

Product Carbon Footprint – Vergleich verschiedener Rohrwerkstoffe

Die CO₂-Emissionen bei der Herstellung und Verwendung eines PE-Wickelrohres als Freispiegelleitung in einem Durchmesser von DN 800 liegen gemäß dieser Studie deutlich unter den Emissionen anderer gängiger Rohrwerkstoffe. Mit steigendem Durchmesser oberhalb DN 800 wird die Distanz zu vergleichbaren Werkstoffen immer größer. Bei kleineren Dimensionen liegen die Emissionen recht nahe beieinander. Steinzeugrohre der Hochlastreihe schneiden aufgrund des Gewichts und energieaufwändigen Herstellung bei allen Durchmessern am schlechtesten ab. Bei Druckrohren haben im Laufe des Lebenszyklus die extrudierten PE-Vollwandrohre in allen Dimensionsbereichen gegenüber Gussrohren einen günstigeren Product Carbon Footprint. Rohre mit Doppelfunktionen, wie gleichzeitiger Wärmerückgewinnung, verbessern den globalen Schadstoffausstoß zusätzlich.

1. ALLGEMEINE VORBETRACHTUNG

Der fortschreitende Klimawandel auf Basis unseres Schadstoffausstoßes stellt uns alle verantwortlich in den Mittelpunkt. Die Klimapolitik, aufgebaut auf dem Kyoto Protokoll¹ der Vereinten Nationen, hat hier Ziele gesetzt, um der drohenden Klimakatastrophe entgegenzuwirken. Es sind sinnvollerweise Ökobilanzen aufzustellen, um vergleichen zu können, was umweltverträglicher und weniger belastend ist, sowie um erkennen zu können, wo Schadstoffeinsparungen möglich sind. Die zugrundeliegenden Normen sind die DIN EN ISO 14040 und die DIN EN ISO 14044. Die DIN ISO 14067:2012-11² befindet sich derzeit noch im Entwurfsstadium. Die Ökobilanzen betrachten sämtliche Stoff- und Energieflüsse innerhalb gewählter Grenzen. Solche vergleichenden Ökobilanzen können für Produkte, Standorte, Prozesse und Betriebe frei wählbar erstellt werden. Die Maßskala hierfür ist der Schadstoffausstoß. Ein wesentlicher Schadstoffausstoß ist das Kohlendioxid (CO₂). Andere gasförmige Schadstoffe werden ergänzend in sogenannte „äquivalente“ CO_{2e}-Ausstöße gegenüber CO₂ bewertet und addiert. Zur besseren Verständlichkeit spricht man vom Carbon Footprint (CFP).

Bei der Zusammenfassung im Wesentlichen zugrundeliegenden Studie, handelt es sich um eine Bachelor-Arbeit von Thomas Christian Beikert (TU Darmstadt)³. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangt auch eine Studie des Hydro-Environmental Research Centres der Universität Cardiff (UK)⁴. Sie zielten darauf ab, den Product Carbon Footprint (PCFP) von Rohren aus Polyethylen (PE) anderen Werkstoffen vergleichend gegenüberzustellen. Dieser Beitrag stellt ergänzend hierzu die Überlegungen an für den Fall, dass

diese Rohre nicht nur Medien leiten, sondern zusätzlich die Medienwärmeenergie sowie umgebende Umweltwärme nutzbar machen.

