

## **Kläranlage BeiXiaoHe - Design und Betrieb eines der größten Membran- Bioreaktoren**

Vortrag im Rahmen der 8. Aachener Tagung Wasser und Membranen,  
Membrantechnik in der Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung,

27.-28. Oktober 2009, Aachen, Deutschland

### **Inhalt**

- 1 Hintergrund
- 2 Design und Anlagenbeschreibung
  - 2.1 Anlagenkonzept
    - 2.1.1 Bemessungsparameter
    - 2.1.2 Prozessbeschreibung
- 3 Anlagenbetrieb

### **Autoren:**

Mario Lindner  
VA TECH WABAG  
Dresdner Straße 87 – 91  
1200 Wien  
+43/1/25105-4405  
Mario.Lindner@wabag.com

Ferdinand Klegraf  
VA TECH WABAG  
Dresdner Straße 87 – 91  
1200 Wien  
+43/1/25105-4483  
Ferdinand.Klegraf@wabag.com

### Abstract: BeiXiaoHe – design & commissioning of a large-scale municipal membrane bioreactor

In June 2008, the start-up of what is the largest municipal membrane bioreactor (MBR) in China was finalized in Beijing / PRC after a 6-month commissioning period. The completion of the project from the tender to the hand-over to the client took only 30 months.

The BeiXiaoHe wastewater treatment and reuse plant, which is located next to the Olympic Park, has a capacity of 60,000 m<sup>3</sup>/d. The process used is a combination of MBR and split-flow, downstream reverse osmosis. The plant was designed and built by a consortium formed by Siemens / VA Tech WABAG.

Figure 1 shows a schematic overview of the plant.

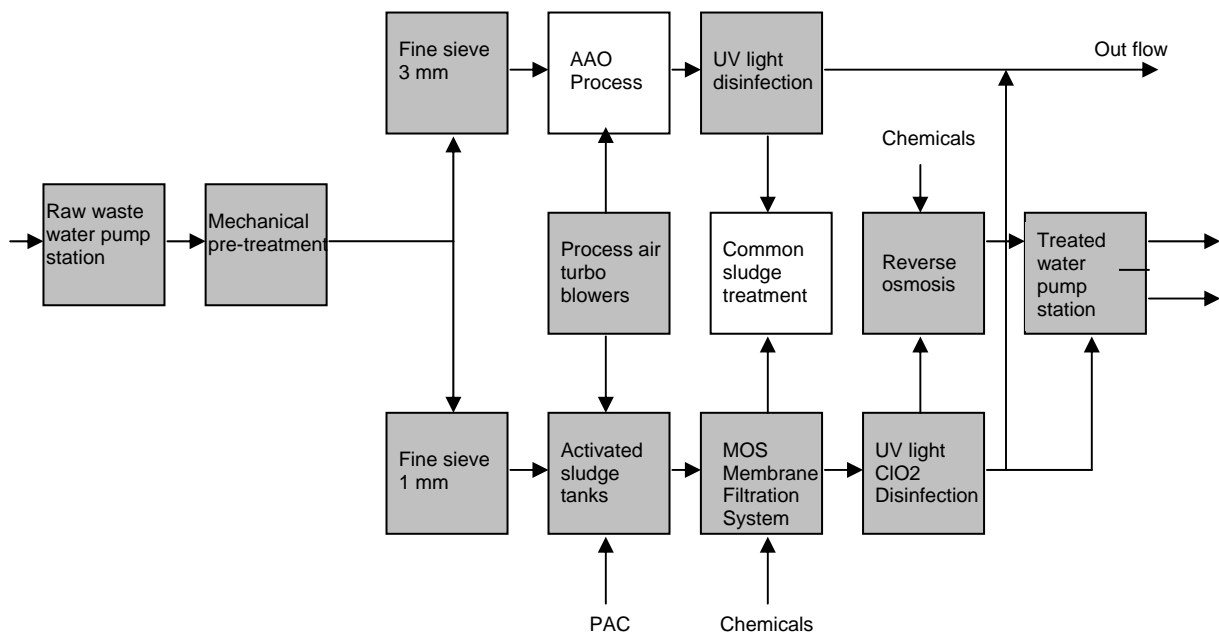


Figure 1: Schematic process overview of the BeiXiaoHe WWTP (newly built plant units in blue)

After general pre-treatment using coarse/fine screens and an aerated grit chamber, the wastewater is split into two process streams. 40,000 m<sup>3</sup>/d are fed to the old AAO process and 60,000 m<sup>3</sup>/d to the MBR.

