



Entwicklung einer modular aufgebauten Abwasserreinigungsanlage mit abschließender Brauchwassernutzung zur Substitution von Trinkwasser

**Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und
Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen**

Aktenzeichen IV – 9 – 042 186

Abschlussbericht

April 2004

Inhaltsverzeichnis

=====

1	Veranlassung, Projektziele	1-3
2	Bisheriger Entwicklungsstand	2-4
2.1	Rahmenbedingungen	2-4
2.2	Funktionsweise der Kläranlage ClearWater	2-5
2.3	Steuer- und Regelungstechnik der Kläranlage ClearWater	2-7
2.4	Konstruktion der Kläranlage ClearWater in Kunststoffbauweise	2-8
3	Anlagenoptimierung	3-13
3.1	Verbesserung der technischen Komponenten	3-13
3.2	Verfahrenstechnische Änderungen	3-15
3.3	In Betrieb genommenen Anlagen	3-17
3.3.1	Kitlitz	3-17
3.3.2	Katlow	3-18
3.3.3	Massow	3-20
3.3.4	Turkmenistan	3-21
3.4	Leistungsfähigkeit der eingebauten Anlagen	3-23
3.4.1	Kitlitz (Internats-Schule)	3-23
3.4.2	Katlow (Dorf, 120 EW)	3-23
3.4.3	Massow (Rehabilitationsklinik)	3-24
3.5	Optimierung der Anlagen auf Denitrifikation	3-25
3.5.1	Überarbeitung der klärtechnischen Berechnung	3-25
3.5.2	Aufstellung eines neuen Typenprogramms zur Stickstoffelimination	3-30
3.5.3	Untersuchung der verfahrenstechnischen Änderungen	3-31
4	Erstellung der technischen Dokumentation	4-35
5	Betrieb eines Prototyps in Syrien	5-37
6	Untersuchung der Desinfektionsleistung	6-40

6.1	Verfahren zur Abwasserdesinfektion	6-41
6.1.1	UV-Desinfektion	6-41
6.1.2	Thermische Verfahren	6-41
6.1.3	Behandlung mit Ozon	6-42
6.1.4	Behandlung mit Chlor und Chlordioxid	6-42
6.1.5	Nicht chlorhaltige Oxidationsmittel	6-42
6.1.6	Anodische Oxidation	6-42
6.2	Auswahl eines geeigneten Desinfektionsverfahrens für die Kläranlage ClearWater	6-43
6.3	Verwendete Geräte für die anodische Oxidation	6-45
6.4	Versuchsaufbau	6-46
6.5	Anforderungen an die Desinfektionsleistung	6-47
6.6	Untersuchungsverfahren und Probenahme	6-47
6.7	Parameter des Rohwassers	6-47
6.8	Untersuchung des Gerätes der Firma Newtec	6-48
6.9	Untersuchung des Gerätes der Firma Bright Spark	6-51
6.10	Chemische und physikalische Veränderung des Wassers durch die Desinfektion	6-53
6.10.1	Versuchsaufbau und -durchführung	6-53
6.10.2	Diskussion der Ergebnisse	6-53
6.11	Fazit der Versuche zur Desinfektion mittels anodischer Oxidation	6-54
7	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	7-55
8	Literaturverzeichnis	8-57

1 Veranlassung, Projektziele

Der vorliegende Abschlussbericht des Forschungsvorhabens „Entwicklung einer modular aufgebauten Abwasserreinigungsanlage mit anschließender Brauchwassernutzung zur Substitution von Trinkwasser“ wurde vom Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert. Das Vorhaben wurde am 19.03.2003 mit dem Aktenzeichen IV-9-042 186 bewilligt. Das Projekt wurde am 29.02.2004 abgeschlossen.

Dem Projekt ging ein gleichnamiges Forschungsvorhaben, gefördert durch das Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen voraus. Das Projekt unter dem Aktenzeichen 514 - 206 005 01 wurde von Juli 2001 bis Februar 2003 durchgeführt. Im Rahmen der Ausschreibung „Praxisnahe Lösungen für Energie und Abwasserprobleme in Entwicklungsländern“ wurde eine modulare Kläranlage in Kunststoffbauweise entwickelt, die sich speziell für den Export in Entwicklungsländer eignet. Mit dieser Kläranlage ist es möglich, häusliches Abwasser so aufzubereiten, dass es für Bewässerungszwecke gefahrlos wieder verwendet werden kann. Die Kläranlage wird unter dem Namen ClearWater von der Firma KWS Water Solutions GmbH, Herford, vertrieben.

Ursprünglich ist die von der Fachhochschule Lippe und Höxter entwickelte Kläranlage hauptsächlich für den Einsatz in Entwicklungsländern konstruiert worden. Die erforderlichen Volumina wurden aus Kostengründen minimal gewählt. Inzwischen wurde festgestellt, dass auch auf dem deutschen Markt eine Nachfrage für die entwickelte Kläranlage besteht. Daraus entstand die Idee, die Kläranlage weiter zu optimieren, besonders hinsichtlich der Stickstoffelimination. Es sollte an Referenzanlagen in Deutschland gezeigt werden, dass mit der entwickelten Kläranlage die geforderten Ablaufwerte sicher eingehalten werden können. Ein in Syrien eingebauter Prototyp sollte weiterbetrieben und untersucht werden. Außerdem haben die Desinfektionsversuche im vorherigen Vorhaben keine ausreichenden Ergebnisse geliefert, so dass weitere Versuche zur Desinfektion des gereinigten Abwassers durchgeführt werden sollten.

Das Arbeitsprogramm für das Forschungsvorhaben lautete:

- a) Betrieb einer Anlage unter Praxisbedingungen in Deutschland,
- b) Optimierung der Kläranlage von einer Anlage zur reinen Kohlenstoffelimination mit Nitrifikation hin zu einer Anlage, die zudem denitrifiziert,
- c) Begleitung des Anlagenbetriebes an der Al-Baath Universität in Syrien,
- d) Einarbeitung eines arabisch sprechenden Mitarbeiters aus Syrien,
- e) Erstellung von Produktunterlagen,
- f) Erstellen von Betriebs- und Wartungsanleitungen,
- g) Optimierung der Desinfektionsleistung, da die bisherigen Untersuchungsergebnisse noch nicht zufriedenstellend waren.

Der Abschlussbericht wird hiermit vorgelegt.

2 Bisheriger Entwicklungsstand

Im Rahmen eines vorangegangenen, gleichnamigen Forschungsvorhaben, gefördert durch das Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen, wurde die Kläranlage ClearWater entwickelt. Die Entwicklungsarbeit ist mit dem abgeschlossenen Vorhaben fortgeführt worden.

2.1 Rahmenbedingungen

In der Bundesrepublik Deutschland ist für das Einleiten von Stoffen in ein Gewässer, wozu auch Abwasser gehört, eine Erlaubnis nach § 7 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG, 2002) notwendig. Die Erlaubnis für das Einleiten von Abwasser darf nur erteilt werden, wenn die Schadstofffracht des Abwassers so gering gehalten wird, wie dieses bei Einhaltung der jeweils in Betracht kommenden Verfahren nach dem Stand der Technik möglich ist. Stand der Technik ist der Entwicklungsstand technisch oder wirtschaftlich durchführbarer Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, die als beste verfügbare Techniken praktisch geeignet sind (Finke, 2001).

Der Stand der Technik gilt grundsätzlich als eingehalten, wenn die Abwasseranlage den Regelwerken des Deutschen Institutes für Normung in Berlin und/oder der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK) entsprechen.

Technische Regelwerke für kleine Kläranlagen und Kleinkläranlagen sind in Tabelle 1 aufgeführt. Kleinkläranlagen sind Kläranlagen, die maximal 8 m³ (entspricht 53 Einwohnerwerten) Schmutzwasser täglich reinigen. Kleine Kläranlagen sind Kläranlagen von 50 – 500 Einwohnerwerten.

Tabelle 1: Übersicht über die in Deutschland gültigen technischen Regelwerke betreffend Kleinkläranlagen und kleine Kläranlagen

DIN 4261 Teil 1	Kleinkläranlagen ohne Abwasserbelüftung
DIN 4261 Teil 2	Kleinkläranlagen mit Abwasserbelüftung
DIN 4261 Teil 3	Kleinkläranlagen ohne Abwasserbelüftung, Betrieb und Wartung
DIN 4261 Teil 4	Kleinkläranlagen mit Abwasserbelüftung, Betrieb und Wartung
DIN EN 12566 Teil 3	Kleinkläranlagen für bis zu 50 EW; Vorgefertigte und/oder vor Ort montierte Anlagen zur Behandlung von häuslichem Schmutzwasser (Entwurf)
ATV-DVWK-A 122	Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von kleinen Kläranlagen mit aerober biologischer Reinigungsstufe für Anschlusswerte zwischen 50 und

	500 Einwohnerwerten
ATV-DVWK-A 123	Behandlung und Beseitigung von Schlamm aus Kleinkläranlagen
ATV-DVWK-A 131	Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen

An die Kläranlage werden die Anforderungen an die Reinigungsleistung nach der Abwasserverordnung (AbwV 2002, Anhang 1) gestellt. Damit werden nur Anforderungen bezüglich des Sauerstoffbedarfes $CSB = 150 \text{ mg/l}$ und des $BSB_5 = 40 \text{ mg/l}$ gestellt.

2.2 Funktionsweise der Kläranlage ClearWater

Die Kläranlage ClearWater besteht grundsätzlich aus der Vorklärung und dem SBR-Reaktor (Sequencing Batch Reactor). Die Vorklärung übernimmt gleichzeitig die Funktion eines Ausgleichsbehälters und eines Schlammspeichers. Der Kläranlage lässt sich ein Brauchwasserspeicher mit integriertem Desinfektionsmodul nachschalten. Der anfallende Schlamm kann entweder in der Vorklärung zwischengespeichert oder in einen separaten Schlammstapelbehälter gegeben werden.

In der ersten Reinigungsstufe, der Vorklärung, wird das Abwasser von Grobstoffen befreit. Das Vorklärvolumen teilt sich in drei Bereiche auf:

- **Ausgleichsvolumen**
in dem das zulaufende Abwasser zwischengespeichert wird, bis es zur weiteren Behandlung zyklusweise in den SBR-Reaktor gepumpt wird,
- **Vorklärvolumen**
in dem durch geringe Strömungsgeschwindigkeiten erreicht wird, so dass Sinkstoffe sich absetzen und Schwimmstoffe auftreiben und somit zurückgehalten werden können,
- **Schlamm-speicher**
zur Speicherung des abgesetzten Schlammes (Primär- und Sekundärschlamm). Der Schlamm muss regelmäßig aus der Anlage entfernt werden. Um größere Räumungsintervalle zu erreichen, kann der Schlamm auch in einem separaten Schlammstapelbehälter gespeichert werden.

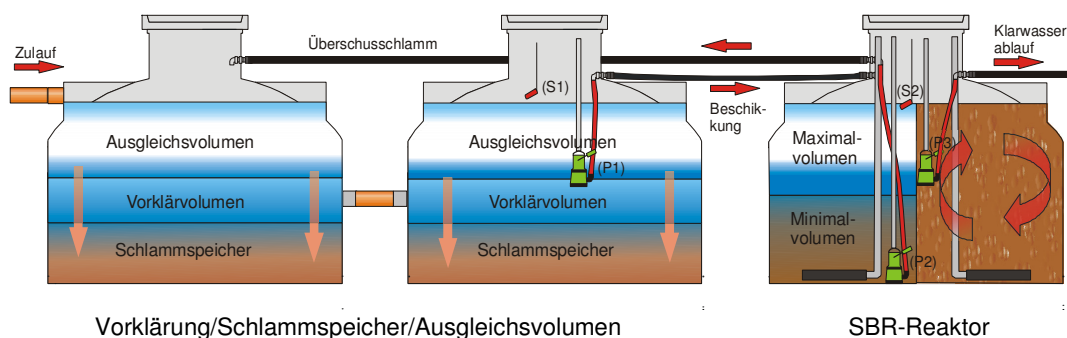


Abbildung 1: Funktionsbetrieb der Kläranlage ClearWater

Aus der Vorklärung wird das Abwasser zyklusweise in den SBR-Reaktor gepumpt. In dem SBR-Reaktor findet die biologische Reinigung in 5 Phasen statt:

Phase 1: Befüllung

Der SBR-Reaktor wird mit Abwasser aus der Vorklärung gefüllt

Phase 2: Reaktionsphase

Durch Membranrohrbelüfter wird Sauerstoff ins Wasser eingeblasen. Die Mikroorganismen werden mit Sauerstoff versorgt. In dieser Phase wird die Schmutzfracht aus dem Abwasser biologisch abgebaut.

Phase 3: Absetzphase

Während der Absetzphase wird das Wasser nicht weiter belüftet. Durch die eintretende Beruhigung setzt sich der belebte Schlamm am Behälterboden ab. Da der Schlamm vollständig zu Boden sinkt, verbleibt im oberen Bereich eine Klarwasserzone mit biologisch gereinigtem Wasser.

Phase 4: Klarwasserabzug

Das Klarwasser wird in dieser Phase mit der Klarwasserpumpe in den Ablauf der Kläranlage gefördert

Phase 5: Überschussschlammabzug

Da bei jedem Belüftungsprozess neuer belebter Schlamm entsteht, wird in dieser Phase der überschüssige Schlamm in die Vorklärung zurückgefördert.

Die Steuerung des Zyklusses erfolgt zeitabhängig. Die Reaktionsphase dauert 4,5 Stunden. Während der nachfolgenden 1,5 Stunden sedimentiert der belebte Schlamm. Im Einzelfall können aber auch andere Zeiten eingestellt werden. Nach dem Ende der Sedimentationsphase wird der Überschussschlamm abgepumpt. Die erforderliche Pumpenlaufzeit der Überschussschlamm-pumpe (P2) wird bei jedem Zyklus neu berechnet. Die Berechnung erfolgt aus der zufließenden Wassermenge, erfasst durch die Laufzeit der Beschickungspumpe (P1). Der Abzug des Klarwassers erfolgt durch die Klarwasserpumpe (P3), bis die Pumpe sich durch eigenen Schwimmer ausschaltet.

2.3 Steuer- und Regelungstechnik der Kläranlage ClearWater

Die Steuerung der Kläranlage besteht aus einer Siemens S7-200 CPU und den entsprechenden Relais und Sicherungen. Die Steuerung überwacht die eingebauten Geräte. Bei Fehlfunktionen wird eine Störungsmeldung ausgegeben: eine weitere Meldung wird per SMS versendet.

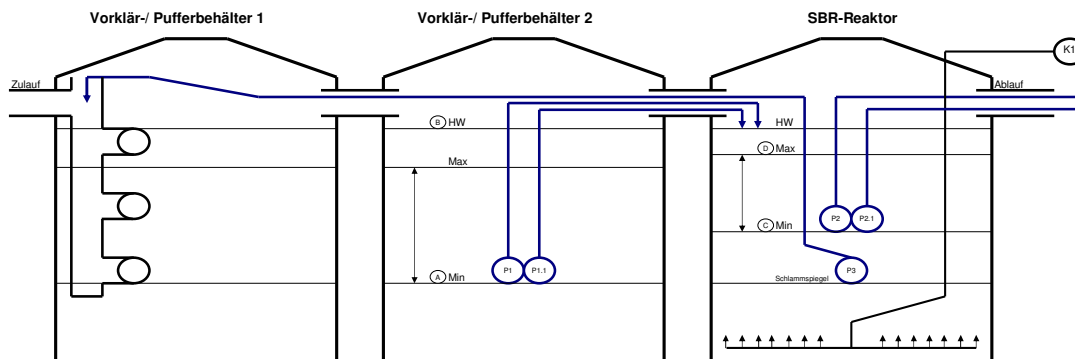


Abbildung 2: Steuer- und Regelungskomponenten der Kläranlage ClearWater

Beim Einschalten der Kläranlage beginnt der Steuerungszyklus mit dem Leerpumpen des SBR-Reaktors (Klarwasserabzug). Die Klarwasserpumpe (P2 und P2.1) werden bei Erreichen des minimalen Wasserstandes (Schwimmerschalter C) ausgeschaltet. Die Beschickung der Kläranlage erfolgt durch die Klarwasserpumpen (P1 und P1.1) bis der SBR-Reaktor gefüllt ist (Schwimmerschalter D) oder bis in der Vorklärung der minimale Wasserstand erreicht ist (Schwimmerschalter A). Sollte der Wasserstand über den berechneten maximalen Wasserstand in der Vorklärung steigen (Schwimmerschalter B), so wird Hochwasseralarm gegeben. Der Überschussschlammabzug erfolgt zeitgetaktet am Ende der Sedimentationsphase.

Die Überwachung der Pumpen und des Kompressors erfolgt durch die Überprüfung der Stromaufnahme der Pumpen. Wird von der Steuerung erkannt, dass eine Pumpe keinen Strom aufnimmt, wird Alarm gegeben.

Die Überwachung des Kompressors erfolgt durch einen Druckschalter. Wird der erforderliche Druck durch den Kompressor nicht mehr aufgebaut, sei es, durch einen Defekt des Gerätes, Undichtigkeiten im Leitungssystem oder den Riss der Membranrohrbelüfter, wird eine Fehlermeldung gegeben.

Die Anzeige der Fehlermeldung geschieht optisch durch die Signalleuchte. Gleichzeitig wird durch das Fernüberwachungsmodul eine SMS an das Wartungsunternehmen versandt. Die Anschlussnummern, an die die SMS gesendet werden, werden von KWS in die Steuerung programmiert. Es können maximal 4 verschiedene Nummern programmiert werden.

Es gibt 4 verschiedene Typen von Meldungen, die per SMS versendet werden:

1. Pumpenausfall

2. Kompressorausfall
3. Hochwasser
4. Anlage fehlerfrei (z.B. 14-tägige Kontrollmeldung)

Zusätzlich wird die Störmeldung im Klartext auf dem Display der Steuerung angezeigt und kann dort quittiert werden.

Auftretende Störmeldungen können auf der Steuerung quittiert werden, wodurch die Alarmleuchte ausgeschaltet wird.

Betriebsstunden und die aktuelle Zyklusphase können auf dem Display der Steuerung abgelesen werden.

Im Grundzustand zeigt das Display die Zyklusphase an: Befüllen, Belüften, Klarwasserabzug, Sedimentation, Überschussschlammabzug.

