriften und behördlichen Entscheidungen - behandelt,

gereinigt und dem Wasserkreislauf durch Ableitung in die Donau wieder zugeführt [1].

Erst beim Bau des Donaukraftwerks „Böfinger Halde“ ergaben sich klare Vorstellungen zum Standort der Kläranlage. Die genaue Lage konnte nur unterhalb der Wehranlage bzw. der aufgestauten Donau sein, wo mit Hilfe des neuen Zuleiters ein Betrieb mit natürlichem Gefälle möglich war. So kam es zu dem für die Entwicklung der Städte so günstigen Standort im „Steinhäule“. 1957 ging, nach zweijähriger Bauzeit, die gemeinsame mechanische Sammelkläranlage für Ulm / Neu-Ulm in Betrieb.

Die Anlage umfasst eine Fläche von 11 Hektar. Das Abwasser von rund 400.000 Einwohnerwerten im Einzugsgebiet des Zweckverbands Klärwerk Steinhäule fließt täglich durch die Kanalisation in das Klärwerk an der Donau. Eine Wassermenge von rund 80.000 bis 100.000 m<sup>3</sup> ist pro Tag zu reinigen. Rund 40 % davon stammen aus Industrie und Gewerbe. Beim Klärprozess fallen täglich ca. 20 bis 40 Tonnen Schlamm (Trockensubstanz) an, die der thermischen Verwertung zugeführt werden. Der Reinigungsprozess vom Abwasserzulauf bis zum Ablauf des geklärten Wassers dauert rund zehn Stunden. Zum Vergleich: Die Donau würde dazu mit ihren Selbstreinigungskräften etwa zehn Tage benötigen.

### Anforderungen an die Baumaßnahme

Der Neubau von Denitrifikationsbecken umfasste acht Kaskaden mit Zu- und Ablaufkanälen. Jede Kaskade hatte ein Volumen von 2.400 m<sup>3</sup> aufzuweisen.

Folgendes Anforderungsprofil lag für das frei verlegte und unterirdische Rohrleitungssystem vor:

- Druckrohrleitungen mit einem Innendurchmesser von DN 1000 bis DN 1400 für eine flexible Wasserführung und -verteilung



**Bild 1:** Überblick über den Installationsgang mit verlegten Leitungen DN 100, DN 1200, DN 1400

**Fig. 1:** Overview of the installation operation, showing the DN 100, DN 1200 and DN 1400 lines installed

- Die unterirdischen Rohrleitungen beinhaltet Sonderbauteile wie Abzweigungen, Schieber, Wandeinbindungen und Reduktionen
- Durchflussleistung: 55 bis 70 m<sup>3</sup>/min
- Betriebstemperaturen: 5 und 20 °C
- zulässiger Betriebsdruck / Systemdruck: max. 1,5 bar
- Nutzungsdauer: 50 Jahre

### Auswahl des Rohrwerkstoffes

Die ursprüngliche Planung für den Neubau der Kläranlage sah als Rohrwerkstoff Edelstahl vor. Die wirtschaftlichen und technischen Vorzüge von Rohrsystemen aus PE 100 im Versorgungsbereich waren dem Betreiber der Kläranlage und den beteiligten Ingenieurbüro seit mehreren Jahren bekannt. So wurde das Kunststoffrohr in der Ausschreibung neben Edelstahl als Grundposition aufgenommen.

### Wirtschaftlichkeit und technische Aspekte von PE 100

Druckrohre und Formteile aus PE 100 bieten durch ihr relativ niedriges spezifisches Gewicht von 0,959 g/cm<sup>3</sup> deutliche Vorteile in der Handhabung und Verlegung. Dies wirkt

sich positiv auf die anfallenden Einbaukosten aus. Gewickelte Druckrohre mit einer Nennweite größer DN 800 sind durch ein flexibles Produktionsverfahren kostengünstig herstellbar [2].

