

## BMU-Umweltinnovationsprogramm zur Förderung von Demonstrationsvorhaben

### - Pilotanlage zur Energieoptimierung auf Kläranlagen -



#### Vorwort

Die Abwasserreinigung ist für rd. 20 Prozent des Energiebedarfs einer Kommune verantwortlich. Damit ist sie der größte Energieverbraucher vor Schulen, Krankenhäuser und anderen kommunalen Einrichtungen.

Untersuchungen haben gezeigt, dass sich der Energiebedarf von Abwasseranlagen im Betrieb bis zu 20% senken lässt. Darüber hinaus kann eine Verdoppelung bis Vervierfachung der Eigenenergieerzeugung erreicht werden. Dies führt dazu, dass solche modernen Anlagen einen nachhaltigen Beitrag zum stofflichen Ressourcenschutz beisteuern.

Vor diesem Hintergrund hat das **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit** zusammen mit dem **Umweltbundesamt** und der **KfW-Bankengruppe** den Förderschwerpunkt „Energieeffiziente Abwasseranlagen“ im Rahmen des BMU-Umweltinnovationsprogramms ausgelobt.

Berücksichtigt werden innovative Konzepte zur Energieoptimierung und zum Ressourcenschutz in der Abwasserbehandlung, z.B. in den Bereichen:

- Verfahrenstechnische Innovationen,
- Abwassertransport in der Kanalisation,
- Behandlung des Abwassers bis zur Einleitung in ein Gewässer oder
- Klärschlammbehandlung und -verwertung in Zusammenhang mit der Abwasserbehandlung

In Frage kommen dabei ausschließlich Vorhaben, die einen fortschrittlichen Stand der Technik entsprechen bzw. mit denen neuartige Verfahren oder Verfahrenskombinationen umgesetzt und mit deren Einsatz erhebliche Umweltschutzwirkungen erzielt werden können.

## Kläranlage Blümelal in Pirmasens

Die Kläranlage Blümelal ist eine mechanisch-biologisch reinigende Kläranlage mit einer Ausbaugröße von 62.000 Einwohnerwerten. (Die derzeitige Ist-Belastung der Anlage liegt bei rd. 45.000 Einwohnerwerten).

Die biologische Stufe arbeitet nach dem Belebungsverfahren mit vorgeschalteter Denitrifikation zur Stickstoffelimination.

Die Schlammbehandlung wurde bereits in der Vergangenheit intensiv untersucht und optimiert. Zur Verbesserung der stofflichen und energetischen Verwertung der Biomasse wurde eine *Thermodruckhydrolyse* der anaeroben Behandlungsstufe vorgeschaltet und dadurch die Biogasausbeute erheblich gesteigert.

### **Vorhabensbeschreibung**

Der Fokus dieses Konzeptes liegt auf der energetischen Optimierung der Kläranlage Blümelal.

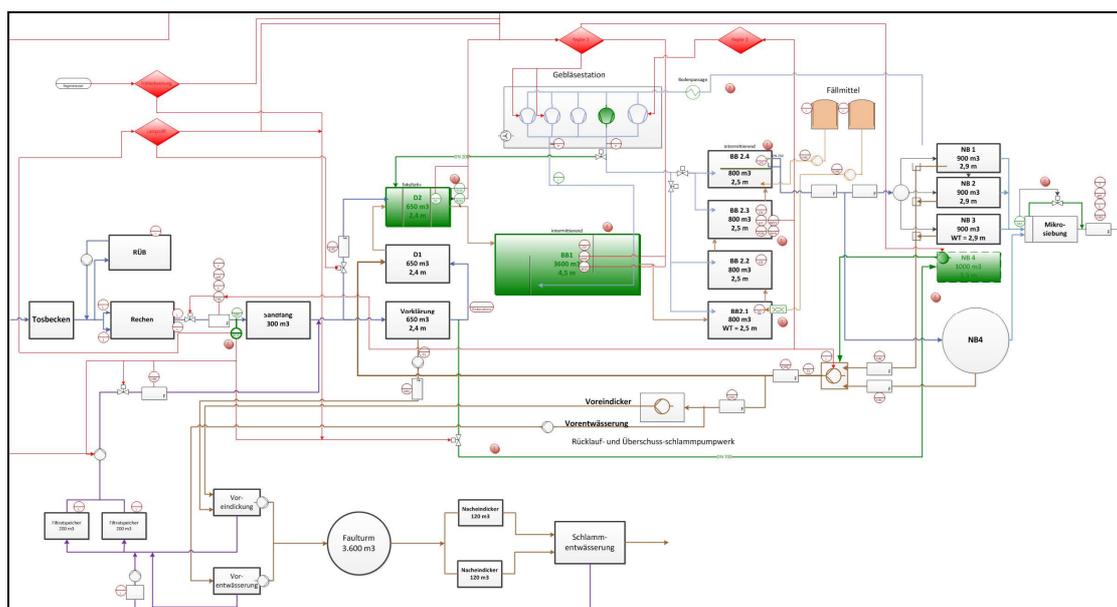
Hierzu wurde ein Gesamtkonzept erarbeitet, dass die verschiedenen Stoffströme der Kläranlage ganzheitlich betrachtet. Die Verfahrenstechnik wird so gestaltet, dass eine bestmögliche Reinigungsleistung bei minimiertem Betriebs- und Energieaufwand erreicht werden kann.