Als Basis für einen solchen Vergleich muss zunächst geklärt werden, wie sich die einzelnen Phasen des Product Carbon Footprints (PCFP) darstellen. Um dies zu realisieren, wurde der PCFP eines PE-100-Rohres mit den Maßen 355 x 21,1 mm (Außendurchmesser und Wanddicke) mit allen relevanten Lebensphasen berechnet und dargestellt (**Bild 1**). Bereits in diesem Teil der Ausarbeitung fiel auf, dass die Emissionen bei der Rohstoffherzeugung den größten Anteil am PCFP der Rohre haben. Darauf aufbauend wurde definiert, dass der Zusammenhang zwischen der Rohrdimension und der CO_{2e}-Emission über das spezifische Rohrgewicht bestimmt wird. Mit der spezifischen Energie, die benötigt wird, um 1 kg Rohr zu produzieren, kann auf andere Rohrdimensionen interpoliert werden, um so den Product Carbon Footprint für die jeweiligen Rohrdurchmesser zu ermitteln. Diese Ergebnisse wurden dann in Stichproben an anderen Rohrdimensionen verifiziert. Die ersten Lebensphasen eines Rohres beziehen sich auf die Rohstoffgewinnung, Transport und Herstellung in einem Werk bis zum Werksausgangstor (Cradle-to-gate). Da der endgültige Einbauort eines Rohres individuell ist, muss diese Lebensphase auch individuell betrachtet werden („Gate-to-place“). Nach den Nutzungsjahren des Rohres, muss es wieder recycelt oder anderweitig verwertet werden („Place-to-grave“).

2. DIE BERECHNUNG DER CO_{2e}-EMISSIONEN ÜBER DEN LEBENSZYKLUS EINES PE-ROHRES

2.1 Rohstoffherstellung, Rohstofftransport und Rohrherstellung

Zunächst wird der Ausgangsstoff für die Rohrherstellung, das PE-Granulat hergestellt. Hierfür wird eine Sachbilanz erstellt. D. h. alle Input- und Output-Ströme werden mit ihren jeweiligen Schadstoffausstößen bewertet. Solch eine spezifische Bewertung (Sachbilanz für PE) wurde 2008 von

1 Das Kyoto-Protokoll ist ein am 11. Dezember 1997 beschlossenes Zusatzprotokoll, welches die Vereinten Nationen für den Klimaschutz verabschiedet haben. Es hat zum Inhalt, dass die Mitgliedsländer ihren CO₂-Ausstoß jährlich um 5,2 % des Standes von 1990 senken müssen.

2 Vgl. Memorandum Product Carbon Footprint, Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, S. 6, 2009

3 Bestimmung des Product Carbon Footprint von PE-Rohren mit anschließendem Werkstoffvergleich, Thomas-Christian Beikert, TU Darmstadt

4 A Comparative Analysis of the Carbon Footprint of Large Diameter Concrete and HDPE Pipes, Matthew Cowle, Hydro-environmental Research Centre, Cardiff University, School of Engineering, UK

Plastics Europe⁵ pro kg PE-HD-Granulat erstellt. Daraus lässt sich der CO_{2e}-Ausstoß ermitteln.

Nach der Herstellung des Granulats muss es zu den Rohrproduzenten transportiert werden. Die CO_{2e}-Berechnung auf Basis von „Tonnenkilometern“ hat den Vorteil, dass man die CO_{2e}-Emissionen von Strecken angeben kann, ohne die genauen Umstände der Fahrt zu kennen.

Hergestellt werden die PE-Rohre im hier untersuchten Fall mittels Rohrextrusion (Herstellung im Wickelverfahren bzw. Strangextrusion). Diese unterteilt sich in drei Phasen: Die Materialbereitstellung, die Extrusion selbst und die Abkühlung nach der Extrusion. Die CO_{2e}-Berechnung umfasste alle Arbeitsschritte in einem Rohrwerk.

2.2 Rohrtransport, Rohrverlegephase

Die Berechnung des CO_{2e}-Ausstoßes beim Rohrtransport vom Werk zum Einbauort erfolgt äquivalent zum Rohstofftransport, jedoch mit der erweiterten Berücksichtigung des größeren Rohrvolumens. Für das Verlegen der Rohre stehen zwei verschiedene Methoden zur Verfügung: die offene und die geschlossene Verlegung. Bei der offenen Verlegung wird ein Graben ausgehoben, in dem das Rohr gebettet und danach mit Erdreich überdeckt wird. Für die geschlossene Verlegung existieren verschiedene Verfahren. Zu all diesen Verfahren gibt es für die verwendeten Maschinen und Geräte Tabellen, die den Kraftstoffbedarf und somit den CO_{2e}-Ausstoß pro Maschinenstunden darstellen.

