

Frachtrückhalt bei der Regenentlastung

# Dynamische Abschlagssteuerung

Dipl.-Ing. Mario SEIBERT; Dr.-Ing. Jörg STRUNKHEIDE; Dipl.-Ing. Wolfhard NEULAND

## Mischwassersystem: Rechnet sich der Einsatz dynamisch regulierender Mess- und Regeltechnik?

Unter dem Eindruck der sich verschärfenden Kostendiskussion wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens die Nachrüstung eines Mischwassersystems mit einer dynamisch regulierenden Mess- und Regeltechnik untersucht. Ziel war die Leistungssteigerung bestehender Bauwerke, als Praxisbeispiel bot sich eine Kommune in Nordrhein-Westfalen an. Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse dieses großtechnischen Versuchs vor dem Hintergrund geltender Umweltstandards dar und bietet einen Einblick in die begleitenden numerischen Simulationsergebnisse.

### Problemstellung

Im Mischsystem erfolgt die gemeinsame Ableitung von Schmutz- und Regenwasser zur Kläranlage. Bei einem Regenereignis steigen abhängig von der Gebietscharakteristik die abzuleitenden Wassermengen sprunghaft an. Um einen gleichmäßigen Zufluss zur Kläranlage zu erreichen, sind im Leitungsnetz Bauwerke angeordnet, die die bei einem Regenereignis anfallenden Wassermengen speichern und zeitlich verzögert zur Kläranlage ableiten. Da diese Bauwerke aus wirtschaftlichen Erwägungen nicht für jedes mögliche Regenereignis ausgelegt werden können, wird toleriert, dass über das zur Verfügung stehende Speichervolumen hinaus Wassermengen anfallen, die nicht zwischengespeichert werden können. Diese werden an zahlreichen Schnittstellen im Leitungsnetz in das Gewässer entlastet. In Einzugsgebieten mit geringem Fremdwasseranfall beschränkt sich diese stoßweise Belastung der Vorfluter auf wenige Stunden. In dem zu untersuchenden Einzugsgebiet stellt sich jedoch aufgrund eines erhöhten Fremdwasseranfalls ein Nachlaufzeitraum von mehreren Tagen ein, bei dem der Zulauf zum Becken über  $2 Q_s + Q_f$  liegt (Bild 1). Dieser schwach verdünnte Mischwasserzufluss wird am Trennbauwerk des untersuchten Regen-

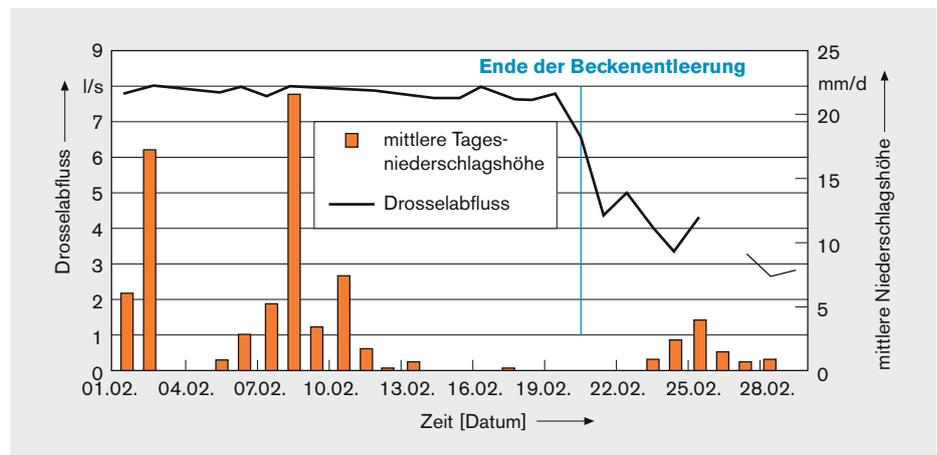

**DROSSELABFLUSS FEBRUAR 2002:**
**Nachlauf-beeinflusste Entleerungsverzögerung**

Bild 1

überleitungsbeckens (RÜB) (Fangbecken;  $V = \text{etwa } 240 \text{ m}^3$ ) abgeschlagen.

### Verfahrenstechnischer Lösungsansatz für das untersuchte RÜB

Für die Untersuchung wurden zwei grundsätzliche Betriebsweisen einander gegenübergestellt (Bild 2):

#### Normalbetrieb ohne Steuerstrategie

Das Becken wird wasserwirtschaftlich als Fangbecken im Nebenschluss betrieben. Der Normalbetrieb wird als Referenz zur Beurteilung des Wirkungsgrades der zu untersuchenden Entlastungsoptimierung herangezogen.

