

Verfahren zur Bewertung von Mischwasserbehandlungskonzepten in komplexen Kanalnetzen

Kai Klepiszewski (Eppingen), Stefanie Seiffert (Rockenhausen),
Raymond Erpelding (Pétange/Luxembourg) und Thierry Flies (Luxembourg)

Zusammenfassung

Die Schmutzfrachtsimulation ist ein allgemein angewandtes Werkzeug bei der Planung der Mischwasserbehandlung in Kanalnetzen. Bei komplexen Kanalnetzen wird für die Ausarbeitung und Bewertung verschiedener Mischwasserbehandlungsszenarien oft nach dem Prinzip „Versuch und Irrtum“ verfahren, ohne wirklich systematisch nach der optimalen Lösung zu suchen. Vor dem Hintergrund des hohen Rechenaufwands und des Umfangs der auszuwertenden Ergebnisse einer Langzeitsimulation werden hier Verfahren vorgestellt, mit deren Hilfe Stoffströme im Netz sowie lokale Belastungs-, Behandlungs- und Emissionspotenziale im globalen Zusammenhang einfach und übersichtlich dargestellt werden können. Erste Resultate der Anwendung dieser Verfahren an Fallbeispielen unterstreichen ihren Wert als Planungshilfsmittel.

Schlagwörter: Entwässerungssysteme, Leistungsindikator, Mischwasser, Behandlung, Stoffstrom, Analyse, Schmutzfracht, Simulation, Planungshilfsmittel

DOI: 10.3242/kae2016.04.001

Abstract

Process for the Assessment of Combined Wastewater Treatment Concepts in Complex Sewer Networks

The simulation of pollutant loads is a generally applied tool with the planning of the combined wastewater treatment in sewer networks. With complex sewer networks, scenarios for the elaboration and assessment of various combined wastewater treatments are often dealt with according to the principle of “trial and error” without actually systematically seeking the optimum solution. Against the background of high computing time and the scope of the results to be assessed of long-term simulation, processes are presented here with whose aid mass flows in the network as well as local loading, treating and emission potential could be presented simply and clearly in a global relationship. First results of the application of these processes in case studies underline their value as planning aid.

Key words: drainage systems, performance indicator, combined wastewater, treatment, mass flow, analysis, pollution load, simulation, planning aid

1 Einführung

Simulationswerkzeuge zur Abfluss- und Schmutzfrachtmodellierung in Mischwasserkanalnetzen finden breite Anwendung bei der Planung und Bewertung von Mischwasserbehandlungskonzepten in komplexen Netzen. Bestandteile der Dimensionierungsprozedur für Mischwasserbehandlungs- und -entlastungsstrukturen und bei der Festlegung von Drosselabflüssen zu unterhalb liegenden Entlastungsbauwerken sind dabei das Wissen um globale und lokale Randbedingungen im System sowie Expertenwissen über Planungs- und Simulationsabläufe. Daneben sind Versuch und Irrtum wesentliche weitverbreitete Komponenten bei der Ausarbeitung und Bewertung von Planungsszenarien.

Derzeitige Regelwerke und Vorgaben zur Ausarbeitung von Mischwasserbehandlungskonzepten in komplexen Netzen beinhalten im Wesentlichen allgemeine Hinweise und Empfehlungen zur Planung von Entlastungsbauwerken und zur Ausarbeitung von Betriebsstrategien. Dies gilt sowohl für das in Deutschland und Luxemburg angewandte Arbeitsblatt ATV-A 128 [1] als auch für ähnliche Richtlinien auf europäischer Ebene (zum Beispiel Großbritannien: Urban pollution management manual [2];

Frankreich: La ville et son assainissement [3]; Flandern/Belgien: Code van goede praktijk voor het ontwerp, de aanleg en het onderhoud van rioleringsystemen [4]; Österreich: Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen [5]). Keiner dieser Standards enthält derzeit dagegen ausreichende Hinweise oder Empfehlungen zur Einbeziehung der Wechselwirkungen zwischen einzelnen Entlastungsbauwerken in Planungsprozesse. Grundlegender Bestandteil bei der Planung von Entlastungsbauwerken in Mischsystemen, für die nach ATV-A 128 [1] die Durchführung eines erweiterten Nachweisverfahrens empfohlen wird, sind Schmutzfrachtsimulationen über einen Zeitraum von zehn Jahren. Damit soll das Langzeitverhalten des Systems insbesondere in Bezug auf CSB-Emissionen nachgebildet werden und in den weiteren Planungsprozess einfließen. Dabei müssen die CSB-Gesamtemissionen von Planungsvarianten die eines Referenzszenarios unterschreiten und mittlere Mindestmischverhältnisse von Trockenwetter- und Regenabflüssen an lokalen Bauwerken eingehalten werden.

Die Anwendung von Abfluss- und Schmutzfrachtsimulationen für große Kanalnetze resultiert in sehr umfangreichen

| Bauwerkstyp | Anzahl | | Speichervolumen [m ³] | |
|-----------------|------------|------------|-----------------------------------|------------|
| | Variante 0 | Variante 1 | Variante 0 | Variante 1 |
| Regenüberlauf | 14 | 16 | – | – |
| Fangbecken | 19 | 17 | 4000 | 3800 |
| Durchlaufbecken | 7 | 8 | 13 400 | 15 200 |
| Summe | 40 | 41 | 17 400 | 19 000 |

Tabelle 1: Systemkomponenten und deren Speichervolumina in der Variante 0 und der Variante 1 (ohne Regenrückhalteräume)

komplexen Ergebnissen. Bei der Aufbereitung und Dokumentation der Simulationsergebnisse orientieren sich derzeit verwendete Simulationstools häufig an den Anforderungen von Bemessungsstandards oder gesetzlichen Regelungen. Daneben stellen sie in der Regel keine Hilfsmittel bereit, die eine Detailanalyse des Systemverhaltens im Hinblick auf eine Verbesserung des Betriebsverhaltens ermöglichen. Dies macht das Fehlen weitergehender Ansätze zur übersichtlichen und einfachen Darstellung umfangreicher Simulationsergebnisse deutlich. In diesem Zusammenhang ist ein besseres Verständnis des lokalen Systemverhaltens und der Auswirkungen der Interaktionen einzelner Bauwerke im Gesamtsystem eine wichtige Grundlage zur Verbesserung bzw. Optimierung des Emissions- und Betriebsverhaltens.