2.4 Konstruktion der Kläranlage ClearWater in Kunststoffbauweise

Die Kläranlage ClearWater ist in Kunststoffbauweise in Baugrößen von 25 – 200 Einwohnerwerten erhältlich. Das gesamte Typenprogramm ist aus Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Technischen Daten des Kläranlagentypenprogrammes ClearWater (KWS, 2002)

Typ		CW 25	CW 50	CW 75	CW 100	CW 125	CW150	CW 175	CW 200
Number of inhabitants		25 E	50 E	75 E	100 E	125 E	150 E	175 E	200 E
daily sewage water rate	m ³ /d	3.75	7.50	11.25	15.00	18.75	22.50	26.25	30.00
daily dirt rate	kg BOD ₅ /d	1.50	3.00	4.50	6.00	7.50	9.00	10.50	12.00
number of tanks									
preclarification/ buffer tank	stock	1	2	2	3	3	4	5	5
SBR reactor	stock	1	1	1	2	2	2	3	3
room sizes									
preclarification/ buffer tank	m ³	4.00	8.00	12.00	18.00	18.00	24.00	30.00	30.00
SBR reactor	m ³	4.00	4.00	6.00	12.00	12.00	12.00	18.00	18.00
sizes									
max. building in depth	m	2.00	2.00	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
required surface	m ²	12	17	17	29	29	35	46	46

Die Kläranlage besteht grundsätzlich aus den Behältern für Vorklär-/Ausgleichsbehälter, SBR-Reaktoren, Schlammspeicher, Ausgleichsbehälter und Brauchwassertanks. Hinzu kommt die technische Ausstattung wie Pumpen, Belüftungstechnik und Regelungstechnik.

Als Behälter für die Kläranlage werden Kunststofftanks der Firma Köver, Buxtehude verwendet. Die Behälter der Firma Köver sind mit einem Inhalt von 4 m³ und 6 m³ erhältlich. Ein Behälter ist in Abbildung 3 dargestellt. In Tabelle 3 sind die Abmessungen der Behälter dargestellt.



Abbildung 3: Behälter der Firma Köver (Köver, 2001)

Die Behälter zeichnen sich durch eine optimale Behältergeometrie aus. Beim Transport in einem Seecontainer (Innenmaß eines 20' Seecontainers: 5,87 m x 2,33 m x 2,36 m) ist eine optimale Raumausnutzung vorhanden. Durch den flachen Boden lassen sich die Belüftungselemente sehr gut in dem Behälter unterbringen.

Tabelle 3: Abmessungen der Behälter der Firma Köver

Volumen	4000 l	6000 l
Durchmesser	2200 mm	2200 mm
Höhe	1858 mm	2301 mm
Domdurchmesser	695 mm	695 mm
Anschlüsse	DN 100	DN 100

Mit steigender Baugröße der Kläranlage werden mehrere Behälter als Vorklärung hintereinander und bis zu 3 SBR-Reaktoren parallel geschaltet. Die einzelnen Vorklärbehälter werden mit nachträglich angeschweißten Stützen miteinander verbunden. Die Behälterverbindung mit den Stützen und einer KG-Doppelmuffe DN 100 ist in Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt.



Abbildung 4: Angeschweißter Stutzen

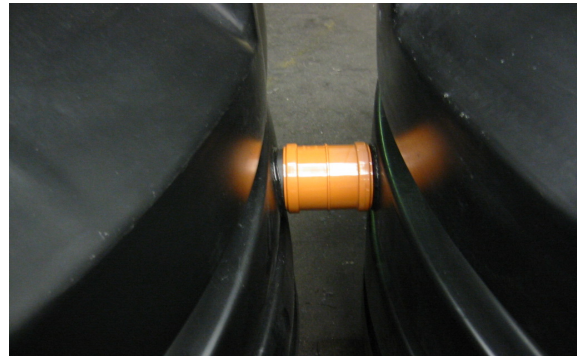


Abbildung 5: Mit KG-Muffe verbundene Behälter

Die Druckleitungen für Beschickung, Überschussschlamm und Klarwasser werden mit flexiblen HDPE-Rohr DN 32 ausgeführt. Diese brauchen auf der Baustelle nur noch mit Plasson-Verschraubungen an die Behälter angeschlossen zu werden. Der Anschluss an die Behälter ist in Abbildung 6 dargestellt.



Abbildung 6: Anschluss des HDPE-Schlauches an den Behälter

Die Membranrohrbelüfter der Firma Gummi-Jäger, Hannover, werden mit PVC-Rohren DN 40 befestigt (siehe Abbildung 7). Am oberen Ende der PVC Rohre befinden sich Schlauchtüllen, an denen die Druckluftschläuche angeschlossen werden. Die PVC-Rohre werden mit PVC-Klemmen an den Behälter fixiert, zu erkennen in Abbildung 8.

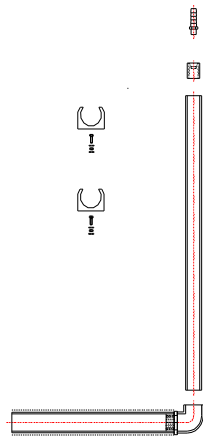


Abbildung 7: Membranrohrbelüfter mit Halterung

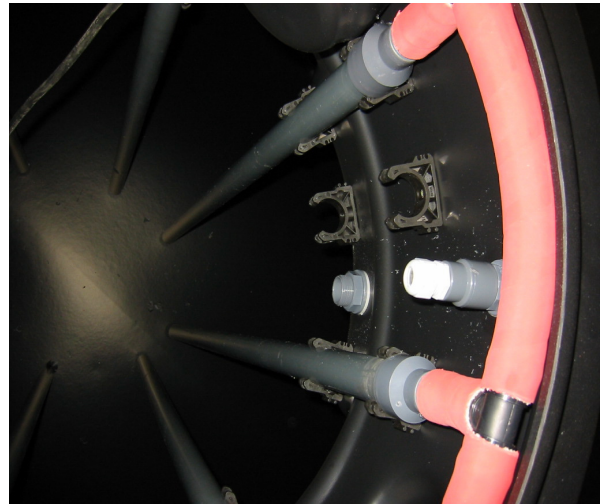


Abbildung 8: Eingebaute Halterung der Rohrbelüfter mit Luftverteilung

Die Tauchmotorpumpen der Firma DAB, werden ebenfalls an PVC-Rohr DN 40 befestigt und mit PVC-Klemmen am Behälter befestigt. Die Konstruktion ist in Abbildung 9 dargestellt.

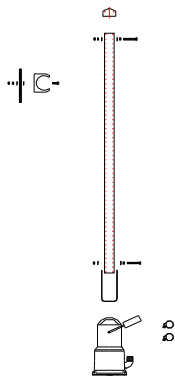


Abbildung 9: Bauteile zur Pumpenaufhängung

Nachfolgend ist eine vollständige Kläranlage, mit Brauchwasserspeicher, Desinfektionseinheit und Schlammstapelbehälter für 200 Einwohnerwerte dargestellt (Abbildung 10).

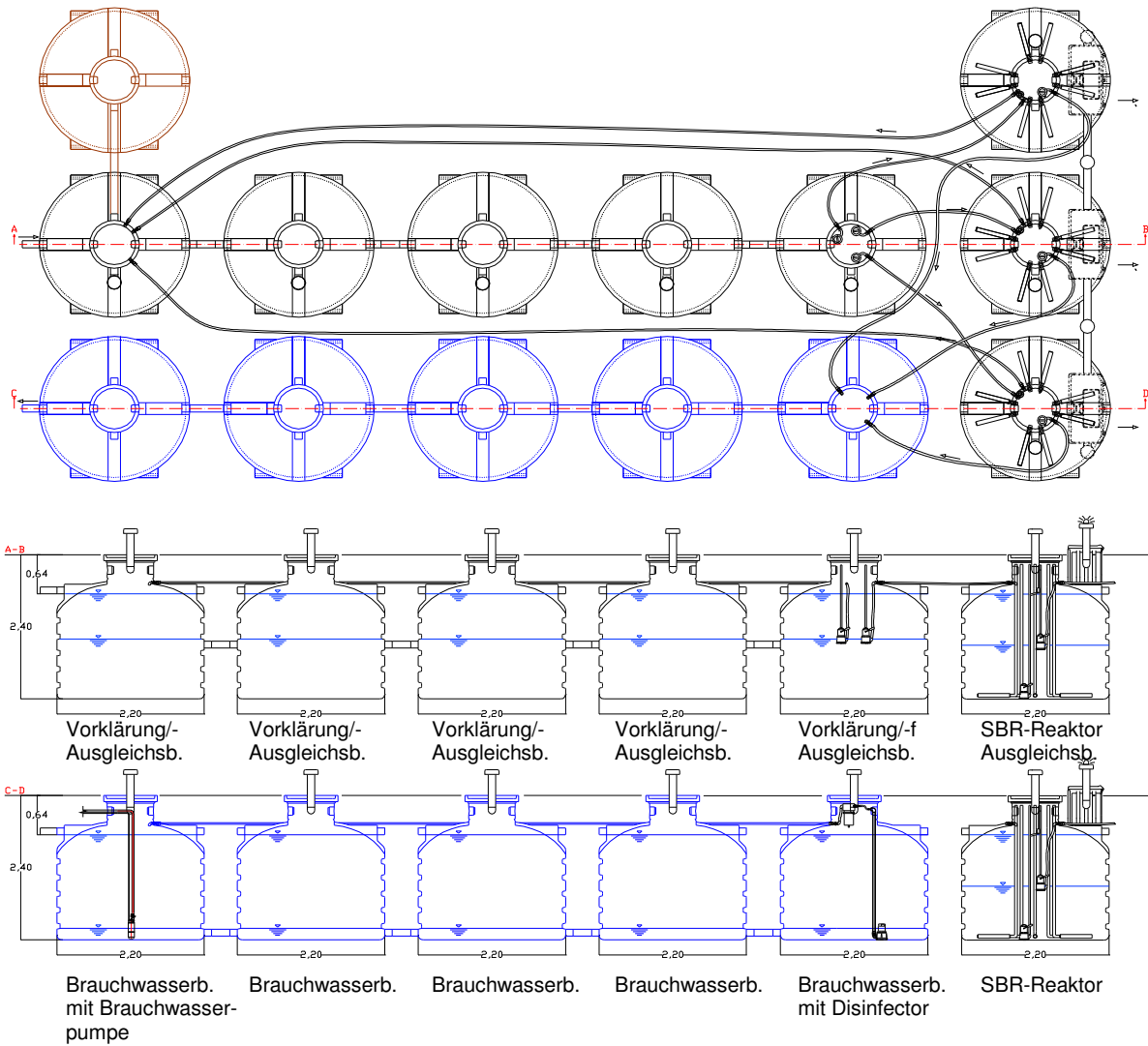


Abbildung 10: Kläranlage für 200 EW mit Brauchwasserspeicher und Schlammstapelbehälter

3 Anlagenoptimierung

Die bereits In Betrieb genommenen Anlagen sollen auf ihre Leistungsfähigkeit hin untersucht werden. Die Verfahrensweise soll so eingestellt werden, dass eine Stickstoffelimination möglich ist.

3.1 Verbesserung der technischen Komponenten

Beim Bau und der Inbetriebnahme der ersten Anlagen in Deutschland wurden zahlreiche technische Änderungen und Weiterentwicklungen durchgeführt. Ursprünglich wurde die Technik des ersten Prototyps in Kunststoffbauweise auf Anlagen in Deutschland in Betonbauweise 1:1 übertragen.

Besonders im Bereich der Luftverteilung und der Pumpenaufhängung hat sich gezeigt, dass zahlreiche Detailverbesserungen möglich sind. Die Belüfter wurden jeweils einzeln an Rohren am Domschacht befestigt. Die Abwicklung des Domschachtes mit den Technikkomponenten, wie er bisher realisiert wurde, ist in Abbildung 11 dargestellt. Der Anschluss dieser Rohre an dem Druckluftschlauch ist zum einen sehr umständlich (zeitintensiv) und zum anderenengt es den Querschnitt der Konusöffnung des Behälters stark ein.

Die Membranrohrbelüfter werden nun an einer Luftverteilung am Boden befestigt. Auch hier ergibt sich der Vorteil, dass das gesamte Element vormontiert werden kann und nur noch auf dem Behälterboden festgeschraubt werden muss.

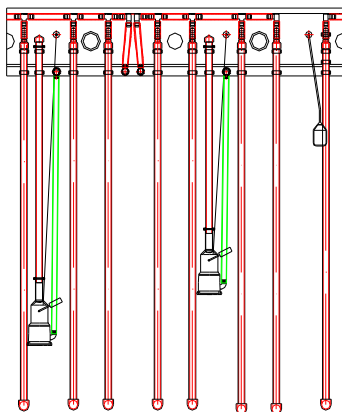


Abbildung 11: Abwicklung des Domschachtes der Kläranlage ClearWater in Kunststoffbauweise

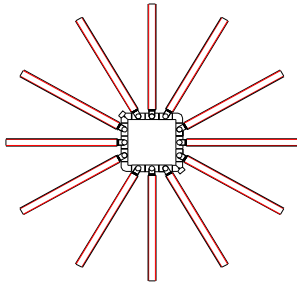


Abbildung 12: Bodenluftverteilung mit Membranrohrbelüftern nach erfolgter Optimierung

Die Pumpenaufhängung wurde ebenfalls komplett überarbeitet. Die Pumpen für Beschickung und Klarwasserabzug sind jeweils doppelt vorhanden. Hierdurch wird die Betriebssicherheit, Standzeit der Pumpen und Befüllung und Abzugszeiten verbessert. Die Pumpen werden in einer Rahmenhalterung befestigt. Diese lässt sich auf einem Gleitrohr mit einer Kette in beliebiger Höhe feststellen. Auch lassen sich die Pumpen nach oben zu Wartungszwecken herausnehmen.

Statt Pumpen mit eingebauten Schwimmerschaltern zu verwenden, wird nun ein externer Schwimmerschalter zur Erfassung des Ausschaltpunktes der Pumpe verwendet. Dieses hat den Vorteil, dass sich die Pumpe besser überwachen lässt. Die Verwendung von Pumpen mit eingebauten Schwimmerschaltern ist zwar kostengünstiger aber die Steuerung kann nicht erfassen, ob eine Pumpe nicht läuft, weil sie defekt ist, oder ob nur Wasser fehlt ist (z.B. bei Zyklen mit sehr geringem Zulauf).

Das System des Überschussschlammabzuges wurde ebenfalls überarbeitet. Ursprünglich wurde die Überschussschlammpumpe auf dem Behälterboden installiert. Die Berechnung der Laufzeit erfolgte proportional über die Laufzeit der Beschickungspumpe. Nun wird die Pumpe auf Höhe des berechneten Schlammspiegels nach der Sedimentationsphase aufgehängt. Es wird nur der Schlamm abgepumpt, der die Soll-Schlammspiegelinie überschreitet. Umstellungen des Überschlammbabzuges während der Einfahrphase sind so nicht mehr notwendig. Auch ist eine Anpassung bei Belastungsschwankungen nicht mehr notwendig.

Die überarbeitete Technik der Kläranlage ClearWater ist in Abbildung 13 dargestellt.

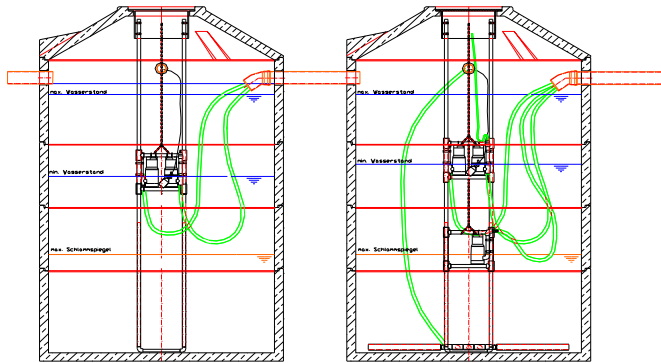


Abbildung 13: Detailzeichnung des letzten Vorklär-/Ausgleichsbehälters und des SBR-Reaktors der Kläranlage ClearWater.

Im Rahmen der Entwicklung der Kunststoffbauweise wurde die Steuerung zusammen mit dem Gebläse in einer Kunststoffbox untergebracht. Es hat sich aber am Prototyp in Syrien gezeigt, dass dieser keine ausreichende Stabilität gegen Erddruck besitzt, was vor allem zu Problemen bei der Dichtigkeit gegen eindringendes Wasser führte. Das Gebläse wird nun in einem Betonschacht mit 1000 mm Durchmesser untergebracht. Auf dessen flacher Abdeckung wird eine Freiluftsäule montiert, in der die Steuerung untergebracht ist (Abbildung 14).

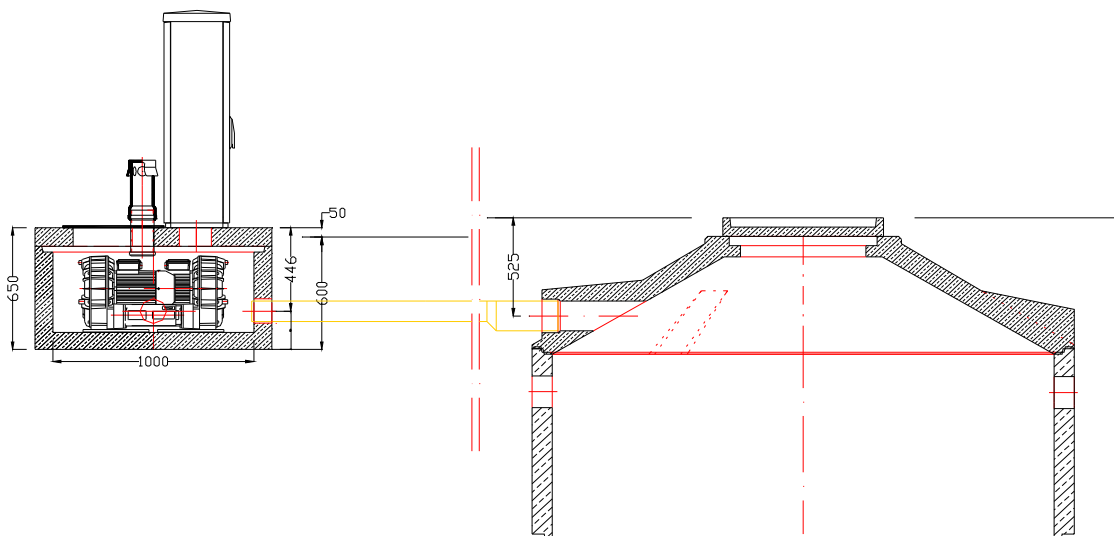


Abbildung 14: Steuerschacht der Kläranlage ClearWater mit Anschluss an den SBR-Reaktor

3.2 Verfahrenstechnische Änderungen

Die Software der Kläranlage war ursprünglich nur für Kläranlagen mit reiner Kohlenstoffelimination entwickelt worden. Für die Denitrifikation mussten einige Änderungen vorgenommen werden.