Technische Vorteile von Rohrsystemen aus PE 100 sind im Besonderen die gute chemische Widerstandsfähigkeit, die hohe Betriebssicherheit, die geringe Neigung zu Verkrustungen, das deutlich günstigere Abriebverhalten im Vergleich zu metallischen Rohrwerkstoffen (nach dem Darmstädter Verfahren) sowie die Schweißbarkeit, die eine dauerhafte Dichtheit des Systems gewährleistet [2]. Unter Umweltgesichtspunkten ist die geringe benötigte Energiemenge zur Herstellung von Rohren aus PE 100 sowie die Möglichkeit des Recyclings zu nennen [3].

### Nachweis der Langzeitfestigkeit

Rohrsysteme aus PE 80 und PE 100 haben sich durch ihre Leistungsfähigkeit, Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit für den Transport von Gas, Wasser, Abwasser und grundwassergefährdenden Medien seit mehreren Jahrzehnten bewährt.

Inzwischen steht mit der ISO 9080 eine internationale Norm für thermoplastische

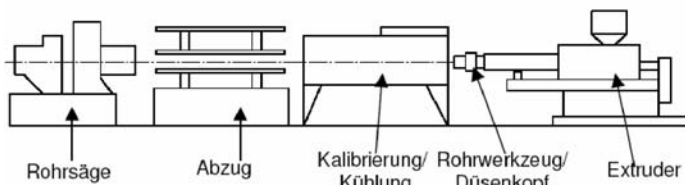
Kunststoffe zur Verfügung, die ein Extrapolationsverfahren beschreibt, mit dessen Hilfe wissenschaftlich fundierte Aussagen zur Langzeitfestigkeit von thermoplastischen Rohrwerkstoffen gemacht werden können.

Dieses Extrapolationsverfahren hat im Herbst 2006 eine Bestätigung aus der Praxis erfahren. Im Oktober 1956 eingebaute Rohrproben aus Labormengen der früheren Hoechst AG in Frankfurt haben bei 20 °C dem Innendruck bis heute standgehalten und damit die Richtigkeit des Arrhenius-Ansatzes bestätigt [4].

Den Herstellern und Anwendern von Rohrsystemen stehen mit Hostalen GM 5010 T3 black (PE 80), Hostalen CRP 100 black (PE 100) und Hostalen CRP 100 RESIST CR black (PE 100) drei Polyethylen PE-HD-Werkstoffe zur Verfügung. Diese multimodalen PE-HD-Werkstoffe stellt die Basell Polyolefine GmbH am Produktionsstandort Wesseling am Rhein, als Rohrwerkstoff der dritten Generation in einer mehrstufig arbeitenden Polymerisationsanlage nach dem ACP-Prozess her [2].

### Rohr- und Formteilherstellung

Die Firma Frank GmbH mit Sitz in Mörfelden blickt auf eine über 40jährige Erfahrung mit



**Bild 2:** Produktionsverfahren für strangextrudierte Rohre nach DIN 8074

**Fig. 2:** Production process for extruded pipes in accordance with DIN 8074



**Bild 3:** Herstellung der Wickelrohre bei der Frank & Krah GmbH nach PAF C 1065 DIN 16961

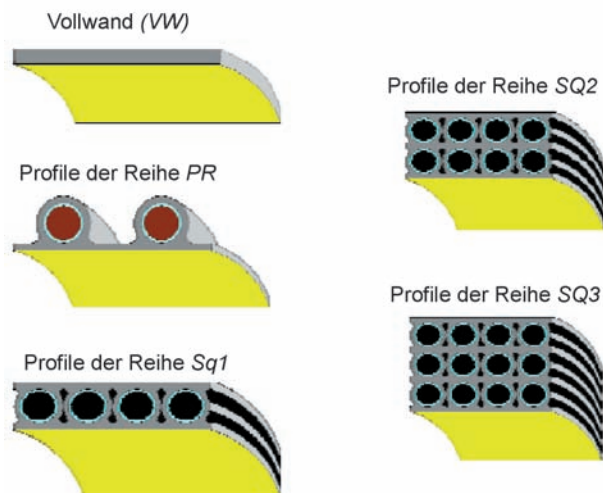
**Fig. 3:** Production of wound pipes at Frank & Krah GmbH in accordance with DIN 16961

PE-Rohrwerkstoffen zurück und zählt zu den größten Wickelrohrherstellern in Europa mit Niederlassungen in Polen und Neuseeland.