Vor diesem Hintergrund wurden für die luxemburgische Wasserwirtschaftsverwaltung mehrere Werkzeuge zur Planungs- und Validierungsunterstützung entwickelt. Ein Ansatz zur vereinfachten hydrologischen Volumen- und Schmutzfrachtbilanzierung, der ohne Simulationsprogramm auskommt, liefert Ergebnisse, die mit den Resultaten von Schmutzfrachtsimulationen vergleichbar sind. Dieser Ansatz, auf den hier nicht näher eingegangen wird, ist in [6] näher beschrieben. Bei den hier beschriebenen Werkzeugen handelt es sich um ein Verfahren zur übersichtlichen Darstellung von Volumen- und Stoffströmen in Kanalnetzen sowie um ein Indikatorverfahren, mit dessen Hilfe Resultate von Schmutzfrachtberechnungen näher analysiert werden können. Dabei werden mithilfe von Belastungs-, Behandlungs-, und Emissionsindikatoren lokale Zustände an Entlastungsbauwerken in Relation zu den entsprechenden Parametern im Gesamtsystem dargestellt. Beide Methoden können die Vorbereitung von Planungsszenarien und Auswertung nachfolgender Schmutzfrachtsimulationen unterstützen. Sie können ebenfalls die Entscheidung zur Verteilung von Speichervolumen sowie von Stoff- und Volumenströmen im Netz

unterstützen. Damit können sie zur Verringerung von Umweltbelastungen und zur Verbesserung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses bei Investitionen in Entsorgungsinfrastrukturen beitragen. Neben den hier vorgestellten Ergebnissen wurden die entwickelten Verfahren bereits an einem weiteren Fallbeispiel erfolgreich getestet [7].

2 Vorgehensweise

2.1 Betrachtetes Einzugsgebiet

Die vorgestellten Bewertungsverfahren wurden in einer ersten Fallstudie für zwei Planungsvarianten des zukünftigen Kanalnetzes oberhalb der Kläranlage Pétange in Luxemburg angewandt. Kläranlage und Kanalnetz werden vom Syndicat Intercommunal pour l'Assainissement du bassin de la Chiers (SIACH) betrieben. Das Gesamteinzugsgebiet umfasst die Gebietskörperschaften Differdange, Sanem, Bascharage und Pétange mit einer Gesamtfläche (A_{ges}) von 2600 ha und einer reduzierten Einzugsgebietsfläche (A_{red}) von 515,5 ha. Die angeschlossenen Einwohnerwerte in den Planungsvarianten betragen 106 000 EW.

Die Bewertungen beziehen sich dabei auf die Ergebnisse einer hydrologischen Abfluss- und Schmutzfrachtmodellierung für das Kanalnetz mit dem Programmpaket KOSIM 7 (ITWH, Hannover) [8]. Bei der durchgeführten Abfluss- und Schmutzfrachtmodellierung wird davon ausgegangen, dass der Oberflächenabfluss der angeschlossenen Trennsysteme einer gesonderten Regenwasserbehandlung zugeführt wird. Im Rahmen der simulationsgestützten Planung der Mischwasserbehandlung wurden, ausgehend von einer Eingangsvariante (Variante 0), weitere Planungsvarianten betrachtet. Hauptkriterien zur Bewertung betrachteter Varianten sowie zur abschließenden Auswahl des umzusetzenden Planungsszenarios waren dabei



CSO Chamber aus GFK

Modulares Entlastungssystem für Mischwasserkanäle mit wartungsarmem Grobstoffrückhalt

Besuchen Sie uns zur IFAT 2016! Muster CSO auf unserem Stand Halle B6 – Stand 241/340





HOBAS Rohre GmbH | Gewerbepark 1 | 17039 Trollehagen IT +49.395.45 28 0 | F +49.395.45 28 100 | www.hobas.de

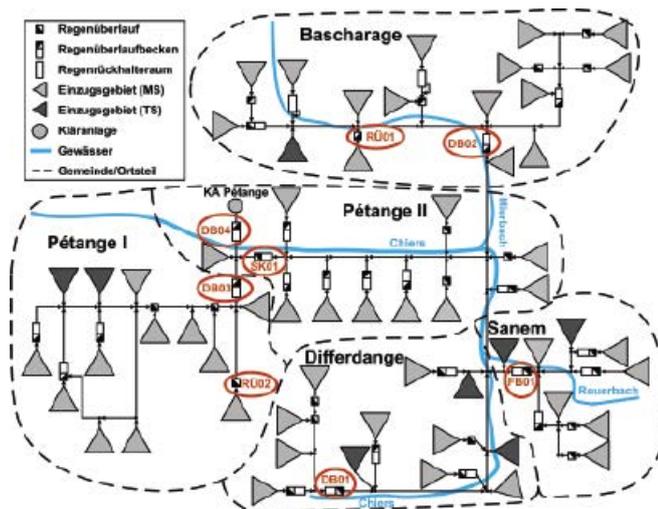


Abb. 1: Schema des Kanalnetzes im Einzugsgebiet der Kläranlage Pétange (Luxembourg)

die Einhaltung lokaler Mindestmischverhältnisse und eine möglichst geringe CSB-Entlastungsfracht des Gesamtsystems. Dabei unterscheidet sich die zur Umsetzung ausgewählte Variante 1 von der Eingangsvariante 0 im Wesentlichen durch die Einführung eines großvolumigen Stauraumkanals mit oberliegender Entlastung nahe der Kläranlage sowie durch lokale Anpassungen von Speichervolumina und Drosselabflüssen an Entlastungsbauwerken. Tabelle 1 gibt einen Überblick über unterschiedliche Systemkomponenten der Eingangsvariante und der Variante 1.