Das hier vorgestellte Verfahrenskonzept ist auf die Anforderungen einer modernen Kläranlage zugeschnitten und gewährleistet eine optimale wirtschaftliche Nutzung der Ressourcen.

Durch die Umsetzung des Verfahrens rückt das Ziel einer „energieautonomen Abwasserreinigungsanlage“ auch ohne Annahme von Co-Substraten in greifbare Nähe und stellt einen Beitrag zur Reduzierung des Energieverbrauches (CO<sub>2</sub>-Ausstoß) dar.

Die Neuerung dieses Verfahrens liegt in der Erstellung eines Lastprofils und seiner Nutzung. Die eigentliche Innovation besteht aus dem anlagenübergreifenden Gedanken, das **Lastprofil der biologischen Reinigungsstufe als interaktiven Koordinator** für den nachfolgenden Betrieb der Anlagenkomponenten zu verwenden.

Das Mess-, Steuer-, und Regelkonzept ist mit der übergeordneten Lastprofilerkennung ausgestattet und greift zur Optimierung der Prozesse frucht- und nährstoffoptimierend ein. So kann das Verfahren interaktiv in die Abläufe einer Kläranlage eingreifen und die einzelnen Prozesse ideal aufeinander abstimmen.



Verfahrensschema Energieoptimierung Kläranlage Blümelal



Als Ergebnis sind verbesserte Ablaufwerte bei nur minimalen Schwankungen und einer gesteigerten Prozessstabilität zu erwarten.

Insgesamt wird ein Energieverbrauch von weniger als 18 kWh pro Einwohnerwert für die gesamte Anlage angestrebt (nationaler Durchschnitt 35 kWh pro Einwohnerwert).

Eine hohe Ausfallsicherheit dank integrierter Notlaufeigenschaften und Plausibilitätskontrolle durch untereinander abgesicherte Messwerte erhöhen vor allem die Betriebssicherheit der Anlage. Diese Automatisierung, bei der sich das System zum Teil selbst überwacht und reguliert, stellt einen nicht unerheblichen Vorteil da.

Eine ausführliche Beschreibung der Funktionsweise des Konzeptes finden Sie in der Anlage.

### **Umweltschutzwirkungen**

Die Kläranlage wird ganzheitlich betrachtet. Alle Stufen und ihre Wechselwirkungen werden in das Gesamtkonzept einbezogen. Folgende Ziele sollen durch die Optimierung erreicht werden.

- Prozessstabilität
- Bestmögliche Reinigungsleistung
- Gewässerentlastung (20.800kg CSB/a und 10.400kgN/a geringere Schmutzfracht)
- Hohe Energieeffizienz
- Energieeinsparung von 785.250 kWh/a (CO<sub>2</sub> Äquivalent von 483.714 kg/a)
- Hohe Ressourceneffizienz
- Minimierter Betriebsaufwand

### **Positive Aspekte für den Abwasserbeseitigungsbetrieb der Stadt Pirmasens**

Mit der Einführung dieses Konzeptes wird die Stoffstromtransparenz (an welchem Ort werden wie viele Ressourcen verbraucht) erhöht und den Mitarbeitern ein Arbeitstool bereitgestellt, welches den optimalen Umgang der Ressourcen plausibel veranschaulicht.

Durch die beinahe Energieautarkie (Eigenenergieerzeugung > 90%) koppelt sich der Abwasserpreis von Strompreiserhöhungen mittelfristig ab - auf längere Sicht ein nicht zu unterschätzender Vorteil.

### **Projektlaufzeit**

Beginnend mit der baulichen und maschinellen Umrüstung der Anlage in 2012 erfolgt in den Jahren 2013 und 2014 die wissenschaftliche Betreuung und Evaluierung des Vorhabens.

### **Wirtschaftlichkeit/ Finanzierung**

Gesamtkosten: 995.546,60 €

Zuschuss durch Umweltinnovationsprogramm: 265.509,00 € (rd. 30 %)

Amortisation: rd. 6 Jahre

Aufgestellt:

Pirmasens, den 21.11.2011

Michael Maas  
Dipl.-Ing.

