



Einsatzmöglichkeiten flussgebietsbezogener Stoffflussmodelle

zur Berechnung
von Gewässerbelastungen durch Mikroschadstoffe

Die Verwendung von Arznei- und Röntgenkontrastmitteln, Kosmetikprodukten, Haushalts- und Industriechemikalien sowie der intensive Einsatz von Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln führen zu Belastungen von Oberflächengewässern. Die Auswirkungen von Einleitungen auf die **Qualität von wasserwirtschaftlich genutzten Oberflächengewässern** können mithilfe von Prognose- bzw. Stoffflussmodellen oder Stoffeintragsmodellen berechnet werden: Diese ermöglichen eine **Abschätzung von Schadstofffrachten aus punktuellen und diffusen Quellen**, eine Identifizierung besonders belasteter Fließgewässerabschnitte sowie eine Prognose der Auswirkung von verschiedenen möglichen Maßnahmen zur **zielgerichteten Verbesserung der Gewässerqualität**. Die Eignung möglicher Maßnahmen und die daraus resultierenden Konzentrationen der betrachteten Stoffe im Gewässer können so vor dem Hintergrund der Einhaltung von geforderten Grenzwerten sowie der technischen und wirtschaftlichen Umsetzbarkeit bewertet werden.

von: Dr.-Ing. Hans-Joachim Mälzer & Dr. Thomas Riedel (beide: IWW Zentrum Wasser)



Quelle: Kazanog - istockphoto.com

Oberflächengewässer sind immer stärker durch Stoffe wie z. B. Arznei- und Pflanzenbehandlungsmittel belastet

Durch eine kontinuierliche Weiterentwicklung von kommerziellen sowie frei verfügbaren Modellen lassen sich neben den traditionellen Fragestellungen wie Nährstoffbilanzierungen [1] auch immer mehr aktuelle Fragestellungen bezüglich des Eintrags und Verhaltens organischer Mikroschadstoffe mit Stoffflussmodellen bearbeiten. Jüngste Anwendungsbeispiele sind Untersuchungen zur Effizienz von Kläranlagen bei der Elimination von Spurenstoffen oder das Auftreten von Gewäs-

serorganismenblüten [2–9]. Aufgrund der Vielfalt an Fragestellungen wurde in der Vergangenheit auch eine Vielzahl an Modellen entwickelt.

Im Rahmen einer vom DVGW geförderten Studie [10] wurden exemplarisch insgesamt sechs Stoffflussmodelle sowie der Ansatz einer einfachen analytischen Lösung untersucht und bewertet, die zur quantitativen Berechnung des Stofftransportverhaltens von Mikroschadstoffen in der Praxis eingesetzt werden können. Zielsetzung der Bewertung war eine Zusammenfassung der Leistungsfähigkeit, Bedienbarkeit und Eignung für mögliche Anwendungen in Bezug auf wasserwirtschaftlich genutzte Oberflächengewässer. Die ausgewählten Modelle stehen dabei beispielhaft für verschiedene Modellarten. Eine Bewertung aller derzeit verfügbaren Modelle wurde nicht vorgenommen.

Die Einschätzung der Eignung bezieht sich insbesondere auf das Anwendungsfeld „Modellierung des Transports von Mikroschadstoffen“. Grundlage ist die fachliche Einschätzung der Autoren aufgrund von Anwendererfahrungen und der Sichtung von Informationen aus Angaben der Entwickler/Vertreiber, aus der Literatur sowie aus Handbüchern. Die Einordnung dient der allgemeinen Orientierung und sollte deshalb in Bezug auf die eigenen Anforderungen sorgfältig geprüft werden.

Modellarten und Fragestellungen

Die Einsatzmöglichkeiten von Stoffflussmodellen sind vielfältig und oft von den Entwicklern für bestimmte Fragestellungen optimiert. Manche Modelle benötigen als Grundlage eine hydraulische Strömungsberechnung, auf deren Basis der Transport von gelösten Stoffen simuliert werden kann. Bei einigen dieser Modelle liegt der Schwerpunkt primär auf hydrologischen und hydraulischen Fragestellungen. Die Berechnung von Stofftransportprozessen und die Auswirkungen auf die Konzentrationen von ausgewählten Parametern in den Gewässern können auf diese hydraulischen Berechnungen aufgesetzt werden. Wenn nicht-persistente Stoffe simuliert werden sollen, müssen zusätzlich die relevanten Umwandlungs- und Abbauprozesse durch die Software abgedeckt werden.