In Variante 1, die zur Realisierung vorgeschlagen wurde, beinhaltet das betrachtete Netz 41 Bauwerke, die in lokale Oberflächengewässer entlasten. Neben 16 Regenüberläufen umfasst das Mischwasserkanalnetz 17 Fangbecken (7 Hauptschluss, 10 Nebenschluss) und 8 Durchlaufbecken (5 Hauptschluss, 3 Nebenschluss). Die Beckenbauwerke an den Emissionspunkten des Kanalnetzes weisen ein Gesamtspeichervolumen von 19000 m³ auf. Bei den weiteren Betrachtungen im Rahmen dieser Studie bleiben zwei Regenrückhalteräume unberücksichtigt, da hier unter normalen Bedingungen weder Stoff- noch Volumenströme das System verlassen. Ein Schema des betrachteten Kanalnetzes ist in Abbildung 1 dargestellt. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf einige Schlüssel-

bauwerke des Gesamtsystems, an denen in Variante 1 wesentliche Änderungen im Vergleich zu Variante 0 vorgenommen wurden, oder um Bauwerke, auf die diese Änderungen wesentliche Auswirkungen haben. Diese Bauwerke sind in Abbildung 1 rot markiert.

Bei den Bauwerken, an denen in Variante 1 Änderungen des Speichervolumens und/oder des Drosselabflusses erfolgten, handelt es sich um ein Durchlaufbecken im Hauptschluss (DB01), ein Durchlaufbecken im Nebenschluss (DB03), zwei Regenüberläufe (RÜ01, RÜ02) und ein Fangbecken im Nebenschluss (FB01). Ein Stauraumkanal mit oberliegender Entlastung (SK01) wurde erst in Variante 1 im System implementiert. Auf das Betriebsverhalten des Durchlaufbeckens im Hauptschluss (DB02) sowie des Durchlaufbeckens im Nebenschluss (DB01) wirken sich die Änderungen an Strukturen oberhalb aufgrund ihrer semizentralen und zentralen Position aus. Tabelle 2 fasst die Unterschiede zwischen den betrachteten Varianten in Bezug auf diese Entlastungsbauwerke zusammen. Änderungen der Bauwerksparameter, die bei der Modellierung der Systemvarianten berücksichtigt wurden, sind in der Tabelle gelb markiert. Die wichtige Rolle dieser Bauwerke im Gesamtkonzept der Mischwasserbehandlung des Einzugsgebiets der Kläranlage Pétange wird dabei anhand des Anteils der aufsummierten Speichervolumina zum vorhandenen Gesamtspeichervolumen im Kanalnetz deutlich. Dieser beträgt in Variante 0 73 % und in Variante 1 76 %.

2.2 Illustration von Volumen- und Stoffströmen in Kanalnetzen

Ein effektives Mittel zur Darstellung von Volumen-, Stoff- oder Energieströmen sind Sankey-Diagramme. Diese Form wird häufig zur übersichtlichen Visualisierung von Strömen in industriellen Prozessabläufen verwendet [9]. Auf dem Gebiet der Wasser- und Siedlungswasserwirtschaft wurden Sankey-Diagramme bisher zur Darstellung von Stoffströmen zwischen Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer [10] sowie von Nährstoff- und Energieflüssen in dezentralen Sanitärsystemen [11] genutzt.

Die hier vorgestellte Anwendung von Sankey-Diagrammen bezieht sich auf die Darstellung der wichtigsten Volumen- und Stoffströme in Kanalnetzen zu Beginn von Planungsprozessen. Dabei sind in Mischsystemen die maßgebenden Volumenströme bei Regenwetter zu erwarten. Für Standardparameter der Abflussqualität (zum Beispiel CSB, Ammonium) liegen dage-

| Bauwerk | Variante 0 | | Variante 1 | |
|---------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| | Speichervolumen [m ³] | Drosselabfluss [l/s] | Speichervolumen [m ³] | Drosselabfluss [l/s] |
| DB01 | 3175 | 167 | 3175 | 230 |
| DB02 | 2688 | 264 | 2688 | 264 |
| DB03 | 3370 | 116 | 3370 | 150 |
| DB04 | 3000 | 1070 | 3000 | 1070 |
| SK01 | – | – | 1770 | 1000 |
| FB01 | 450 | 25 | 500 | 46 |
| RÜ01 | – | 260 | – | 70 |
| RÜ02 | – | 250 | – | 159 |
| Summe | 12683 | – | 14503 | – |

Tabelle 2: Speichervolumina und Drosselabflüsse der betrachteten Entlastungsbauwerke in den Varianten 0 und 1



resources. innovations. solutions.

Besuchen Sie uns vom
30. Mai - 3. Juni 2016
Halle A5, Stand 251/350

Hochgenaue Durchflussmessung



Die NIVUS Gruppe ist ein weltweit führender Entwickler, Produzent und Lieferant von Messtechnik für die Wasserwirtschaft. Die Produktpalette umfasst Messsysteme für Durchfluss, Füllstand und Wasserqualität sowie Fernwirktechnik. GPRS Datenübertragung und das Internetportal D2W machen die Datenauswertung noch sicherer und bequemer. Darüber hinaus führen wir anspruchsvolle stadthydrologische Messprojekte durch.



DURCHFLUSSMESSUNG

Universeller Messumformer NivuFlow 750 mit intuitivem Bedienkonzept. An den NivuFlow 750 M9 können bis zu 9 Sensoren angeschlossen werden. Die Messung an bis zu 3 verschiedenen Messstellen ist ebenso möglich.



neu



DURCHFLUSSMESSUNG

Universelle Messumformer NivuFlow 650 und NivuFlow 600 zur Durchflussmessung in sauberen bis leicht verschmutzten Medien mittels Laufzeitdifferenz.



neu



DURCHFLUSSMESSUNG

Neue und optimierte Laufzeitsensoren bieten Ihnen die passende Lösung für jede Anwendung.



neu



DURCHFLUSSMESSUNG

NivuSmart Q ist ein neuartiges Messverfahren für die Durchflussfassung mit zwei parallelen Füllständen. Das System berechnet mit Hilfe einer messstellenspezifischen Gleichung zuverlässig und genau den Durchfluss.



SCADA/FERNWIRTECHNIK

Die Prozessleit- und Fernwirksoftware NICOS 2.0 bietet passgenaue Lösungen für die Wasserwirtschaft. Sie ermöglicht maximale operative Effizienz von kompletten Anlagen und Systemen durch optimale Informationsaufbereitung und eine hohe Benutzerfreundlichkeit.



Mehr Infos finden Sie unter www.nivus.de oder rufen Sie uns einfach an und vereinbaren einen Beratungstermin.

