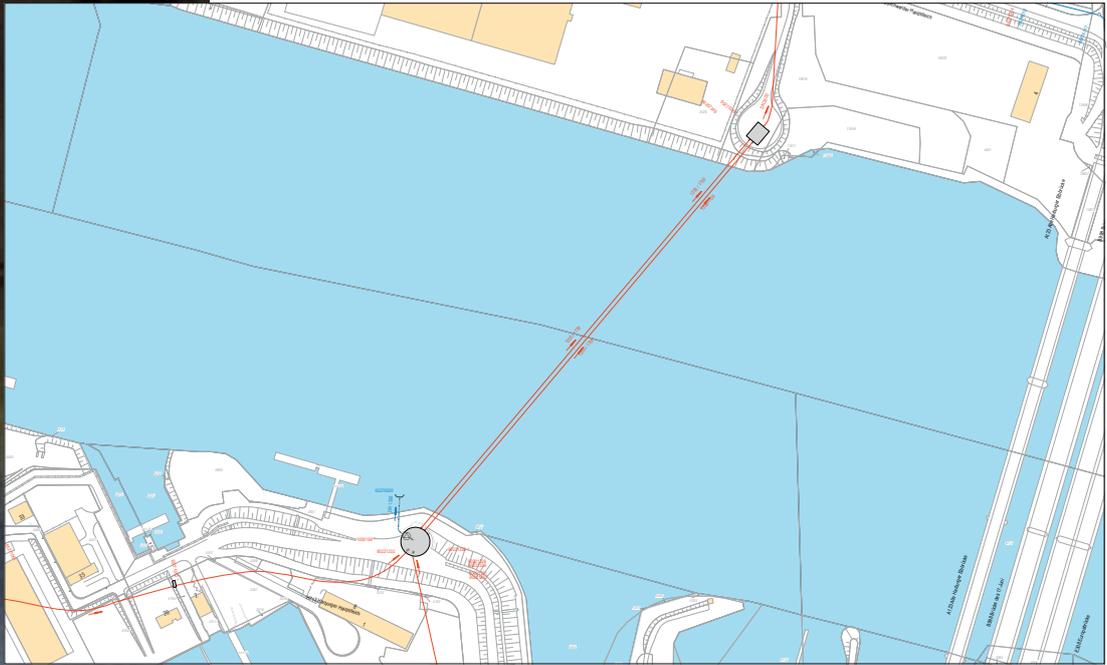


Sanierung der Elbquerung am Harburger Hauptdeich mit innovativem Bauverfahren

HAMBURG WASSER hat von 2020 bis zum Herbst 2023 zwei nebeneinanderliegende Röhren unter der Süderelbe saniert. Der Grund für die Sanierung der im Jahr 1977 gebauten Kanäle waren massive Schäden, sowohl in den Röhren selbst als auch in Betriebsschächten und in einigen Betriebsräumen. Durch die Zusammensetzung der Abwässer war es zu biogener Schwefelsäurekorrosion gekommen. Für die Sanierung der beiden jeweils knapp 370 m langen Röhren hat der Wasserversorger einen speziell für das Bauvorhaben entwickelten Wagen eingesetzt. Das Besondere an diesem Verfahren ist eine auf dem Wagen montierte und halbautomatisch oszillierende Lanze. Mit mehr als 2.000 bar Wasserdruck konnten die Arbeiter mithilfe dieser Vorrichtung zielgerichtet und genau auf die Kanalwände einwirken, um den beschädigten Beton herauszulösen.



HAMBURG WASSER / Krafft Angerer

Abb. 2 Lageplan der Süderelbquerung

ein Mittelgang. Die Abwasserröhren bestehen aus einem um 55 cm überhöhten Kreisprofil DN 1200, und der Mittelgang hat eine lichte Weite von 1750/1200. Die Haltungslänge einer Röhre beträgt rund 370 m. Das Bauwerk muss zwei Funktionen erfüllen. Im Regelbetrieb dient es der Ableitung des in Harburg, Neu Wulmstorf und Buxtehude anfallenden Schmutzwassers und führt es dem Klärwerk Hamburg auf Köhlbrandhöft zu.