#### Betrieb mit Steuerstrategie

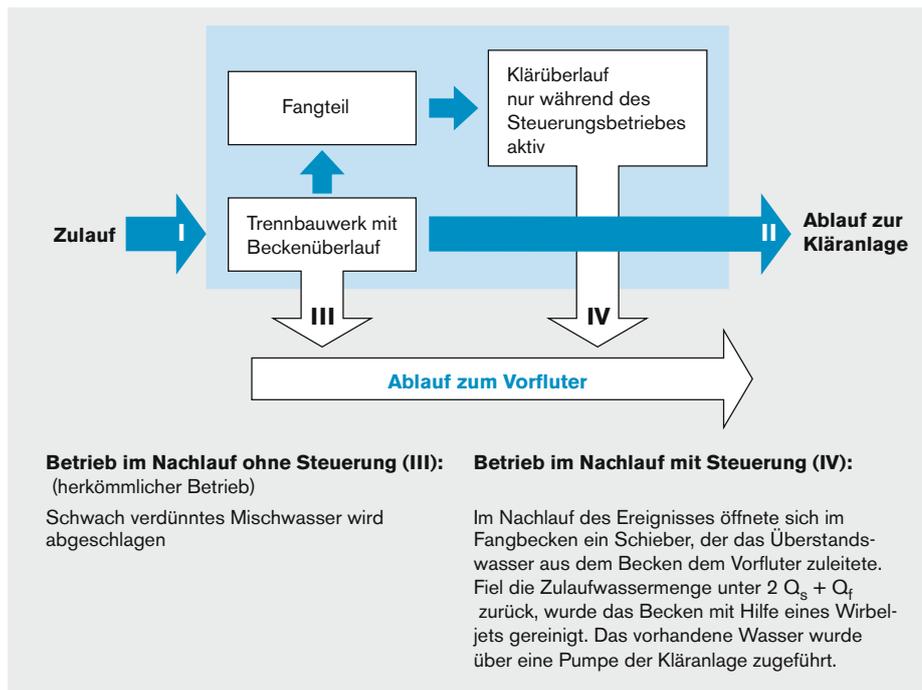
Durch die Implementierung einer alternativen Entlastungsschwelle (Klärüberlauf), welche gezielt (de-) aktiviert werden sollte, konnte ein vorhandenes Fangbecken im Nachlauf eines Regenereignisses (vierte Phase eines Regenereignisses) auf der Basis unterschiedlicher stofflicher und/oder hydraulischer Steuerungsstrategien verfahrenstechnisch als Durchlaufbecken betrieben (Bild 2) werden (Entlastungsoptimierung).

Beiden Betriebszuständen gemeinsam war der Betrieb als Fangbecken im Nebenschluss. Hierbei wurde, wie bei Fangbecken üblich, der Fangteil der Regenentlastungsanlage mit dem Spülstoß gefüllt und der übrige zufließende Volumenstrom in das Gewässer abgeschlagen. Maßgebliche Belastungsgrößen in diesem Betriebszustand waren Frachtsummenlinie bzw. relativer Mischwasservolumenstrom.

#### Betrieb des Beckens mit Steuerstrategien

Auf der Grundlage der Erfassung des IST-Zustands wurden mögliche Steuerstrategien zur dynamischen Entlastungsoptimierung entwickelt. Ein wesentliches Merkmal war dabei die Festlegung der Regelgrößen auf der Basis hergebrachter sowie aktuell diskutierter Beurteilungskriterien, wie etwa dem Summenparameter CSB oder den immissionsorientierten Empfehlungen des BWK-Merkblatts 3.

Die entworfenen Steuerstrategien anhand hydraulischer (volumetrische Steuerstrategie) und/oder stofflicher Stellparameter (kombinierter Steuerungsansatz bzw. konzentrationsabhängige Steuerung) wurden im Praxisbetrieb ein-



## MODIFIZIERTER ZUSTAND:

### Zu- und Abläufe des Fangbeckens

Bild 2

gesetzt und vergleichend gegenübergestellt. Dabei stellte sich der Zeitabschnitt zwischen der Aktivierung des Klärüberlaufs und dem hydraulischen Gleichgewichtszustand aus Abfluss und Zuflussvolumenstrom im Verlauf eines Abschlagsereignisses als die kritische Phase im Abflussverhalten des Beckens heraus, da sich hier eine unkontrollierbare hydraulische und stoffliche Belastungsspitze ergibt. Die Dauer dieses Übergangszeitraums wies unabhängig von der gewählten Steuerungsvariante wechselnde zeitliche Ausprägungen auf, die aufgrund unterschiedlicher Einflussfaktoren nicht prognostizierbar waren.