Downstream of the 1mm fine screens, the pre-treated water is divided between four aeration basins. Each aeration basin consists of four stages with an upstream anaerobic stage for biological phosphorus precipitation, a denitrification stage, a vario zone, and a nitrification stage. The ultrafiltration membranes are installed downstream in eight external filtration cells (MOS Cells).

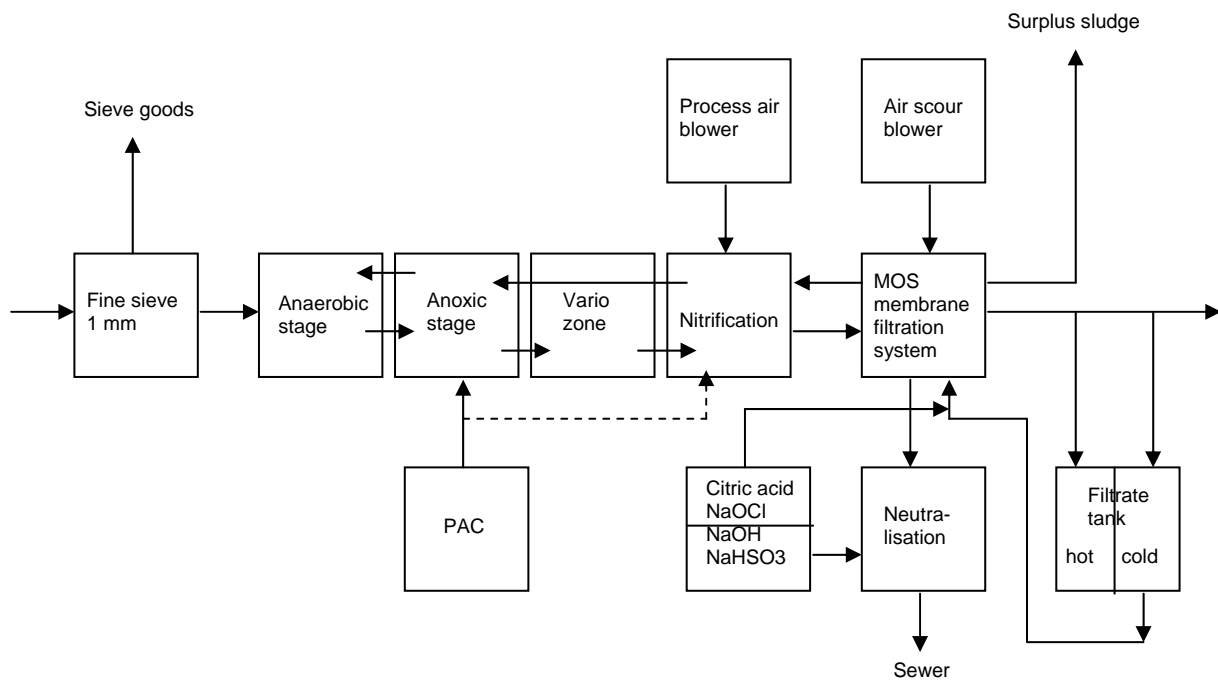


Figure 2: Schematic overview of the MBR

In total, approx. 183,000 m<sup>2</sup> of membrane area is installed. The membranes are supplied by the Siemens subsidiary Memcor. With a flux of 17 l/m<sup>2</sup>\*h net, 50,000 m<sup>3</sup>/d of service water are produced for the irrigation of the Olympic Park. Part of the MBR effluent is treated in advance by reverse osmosis for sensitive applications and to feed the fountains and artificial lakes in the Olympic complex.

The quality of the MBR-produced service water complies with the Chinese environmental standard category IV for surface water and the recycling of municipal wastewater. Table 1 shows an overview of the water quality attained during the performance test.

