

Dipl.-Ing. (FH) Thomas KESSELHEIM; Dipl.-Ing. (FH) Joachim HÖLLE

# Ein zentraler Schritt in Richtung energieautarke Kläranlage

Am Beispiel der Kläranlage Koblenz erfolgt die großtechnische Demonstration eines neuen Lösungsansatzes zur vollständigen Erschließung und Nutzung der abwasser- und klärschlammimmanenten Energiepotenziale in kommunalen Kläranlagen. Das Vorhaben wird im Rahmen des EU-Life-Programms gefördert (2010-2015).

Die über 2000 Jahre alte Stadt Koblenz liegt am Ausgang des Weltkulturerbes Oberes Mittelrheintal eingerahmt von den Mittelgebirgen Hunsrück Westerwald und Eifel und wird durchschnitten durch die beiden Flüsse Rhein und Mosel. Diese reizvolle Lage erhebt jedoch einen hohen Anspruch an die entwässerungstechnischen Anlagen, zumal auch Hochwässer der beiden Flüsse zu berücksichtigen sind. Die Stadtentwässerung Koblenz, Eigenbetrieb der Stadt Koblenz, nachfolgend kurz SEK genannt, besitzt langjährige Erfahrung mit Projekten im Bereich der kommunalen Abwasserreinigung. Allein für die Umsetzung des städtischen Abwasserbeseitigungskonzeptes wurden und werden von der SEK zahlreiche Neubauten und Sanierungsmaßnahmen an der Flächenkanalisation umgesetzt. Das Abwasser von über 100.000 Einwohnern und 25.000 Einwohnern einer Verbandsgemeinde sowie Gewerbe und Industrie wird in einem eigenen, großen Klärwerk gereinigt, welches durch ständige Modernisierungen und Erweiterungen zu den modernsten in Deutschland gehört. Dennoch sieht sich die SEK auch heute noch mit einer Reihe von Aufgabenstellungen konfrontiert, die im Hinblick auf einen auch zukünftig umweltverträglich und gleichzeitig wirtschaftlichen Anlagenbetrieb zu lösen sind.

## Erschließung der Energiepotenziale

Seit den DWA-Klärschlammtagen 2005 in Würzburg beschäftigt sich die Stadtentwässerung Koblenz mit der Thematik der energetischen Klärschlammverwertung. Die immer wieder angefachte Diskussion um Schadstoffgrenzwerte, die seinerzeit ungewisse Entwicklung der Düngemittel- und Klärschlammverordnung sowie die QM-Systeme des Handels, die immer mehr die Ausbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlich genutzten Flächen erschweren, haben die Überlegungen vertiefend angestoßen. Daneben wurden mit einer Pilotanlage zur Vergasung von Klärschlamm auf der Kläranlage in Balingen erstmalig Städte im 100.000-Einwohner-Bereich in die Lage

versetzt, auf ihrer Kläranlage den dort anfallenden Klärschlamm selbst energetisch zu verwerten.

Die SEK wird in ihrer Planung vom Ingenieurbüro Dr.-Ing. W. Götzelmann + Partner GmbH aus Stuttgart unterstützt. Gleichzeitig ist das Büro Partner in dem von der EU im Rahmen des Förderprogramms „LIFE+“ geförderten Projekts „SusTreat“.

Der Projekttitle „SusTreat“ entstammt aus der Überschrift „Use of Immanent Energy in Self-Sustaining Sludge Treatment – a central step towards self-sustaining sewage treatment plants“ und bedeutet übersetzt „Nutzung der im Abwasser und Klärschlamm enthaltenen Energieanteile in kommunalen Kläranlagen – ein zentraler Schritt in Richtung energieautarker Kläranlagen“.

## Zentrales Ziel

des geplanten Projekts ist die großtechnische Demonstration eines neuen Lösungsansatzes zur vollständigen Erschließung und Nutzung der abwasser- und klärschlammimmanenten Energiepotenziale in kommunalen Kläranlagen. Am Beispiel der Kläranlage Koblenz wird erstmals eine vollständig energieautarke Klärschlammbehandlung (Faulung, Trocknung und Vergasung) angestrebt. Die in einem Klärwerk anfallenden Klärschlamm-mengen sollen ohne zusätzlichen Energiebezug von externen Anbietern um etwa 85 % reduziert und darüber hinaus bei optimaler Auslegung des Systems zusätzliche Energie zur Versorgung der Betriebsanlagen bereitgestellt werden.