Steckfittings Serie 19

Universal- kupplungen



Die innovativen Universal-
kupplungen ermöglichen bei
der Überschiebpositionierung
eine sehr einfache Anwendung.

Einsatz als Reparatur- oder
Übergangsverbindung

Für die Verbindung von
Rohren aus gleichen oder
verschiedenen Rohr-
materialien

Große Toleranzbereiche
ermöglichen eine
Positionierung ohne
Kraftaufwand



PLASSON GmbH
Krudenburger Weg 29
46485 Wesel

Telefon: 0281 / 952 72-0
Telefax: 0281 / 952 72-27
E-Mail: info@plasson.de
Internet: www.plasson.de

Tabelle 1: Überblick über die allgemeine Eignung sowie die Anwendungsbereiche von Modellen zur Modellierung des Transports von Mikroschadstoffen

Bewertungskriterium	analytische Lösungen	dynamische Modelle	Bilanzmodelle
Stationäre Einleitungen	nein	ja	ja
Instationäre Einleitungen	ja	ja	nein
Hydraulische Prozesse	nein	ja	nein
Komplexe Transport- und Umwandlungsprozesse	nein	ja	nein
Bilanzierung von Stoffen	nein	ja	ja
Lokalisierung von Einleitungen	nein	ja	ja
Maßnahmenbewertung	nein	ja	ja
Datenbedarf	gering	hoch	mittel
Vorkenntnisse des Anwenders	gering	hoch	mittel

Quelle: IWW

Dem Anwender stehen prinzipiell folgende Modellarten zur Verfügung, die im Einzelnen näher erläutert werden:

- analytische Lösungen,
- dynamische Modelle sowie
- Bilanzmodelle.

Analytische Lösungen

Analytische Lösungen eignen sich für Berechnungen des Stofftransports nach einer stoßartigen oder konstanten Einleitung mit konstanter Fracht im Abstrom der Einleitungsstelle. Dabei werden stationäre Strömungsbedingungen und eine konstante longitudinale Dispersion zugrunde gelegt. Die Strömungsgeschwindigkeit, der durchströmte Gewässerquerschnitt und der Dispersionskoeffizient müssen bekannt sein. Manche analytischen Lösungen erlauben die Berechnung des Abbaus nach einer Reaktion erster Ordnung. Mittels der analytischen Lösungen können Konzentrationen eines eingeleiteten Stoffs an einer beliebigen Stelle im Abstrom der Einleitungsstelle bei zeitlich konstantem Abfluss bzw. konstanter Strömungsgeschwindigkeit berechnet werden.

Dynamische Stoffflussmodelle

Die Erstellung von dynamischen Stoffflussmodellen zur Berechnung der Wasserqualität in Fließgewässern ist ein komplexer Vorgang, der in einem ersten Schritt hydraulische Berechnungen zum Abfluss erfordert. Hierzu werden in der Regel die Saint-Venant-Gleichungen angewendet, die eine Gerinneströmung beschreiben und ein Gleichungssystem für die Berech-

nung von Abfluss und Wasserstand für instationäre und ungleichförmige Strömungen darstellen. Aufbauend auf den Abflüssen erfolgt in einem zweiten Schritt die Berechnung des Stofftransports, der grundsätzlich Komponenten der Speicherung, Advektion, Dispersion und der Stoffumwandlung enthalten kann.

Mittels dynamischer Stoffflussmodelle können Konzentrationen eines eingeleiteten Stoffs an einer beliebigen Stelle im Abstrom der Einleitungsstelle bei zeitlich variablen (instationären) Abflüssen bzw. Strömungsgeschwindigkeiten berechnet werden.

