

# Optimierung der Chemikalieneinmischung im Wasserwerk Wienrode

Die Betreiber von Wasserversorgungsanlagen sind nach der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) gesetzlich zur Einhaltung bestimmter Indikatorparameter-Grenzwerte beim Trinkwasser verpflichtet. Erfüllt das Rohwasser die hohen Anforderungen nicht, muss es entsprechend aufbereitet werden. Am Beispiel einer hybriden Modellierung, einer Kombination aus einem numerischen und physikalischen Modell, wird die Möglichkeit aufgezeigt, eine auf eine bestimmte Anlage abgestimmte, optimale und dauerhafte Lösung für die Chemikalieneinmischung zu finden.

Die Aufbereitung des weichen Talsperrenwassers der Rappbode-Talsperre zu Trinkwasser im Wasserwerk Wienrode erfordert eine Zugabe von Kohlendioxid und Kalkwasser. Diese Chemikalienzugabe hat das Ziel, die Calciumkonzentration im Rohwasser zu erhöhen (Aufhärtung), wobei der pH-Wert geringfügig abgemindert wird. Die Zugabe des mit  $\text{CO}_2$  angereicherten Teilstromes von ca. 3,6 Prozent des Rohwassers erfolgte bisher über eine Einloch-Dosierlanze in die Reinwasserleitung (DN 1000). Etwa 1,9 Meter dahinter wurde Kalkwasser über eine Grob- und Feindosierung (95 Prozent und 5 Prozent) über zwei Einloch-Dosierlanzen dem Rohwasser zugeführt. Beide Zugaben waren kurz vor bzw. im Krümmbereich der Reinwasserleitung angeordnet. Nach dem Krümmer sollte ein statischer Mischer für die gleichmäßige Verteilung der Chemikalien sorgen. Auf Grund der schlechten Einmischung der Chemikalien und des kurzen Abstandes zwischen den Dosierstellen kam es zum Kontakt beider Chemikalien bei noch recht hohen Konzentrationen, zur Karbonatausfällung und damit zum Zusetzen der Reinwasserleitung. Da die Leitung aus einem GfK-Material bestand, konnte zur Reinigung keine Hochdrucktechnik bzw. Hochdrucktechnik mit reduziertem Druck eingesetzt werden. Um zukünftig den hohen Aufwand zur Reinigung der Reinwasserleitung zu vermeiden, wurde als Voraussetzung für die geplante Großreparatur das Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der TU Dresden (DWD) mit der Untersuchung und Optimierung der Chemikalieneinmischung beauftragt.

## Prozessanalyse

Der Gesetzgeber verpflichtet die Betreiber von Wasserversorgungsanlagen zur Ein-

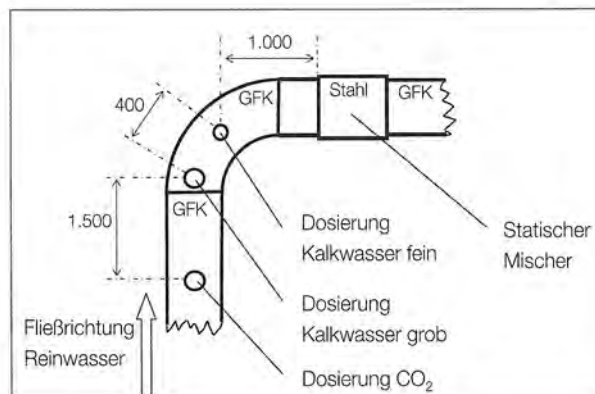


Abb. 1: Schematische Darstellung der bisherigen Dosierstellen

Quelle: Trinkwasserversorgung Elbaue-Ostharz

haltung von bestimmten Grenzwerten (pH-Wert,  $\text{KS}_{4,3}$ -Wert, Sättigungsindex etc.) im Trinkwasser. Gemäß den Bestimmungen der Trinkwasserverordnung soll es nicht kalzitlösend sein, da sonst Werkstoffe, die kalkhaltig sind (z. B. Beton), angegriffen werden können und auch die Schutzschichtbildung auf metallischen Oberflächen verhindert wird.

Im Wasserwerk Wienrode (WW Wienrode) wird zur Einstellung der Kalzitsättigung und Aufhärtung des Rohwassers  $\text{CO}_2$ -haltiges Wasser und Kalkwasser über Dosierlanzen in die Reinwasserleitung eingeleitet. Durch

Kalkwasser wird die Korrosivität der gelösten Kohlensäure durch Umwandlung in Bikarbonat neutralisiert (Wasseraufhärtung).