Der Durchfluss schwankt bei Trockenwetter zwischen 300 Liter pro Sekunde im Nachtminimum und 1.200 Liter pro Sekunde während der Tagesspitze. Bei Starkregen kommt ein erheblicher Anteil an niederschlagsbedingtem Fremdwasser hinzu. Auf der Nord- und Südseite gibt es je Röhre jeweils einen Betriebsschacht. Die Zu- und Abläufe der Röhren werden über Schieber vor Ort elektronisch gesteuert. Darüber

Abb. 1 Zustand der Röhre nach erfolgreicher Sanierung

HAMBURG WASSER / Krafft Angerer

Bedeutung des Bauwerks innerhalb des Hamburger Abwassersystems

Die Süderelbquerung Harburger Hauptdeich verläuft westlich der alten Harburger Elbbrücke (Abb. 2). Das Bauwerk ist Bestandteil des Sammlers Harburg, Abschnitt Süd, und unterquert im Freigefälle die Süderelbe. Es besteht unter anderem aus zwei Mischwasserröhren, die redundant betrieben werden können. Die Süderelbquerung wurde als Stahlbeton-Kastenprofil im offenen Vortrieb unter Wasser im Jahr 1977 gebaut. In dem Profil verlaufen zwei Abwasserröhren und



HAMBURG WASSER / Krafft Angerer

Abb. 3 Schadensbilder im Harburger Hauptdeich



Abb. 4 Maschinist beim präzisen Abtragen des geschädigten Betonstreifens mithilfe eines innovativen Höchstdruckstrahlverfahrens

hinaus erfüllt das gesamte Bauwerk eine weitere, für die Hamburger Stadtentwässerung wichtige Funktion: Im Dükeroberhaupt ist das Pumpwerk Harburger Hauptdeich integriert. Dieses dient als Entlastungspumpwerk bei Extremwetter. Sollte es dazu kommen, dass das Zulaufpumpwerk Köhlbrandhöft-Süd im Starkregenfall ausfällt, fungiert das Pumpwerk als letzte Entlastungsmöglichkeit. In diesem seltenen Fall können bis zu drei Kubikmeter Abwasser pro Sekunde entgegen der normalen Fließrichtung durch die Elbquerung zum Entlastungspumpwerk geleitet werden. Dieses Szenario wurde zugrunde gelegt bei der Bemessung des Querschnitts.

Die Abwasserkanäle sind im Jahr 1977 aus Beton errichtet und zum Teil mit Weichkunststoff ausgekleidet worden. Das Gesamtbauwerk ist wie folgt aufkonstruiert: Zum Betriebsschacht Süd mit dem Regenwasserpumpwerk gehören mehrere Betriebsräume mit Hochbau. Die einzelnen Bestandteile sind die Kanalzusammenführung, der Pumpensumpf des Regenwasserpumpwerks und ein Zwischenraum von Kanalzusammenführung und Röhren. Dazu kommen noch drei Zugangsschächte (Schacht Ost-röhre, Schacht West-röhre, Schacht Mittelgang) sowie ein Maschinen- und Antriebsraum. Der Betriebsschacht Nord ist mit der Kanalzusammenführung und ebenfalls drei Zugangsschächten (Ost-röhre, West-röhre, Mittelgang) ähnlich

aufgebaut; auch zwei Betriebsräume gehören dazu: der Schaltraum sowie ein Hydraulikraum.

Im Zuge einer Inspektion sind an den Übergängen des Betons zu den eingebauten Kunststoffauskleidungen im unteren Kämpferbereich Betonkorrosionen festgestellt worden (Abb. 3). Die Betriebsschächte auf der Nord- und Südseite wiesen ebenfalls Korrosionsschäden auf. Die Süderelbquerung wurde daraufhin einer erweiterten Zustandserfassung unterzogen.

Ausgangslage nach erweiterter Zustandserfassung

Die Mischwasserröhren der Süderelbquerung Harburger Hauptdeich waren ursprünglich nur auf 270 Grad mit PVC-Weichkunststoff ausgekleidet, weil seinerzeit während der Planungen erwartet wurde, dass der Trockenwetterabfluss den nicht ausgekleideten Sohlbereich überdecken würde. Im tatsächlichen Betrieb zeigte sich hingegen ein niedrigerer Trockenwetterabfluss. So bildeten sich im Übergangsbereich zwischen der Auskleidung und dem Beton starke Schäden durch biogene

Schwefelsäure. Die Korrosion war zum Zeitpunkt der Inspektionen bereits weit fortgeschritten und schon 15 cm unterhalb der erwähnten PVC-Weichkunststoffauskleidung sichtbar. Die Auskleidung war fest mit dem Beton verbunden durch rückseitige Radialstege. Sulfate waren schon bis auf eine Tiefe von rund 4 cm eingedrungen. So mussten sowohl die Kunststoffauskleidung als auch der korrodierte Beton saniert werden.