Bilanzmodelle

Bilanzmodelle eignen sich zur Bilanzierung von eingeleiteten Stofffrachten über Gewässerabschnitte. In Verbindung mit einem Gewässerabfluss (z. B. mittlerer Gewässerabfluss oder mittlerer Niedrigwasserabfluss) können hieraus Stoffkonzentrationen in einzelnen Gewässerabschnitten berechnet werden, die aus den Frachteinleitungen resultieren. Bei bekannten Fließzeiten können auch Stoffumwandlungsprozesse berücksichtigt werden. Sie können auch zur Lokalisierung der Einleitungen von Stofffrachten eingesetzt werden, sofern Messungen der Stoffkonzentrationen vorliegen. Eine Berechnung von instationären Strömungszuständen ist jedoch nicht möglich.

Anforderungen an Randbedingungen und Modellparameter

Hinsichtlich der Randbedingungen (z. B. Pegelhöhen, Volumenströme, Konzentrationen) spielt vor allem die zeitliche Auflösung und die

Genauigkeit der verfügbaren Daten eine Rolle. Wird eine zeitliche Auflösung der Ergebnisse von einer Stunde benötigt, so müssen die Randbedingungen ebenfalls diese Anforderung mindestens erfüllen.

Für die Modellparameter (z. B. zur Beschreibung von Sorptions- oder Abbauprozessen) muss ebenfalls eine hinreichende Genauigkeit gewährleistet sein. Dabei läuft der Entwickler wie auch der Anwender von Modellen leicht Gefahr, die Transport-, Austausch- und Abbauprozesse möglichst genau beschreiben zu wollen. Dies führt jedoch in der Regel zu einer Vielzahl von Modellparametern, die hierzu bekannt sein müssen, was oftmals in der Praxis jedoch nicht gegeben ist. Die Erfahrungen zeigen, dass oftmals nur Größenordnungen aus Literaturwerten abgeleitet werden können. Um den Einfluss von Schwankungen bei der Genauigkeit der Modellparameter abschätzen zu können, empfiehlt es sich, eine Sensitivitätsanalyse der Berechnungsergebnisse bei Variation des betreffenden Parameters innerhalb der zu erwartenden Parameterwerte durchzuführen.

Grundsätzlich gilt für alle Modelle: Der Datenbedarf und der Aufwand für die Modellerstellung steigen bei einer höheren zeitlichen und räumlichen Auflösung sowie grundsätzlich bei instationären Untersuchungsfragen.

Eignung und Anwendungsbereiche von Stoffflussmodellen

Im Wesentlichen können Stoffflussmodelle für die folgenden Fragestellungen verwendet werden:

- Berechnung des Konzentrationsverlaufs im Abstrom einer Einleitungsstelle,
- Bilanzierung der Einleitungen in einem Gewässerabschnitt und Berechnung der resultierenden Konzentration am Ende des Abschnitts,
- Ermittlung der Herkunft von Einleitungen in ein Gewässer und
- Beurteilung der Wirkungsweise von verschiedenen Maßnahmen zur Verringerung der Einleitungsfrachten (Variantenanalysen, Kosten-Nutzen- bzw. Kosten-Wirksamkeits-Analysen).

Für die verschiedenen Fragestellungen wurden unterschiedliche Modelltypen entwickelt, daher ist ein direkter Vergleich der Modelle nur schwer möglich. Einen generellen Überblick über die Anwendungsbereiche und allgemeine Eignung von Modellen für die Modellierung des Transports von Mikroschadstoffen gibt **Tabelle 1**.

Zu beachten ist, dass die Komplexität eines Modells nicht unbedingt seine Eignung für einen speziellen Einsatz widerspiegelt. Einfache Modelle (z. B. analytische Lösungen [11]) sind oft für den Einstieg ratsam und ermöglichen in vielen Fällen bereits wesentliche Rückschlüsse auf zu erwartende Stoffkonzentrationen im Abstrom einer stoßartigen oder sprunghaften Einleitung, z. B. infolge eines Unfalls oder einer Havarie. Analytische Lösungen können oftmals mit vorhandenen Tabellenkalkulationsprogrammen (z. B. Microsoft Excel) umgesetzt werden. Dabei entfällt die Einarbeitungszeit wie beim Umgang mit komplexeren Modellen.