Dazu waren ursprünglich die Integration und der Demonstrationsbetrieb der folgenden Technologiemodule in der bei der SEK vorhandenen Klärwerkstechnologie geplant:

- Klärschlammvergasungsstufe für eine optimale energetische Ausbeute und zur Reduktion des Klärschlammes auf die anorganischen Bestandteile
- Nutzung der thermischen Energie aus dem Auslauf der Anlage durch eine Wärmepumpe – Reduzierung der thermischen Belastung des Vorfluters

- Erzeugung elektrischen Stroms durch Integration einer Turbine im Abwasserstrom
- Einbindung in ein Prozessleitsystem, das das Zusammenspiel der Module mit dem Ziel einer optimalen Energieausnutzung und Verteilung intelligent und selbstständig regelt
- Verbesserung der Faulgasausbeute durch optimierte Faulturmtechnologie (Senkung der Transmissionsverluste, geregelte Wärmezufuhr, optimaler oder Technik, Enzymeinsatz)
- Aufbau eines Phosphordepots mit deutlich verbesserten Rückgewinnungsvoraussetzungen
- Allgemeine Effizienzsteigerung und Energiesparmaßnahmen im Klärwerksbetrieb als Umsetzung der Ergebnisse einer Energieanalyse.

Das von der SEK und dem Ingenieurbüro Dr.-Ing. W. Götzelmann + Partner GmbH geplante Vorhaben verfolgt ein neuartiges Konzept zur Behebung der energetischen und stofflichen Defizite kommunaler Kläranlagen bei der Klärschlammbehandlung und -entsorgung. Dies soll erstmals mit einem integrierten Projekt demonstriert werden, wodurch bestimmte Umweltprobleme zukünftig maßgeblich eingeschränkt bzw. vermieden werden können. Hierzu gehören in erster Linie:

- die wachsende und immer schwieriger zu verwertende Klärschlamm-menge
- Vermeidung von Klärschlammexporten bzw. dessen Verwertung in der Landwirtschaft oder im Landbau
- der immense Energiebedarf kommunaler Kläranlagen, insbesondere im Rahmen der Klärschlammbehandlung und die daraus resultierende CO<sub>2</sub>-Belastung
- die aus dem Klärschlammtransport resultierenden Umweltbelastungen/Schadstoffemissionen sowie
- Sicherstellung der Verwertbarkeit der im Klärschlamm enthaltenen Phosphoresourcen (Verwertung anstatt Entsorgung).

## Hoher Energieverbrauch

Kommunale Kläranlagen verbrauchen sehr viel Energie. Allein in Deutschland existie-



Bild 1 Kläranlage Koblenz

ren mehr als 10.000 solcher Anlagen, die für fast 20 % des Stromverbrauchs aller kommunalen Einrichtungen verantwortlich sind. Die deutschen Kläranlagen benötigen fast 4.400 GWh Strom pro Jahr, was der Kapazität eines modernen Kohlekraftwerks entspricht und stoßen pro Jahr rund 3.000.000 t des Klimagases Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) aus. Im Zuge der Abwasserreinigung fällt auch Klärschlamm in nicht unerheblicher Menge an. In den vergangenen Jahren waren das noch ca. 2.000.000 t (Trockensubstanz) mit stark steigender Tendenz. Im gleichen Zuge geben sich für die konventionellen Entsorgungswege immer größere Einschränkungen, so dass die anfallenden Klärschlämme mittlerweile ein akutes Problem darstellen. Bis 2005 wurden große Mengen an Klärschlamm auf Deponien entsorgt. Danach gab es nur noch zwei Wege: entweder stoffliche oder thermische Verwertung des Klär-