## BMU-Umweltinnovationsprogramm zur Förderung von Demonstrationsvorhaben

- Pilotanlage zur Energieoptimierung auf Kläranlagen -



### Projektbeschreibung / Umsetzung

#### Stoffströme

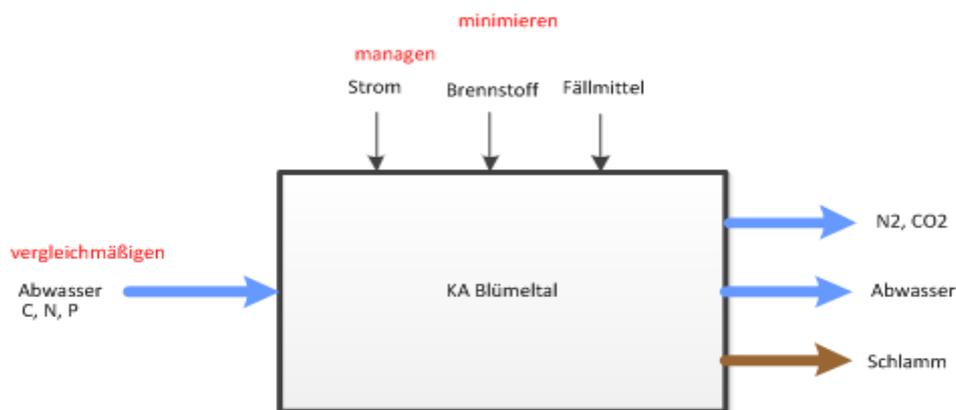


Abbildung: Gesamt Stoff- und Energiebilanz

Verschiedene Ströme werden der Kläranlage zugeführt.

Ziel der Kläranlage ist es, das Abwasser zu reinigen. Das Reinigungsziel hat bei allen Maßnahmen Priorität. Das heißt, alle Optimierungsmaßnahmen müssen daraufhin bewertet werden, wie sie sich insbesondere auf die biologischen Vorgänge auswirken.

Das Abwasser enthält Nährstoffe in Form von Kohlenstoff C, Stickstoff N und Phosphor P. Die Konzentrationen und Frachten im Zulauf unterliegen Schwankungen. Ein Ziel der Optimierung ist es, auf Frachtspitzen im Zulauf zu reagieren, um die Belastungssituation in der biologischen Stufe zu nivellieren.

Die für die Abwasserbehandlung benötigte Energie (Strombezug) verursacht Kosten. Die Strombezugskosten können in erster Linie durch eine Verringerung des Strombedarfs reduziert werden. Weiter kann durch die Verringerung von Lastspitzen eine günstigere Kostenstruktur erreicht werden. Zukünftig werden aber auch Fragen der Netzauslastung in Verbindung mit einem netzlastabhängigen Strombezug eine Rolle spielen.

Fällmittel wird eingesetzt, um Phosphor aus der löslichen Phase in unlösliche Verbindungen zu überführen und im Schlamm zu binden. Der Fällmittelbedarf kann durch die richtig gewählte Dosierstelle, eine optimale Einmischung und einer gezielten biologische Phosphorelimination minimiert werden.

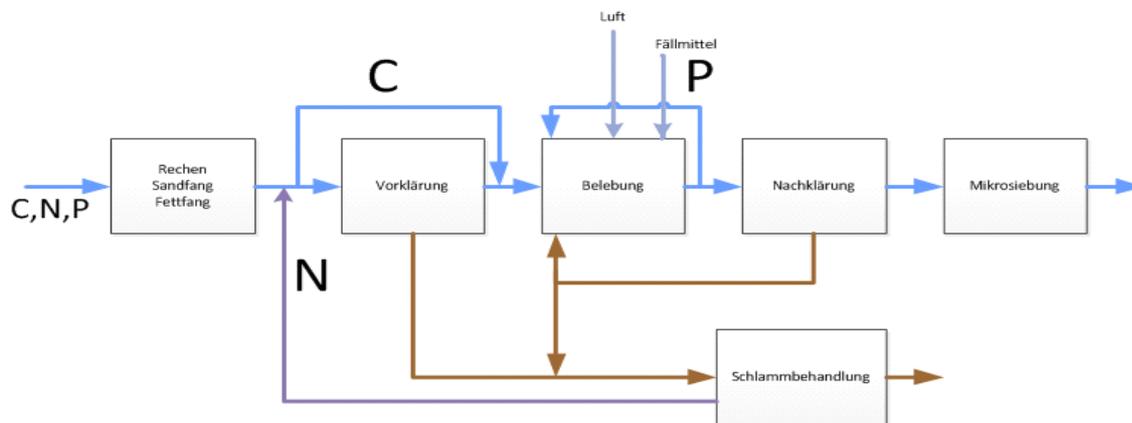


Abbildung : Bilanz Stufen

## Lasterkennung

Dieser Abschnitt beschreibt die Lasteinstufung der biologischen Reinigungsstufe.