Durch die hydraulisch ungünstige Anordnung der Dosierstellen für Kalkwasser und  $\text{CO}_2$ -haltiges Wasser (Abb. 1) kam es verstärkt zur Abscheidung von Kalkstein an der Rohrwand des glasfaserverstärkten Kunststoffrohres (GfK-Rohr, DN 1000). Infolge der Verringerung des Fließquerschnittes mussten an den druckempfindlichen GfK-Rohren in etwa 2-jährigen Zeitintervallen Hochdruck-Reinigungsarbeiten durch-



Abb. 2: Kalksteinbildung im Reinwasserrohr; links: Blick entgegen der Fließrichtung auf den statischen Mischer, rechts: Blick in Fließrichtung auf die Dosierlanze zur  $\text{CO}_2$ -Zugabe

Quelle: Trinkwasserversorgung Elbaue-Ostharz

geführt werden, durch die das Rohr langfristig geschädigt wurde.

Der Durchfluss durch die Reinwasserleitung einer Baustufe beträgt im Mittel 2.500 m<sup>3</sup>/h (1.500-4.400 m<sup>3</sup>/h). Die alten Dosierlanzen hatten einen Durchmesser von 150 Millimeter für CO<sub>2</sub> und 100 Millimeter bzw. 50 Millimeter für Kalkwasser. Die Kalkwasser-Dosierlanzen waren am Lanzenende um 90 Grad entgegen der Strömungsrichtung gebogen. Die massive Kalksteinbildung führte dazu, dass beginnend an der Kalkdosierlanze die gesamte Rohrleitung zugesetzt wurde (Abb. 2).

### Physikalischer Modellversuch

Das geometrisch ähnliche Modell des zu untersuchenden Teils der Reinwasserleitung wurde im Hubert-Engels-Labor der Technischen Universität Dresden aufgebaut (Abb. 3). Das Modell der Reinwasserleitung bestand aus Plexiglas (DN 200) mit einem Innendurchmesser von 192 Millimeter. Das entspricht bei einem Innendurchmesser des Originals von 980,4 Millimeter ( $d_A = 1026$  mm,  $s = 22,8$  mm) einem geometrischen Maßstab von 5,1. Die Zugabe des Wassers im Hauptstrom ( $Q_{\text{Haupt}}$ ) erfolgte über eine frequenzgesteuerte Pumpe mit einer Durchflusskontrolle über einen induktiven Durchflussmesser. Die Zugabe der Farb- bzw. Salztracer war über Vorratsbehälter möglich. Die Einstellung und Kontrolle der Teilströme wurde durch eine separate Durchflussmessung der Teilströme mit einer Ultraschall-Laufzeitmessung (Clamp-On-Verfahren) realisiert. Die hydraulischen Größen wurden nach dem maximal möglichen Teildurchfluss der Dosierstellen unter Einhaltung ihrer mengenproportionalen Anteile festgelegt, um einen möglichst turbulenten Zustand mit hoher Re-Zahl im Modell zu erreichen. Die Reynoldszahlen der Reinwasserleitung in der Natur lagen im Mittel bei  $6 \cdot 10^5$  und im Modell wurden Reynoldszahlen von  $10^5$  erreicht, was für den Vermischungsprozess hochturbulent und ausreichend ähnlich war.

Die Vermischung (Konzentration) wurde visuell beobachtet und aufgezeichnet (Video) bzw. durch Widerstandsmessungen an 16 ringförmig angeordneten Messstellen und an zwei Querschnitten nach der Einmischung gleichzeitig erfasst. Mit dieser Methode konnten auch turbulente Schwankungen ermittelt werden. Jede der 16 Messstellen bestand aus 2 Elektroden. Ein 20-kHz-Frequenzgenerator speiste die Elektroden mit Wechselfspannung, um galvanische Prozesse zu minimieren. Je nach Leitfähigkeit an den Messstellen stellen

sich unterschiedliche elektrische Spannungen ein, die mit einer Abtastrate von 2.000 Hertz gemessen und mit dem Laborprogramm LabVIEW ausgewertet wurden (Abb. 4).