Table 1: Water quality during performance test

		Feed MBR	Effluent MBR	Effluent RO
TSS	[mg/l]	380	-	-
COD	[mg/l]	470	<20	<10
BOD <sub>5</sub>	[mg/l]	210	<5	<2
TP	[mg/l]	9	<0.2	<0.01
NH <sub>3</sub> -N	[mg/l]	40	<1	-
TN	[mg/l]	50	-	<0.5
Turbidity	[NTU]	-	<0.2	-
Total Coliform	[1/100ml]	-	<2	<2

The energy consumption for the MBR process without sludge treatment has proven to be smaller than 0.75 kWh/m<sup>3</sup> of treated water.

## 1 Hintergrund

Die chinesische Hauptstadt Peking hat aufgrund seiner geographischen Lage und der klimatischen Bedingungen ganzjährig mit Wasserknappheit zu kämpfen. Folgerichtig hat die Stadtverwaltung daher schon früh ein Brauchwassernetzwerk aufgebaut, mit dem die großen Grün- und Parkflächen der Stadt Ressourcen schonend mit Wasser versorgt werden können.

Dass die olympischen Spiele im Sommer 2008 nach Peking geholt wurden, hat der Stadt großes Prestige eingebracht, gleichzeitig musste aber auch für die entsprechenden Infrastruktureinrichtungen gesorgt werden. Unter anderen wurde nach alternativen Lösungen für den zu erwartenden, erhöhten Wasserbedarf gesucht.

Zusätzlich zu verschiedenen Projekten für die Aufbereitung von Regen- und Oberflächenwasser wurde ein ambitioniertes Konzept zur Wasserrückgewinnung aus kommunalem Abwasser unter Einsatz der Membran-Bio-Reaktor (MBR) Technik für die Kläranlage BeiXiaoHe umgesetzt.

Mit der Erweiterung und Modernisierung der bestehenden Kläranlage BeiXiaoHe wurde ein MBR neben dem bestehenden AOO-Prozess errichtet. Die MBR-Anlage hat eine hydraulische Leistung von 60.000 m<sup>3</sup>/d. Davon werden 50.000 m<sup>3</sup>/d in das Bewässerungsnetz eingeleitet und ein Teilstrom von 3.000 m<sup>3</sup>/d wird mit Umkehrosmose-Technologie weitergehend aufbereitet, separat abgeleitet und für die sensitive Nutzung und zur Speisung von Brunnen und künstlichen Teichen verwendet.

Mit Planung und Bau der Anlage wurde das Konsortium Siemens / VA TECH WABAG von der Beijing Drainage Group (BDG) beauftragt.

## 2 Design und Anlagenbeschreibung

Das Konsortium hat die Anlage basierend auf der internationalen Ausschreibung konzipiert und wurde im Frühjahr 2006 von BDG mit der Realisierung beauftragt.

Für die gesamte Anlagenplanung zeichnete VA TECH WABAG verantwortlich. Die Lieferung und Installation der maschinen- und elektrotechnischen Ausrüstung erfolgte durch ein Tochterunternehmen der Siemens China. Alle bautechnischen Leistungen wurden durch eine von BDG direkt beauftragte lokale Firma ausgeführt.

### 2.1 Anlagenkonzept

Für die Aufbereitung des Abwassers zu Brauchwasser kommt eine Verfahrenskombination von MBR und eine im Teilstrom arbeitende nachgeschaltete Umkehrosmose zum Einsatz. Die Klärschlammbehandlung erfolgt in einer gemeinsam mit dem AOO-Prozess betriebenen maschinellen Schlammmentwässerung. Alle intern anfallenden Abwasserströme werden dem gemeinsamen Zulauf zugeführt.

Abbildung 1 zeigt den Aufbau der Gesamtanlage.