2.3 Die Nutzphase

Während der Nutzdauer der Rohre, die üblicherweise mindestens 50 Jahre beträgt, emittiert ein Rohr kein CO_{2e}. In diesem Zusammenhang muss aber erwähnt werden, dass eine Studie, die sich mit Kostensenkungspotentialen durch die Rohrwerkstoffauswahl in der öffentlichen Abwasserentsorgung befasst zeigt, dass PE-Rohre einen geringeren Reparaturaufwand benötigen als alternative Rohrwerkstoffe. Gerade in den Bereichen „Rohrbruch/ Einsturz“, „Korrosion“, und „Rissbildung“ welche in einer offenen Bauweise saniert werden müssen, erweisen sich PE-Rohre als besser. Die Tatsache, dass an PE-Rohren weniger Reparaturen durchgeführt werden müssen, führt dazu, dass der hier ausgegrenzte PCFP der Reparaturen auch als geringer angenommen werden kann.⁶ Dieser Sachverhalt findet aber in den nachfolgenden Überlegungen keine Berücksichtigung.

2.4 Rückbau, Abtransport, Recycling der Rohre

Für den Rückbau und Abtransport werden entsprechende Maschinen und Maschinenstunden mit den jeweiligen Energieverbräuchen und somit Schadstoffausstößen bilanziert. Für das Recyceln von Kunststoffen stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung: chemisch, stofflich und thermisch. Beim chemischen Recycling wird aus dem Rohr wie-

⁵ S.: high density polyethylene HDPE, Plastics Europe S. 3, Brüssel, 2008
⁶ Vgl. Frank, T. / Dr. Habedank, Ch./Lindenau, V., Rohrwerkstoffe in der öffentlichen Abwasserentsorgung, Verbreitung, Erfahrung und mögliche Kostensenkungspotentiale. 3R international – Zeitschrift für die Rohrleitungspraxis 45 (2006) Nr.8

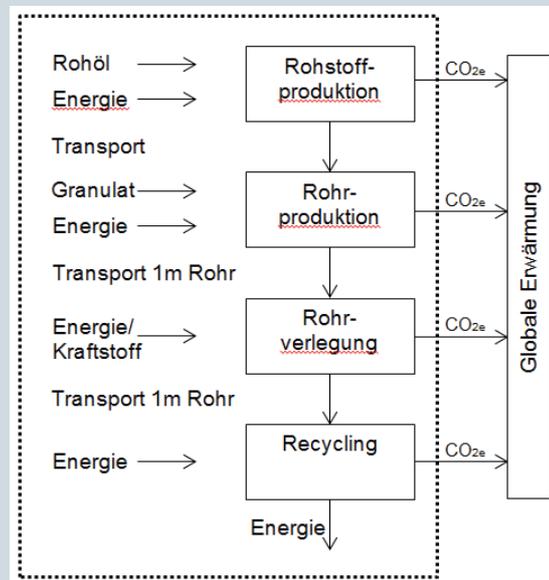


Bild 1: Lebensphasen und die Systemgrenzen des Produkt Carbon Footprint bei PE-Rohren

der ein chemischer Grundstoff erzeugt, um neue chemische Produkte oder einen neuen Kunststoff herzustellen. Beim stofflichen Recycling wird das Rohr wieder zu Granulat verarbeitet, um neue Produkte daraus herzustellen. Im Normalfall sind diese Produkte von geringerer Qualität als das Ursprungsprodukt. Daher wird beim stofflichen Recycling auch vom Downcycling gesprochen.⁷ Beim thermischen Recycling wird das Material verbrannt und mit der Abwärme Energie erzeugt. In der Ausarbeitung wurde lediglich die Möglichkeit des thermischen Recyclings betrachtet, denn sowohl stoffliches als auch chemisches Recycling gelten als Rohstoffherzeugung für ein neues Produkt und werden daher nicht auf den PCFP der Rohre angerechnet. Sie müssten dem daraus entstehenden neuen Produkt zugeschrieben werden. Beim thermischen Recycling wird der Werkstoff PE als Brennstoff über den sogenannten Heizwert mit Heizöl verglichen. PE verbrennt rückstandslos in CO₂ und Wasser. Allerdings ist in den Rohren üblicherweise auch ein Rußanteil von ca. 2 % zur UV-Stabilisation enthalten. Dieser produziert bei der Verbrennung zusätzlich CO₂.