Die benötigten Druckrohre, Bögen und Abzweige wurden bei den beiden Tochterunternehmen der Frank GmbH in Wölfersheim hergestellt. Dank flexibler und modernster

Fertigungseinrichtungen bei der Wickelrohrherstellung können in Wölfersheim kundenspezifische Rohrdimensionen in PE und PP bis DN 3500 problemlos hergestellt werden.

Um die Installationskosten vor Ort zu verringern wurden ganze Segmente (Rohr mit Formteil) vorgefertigt. Die Bauteile hatten



**Bild 4:** Profile bei Wickelrohren [5]

**Fig. 4:** Sections through wound pipes [5]

Sonderlänge zwischen 4 und 8 m und wurden auf Tiefladern an die Baustellen gebracht.

Die statische Berechnung der Druckrohre, Bögen, und Festflanschkonstruktionen erfolgte bei Frank Deponietechnik in Zusammenarbeit mit Ingenieurbüro Pöttl. Überprüft wurden die Berechnungen von der LGA in Nürnberg sowie von Dr.Ing. Dietmar H. Maier, Karlsruhe. Die Lagerpunkte wurden vom Ingenieurbüro Brandolini & Seitz, Ulm berechnet.

Bei der Rohrherstellung unterscheidet man zum einen die strangextrudierten Rohre (Druckrohre und korrigierte Rohre) nach DIN 8074/75 und zum anderen die gewickelten Rohre nach DIN 16961, die hauptsächlich im Nennweitenbereich ab 600 mm eingesetzt werden.

**Herstellung von strangextrudierten Rohren**

Die plastifizierte PE-Formmasse wird im Düsenkopf zum Rohr geformt. Das noch weiche Kunststoffrohr wird anschließend durch eine Kalibrierung geführt und über Vakuum auf den gewünschten Außendurchmesser gebracht. Die nachfolgenden Wasserbecken kühlen das Rohr ab und sorgen für die notwendige Formstabilität. Am Ende der Verfahrenseinheit steht der Abzug, über dessen Geschwindigkeit die Wanddicke des Rohres beeinflusst werden kann. Auf diese Weise kann ein „endlos Rohr“ produziert werden, das mit entsprechenden Sägevorrichtungen auf die gewünschte Länge gekürzt werden kann (**Bild 2**).

**Herstellung von Wickelrohren**

Wickelrohre werden mit einem auf Schiene fahrbaren Extruder hergestellt. Die PE- oder PP-Formmasse wird im schmelzeförmigen Zustand als fortlaufendes, überlappendes Band spiralförmig auf eine Metalltrommel aufgewickelt. Über einen Coextruder kann eine zweite, funktionale und/oder inspektionsfreundliche Innenschicht aufgebracht werden.

Als Kalibrierung dient eine Metalltrommel, die den Innendurchmesser (DN) des Rohres bestimmt. Die Kühlung der Rohre erfolgt langsam über ein Gebläse. So können Eigenspannungen, die durch die Volumenschwindung und den Produktionsprozess verursacht werden, reduziert werden.

Durch mehrlagiges Übereinanderwickeln der Formmasse und Variieren der aufgetragenen Materialmenge können unterschiedliche Wanddicken ausgeführt werden (**Bild 3**).

Die Wickelrohrproduktion ermöglicht außerdem einen simultanen Aufbau der Rohre mittels Hohlkammerprofilen. Diese werden mit einem Schmelzeband umhüllt und auf die Grundlage aufgewickelt. Es entsteht somit eine einheitliche, homogene Verbindung.