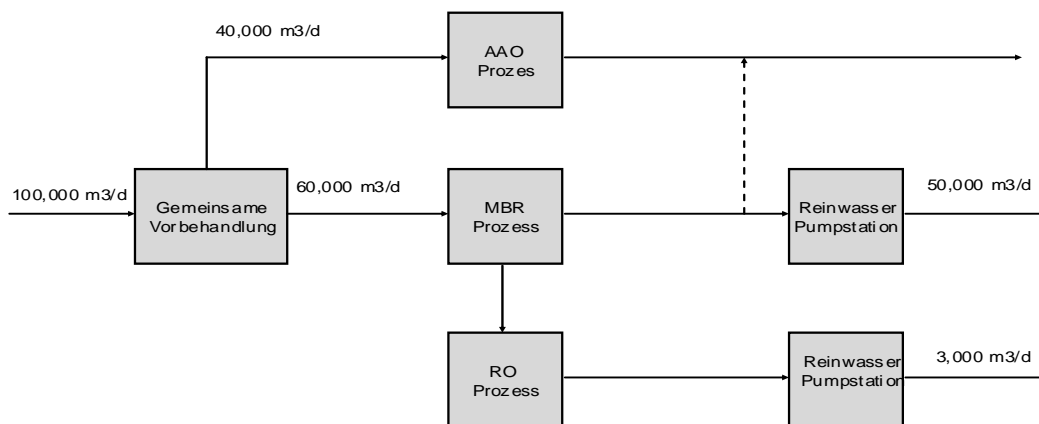


Abbildung 1: Allgemeine Verfahrenübersicht der KA BeiXiaoHe

Das Abwasser wird der gemeinsamen Vorbehandlung zugepumpt. Diese umfasst die Verfahrensstufen Grob- und Feinrechen sowie belüftete Sandfänge. Nach der gemeinsamen Vorbehandlung werden 60.000 m³/d in den MBR Prozess und 40.000 m³/d in den AOO Prozess eingeleitet.

Sowohl das im AOO-Prozess als auch im MBR-Prozess behandelte Abwasser wird durch eine UV-Licht-Bestrahlung desinfiziert, bevor das behandelte Abwasser aus der MBR-Anlage einer zusätzlichen Chlordioxid-Desinfektion unterzogen wird.

Das dem Umkehrosioseprozess zugeführte Wasser wird aus dem mittels UV-Licht desinfizierten, behandeltem Abwasserstrom der MBR-Anlage entnommen und nach dessen Behandlung mit Chlordioxid desinfiziert.

#### Bemessungsparameter

Entsprechend der Ausschreibung wurde der MBR auf eine hydraulische Kapazität von 60.000 m<sup>3</sup>/d und maximal 3.250 m<sup>3</sup>/h bemessen. Dabei wurden die in Tabelle 1 dargestellten Bemessungsparameter des Tenders berücksichtigt.

Tabelle1: Bemessungsparameter

Parameter	Zulauf		Ablauf MBR	Ablauf RO
	Konzentration [mg/l]	Tägliche Fracht [kg/d]	Konzentration [mg/l]	Konzentration [mg/l]
BSB <sub>5</sub>	280	16.800	6	4
CSB	550	33.000	30	20
TSS	340	20.400	2	-
N <sub>Ges</sub>	65	3.900	-	2
NH <sub>3</sub> -N	45	2.700	1,5*	-
P <sub>Ges</sub>	10	600	0,3	0,2
Trübung	-	-	0,5 NTU	0,5 NTU
Koliforme	-	-	3 n/l	3 n/l

\*Bei Designtemperatur von 13 °C

### 2.1.1 Prozessbeschreibung

Abbildung 2 zeigt die schematische Übersicht des MBR.