### Variante 1: Volumetrische Steuerstrategie

#### Umsetzung im Praxisbetrieb

Die volumetrische Steuerungsstrategie orientiert sich an dem charakteristischen Verlauf der Abflusshöhe im Zulauf. Dieser entsprach der aus der Hydrologie bekannten Niederschlagsabflusskurve mit einem schnellen Anstieg des Zuflusses bis zum Maximum und einem relativ dazu flach abfallenden Zuflussvolumenstrom bis zum normalen Trockenwetterzufluss. Voraussetzung für die Aktivierung des Klärüberlaufs war das Durchschreiten von  $Q_{Zu} = 74$  oder  $41$  l/s in der Nachlaufphase eines N-A-Prozesses (entspricht 1 bzw. 2 h Aufenthaltszeit), d.h. diese hydraulischen Steuerungsparameter mussten aus Richtung eines Maximums durchlaufen werden ( $Q_{Zu-1} > Q_{Zu} > Q_{Zu+1}$ ).

### Ergebnis

Die Auswertung der Messdaten aus den volumetrisch gesteuerten Ereignissen ergab einen erhöhten Schmutzfrachtrückhalt am Klärüberlauf im Vergleich zu den theoretisch ermittelten Frachtverläufen am Beckenüberlauf ohne dynamische Steuerungsstrategie (Referenzzustand). Über die auswertbaren Ereignisse wurde durchschnittlich ein Rückhalt der partikulären Schmutzfracht von etwa 38 % gegenüber dem simulierten Abschlag am Beckenüberlauf erzielt. Die Differenz zwischen Becken- und Klärüberlauf betrug je nach Entladungsdauer der 5 Ereignisse zwischen 12,2 und 280,96 kg TS. Damit würde unter Anwendung einer rein volumetrisch bedingten Steuerung ein einfaches Instrument zur dynamischen Entlastungsoptimierung vorliegen. Als problematisch erwies sich bei dieser Steuerungsvariante jedoch, dass im Übergangszeitraum und darüber hinaus (Nachlaufzeitraum) aufgrund fehlender Konzentrationsregelgrößen Frachten in das Gewässer abgeschlagen werden können, die schwer kontrollierbar sind. Aus diesem Grund wurde in der Projektphase die nachfolgend beschriebene konzentrationsabhängige Steuerung im Praxisbetrieb erprobt.

### Variante 2: Konzentrationsabhängige Steuerstrategie

#### Umsetzung im Praxisbetrieb

Grundvoraussetzung für die Aktivierung der Steuerung war wie bei allen

Steuerungsvarianten die einstündige Aufenthaltszeit im Becken. Nach der Aktivierung erfolgte im Unterschied zum kombinierten Ansatz (s. u.) eine Prüfung der Aufrechterhaltung des Steuerungsbetriebes ausschließlich anhand des Konzentrationsvergleichs an Messstelle III (Bü) bzw. Messstelle IV (Kü).

Die Deaktivierung des Klärüberlaufs erfolgte bei Änderung des Konzentrationsverhältnisses ( $C_{Bü} < C_{Kü}$ ) für  $\Delta t > 3$  Minuten (entspricht einem Probenahmeintervall der Messsonden).

### Ergebnis

Bedingt durch mess- und betriebstechnische Fehlfunktionen konnte für die konzentrationsabhängige Steuerung nur ein Entlastungsereignis ausgewertet werden. Die Beeinflussung des Entlastungsereignisses ergab einen erhöhten Schmutzfrachtaustrag aus dem Becken. Da keine zusätzlichen auswertbaren Entlastungsereignisse aufgezeichnet werden konnten, kann nicht mit Bestimmtheit gesagt werden, ob dieses Ergebnis typisch für die konzentrationsabhängige Steuerung ist.