Als Ausgangslösung für die Widerstandsmessung diente eine geeichte Natriumchlorid-Lösung (NaCl-Lösung) mit einer Leitfähigkeit (LF) von 30 mS/cm, die direkt (unverdünnt) mittels einer Tauchpumpe durch die Dosierlanzen als Teilstrom eingespritzt wurde. Dadurch konnten Aussagen zum Einmischverhältnis an den jeweiligen Messstellen gemacht werden.

### Numerisches Modell

Das numerische Modell eines Abschnittes der Reinwasserleitung wurde in Originalgröße nachgebildet. Neben dem Ist-Zustand wurden 33 Varianten mit unterschiedlichsten Anordnungen und Konstruktionen der Chemikalieneinspeisung sowie Mischelementen aufgebaut und untersucht. Dazu zählten u. a. perforierte Lanzen, Prallteller, gelochte Ringblenden, Spiralelemente und ovale Blenden. Anregungen für die Auswahl der Elemente lieferten [2] und [3] sowie die hydraulischen Grundprinzipien der turbulenten Vermischung. Eine detaillierte Übersicht aller Varianten enthält der Forschungsbericht [1]. Die Simulation erfolgte mit dem dreidimensionalen CFD-Programm ANSYS-CFX11, das u. a. die turbulente Vermischung unterschiedlichster Stoffe simulieren kann. Die Vernetzung wurde insbesondere im Bereich der Dosierung und danach feiner gestaltet. Die



Abb. 3: Teilansicht des Modells im Hubert-Engels-Labor mit Dosierungen

Quelle: JWD TU-Dresden

Anzahl der Elemente lag in Abhängigkeit von der Modellgröße zwischen 1 und 1,2 Millionen. Als Randbedingungen wurden glatte Rohrwände, die Zuläufe als Massenvolumenstrom entsprechend der prozentualen Aufteilung und der Auslauf als gemittelter Druck angesetzt. Zur Berechnung wurde ein k-ε-Turbulenzmodell verwendet. Die Variantenuntersuchungen erfolgten in der Regel stationär. Ausgewählte Varianten wurden instationär gerechnet. Die drei Fluide Wasser, CO<sub>2</sub>-Wasser und Kalkwasser wurden als unterschiedliche Stoffe, aber mit gleicher Dichte definiert.

### Zielstellung

Als Vergleichskriterium für den iterativen Prozess der Modelluntersuchungen diente eine zulässige Grenzkonzentration. Sie sollte maximal doppelt so groß sein wie die mittlere Volumenkonzentration der Zuga-