Die Profilierung kann in unterschiedlichen Größen und Abständen aufgewickelt werden

und ergibt somit eine Vielzahl von möglichen Varianten. Eine Optimierung des Rohraufbaus für die jeweilige Einbausituation mit den entsprechenden Belastungen ist somit möglich (Bild 4).

## Ingenieurtechnische Betrachtung

Aufgrund der Anforderungen an die Baumaßnahme waren detaillierte technische Vorplanungen hinsichtlich der statischen Auslegungen und der konstruktiven Gestaltung der Rohrleitungen unter Berücksichtigung der Freiverlegung notwendig.

Hier sind insbesondere die Belastung aus möglichem Innendruck, thermischer Ausdehnung mit notwendigen Festpunktstrukturen sowie Stützweitenabstände zu betrachten.

Entsprechende statische Kennwerte für PE 100 wurden vom Rohstoffhersteller zur Verfügung gestellt.

### Belastung durch Innendruck

Bei der Auslegung von Rohren größerer Dimension muss in jedem Fall der Innendruck berücksichtigt werden. Hier ist zu unterscheiden zwischen dauerhaften Betriebsdruck und dem kurzzeitig auftretenden Prüfdruck. Zur Berechnung der notwendigen Mindestwanddicke ( $s_{min}$ ) wird die Kesselformel verwendet [5]:

$$s_{min} = \frac{p \cdot d}{20 \cdot \sigma_{zul} + p}$$

$s_{min}$	Mindestwanddicke [mm]
$p$	Betriebsüberdruck [bar]
$d$	Rohraußendurchmesser [mm]
$\sigma_{zul}$	Berechnungsspannung [N/mm <sup>2</sup> ]

### Temperaturabhängige Längenausdehnung

Ein weiterer Einflussfaktor bei sehr langen Rohrstrecken sind Temperaturschwankungen, die zu Längenänderungen des Systems führen. Die Größe der Längenänderung wird beeinflusst durch den Längenausdehnungskoeffizienten (auch linearer Ausdehnungskoeffizient  $\alpha$  genannt), der das Verhalten eines Stoffes im Verhältnis zur Temperatur beschreibt [5]:

$$\Delta L_T = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

$\Delta L_T$	Längenänderung infolge Temperaturänderung [mm]
$\alpha$	linearer Ausdehnungskoeffizient [mm/m·K]
$L$	Rohrlänge [m]
$\Delta T$	Temperaturdifferenz [K]

Die Längenausdehnung bei Temperaturschwankungen wiederum ist relevant für die Wahl der Auflager und die feste Einbindung



**Bild 5:** Geflanshtes Rohr mit FF-Stück aus Edelstahl und Kraftumleitung um den Plattenschieber

**Fig. 5:** Flanged pipe with stainless steel FF-element and force diversion around the knife-gate valve

der Rohre bei Wanddurchführungen. Ein Lasteintrag in die Edelstahlschieber durch Ausdehnung der Rohre musste auf jeden Fall verhindert werden, da die konstruktive Betrachtung ergeben hatte, dass die gehäuselosen Plattenschieber keine Axialkräfte aus den Rohrleitungen aufnehmen dürfen.

### Konstruktion im Bereich der Schieber

Da die gehäuselosen Schieber keine Längskräfte aus der Rohrleitung aufnehmen können, wurde eine Konstruktion mit Festpunkt und Ausbaustück (FF-Stücke aus Edelstahl) gewählt, um eine lastfreie Lagerung der Schieber zu erreichen (Bild 5).

Die Rohrenden wurden mit einer gefrästen Nut versehen und fest auf ein Auflager montiert. Durch diese Festpunktstruktur konnten die Kräfte aus der temperaturabhängigen Längenausdehnung aufgenommen und um den angeflanschten Plattenschieber herumgeleitet werden.