Für die Aufnahme eines charakteristischen Lastprofils sind bestimmte Parameter ausschlaggebend. Einer Standardeinstellung werden festgelegte Werte für Luftmenge, O<sub>2</sub> Gehalt, Ammonium und Nitrat zugewiesen, die als Standardreferenz der Anlage zu sehen sind. Eine Varianzerkennung greift optimierend und automatisch anpassend in den Prozessablauf ein, indem sie in vorgegebenen Varianzschritten die Zyklen der intermittierenden Steuerung verändert und den Sauerstoffgehalt sukzessive anpasst.

## Frachtausgleich

Das der Kläranlage zugeführte Abwasser enthält Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor. Kohlenstoff und Stickstoff werden biologisch entfernt. Phosphor wird biologisch und chemisch entfernt.

Zwischen der biologischen Entfernung von Kohlenstoff und Stickstoff besteht eine Wechselwirkung. Ist das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff ungünstig, kann der Stickstoff nur unvollständig entfernt werden. Im zulaufenden Abwasser ist dieses Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff nicht konstant. Es kommt hier vielmehr im Tagesgang zu Verschiebungen. Treten Stickstoffspitzen auf, kann dies aufgrund eines schlechten C/N-Verhältnisses zu einer Verschlechterung der Stickstoffablaufwerte führen.

Frachtspitzen werden durch folgende Mechanismen erkannt und generieren Maßnahmen für eine Abpufferung von Belastungsspitzen.

## Überwachung Ammoniumwerte

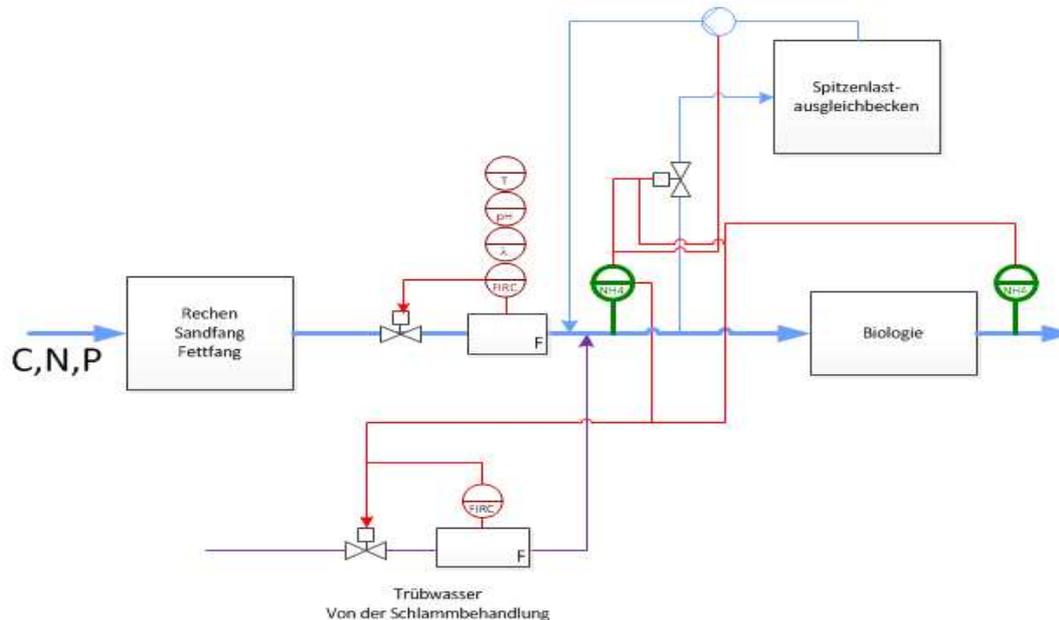


Abbildung : Verfahrensschema Spitzenlastausgleich BITControl

Wird im Zulauf ein Grenzwert der Fracht überschritten, wird automatisch ein Anteil des Zulaufes in das Spitzenlastausgleichsbecken umgeleitet. Grenzwert und Anteil des abgezweigten Abwasseranteils sind einstellbar.

Gleichzeitig wird die Trübwasserzugabe aus der Schlammbehandlung reduziert, bzw. gestoppt.

### D1, D2

Die Denitrifikationsbecken D1 und D2 werden mit einer Membranbelüftung und Strömungswänden ausgestattet, so dass die Becken bei hoher Lastvarianz oder für eine Ausfallstrategie als Fakultativbecken zur Verfügung stehen.

### BB1

Das BB1 wird in zwei Kammern BB1.1 und BB1.2 getrennt.

Beide Kammern werden mit Membranbelüftung ausgestattet. Zusätzlich werden in der Kammer BB1.1 Strömungswänden installiert.

### BB2

In den vier Kammern des Belebungsbeckens 2 sind die Belüfter günstig verteilt. In drei der vier Kammern sind keine Umbauten erforderlich.