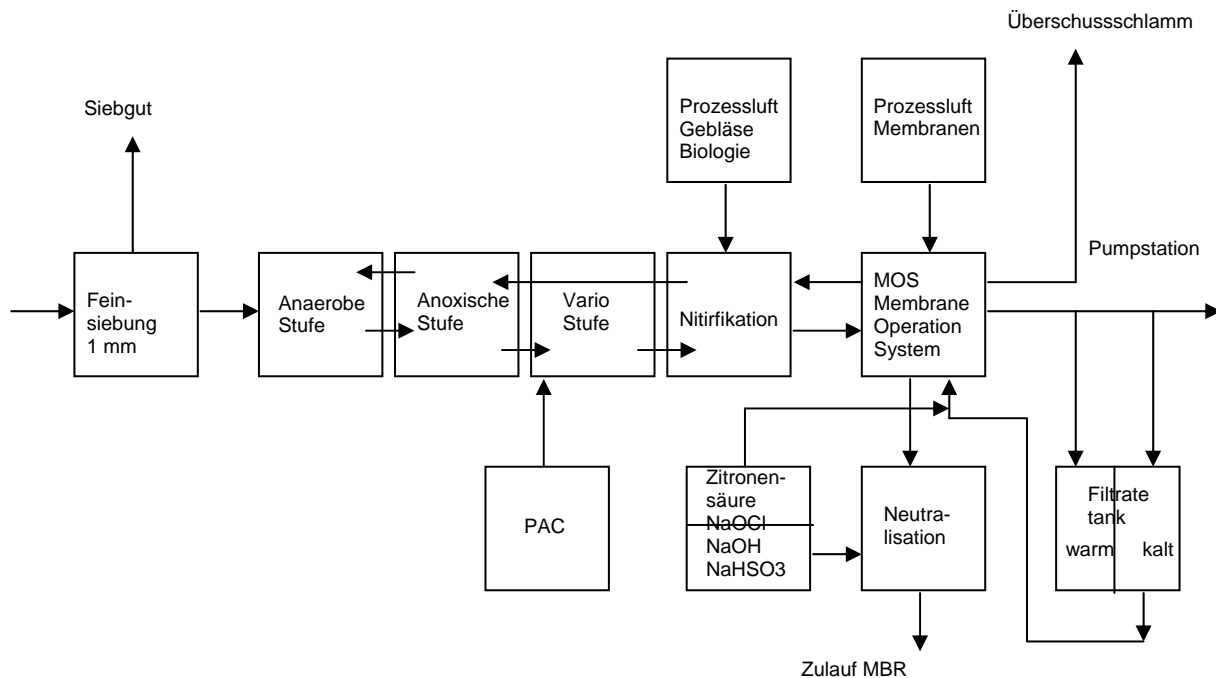


Abbildung 2: Schematischer Aufbau MBR

#### Feinsiebung

Hohlfasermembranen sind bekanntlich anfällig für Verzapfungen und Verschlämungen durch Fasern und Haare und bedürfen einer entsprechenden Vorreinigung. Um diese zu gewährleisten, wurden vier Feinsiebe mit einer Maschenweite von 1 mm nach der Vorbehandlung durch Rechen und Sandfang vor dem MBR installiert.

Es sind drei Siebe für den Dauerbetrieb und ein redundantes installiert. Die Abreinigung der Siebe erfolgt mit Brauchwasser im Regelbetrieb mit 6 bar Betriebsdruck sowie gelegentlicher Hochdruckabreinigung mit 100 bar Betriebsdruck.

#### Belebungsbecken

Das vorbehandelte Abwasser wird der vierstraßigen Belebung des MBR zugeführt. Die Struktur der Belebungsbecken zeigt Tabelle 2.

Tabelle2: Struktur der Belebungsbecken

	Anaerobe Stufe	Anoxische Stufe	Vario Stufe	Nitrifikation	MOS	Gesamt
Volumen je Straße [m <sup>3</sup> ]	1.026	2.394	935	4.389	2*318	8.744
Ø TS [g/l]	4,3	7,9	7,9	9,4	11,5	8,4

Interne Rezirkulationen wurden zwischen der Nitrifikation und Denitrifikation sowie zwischen der Denitrifikation und der Anaerobzone installiert, die in Abhängigkeit des Zuflusses gesteuert werden.

Die von der Ausschreibung vorgegebenen Bemessungsparameter der Belebtschlammbecken für die Maximallast von 60.000 m<sup>3</sup>/d waren das Schlammalter von 17 Tagen bei einer mittleren Belebtschlammkonzentration von maximal 10 g/l.

Trotz biologischer Phosphorelimination ist zum Erreichen der erforderlichen Phosphorkonzentration im Ablauf die simultane Fällung durch Polyaluminium-chlorid (PAC) erforderlich.