### Statische Berechnungen

Die statische Berechnung und Auslegung des Rohrleitungssystems waren sehr aufwändig. Mit den üblichen numerischen Verfahren nach DVS 2210-1 konnten die Bereiche der Rohrleitung ohne Formteile nachgewiesen werden. Insbesondere die Nachweise für Innendruckbelastung, Festpunktkräfte infolge temperaturabhängiger Längenausdehnung sowie die Stützweiten konnten so berechnet werden. Die Ergebnisse dieser Nachweise

führten dann zur konstruktiven Gestaltung der geraden Rohre zwischen den Formteilen. Es zeigte sich, dass die Rohrleitung aus PE 100 mit den gleichen Stützabständen verlegt werden kann, wie eine Edelstahlleitung. Ein deutlich erhöhter Rechenaufwand musste allerdings aufgrund der hohen Wärmeausdehnung von PE ( $\alpha = 0,18 \text{ mm/m}\cdot\text{K}$ ) geführt werden. Wie bereits beschrieben führte dann auch dieser Nachweis zu der Gestaltung der Festpunkte im Bereich der Schieber mit Kraftumleitung und spannungsfreiem Einbau der Schieber.

### Finite-Elemente-Berechnung der Formteile

Die Formteile wie T-Stücke, Bögen, Reduktionen und Festflansche mussten gesondert betrachtet werden. Diese Formteile wurden alle aus vollwandigem Wickelrohr (VW) hergestellt, so dass die erforderliche Wanddicke genau produziert werden konnte. Der Nachweis wurde mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FE-Methode) geführt. Mit dieser Methode können Problemstellungen aus den verschiedensten Disziplinen berechnet werden. Sie haben gemeinsam, dass das Bauteil in eine große Zahl kleiner, aber endlich (finit) vieler Elemente unterteilt wird. Auf diesen Elementen werden dann die Kräfte definiert die am Bauteil angreifen. So kann für jede Geometrie die erforderliche Wanddicke bestimmt werden.

Untersucht wurden bei den 90°-Abzweigen unter anderem die Verformung und die maximalen Spannungen über das FE-Modell