Während der optischen Inspektion wurden vorrangig Schäden an der Ost-röhre und der West-röhre festgestellt. In der ausdifferenzierten Betrachtung ergaben sich weiterhin mehr oder weniger stark ausgeprägte und sanierungsbedürftige Schäden am Nordschacht, am Südschacht und am Mittelgang. Insgesamt waren acht Räume im Bereich des Bauwerks von den Schäden betroffen. Weitere Untersuchungen ergaben zudem, dass sich das Kastenprofil optisch axial und radial verschoben hatte. HAMBURG WASSER ließ sodann eine Vermessung durchführen, um das Kastenprofil in drei einzelne Leitungen aufzuteilen und die Lageabweichung zu erfassen.

Um die Stahlbetonfestigkeit zu prüfen, sind 16 Bohrkerne in der Oströhre und acht Bohrkerne aus der West-röhre von innen aus der Kanalwand entnommen und hinsichtlich der Druckfestigkeit, Haftzugfestigkeit sowie ihres Chlorid- und Sulfatgehalts untersucht worden. Für die Bohrkernentnahme sowie die Materialuntersuchungen wurde das Hansa-Nord-Labor (HNL) aus Pinneberg beauftragt.

Ausschreibung und Anforderungen für die Sanierung

Die aufwendige Sanierung wurde im Jahr 2020 ausgeschrieben. Das Sanierungskonzept sah vor, zunächst einen belastbaren Bauzeitenplan und eine Bauablaufplanung zu erstellen. Vor Beginn der baulichen Maßnahmen mussten sowohl die Ost- als auch die West-röhre gereinigt und der durch Undichtigkeit geschädigte Mittelgang entleert werden. Elementarer Bestand-

Die Abtragung musste aus sicherheitstechnischen Gründen ohne Erschütterungen und Schwingungen erfolgen.



HAMBURG WASSER/Krafft Angerer

Abb. 5 Arbeiter während der Reprofilierung der Röhre mit Reparaturmörtel

teil der dann einsetzenden baulichen Tätigkeiten war es, in beiden Röhren den schadhafte Beton möglichst präzise abzutragen. Im Anschluss an die Abtragung und Reinigung (Abb. 4) sollte die Reprofilierung der Rohrwandung mit einem Reparaturmörtel mindestens XWW3 (nach DIN 19573) erfolgen (Abb.5). Zudem sollte das Sohlgefälle soweit möglich ausgeglichen werden. Auch eine neue Auskleidung musste erfolgen, um sowohl Rohrsohle als auch Rohrübergänge vor weiterer Korrosion durch biogene Schwefelsäure zu schützen. Als Material sollte ein GFK-Korrosionsschutz gewählt werden. Die Reinigung der Röhre und des Mittelgangs konnte nur über die Montageöffnungen erfolgen. Am Anfang und Ende der Röhre sowie in einem Abstand von jeweils rund 130 m sind zudem Kontrolltüren vom Mittelgang zur Oströhre vorhanden, um einen Zugang zu ermöglichen.

Der Beton wurde wie erwähnt auf seine Druckfestigkeit hin untersucht. Die Ergebnisse lieferten die Erkenntnis, dass der schadhafte Beton sowie die PVC-Weichkunststoffauskleidung im ausgerundeten Übergangsbereich auf einer Breite von rund 35 cm entfernt werden musste. Die Schäden waren auch schon in die Tiefe vorgedrungen, sodass der Beton im Mittel 4 cm tief abgetragen werden musste. Die Abtragung musste aus sicherheitstechnischen Gründen ohne Erschütterungen und Schwingungen erfolgen, was den Einsatz von Spit-

zen oder einem Abbruchhammer oder Fräsen ausschloss.