In der vierten Kammer von Belebungsbecken 2 wird die Strömungsführung durch eine Strömungswand optimiert. Dazu wird eine Trennwand eingebaut und so zwangsweise das ganze Becken durchströmt.



## Rezirkulation

Aus dem Volumenverhältnis der biologischen Stufe ergibt sich ein Denitrifikationsverhältnis von 20%. Die Nitratrückführung geschieht in Zukunft über den Rücklaufschlammstrom (interne Rezirkulation). Dadurch kann die Rezirkulation außer Betrieb genommen werden. Die restliche Denitrifikation geschieht durch intermittierende Belüftung in den Belebungsbecken BB1, BB2, D1 und D2.

## Phosphatelimination

Bei Abwassertemperaturen über der Bemessungstemperatur von 12°C geht die Denitrifikation in D1/D2, BB1 und BB2 so weit, dass sogar die Restdenitrifikation des Rücklaufschlammes in nur kurzer Zeit vollständig abläuft.

Dadurch stellen sich in D1 anaerobe Verhältnisse eines Bio – P Beckens ein, welche die vermehrte biologische Phosphateinlagerung im nachfolgenden Nitrifikationschritt gezielt fördert (im Nachgang dieses Bio-P Beckens sollte PO<sub>4</sub>-P in situ gemessen werden).

Einer Verschlechterung der Schlammeigenschaften, aufgrund zu langer anaerober Verhältnisse steuern wir über eine Impulsbelüftung (über Fakultativbelüftung D1D2) entgegen. Die vorhandenen PO<sub>4</sub>-P Messungen initiieren bei einem delta P > x1mg/l die Impulsbelüftung für 15 Minuten.

Eine weitere Optimierung lässt sich durch die Verlegung des Dosierpunktes in den Zulaufbereich zur Nachklärung erzielen. Hier hat die Phosphataufnahme durch die Bakterien in D1/D2, BB1, und BB2 weitgehend stattgefunden und es bleibt genügend Reaktionszeit für eine frachtabhängige Dosierung.

## Frachtoptimierung durch Prozesswasserzugabe

Prozesswässer aus den Speicherbehältern sollten belastungsabhängig dosiert werden. Dies kann über die Lasterkennung, die Lastprognose und die Zulaufmengenmessung geschehen (hierzu sind keine zusätzlichen Online – Messungen erforderlich).

## Belüftung

D1/D2, BB1 und BB2 werden im intermittierenden Belüftungsbetrieb gefahren.

Während der unbelüfteten Phase wird der Schlamm durch Impulsbelüftung in Schwebelage gehalten. Auf diese Weise müssen keine Rührwerke installiert werden. Die Impulsbelüftung stellt auch eine schonende und effiziente Art der Umwälzung dar.

Die Gebläse in der Gebläsestation sollten mit Ansaugrohren ausgestattet werden, die die Luft von außen in den Gebläseraum führen. Dadurch wird die Luft nicht durch die Abwärme der Motoren und der Rohrleitungen erwärmt. Diese Luftansaugleitung wird durch eine Bodenpassage im Grundwasserbereich verlegt. Dadurch wird die Luft im Sommer vorgekühlt. Gleichzeitig wird diese Zuluftkühlung mit der Abluftbehandlungsanlage kombiniert und ersetzt im nicht Ex-geschützten Bereich die Abluftbehandlung (ca. 1kwh/EW\*a).

1 °C Temperaturerniedrigung der Ansaugluft bewirkt 1 % Effizienzsteigerung der Belüftung!

Durch die Vergleichmäßigung des Prozeßluftbedarfes (siehe Abbildung) wird das verfahrenstechnische Potential zum Energielastmanagement gehoben und der Leistungsbezug der Anlage fast halbiert. Ergänzt wird diese Bewirtschaftung vom Zulaufmanagement.



Prozeßluftverteilung zyklusabhängig					Zyklus A			Zyklus B		
	Volumen	WT	hE	Anteil	N/DN	GebL.str. 1	GebL.str. 2	N/DN	GebL.str. 1	GebL.str. 2
D1	700	2,7	2,6	6%	DN			N		1000
D2	700	2,7	2,6	7%						
BB1.1	1.900	4,9	4,8	27%	N	1100		DN		
BB1.2	2.100	4,9	4,8	28%	DN			N	1100	
BB2.1	900	2,6	2,5	11%			1800	DN		
BB2.2	900	2,6	2,5	10%	N					
BB2.3	900	2,6	2,5	5%						
BB2.4	900	2,6	2,5	6%	DN			N		900
Volumen gesamt	9.000			100%	m <sup>3</sup> /h	1100	1800		1100	1.900

Gebläsestr. 1

Gebläsestr. 2

Abbildung Vergleichmäßigung der Prozeßluft

## Gebläseregelung

Lastabhängige Gebläseübernahme nach dem Zykluswechsel.