Abbildung 3 zeigt die Ansicht eines Belebungsbeckens. Im Gegensatz zu durch Tauchmotorrührwerken homogenisierten Becken der biologischen Phosphorelimination, der Denitrifikation sowie der Variozone, wird die belüftete Nitrifikation im Umlaufbecken betrieben. In dieses speist der Ablauf der MOS ein, womit eine gleichmäßige Schlammkonzentration erreicht wird. Die Belüftung der Belebungsbecken, sowie der Variozone bei Erfordernis, erfolgt feinblasig über Tellerbelüfter. Der Prozesslufteintrag in die Nitrifikation wird automatisch über eine Gelöstsauerstoffmessung gesteuert.



Abbildung 3: Ansicht Belebungsbecken



## Membranfiltration

Die Hohlfaser-Ultrafiltrationsmembranen der Firma Memcor sind in acht externen, nachgeschalteten Filtrationszellen (MOS) installiert. Abbildung 4 und 5 zeigen die Installation der Membranracks sowie eine MOS Zelle in Betrieb.

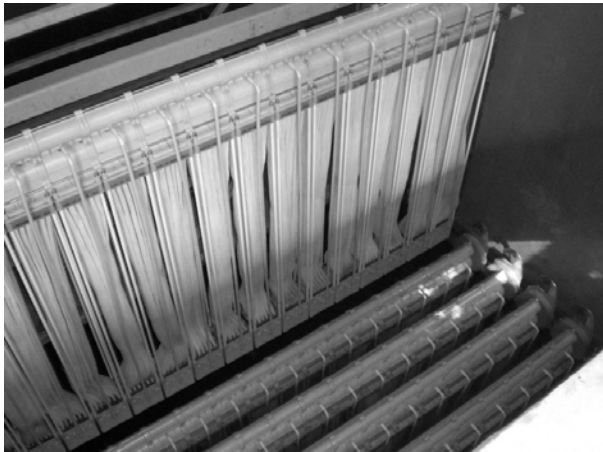


Abbildung 4: Membranracks während der Installation



Abbildung 5: MOS Zelle in Betrieb

Insgesamt sind 182.886 m<sup>2</sup> Membranfläche installiert, aufgeteilt auf 8 Zellen. Jede Zelle ist mit 38 Racks ausgerüstet, in der jeweils 16 Membranmodule eingebaut sind. Ein Membranmodul hat eine Membranfläche von 37,6 m<sup>2</sup>.

Der Netto-Designflux beträgt unter maximalen hydraulischen Belastungen 19,5 l/(m<sup>2</sup>\*h) bei einer vorgegebenen Abwassertemperatur von 18 °C.

Abbildung 6 zeigt das MemJet-Konzept. Abbildung 7 zeigt das Konzept einer MOS-Filtrationszelle. Die Membranmodule werden von einem gemeinsamen Zulaufkanal zentrisch mit Belebtschlamm und Spülluft über einen Injektor beschickt. Jedes Membranmodul ist mit diesem System für eine gleichmäßige Verteilung von Spülluft und Belebtschlamm in der MOS Zelle ausgerüstet. Die Strömung des Belebtschlammes und der Spülluft erfolgt vertikal aufwärts gerichtet. Die Filtrationszellen werden mit 500 % des mittleren Durchflusses mit Pumpen beschickt, so dass 400 % überlaufen, in einen gemeinsamen Ablaufkanal gesammelt und in die Nitrifikation zurückgeführt werden.