Der Einsatz von Handlanzen gestaltete sich herausfordernd während der Maßnahmenplanung. Für den Druck erforderliche Handlanzen sind rund 120 cm lang. Bei einer Profildicke von 120 cm kann also kein optimaler Druck aus einem Winkel von 90 Grad auf die Betonfläche einwirken, die Lanze müsste schräg gesetzt werden, was sowohl im Ergebnis unzureichend gewesen wäre und ein arbeitssicherheitstechnisches Problem darstellen würde. Eine Spritzeinrichtung muss zudem eingesetzt werden, und zwar im erforderlichen Sicherheitsabstand, um die Unversehrtheit der Arbeiter jederzeit zu gewährleisten. Bei einem Einsatz von Handlanzen mit 2.000 bis 2.500 bar im Höchstdruckverfahren muss außerdem mit Rückstoßkräften gerechnet werden, die auf den Körper des Arbeiters im Kanal einwirken. Im Rahmen der Ausschreibung waren deshalb alle Gewerke explizit aufgefordert, nur Angebote mit entsprechender technischer Umsetzung einzureichen, die allen Anforderungen des Arbeitsschutzes und der Arbeitssicherheit gerecht wird.

Im Rahmen der Ausschreibung konnte HAMBURG WASSER mit der Firma SMG Bautenschutztechnik für Hoch- und Tiefbau GmbH ein Unternehmen finden, das sowohl das passende Equipment als auch das Know-how mitbringt. Die Firma aus der Stadt Lage in

der Nähe von Bielefeld ist spezialisiert auf das Sanieren von Abwasserbauwerken und -kanälen.

Es wurden erste Tests durchgeführt mit einem von SMG für diesen Anwendungsfall entwickelten Betonabtragsgerät. Die daraus gewonnen Erkenntnisse führten zu weiteren Verfahrensoptimierungen. So konnte die Aufgabe, Beton und Auskleidungsfolie auf einer Breite von 35 cm und einer Tiefe von 4 bis 5 cm exakt abzutragen, sauber und effizient gelöst werden. Die baulichen Gegebenheiten der Maßnahme mussten bei der Konstruktion des Gerätes zusätzlich berücksichtigt werden. Große Tiefen von rund 20 m, kleine Einstiegsöffnungen und die geringen Abmessungen der Röhre von nur 1,20 m Breite und 1,75 m Höhe erforderten die Trennung von Geräteteilen in Module. Diese wurden in entsprechender Reihenfolge in die Röhre gebracht und vor Ort zusammengesteckt. Mit einer horizontal oszillierenden Punktstrahldüse, die an einem sich horizontal auf und abwärts bewegendem Schlitten befestigt war, wurde der korrodierte Beton samt Auskleidungsfolie auf einer Tiefe von 4 bis 5 cm abgetragen. Trotz des enormen Drucks von 2.500 bar erfolgte der Betonabtrag erschütterungsfrei. Bewehrungsstähle wurden nicht beschädigt und zu erhaltende Betonbereiche blieben von Spannungsrissen verschont.

Lediglich der Vortrieb der Maschine erfolgte mit Muskelkraft. Eine Aufgabe,

Zum Start der Bauarbeiten mussten zunächst für kurze Zeit jeweils beide Röhren abwechselnd trockengelegt und anfallendes Schmutzwasser rückgestaut werden.

die vom jeweiligen Maschinisten mit viel Fingerspitzengefühl und mit hoher Konzentration ausgeführt werden musste.

In der gesamten Röhre wurden mit dieser Strahlautomatik rund 20 Tonnen korrodierter Beton abgetragen. Der Abtrag wurde in kleinen Behältern und Loren zu den Schachtöffnungen transportiert und mittels Portalkränen nach oben gefördert und entsprechend entsorgt.

Weil sich das Kastenprofil – wie oben ausgeführt – vermutlich schon kurz nach der Entstehung im halboffenen Vortrieb verschoben hatte, sollte das Sohlgefälle über die gesamte Haltung hinweg ausgeglichen werden. Zum Einsatz kam ein Estrichbeton, der teilweise bis zu 30 cm dick aufgebracht wurde. Um die Idealabflusslinie zu erreichen, wurden rund 46 Tonnen Estrichbeton benötigt. Nach dem Aushärten des Betons konnte mit der Reprofilierung der ausgestrahlten Flächen begonnen werden. Zur Reprofilierung im Nassspritzverfahren wurde eine Misch-