Voraussetzung für die Denitrifikation sind Zeiträume während der Reaktionsphase in denen kein gelöster Sauerstoff vorhanden ist. Gleichzeitig muss der belebte Schlamm

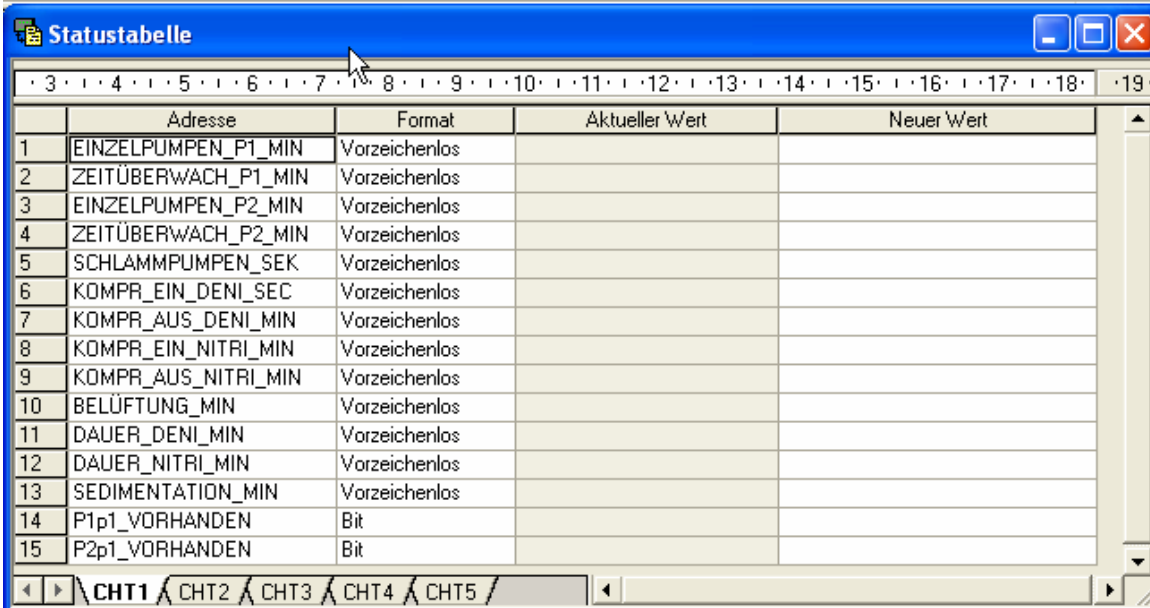
durchmischt werden. Auf die Installation eines Rührwerkes soll nach Möglichkeit aus Kostengründen verzichtet werden.

In der bisher entwickelten Software wird während der 4,5 Stunden Reaktionsphase die Belüftung taktweise ein- und ausgeschaltet, so dass ständig ausreichend Sauerstoff vorhanden ist. Bei der neu erstellten SPS-Software wird die Reaktionsphase in Denitrifikations- und Nitrifikationsphasen unterteilt. Die Dauer und somit die Anzahl der Nitri/Deni-Phasen kann beliebig in der Software eingestellt werden. Die Reaktionsphase beginnt mit einer Denitrifikationsphase.

Während der Denitrifikationsphase werden kurze Belüftungsstöße im Bereich weniger Sekunden in das Belebungsbecken gegeben, danach folgen mehrere Minuten Ruhe. Erste Versuche an der Kläranlage in Kartlow haben gezeigt, dass mit kurzen Belüftungsstößen von 4 Sekunden alle 10 Minuten kein messbarer Sauerstoffeintrag erfolgt und dass der belebte Schlamm ausreichend durchmischt wird.

Während der Nitrifikationsphase erfolgt die Belüftung. Um den Sauerstoffgehalt nicht zu hoch steigen zu lassen, kann auch hier wieder eine Taktung erfolgen, z.B. 10 Minuten ein und 5 Minuten aus.

Zudem wurde die Bedienung der SPS-Software verbessert. Mit der neuen Version ist es möglich, die Einstellzeiten, die für jede Anlage verschieden sind, über eine Statustabelle einzugeben. Vorher mussten diese Zeiten direkt im Quellcode des Programms geändert werden.



	Adresse	Format	Aktueller Wert	Neuer Wert
1	EINZELPUMPEN_P1_MIN	Vorzeichenlos		
2	ZEITÜBERWACH_P1_MIN	Vorzeichenlos		
3	EINZELPUMPEN_P2_MIN	Vorzeichenlos		
4	ZEITÜBERWACH_P2_MIN	Vorzeichenlos		
5	SCHLAMMPUMPEN_SEK	Vorzeichenlos		
6	KOMPR_EIN_DENI_SEC	Vorzeichenlos		
7	KOMPR_AUS_DENI_MIN	Vorzeichenlos		
8	KOMPR_EIN_NITRI_MIN	Vorzeichenlos		
9	KOMPR_AUS_NITRI_MIN	Vorzeichenlos		
10	BELÜFTUNG_MIN	Vorzeichenlos		
11	DAUER_DENI_MIN	Vorzeichenlos		
12	DAUER_NITRI_MIN	Vorzeichenlos		
13	SEDIMENTATION_MIN	Vorzeichenlos		
14	P1p1_VORHANDEN	Bit		
15	P2p1_VORHANDEN	Bit		

Abbildung 15: Statustabelle des SPS-Programmes zur Steuerung der Kläranlage ClearWater

Weiterhin wurde das Verhalten der Steuerung bei Stromausfällen oder Ausschalten des Hauptschalters der Kläranlage geändert. Die SPS wird nun durch eine Batterie gepuffert. Kurzzeitige Stromausfälle führte so nicht mehr zu einem Neustart des Programm-

zyklusses. Dieses hatte beim Betrieb der Kläranlage in Syrien zu Problemen geführt. Mehrfache Stromausfälle innerhalb eines Tages führten jeweils zu einem Programmneustart.

3.3 In Betrieb genommenen Anlagen

Im Rahmen des Projektes wurden in Deutschland 3 Anlagen in Betrieb genommen und die Technikkomponenten für eine Kläranlage nach Turkmenistan geliefert.

	Anschlussgröße	In Betriebsname
Kitlitz	83 EW	05.08.2003
Katlow	120 EW	09.10.2003
Massow	190 EW	15.12.2003
Turkmenistan	500 EW	-.

3.3.1 Kitlitz

Die Kläranlage in Kitlitz, bei Lübbenau, reinigt das Abwasser aus einer Schule für behinderte Kinder, mit angeschlossenen Internat. Von 7:30 Uhr bis 15:00 Uhr sind 150 Personen anwesend, außerhalb dieser Zeit 30 Personen. In den Ferien sind 35 Personen angeschlossen. Eine Küche ist vorhanden, jedoch wird das Mittagessen angeliefert. Das Abwasser aus dem zur Schule gehörenden Schwimmbecken wird direkt dem Vorfluter zugeführt. Die Kläranlage ersetzt in Kitlitz eine alte Mehrkammergrube. Für den Betrieb der Anlage ist der Hausmeister vor Ort verantwortlich. In Tabelle 4 sind die technischen Daten der Anlage aufgeführt.

Tabelle 4: Kennwerte der Kläranlage in Kitlitz, Internat-Schule

Baugröße	EW	83
Inbetriebnahme		05.08.03
Behälter		
Vorklärung/Ausgleichsv./Schlammsp.	Stück	2
Schlammstapelbehälter	Stück	-
SBR-Reaktoren	Stück	1
Raumvolumen		
Vorklärung	m ³	5,0
Ausgleichsvolumen	m ³	9,3
Schlamm Speicher	m ³	5,0
Summe Vorklärung + Ausgleichsvolumen + Schlamm Speicher	m ³	19,3
SBR-Reaktorvolumen	m ³	16,1
Klärtechnische Kennwerte		
BSB ₅ -Tagesfracht	Kg BSB ₅ /d	5,0
Bemessungsschlammalter	D	16,4
Überschussschlammproduktion	kg/d	3,02
Erforderliches SBR-Reaktorvolumen	m ³	14,7
Gebälseleistung	kW	1,5
Betriebskosten		
Energieverbrauch	kWh/a	4.376
Jährliche Energiekosten (0,13 €/kWh)	€/a	569
Jährliche Betriebskosten (inkl. Energie)	€/a	2.104

Abbildung 16 zeigt den Schnitt der Anlage in Kitlitz. Die Technik wurde zwischenzeitlich in einem Betonschacht mit einem Durchmesser vom 1,00 m untergebracht, auf dem eine Freiluftssäule montiert wurde. Es hatte sich gezeigt, dass die zuvor verwendete Kunststoffbox keine ausreichende Stabilität besitzt.

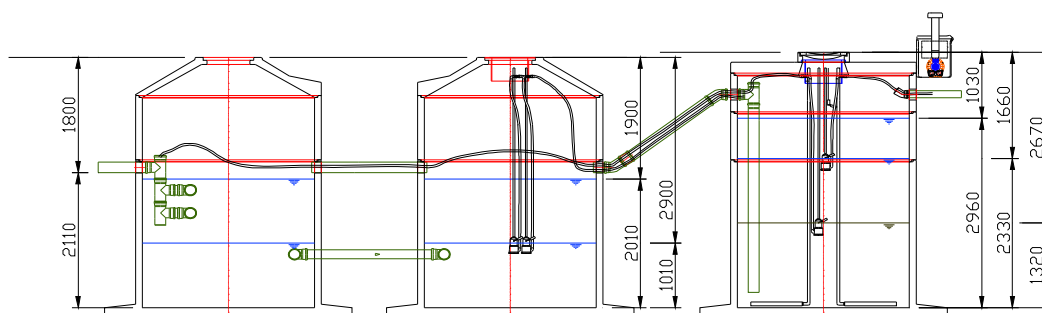


Abbildung 16: ClearWater Kläranlage CW 83-T in Kitlitz

3.3.2 Katlow

An der Kläranlage in Katlow ist das gesamte Dorf Katlow, nahe Wismar, angeschlossen. Zur Zeit sind an der Kläranlage, die für 120 EW ausgelegt ist lediglich 40 - 60 EW angeschlossen. Bisher hatte jedes Haus eine eigene Mehrkammerabsetzgrube, nach

Anschluss aller Häuser an die neue Kanalisation werden ca. 100 EW an die Kläranlage angeschlossen sein. Tabelle 5 zeigt die Kennwerte der Anlage.

Tabelle 5: Kennwerte der Kläranlage Katlow

Baugröße	EW	120
Inbetriebnahme		09.10.03
Behälter		
Vorklärung/Ausgleichsv./Schlammsp.	Stück	2
Schlammstapelbehälter	Stück	1
SBR-Reaktoren	Stück	1
Raumvolumen		
Vorklärung	m ³	5,5
Ausgleichsvolumen	m ³	13,5
Schlamm Speicher	m ³	6,0
Summe Vorklärung + Ausgleichsvolumen + Schlamm Speicher	m ³	25,0
SBR-Reaktorvolumen	m ³	21,7
Klärtechnische Kennwerte		
BSB ₅ -Tagesfracht	kg BSB ₅ /d	7,2
Bemessungsschlammalter	d	16,4
Überschussschlammproduktion	kg/d	4,36
Erforderliches SBR-Reaktorvolumen	m ³	21,2
Gebälseleistung	kW	1,4
Betriebskosten		
Energieverbrauch	kWh/a	6.083
Jährliche Energiekosten (0,13 €/kWh)	€/a	791
Jährliche Betriebskosten (inkl. Energie)	€/a	2.891

Die Kläranlage besitzt einen zusätzlichen Schlammstapelbehälter, in den der sich in der in der Vorklärung abgesetzter Schlamm gefördert wird. Zur einfachen Schlamm entsorgung wurden Entnahmerohre mit Anschlussstutzen installiert. Die Anlage ist in Abbildung 17 im Schnitt dargestellt, Abbildung 19 zeigt ein Foto der eingebauten Anlage.

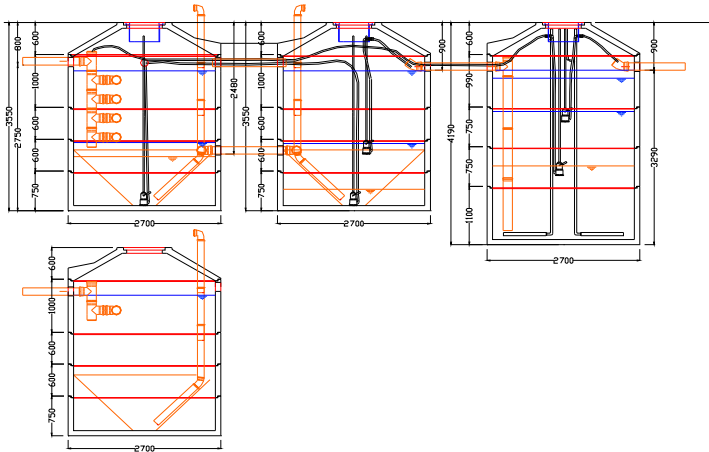


Abbildung 17: ClearWater Kläranlage CW 120-B in Katlow

3.3.3 Massow

An der Kläranlage in Massow ist eine Rehabilitationsklinik mit 70 Zimmern angeschlossen, die Zimmer besitzen Hotelstandard. Eine Küche ist vorhanden. Die radioaktiv belasteten Abwässer aus der Röntgenstation werden getrennt entsorgt. Darüber hinaus gibt es keine weiteren nennenswerten medizinischen Einrichtungen bei denen Abwässer anfallen. Nach Aussage der Klinikleitung liegt der übliche Wasserverbrauch der Klinik nur bei $10 \text{ m}^3/\text{d}$, was einem Wasserverbrauch von 140 l/Patient entsprechen würde, was außergewöhnlich niedrig ist. Ausgelegt ist die Anlage auf $28,5 \text{ m}^3/\text{d}$.

Die technischen Daten der Kläranlage sind in Tabelle 6 aufgeführt. Die Anlage ist zweistrassig ausgeführt; die beiden SBR-Reaktoren werden zeitversetzt angesteuert. Abbildung 20 zeigt ein Foto der eingebauten Anlage. Das gereinigte Abwasser wird auf dem Gelände der Rehabilitationsklinik einer offenen Sickermulde zugeleitet.

Tabelle 6: Kennwerte der Kläranlage der Rehabilitationsklinik Massow

Baugröße	EW	190
Inbetriebnahme		15.12.03
Behälter		
Vorklärung/Ausgleichsv./Schlammsp.	Stück	3
Schlammstapelbehälter	Stück	-
SBR-Reaktoren	Stück	2
Raumvolumen		
Vorklärung	m ³	5,7
Ausgleichsvolumen	m ³	17,8
Schlamm Speicher	m ³	8,0
Summe Vorklärung + Ausgleichsvolumen +Schlamm Speicher	m ³	31,5
SBR-Reaktorvolumen	m ³	34,1
Klärtechnische Kennwerte		
Tageswassermenge	m ³ /d	28,5
BSB ₅ -Tagesfracht	kg BSB ₅ /d	20,0
Bemessungsschlammalter	d	5,0
Überschussschlammproduktion	kg/d	14,43
Erforderliches SBR-Reaktorvolumen	m ³	33,6
Gebälseleistung	kW	2 x 1,5
Betriebskosten		
Energieverbrauch	kWh/a	7.566
Jährliche Energiekosten (0,13 €/kWh)	€/a	984
Jährliche Betriebskosten (inkl. Energie)	€/a	3.502

3.3.4 Turkmenistan

Nach Turkmenistan wurde die technische Ausstattung einer Kläranlage für 500 EW ausgeliefert. Die Erstellung eines Betonbehälters vor Ort verzögert sich allerdings. Die Inbetriebnahme ist für Mitte Mai 2004 geplant.