Telefon: +49(0)7262 9191-0

gen in der Regel bei Trockenwetter relevante Stoffströme vor. Da zu Beginn der Planungsphase häufig keine Informationen zu Mischwasserabflüssen und Frachtströmen bei Trockenwetter an signifikanten Punkten des Kanalnetzes vorliegen, wird der Einsatz von Ersatzparameter vorgeschlagen. Als Ersatzparameter für maßgebende Volumenströme im Regenwetterfall dient dabei die Summe der angeschlossenen reduzierten Flächen entlang der betrachteten Kanalstränge. Bei der Abschätzung zu erwartender Frachtflüsse im Trockenwetterfall werden die angeschlossenen Einwohnerwerte entlang des Fließweges aufsummiert. Beide Größen werden in einem Sankey-Diagramm des Entwässerungssystems dargestellt. Dabei spiegelt die Breite der im Diagramm dargestellten Stromlinien die Größe der Stoffströme im betrachteten Kanalnetz oder in einem Teilsystem wider.

Neben der Nutzung dieser Stoffstromdiagramme für Planungszwecke besteht auch die Möglichkeit, mithilfe dieser Darstellungsform Ergebnisse von Abfluss- und Schmutzfrachtsimulationen sehr effektiv und übersichtlich darzustellen. Hierzu können neben den berechneten Volumen- und Stoffflüssen im System auch Ströme dargestellt werden, die an Entlastungsbauwerken das System verlassen.

2.3 Indikatorverfahren zur Bewertung von Mischwasserbehandlungskonzepten

Während sich Stoffstromdiagramme auf die Darstellung von Strömen beschränken, werden mithilfe des hier vorgestellten Indikatorverfahrens lokale Belastungen, Behandlungspotenziale und Emissionen an lokalen Entlastungspunkten im globalen Zusammenhang dargestellt. Daher bietet es sich an, dieses Verfahren zur Bewertung der Resultate von Abfluss- und Schmutzfrachtmodellen in komplexen Kanalnetzen zu verwenden. Es ermöglicht eine schnelle Evaluierung lokaler Zustände und ihrer Interaktionen mit anderen Komponenten des Gesamtsystems bei der Ausarbeitung und dem Vergleich von Varianten. Es stellt damit eine einfache Alternative zu komplexen Optimierungsalgorithmen dar und erleichtert die systematische Ausarbeitung von Behandlungsszenarien.

Hierzu werden bei dem Verfahren einzelne lokal bestimmte Indikatoren berechnet, die unter Ansatz der Summe des jeweils betrachteten Parameters für das Gesamtsystem normiert sind. Das Indikatorverfahren kann für beliebige Einzugsgebiete, Bauwerke und Emissionsparameter eingesetzt werden, die zuvor auf unterschiedliche Weisen (zum Beispiel Schmutzfrachtberechnung, vereinfachtes Bemessungsverfahren nach Arbeitsblatt ATV-A 128 [1] etc.) bestimmt wurden.

Drei Indikatorparameter, die für jedes Bauwerk bestimmt werden, bilden die Grundlage dieses Verfahrens:

1. Der Belastungsindikator beinhaltet die Summe der jeweiligen Verhältnisse von lokal angeschlossenen EW zu EW_{ges} , lokal angeschlossener A_{red} zu $A_{red,ges}$ und der Drosselabflusssumme oberhalb liegender Bauwerke zum Mischwasserzufluss Q_m zur Kläranlage.
2. Der Behandlungsindikator berechnet sich aus der Summe der Verhältnisse von lokalem Speichervolumen zu Gesamtspeichervolumen im Netz und dem lokalen Drosselabfluss zum Mischwasserzufluss Q_m zur Kläranlage.
3. Als Emissionsindikator dient das Verhältnis der Menge eines lokal entlasteten Parameters zur Entlastungsmenge des

Parameters im Gesamtsystem. Dabei kann das Entlastungsvolumen oder die Entlastungsfracht beliebiger Stoffe bzw. Stoffparameter in die Berechnung der Indikatoren einfließen.

Abschließend werden alle Indikatoren normiert, um eine Vergleichbarkeit verschiedener Indikatoren zu ermöglichen. Im Folgenden wird die Bestimmung der Indikatoren am Beispiel des Belastungsindikators vorgestellt. Die Bestimmung der übrigen Indikatoren ist im Detail in [6] sowie in [7] erläutert. In dieser Form können die Indikatoren auch als relative lokale Belastungs-, Behandlungs- und Emissionspotenziale interpretiert werden.

Behandlungsindikator zur Illustration der Behandlungspotenziale von Entlastungsbauwerken

In die Berechnung des Behandlungsindikators gehen der Anteil des lokalen Drosselabflusses am maximalen Mischwasserzufluss zur Kläranlage sowie der Anteil des lokal vorhandenen Speichervolumens am Gesamtspeichervolumen der Entlastungsbauwerke im Kanalnetz ein (Gleichung 1). Hierbei kann für die Komponenten Speichervolumen und Drosselabfluss mithilfe von Faktoren eine Wichtung vorgenommen werden. Entsprechend wird hier nur zwischen einer Behandlung durch Zwischenspeicherung und Abflussaufteilung (Regenüberlaufbecken) oder durch reine Abflussaufteilung (Regenüberläufe) unterschieden. Durch eine niedrigere Gewichtung des Abflussverhältnisses im Behandlungsindikator könnte der resultierende Behandlungsindikator für Regenüberläufe signifikant verringert werden. Dies ermöglicht eine gezielte Unterbewertung von Regenüberläufen, zum Beispiel da deren Anordnung im Entwässerungssystem immer den Bau eines weiteren Bauwerks unterhalb bedingt, das den Abfluss zur Kläranlage auf die vorgesehene Mischwasserbeschickung reduziert.