schlamm. Die stoffliche Verwertung erfolgt dabei vor allem im Zuge der Ausbringung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Im Jahr 2003 wurde in Europa knapp 1/3 der Klärschlammmenge auf den Feldern ausgebracht. Ein wesentliches Argument für die landwirtschaftliche Verwertung ist die Nutzung des Phosphorgehaltes im Klärschlamm als Pflanzendünger. Viel Energie schlummert dabei insbesondere im Klärgas. Aus ihm können Klärgase gewonnen werden, die der Verstromung und Wärmeerzeugung in angeschlossenen Blockheizkraftwerken dienen. Allerdings ist auch die Verwertung des Klärschlammes bisher mit einer negativen Energiebilanz verbunden. So liegt der durchschnittliche Energiebedarf für die konventionelle thermische Trocknung für 1 t entwässerten Klärschlamm bei etwa 500 – 600 kWh an thermischer Energie zu-

züglich rund 50 kWh an elektrischer Energie, was bei der ausschließlichen Nutzung fossiler Energieträger einem Äquivalent von rund 140 bis 250 kg CO<sub>2</sub> entspricht.

### Optimierung der Energie und Stoffströme

Die zuvor aufgeführten Punkte verdeutlichen die Probleme, mit denen Kläranlagenbetreiber heute zu kämpfen haben und die gleichzeitig die Dringlichkeit der Optimierung von Energie und Stoffströmen in kommunalen Kläranlagen aufzeigen. Gerade die von der EU gesteckten Ziele, bis 2020:

- 20 % Energie einzusparen
  - das Treibhausgasaufkommen um 20 % zu reduzieren und
  - 20 % erneuerbare Energien am Gesamtverbrauch einzusetzen
- fordern auch die Kläranlagenbetreiber zum Handeln auf.