DISPLAY III - GEOMETRY MODELING SYSTEM ( 11.0.0 ) PRE/POST MODULE

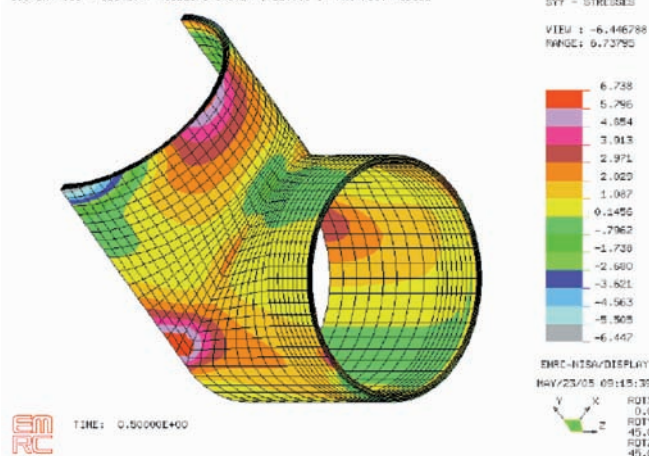


Bild A2 Maximale Spannungen

**Bild 6:** Finite-Elemente-Modell T-Stück DN 1400, LGA Nürnberg [6]

**Fig. 6:** DN 1400 Finite Element Model T-joint, LGA Nuremberg [6]

DISPLAY III - GEOMETRY MODELING SYSTEM ( 11.0.0 ) PRE/POST MODULE

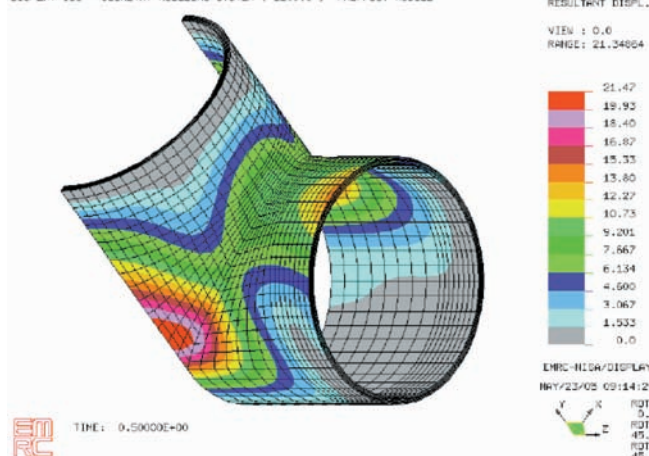


Bild A3 Verformungen

**Bild 7:** Finite-Elemente-Modell T-Stück DN 1400, LGA Nürnberg [6]

**Fig. 7:** DN 1400 Finite Element Model T-joint, LGA Nuremberg [6]

(Bild 6). Insgesamt treten sehr hohe Spannungen auf, am stärksten greifen diese jedoch an den Außenseiten der Abwinkelung an. Auch die Verformung der fest einbetonierten Abzweige in Folge der Wärmeausdehnung wurde so berechnet.

Die stärksten Verformungskräfte wirken ebenfalls an den Außenseiten der Abwinkelung (Bild 7). Aus diesen Gründen mussten die 90°-Abzweige mit deutlich größerer Wanddicke (Vollwanddicke von 42 mm) ausgeführt werden als das gerade Rohr.

### Durchführung der Baumaßnahme

Als Ergebnis der Überlegungen, Berechnungen und Analysen wurde am 23.07.2006 mit der Verlegung der Rohr und Formteile aus PE 100 im Installationsgang zwischen den Denitrifikationsbecken begonnen. Die gesamte Installation wurde in nur zwei Monaten erfolgreich abgeschlossen (siehe Bild 1).

Die gewonnenen Erfahrungen beim Neubau-projekt Steinhäule können für Folgeprojekte verwendet werden und zeigen, dass PE 100 im Anlagenbau mehr als eine Alternative zu Edelstahl ist.

### Literatur

- [1] Klärwerk Steinhäule: Internet Home Page
- [2] Hess, J. ; Böhm, Th.: Gewickelte Großrohre aus Polyethylen erschließen neue Einsatzmöglichkeiten, 3R international 43 (2004) Nr. 4-5
- [3] Fiedler, M.: Praxisbericht: Erfahrungen mit PEHD Vollwandrohren, 3. Göttinger Abwassertage 2003
- [4] Schulte, U.: Von der Idee zum Erfolg: 50 Jahre Rohrsysteme aus HDPE, KRV Nachrichten (2006) NR: 10
- [5] Katalog Fa. Frank GmbH, Kunststoff-Rohrsysteme 2003
- [6] LGA Bautechnik GmbH, Institut für Statik, Nürnberg

### Danksagung

Die Autoren bedanken sich recht herzlich bei den beteiligten Firmen Zweckverband Klärwerk Steinhäule, PM Engineering, LGA Nürnberg, der ausführenden Baufirma KG aus Nellingen, den Ingenieurbüros KS in Merklingen und Brandolini & Seitz für die Bereitstellung von Photos, Abbildungen und Informationen.

### Autoren:

**Dipl.-Ing. Thomas Böhm**  
LyondellBasell Industries,  
Frankfurt am Main

Tel. +49(0)96/305-26514  
E-Mail: thomas.boehm@  
lyondellbasell.com



**Dipl.-Ing. Matthias Haese**  
FRANK GmbH, Mörfelden

E-Mail: m.haese@frank-gmbh.de



**Jochen Obermayer**  
FRANK GmbH, Mörfelden

E-Mail: j.obermayer@frank-gmbh.de