3. DER PRODUCT CARBON FOOTPRINT VON PE-ROHR IM VERGLEICH ZU KONVENTIONELLEN WERKSTOFFEN

In der Untersuchung wird eine Cradle-to-gate-Betrachtung gewählt. Es werden also lediglich die Emissionen betrachtet, die von der Rohstoffherstellung bis zum Verlassen des Rohrwerks entstehen. Diese Einschränkung begründet sich darin, dass hierdurch eine allgemeingültige Aussage getroffen werden kann. Weitere Emissionsquellen, wie die Verlegung und das Recycling, mit den dazugehörigen Transportwegen hängen von zu vielen unterschiedlichen Faktoren ab. Die Werkstoffe wurden in zwei Kategorien verglichen. Die erste Kategorie war die Anwendung des Rohres als Druckleitung (Gasleitung, Trinkwasserleitung). Die zweite Kategorie war die Anwendung als Freispiegelleitung (Kanalrohr). In diesem Fall wurden die Werkstoffe Steinzeug, Beton, Stahlbeton und ein PE-Wickelrohr verglichen. Für den Vergleich musste eine funktionelle Einheit gewählt werden, die nicht

⁷ Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Recycling#Downcycling_und_Upcycling

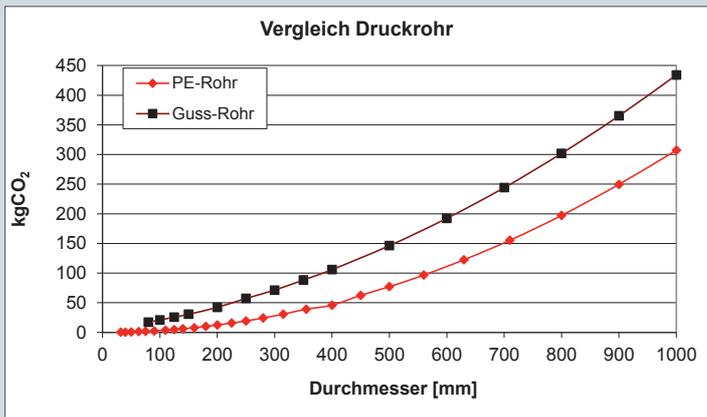


Bild 2: CO_{2e}-Emissionen beim Werkstoffvergleich bei Druckleitung in einer „Cradle-to-gate-Betrachtung“

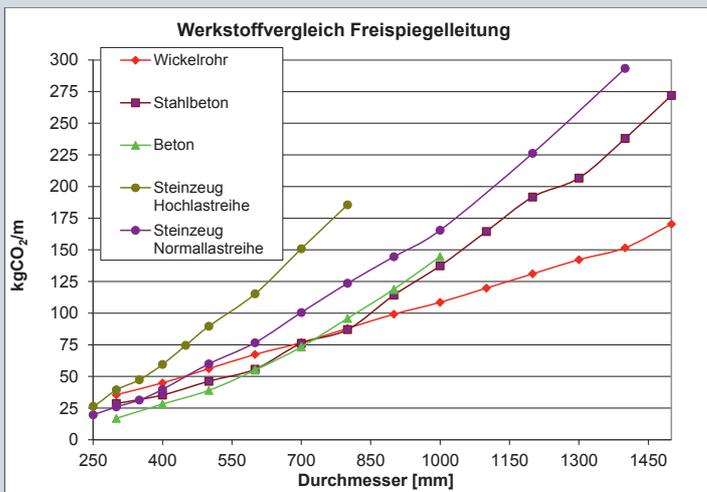


Bild 3: CO_{2e}-Emissionen beim Werkstoffvergleich bei Freispiegelleitungen in einer „Cradle-to-gate-Betrachtung“ (PE 100 Wickelrohre)