Theoretisch könnte auch eine unterschiedliche Gewichtung von Fang- und Durchlaufbeckenvolumen oder eine spezifische Bewertung anderer Reinigungsverfahren (zum Beispiel hydrodynamische Abscheider) einfließen. Durch eine höhere Gewichtung von Durchlaufvolumen könnte sich beispielsweise die zusätzliche Rückhaltewirkung dieser Bauwerke infolge von Sedimentationsprozessen positiv auf den Behandlungsindikator auswirken. Hier wird auf die Berücksichtigung von Wichtungsfaktoren und verschiedener Behandlungsvarianten verzichtet. Das bedeutet, dass die Wichtungsfaktoren mit dem Wert 1 in Gleichung (1) einfließen. Aus Gleichung 1 geht die Bestimmung des Belastungsindikators für Regenüberlaufbecken hervor. Für Regenüberläufe entfällt der erste Summand im Zähler.

$$I_{Beh,i} = \frac{w_1 \cdot \frac{V_{Sp,n}}{V_{ges}} + w_2 \cdot \frac{Q_{Dr,n}}{Q_m}}{\sum_{i=1}^3 w_i} \cdot 100 \quad (1)$$

Mit

- $I_{Beh,i}$: Behandlungsindikator für Bauwerk i [%]
- $V_{Sp,i}$: Speichervolumen von Bauwerk i
- $V_{Sp,ges}$: gesamtes Speichervolumen im Entwässerungssystem
- $Q_{Dr,i}$: Drosselabflüsse von Bauwerk i
- Q_m : maximaler Mischwasserzufluss zur Kläranlage
- w_1, w_2 : optionale Wichtungsfaktoren (hier $w_1 = w_2 = 1$)

Die Normierung des Behandlungsindikators zur besseren Vergleichbarkeit mit den übrigen Indikatoren wird auf der Basis von Gleichung 2 vorgenommen.

$$I_{N,Beh,i} = \frac{I_{Beh,i}}{\sum_{i=1}^n I_{Beh,i}} \cdot 100 \quad (2)$$

Mit

$I_{N,Beh,i}$: normierter Behandlungsindikator für Bauwerk i [%]

$I_{Beh,i}$: Behandlungsindikator für Bauwerk i

n: Anzahl aller Entlastungsbauwerke

Das Verfahren wird beispielhaft auf die Resultate der vorliegenden Schmutzfrachtberechnung für das Einzugsgebiet der Kläranlage Pétange angewandt und die Resultate der Indikatorenberechnung für die zuvor ausgewählten Bauwerke präsentiert und interpretiert.

3 Ergebnisse

3.1 Darstellung der Volumen- und Stoffströme

Abbildung 2 stellt die Anteile am Gesamtsystem der angeschlossenen EW und von A_{red} als Anhaltspunkte für die stoffliche Belastung bzw. für Volumenströme mithilfe eines Sankey-Diagrammes dar.

Differdange/Sanem ist das Teileinzugsgebiet (TEZG) mit dem größten Beitrag von einem Drittel der reduzierten Fläche und fast der Hälfte der angeschlossenen Einwohnerwerte. Entsprechend groß ist auch der Anteil am Entlastungsvolumen. Das TEZG Sanem weist im Vergleich zu den angeschlossenen Einwohnerwerten von 6 % und Flächen von 9 % ein überproportional hohes Entlastungsvolumen sowie erhöhte CSB-Entlastungsfrachten auf.

Als Indikator für die Emissionen in Gewässer werden in Abbildung 3 für das TEZG Pétange die Summe des Entlastungsvolumens am jeweiligen Bauwerk sowie die Frachtsumme des CSB dargestellt. Beide Werte werden auch als prozentualer Anteil am Gesamtentlastungsvolumen bzw. an der Gesamtentlastungsfracht angegeben, um einen raschen Überblick über den Beitrag einzelner Bauwerke zu gewinnen.

Drei Becken, unter ihnen auch das Becken DB_{03} , sind gemeinsam für 31,8 % der Gesamtentlastungsmenge und 31,3 % der Gesamtentlastungsfracht verantwortlich. Alle 16 Regenüberläufe im Kanalnetz machen dagegen zusammen nur 5,9 % des Entlastungsvolumens bzw. 5,1 % der entlasteten Fracht aus. Auffällig ist weiterhin, dass die Becken DB_{04} und SK_{01} direkt vor der Kläranlage mit 15,8 % bzw. 9,3 % des Gesamtrückhaltevolumens gar nicht oder nur marginal entlasten.

Die gemeinsame Darstellung der erwarteten Volumen- und Stoffströme im Netz sowie der Emissionen des Kanalnetzes in die Umwelt liefert wichtige Hinweise zur Bewertung eines vorgeschlagenen Behandlungskonzeptes, gerade in komplexen Mischwassersystemen.

3.2 Bewertung auf der Basis des Indikatorverfahrens

In den Abbildungen 4 bis 5 sind die zuvor beschriebenen Indikatoren, die sich aus den Resultaten der Schmutzfrachtberechnung für die Varianten 0 und 1 an den ausgewählten Bauwerken ergeben, dargestellt. Die betrachteten Emissionsindikatoren beschränken sich hier auf das Entlastungsvolumen und den chemischen Sauerstoffbedarf (CSB).

Ein Vergleich der Belastungs- und Behandlungsindikatoren für die Regenüberläufe $RÜ_{01}$ und $RÜ_{02}$ in Bascharage lässt erkennen, dass aufgrund der hohen Drosselabflüsse dieser Bauwerke deren Behandlungsindikatoren die zugehörigen Belastungsindikatoren weit überschreiten (s. Abbildung 4). So repräsentieren die Belastungen an den Regenüberläufen $RÜ_{01}$ und $RÜ_{02}$ 0,2 % und 0,8 % der Gesamtbelastung im System. Die Regenüberläufe weisen allerdings aufgrund ihrer Drosselabflüsse 4,4 % bis 4,5 % der gesamten Behandlungskapazität des Systems in Variante 0 auf. Dies führt dazu, dass für $RÜ_{01}$ so-

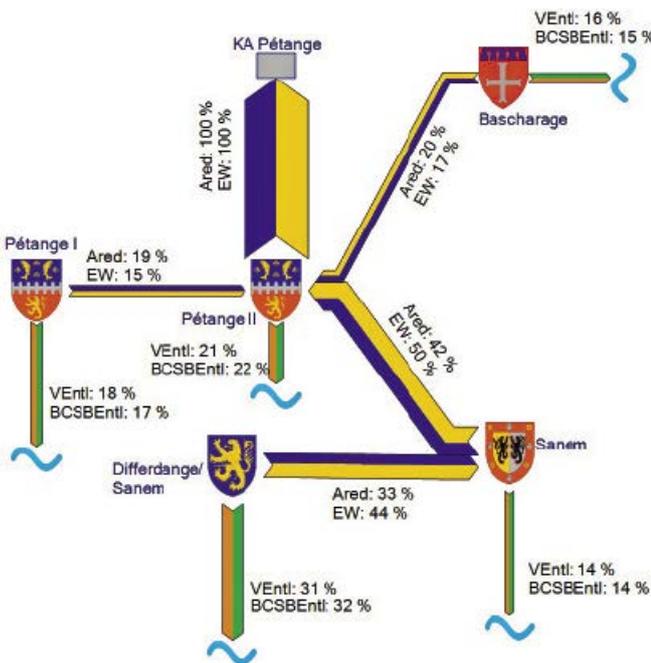


Abb. 2: Sankey-Diagramm der relevanten Volumen- und Stoffflüsse pro Gemeinde für Variante 1 (Anteil A_{red} : blau, Anteil EW: gelb, Anteil Entlastungsvolumen: grün, Anteil CSB-Entlastungsfracht: orange)