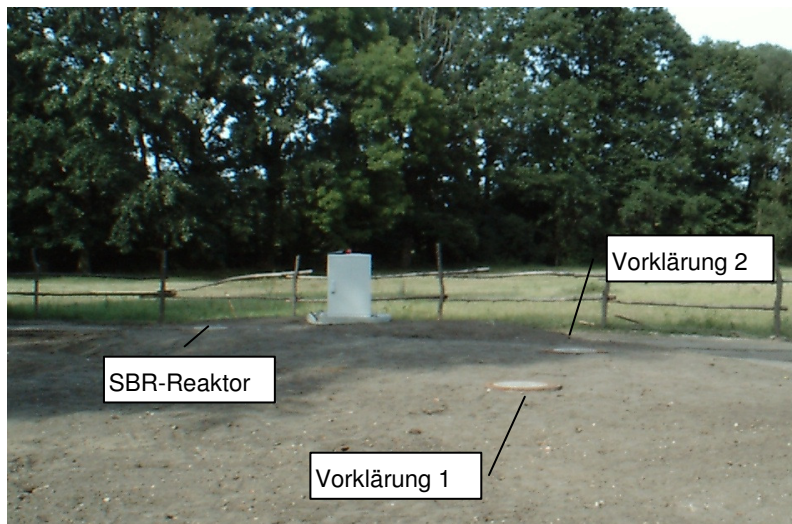


Abbildung 18: Kläranlage 83-T in Kitlitz

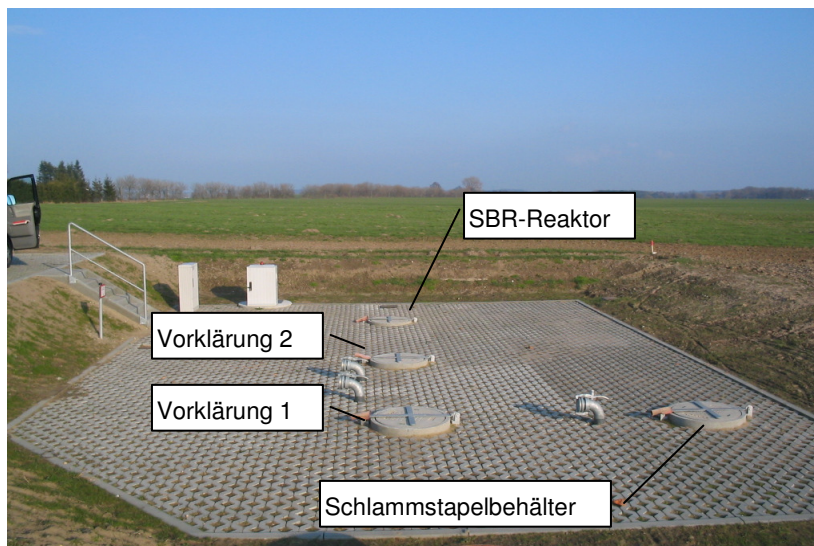


Abbildung 19: Kläranlage CW-120B in Katlow

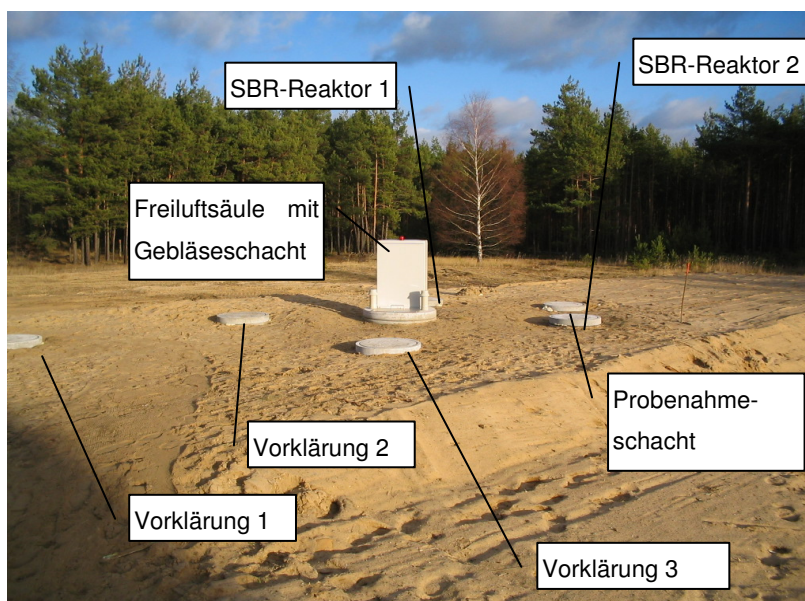


Abbildung 20: Kläranlage CW 190-B in Massow

3.4 Leistungsfähigkeit der eingebauten Anlagen

3.4.1 Kitlitz (Internats-Schule)

Die Kläranlage an der Förderschule Kitlitz wurde am 05.08.2003 ohne Animpfung in Betrieb genommen. Die Anlage wird von einem Studenten der Fachhochschule Lausitz betreut, der seine Diplomarbeit über die Optimierung der ClearWater-Kläranlagen schreibt.

Tabelle 7: Auszug aus dem Betriebstagebuch der Kläranlage in Kitlitz

Datum	Zulauf				Ablauf							Reaktor SV [ml/l]	
	CSB [mg/l]	BSB ₅ [mg/l]	NH ₄ -N [mg/l]	PO ₄ -P [mg/l]	CSB [mg/l]	BSB ₅ [mg/l]	NH ₄ -N [mg/l]	NO ₃ -N [mg/l]	PO ₄ -P [mg/l]	pH- Wert	T [C°]		
19.08.03	358	260			201,0	85							0,0
25.08.03	484	260			102,0	20				8,0	26,0		8,0
01.09.03	143	30			Messfehler					8,4	21,1		32,0
10.09.03	205	33			15	10				7,7	20,1		55,0
17.09.03	356				84,0	10							70,0
24.09.03	670	230			91,4	11				8,0	22,4		160,0
02.10.03	672	450			69,4	10				7,5	18,4		195,0
09.10.03	Messfehler				< 15	11				7,9	17,2		240,0
22.10.03	580	260			60,9	9				7,8	11,5		200,0
04.11.03					57,2		< 2	48,8		7,9	16,9		150,0
04.11.03					49,2		< 2	57,5		7,4	16,8		150,0
26.11.03		410				6							
02.12.03	510		36,1	7,88	41,5		0,061	28,5	6,86	8,0			360,0
15.12.03					55,3		<0,015	23,6	5,06				
16.12.03	351		0,338	8,33	61,8		1,44	1,04	5,91				

Wenn die ersten 4 Wochen als Einfahrphase unberücksichtigt bleiben, ergibt sich ein durchschnittlicher CSB-Ablaufwert von 51 mg/l, bei einem durchschnittlichen CSB im Zulauf von 523 mg/l. Das entspricht einem Wirkungsgrad von 90 %.

3.4.2 Katlow (Dorf, 120 EW)

Die Kläranlage in Katlow wurde am 09.10.2003 in Betrieb genommen. Zu Beginn des Betriebes war die Reinigungsleistung der Anlage zufriedenstellend. Die Untersuchung einer Stichprobe des Ablaufes Ende November 2003 durch den Betreiber, den Zweckverband Wismar, ergab einen CSB von 27 mg/l (Kordes, 2004).

Nach mehreren Wochen Betrieb stellte der Betreiber sehr starke Schwimmschlammentwicklung im SBR-Reaktor der Anlage festgestellt. Am 02.03.2004 wurde eine Probe des belebten Schlammes und eine Probe aus dem 2. Vorklärbehälter untersucht im Labor der Fachhochschule Lippe und Höxter untersucht: Es war deutlich erkennbar das die Schwimmschlamm-Bildung durch eine unkontrollierte Denitrifikation hervorgerufen wurde. In der Vorklärprobe wurde zudem hohe Stickstoff-Konzentrationen festgestellt:

NH ₄ -N	129 mg/l
NO ₃ -N	2,18 mg/l
TN _b	176 mg/l

Die wilde Denitrifikation konnte auftreten, da die neue Software mit Nitri-/ und Denitrifikationsphasen sich noch in der Testphase befand und noch nicht auf der Anlage installiert war worden. Nach dem Update der Software meldete der Betreiber, dass der Schwimmschlamm fast vollständig verschwunden war.

3.4.3 Massow (Rehabilitationsklinik)

Die Kläranlage in Massow wurde am 15.12.2003 in Betrieb genommen. Zur Inbetriebnahme wurden die beiden SBR-Reaktoren mit je 5 m³ belebtem Schlamm mit einem TS Gehalt von 6 g/l angeimpft. Die 3 Vorklärbehälter waren schon vollständig mit Rohwasser gefüllt.

Vierundzwanzig Stunden nach der Inbetriebnahmen wurden im 2. SBR-Reaktor folgende Werte ermittelt.

Schlammvolumen	160 ml/l
TS-Gehalt	1,8 g/l
ISV	89 ml/g
oTS	26 %

Die Untersuchung einer Stichprobe aus dem Ablauf ergab folgende Ergebnisse:

CSB	65,0 mg/l
BSB ₅	22,0 mg/l
NH ₄ -N	14,6 mg/l
NO ₃ -N	16,7 mg/l
P _{ges}	< 2 mg/l
pH-Wert	6,7 mg/l

Tabelle 8 enthält einen Auszug aus dem Betriebstagebuch der Anlage in Massow. Eine ausreichende Kohlenstoffelimination der Anlage war vom Beginn an vorhanden.

Es gab Anfang Februar 2004 noch Softwareprobleme mit der Synchronisation der beiden SBR-Reaktoren. Diese wurden nicht gleichmäßig beschickt, so dass ein Reaktor ständig

hoch belastet wurde, während der andere nur sehr wenig oder teilweise gar nicht beschickt wurde. Dieses wurde durch ein Softwareupdate behoben.

Tabelle 8: Auszug aus dem Betriebstagebuch der ClearWater-Kläranlage in Massow

Datum	Zulauf		Ablauf							
	CSB [mg/l]	BSB ₅ [mg/l]	CSB [mg/l]	BSB ₅ [mg/l]	NH ₄ -N [mg/l]	NO ₃ -N [mg/l]	NO ₂ -N [mg/l]	PO ₄ -P [mg/l]	pH-Wert	T [C°]
16.12. 03			65,0		14,6	16,7		< 2	6,7	
14.01. 04	429	320	54,8	34						7,2
30.01. 04	509	310	84,0	20						9,3

3.5 Optimierung der Anlagen auf Denitrifikation

Ziel ist es, ClearWater-Kläranlagen so zu optimieren, dass eine Stickstoffelimination möglich ist. Voraussetzung für die Nitrifikation ist ein ausreichend hohes Schlammalter und für die Denitrifikation Phasen mit anoxischen Bedingungen.

Die klärtechnische Berechnung der ClearWater-Kläranlagen wurde ursprünglich über die Schlammbelastung nach dem ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 122 „Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von kleinen Kläranlagen mit aerober biologischer Reinigungsstufe für Anschlusswerte zwischen 50 und 500 Einwohnerwerten“ (ATV-DVWK, 1991) gerechnet. Um das erforderliche Volumen aus Kostengründen möglichst gering zu halten, wurde die BSB₅-Schlammbelastung mit $B_{TS} = 0,1 \text{ kg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ gewählt, statt wie empfohlen mit $B_{TS} \leq 0,05 \text{ kg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$.

Wie bereits erwähnt müssen Anlagen, die in Deutschland genehmigungsfähig sind, dem Stand der Technik entsprechen. Daraus ergibt sich, dass die Kläranlage nach den einschlägigen ATV-DVWK Arbeitsblättern bemessen werden muss. Daher wird die klärtechnische Berechnung auf Grundlage des ATV-DVWK Arbeitsblattes A 131 „Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen“ (ATV-DVWK, 2000) überarbeitet.

3.5.1 Überarbeitung der klärtechnischen Berechnung

Die zur Bemessung notwendigen Schmutzfrachten werden dem ATV-DVWK Arbeitsblatt A 131 entnommen (Tabelle 9).

Tabelle 9: Einwohnerspezifische Frachten in g/(E•d), die an 85 % der Tage unterschritten werden (ATV-DVWK-A 131)

Parameter	Rohabwasser	Durchflusszeit in der Vorklärung bei Q_T	
		0,5 bis 1,0 h	1,5 bis 2,0 h
BSB ₅	60	45	40
CSB	120	90	80
TS	70	35	25
TKN	11	10	10
P	1,8	1,6	1,6

Mit einer Tageswassermenge von 150 l/(E•d) ergeben sich Zulaufkonzentrationen, wie sie in Tabelle 10 aufgeführt sind. Die Aufenthaltszeit in der Vorklärung/Ausgleichsbehälter beträgt 24 Stunden, entsprechend wird mit den Werten der Spalte der Tabelle 9 weitergerechnet.

Tabelle 10: Aus ATV-DVWK-A 131 und der Wassermenge abgeleitete Zulaufkonzentrationen

Parameter	Rohabwasser [mg/l]	Zulauf SBR-Reaktor [mg/l]
BSB ₅	400	267
TS	467	167
TKN	73	67
P	12	11

Für die Festsetzung des aeroben Bemessungsschlammalters müssen 3 Fälle unterschieden werden:

a) Anlagen ohne Nitrifikation (reine Kohlenstoffelimination)

Nach dem ATV-DVWK Arbeitsblatt A 131 (ATV-DVWK, 2000) sind Belebungsanlagen ohne Nitrifikation für ein Schlammalter von 4-5 Tagen zu bemessen. Für die Bemessung der ClearWater Kläranlagen wird das Schlammalter $t_{TS,aerob,Bem} = 5$ d festgelegt.

b) Anlagen mit Nitrifikation

Das aerobe Schlammalter für Anlagen mit Nitrifikation berechnet sich nach der Formel:

$$t_{TS,aerob,Bem} = SF \cdot 3,4 \cdot 1,103^{(15-T)}$$

SF = Sicherheit gegenüber Schwankungen der Zulauffrachten, gemäß der Empfehlung des ATV-DVWK Arbeitsblattes A 131, SF = 1,8

T = Bemessungstemperatur für die Nitrifikation, in der Regel wird mit 12 °C gerechnet.

$$t_{TS,aerob,Bem} = 1,8 \cdot 3,4 \cdot 1,103^{(15-12)} = 8,2 \text{ Tage}$$

Das Schlammalter für Anlagen mit Nitrifikation muss also mindestens 8,2 Tage betragen.

c) Anlagen mit Nitrifikation und Denitrifikation

Soll die Kläranlage auf Stickstoffelimination ausgelegt werden, so ist der erforderliche Denitrifikationsanteil des Belebungsbeckens zu bestimmen. Wird die Kläranlage nur auf Kohlenstoffelimination oder Nitrifikation ausgelegt, so ist der Denitrifikationsanteil (V_D/V_{BB}) gleich Null anzusetzen.

Zur Ermittlung des Denitrifikationsanteils am Gesamtbelebungsbecken wird zunächst mittels einer Stickstoffbilanz die zu denitrifizierende Stickstoffmenge $S_{NO_3,D}$ berechnet (ATV-DVWK A 131, 2000)

$$S_{NO_3,D} = C_{N,ZB} - S_{orgN,AN} - S_{NH_4,AN} - S_{NO_3,AN} - X_{orgN,BM}$$

$C_{N,ZB}$ = Konzentration des Gesamtstickstoffs im Zulauf der Belebungsanlage, in der homogenisierten Probe als N. Entspricht dem TKN im Zulauf zum SBR-Reaktor, $C_{N,ZB} = 0,01 \text{ kg/d}$, bzw. 67 mg/l

$S_{orgN,AN}$ = Konzentration des organischen Stickstoffs im Ablauf. Es wird $S_{orgN,AN} = 2 \text{ mg/l}$ angenommen.

$S_{NH_4,AN}$ = Konzentration des Ammoniumstickstoffs in der filtrierten Probe als N, im Ablauf. Es wird zu Erhöhung der Sicherheit in der Regel $S_{NH_4} = 1 \text{ mg/l}$ angenommen.

$S_{NO_3,AN}$ = Konzentration des Nitratstickstoffes in einer filtrierten Probe im Ablauf. Auf einem Ablaufwert $S_{NO_3} = 12 \text{ mg/l}$ wird die Anlage ausgelegt.

$X_{orgN,BM}$ = In der Biomasse eingebauter Stickstoff wird mit $0,05 \cdot C_{BSS,ZB}$ angesetzt. Daraus folgt, dass $0,05 \cdot 267 = 13 \text{ mg/l}$ Stickstoff in der Biomasse eingebaut wird.

Pro EW müssen also

$$S_{NO_3,D} = 67 \text{ mg/l} - 2 \text{ mg/l} - 1 \text{ mg/l} - 12 \text{ mg/l} - 13 \text{ mg/l} = 39 \text{ mg/l}$$

39 mg/l denitrifiziert werden, oder als Tagesfracht pro Einwohner ausgerückt $39 \text{ mg/l} / 1000 \cdot 0,15 \text{ m}^3/\text{d} = \mathbf{0,006 \text{ kg/(E}\cdot\text{d)}$.

Die Denitrifikationskapazität $S_{NO_3,D}/C_{BSS,ZB}$ kann daraus wie folgt berechnet werden:

$$S_{NO_3,D}/C_{BSS,ZB} = 0,006 \text{ kg/d} / 0,04 \text{ kg/d} = \mathbf{0,15}$$

Mit diesem Wert wird aus der Tabelle 3 des ATV-DVWK Arbeitsblattes A 131 das Verhältnis des Denitrifikationsanteils am Gesamtbelebungsbecken $V_D/V_{BB} = \mathbf{0,5}$ abgelesen.

Für die Nitrifikation und Denitrifikation wird das Bemessungsschlammalter nur auf den aeroben Anteil bezogen, daraus ergibt sich das Bemessungsschlammalter wie folgt:

$$t_{TS,Bem} = SF \circ 3,4 \circ 1,103^{(15-T)} \frac{1}{1 - (V_D / V_{BB})}$$

$$t_{TS,Bem} = 1,8 \circ 3,4 \circ 1,103^{(15-12)} \frac{1}{1 - 0,5}$$

$$t_{TS,Bem} = 16,4$$

Das Schlammalter für Anlagen mit Stickstoffelimination muss damit mindestens 16,4 Tage betragen.

Berechnung der Überschussschlammproduktion

Der in der Belebungsanlage produzierte Schlamm setzt sich zusammen aus der beim Abbau organischer Stoffe entstehenden Bakterienmasse und eingelagerten Feststoffen sowie dem aus der Phosphorelimination resultierenden Schlamm zusammen.

Der Schlammanfall aus der Kohlenstoffelimination kann nach folgender empirischer Gleichung berechnet werden:

$$\ddot{U}S_{C,BSB} = B_{d,BSB} \circ \left(0,75 + 0,6 \circ \frac{X_{TS,ZB}}{C_{BSB,ZB}} - \frac{(1 - 0,2) \circ 0,17 \circ 0,75 \circ t_{TS} \circ F_R}{1 + 0,17 \circ 0,75 \circ t_{TS} \circ F_R} \right)$$

$B_{d,BSB}$ = tägliche BSB₅ Fracht

$X_{TS,ZB}$ = Konzentration der mit 45 µm Membranfilter abfiltrierbaren Stoffe nach Trocknung bei 105 °C. Nach Tabelle 10 $X_{TS,ZB} = 167$ mg/l

$C_{BSB,ZB}$ = Konzentration des CSB in einer homogenisierten Probe in Zulauf zur Belebung.
 $C_{BSB,ZB} = 0,08$ kg/E·d / $1000 \cdot 0,15$ m³/E·d = 533 mg/l

F_T = Temperaturfaktor für die endogene Veratmung, $F_T = 1,072^{(T-15)}$. Für 12 °C ist $F_T = 0,8117$

Die spezifische Schlammproduktion kann ebenfalls aus dem ATV-DVWK Arbeitsblatt A 131 entnommen werden (Tabelle 5 des Arbeitsblattes).

Die biologische Phosphorelimination durch den heterotrophen Zellaufbau der Biomasse wird mit

$\ddot{U}S_{d,P} = 0,2 \cdot B_{d,BSB5}$ angesetzt.

Für einen Einwohner beträgt die spezifische Schlammproduktion somit $\ddot{U}S_{d,P} = 0,2 \cdot 0,04 = 0,0008$ kg TS/d.