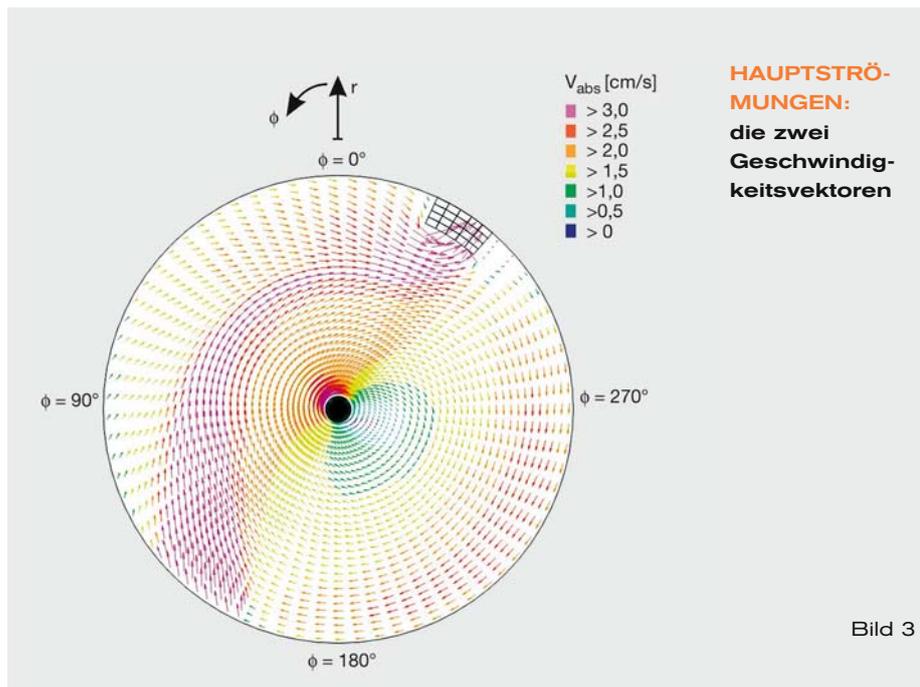
### Variante 3: Kombiniertes Steuerungsansatz

#### Umsetzung im Praxisbetrieb

Nach der Aktivierung erfolgte eine Prüfung der Aufrechterhaltung des Steuerungsbetriebes anhand des Konzentrationsvergleichs an Messstelle III (Bü) bzw. Messstelle IV (Kü) in Kombination mit der Aufenthaltszeit. Die Deaktivierung des Klärüberlaufs erfolgte bei Änderung des Konzentrationsverhältnisses ( $C_{Bü} < C_{Kü}$ ) für  $\Delta t > 3$  Minuten (entspricht einem Probenahmeintervall der Messsonden), dem Ansteigen des Zulaufvolumenstroms über den Steuerungsgrenzwert infolge eines Überlagerungsereignisses.

### Ergebnis

Zur Kompensation der Nachteile beider Steuerstrategien, wurde als letzte Steuerungsvariante eine Kombination aus beiden Strategien im Praxisbetrieb erprobt. Durch die stoffliche Aktivierungs- bzw. Deaktivierungsbedingung der kombinierten Steuerungsstrategie, konnte im Gegensatz zur rein volumetrischen Steuerung gezielter in das Abschlagsverhalten und somit den Stoffaustrag in das Gewässer eingegriffen werden. Dennoch konnte nur in zwei von vier der auswertbaren Ereignisse ein erhöhter Schmutzfrachtrückhalt durch die dynamische Steuerungsstrategie erzielt werden.



Die Ergebnisse des kombinierten Steuerungsbetriebes wurden den theoretischen Ergebnissen des volumetrischen Regelkonzeptes gegenübergestellt. Die Frachtsummen der Ereignisse zeigten, dass bei allen auswertbaren Entlastungsereignissen der zusätzliche stoffliche Stellparameter der kombinatorischen Steuerung gegenüber der rein volumetrischen Regelung einen Vorteil darstellt. Eine mögliche Erklärung ist die konstruktive Anordnung des Klärüberlaufs (160 mm) unterhalb der Unterkante des Beckenüberlaufs. Hier wird künstlich ein Pufferspeicher geschaffen, der bei einer Deaktivierung des Klärüberlaufs zunächst wieder gefüllt werden muss. Diese „Abschlagspausen“ führen dazu, dass in der Summation gegenüber dem durchlaufenden Frachtanstieg einer volumetrischen Steuerung vermeintlich