Hier werden anhand der letzten Lasteinstufung des Zyklus die Gebläse neu auf den Belastungsgradienten eingestellt.

Die eigentliche Gebläseregelung wird anhand des Sauerstoffgehaltes im Belebungsbecken in Abhängigkeit der spezifischen Lasteinstufung vorgenommen.

Hierzu wird die Gebläseregelung aus ihrer zuvor definierten Grundeinstellung an den tatsächlichen Bedarf, welcher sich durch die Lasteinstufung und den Belastungsgradienten exakt bestimmen lässt, mittels Frequenzumformer herangeführt.

## Frachtbezogene Rücklaufschlammführung / Rezirkulation

Bei der frachtbezogenen Rücklaufschlammführung wird die Biomasse in der Biologie in Abhängigkeit von ihrer spezifischen Lasteinstufung geregelt. Gerade bei Ammoniumspitzen werden hierzu auch vermehrt Nitrifikanten bereitgestellt, die das erhöhte Nährstoffangebot abarbeiten können. Aber auch bei BSB<sub>5</sub> - Spitzen werden Angebot und Nachfrage bei dieser Rücklaufschlammführung besser aufeinander abgestimmt. Eine stufenlose Regelung der Rücklaufschlamm pumpen mittels Frequenzumformer, bei denen die einzelnen Lasteinstufungen so genannte Stützwerte hinterlegen, ermöglicht hierbei eine absolut betriebsnahe Verfahrensführung.

Die existierende Rezirkulation kann nach der Umstellung auf die frachtbezogene Rücklaufschlammführung entfallen.

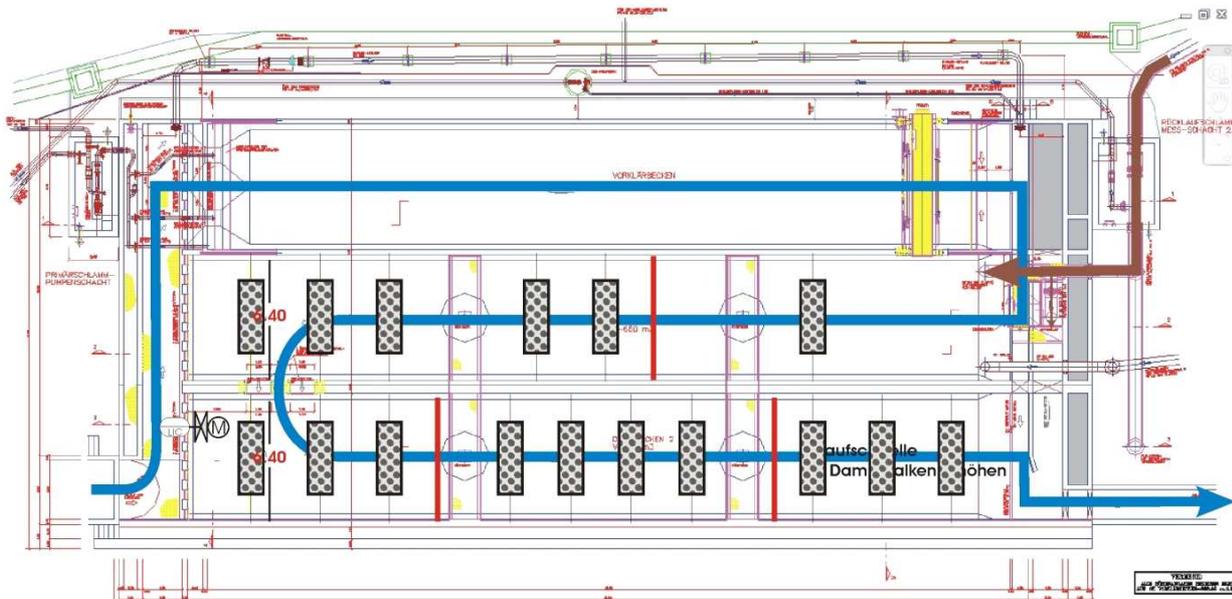
## Rührwerke

Insgesamt wird der Betrieb auf ein intermittierendes Verfahren mit Propfenströmung umgestellt. Durch gezieltes Anbringen von Strömungswänden kann durch dieses Verfahren auf die Umwälzung mittels Rührwerke verzichtet werden. Falls sich im Betrieb zeigt, dass während der unbelüfteten Phase auf eine Durchmischung nicht gänzlich verzichtet werden kann, wird der

Schlamm durch Impulsbelüftung in Schwebelage gehalten. Auf diese Weise müssen keine Rührwerke installiert werden. Die Impulsbelüftung stellt überdies eine schonende und effiziente Art der Umwälzung dar.