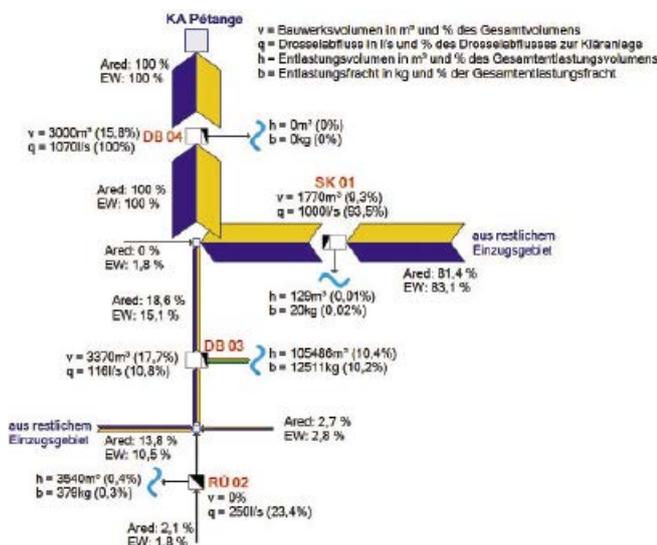


Abb. 3: Anteile von A_{red} (blau) und der Einwohnerwerte (gelb) im TEZG Pétange sowie Entlastungsvolumen (grün) und CSB-Entlastungsfracht (orange) für Variante 1

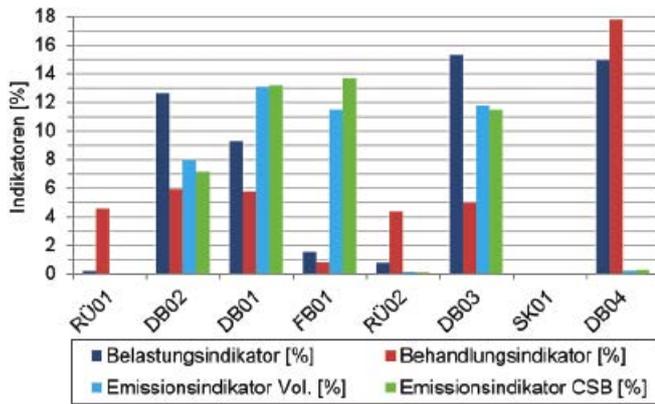


Abb. 4: Ergebnisse Indikatorberechnung für ausgewählte Entlastungsbauwerke in Variante 0

wohl der Indikator für das Entlastungsvolumen als auch der für die entlastete CSB-Fracht unter 0,1 % liegen. Sehr geringe Emissionsindikatoren weist mit jeweils unter 0,15 % auch RÜ₀₂ auf. Mit ihrem Drosselabfluss tragen beide Regenüberläufe aber signifikant zur Belastung der unterhalb liegenden Durchlaufbecken DB₀₂ (rund 13 % der Gesamtbelastung im System) und DB₀₃ (rund 15 % der Gesamtbelastung im System) bei. An beiden Durchlaufbecken ergeben sich entsprechend Emissionsindikatoren, die besonders an DB₀₃ mit jeweils mehr als 11 % deutlich über dem berechneten Behandlungsindikator von 5 % liegen. Ein weiteres Beispiel für ein Entlastungsbauwerk mit hohem Emissionspotenzial ist das Fangbecken FB₀₁, das einen Belastungsindikator von nur 1,4 % aufweist. Gleichzeitig treten an diesem Bauwerk rund 11,5 % des Gesamtentlastungsvolumens und 13,6 % der gesamten CSB-Entlastungsfracht im System auf (Abbildung 4). Die Emissionsindikatoren für Durchlaufbecken DB₀₁ von jeweils mehr als 13 % belegen den hohen Anteil an den Gesamtemissionen dieses Bauwerks. Demgegenüber weist das letzte Durchlaufbecken vor der Kläranlage ein hohes Behandlungspotenzial von rund 18 % bei vernachlässigbaren Emissionen von jeweils weniger als 0,3 % auf. Da Stau-

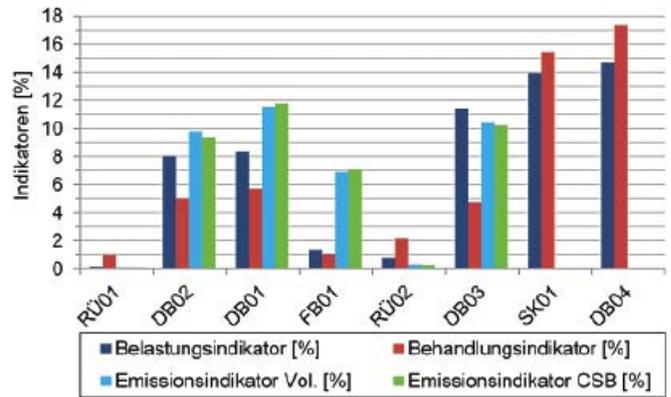


Abb. 5: Ergebnisse Indikatorberechnung für ausgewählte Entlastungsbauwerke in Variante 1

raumkanal SK₀₁ in Variante 0 nicht implementiert ist, können für dieses Bauwerk in dieser Variante auch keine Indikatoren berechnet werden.

Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse der Indikatorberechnungen für Variante 1. Hier sind die lokalen Indikatoren in Relation zu den Simulationsergebnissen für das Gesamtsystem von Variante 1 gesetzt. Dies bedeutet, dass beispielsweise ein lokaler Behandlungsindikator bei gleichem Prozentsatz wie in Variante 0 hier eine andere Bedeutung haben kann, da er sich auf ein anderes Gesamtbehandlungspotenzial bezieht. Es bleibt aber weiterhin das Ziel, für jedes Bauwerk ein ausgeglichenes Verhältnis aller Indikatoren untereinander zu erreichen. Dieses Ziel ist allerdings nur erreichbar, wenn dem keine lokalen Gegebenheiten entgegenstehen.

In Systemvariante 1 wurde beispielsweise der Drosselabfluss beider hier betrachteten Regenüberläufe RÜ₀₁ und RÜ₀₂ stark reduziert (Abbildung 5). Einerseits führt das zu einer starken Verringerung der relativen lokalen Behandlungspotenziale (Behandlungsindikatoren). Andererseits resultiert daraus eine geringere Belastung der Durchlaufbecken DB₀₂ und DB₀₃, die unterhalb angeordnet sind. Trotz kleinerer Behandlungs-

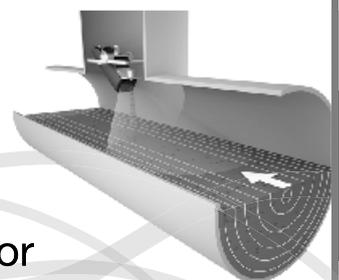
Durchbruch in der DURCHFLUSSMESSUNG

GWU-Umweltechnik



RAVEN-EYE®

Innovativster Radar-Sensor für Kanalisation und offene Gerinne



Weitere Informationen: Tel.: 02235/955220 - E-Mail: wasser@gwu-group.de - Web: www.gwu-group.de/wasser

dikatoren an den Überläufen ist die Summe ihrer Gesamtemissionsanteile mit 0,5 % (Entlastungsvolumen) und 0,4 % (CSB-Entlastungsfracht) noch relativ gering. Bei geringerem Belastungsindikator und nahezu gleichbleibendem Behandlungsindikator sind die Emissionsindikatoren an DB_{01} in Variante 1 etwas höher als in Variante 0. Dies ist auf die veränderte Gesamtbehandlungssituation im System zurückzuführen. Unter ähnlichen Randbedingungen liegen die Emissionsindikatoren für DB_{03} in Variante 1 signifikant unter denen der Variante 0. In Summe treten an den Durchlaufbecken DB_{02} und DB_{03} noch immer etwa 20 % des gesamten Entlastungsvolumens und 19 % der gesamten Entlastungsfracht auf. Vor diesem Hintergrund könnte ein Vorschlag für eine nächste Systemvariante eine Erhöhung der Behandlungspotenziale an den beiden Becken durch die Anordnung eines größeren Speichervolumens oder eine Erhöhung der lokalen Drosselabflüsse sein. Die Vergrößerung des Speichervolumens bei gleichzeitiger Erhöhung des Drosselabflusses an Fangbecken FB_{01} (Tabelle 2) führt in Variante 1 zu einer leichten Erhöhung des Behandlungsindicators und einer starken Verringerung der Volumen- und Frachtemissionen. Die Emissionsindikatoren an diesem Bauwerk sind aber auch in Variante 1 noch relativ hoch. Auch hier sollte über Maßnahmen zur Erhöhung des Behandlungspotenzials nachgedacht werden. Durch die Umverteilung des Belastungspotenzials in Variante 1 ist der Belastungsindikator des Durchlaufbeckens DB_{01} um 1 % auf rund 8 % gesunken. Bei gleichbleibendem Behandlungsindikator von 5,7 % für dieses Bauwerk resultiert daraus eine Reduzierung der Emissionsindikatoren um jeweils rund 1,5 % auf 11,2 % (Volumenindikator) bzw. 11,8 % (CSB-Frachtindikator). Bei einer geplanten Erhöhung des Behandlungsindicators an diesem Bauwerk muss allerdings berücksichtigt werden, dass DB_{01} durch Pumpen zur Kläranlage entleert wird. Daher sind die Möglichkeiten einer Vergrößerung des Speicherraums und einer Vergrößerung des Drosselabflusses Grenzen gesetzt.

Sowohl der in Simulationsvariante 1 eingeführte Stauraumkanal SK_{01} als auch das Durchlaufbecken DB_{04} weisen ein hohes Behandlungspotenzial auf, das über dem Belastungspotenzial liegt. Die an beiden Bauwerken auftretenden Emissionen sind dagegen vernachlässigbar. Vor diesem Hintergrund wäre es zu empfehlen, in einer weiteren Variante die Effekte einer erhöhten Beschickung beider Bauwerke zu untersuchen. Das würde zu einer Erhöhung von Behandlungsindikatoren oberhalb führen (zum Beispiel an DB_{03} oder DB_{02}). Durch die Anordnung von SK_{01} und DB_{04} im Einzugsgebiet nahe der Kläranlage und der infolge von Fließzeiteffekten zu erwartenden Belastungsverschiebung könnte dies zu einer Verringerung der Gesamtemissionen führen. Weiterhin könnte so eine Umverteilung von Emissionen zu einem hydraulisch leistungsfähigeren Gewässer erfolgen.

Da die Ergebnisse der Langzeitsimulationen für Variante 1 im Vergleich zu Variante 0 nennenswert geringere CSB-Entlastungsfrachten ergab (rund – 25 %), ist derzeit die Realisierung von Variante 1 vorgesehen.

4 Fazit und Ausblick

Die Illustration der erwarteten Volumen- und Stoffströme in Kanalnetzen sowie der Emissionen des Netzes in die Umwelt in einem Sankey-Diagramm kann wichtige Hinweise für Vorplanungen und den weiteren Planungsprozess liefern. Diese Darstel-

lungsform findet breite Anwendung in vielen Bereichen, wie beispielsweise bei der Illustration von Stoffströmen oder Energieflüssen in industriellen Fertigungsprozessen. Hier konnte gezeigt werden, dass diese Form der Stoffstromdarstellung wertvolle Hinweise zu den relevanten Volumen- und Stoffströmen in Kanalnetzen und zur Bewertung von Behandlungskonzepten entlang der wichtigsten Stoffstromachsen gibt. Daher bietet sich die Anwendung dieser grafischen Darstellungsformen insbesondere zur Visualisierung von Strömen in komplexen Netzen an.