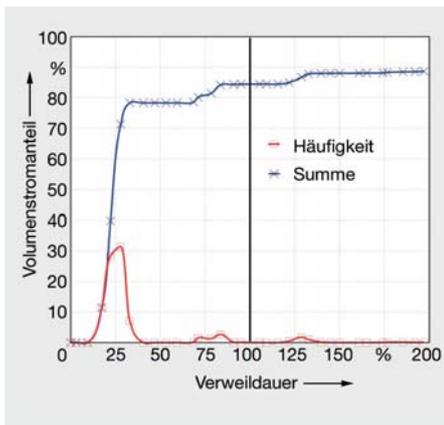
ein Vorteil liegt. Nachteilig an einer Steuerungsstrategie auf stofflicher Basis ist, dass durch die anfällige Messtechnik ein enorm erhöhter Wartungsaufwand entsteht. Zur Erfassung der akuten stofflichen Belastung für die Realisierung eines erweiterten Steuerungskonzeptes auf stofflicher Basis ist eine wesentlich robustere Messtechnik erforderlich.

### Ergebnisse der begleitenden numerischen Simulation

Eine Systemidentifikation über ein mathematisch-numerisches Modell dient der Verallgemeinerung der Ergebnisse und lässt Vorhersagen der Systemreaktion bei Änderung der Randbedingungen zu. Die dreidimensionale einphasige Strömung im Regenbecken wird durch die instationäre Navier-Stokes-Glei-

chung in Verbindung mit der Kontinuitätsgleichung mathematisch vollständig beschrieben. Die praktische Lösung dieses Differentialgleichungssystems erfolgt über numerische Verfahren, die in den Programmsystemen FLUENT und CHAMPION3D implementiert sind und die für diese Untersuchung eingesetzt werden. Wegen der relativ geringen Feststoffkonzentration in Mischwasserkanälen können Strömung und Feststofftransport entkoppelt berechnet werden. Die räumliche Bewegung und das Absetzverhalten der Sedimentpartikel werden unter Berücksichtigung des Geschwindigkeitsfeldes und der Sinkgeschwindigkeit, die je nach Korngröße und -dichte variiert, beschrieben. Die Klassifizierung der Partikel nach Größe und Massenanteil erfolgt über Korngrößenanalysen von Mischwasserproben und führt zu einer Einteilung in mehrere Partikelfractionen mit jeweils einer Sinkgeschwindigkeit.

Für den quasistationären Zustand als Durchlaufbecken mit konstantem Wasserspiegel und geöffnetem Klärüberlauf wurden die Modelle Planungs- und Ist-Zustand und drei weitere Varianten mit Änderungen von Art und Ort des Ein- bzw. Auslaufs simuliert. Für den Ist-Zustand liefern die Messungen bei einem achtstündigen fast stationären Entlastungsereignis mit einem Mittelwert von  $Q = 66 \text{ l/s}$  am Klärüberlauf einen Stoffrückhalt von 55 % der zufließenden partikulären Stoffe. Die bei der Simulation für zwei verschiedene Partikelfractionierungen berechneten Rückhaltewerte sind 36 % und 50 %. Der direkte Vergleich setzt allerdings voraus, dass die Sinkgeschwindigkeitscharakteristiken bei den Messungen und den Rechnungen identisch sind. Dieser Nachweis ist in der Praxis kaum durchführbar. Für vergleichende Untersuchungen von Va-



**VERWEILZEITKURVE:** Bild 4  
die theoretische Verweilzeit beträgt 2630 s

rianten werden nur relative Aussagen benötigt, die mit Charakteristiken gewonnen werden können, die eine näherungsweise Verteilung der Sinkgeschwindigkeit wiedergeben. Erkennbar bei den Vektorfeldern aller Modelle sind zwei Hauptströmungen, erstens der direkte Weg vom Eingang zum Ausgang als Kurzschlussströmung

und zweitens die rotierende Beckenströmung (Bild 3).

Die Auswertungen erfolgen für das Absetz- und Verweilzeitverhalten in Form des Stoffrückhalts, der Tabelle und der Verweilzeitverteilung (Bild 4).

Eine Reduzierung der Kurzschlussströmung geht einher mit einer Verbesserung der Sedimentationsleistung und wird durch die Anordnung einer Tauchwand am Eintritt (Variante 1) oder einer Verlegung des Ablaufs in den 4. Quadranten (Variante 2) oder einer Kombination der zwei Varianten (Variante 3) erreicht.

Die Variante 3 liefert für die beiden Charakteristiken Nr. 1 und Nr. 2 den besten Stoffrückhalt.