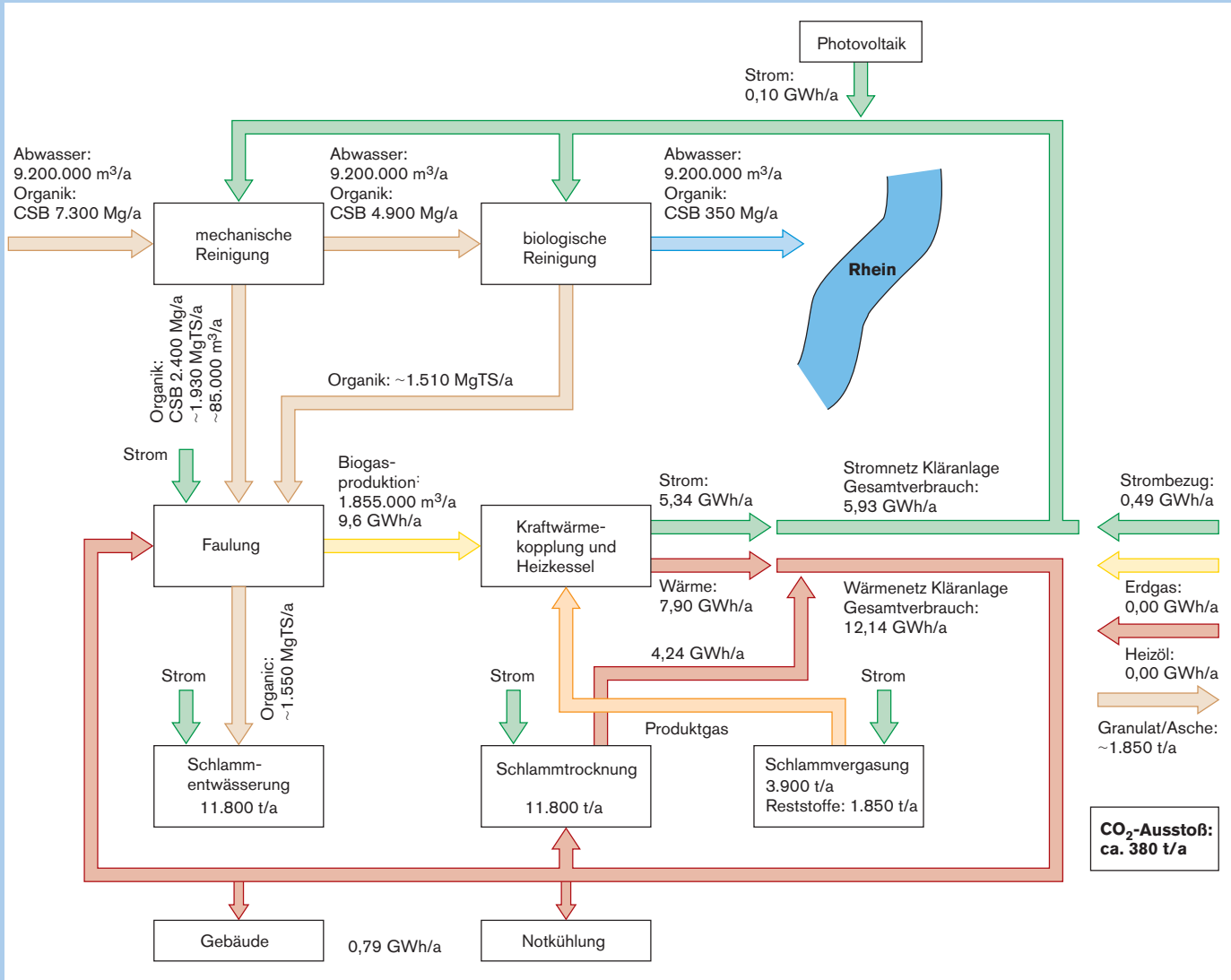


Bild 2 Energie- und Stoffströme auf der Kläranlage Koblenz

Vor diesem Hintergrund zielt das geplante Projekt auf eine deutliche bessere Ausnutzung der Energie und Stoffströmen in einer kommunalen Kläranlage ab und soll erstmals im großtechnischen Maßstab eine Gesamtlösung zur vollständigen Nutzung der im Abwasser und Klärschlamm enthaltenen Energieanteile realisieren. Der zentrale Innovationsanspruch liegt darin, innerhalb des Klärprozesses erstmals eine vollständige Energie autarke Klärschlammbehandlung zu realisieren (Bild 2).

Zentrales Element des Projekts der Stadtentwässerung Koblenz ist die Einführung einer Vergasungsstufe in die Klärschlammbehandlung, die eine sehr effiziente Technologie zur thermischen Klärschlamm Verwertung darstellt. Die prinzipielle Funktionsfähigkeit der Klärschlammvergasung wurde im kleintechnischen Maßstab auf der Kläranlage in

Balingen bereits nachgewiesen. Dabei wurde gezeigt, dass Klärschlamm durch geeignete Verfahren komplett vergast werden kann und das entstehende Gas zur Energieerzeugung in einem BHKW geeignet ist. Die verbleibende Schlacke bzw. Asche ist einfach zu deponieren und für die anschließende Phosphorrückgewinnung geeignet.

Zurück zum Projekt der Stadtentwässerung Koblenz. Der Gesamtstromverbrauch der Kläranlage Koblenz beträgt 4,6 GWh pro Jahr wobei 2,1 GWh pro Jahr an elektrischer Energie zugekauft werden müssen. Um den externen Strombezug weiter zu reduzieren reicht die Energieerzeugung aus der thermischen Klärschlammverwertung allein nicht aus.

Neben der energetischen und verfahrenstechnischen Optimierung der Verfahrensschritte auf dem Klärwerk müssen weitere Energiequellen erschlossen werden. Für die

energetische Optimierung hat das projektbegleitende Ingenieurbüro Dr. Götzelmann + Partner im Rahmen einer Energieeffizienzanalyse eine Bestandsaufnahme aller Aggregate vorgenommen und deren elektrische Effizienz bewertet. Es wurden so vergleichbare Kennzahlen zum Energieverbrauch ermittelt und allgemein gültigen Benchmarks gegenübergestellt. An energieerzeugenden bzw. -einsparenden Maßnahmen sind geplant:

- Wasserkraftnutzung über Turbine (+ 50.000 kWh<sub>el</sub>/a)
- Dämmung der Faultürme (+ 1.000.000 kWh<sub>th</sub>/a)
- Wärmenutzung aus dem Abwasserstrom über Wärmepumpe (+ 2.800.000 kWh<sub>th</sub>/a – 700.000 kWh<sub>el</sub>/a)
- sonstige Maßnahmen:
- Wieder-Inbetriebnahme der Hochlasttropfkörper
- Umrüstung der Belebung

■ Allgemeine Energiesparmaßnahmen entsprechend der Ergebnisse einer Energieanalyse.