nur den gesamten Durchmesserbereich abdeckt, sondern auch das Rohrgewicht mit einschließt. Aufgrunddessen war die gewählte funktionelle Einheit für den Vergleich „1 m Rohr“. Durch diese funktionelle Einheit ist die Forderung den gesamten Durchmesserbereich unter Einbezug des spezifischen Rohrgewichts erfüllt. Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse der konventionellen Werkstoffe basieren auf CO_{2e}-Angaben der Schriftenreihe des Instituts für Rohrleitungsbau Oldenburg Band 33 im Vulkan-Verlag 2009.

3.1 Vergleich des PCFP von Rohren für Druckleitungen

Für den Vergleich von Druckleitungen wurden die Werkstoffe Guss und PE gewählt. Für den Werkstoff PE wurden strangextrudierte SDR 17-Rohre herangezogen. Die Rohre wurden über einen Durchmesserbereich von DN 32 bis DN 1000 verglichen.

Bild 2 zeigt, dass Gussrohre in jeder Dimension emissionsintensiver als PE-Rohre sind. Guss hat zwar eine niedrigere spezifische Emission, aber auch ein deutlich höheres Metergewicht als PE-Rohre, daher ist die Emission pro Meter höher. Die tatsächlichen Emissionen der Gussrohre liegen allerdings noch höher als in dieser Arbeit angegeben. Dieser

Unterschied ist darauf zurückzuführen, dass im Vergleich nur die Emission des Werkstoffes Guss betrachtet wurde. Für die nötige Zementmörtelauskleidung und die Außenlackierung wurden keine Emissionswerte gefunden, so dass sie aus dieser Betrachtung ausgeschlossen wurden. Auch bei einer Erweiterung auf eine „Cradle-to-Grave-Betrachtung“ wird sich dieser Trend fortsetzen, denn bei der Verlegung und dem Transport wird für die leichteren Rohre - in diesem Fall die PE-Rohre - weniger CO₂ emittiert.

3.2 Vergleich des PCFP von Rohren für Freispiegelleitungen

Für den Vergleich von Freispiegelleitungen wurden alle für den Kanalbau konventionell eingesetzten Werkstoffe ausgewählt. Für das Kunststoffrohr wurde ein PE-Wickelrohr herangezogen, da extrudierte Rohre für Abwasserkanäle in größeren Dimensionen nur selten Verwendung finden. Bei dem Wickelrohr musste, aufgrund der zu gewährleistenden Ringsteifigkeit auf vier unterschiedliche Profile (z. B. unterschiedliche Wanddicke) zurückgegriffen werden, um es je nach statischer Einbausituation vergleichbar zu alternativen Werkstoffen zu machen.

Bild 3 zeigt, dass die Emissionen für die Herstellung des PE-Wickelrohres ab einem Durchmesser von DN 800 unter denen der anderen Rohrwerkstoffe liegen. Mit steigendem Durchmesser über DN 800 wird aufgrund des Gewichtsvorteils die Distanz zu vergleichbaren Werkstoffen immer deutlicher. Das PE-Wickelrohr ist in den großen Durchmesserbereichen trotz der höheren CO_{2e}-Emission pro Kilogramm das klimaneutralste Rohr. Dies begründet sich in dem niedrigen Gewicht der Wickelrohre. Steinzeugrohre der Hochlastreihe schneiden für alle Durchmesser in dieser Betrachtung am schlechtesten ab. Dies liegt an ihrem relativ hohen Gewicht und an ihrem durch das Brennen der Rohre energieaufwändigen Herstellungsverfahren.