Solche komplexeren Modelle bieten zwar mehr Möglichkeiten, um das Stoffverhalten in der Umwelt abzubilden, sie benötigen jedoch auch entsprechend mehr Eingabedaten, die ggf. nicht in der erforderlichen Genauigkeit ermittelt werden können. In diesen Fällen können nur wenig belastbare Aussagen anhand von Modellberechnungen getroffen werden und es ist zu überlegen, ob in solchen Fällen nicht eine konservative Worst-Case-Betrachtung sinnvoller ist. Es empfiehlt sich daher, zunächst mit einfachen Modellen zu beginnen und zu prüfen, ob die gewünschten Aussagen nicht schon damit erzielt werden können.

Dynamische Modelle wurden oft für spezielle hydrologische/hydraulische oder auch limnologische Fragestellungen entwickelt. Sie sind dann geeignet, wenn neben der Modellierung des Transports und Verbleibs organischer Mikroschadstoffe auch andere Fragestellungen von Interesse sind. Beispiele hierfür wären Abschätzungen zu Auswirkungen von Überflutungsereignissen, zu Planung oder Beurteilung von wasserbaulichen Maßnahmen oder zum Einfluss mikrobiologischer Prozesse auf den Transport eines Stoffes. Für hydrologische/hydraulische Fragestellungen in



PLASSON GmbH

Krudenburger Weg 29

46485 Wesel

Telefon: 0281 / 952 72-0

Telefax: 0281 / 952 72-27

E-Mail: info@plasson.de

Internet: www.plasson.de

Verbindung mit Stofftransportprozessen erscheinen Modelle wie z. B. MIKE HYDRO River/ECOLab (Danish Hydraulic Institute) oder SOBEK (Deltares) geeignet. Speziell für Berechnungen zu Umsetzungen von Nährstoffen (Stickstoff, Phosphor), den damit verbundenen mikrobiologischen Prozessen und dem Wachstum von Algen sind wiederum das DWA-Gewässergütemodell (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.) oder QSIM (Bundesanstalt für Gewässerkunde) geeignet. Die Erstellung von dynamischen Modellen ist jedoch wegen der Abbildung des Gewässersystems und der Morphologie der Gewässersohle grundsätzlich mit einem hohen Aufwand und Datenbedarf verbunden. Auch bedarf es zu deren Anwendung generell eines tiefen Prozessverständnisses und Kenntnis von Modellierungen von Strömungs- und Transportvorgängen sowie der Bedienung der Modelle.

Bilanzmodelle sind oftmals ausreichend, wenn der Schwerpunkt der Modellierungen auf der Beurteilung von Einleitungen hinsichtlich der Auswirkungen auf die Wasserqualität sowie der Planung und Beurteilung von Maßnahmen zur Verringerung des Stoffeintrags liegt. Dynamische Stoffflussmodelle können zwar unter stationären Zuständen dieselben Aussagen liefern, jedoch ist die Erstellung eines dynamischen Modells mit deutlichem Mehraufwand verbunden. Für Bilanzmodelle sind lediglich die Abbildung des Gewässersystems, der Abflüsse und der Einleitungsquellen erforderlich. Softwareprogramme wie z. B. GREAT-ER (Entwickelt unter der Führung des European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals) und MoRE (Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Siedlungswasserwirtschaft und Wasser-gütemirtschaft, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)) bieten hier komfortable Lösungen, die gleichzeitig eine Georeferenzierung und eine Darstellung der Ergebnisse in einem Geoinformationssystem ermöglichen. GREAT-ER bietet dabei im Vergleich zu MoRE die Möglichkeit, die Stoffeinträge auch lokal über

einwohnerspezifische Verbrauchsmuster abzubilden. Da diese Modelle mit einem Geoinformationssystem gekoppelt sind, benötigen sie für die Anwendung spezielle Kenntnisse und Erfahrungen des Anwenders. Auch das von Ort et al. [8, 9] im Rahmen des Projektes „Strategie MicroPoll“ für die Schweiz entwickelte Modell gehört zu den Bilanzmodellen mit Georeferenzierung. Einfache Berechnungsmethoden, wie sie von IWW und ISA [6] entwickelt wurden, basieren auf Tabellenkalkulationen und ermöglichen ebenso eine Bilanzierung von Einleitungen, bedürfen aber einer weitergehenden Datenaufbereitung im Vorfeld. Sie benötigen ein Grundverständnis in der Erstellung, Anwendung und Interpretation der Ergebnisse durch den Anwender sowie ggf. einen höheren Aufwand für die Modellerstellung, jedoch keine Einarbeitung in eine vorgegebene Software.