Der tägliche Überschussschlammfall ergibt sich aus den beiden Anteilen:

$$\ddot{U}S_d = \ddot{U}S_{d,C} + \ddot{U}S_{d,P}$$

Berechnung des Belebungsbeckenvolumens

Die erforderliche Biomasse im Belebungsbeckens berechnet sich wie folgt:

$$M_{TS, BB} = t_{TS, BEM} \cdot \ddot{U}S_d$$

Das Volumen des Belebungsbeckens errechnet sich folgendermaßen:

$$V_{BB} = \frac{M_{TS, BB}}{TS_{BB}}$$

Der Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken wird auf 4,5 g/l festgelegt. Da der erreichbare Trockensubstanzgehalt in einer SBR-Kläranlage nicht von der Leistungsfähigkeit einer Nachklärung (wie bei klassischem Belebungsverfahren) abhängig ist und aufgrund von positiven Erfahrungen aus dem Betrieb eines Prototyps (Austermann-Haun, 2002) wird der Trockensubstanzgehalt höher als üblich angesetzt.

Mit den hier angenommenen Standardwerten ergibt sich für eine Anlage mit Nitri- und Denitrifikation eine Größe des Belebungsbeckens pro Einwohner von **0,133 m³/E**.

Ermittlung des erforderlichen SBR-Reaktorvolumens

Beim SBR-Verfahren findet die Sedimentationsphase zeitlich getrennt von der Reaktionsphase statt. Das Volumen des Reaktors ist um das Verhältnis zu vergrößern, welches die Sedimentationsphase im Zyklus einnimmt:

$$V_{R, SBR} = \frac{1}{24} \circ \frac{V_{BB}}{24 - (m_z \circ t_{sed})}$$

m_z = Zyklen pro Tag. Bei unseren Kläranlagen sind dieses in der Regeln 4 Stück.

T_{sed} = Dauer der Sedimentationsphase, $t_{sed} = 1,5$ h

Daraus ergibt sich ein erforderliches Volumen des SBR-Reaktors für einen Einwohner (bei Kohlenstoffelimination) von

$$V_{R, SBR} = \frac{1}{24} \circ \frac{0,133}{24 - (4 \circ 1,5)}$$

$$V_{R, SBR} = 0,177 \text{ m}^3 / E$$

Das Volumen des SBR-Reaktor muss mindesten **0,177 m³/E** betragen.

Raum- und Schlammbelastung

Die Raumbelastung und die Schlammbelastung einer SBR-Anlage dürfen nur im Bezug auf die Reaktionsphase berechnet werden. Diese berechnen sich wie folgt:

$$B_R = \frac{BSB_{5,d}}{V_{BB}}$$

$$B_{TS} = \frac{B_R}{TS_{BB}}$$

Es ergibt sich eine Schlammbelastung von 0,3 kgBSB₅/(m³•d) und eine Raumbelastung von 0,06 kgBSB₅/(kgTS•d)

Schlammengen, Schlammhöhen

Der Schlammvolumenindex wird auf der sicheren Seite liegend mit ISV = 100 ml/g angenommen. Beim SBR-Verfahren entsteht durch die unterschiedlichen Schlammbelastungen ein Schlamm mit sehr guten Absetzeigenschaften, der üblicherweise deutlich unter 100 ml/g liegt.

Die Schlammhöhe nach der Sedimentationsphase kann aus den Schlammvolumenindex, Trockensubstanzgehalt und der Wassertiefe h_w wie folgt berechnet werden:

$$h_{\text{schlamm, sed}} = h_w \circ \frac{TS_{BB} \circ ISV}{1000}$$

Die täglich abzuziehende Überschussschlammmenge kann durch die Annahme des Trockensubstanzgehaltes des Rücklaufschlammes (TS_{RS}) berechnet werden, angenommen mit $TS_{RS} = 10$ g/l.

$$Q_{RS,d} = \ddot{U}S_d / TS_{RS}$$

3.5.2 Aufstellung eines neuen Typenprogramms zur Stickstoffelimination

Auf Grundlage der oben durchgeführten klärtechnischen Berechnung wird für Anlagen mit gezielter Stickstoffelimination ein neues Typenprogramm aufgestellt (Kunststoffbauweise). Das neue Typenprogramm ist in Tabelle 11 dargestellt. Für eine Kläranlage mit N-Elimination für 120 EW werden 3 Vorklär-/Ausgleichsbehälter und 3 SBR-Reaktoren mit jeweils 6 m³ benötigt. Zum Vergleich, bei der ursprünglichen Variante ohne gezielte N-Elimination, sind nur 2 SBR-Reaktoren notwendig gewesen für 125 EW (Tabelle 2).

Tabelle 11: Typenprogramm zur Stickstoffelimination der Kläranlage ClearWater in Kunststoffbauweise

Typ		25	40	80	120	160
Anschlussgrösse	EW	27	41	82	122	163
Behälteranzahl						
Vorklärung/Pufferbehälter	Stück	1	1	2	3	4
SBR-Reaktor	Stück	1	1	2	3	4
Raumgrößen						
Vorklärung/Ausgleichsvolumen	m ³	4	6	12	18	24
SBR-Reaktorvolumen	m ³	4	6	12	18	24

3.5.3 Untersuchung der verfahrenstechnischen Änderungen

Wie bereits beschrieben wurden der Software Denitrifikations- und Nitrifikationsphasen hinzugefügt. Mit dieser neuen Softwareversion wurde am 15.12.2003 eine Messung des Sauerstoffgehaltes über einen gesamten SBR-Zyklus durchgeführt. Die Messung wurde mit einem TS-Gehalt von 1,26 mg/l durchgeführt, bei der Versuchsvorbereitung wurde durch eine Fehlbedienung belebter Schlamm abgepumpt. Der Versuch wurde mit einer zeitlichen Denitrifikations- zu Nitrifikationsvolumen im Verhältnis 1:1 durchgeführt, wie es sich aus der klärtechnischen Berechnung ergibt. Die Dauer einer Denitrifikation- bzw. Nitrifikationsphase betrug 90 Minuten. Abbildung 21 zeigt den Verlauf des Sauerstoffgehaltes über den Zeitraum eines 6 h Zyklus.

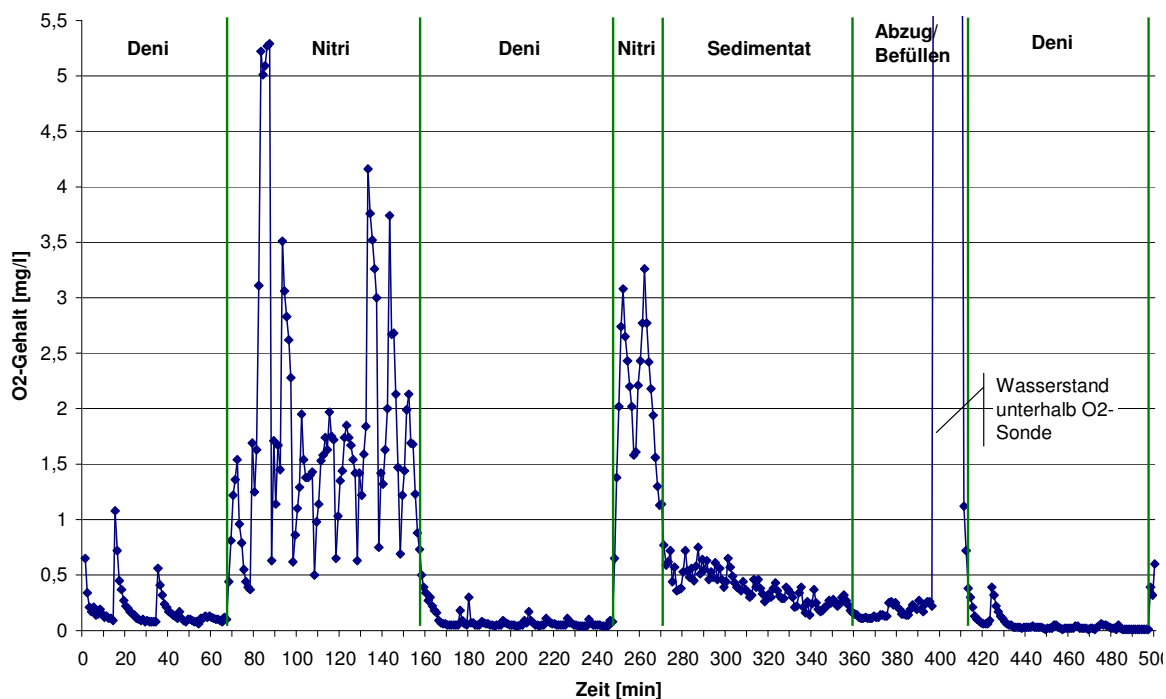


Abbildung 21: Kontinuierliche Messung des Sauerstoffgehaltes im SBR-Reaktors der Kläranlage Kitlitz am 15.12.2003

Der O_2 -Verlauf zeigt innerhalb der ersten Denitrifikationsphase durch die kurzen Belüftungsstöße von 4 Sekunden Dauer deutliche Sauerstoffeinträge. In der zweiten Phase ist dieses nicht mehr so deutlich zu beobachten. Die Sauerstoffgehalte liegen fast bei 0 mg/l. Die Einstellung der Anlage wurde Unglücklich gewählt, da die gesamte Nitrifikationszeit zu gering ausgefallen ist. Mit der Einstellung wurden folgende Ablaufwerte erreicht:

CSB	55,3 mg/l
NH_4 -N	0,061 mg/l
NO_2 -N	28,5 mg/l

Mit geänderten Einstellzeiten wurde am 26.02.04 eine zweite Messung durchgeführt. Die Denitrifikationsphase wurde auf 120 Minuten eingestellt und die Nitrifikationsphase auf 150 Minuten. Mit diesen Werten kommt es nur jeweils einer Nitri-/ Denitrifikationsphase. Über den Messzeitraum wurde halbstündlich eine Probe aus dem Reaktor entnommen und auf Ammonium- und Nitratstickstoff hin untersucht. Der Sauerstoffgehalt wurde durch zwei LDO-Sauerstoffsonden (Dr. Lange, Messung des O_2 -Gehaltes auf optischer Basis). Eine wurde 10 cm über den Boden installiert, die andere ca. 30 cm unterhalb des Wasserspiegels. Im vorhergehenden Zyklus wurden folgende Ablaufwerte gemessen:

NH_4 -N	0,03 mg/l
NO_3 -N	6,37 mg/l
TN_b	7,76 mg/l

Im SBR-Reaktor wurde ein TS-Gehalt von 1,9 g/l ermittelt.
ISV

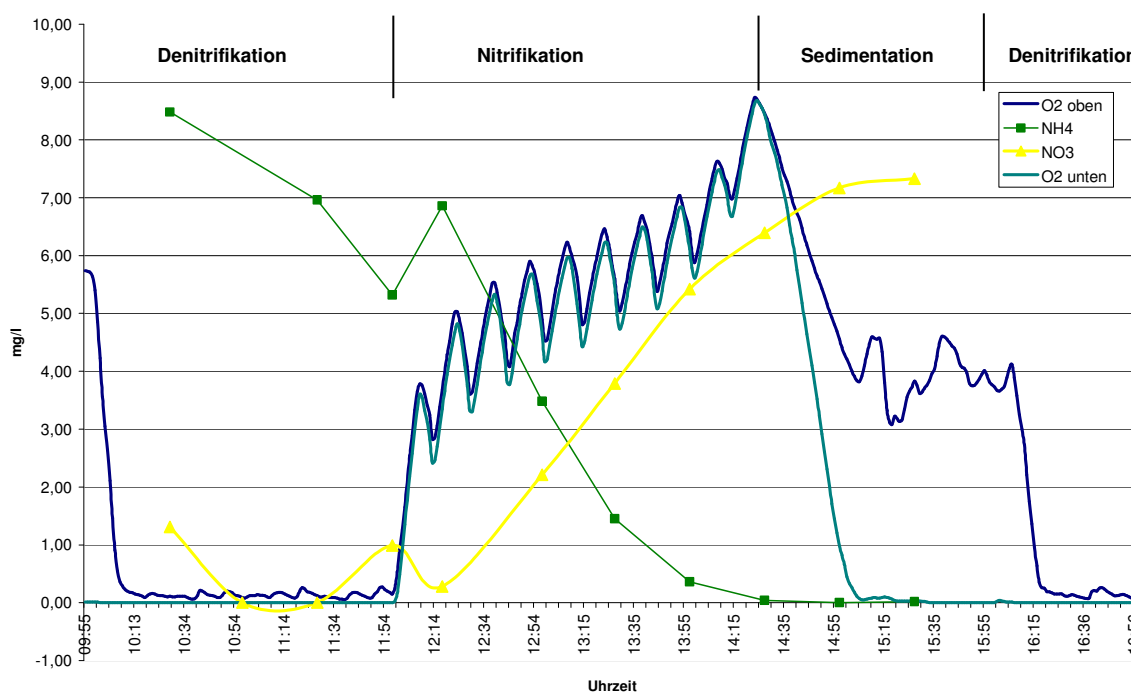


Abbildung 22: Ergebnisse einer Zyklusmessung am 26.12.03 an der Kläranlage Kitlitz

Die Stickstoffablaufwerte zeigen eine deutliche Verbesserung gegenüber dem vorhergegangenen Versuchs. Mit einem Gesamtstickstoffablaufwert erfüllt die Anlage den Anforderungen der Größenklasse 5 nach der Abwasserverordnung bezogen auf die Stickstoffparameter. Der Sauerstoffverlauf ist in Abbildung 22 dargestellt. Gerade im unteren Reaktorbereich ist während der Denitrifikation kein nennenswerter Sauerstoff vorhanden. Dieses bestätigt auch der Auszug aus den Messungen während der Denitrifikationsphase, in Tabelle 12 dargestellt. Im unteren Bereich ist kein Sauerstoff vorhanden, während sich im oberen Bereich Sauerstoffgehalte von 0,1 – 0,2 mg/l einstellen.

Tabelle 12: Auszug aus den Ergebnissen der O₂-Messungen

Uhrzeit	O ₂ -oben [mg/l]	O ₂ -unten [mg/l]	Uhrzeit	O ₂ -oben [mg/l]	O ₂ -unten [mg/l]
10:05:30	0,69	0,00	10:21:06	0,15	0,00
10:06:22	0,46	0,00	10:21:58	0,13	0,00
10:07:14	0,31	0,00	10:22:50	0,12	0,00
10:08:06	0,29	0,00	10:23:42	0,12	0,00
10:08:58	0,23	0,00	10:24:34	0,11	0,00
10:09:50	0,20	0,00	10:25:26	0,11	0,00
10:10:42	0,18	0,00	10:26:18	0,10	0,00
10:11:34	0,18	0,00	10:27:10	0,12	0,00
10:12:26	0,17	0,00	10:28:02	0,10	0,00
10:13:18	0,15	0,00	10:28:54	0,10	0,00
10:14:10	0,14	0,00	10:29:54	0,11	0,00
10:15:02	0,12	0,00	10:30:46	0,11	0,00
10:15:54	0,11	0,00	10:31:38	0,11	0,00
10:16:46	0,10	0,00	10:32:30	0,11	0,00
10:17:38	0,11	0,00	10:33:22	0,10	0,00
10:18:30	0,14	0,00	10:34:14	0,08	0,00
10:19:22	0,16	0,00	10:35:06	0,07	0,00
10:20:14	0,16	0,00	10:35:58	0,06	0,00

Eine weitere Zyklusmessung wurde am 30.03.2004 an der Kläranlage in Kartlow durchgeführt. Die Anlage war in dem gemessenen Zyklus allerdings sehr schwach belastet. Die Beschickungsphase dauerte nur 6 Minuten, im Durchschnitt wird die Anlage 10 Minuten beschickt. Der TS-Gehalt betrug 4 mg/l.

Von Beginn des Zyklusses an wurden alle 30 Minuten Proben aus dem Reaktor entnommen. Der Verlauf der Stickstoffparameter und des Sauerstoffgehalts sind in Abbildung 23 dargestellt. Durch die kurzen Belüftungsstöße während der Denitrifikationsphase erfolgt keine nennenswerter Sauerstoffeintrag. Ein Nitratabbau von 2,49 mg/l auf 0,39 mg/l ist zu beobachten. Eine vollständige Nitrifikation ist vorhanden: NH₄-N <0,025 mg/l. Probleme mit Schwimmschlamm sind nicht beobachtet worden. Hohe Nitratstickstoffkonzentrationen wie sie in Kapitel 3.4.2 berichtet wurden, waren im gemessenen Zyklus nicht vorhanden.

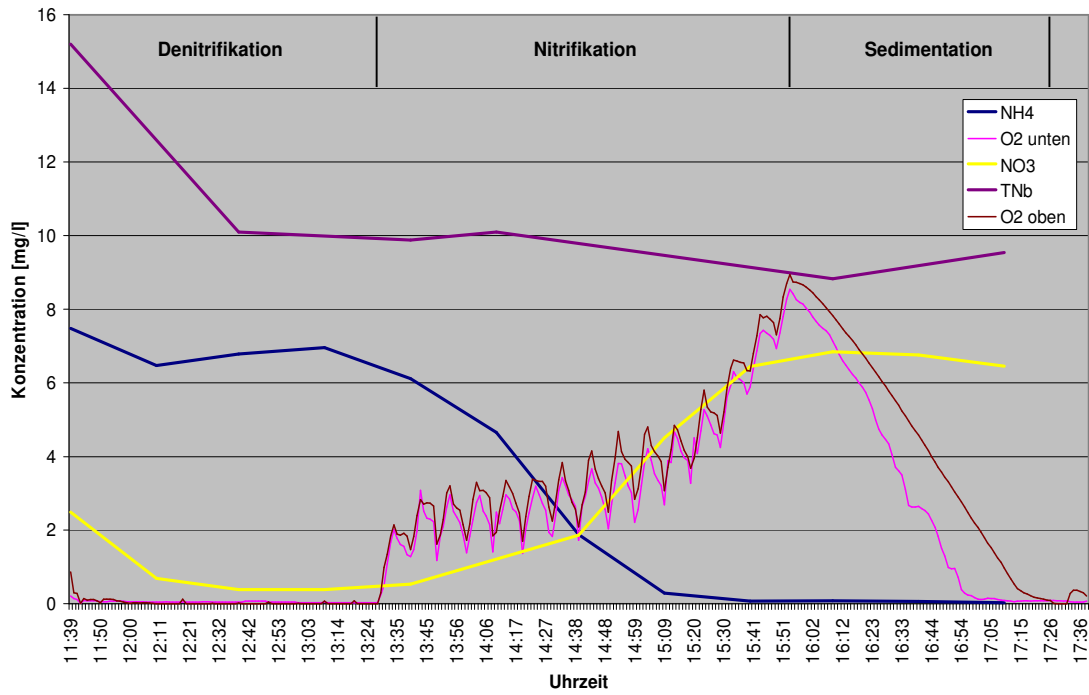


Abbildung 23: Ergebnisse der Zyklusmessung an der ClearWater-Kläranlage Katlow am 30.03.2004

4 Erstellung der technischen Dokumentation

Zu der Projektentwicklung gehört die Erstellung von Stücklisten, Betriebs- und Wartungsanleitungen, sowie die Unterstützung bei der Erstellung von Verkaufsunterlagen.