### Aktueller Stand im Projekt

Im Zuge der Projektbearbeitung wurde das Trocknungsverfahren nochmals einer planerischen Überarbeitung unterzogen und den inzwischen weiterentwickelten Wärmerückgewinnungsmöglichkeiten angepasst, die eine entscheidende Verbesserung in der Gesamtwärmebilanz erbrachte. Nicht der spezifische Energieeinsatz je Tonne Wasserverdunstung, sondern die Minimierung der Differenz aus eingesetzter Trocknerenergie und rückgewonnener nutzbarer Abluftwärmeenergie wurde zum Maßstab der energieeffizientesten Trocknung festgelegt. Mit dieser neuen Betrachtung konnte eine Optimierung der Trocknerleistung in der kritischen Winterzeit erzielt werden. Auf die Bereitstellung von Wärmeenergie über eine Großwärmepumpe aus dem Abwasserstrom kann damit verzichtet werden.

Mit neuen BHKWs für Klärgas- und Synthesegasbetrieb, der Nutzung der Abwärme aus dem Kühlwasserkreislauf und der Abgasführung der BHKW, der Abwärmerückgewinnung durch Kondensation aus der Trocknerabluft soll das Wärmemanagement weiter optimiert werden. Darüber hinaus ist die Beheizung der Faulbehälter mit dem neuen Heizwasserkreislauf die Optimierung der Faulbehälterbeschickung mit Vorwärmung des Rohschlammes aus der Abwärme des abfließenden Faulschlammes sowie die Nachbeheizung des warmen Heizwassers für den warmen Heizwasserkreislauf der bisherigen Gebäudeheizung geplant.

Durch geschickte Betriebsführung soll der Trocknerbetrieb das gesamte bei der Vergasung des Klärschlammes anfallende Synthesegas in einem BHKW nutzen. In einem zweiten BHKW mit Klärgasbetrieb wird die benötigte Restwärme für den Trocknerbetrieb bereitgestellt.

Nach Umsetzung der beschriebenen Vorhaben ist entsprechend der Planungen davon auszugehen, dass trotz der Trocknung von rund 12.000 t entwässertem Klärschlamm (28 % TR) der Strombezug der Kläranlage von rund 2,73 GWh/a auf 0,49 GWh/a sinkt.

### Wasserkraftnutzung

Im vorliegenden Fall der Kläranlage Koblenz sollte die Fallhöhe des Auslaufes der Kläranlage zum Vorfluter, im Mittel von etwa 4 m, zur Energieerzeugung mit herangezogen werden. Aufgrund dessen, dass im zentralen Kläranlagenauslauf die Abläufe aus dem 1970 gebauten Anlagenteil und der aus 1990 herrührenden Anlagenerweiterung zusammengefasst werden, war eine hundertprozentige Nutzung des Kläranlagenablaufs nicht möglich. Die weitere Planung sah dann vor, nur das Wasser aus der neuen An-

lage (ca. 2/3 des Abwasserstroms) einer Wasserkraftnutzung zuzuführen. Die geringere nutzbare (Ab-) Wassermenge und gleichzeitig erkennbare gründungstechnische und die elektrotechnische Zusatzaufwendungen lassen eine Amortisation erst nach ca. 33 bis 36 Jahren erwarten. Angesichts der Tatsache, dass mit einem erheblich geringeren Aufwand über Photovoltaik mehr elektrische Energie erzeugt werden kann, wurde die Umsetzung der Wasserkraftanlage zu Gunsten der Installation einer PV-Anlage aufgegeben.

Jetzt werden ca. 100.000 kWh<sub>el</sub> solar erzeugt.