### Umbau D1, D2

D1 und D2 werden mit einer Druckluft-Belüftungseinrichtung und Strömungswänden versehen.



### Trennung BB1

Belebungsbecken 1 ist zurzeit die größte nicht teilbare Einheit der biologischen Stufe. In BB1 soll eine flächige Belüftung installiert werden. Im Projekt ist, um die flächige Belüftung wirtschaftlich umzusetzen die Teilung dieses Beckens (BB1) vorgesehen. Dadurch entstehen zwei Beckenteile, die getrennt voneinander außer Betrieb genommen werden können. Eine Beckenentleerung führt dann nicht zu einer gravierenden Beeinträchtigung der biologischen Reinigungsstufe.

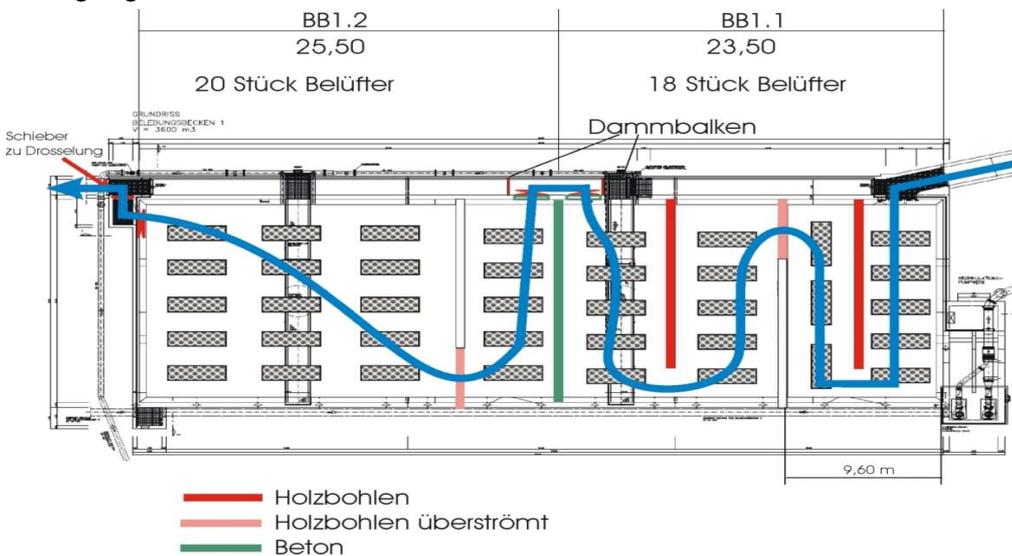
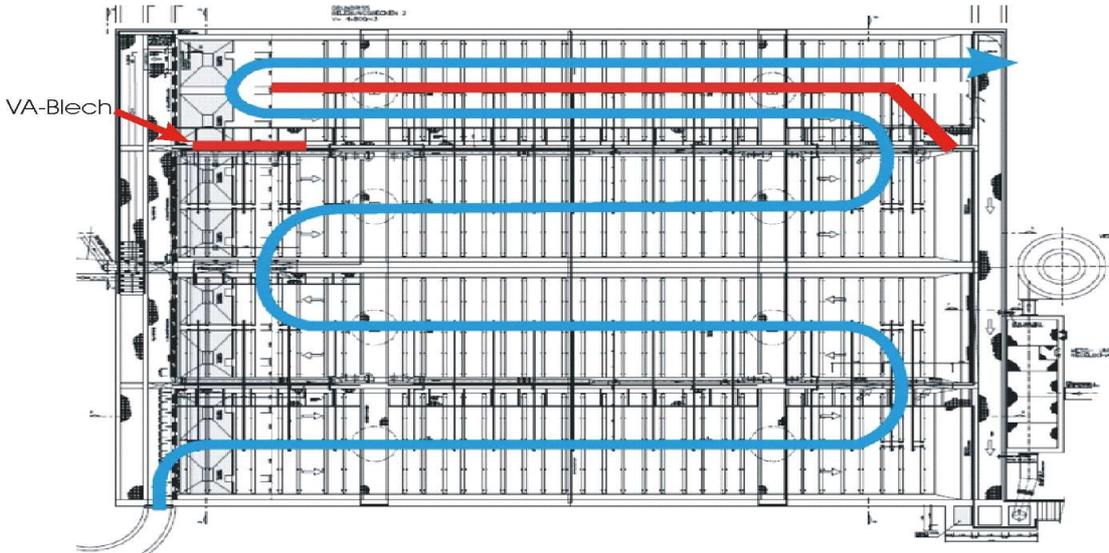


Abbildung : Endausbau BB1

## Umbau BB2.4

BB2.4 wird so umgebaut, dass die Strömung im hinteren Bereich in das Belebungsbecken eingeleitet wird. Da sich der Auslauf dieses Beckenteiles ebenfalls im hinteren Bereich befindet, wird das Becken mit einer Leitwand ausgerüstet, so dass das Abwasser durch das ganze Becken geführt wird.