pumpe ebenfalls umgebaut und an die örtlichen Gegebenheiten innerhalb der Röhre angepasst. Die äußeren Abmessungen wurden drastisch verkleinert, um vor Ort aufgestellt zu werden. Unter kontinuierlichem Misch- und Fördervorgang wurde ein neuartiger Mörtel mit der Expositionsklasse XWW4 nach DIN 19573 (SC AwaTec GeoSpray HCE) eingesetzt. Es handelt sich dabei um einen Mörtel, der sich auch in größeren Schichtdicken gut aufbringen und glätten lässt. Darüber hinaus weist er gute Haft Eigenschaften auf und neigt nicht zu Rissbildungen während des Aushärtungsprozesses. Für die Reprofilierung wurden rund 24 Tonnen GeoSpray verarbeitet.

Die nachfolgende Korrosionsschutz- auskleidung der Sohle erfolgte durch den Einbau einer GFK-Auskleidung. Hierzu wurden zunächst GFK-Platten (s = 3 mm) mit Spezialschrauben und Dübeln mechanisch am Untergrund verankert und mehrlagig händisch überlaminiert.

Abschließend wurde die Oberfläche mit einem Top-Coat versiegelt. Für den Korrosionsschutz der Sohle wurden rund zwölf Tonnen Material verbaut.

Die Übergänge zwischen der neuen GFK-Auskleidung und der vorhandenen PVC-Auskleidung mussten abschließend von mechanischen Beschädigungen geschützt werden. Dazu dient eine Edelstahlschiene mit rückseitig aufgeklebten Dichtungstreifen und einer diagonalen Bohrung zur fachgerechten Befestigung am Untergrund.

**Meilenstein des Projekts:
Einsatz von Dichtungskissen**

Noch bevor die Arbeiten in der Oströhre Ende 2020 starten konnten, musste die Abwasserentsorgung für die Süderelbquerung Harburger Hauptdeich temporär neu organisiert werden. Die zwei Röhren sind im Abwassersystem von HAMBURG WASSER ein entscheidendes Element – sie sind die einzige Verbindung der Abwasserableitung vom Hamburger Süden zum Klärwerk Hamburg. Pro Sekunde fließen im Schnitt 700 Liter Abwasser durch die Röhren. Zu beachten sind aber auch erhebliche Schwankungen je nach Tageszeit. Dass die Sanierung im laufenden Betrieb durchgeführt werden konnte, liegt an der beschriebenen Systematik, weil die Röhren redundant angelegt sind. Sie sind grundsätzlich so



Abb. 6 Einbringung des Dichtungskissens zum Errichten einer Holzbohlenwand

HAMBURG WASSER / Kraft- Angerer

bemessen, dass jeweils auch nur eine Röhre das gesamte anfallende Schmutzwasser fassen kann. Zum Start der Bauarbeiten mussten zunächst für kurze Zeit jeweils beide Röhren abwechselnd trockengelegt und anfallendes Schmutzwasser rückgestaut werden, um die für die Bautätigkeiten notwendigen Abmauerungen und Dammbalkenwände einzuziehen. Um ein möglichst langes Zeitfenster hierfür zu erreichen, mussten diese Maßnahmen nachts durchgeführt werden, wenn naturgemäß wesentlich weniger Abwasser anfällt. Nachts fließen durchschnittlich nur 500 Liter pro Sekunde durch die Kanäle, am Tag sind es zu Spitzenzeiten bis zu 1.200 Liter. Gearbeitet wurde mit Dichtungskissen der Firma Lampe GmbH, die per Druckluft aufgepumpt wurden und die Sammler so abdichteten. Anschließend haben die Mitarbeiter die Oströhre vom Kanalisationssystem abgekoppelt, um dort mit den Arbeiten zu beginnen.

Zunächst mussten gegen 22.00 Uhr am Abend zwei Dichtungskissen (Abb. 6) der Größen DN 1600 und DN 2000 in die beiden Kanäle eingebracht werden, um das gesamte Schmutzwasser aus dem Süden Hamburgs zurückstauen zu können. Nachdem die Sammler trockengelegt worden waren, konnte die Röhre mit Holzbohlen verschlossen sowie die dahinterliegende Wand gemauert werden. Der Nachteinsatz war gegen vier Uhr am Morgen beendet. Nach den abgeschlossenen Reinigungsarbeiten konnte die Firma SMG damit beginnen, den geschädigten Beton nach oben ausgeführten Anforderungen abzutragen.