Das danach beschriebene und beispielhaft angewandte Indikatorverfahren stellt die Belastung sowie die Behandlungskapazität einzelner Strukturen sowie deren Volumen- und Stoffemissionen in Oberflächengewässer in Relation zum Gesamtsystemverhalten dar. Es soll vor allem der übersichtlichen Illustration und Bewertung der Resultate von Abfluss- und Schmutzfrachtberechnungen für Kanalnetze dienen und Schlüsse auf relevante Bauwerke sowie mögliche Systemverbesserungen zulassen. Mithilfe des Indikatorverfahrens können Systemverbesserungen nachvollzogen werden, die im Rahmen einer szenarienbasierten detaillierten Abfluss- und Schmutzfrachtberechnung für das betrachtete Kanalnetz festgelegt und simuliert wurden. Darüber hinaus werden auf der Basis des Indikatorverfahrens weitere Verbesserungspotenziale festgestellt, deren Wirksamkeit durch zusätzliche Simulationsläufe nachzuweisen ist. Dabei sind Detailkenntnisse zu lokalen Gegebenheiten wie der Vorflutersituation, technischen Randbedingungen an Bauwerken oder hydraulischen Kapazitäten im System und daraus eventuell resultierende Restriktionen in Bezug auf die vorgeschlagenen Systemverbesserungen zu berücksichtigen. Das vorgestellte Indikatorverfahren ist unabhängig vom Werkzeug, das zum Nachweis des Mischwasserbehandlungskonzepts verwendet wird, anwendbar. Es besteht weiterhin die Möglichkeit, weitergehende Reinigungsverfahren bei der Berechnung des Behandlungsindicators eines Bauwerkes zu berücksichtigen. Vor dem Hintergrund der immer wichtigeren immissionsbezogenen Betrachtungen ist auch die Einführung eines Immissionsindicators denkbar.

Neben der Anwendung der beiden vorgestellten Verfahren in alltäglichen Planungsprozessen ist auch die Nutzung für Aus- und Weiterbildungszwecke denkbar. Beide Methoden veranschaulichen Interaktionen von Belastungs- und Behandlungspotenzialen an Mischwasserentlastungsbauwerken mit Emissionsparametern sowie Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Bauwerken im System, die sonst nur von erfahreneren Experten erkannt und bewertet werden können. Sie tragen somit dazu bei, ein Systemverständnis zu schaffen, das bisher erst nach einiger Erfahrung in der Auswertung der Resultate von Abfluss- und Schmutzfrachtsimulationen zu erwarten ist.

Dank

Die Autoren bedanken sich bei der luxemburgischen Wasserwirtschaftsverwaltung (Administration de la gestion de l'eau) für die Finanzierung und fachliche Unterstützung der Studie, die die Grundlage für diesen Artikel gebildet hat.

Literatur

- [1] Arbeitsblatt ATV-128: *Richtlinie für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen*, Hennek, 1992

- [2] FWR: *Urban pollution management manual (UPM). A planning guide for the management of urban wastewater discharges during wet weather*, 2. Aufl., Marlow, UK: Foundation for Water Research, report FR/CL0009, 1998
- [3] CERTU: *La ville et son assainissement – Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau* (Die Stadt und ihre Entwässerung – Prinzipien, Methoden und Werkzeuge für eine bessere Integration in den Wasserkreislauf), Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques, Lyon, France, 2004
- [4] CIW: *Code van goede praktijk voor het ontwerp, de aanleg en het onderhoud van rioleringsystemen* (Verhaltensregeln für den Entwurf, Bau und Betrieb von Abwassersystemen), Werkgroep Waterzuivering van de Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid, Flanders, Belgium, 2012
- [5] *Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen*, ÖWAV-Regelblatt 19, Wien, 2007
- [6] K. Klepizewski, S. Seiffert: *Statistische Erfassung von Entlastungsbauwerken der Mischwasserbehandlung im Einzugsgebiet der Chiers*, Schlussbericht des Projekts EMISTAT – MW, Administration de la gestion de l'eau, Luxembourg, 2013, unveröffentlicht
- [7] K. Klepizewski, S. Seiffert, M. Regneri, E. Henry: *Methods to accompany and evaluate planning of CSO treatment concepts for complex sewer systems*, *Water Practice and Technology* 2014, 9 (1), 1–8
- [8] Dahlem, Schroeder & Associés: *Schmutzfrachtmodell Einzugsgebiet Kläranlage Petingen, Erläuterungsbericht und Anlagen*, Luxembourg, 2010
- [9] M. Schmidt: *The Sankey Diagram in Energy and Material Flow Management*; *Journal of Industrial Ecology* 2008, 12 (1), 82–94
- [10] L. Benedetti: *Probabilistic design and upgrade of wastewater treatment plants in the EU Water Framework Directive context*, PhD thesis, Ghent University, Belgien, 2006, S. 304
- [11] L. C. Campos, V. Jain, M. Schütze: *Simulating Nutrient and Energy Fluxes in Non-networked Sanitation Systems*, *Proceedings of the 2nd Faecal Sludge Management Conference 2012*, Durban, Südafrika

Autoren

Dr.-Ing. Kai Klepizewski
 Luxembourg Institute of Science and Technology
 41, rue du Brill
 4422 Belvaux, Luxembourg
 Jetzt:
 Nivus GmbH
 Im Täle 2, 75031 Eppingen

E-Mail: kai.klepizewski@nivus.com

Dipl.-Ing. Stefanie Seiffert
 igr AG
 Luitpoldstraße 60a, 67806 Rockenhausen

Dipl.-Ing. Raymond Erpelding
 Syndicat Intercommunal pour l'Assainissement
 du bassin de la Chiers
 6 Rue du Stade, 4711 Pétange, Luxembourg

Dipl.-Ing. Thierry Flies
 Schroeder & Associés – Ingénieurs-Conseils
 8 Rue des Girondins, 1626 Luxembourg



Connecting**Chemistry**

/ Besuchen Sie uns
 IFAT 2016
 Halle A3, Stand 235/334



Lernen Sie unser umfangreiches Produkt- und Serviceportfolio für die Wasserbehandlung und Prozesswasserhygiene kennen.

Brenntag GmbH
 Geschäftsbereich Wasserchemie
 Telefon +49 208 7828-7128
wasserchemie@brenntag.de

www.brenntag-gmbh.de

Clorius2