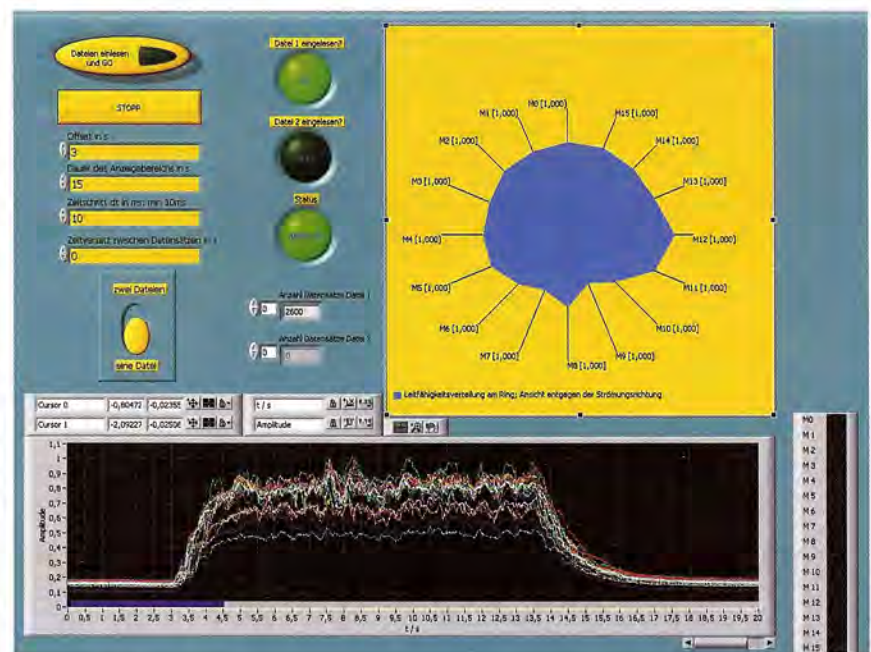
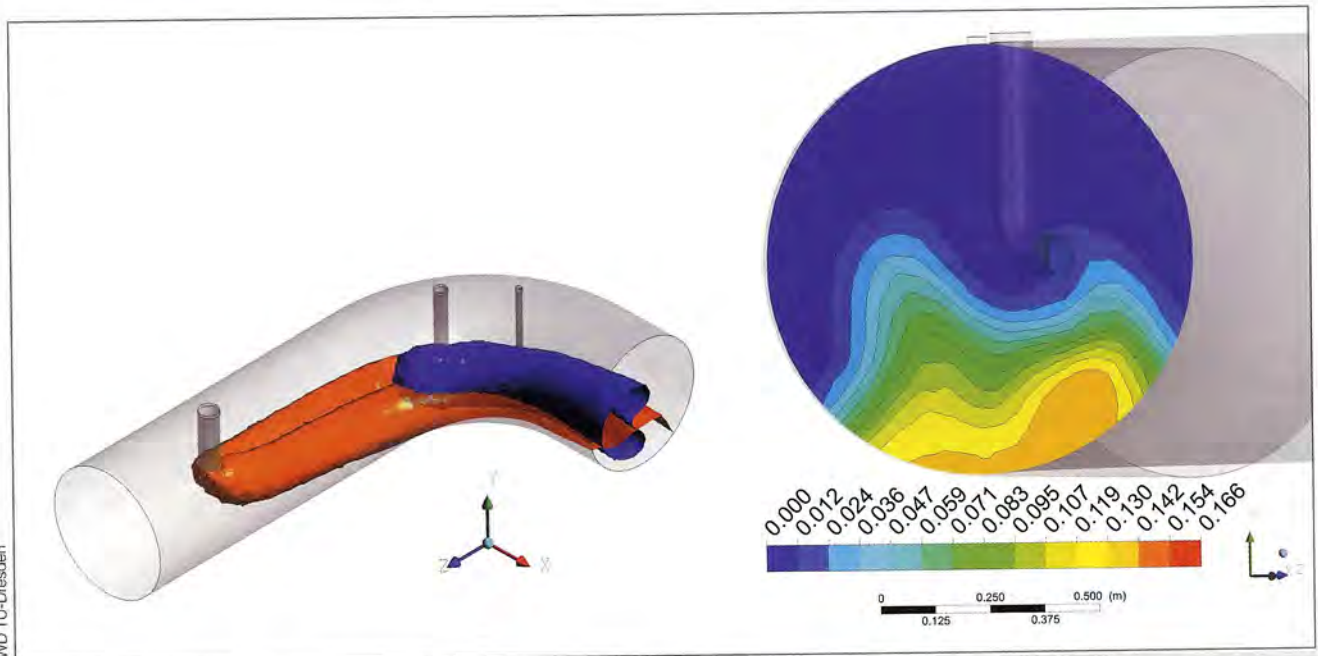


Abb. 4: Auswertung der Widerstandsmessungen mittels LabVIEW im Hubert-Engels-Labor

Quelle: JWD TU-Dresden



Quelle: JWD TU-Dresden

Abb. 5: Ist-Zustand; links: Hüllvolumen CO<sub>2</sub> (orange) und Kalk (blau), rechts: Konturbild der CO<sub>2</sub>-Konzentration vor der Kalkzugabe

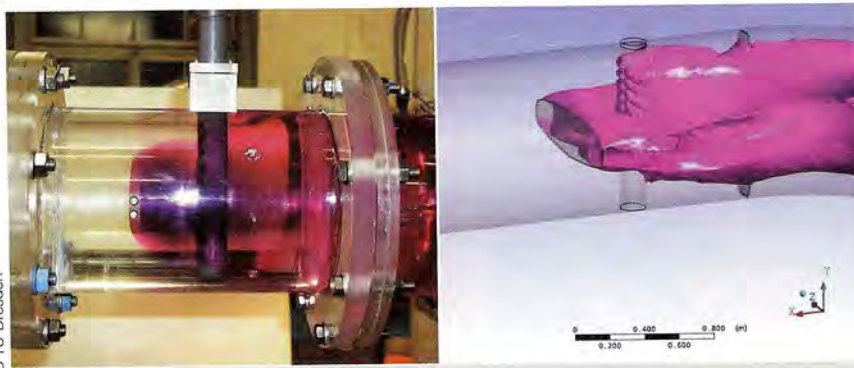
bestoffe. Die Überschreitung dieser Konzentration sollte z. B. an der Kalkwasserzugabe für das CO<sub>2</sub>-Wasser bzw. für beide Chemikalien an der Wandung der Rohrleitung vermieden werden. Ein weiteres Kriterium war die Einhaltung eines maximal zulässigen Strömungsverlustes. Für den reibungslosen Betrieb des Wasser-