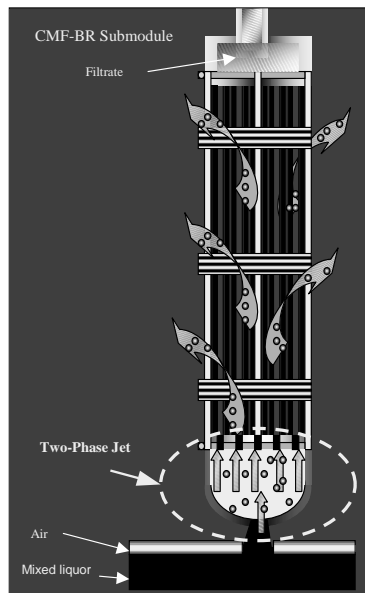


Abbildung 6: MemJet-Konzept

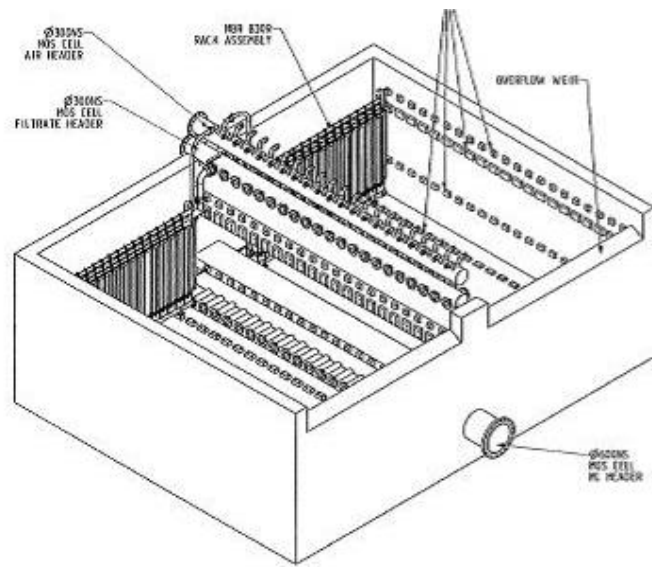


Abbildung 7: Ansicht MOS-Zelle

Die Permeatextraktion erfolgt durch Pumpen im Saugbetrieb. Die Bevorratung der erforderlichen Reinwassermengen zur Membranreinigung wird in einem Speicher, der im Nebenschluss bewirtschaftet wird, vollzogen.

Zur Sicherung der Permeabilität und zur Deckschichtkontrolle werden die Membranen kontinuierlich mit Spülluft begast. Darüber hinaus werden regelmäßige Erholungsphasen der Membranen, in denen kein Filtrat extrahiert wird, eingehalten. Die chemische Reinigung der Membranen erfolgt wöchentlich im Rückfluss mit Chlor sowie viermal jährlich im Chemikalienbad innerhalb der MOS-Zelle mit Chlor sowie - soweit erforderlich - zusätzlich mit Zitronensäure.

Das komplexe Regime der Membranfiltration erfordert die vollautomatische, elektronisch gestützte Steuerung. Die fernbedienbaren, schnell schließenden Armaturen werden pneumatisch betrieben. Die Qualität des Permeats wird kontinuierlich durch die Messung von Trübung und pH Wert überwacht. Die Steuerung der Permeatextraktion erfolgt über die Zulaufmessung, überlagert durch die Füllstandsmessung im Belebungsbecken.

### 3 Anlagenbetrieb

Der MBR wurde im Winter 2007/2008 in Betrieb genommen. Seit dem Frühjahr 2008 arbeitet er im bestimmungsgemäßen Betrieb.

Nach dem Anfahren der Anlage mit Medien in den Betriebspunkt erfolgte ein zweimonatiger Betrieb mit einem abschließenden Nachweis der zugesicherten Eigenschaften. Abbildung 8 zeigt die Abhängigkeit der Permeabilität zum Flux während dieser Zeit. Die im Vergleich zu anderen Hohlfasersystemen gemessene niedrige Permeabilität erwies sich im Dauerbetrieb als stabil und hinreichend.