Betonrohre stehen in diesem Vergleich im unteren Dimensionsbereich relativ gut da, weil die Zementindustrie in den letzten Jahren viel in den Bereich Emissionssenkung investiert hat. Zum Beispiel werden Ersatzbrennstoffe wie Althölzer statt fossiler Brennstoffe zum Brennen des Zements verwendet.⁸ Es zeigt sich auch, dass Stahlbetonrohre trotz des deutlich höheren Emissionswertes pro Kilogramm auf einen Meter bezogen, klimafreundlicher als Betonrohre sein können. Dies begründet sich darin, dass die Stahlbetonrohre durch ihren Bewehrungskorb eine geringere Wanddicke benötigen als Betonrohre. Dadurch sind Stahlbetonrohre leichter und emittieren in dieser Betrachtung bei einigen Nennweiten weniger CO_{2e}.

Würde das Diagramm erweitert werden, um eine „Cradle-to-grave-Betrachtung“ zu erstellen, würde sich dieser Trend fortsetzen, denn das Gewicht der Rohre spielt auch bei den benötigten Baumaschinen und den Transportemissionen eine entscheidende Rolle. Für leichte Rohre reicht z. B. bereits ein Bagger aus, um das Rohr zu verlegen, bei schweren Rohren hingegen wird ein Kran benötigt.

⁸ Schriftenreihe aus dem Institut für Rohrleitungsbau Oldenburg, Band 33, S.132-144, Vulkan Verlag, 2009

4. DER NÄCHSTE SCHRITT: PKS-THERMPIPE - HYBRIDROHR MIT DOPPELTEM NUTZEN UND EINFACHEM CO₂-AUSSTOSS, WÄRMERÜCKGEWINNUNG MITTELS ERDREICHGEBUNDENEN PE-ABWASSER-WÄRMETAUSCHERROHREN

Ein spezieller und vor allem bezüglich des CO_{2e}-Ausstoßes charmanter Anwendungsfall sind PE-Abwasserrohre, die zugleich einen Wärmetauscher besitzen. Diese PE-Wicklerohre transportieren nicht nur das Medium Abwasser, sondern haben einen Zusatznutzen durch das gleichzeitige Entwärmen des Abwassers sowie des umgebenden erwärmten Erdreichs (Energierückgewinnung). Diese sogenannten PKS-ThermPIPE-Rohre sind nahezu baugleich mit herkömmlichen PE-Wicklerohren. Von daher kann der CO_{2e}-Ausstoß durch das reine Verwenden als Abwasserrohr übertragen werden. Der zweite parallele Nutzen des Abwasserrohres - die Rückgewinnung bereits produzierter Abwasserwärme und Umweltwärme - hat als äußerst positives Ergebnis die Tatsache, dass kein zusätzliches alternatives Wärmetauschersystem und dem damit verbundenen CO_{2e}-Ausstoß hergestellt werden muss. Die Cradle-to-place-Betrachtung ergibt für diese Funktion einen Schadstoffausstoß von Null. Über die Nutzungsdauer als Wärmerückgewinnungssystem hinweg, ist der Schadstoffausstoß geringer als bei den vergleichbaren Wärmegegestehungsanlagen. Dies basiert auf den hohen Wirkungsgraden von Abwasserwärmepumpen aufgrund der hochtemperierten Wärmequelle Abwasser und dem erwärmten Erdreich.

Schließt man nun die Energiegewinnungsfunktion dieses ThermPIPES in die Ökobilanz ein, so reduziert sich sogar der PCFP dieses Gesamtsystems (beim Heizen von Gebäuden mit dieser Technik können z. B. andere fossile Brennstoffe eingespart werden). Die Höhe dieses Effektes hängt vom jeweiligen Anwendungsfall (Abwassertemperatur und Menge, Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Erdreiches, Rohrabmessungen u.v.m.) ab. Als Richtwert für dieses Potential kann bei einem Rohr mit einem Durchmesser von 1 m ein Heizwert von 1 kW/m Rohrlänge angenommen werden (die in der Praxis erreichten Entzugsleistungen liegen üblicherweise deutlich höher).