werkes bestand die Forderung, die Druckverluste in der Reinwasserleitung insgesamt unter 3,5 Meter Wassersäule (WS) einzuhalten. Für eine einfache Wartung und Reinigung der Leitung wurde außerdem eine einfache Bauweise mit wenigen Einbauten gesucht und es bestand die Forderung, nach der Kalkwasserzugabe

keine weiteren Einbauten und Mischelemente vorzusehen.

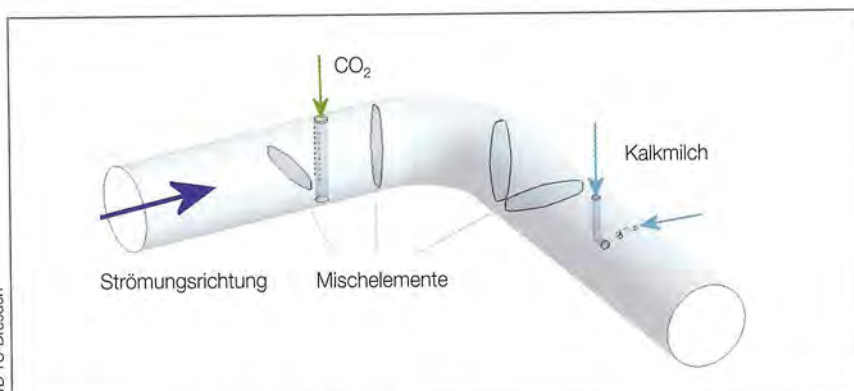
### Ergebnisse

Die Analyse des Ist-Zustandes zeigte deutliche Überschreitungen der geforderten Grenzwerte. Dieses Aufeinandertreffen der Chemikalien in relativ hohen Konzentrationen führte folglich zur Ausscheidung von unlöslichem Kalziumkarbonat (Abb. 5). Ähnliche Konzentrationsverteilungen wurden im physikalischen Modell ermittelt. Die Vergleiche einzelner Varianten im physikalischen Modell und im numerischen Modell ergaben gute Übereinstimmungen, wie die in Abbildung 6 dargestellte Vorzugsvariante mit ovaler, horizontaler Blende vor einem gelochten, senkrechten Dosierrohr und anschließender senkrechter Blende zeigt. Eine ähnliche Untersuchung an der Fachhochschule Köln [2] zur Verbesserung der Vermischung bei der Natronlaugedosierung lieferte die Anregungen für diese Varianten.



Quelle: JWD TU-Dresden

Abb. 6: Sogeffekt der ovalen Blende vor CO<sub>2</sub>-Zugabe mit gelochtem Rohr; links: physikalisches Modell, rechts: numerisches Modell



Quelle: JWD TU-Dresden

Abb. 7: Neue Variante der Chemikalienzugabe im WW Wienrode (Variante O 6 m)

Als besonders günstig hinsichtlich der Vermischung erwiesen sich Varianten, bei denen vor der Kalkmilchzugabe ein Spiralmischer vorgesehen wurde. Sie erfüllten allerdings nicht alle Forderungen des Auftraggebers. Nachteilig waren ein größerer Verlustbeiwert und eine bedeutend längere Mischstrecke.

Als Vorzugsvariante für das Wasserwerk Wienrode wurde eine Kombination aus gelochtem Zugaberohr für die CO<sub>2</sub>-Dosierung vor dem Rohrkrümmer und in Strömungsrichtung abgewinkelten Do-

sierlanzen für die grobe und feine Kalkwasserzugabe nach dem Rohrkrümmer sowie die vor und zwischen den Dosierungen angeordneten ovalen Mischelemente ausgewählt und realisiert (Abb. 7). Bei der realisierten Variante O6m werden die geforderten Grenzkonzentrationen bei geringen Strömungsverlusten eingehalten ( $H_{\text{Verluste}} = 1,136\text{m}$  bei  $4400\text{ m}^3/\text{s}$ ). Sowohl die Erstellung der Ausführungsplanung als auch die Realisierung der technologischen Umbaumaßnahmen erfolgte bei laufendem Wasserwerksbetrieb in Eigenleistung durch den Unternehmensbereich Technische Dienste der Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz GmbH.