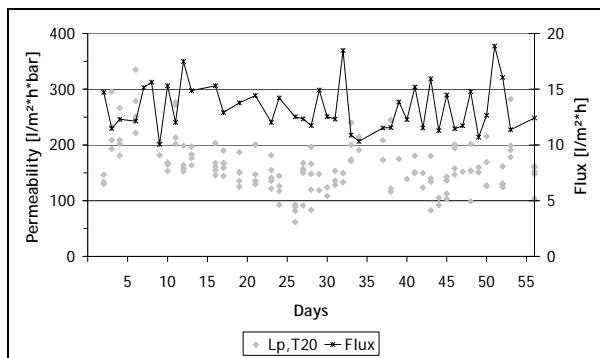


Abbildung 8: Permeabilität und Flux während der Inbetriebnahme

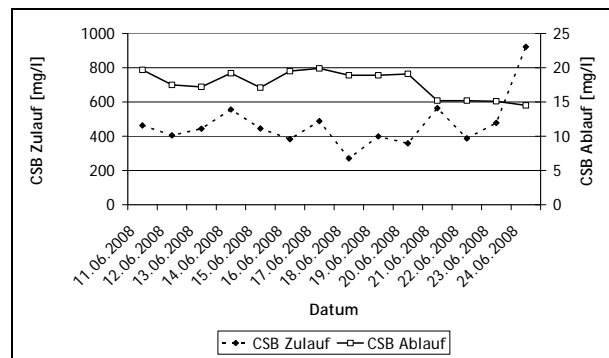


Abbildung 9: CSB-Zulauf- und Ablaufkonzentrationen

Abbildung 9 – 11 zeigen die Ganglinien der Parameter CSB, Gesamtphosphor sowie Ammoniakstickstoff im Vergleich von Zu- und Ablauf während des Leistungslaufs.

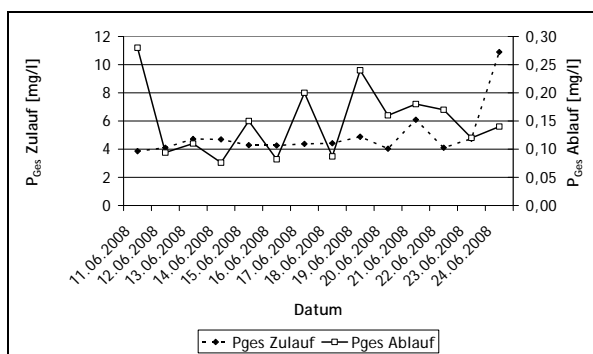


Abbildung 10: P<sub>Ges</sub>-Zulauf- und Ablaufkonzentrationen

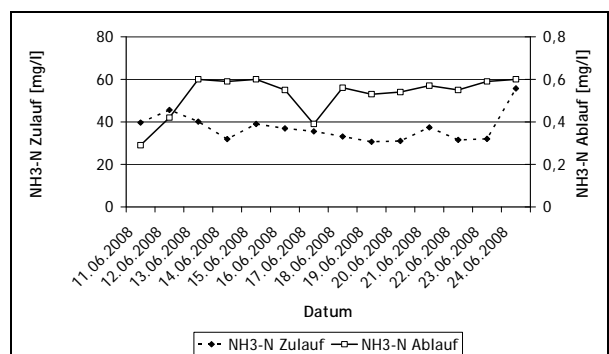


Abbildung 11: NH<sub>3</sub>-N Zulauf- und Ablaufkonzentrationen

Tabelle 2 zeigt die Mittelwerte der Zu- und Abläufe des MBR während des mittlerweile einjährigen Betriebes. Darüber hinaus sind die Ablaufwerte der Umkehrosrose zusätzlich aufgelistet. Überschreitungen der zugesagten Grenzkonzentrationen konnten nicht gemessen werden.

Tabelle 2: Durchschnittliche Zu- und Ablaufwerte MBR BeiXiaoHe

		Zulauf MBR	Ablauf MBR	Ablauf RO
AFS	[mg/l]	380	-	-
CSB	[mg/l]	470	20-30	<10
BSB <sub>5</sub>	[mg/l]	210	<2	<2
P <sub>Ges</sub>	[mg/l]	9	<0,3	<0,01
NH <sub>3</sub> -N	[mg/l]	40	<1	-
N <sub>Ges</sub>	[mg/l]	50	-	<0,5
Trübung	[NTU]	-	<0,1	-
Koliforme	[1/100ml]	-	<2	<2

Die garantierten Eigenschaften des Ablaufs des MBRs konnten sicher eingehalten werden.

Neben den Qualitätsmerkmalen wurde der Energieverbrauch des Prozesses beginnend von der Feinsiebung bis zum Ablauf vor der UV-Licht Desinfektion mit 0,73 kWh/ m<sup>3</sup> Abwasser sicher nachgewiesen.

Die Anlage ist nunmehr seit mehr als einem Jahr im kontinuierlichen Betrieb und zurzeit zu 75 % hydraulisch ausgelastet. Die projizierten Verbrauchsmengen für Strom, Fällmittel und Reinigungskemikalien werden sicher eingehalten. Die Überschussschlammengen entsprechen der Bemessung.