### Faulturmdämmung

Ebenso wurde die Verbesserung der Dämmung der Faultürme zurückgestellt, da sich mit wesentlich einfacheren Maßnahmen ein deutlich besseres Ergebnis erzielen lässt. So kann zum Beispiel ein adäquater Wärmerückgewinn über einen Wärmetauscher zwischen abfließendem Faulschlamm und dem zur Beschickung der Faultürme vorgesehenen Rohschlamm erreicht werden. Gleichzeitig soll eine vergleichmäßigte Beschickung der Faultürme mittels eines Vorlagebehälters die großen Schwankungen beim Aufheizbetrieb des Rohschlammes auffangen. Wärmerückgewinnung von ca. 500.000 kWh<sub>m</sub> pro Jahr.

### Sonstige Maßnahmen

Wesentliche Stromeinsparungen haben sich bisher durch die gezielte Wieder-Inbetriebnahme der vorhandenen Hochlasttropfkörper und die energetisch vergleichmäßigende Behandlung des Filtratwassers in Schwachlastzeiten, die optimierte Belüftung der Nitrifikationskaskaden und die Wiederinbetriebnahme von drei kleineren Bypass-Pumpen ergeben. Nur bei Regenwetter muss noch ein Großteil des vorgeklärten Abwassers auf den Vordruck der Tropfkörper gepumpt werden, um dann an den Tropfkörpern vorbei direkt ins Belebungsbecken geleitet zu werden. Die Ersparnis lag in den zurückliegenden 12 Monaten bei 200.000 kWh im Mix aus Belebungsbeckenbelüftung und Zwischenhebewerk.

Die noch sinnvoll erscheinenden Energieeinsparmaßnahmen konzentrieren sich auf die Neuausstattung der Belüfterplatten in der Belebung mit zugehörigen kleineren Turbogebläsen für die Schwachlastzeiten, die Reduktion der Rücklaufschlammführung bei Trockenwetterbetrieb, die Nutzung des Wasserspiegelunterschieds zwischen Vorklärung und Belebungsbecken BB1 zur Direktbeschickung dieser Straße, die Trennung der Zwischenhebung zwischen Tropfkörperbeschickung und Direktbeschickung der Belebungsbecken BB2/3 sowie die Einführung der Vorfällung zur bedarfsgerechten Beschickung der drei Belebungsstraßen

mit C-haltigem Abwasser für die Denitrifikation (DN). Insgesamt wird eine Stromeinsparung von weiteren 300.000 kWh/a erwartet.

Der ursprünglich im Life+ – Antrag formulierte wärme neutrale Betrieb und zu 65 % selbsterzeugte Strombedarf werden mit dem neuen Konzept bei weitem übertroffen; es darf ein wärmeautarker Betrieb des Gesamtklärwerks bei 90 % Eigenstromversorgung erwartet werden.

### KONTAKT

#### Stadtentwässerung Koblenz

Thomas Keßelheim  
Kammertsweg 82  
56070 Koblenz OT Wallersheim  
Tel.: 0261/1294002  
E-Mail: thomas.kesselheim@klaerwerk-koblenz.de  
www.klaerwerk-koblenz.de

#### Ingenieurbüro Dr.-Ing.

#### W. Götzelmann + Partner GmbH

Joachim Hölle  
Hölzlestraße 11  
72336 Balingen  
Tel.: 07433/90469-0  
E-Mail: j.h@goetzelmann-partner-bl.de  
www.goetzelmann-partner.de/

www.sustreat.eu

### ZUR PERSON



#### Thomas Keßelheim

Funktion: Betriebsleiter für den Kanal- und Klärwerksbetrieb

Aktuelle Projekte u.a.:

■ Umbau zur „energieautarken Kläranlage“

■ Sanierung der

Überschussschlamm eindickung – Austausch der Zentrifugen

■ Überprüfung von verschiedenen Dückern;

■ Maschinen- und elektrotechnische Erneuerung von verschiedenen Pumpwerken



#### Joachim Hölle

Funktion: Projekt-Ingenieur und Leiter der NL Balingen

Fachgebiet: Planung und Projektabwicklung für den Aus- und Umbau von Klärwerken – Spezialisierung Schlammbehandlung und energetische Optimierung