### Fazit

Vor der generellen Umsetzung dieser Steuerstrategie besteht noch weiterer Untersuchungsbedarf. So sollte u.a. untersucht werden, ob unter Ausschluss der oben angeführten systemtechnischen Interpretationsspielräume tatsächlich ein Vorteil der stofflichen Steuerungsvariante vorliegt.

Rückhalt der partikulären Stoffe, in Prozent					
Modell	Plan-Zustand	Ist-Zustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Nr. 1	37	36	37	40	45
Nr. 2	49	50	50	54	60

Dies könnte durch eine gezielte Abschaltung des Beckenüberlaufs mit Hilfe einer beweglichen Wehrschwelle erfolgen. Gleichzeitig könnte man durch diese Wehrschwelle das Problem des beherrschbaren Übergangszeitraumes, der das Ergebnis aller Steuerungsstrategien letztlich positiv oder negativ entscheidet, eingrenzen.

Ferner könnte zur Abschätzung der Kostenreduktion durch das Verfahren der dynamischen Entlastungsoptimierung eine vergleichende Betrachtung des dynamisch optimierten Fangbeckens mit einem Standarddurchlaufbecken gleicher Effektivität erfolgen.

Dies könnte im Rahmen einer numerischen Simulation erfolgen. Wenn dieser Vergleich dazu führen würde, dass herkömmliche Bemessungsansätze für Standardbecken der Mischwasserbehandlung überdacht und künftig vielleicht mit geringerem Beckenvolumen ausgeführt werden könnten, bestände darin das Kosteneinsparpotenzial dieser Regelungstechnik.

### KONTAKT

**IWB Institut Wasser und Boden e.V.**  
Dr.-Ing. Jörg STRUNKHEIDE  
Ruhrallee 19 · 45525 Hattingen  
Tel.: 02324/594465 · Fax: 02324/594646  
E-Mail: IWB-mail@t-online.de  
www.iwb-bonn.de

## ATB Umwelttechnologien, Porta Westfalica:

# AQUAmax<sup>®</sup> feiert Jubiläum

Mit der Fertigstellung des 20 000. AQUAmax<sup>®</sup> feiert das ostwestfälische Unternehmen ATB Umwelttechnologien GmbH das Jubiläum eines der erfolgreichsten Kläranlagen-Systeme.

Erst sechs Jahre ist es her, dass ATB-Geschäftsführer Markus Baumann den großen Schritt wagte und die Kleinkläranlage AQUAmax<sup>®</sup>, eine Erfindung von ihm und seinem Vater, Dipl. Ing. Dagobert Baumann, in den deutschen Markt einführte. Durch die Anpassung des SBR-Verfahrens an die Bedürfnisse von Kleinkläranlagen-Betreibern war es nun endlich möglich, veraltete Kläranlagen ohne umfangreiche Erdarbeiten mit einem modernen System nachzurüsten. Endlich konnten neue Kleinkläranlagen ohne großen Aufwand installiert und in Betrieb genommen werden.

Was im Jahr 1999 für unglaubliches Aufsehen und große Skepsis in der Branche sorgte, ist heute europaweit ein etabliertes Produkt. Der unangefochtene Markt-



**JUBILÄUMS-AQUAMAX<sup>®</sup>:** Bild 1  
Im Juli dieses Jahres verließ das 20 000. Gerät das ATB-Werk.

führer in Deutschland ist aus dem Markt der Kläranlagen nicht mehr wegzudenken: Das vielfach ausgezeichnete und prämierte Kläranlagen-System AQUAmax<sup>®</sup> ist mittlerweile von vier bis zu 2000 Einwohnerwerten zu haben.

Allein im laufenden Jahr 2005 haben etwa 9000 AQUAmax<sup>®</sup>-Anlagen das Werk in Porta Westfalica verlassen und dem 50-Mit-

arbeiter-Unternehmen einen Jahresumsatz von rund 14 Mio. Euro beschert.

Nun feiert dieses Erfolgsprodukt Jubiläum: Der AQUAmax<sup>®</sup> mit der Seriennummer 20 000 hat die Produktion im Hause ATB im Juli dieses Jahres verlassen und wartet auf seinen neuen Besitzer.

Gleichzeitig wird Firmeninhaber Markus Baumann bereits zum zweiten Mal mit dem Unternehmerpreis „Entrepreneur des Jahres“ ausgezeichnet.

**MARKTFÜHRER AQUAMAX<sup>®</sup>:**  
Die Anpassung des SBR-Verfahrens an die Kleinkläranlagen-technik ist gelungen.

Bild 2



Fotos: ATB