Es wurden für die neue Betonbauweise detaillierte Stücklisten mit den dazugehörigen Zeichnungen erstellt (Beispiel in Abbildung 24, vollständige Unterlagen sind nicht als Anlage enthalten, da sie das Know-how des Kooperationspartners enthalten).

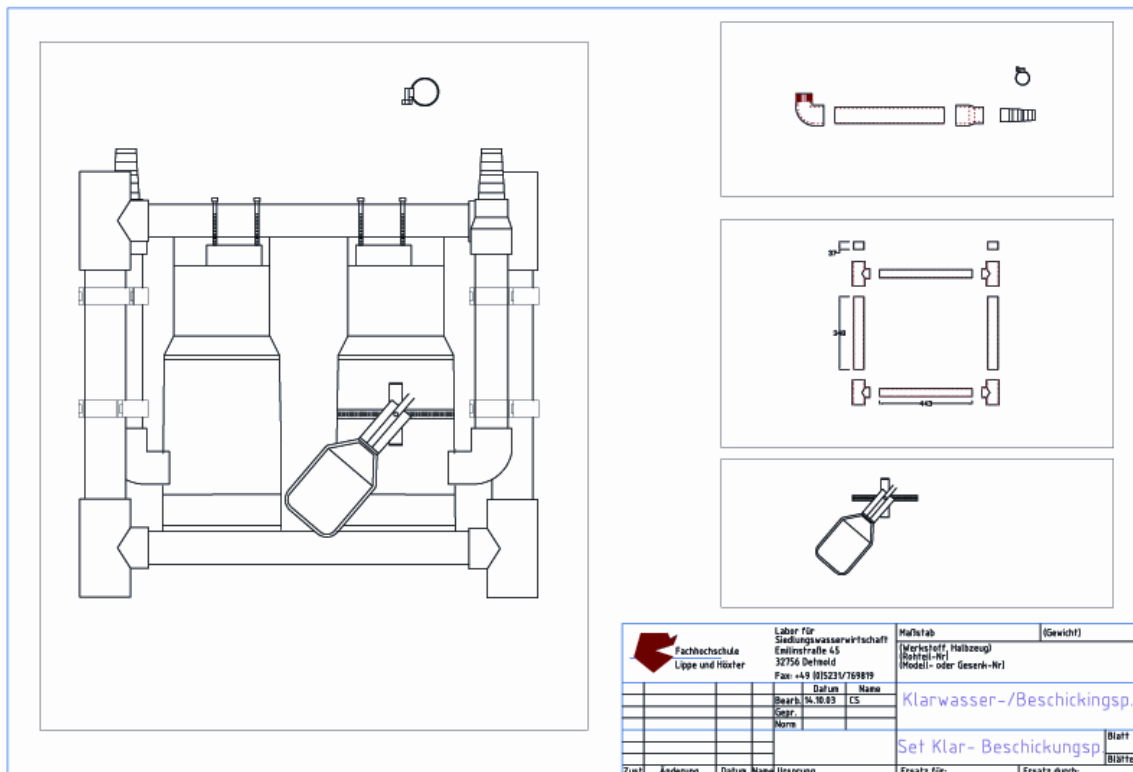


Abbildung 24: Stücklistenzeichnung der Beschickungspumpe der Kläranlage ClearWater

Für die Kläranlage wurde eine Betriebs- und Wartungsanleitung verfasst. Diese untergliedert sich in die einzelnen Bereiche Begriffserklärung, Einbauanleitung für Kunststoffbehälter, Einbau der Betonbehälter, Inbetriebnahme, Eigenkontrollen, Wartung, Sicherheitshinweise, Störstoffe, Musterwartungsvertrag. Die Betriebs- und Wartungsanleitung ist als Anlage 1 enthalten. Für das Betriebstagebuch wurden Formulare für Schlammspiegelmessung, Betriebsstunden, Einstellzeiten und Pumpen- / Schwimmerhöhen erstellt (Anlage 2).

Zur Angebotserstellung wurde eine Excel-Applikation entwickelt, die automatisch die klärtechnische Berechnung, technische Dokumentation, Kalkulation und Angebot erstellt. Nach Eingabe der Einwohnergleichwerte und Auswahl des Reinigungsziels (reine Kohlenstoffelimination, Nitrifikation, Denitrifikation und aerobe Schlammstabilisation) wird automatisch das erforderliche Volumen des SBR-Reaktors nach den Bemessungsgrundlagen des ATV-Arbeitsblattes A 131 berechnet. Alle Randparameter wie Tages-

wassermenge, Schmutzfrachten, Temperatur, Sicherheitsfaktoren können objekt-spezifisch angepasst werden. Die Berechnung der Belüftungseinrichtungen erfolgt automatisch bis zur Gebläseauswahl. Dabei werden auch unterschiedliche Lastfälle unterschieden. Nach der Eingabe der gewünschten Behälteranzahl und Durchmesser werden automatisch die Betonelemente ausgewählt und in die Angebotsdokumentation eingetragen. Für alle ausgewählten Komponenten sind in einer Excel-Tabelle die Preise hinterlegt, so dass automatisch die Angebotssumme ermittelt wird. Der gesamte Text der technischen Dokumentation ist in einem Wörterbuch hinterlegt, dass jederzeit mit einem einzigen Mausklick die Sprache des Angebots geändert werden kann. Derzeit sind Deutsch, Englisch und Spanisch hinterlegt. Ein Beispiel der technischen Dokumentation ist als Anlage 3 enthalten.

5 Betrieb eines Prototyps in Syrien

Um die Leistungsfähigkeit der Kläranlage auch unter Praxisbedingungen in einem Entwicklungsland nachzuweisen, wurde ein erster Prototyp der Kläranlage nach Homs, Syrien geliefert. Der Betrieb der Anlage erfolgt dort in Zusammenarbeit mit der örtlichen Al-Baath Universität. Der Kläranlage wird ein Teilstrom des Abwassers aus einem Studentenwohnheim zugeführt. Das Wohnheim (mit ca. 750 Studenten) befindet sich in unmittelbarer Nähe des Fachbereiches für Chemie und Petrochemie, in dem die Analytik der Kläranlage durchgeführt werden soll. Die Kläranlage ist für 50 Einwohnerwerte ausgelegt, sie besteht aus 2 Vorklärbehältern, die zusätzlich als Schlamm-speicher und Ausgleichsbehälter fungieren, dem SBR-Reaktor und zwei Brauchwassertanks mit integriertem Desinfektionsmodul. Abbildung 25 zeigt die Anlage beim Einbau.



Abbildung 25: Einbau des Prototyps in Syrien am 06.12.2002

Der Betrieb der Kläranlage in Syrien gestaltete sich ziemlich problematisch. Nachdem die Kläranlage im Dezember 2002 in Betrieb genommen wurde, gab es nach Aussage des zuständigen Mitarbeiters, Herrn Prof. Issam Achkar, bei der Al-Baath Universität Probleme mit der Bereitstellung der Stromversorgung. Eine Überprüfung der Anlage Mitte Februar 2003 ergab, dass die Energieversorgung der Anlage nicht eingeschaltet war. Nach Herstellung der Energieversorgung ergab eine Funktionsüberprüfung keinerlei Mängel. Ende Februar ist die Steuerungsbox der Kläranlage bei einem Unwetter voll Wasser gelaufen. Die Steuerung der Kläranlage war danach defekt. Am 06.03.2003 wurde von Herrn Tayyem, Mitarbeiter der Firma KWS in Jordanien, versucht die Steuerung zu reparieren. Die defekten Relais wurden ausgetauscht. Die erneute Überprüfung der Anlage am 23.04.2003 ergab, nach Aussagen von Herrn Tayyem, dass die Siemens CPU, Kernstück der Steuerung, defekt war. Eine neue CPU wurde von Deutschland verschickt. Obwohl die CPU schon 14 Tage später in Jordanien angekommen ist, wurde sie erst am 09.06.2003 durch Herrn Tayyem in Syrien eingebaut. Nach Aussagen von Herrn Tayyem zeigte die neue CPU die gleichen Fehlfunktionen wie die alte. Seine Schlussfolgerung war, die Software zur Kläranlagensteuerung müsse

fehlerhaft sein. Ein Test der Software in Deutschland ergab allerdings keinerlei Fehler. Auch ein weiterer Reparaturversuch am 13.07.2003 blieb erfolglos. Da weitere Reparaturversuche vor Ort keinen Erfolg versprachen, reisten Herr Schomburg, Fachhochschule Lippe und Höxter, und Herr Schmitz, Schmitz-Elektrotechnik, nach Syrien um die Steuerung zu reparieren. Bei vorherigen Reparaturversuchen wurde die Verdrahtung völlig durcheinander gebracht. Drähte wurde einfach „zusammengezwirbelt“ und wild in der Steuerung verteilt. Nach einer kompletten Neuverdrahtung und Austausch eines Relais lief die Steuerung einwandfrei. Die Fehlfunktionen lagen vermutlich nur an der falschen Verdrahtung. Es wurde von Seiten der Fachhochschule Lippe und Höxter leider zu spät erkannt, dass die Qualifikation des Mitarbeiters vor Ort nicht ausreichend war, obwohl es sich bei diesem um einen Ingenieur für Elektronik handelte. Die Kläranlage konnte allerdings nicht gleich wieder in Betrieb genommen werden. Da zur Zeit des Besuches Semesterferien waren, war kein Abwasser vorhanden, um die Kläranlage zu betreiben. Die erneute Inbetriebnahme erfolgte Mitte September durch die Al-Baath Universität. Am 6. Oktober wurde die Kläranlage durch Herrn Schomburg überprüft. Die Kläranlage funktionierte einwandfrei, allerdings hatte sich kaum belebter Schlamm gebildet. Leider wurde in Syrien festgestellt, dass die bei zuständigen und eingewiesenen Mitarbeiter bei der Al-Baath Universität nicht mehr für diese tätig waren. Neu zuständig, für den Betrieb und die Analysen der Kläranlage ist nun Herr Dr. Fouad Atalla.

Es hat sich gezeigt, dass die Durchführung von Abwasseranalysen für die zuständigen Mitarbeiter schwierig ist. Da bisher keine Abwasseranalytik in den Laboren durchgeführt wurde, müssen sich die Mitarbeiter erst in dieses Thema einarbeiten. Auch gibt es bei der technischen Ausstattung der Labore noch Probleme, z.B. ist kein ein Sauerstoffmessgerät vorhanden.

Zwischenzeitlich wurde die Anlage vor Ort von zwei Studenten der Fachhochschule Lippe und Höxter betreut, die in Syrien bis März 2004 ein Praxissemester absolvierten. Diese berichteten, dass es während der Wintermonate häufigen zu Stromausfällen kommt. Die Stromversorgung der Kläranlage ist an dem Studentenwohnheim angeschlossen. Da es in diesem keine Zentralheizung gibt, werden von den Bewohnern elektrische Heizlüfter verwendet. Dieses führt regelmäßig zu einer Überlastung der Stromversorgung mit der Folge von Stromausfällen. Fünf bis sechs Stromausfälle täglich sind normal.

Am 18.03.2004 teilte uns Herr Dr. Fouad Atalla mit, dass die Kläranlage inzwischen sehr gut läuft. Es ist zu vermuten, dass mit dem Ende der kalten Jahreszeit die Stromausfälle zurückgehen. Der CSB liegt unter 10 mg/l im Ablauf, der $BSB_5 < 1$ mg/l, NH_4-N , ebenfalls < 1 mg/l. Die Messung von 0,4 mg/l freiem Chlor im Brauchwassertank belegen die Funktion des eingebauten Desinfektionsgerätes.

Aus dem Betrieb der Anlage wurden folgende Erfahrungen für Anlagen im Ausland gesammelt: Umfangreichere Reparaturen der Steuerung vor Ort sind nicht empfehlenswert. Stattdessen ist es empfehlenswert die gesamte Steuerung auszutauschen und die defekte Steuerung zurück nach Deutschland zu schicken. Kann die durchgängige Energieversorgung nicht garantiert werden, so sollte jede Anlage grundsätzlich mit einer Notstromversorgung ausgestattet werden. Die Steuerung der Anlage muss auf jeden Fall

Fehlermeldungen im Klartext besitzen, eine Anzeige des aktuellen Betriebszustandes ist notwendig (Dieses wurde bereits bei den danach ausgelieferten Anlagen auch umgesetzt). Außerdem ist es sinnvoll, den Überschussschlammabzug über die Höhenabhängung der Pumpe zu steuern, anstatt über die Laufzeit der Beschickungspumpe).

6 Untersuchung der Desinfektionsleistung

Die Kläranlage ClearWater wurde speziell für den Einsatz in Gebieten mit Wassermangel konstruiert. Das gereinigte Abwasser soll für Bewässerungszwecke wieder verwendet werden können, um Trinkwasser einzusparen. Damit eine Übertragung von Krankheitserregern aus dem Abwasser durch die Wiederverwendung ausgeschlossen werden kann, ist es notwendig, das Abwasser zu desinfizieren.

Zur Desinfektion des gereinigten Abwassers stehen eine ganze Reihe von verschiedenen, langjährig eingesetzten Verfahren zur Verfügung, die nachfolgend mit ihren Vor- und Nachteilen aufgeführt sind.

Mit den unten genannten Verfahren (mit Ausnahme thermischer Verfahren) wird nur eine Keimreduktion erreicht. Der Begriff Desinfektion wird in der Abwasserbehandlung nicht streng im medizinischen Sinn (Abtötung oder Inaktivierung aller pathogenen Mikroorganismen verwendet) sondern als „Abtötung oder weitergehende Reduzierung der Zahl der Erreger, von übertragbaren Krankheiten, so dass eine Infektion nicht zu befürchten ist“ verwendet. (ATV,1997)

Die Reduktion von Krankheitserregern muss so weit erfolgen, dass eine Infektion durch Krankheitserreger ausgeschlossen ist. Im Abwasser kommen eine ganze Reihe von Krankheitserregern vor. Infektionsmöglichkeiten bestehen durch Viren, Bakterien, Pilze, Protozoen und Würmer. Tabelle 13 gibt eine Übersicht über die im Abwasser vorkommenden Krankheitserreger.

Tabelle 13: Einige human- bzw. tierpathogene Erreger, die über Abwasser direkt oder indirekt Erkrankungen auslösen können (ATV,1997)

Erreger (Familien)	Erkrankung
Viren	
Polioviren	Meningitiden, Kinderlähmung
Coxsackievirus A,B	Meningitiden, Ekzeme
Echo-Viren	Meningitiden, Diarrhöen
Hepatitis A	Epidemische Hepatitis
Bakterien	
Salmonella typhi	Typhus
Salmonellen u.a.	Enteritische Salmonellen
Shigella sp.	Bakterielle Ruhr
enteropathogene Escheria coli	Enteritiden, Enterotoxämien
Yersinia sp.	Enteritiden
Pseudomonas aeruginosa	Dermatitis, Otitis
Vibrio cholerae	Cholera
Campylobacter jejuni	Enteritiden
Leptospira sp.	Weil'sche Krankheit

Listeria monocytogenes	Listeriose
Fancisella tularensis	Tularämie
Bacillus anthracis	Milzbrand
Chlostridium botulinum	Botulismus, Wundbotulismus
Mycobacterium sp.	Hautulzerationen, Tuberkolose
Chlamydien trachomatis	Konjunktivits, Trachom
Protozonen	
Entamoeba histolytica	Amöbenruhr
Girdia lamblida	Lamblienruhr
Cryptosporidium sp.	Kryptosporidiose
Würmer	
Ascaris lumbricoides	Spulwurmbefall
Taenia sp.	Bandwurmbefall

6.1 Verfahren zur Abwasserdesinfektion

6.1.1 UV-Desinfektion

Die Desinfektion mit ultravioletter Strahlung ist ein weit verbreitetes Verfahren für die Trink- und Brauchwasserdesinfektion. In den USA und Kanada sind inzwischen 2.000 Anlagen mit einem Durchfluss von 10 bis 10.000 m³/h zur Desinfektion von Abläufen kommunaler Kläranlagen in Betrieb (ATV, 1997). Die UV-Strahlung schädigt die Nukleinsäuren der DNS von Mikroorganismen, so dass keine Enzyme mehr gebildet werden können. Dieses führt zu einer Stoffwechselstörung der Zelle und somit zum Absterben. Das Abwasser ist aber nicht gegen eine Wiederverkeimung geschützt. Die Eindringtiefe der UV-Strahlung in Abwasser ist aber relativ gering. Sind Eisen, Mangan oder Huminsäuren im Abwasser in höheren Konzentrationen vorhanden, so nimmt die Eindringtiefe weiter ab (ATV, 1997). Verfahrenstechnisch muss das Abwasser an der UV-Strahlenquelle vorbeigeführt werden. Entweder wird das Abwasser durch Quarzglas-hüllrohren, in denen die UV-Strahler untergebracht sind, vorbeigeleitet, oder das Abwasser durchfließt ein für UV-Strahlen durchlässiges Rohr um das UV-Strahler angeordnet sind. Ebenfalls ist es möglich, das Abwasser durch ein offenes Gerinne zu Leiten, über dem, oder in dem UV-Strahler angeordnet sind.

6.1.2 Thermische Verfahren

Thermische Verfahren gehören zu den sichersten Methoden der Abwasserdesinfektion, da sie bei bestimmten Temperaturen und Verweilzeiten eine weitgehende Sterilisation des Abwassers ermöglichen. Thermische Verfahren werden häufig bei Abwässern aus Tierkörperbeseitigungsanlagen und hochinfektiösen Rohabwässern bestimmter Krankenhausabteilungen eingesetzt. Zur Desinfektion von Abwasser aus Bereichen mit nicht erhöhtem Risikopotential ist es ausreichend, das gesamte Abwasser auf

Temperaturen zwischen 70 und 100°C für mindestens 20 bis 30 Minuten zu erhitzen (ATV, 1997). Die hohen Energiekosten machen das Erhitzen allerdings zu einem teuren Verfahren, so dass dieses nur bei Anlagen mit erhöhtem Risiko eingesetzt wird.