In Verbindung mit der langen Nutzungsdauer wird somit in der Betrachtung des Gesamtsystems der für das Produkt (Abwasserrohr) ermittelte PCFP mehr als kompensiert.

Da PKS-ThermPIPE-Rohre zugleich auch zur Gebäudekühlung verwendet werden können, erweitert sich der Nutzen somit auch auf die Wärmetauscher für Kühlfunktionen. Es ist ein Rohr mit drei Funktionen: Abwasser ableiten, Gebäude heizen und Gebäude kühlen. Eine hervorragende Ökobilanz.

LITERATUR

- [1] Bestimmung des Product Carbon Footprint von PE-Rohren mit anschließendem Werkstoffvergleich, Thomas-Christian Beikert, TU Darmstadt
- [2] A Comparative Analysis of the Carbon Footprint of Large Diameter Concrete and HDPE Pipes, Matthew Cowle, Hydro-environmental Research Centre, Cardiff University, School of Engineering, UK
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Memorandum Product Carbon Footprint, 2009
- [4] Plastics Europe (Hrsg.): High density polyethylene HDPE, 2008
- [5] Geberit International AG (Hrsg.): Ökobilanz Abwasserrohre für Gebäude, Jona (Schweiz), 2008
- [6] Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): CO₂-Minderung durch rationelle Energienutzung in der Kunststoffverarbeitenden Industrie, Augsburg, 2002
- [7] Dr. Walter, Hans-Michael (BASF SE): Skript Industrielle makromolekulare Chemie der Uni Saarland, Jahr unbekannt
- [8] Wittman F.: Anlage Emissionsfaktoren zu CO₂-Emissionen im Personen- und Gütertransport, 2006
- [9] TU Hamburg (Hrsg.): Die Lotos Methodik, Leitfaden für Unternehmen zur Umsetzung von Nachhaltigkeitsprojekten, Harburg, 2009
- [10] Kommission der europäischen Gemeinschaft (Hrsg.): Interpretierende Mitteilung der Kommission über das auf das Öffentliche Auftragswesen anwendbares Gemeinschaftsrecht und die Möglichkeit zur Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Vergabe öffentlicher Aufträge. KOM(2001) 274 endgültig, Brüssel, 2004
- [11] Schriftenreihe aus dem Institut für Rohrleitungsbau Oldenburg, Band 33, Vulkan Verlag, 2009
- [12] Steinzeug GmbH (Hrsg.): Steinzeug Handbuch, Köln 1995
- [13] Betonverband Straße, Landschaft Garten e.V. (SLG)(Hrsg.): Vergleichende Ökobilanz, Oberbaukonstruktionen von Verkehrsflächen mit Unterschiedlichen Deckschichten, Bonn, 2009
- [14] Beikert, Thomas Christian: Bericht über die Berufspraktische Phase, Bestimmung des Carbon Footprints von einem Meter produzierten PE-Rohr, Darmstadt, 2010
- [15] Müller-Rosen, Kunststoffverarbeitung 3, Teil I Kunststoff-Fertigungsverfahren, Darmstadt 2009
- [16] Wopfinger Baustoffindustrie (Hrsg.), Möglichkeiten der CO₂-Einsparung bei Beton, Ort unbekannt, 2009
- [17] Frank, T. / Dr. Habedank, Ch./ Lindenau, V., Rohrwerkstoffe in der öffentlichen Abwasserentsorgung, Verbreitung, Erfahrung und mögliche Kostensenkungspotentiale. 3R international – Zeitschrift für die Rohrleitungspraxis 45 (2006) Nr.8

AUTOREN



BERNHARD LÄUFLE

Frank GmbH, Mörfelden-Walldorf
Tel. +49 6105 4085-209
E-Mail: b.laeufle@frank-gmbh.de



THOMAS FRANK

Frank GmbH, Mörfelden-Walldorf
Tel. +49 6105 4085-0
E-Mail: t.frank@frank-gmbh.de