Weitere Entwicklungen und Forschungsbedarf

Bei der Vielzahl der bekannten Mikro-schadstoffe ist es unrealistisch, dass eine Software für alle bekannten Substanzen eine Datenbank mit den Stoffeigenschaften vorhält, die für die Modellierung benötigt werden. Die Programme sollten deshalb die Möglichkeit bieten, neue Stoffe anhand ihrer chemischen Eigenschaften und ihres Umweltverhaltens im Programm selbstständig definieren zu können. Dies trifft insbesondere auf die Eintragspfade und die Abbauvorgänge zu. Als Beispiel sei der Eintrag von Medikamenten genannt, der sich aus dem lokalen Pro-Kopf-Verbrauch ableiten lässt, jedoch dann weiter zu differenzieren ist in den Anteil, der vom Verbraucher auch aufgenommen wird, und den Anteil, der (unsachgemäß) über die Toilette entsorgt wird. Die Abbauprozesse im menschlichen Körper sind ebenso wie die Abbauprozesse in der Kanalisation und in der Kläranlage zu berücksichtigen, bis schließlich eine Eintragsfracht in ein Gewässer bestimmt werden kann. Es bleibt jedoch zu hinterfragen, ob eine derartige Vorgehensweise pauschal a priori in einem

Modell abgebildet werden kann und ob der Aufwand für die Abbildung und Datenerhebung nicht unverhältnismäßig groß wird, ohne dass tatsächlich alle möglichen Stoffe und Eintragspfade korrekt abgebildet werden. Hier ist es dem Anwender überlassen, mit Hinblick auf die Fragestellung die Balance zwischen dem benötigten Detailgrad, dem zu erwartenden Erkenntnisgewinn und letztlich dem Verständnis beim Empfänger zu finden.

Weiterhin empfiehlt sich die Ausarbeitung von Fallstudien, die als Benchmark-Simulation dienen können. Die Ergebnisse der Modellrechnungen können dann untereinander verglichen werden, wodurch sich die individuellen Einsatzmöglichkeiten von Stoffflussmodellen besser aufzeigen lassen.

Zusammenfassung

Stoffflussmodelle sind für viele Bereiche der Wasserwirtschaft zur Berechnung der Änderung der Wasserqualität infolge von Einleitungen von Schadstoffen und der Beurteilung von Maßnahmen zur Eintrags- oder Schadstoffverringerung geeignet. Sie können damit einen entscheidenden Beitrag zur Untersuchung und Bewertung von Belastungen in einem Oberflächengewässer leisten. Es existiert bereits eine Vielzahl von Modellen mit unterschiedlicher Eignung für unterschiedliche praktische Fragestellungen. Für einfache Abschätzungen der Auswirkung von stoßartigen Einleitungen (z. B. Unfälle/Havarien) genügen oft analytische Lösungen. Bilanzmodelle eignen sich speziell für die Quantifizierung und Lokalisation von kontinuierlichen Einleitungen und die Beurteilung von Maßnahmen. Dynamische Modelle sind bei instationären Fragestellungen und bei komplexen Problemen des Stofftransports und der Umsetzung, insbesondere in Zusammenhang mit hydraulischen Fragestellungen, geeignet. Es ist in jedem Fall vor der Modellerstellung und Anwendung zu prüfen, ob die Daten in der für die Beantwortung der Fragestellung erforderlichen Genauigkeit vorliegen.