6.1.3 Behandlung mit Ozon

Ozon wird zur Desinfektion von biologisch gereinigtem Abwasser erst seit 20 Jahren, vorwiegend in Nordamerika, eingesetzt (ATV, 1997). Die Wirkung von Ozon beruht auf dessen starkem Oxidationsvermögen. Die Desinfektionsleistung des Ozons ist von der Einwirkzeit, organischer Vorbelastung, pH-Wert und Temperatur des Abwassers abhängig. Ozon zerfällt nach der Anwendung rasch zu Sauerstoff, eine Depotwirkung ist daher nicht vorhanden. Aufgrund der Instabilität lässt sich Ozon nicht bevorraten, es muss unmittelbar vor dem Einsatz hergestellt werden. Ozon kann aus atmosphärischer Luft oder reinem Sauerstoff mit Hilfe von Starkstrom hergestellt werden.

6.1.4 Behandlung mit Chlor und Chlordioxid

Die chemische Desinfektion durch Chlorung stellt für Abwasser die am längsten angewandte Methode dar. In den USA, Kanada und der früheren Sowjetunion war dies für die Einleitung von biologisch gereinigtem Abwasser in ein Gewässer weit verbreitet. Die Desinfektionswirkung von Chlor beruht auf seiner starken oxidativen Wirkung. Da ein Restchlorgehalt im Wasser verbleibt, ist dieses vor einer Wiederverkeimung geschützt. Allerdings können aus Abwasserinhaltsstoffen toxische Reaktionsprodukte wie Chloramine und schwerflüchtige Chlorphenole entstehen. Chlor wird hauptsächlich in der Form von Chlorgas und Chlordioxid zur Desinfektion eingesetzt. Sowohl Chlorgas als Chlordioxid müssen an Ort und Stelle hergestellt und sofort verbraucht werden (ATV-DVWK M 205). Da Chlor ein giftiger und explosiver Stoff ist, sind strenge Sicherheitsvorschriften zu beachten.

6.1.5 Nicht chlorhaltige Oxidationsmittel

Eine Desinfektion ist mit Oxidationsmitteln wie Wasserstoffperoxyd und Peressigsäure möglich. Peressigsäure ist ein wirksames Oxidationsmittel, das über einen längeren Zeitraum stabil ist. Peressigsäure zerfällt bei Anwendung in harmlose Bestandteile und kann nach heutigem Wissen als relativ umweltverträglich bezeichnet werden. Das Verfahren wird in mehreren Großversuchen in Großbritannien eingesetzt.

6.1.6 Anodische Oxidation

Bei der anodischen Oxidation werden Anoden und Kathoden, an denen Spannung angelegt wird, vom Wasser umspült. Unter Einwirkung des elektrischen Stroms laufen elektrochemische Vorgänge im Wasser ab, wodurch unter bestimmten Bedingungen Desinfektionsmittel entstehen.

6.2 Auswahl eines geeigneten Desinfektionsverfahrens für die Kläranlage ClearWater

Mit der Kläranlage ClearWater soll es möglich sein, das biologisch gereinigte Abwasser zur Bewässerung einzusetzen. Das Desinfektionsverfahren soll wartungsarm und kostengünstig sein und muss eine ausreichende Desinfektionsleistung besitzen.

In die engere Auswahl kommen UV-Anlagen. Diese sind von etlichen Herstellern in unterschiedlichen Baugrößen erhältlich. In der Regel sind die Anlagen so wie in Abbildung 26 dargestellt aufgebaut. Das Rohwasser fließt durch ein Edelstahlgehäuse, in dem ein oder mehrere Strahler in einer Quarzröhre untergebracht sind. Zu dem eigentlichem UV-Gerät gehört außerdem ein Steuergerät meistens inklusive Vorschaltgerät. Einige Hersteller statten ihre Geräte auch mit einem Sensor aus, der die Leuchtleistung misst und bei Abfall der Leistung eine Meldung zum Wechsel der Elektroden gibt (Aqua Butzke GmbH, 2003).

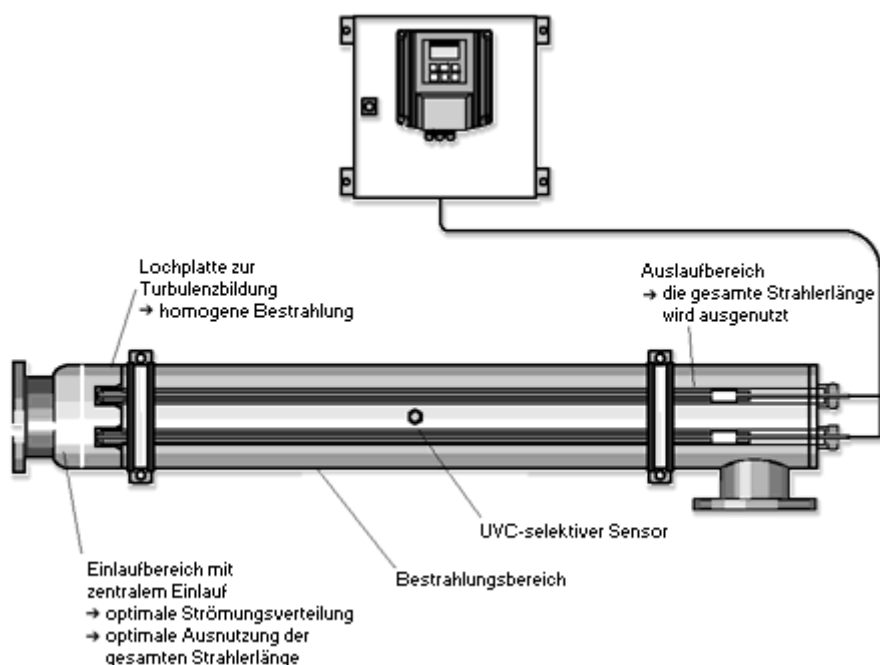


Abbildung 26: Schematische Darstellung eines UV-Desinfektionsgerätes (Prominent, 2003)

Der Vollständigkeit halber, sei darauf hingewiesen, dass es auch UV-Anlagen gibt, bei denen der UV-Strahler einfach in den Brauchwassertank eingesetzt wird. Diese Systeme werden hauptsächlich für den Einsatz in Regenwassertanks angeboten. Ein solches Gerät ist in Abbildung 27 dargestellt. UV-Strahlen besitzen nur eine sehr geringe Eindringtiefe in das Medium Wasser. Von daher gehen die Unterzeichner davon aus, dass diese Geräte keine ausreichende Leistungsfähigkeit für den gegebenen Anwendungsfall besitzen.



Abbildung 27: UV-Gerät mit 12 W für den Einbau in Brauchwassertanks bis 3 m³ Volumen, der Firma UV-Systems (UV-Systems, 2003)

Für den Einsatz der UV-Geräte spricht, dass die Technik seit langem erfolgreich, sowohl für die Trinkwasser als auch für die Abwasserdesinfektion, eingesetzt wird. Bei der Verwendung von UV-Systemen für die Brauchwassernutzung müsste die Anlage mit der Brauchwasserpumpe gekoppelt werden, so dass das Brauchwasser direkt vor der Entnahme desinfiziert wird. Ansonsten wäre die Gefahr der Wiederverkeimung vorhanden. Die Anlage müsste also entsprechend der stündlichen Brauchwasserentnahme dimensioniert sein. Gegen den Einsatz von UV-Anlagen spricht, dass die Leistungsfähigkeit stark von dem Abwasser-Trübung und anderen Randparametern abhängig ist. Die Anlagen sind in der Regel so aufgebaut, dass sie außerhalb des Brauchwassertanks untergebracht werden müssten, hierfür ist dann eine weitere Unterbringungsmöglichkeit wie eine Freiluftsäule notwendig. Von Nachteil ist ferner die relativ kurze Standzeit der UV-Röhren, die einem regelmäßigen Austausch alle 2 Jahre erfordert.

Da Chlordioxid und Ozon vor Ort hergestellt werden müssen, scheiden dieses Verfahren für kleinere Anlagen aus.

Der Einsatz von Wasserstoffperoxyd oder Peressigsäure ist für die ClearWater Kläranlage möglich. Nachteilig ist hierbei ist der ständige Chemikalienverbrauch.

Der Einsatz von Systemen, die auf Basis der anodischen Oxidation arbeiten, bieten folgende Vorteile: Die Desinfektionsleistung ist nicht von der Trübung des Abwassers abhängig. Abwasserparameter wie z.B. die organische Schmutzfracht haben zwar einen Einfluss auf die Desinfektionsleistung, dieses lässt sich aber durch eine ausreichend bemessene Anlage ausgleichen. Die Leistung der Anlagen lassen sich über die Stromstärke steuern. Verbrauchsmaterialien werden nicht benötigt, die Elektroden müssen am Ende der vom Hersteller angegebenen Standzeit ausgewechselt werden. Die Standzeit der Elektroden beträgt etwa 2 Jahre (Newtec 2001a). Konstruktiv lassen sich die Geräte direkt in dem Brauchwasserspeicher unterbringen. Mit einer Zirkulationspumpe

wird ständig das gespeicherte Wasser durch das Desinfektionsgerät geführt. Dadurch, dass so ständig neue Desinfektionsmittel dem Wasser zugeführt werden, und dass eine Depotwirkung (Newtec 2001b) vorhanden ist, ist eine Wiederverkeimung des Abwassers nicht zu erwarten.

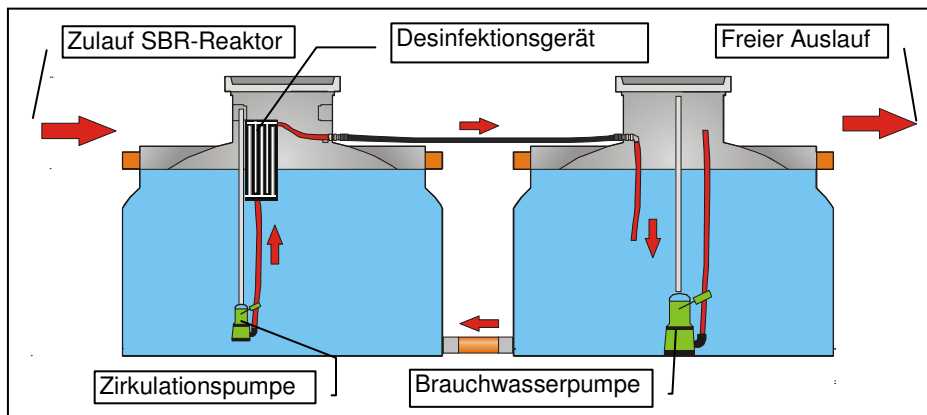


Abbildung 28: Konstruktive Elemente für die Brauchwassernutzung bei der Verwendung eines Gerätes auf Basis der anodischen Oxidation

Die Entscheidung fällt daher auf das Verfahren der anodischen Oxidation.

6.3 Verwendete Geräte für die anodische Oxidation

Für die Verwendung in der Kläranlage wurden Geräte zwei verschiedener Hersteller näher betrachtet: Der E-Disinfector der Firma NewTec, Berlin, und ein Elektrolyse-Gerät der Firma Bright Spark, Niederlande.

Jedes Gerät besteht aus den Elektroden und einem Steuergerät, welches die Gleichspannung erzeugt.

Die Elektroden des Gerätes der Firma Bright Spark sind in einem PVC-Rohr DN 70 untergebracht (Abbildung 29). Das Rohr mit den Elektroden ist direkt im Steigrohr der Pumpe gesetzt. Das Steuergerät besitzt Einstellmöglichkeiten für die Stromstärke des Gerätes (in 4 Stufen).

Die Elektroden der Firma NewTec sind in einem Gehäuse eingebaut, welches innerhalb oder außerhalb des Behälters untergebracht werden kann (Abbildung 30). Das Gerät ist nach Angaben des Herstellers für 250 l/h ausgelegt. In dem Steuergerät lässt sich durch Umklemmen eines Kabels die Stromstärke auf 3, 5 und 9 A einstellen.



Abbildung 29: Desinfektionsgerät der Firma Bright Spark



Abbildung 30: E-Disinfector der Firma NewTec

6.4 Versuchsaufbau

Zur Untersuchung der Desinfektionsleistungen der Geräte der Firmen Bright Spark und Newtec wurde eine Versuchsanlage auf der kommunalen Kläranlage Detmold aufgebaut. Die bestand aus einem PE-Kunststofftank mit 6 m³ Inhalt, Pumpen zur Beschickung, Entleerung und Zirkulation, den Desinfektionsgeräten und einer Steuerungseinheit. Die Anlage wird mit Abwasser aus dem Zulaufgerinne der Sandfiltration beschickt (entspricht Ablauf Nachklärung). Das Reaktorvolumen lässt sich über einen Schwimmerschalter für den maximalen Wasserstand verändern. Die Anlage ist Abbildung 30 dargestellt.

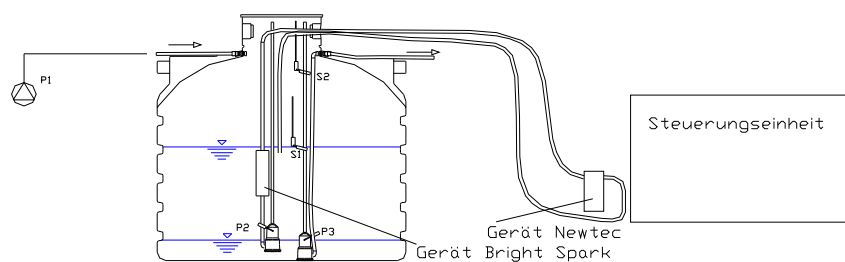


Abbildung 31: Versuchsanlage zu Untersuchung der Desinfektionsleistung

Verfahrenstechnisch ist der Versuchsablauf an die Verfahrenstechnik der ClearWater Anlage angepasst. Der Behälter wird mit Rohwasser befüllt (Entspricht dem Abpumpen des Klarwassers im SBR-Reaktor). Anschließend wird das Wasser kontinuierlich durch das Desinfektionsgerät gefördert (entspricht dem Aufenthalt im Brauchwassertank). Nach einer einstellbaren Zeit wird der Tank bis zu einem minimalen Wasserstand leer gepumpt (entspricht der Brauchwasserentnahme).

Die Steuerungsgeräte der beiden Geräte sind in einem Schaltschrank untergebracht.

6.5 Anforderungen an die Desinfektionsleistung

Mikrobiologische Parameter sind in der EG Badegewässerverordnung definiert (EWG, 1975). Die dort angegebenen Grenzwerte sind so gewählt, dass beim Baden in dem Wasser keinerlei gesundheitliche Beeinträchtigungen zu erwarten sind. Die Qualitätsanforderungen sind in Tabelle 14 angegeben.

Tabelle 14: Mikrobiologische Qualitätsanforderungen an Badegewässer nach der EG-Richtlinie über die Qualität der Badegewässer (EWG, 1975)

Mikrobiologische Parameter	Leitwert / G-Wert	Grenzwert / I-Wert
Gesamtcolliforme Bakterien in 100 ml	500	10000
Fäkalcoliforme Bakterien in 100 ml	100	2000
Streptococcus faecalis in 100 ml	100	-
Salmonellen in 1000 ml	-	0
Darmviren in 10 l	-	0

6.6 Untersuchungsverfahren und Probenahme

Die chemischen Analyseparameter, chemischer Sauerstoffbedarf (CSB), Chloridgehalt und Chlor wurden mit Standard-Küvettentests der Firma Dr. Lange photometrisch ermittelt. Die Analyse erfolgte im Labor für Siedlungswasserwirtschaft der Fachhochschule Lippe und Höxter.

Mikrobiologische Untersuchungen wurden bei der HBICON GmbH, Bielefeld, und bei der TZL Mitec GmbH, Detmold, in Auftrag gegeben. Im Labor der Fachhochschule Lippe und Höxter wurde eine mikrobiologische Untersuchung am 30.09.2003 durchgeführt. Die Proben wurden auf Gesamtkeimzahl, coliforme Keime und teilweise auf Escheria Coli untersucht. Alle Untersuchungsberichte sind als Anlage 4 enthalten.

Die Proben wurden unter nicht sterilen Bedingungen aus dem Zulaufgerinne und dem Desinfektions-Reaktor entnommen.

6.7 Parameter des Rohwassers

Bei dem Rohwasser handelt es sich um biologisch gereinigtes Abwasser der kommunalen Kläranlage Detmold. Der CSB des Abwassers liegt im Bereich von 21 – 29 mg/l. Der Chloridgehalt weist Schwankungen in einem Bereich von 134-256 mg/l auf, der Durchschnitt liegt bei 194 mg/l. Der pH-Wert liegt bei 6,8.

Tabelle 15: Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchungen des Rohabwassers

Datum	Gesamtkeimzahl	Coliforme
	KBE/ ml	KBE/100 ml
04.11.2003	38.000	60.000
10.11.2003	18.000	60.000
11.11.2003	5.800	70.000
21.11.2003	8.000	800.000

Die aerobe Gesamtkeimzahl schwankt im Bereich von 5.800 – 38.000 KBE in 1 ml. Die Coliformen Keime liegen zwischen 60.000 und 800.000 in 100 ml. Die mikrobiologischen Parameter sind in Tabelle 15 zusammengefasst.

Literaturwerte geben nach einer biologischen Reinigungsstufe 100.000 coliforme Keime in 100 ml an (ATV, 1997).

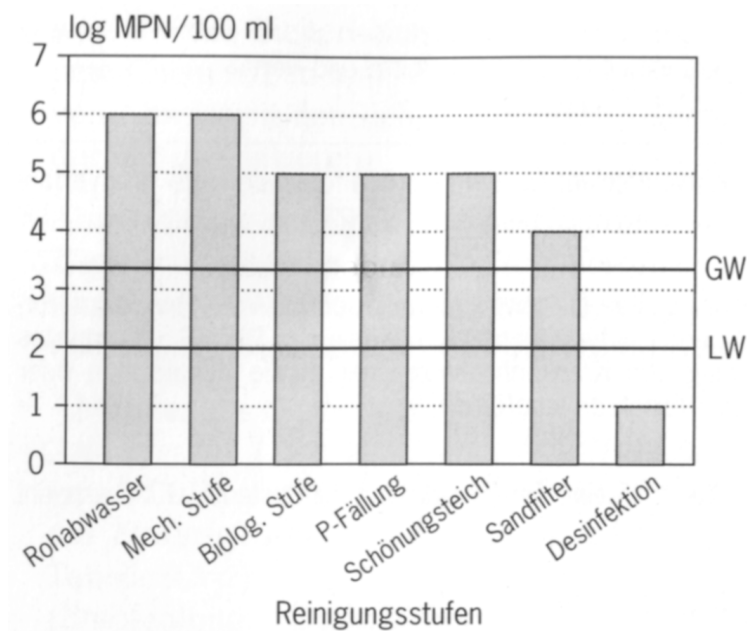


Abbildung 32: Leitwert (LW) und Grenzwert (GW) der EG-Badegewässerverordnung im Vergleich zu der Keimzahl bei unterschiedlichen Reinigungsstufen (ATV, 1997)

6.8 Untersuchung des Gerätes der Firma Newtec

Proben mit dem Gerät der Firma NewTec wurde am 30.09.2003, 21.10.2003, 30.10.2003, 11.11.2003 und 27.11.2003 untersucht.