Abb. 8: Neue Kalkdosierung; links: 2. Baustufe kurz nach dem Einbau, rechts: 1. Baustufe (parallele Reinwasserleitung) bei Begehung am 9. Februar 2010

Quelle: Trinkwasserversorgung Elbaue-Ostharz

### Schlussfolgerungen

Der Umbau der Chemikaliengabe erfolgte im Jahr 2008, für die 2. Baustufe Anfang Oktober und für die 1. Baustufe Anfang November 2008. Die alten GfK-Rohre wurden durch Edelstahlrohre 1.4571 ersetzt. Aus gleichem Material bestanden die Einbauten für die Dosierung und die Vermischung. Entsprechend den Vorgaben aus den Modelluntersuchungen der TU Dresden [1] wurden die Dosierungen und die Mischelemente in die Reinwasserleitung eingebaut. Nach zweijähriger Betriebsdauer zeigten sich bei einer Begehung im Februar 2010 im Bereich der Dosierstellen keinerlei Verkrustungen. Erst in einer gewissen Entfernung von der Kalkdosierung bildete sich eine dünne, über den Rohrfumfang gleichmäßig verteilte Inkrustationsschicht an der Innenwand der Reinwasserleitung aus. Die Überprüfung der Druckverluste im Betrieb bei der Abnahme der neuen Leitungen zeigte deutlich geringere Werte als gefordert (Abb. 8).

Die Optimierung der Chemikalieneinmischung im WW Wienrode hat gezeigt,

dass mit Hilfe einer numerischen Modellierung gekoppelt mit einem physikalischen Modellversuch bei geringem Aufwand sehr gute Ergebnisse erzielt werden können. Spezielle örtliche Bedingungen, wie die Chemikalieneinmischung im Krümmbereich der Rohrleitung, konnten hier individuell beachtet werden. Vorteil dieser hybriden Methode ist die Untersuchung und Optimierung der konkreten, speziellen Anlage unter realen Bedingungen mit relativ geringem Aufwand. Die Ergebnisse lagen über den Erwartungen des Betreibers und erlauben optimistische Vorhersagen bezüglich der Verbesserung des Betriebs der Anlage nicht nur hinsichtlich einer genaueren Dosierung, sondern auch einer Verringerung der Betriebskosten.

#### Quellen:

- [1] Aigner, D., Mathias, A.: Chemikalieneinmischung WW Wienrode – numerische und physikalische Modelluntersuchungen, Forschungsbericht 2007/07, TU Dresden, Institut für Wasserbau und THM, Dresden 2007.
- [2] Heinemann, E., Liebrecht, K: Verbesserung der Vermischung bei der Natronlagedosierung. GWF Wasser Abwasser 142 (2001), Nr. 3, S. 222-228.

[3] Scheer, C.: Grundmechanismen statischer Mischsysteme – Einsatz in der Trinkwasseraufbereitung, Potenzial zur Betriebskostensenkung und Prozessstabilisierung. Vortrag STATIFLO GmbH Gummersbach, 2007.

#### Autoren:

apl. Prof. Dr.-Ing. Detlef Aigner  
 Dipl.-Ing. (FH) Andreas Mathias  
 TU Dresden  
 Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik  
 George-Bähr-Str. 1  
 01069 Dresden  
 Tel.: 0351 463-34725/- 34685  
 Fax: 0351 463-37124  
 E-Mail: detlef.aigner@tu-dresden.de  
 andreas.mathias@tu-dresden.de  
 Internet: www.iwd.tu-dresden.de

Dipl.-Ing. Jan Kunau  
 Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz GmbH  
 Naundorfer Str. 46  
 04860 Torgau  
 Tel.: 03421 757-348  
 Fax: 03421 757-280  
 E-Mail: jan.kunau@fwr-torgau.de  
 Internet: www.fwv-torgau.de



Ingenieure **Dr. Born-**  
**Dr. Ermel**



Wasser Abwasser Energie

**Dr. Born - Dr. Ermel GmbH**  
- Ingenieure -

www.born-ermel.de

Achim Aurich Frankfurt Freital München Potsdam Weimar