Deichschutzrecht – besondere Herausforderung

Insgesamt dauerten die Bauarbeiten von November 2020 bis September 2023. Bei der Organisation der Baustelle war für

HAMBURG WASSER und die Firma SMG außerdem die deichschutzrechtliche Lage vor Ort zu beachten. Die Betriebschächte liegen im Hochwasserschutzgebiet und direkt an der Deichverteidigungslinie, die Hamburg bei Sturmfluten vor Hochwasser schützt. In der Sturmflutsaison von September bis März musste der Deich deshalb immer frei von Arbeitsgeräten und Material sein, damit die Deichaufsicht bei ihren Patrouillen die Sicherheit der Deiche prüfen konnte.

Die Baustelleneinrichtungsflächen lagen im Bereich des Nordschachts auf dem Gelände von HAMBURG WASSER. Auf der Nordseite stand somit noch ausreichend Platz für die Baustelleneinrichtung und Materiallager zur Verfügung. Die Baustelleneinrichtungsflächen beim Südschacht grenzten an den Straßenbereich vom Harburger Hauptdeich. Der Betriebsplatz liegt auf einer Warft mit einer Geländeoberkante von ca. +7,50 mNN. In der Hochwassersaison musste demzufolge während der Bauzeit mit einer Überflutung der Zuwegung gerechnet werden. HAMBURG WASSER hat sich aufgrund der Lage im Hochwasserschutzgebiet von der Deichaufsicht, die dem Landesbetriebe Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) zugeordnet ist, die erforderlichen temporären deichrechtlichen Ausnahmegenehmigungen erteilen lassen, um die Bauarbeiten auch in diesem herausfordernden Umfeld durchführen zu können.

Ein erfolgreicher Maßnahmenabschluss

Die Bauarbeiten waren schließlich im September 2023 abgeschlossen. Durch die Corona-Pandemie ist es zwar zu Verzögerungen gekommen, außerdem hat es während der Bauzeiten zwei Starkregenereignisse gegeben, die die Baustelle

geflutet haben. Doch als Resümee ist festzuhalten, dass trotz dieser widrigen Umstände und trotz einiger herausfordernder, teils schwieriger baulicher Randbedingungen die Gesamtmaßnahmen erfolgreich und nach Plan abgeschlossen werden konnte. Das liegt auch an den Arbeitsabläufen, die gemeinsam mit der Firma SMG reibungslos, effizient und professionell umgesetzt werden konnten. Deren erstmals angewandtes Höchstdruckstrahlverfahren wird voraussichtlich auch ein weiteres Mal zur Anwendung kommen, wo die Betonkorrosion das einschlägige Schadensbild verursacht hat.

Maßnahmen wie diese am Harburger Hauptdeich sind essenziell für Sanierungskonzepte, um das Kanalnetz der Stadt Hamburg weiterhin zu erhalten. Eine Hilfe war vor allem das teilweise automatisierte Verfahren, mit dem die Arbeiter innerhalb kurzer Zeit signifikant mehr Flächen abtragen können als mit manuellen Handlätzen. Die Technik sowie die installierte Vorrichtung überzeugen vor allem durch die Zeiteffizienz, was sich kostensparend niederschlagen kann. Die Süderelbquerung Harburger Hauptdeich ist nun für die nächsten 60 Jahre mindestens wieder instandgesetzt.

Autoren

Steve Föhse
 Enrico Brandt
 Stefan Wolters
 HAMBURG WASSER
 Billhorner Deich 2
 20539 Hamburg
 Tel.: +49 (0) 40 7888 56140
 steve.foehse@hamburgwasser.de
 www.hamburgwasser.de



Die Oktober-Ausgabe der „DVGW energie | wasser-praxis“ (10/2023) erscheint mit Fachbeiträgen zu folgenden Themen:

- **Wasser | Aufbereitung**
Aktivkohle auf Basis von Kokosnussschalen in Wasserwerken
- **Versorgung | LNG**
EWE-Zukunftsleitung in Rekordgeschwindigkeit geplant und genehmigt
- **Trinkwasser | Ökologie**
Ökobilanz von Trinkwasser und Mineralwasser in Deutschland

Kostenloses Probeheft unter: info@wvgw.de