Am 30.09.2003 wurde das Gerät mit einem Nutzvolumen von 4 m³ betrieben. Am Ende eines 6-Stunden-Zyklusses wurde der Tank bis auf einen sehr geringen Restwasserstand leer gepumpt. Das Gerät war auf 5 A Spannungstärke eingestellt. Die Proben wurden im

Labor für Siedlungswasserwirtschaft an der Fachhochschule Lippe und Höxter nach dem Plattengussverfahren untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung vom 30.09.2003, ausgeführt von der Fachhochschule Lippe und Höxter.

Aufenthaltszeit	Gesamtkeimzahl KBE/1 ml	Coliforme KBE/1 ml	E. Coli KBE/1 ml
Rohwasser	13.300	100	30
40 min	1.400	40	40
60 min	3.100	30	10
214 min	<100	<10	<10
339 min	100	<10	<10

Um die Werte mit dem Grenzwert von 500 coliformen Keimen der EG-Badegewässerrichtlinie vergleichen zu können, sind die hier angegebenen Werte mit 100 zu multiplizieren, da im Plattengussverfahren nur 1 ml untersucht werden.

Es zeigt sich mit zunehmender Aufenthaltszeit eine deutlich Keimreduzierung. Ob die Anforderungen der EG-Badegewässerverordnung eingehalten werden, kann nicht gesagt werden, da zu hohe Verdünnungen angesetzt wurden, das Ergebnis liegt unterhalb des Messbereiches.

Die Ergebnisse einer weiteren Beprobung am 21.10.2003 konnten nicht ausgewertet werden, da das Gerät starke Verblockungen aufwies. Das Gerät wurde darauf hin gereinigt und am 30.10.03 erneut untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 17 aufgeführt. Das Gerät wurde mit einer eingestellten Stromstärke von 9 A betrieben.

Tabelle 17: Ergebnisse der mikrobakteriologischen Untersuchung vom 30.19.2003, ausgeführt vom der HBICON GmbH, Bielefeld

Aufenthaltszeit	Gesamtkeimzahl 36° KBE/ml	Coliforme KBE/100 ml	Escheria Coli KBE/100 ml
125 min	6.000	30	0
205 min	4.800	1	0
323 min	3.700	0	0

Die Ergebnisse zeigen, dass sich mit dem Gerät eine deutliche Keimreduktion, insbesondere bei den geforderten coliformen Keimen ergibt. Die Zahl der coliformen Keime und Escheria Coli entsprechen den Anforderungen der EG-Badegewässerrichtlinie.

Die Ergebnisse vom 11.11.2003 können nicht zur Auswertung herangezogen werden, da das Gerät wieder so stark verblockt war, dass keine Wirkung feststellbar war.

Bei einer weiteren Untersuchung am 27.11.2003 wurde das Gerät so eingestellt, dass ein Restwasserstand von ca. 2 m³ in dem Behälter blieb. Dieses entspricht dem praktischen Anwendungsfall. Im Brauchwassertank verbleibt immer ein Restwasserstand, da die Brauchwasserentnahmepumpe nicht direkt über dem Boden installiert werden sollte. Neues Rohwasser wurde also sofort mit Wasser durchmischt, welches schon Desinfektionsmittel enthielt. Tabelle 18 zeigt die Ergebnisse der Untersuchung. Die Proben wurden im Labor auf ihren Chlorgehalt untersucht. Die Probe mit der Aufenthaltszeit von 133 min hatte einen Chlorgehalt von 0,158 mg/l. Bei den anderen Proben lag der Chlorgehalt unterhalb des Messbereiches von 0,1 mg/l. Es wurde beobachtet, dass das Chlor leicht flüchtig ist. Der Chlorgehalt im Labor ist deutlich geringer als bei Vergleichsmessungen direkt vor Ort.

Tabelle 18: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung vom 27.11.2003, ausgeführt von der TLZ Mitec GmbH, Detmold

Aufenthaltszeit	Gesamtkeimzahl KBE/ml	Coliforme KBE/ml	Coliforme KBE/100 ml
Rohwasser	4.800	660	Vorh.
64 min	4.600	140	Vorh.
133 min	1.400	0	0
145 min	4.000	6	Vorh.
300 min	330	0	0

Nach einer Aufenthaltszeit von 2 h ist eine ausreichende Desinfektionswirkung erreicht. Die coliformen Keime wurden von 660 in 1 ml auf 0 in 100 ml reduziert.

Wie bereits erwähnt, konnte beobachtet werden, dass das Gerät der Firma NewTec sehr stark verblockt. Bereits nach 3-4 Wochen Betrieb ließ sich keine Desinfektionsleistung mehr erkennen (Untersuchung vom 20.11.03). Das verblockte Gerät ist in Abbildung 33 zu sehen.



Abbildung 33: Elektroden des verblockten E-Disinfector der Firma NewTec

Es wurde festgestellt, dass sich die Verblockungen sehr gut mit handelsüblicher Zitronensäure (zur Entkalkung von Kaffeemaschinen) entfernen lassen. Die Reinigung mit 12 %-prozentiger Salzsäure ist ebenfalls möglich. Aufgrund der starken Verblockung muss für einen Praxisbetrieb geschlossen werden, dass das Gerät 14-tätig gesäubert werden muss. Da die Verblockung mit einer Abnahme der Stromstärke einher geht, ist es auch möglich, diese zu messen und mit der Steuerung zu verknüpfen, so dass eine Meldung ausgegeben wird, wenn die Stromstärke unter einen Sollwert fällt.

Nach Aussagen des Herstellers soll die Verblockung durch eine Umpolung der Spannung verhindert werden (newtec, 2003). Es kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob die Verblockungen des Gerätes durch Besonderheiten des Rohwassers, oder durch eine Fehlfunktion des Steuergerätes verursacht wurde, oder ob sich um ein generelles Problem bei diesem Gerät handelt.

6.9 Untersuchung des Gerätes der Firma Bright Spark

Das Gerät der Firma Bright Spark wurde am 04.11.2003, 06.11.2003 und 21.11.2003 untersucht.

Ergebnisse vom 04.11.2003 sind in Tabelle 19 dargestellt. Das Gerät wurde mit einem Reaktorvolumen von 2 m³ betrieben. Es ist eine sehr hohe Keimreduktion von 18.000 auf

26 Kolonie bildende Einheiten zu erkennen. Das entspricht einem Wirkungsgrad von 99,8 %. Coliforme Keime konnten in 100 ml nicht mehr nachgewiesen werden.

Tabelle 19: Ergebnisse der mikrobakteriologischen Untersuchung vom 04.11.2003. ausgeführt von der HBICON GmbH, Bielefeld

Aufenthaltszeit	Gesamtkeimzahl KBE/ml	Coliforme KBE/100 ml
Rohwasser	18.000	600
157 min	26	0
260 min	38	0

Mit der gleichen Konfiguration wurde ein weitere Proben zur Untersuchung am 06.11.03 im Auftrag gegeben, siehe Tabelle 20. Die Ergebnisse sind bei der Gesamtkeimzahl ähnlich zufrieden stellend. Die Colifirmen Keime wurden nur in 1 ml untersucht.

Tabelle 20: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung vom 06.11.2003. ausgeführt von der TLZ Mitec GmbH, Detmold

Aufenthaltszeit	Gesamtkeimzahl KBE/ml	Coliforme KBE/ml
37 min	160	0
278 min	140	0
290 min	640	0

Bei der Untersuchung vom 21.11.03 wurde das Gerät mit einem Restwasserstand von ca. 1 m³ betrieben bei 1 m³ Austauschvolumen. Die Ergebnisse in Tabelle 21 zeigen eine sehr gute Desinfektionswirkung. Coliforme Keime konnten in keiner Probe nachgewiesen werden.

Eine Verblockung des Gerätes der Firma Bright Spark konnte nicht beobachtet werden.

Tabelle 21: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung vom 21.11.2003. ausgeführt von der TLZ Mitec GmbH, Detmold

Aufenthaltszeit	Gesamtkeimzahl KBE/ml	Coliforme KBE/ml
Rohwasser	8.000	800.000
110	30	0
123	50	0
242	30	0

6.10 Chemische und physikalische Veränderung des Wassers durch die Desinfektion

In den Desinfektionsgeräten werden aktives Chlor Ozon und Wasserstoffperoxyd gebildet. Es stellt sich die Frage, ob die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Abwassers verändert werden, und ob dieses negative Auswirkungen auf eine weitere Nutzung des Wassers haben kann. Insbesondere ist die Frage interessant, ob es durch die Bildung von Radikalen zu einer Oxidierung von organischen Inhaltsstoffen kommt, die in einer Reduktion des CSB messbar ist. Zur Klärung dieser Frage wurde eine Versuchsreihe mit dem Desinfektionsgerät der Firma Bright Spark durchgeführt.

6.10.1 Versuchsaufbau und -durchführung

Zu Beginn des Versuches wurde der Reaktionsbehälter mit Rohwasser befüllt. Aus diesem wurden über einen Zeitraum von 5 Stunden stündlich eine Probe entnommen. Die erste Probe wurde zeitgleich mit der Füllung des Behälters aus dem Rohwasser genommen. Die Probenahme erfolgte mit einem automatischen Probennehmer der Firma Stip Isco. Die Proben wurden direkt im Anschluss nach der 6ten Probenahme im Labor der Fachhochschule Lippe und Höxter ausgewertet. Die Proben wurden auf pH-Wert, Leitfähigkeit, Chloridgehalt und CSB untersucht. Die Bestimmung des pH-Wertes und der Leitfähigkeit erfolgte mit Handgeräten der Firma WTW, die Bestimmung des Chloridgehaltes und des CSB erfolgte mit Küvettentests der Firma Dr. Lange.

6.10.2 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Versuches sind in Tabelle 22 dargestellt. Es lassen sich bei keinem Parameter signifikante Veränderungen während der Zirkulation durch das Desinfektionsgerät beobachten. Eine wesentliche Veränderung des Abwassers durch das angewandte Desinfektionsverfahren kann nicht beobachtet werden.

Tabelle 22: Analysenergebnisse der Versuchsreihe vom 12.11.2003 mit dem Gerät der Firma Bright Spark

Aufenthaltszeit	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h
Probenbezeichnung	1	2	3	4	5	6
pH-Wert	6,75	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74
Leitfähigkeit	1221	1216	1217	1219	1220	1218
Chloridgehalt	221,2	221,2	221,2	221,2	221,2	221,2
CSB	21,1	19,8	21,1	18,1	20,5	20,9

6.11 Fazit der Versuche zur Desinfektion mittels anodischer Oxidation

Die Versuche haben gezeigt, dass durch die getesteten Geräte eine ausreichende Desinfektionsleistung möglich ist. Die coliformen Keime konnten soweit eliminiert werden, dass in 100 ml keine nachweisbar waren. Eine ausreichende Keimreduzierung tritt nach 60-120 Minuten auf. Verfahrenstechnisch bedeutet dieses, dass die Brauchwasserpumpe 1-2 Stunden nach der Entleerung des SBR-Reaktors über die Steuerung gesperrt werden muss, damit eine ausreichend lange Reaktionsphase vorhanden ist.

7 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Ziel des Projektes war es, die Entwicklung einer modular aufgebauten Abwasserreinigungsanlage weiter fortzuführen.

Es sollte die Leistungsfähigkeit der entwickelten Kläranlage in der Praxis getestet werden. Da die erste Anlage erst im August 2003 in Betrieb genommen werden konnte, liegt bisher noch kein umfangreicher Bestand an Betriebsdaten vor. Die ersten Ergebnisse sind jedoch überzeugend.

Die ClearWater Kläranlage wurde für die Stickstoffelimination verfahrens- und elektrotechnisch umgestellt. Mit der neuen Software wurden erste Messreihen an der Kläranlage in Kitlitz durchgeführt. Dadurch, dass die ersten Anlagen erst gegen Ende des Jahres in Betrieb genommen werden konnten, liegen noch keine auswertbaren Ergebnisse vor.

Der Betrieb der Anlage in Homs wurde weiter fortgeführt. Die Anlage konnte nach einem Defekt aufgrund einer Überschwemmung der Steuerung und während 3 monatiger Semesterferien in Syrien erst im Oktober wieder in Betrieb genommen werden. Um den sicheren Betrieb der Anlage in Zukunft zu gewährleisten, sollte die Anlage dem aktuellen technischen Stand der ClearWater Kläranlage angepasst werden: Die Steuerung der Anlage erhält ein Eingabedisplay und die Pumpenaufhängung wird geändert. Mit der neuen Steuerung haben kürzere Stromausfälle auch keine negativen Auswirkungen mehr.

Technisch konnten zahlreiche Verbesserungen an der Anlage durchgeführt werden, die hauptsächlich zu einem vereinfachten Einbau und Erhöhung der Betriebssicherheit führen. So wurde z.B. die Pumpenaufhängung die Luftverteilung und die Steuerungstechnik völlig überarbeitet.

Umfangreiche technische Unterlagen zur ClearWater Kläranlage, wie Stücklisten, CAD-Zeichnungen und Betriebs- und Wartungsanleitung wurden erstellt.

Es konnte durch praktische Versuche im technischen Maßstab nachgewiesen werden, dass mit dem gewählten Desinfektionsverfahren, der anodischen Oxidation, eine ausreichende Desinfektionsleistung erreicht wird. Die Anforderungen der EG-Badegewässerrichtlinie konnten weit unterschritten werden.

Weitere Verbesserungsmöglichkeiten werden vor allem bei der Weiterentwicklung der Steuerungstechnik gesehen. Mit einem neuen Fernwartungsmodul soll es möglich sein jederzeit den Zustand der Kläranlage abzurufen und diesen zu verändern.

Detmold, im April 2004

Prof. Dr.-Ing. Ute Austermann-Haun

Dipl.-Ing. Christian Schomburg

8 Literaturverzeichnis

- | | | |
|-------------------------|------|--|
| AbwV | 2002 | Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer, AbwV – Abwasserverordnung, 15. Oktober 2002. Bundesgesetzblatt Nr. I vom 23.10.2002 S. 4047, ber. 2002 S. 4550. |
| Aqua Butzke GmbH | 2003 | Homepage der Firma Agua Butke GmbH, Ludwigsfelde. http://www.aqua-butzke.de |
| ATV | 1997 | Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band IV: Biologische und weitergehende Abwasserreinigung. Hrsg. von der Abwassertechnischen Vereinigung e.V., St. Augustin, Verlag Ernst, Berlin 1997 |
| ATV-DVWK-A 122 | 1991 | Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von kleinen Kläranlagen mit aerober biologischer Reinigungsstufe für Anschlusswerte zwischen 50 und 500 Einwohnerwerten. ATV-DVWK Arbeitsblatt 122, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef, Juni 1991 |
| ATV-DVWK-A 123 | 1985 | Behandlung und Beseitigung von Schlamm aus Kleinkläranlagen. ATV-DVWK Arbeitsblatt A 123, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef, Juni 1985 |
| ATV-DVWK-A 131 | 2000 | Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. ATV-DVWK Arbeitsblatt A 131, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef, Mai 2000 |
| ATV-DVWK-M 205 | 1998 | Desinfektion von biologisch gereinigtem Abwasser. ATV-DVWK Merkblatt M 205, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef, Juli 1998 |
| DIN 4261 Teil 1 | 2002 | Kleinkläranlagen; Anlagen zur Abwasservorbehandlung. Beuth Verlag, Berlin, 2002 |
| DIN 4261 Teil 2 | 1984 | Kleinkläranlagen, Anlagen mit Abwasserbelüftung; Anwendung, Bemessung, Ausführung und Prüfung; Beuth Verlag, Berlin, 1984 |

DIN 4261 Teil 3	1990	Kleinkläranlagen, Anlagen mit Abwasserbelüftung; Anwendung, Bemessung, Ausführung und Prüfung; Beuth Verlag, Berlin, 1990
DIN 4261 Teil 4	1984	Kleinkläranlagen, Anlagen mit Abwasserbelüftung Betrieb und Wartung, Beuth Verlag, Berlin, 1984
DIN EN 12566-3 (Entwurf)	2001	Kleinkläranlagen für bis zu 50 EW; Teil 3: Vorgefertigte und/oder vor Ort montierte Anlagen zur Behandlung von häuslichem Schmutzwasser; Beuth Verlag Berlin Oktober 2001
EWG	1975	Richtlinie des Rates 76/160/EWG vom 8. Dezember 1976 über die Qualität der Badegewässer. AB1. Nr. L 31 vom 31.02.1976
Finke, G.	2001	Kleinkläranlagen; Hrsg.: ATV-DVWK Landesverband Nord; Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hildesheim, Mai 2001
Kordes, C.	2004	Mündliche Mitteilung vom 06.02.04
Köver	2001	Homepage der Firma Köver, Buxtehude http://www.koever.de
KWS	2002	Firmenunterlage KWS Water Solutions GmbH, Herford, Produktflyer ClearWater
newtec	2001b	Firmenunterlagen Firma newtec, Berlin, Grundlagen der elektrokatalytischen Wasserdeseinfektion
NewTec	2003	Schriftliche Auskunft der Firma NewTec, Berlin, vom 18.12.2003 durch Herrn Busse.
newtect	2001a	Firmenunterlagen Firma newtec, Berlin. Bedienungsanleitung e-disinfector 0.25
Prominent	2003	Homepage der Firma Prominent, www.prominent.de
WHG	1996	Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts, Wasserhaushaltsgesetz, 2002

Anlagen

1. Betriebs- und Wartungsanleitung
2. Betriebsbuch / Formulare
3. Angebotsdokumentation
4. Untersuchungsberichte der Mikrobiologischen Untersuchungen