BITControl

Abbildung : BB2, Strömungsführung nach Umbau

## Mikrosiebung

Die Mikrosiebung wird nur noch nach Bedarf betrieben. Im Einlauf zur Mikrosiebung wird eine SAK-Sonde installiert. Die SAK-Sonde liefert über einen Umrechnungsfaktor die CSB-Ablaufkonzentration. Über einen Grenzwert wird die Mikrosiebung umfahren bzw. zugeschaltet.

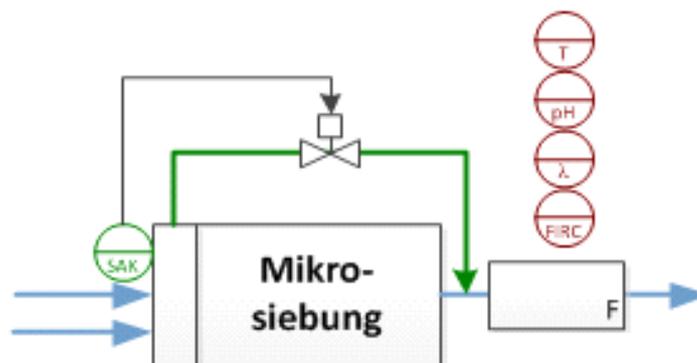
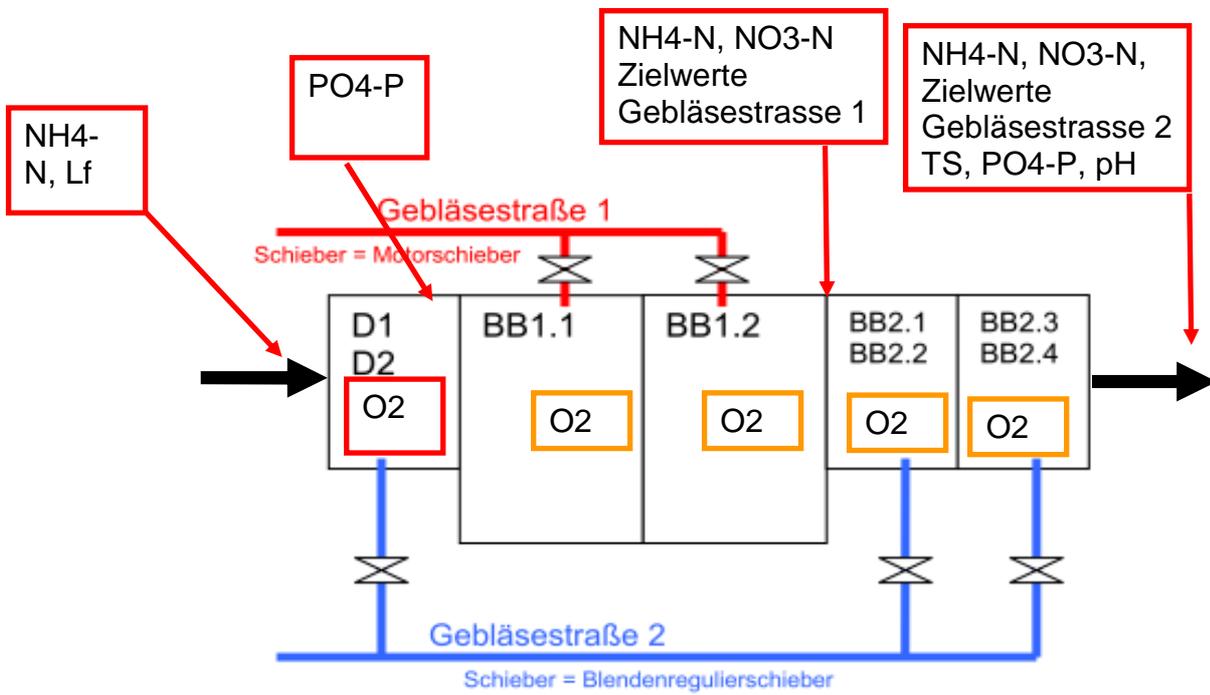


Abbildung : Verfahrensschema Umfahrung Mikrosiebung

Ist ein Grenzwert unterschritten, kann die Mikrosiebung umfahren werden (Stand-by-Betrieb). Ein Betrieb der Mikrosiebung führt in diesem Falle zu keiner Verbesserung der Ablaufqualität und steht in keinem Verhältnis zum Aufwand (Ressourcenverbrauch).

## Messinstrumentierung Kläranlage Blümlental



Diese Ausarbeitung erfolgte mit Unterstützung des Ing.-Büro BitControl