Danksagung

Die vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des DVGW-Forschungsvorhabens W3/01/15 „Stand und Entwicklungsbedarf flussgebietsbezogener Stoffflussmodelle“ erarbeitet. Die Autoren danken dem DVGW für die finanzielle und fachliche Unterstützung. ■

Literatur

- [1] Behrendt, H., Huber, P., Kornmilch, M., Ley, M., Opitz, D., Schmolz, O., Scholz, G., Uebe, R. (1999): Nährstoffbilanzierung der Flussgebiete Deutschlands. Umweltbundesamt Texte, 75.
- [2] Aldekoa, J., Medici, C., Osorio, V., Perez, S., Marce, R., Barcelo, D., Frances, F. (2013): Modelling the emerging pollutant diclofenac with the GREAT-ER model: application to the Llobregat river basin. J. Hazard. Mat. 263, 207.
- [3] Christoffels, E. (2007): DWA-Gewässergütemodell Generierung der erforderlichen Eingabegrößen zur Charakterisierung der Stoffeinträge aus der Siedlungsentwässerung am Beispiel der Erft, Korrespondenz Abwasser Abfall, 54 (6), 600 ff.
- [4] Fuchs, S., Scherer, U., Wander, R., Behrendt, H., Venohr, M., Opitz, D., Hillenbrand, T., Marscheider-Weidemann, F., Götz, T. (2010): Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS, Umweltbundesamt Texte, Nr. 45.
- [5] Götz, C., Bergmann, S., Ort, C., Singer, H., Kase, R. (2012): Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser - Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotenziale für Nordrhein-Westfalen. Studie im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MKULNV).
- [6] IWW und ISA (2008) Senkung des Anteils organischer Spurenstoffe in der Ruhr durch zusätzliche Behandlungsstufen auf kommunalen Kläranlagen. Forschungsvorhaben im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH, Mülheim an der Ruhr und Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen.
- [7] Klasmeier, J., Kehrein, N., Berlekamp, J., Matthies, M. (2011): Mikroverunreinigungen in oberirdischen Gewässern: Ermittlung des Handlungsbedarfs bei kommunalen Kläranlagen. Abschlussbericht im Auftrag des Bayerischen Landesamts für Umwelt, Universität Osnabrück.
- [8] Ort, C., Hollender, J., Siegrist, H. (2009): Model-Based Evaluation of Reduction Strategies for Micropollutants from Wastewater Treatment Plants in Complex River Networks. Environmental Science and Technology, 43(9), 3214-3220.
- [9] Ort, C., Sigrist, H., Scheringer, M., Studer, C. (2009): Nationales Stoffflussmodell: Mikroverunreinigungen aus Abwasserreinigungsanlagen. 42. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft vom 19.-20. März 2009 in Aachen. Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, Bd. 217, 9/1-9/13.
- [10] Mälzer, H.-J., Riedel, T. (2016): Stand und Entwicklungsbedarf flussgebietsbezogener Stoffflussmodelle. Abschlussbericht zum DVGW Forschungsvorhaben W3/01/15.
- [11] Chapra, S. C. (1997): Surface water quality modelling. McGraw-Hill.

Die Autoren

Dr.-Ing. Hans-Joachim Mälzer ist Leiter der Systemsimulation im Bereich Wasserressourcen-Management am IWW Zentrum Wasser.

Dr. rer. nat. Thomas Riedel ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Wasserressourcen-Management am IWW Zentrum Wasser.

Kontakt:

Dr.-Ing. Hans-Joachim Mälzer
IWW Zentrum Wasser
Moritzstr. 26
45476 Mülheim an der Ruhr
Tel.: 0208 40303-320
E-Mail: a.maelzer@iww-online.de
Internet: www.iww-online.de

GAS-, WASSER- UND FERNWÄRMEVERSORGUNGSNETZE LÖSUNGEN RUND UM DEN ENERGIEZYKLUS



Besuchen Sie SPIE SAG
und Bohlen & Doyen:
28. - 30.11.2017 in Köln,
Halle 7, Stand B-029.

Als flächendeckende Systempartner bieten wir umfangreiche Dienstleistungen rund um Ihre Gas-, Wasser- und Fernwärmeversorgungsnetze. Unser Angebot an Lösungen und Leistungen reicht von der Planung über die Logistik und Bauausführung bis hin zur betrieblichen Instandhaltung. Nutzen Sie unsere Erfahrung und unser umfangreiches Leistungsangebot rund um den gesamten Energiezyklus! www.spie-sag.de | www.bohlen-doyen.com

SPIE, gemeinsam zum Erfolg



www.spie.de


SPIE