



FACHBEREICH 8 – TECHNISCHER UMWELTSCHUTZ

Studiengang:

„ENVIRONMENTAL PLANNING AND MANAGEMENT“

MASTERARBEIT

*Perspektiven für die Reinigung und Wiederverwendung von
kommunalem Abwasser in Serbien und Mazedonien*

vorgelegt von

Trajce Mitev

Matr.-Nr. 15161060

Erster betreuender Professor: Herr Prof. Dr. -Ing. J. Fettig

Externer Betreuer: Herr Prof. Dr. -Ing. F. Bischof



HÖXTER IM MAI 2006

Thema:

*„Perspektiven für die Reinigung und Wiederverwendung von
kommunalem Abwasser in Serbien und Mazedonien“*

*„Das Prinzip aller Dinge ist das Wasser,
denn Wasser ist alles
und ins Wasser kehrt alles zurück.“*

Thales von Milet

Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Joachim Fettig, der mir die Bearbeitung dieses Themas ermöglichte, sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. Franz Bischof und Herrn Dipl.-Ing. Rainer Köhler für ihre Unterstützung bei der Firma Hans Huber AG.

Weiterhin möchte ich mich bei den vielen hilfsbereiten Mitarbeitern der Hans Huber AG, die mir mit Rat und Tat zur Seite standen, bedanken.

Vielen Dank meinen Eltern dafür, dass sie mir mein Studium ermöglicht und mich stets unterstützt haben.

HÖXTER, IM MAI 2006

Trajce Mitev

Erklärung

Die vorliegende Arbeit wurde im Sommersemester 2006 bei der Hans Huber AG angefertigt. Sie wurde selbständig verfasst und noch nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt.

Es wurden nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtliche und sinngemäße Zitate wurden als solche gekennzeichnet.

HÖXTER, IM MAI 2006

Trajce Mitev

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	Hintergrund der Arbeit	1
1.2	Aufgabenstellung	3
2	RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN IN DEN BEREICHEN „KOMMUNALES ABWASSER“ UND „KLÄRSCHLAMMENTSORGUNG“ ...	4
2.1	Einleitung im Bereich: Kommunales Abwasser	4
2.2	Rechtliche Rahmenbedingungen in Mazedonien	4
2.2.1	Wassergesetz (Entwurf)- Skopje, Januar, 2005	5
2.2.2	Umweltgesetz, Skopje, Juni, 2005.....	10
2.3	Rechtliche Rahmenbedingungen in Serbien.....	11
2.3.1	Verordnung für die Qualität des Abwassers und die Art der Einleitung in die Gewässer	12
3	STAND BEI DER KOMMUNALEN ABWASSERREINIGUNG UND KLÄRSCHLAMMENTSORGUNG.....	12
3.1	Beschreibung des aktuellen Stands bei der kommunalen Abwasserreinigung in Serbien und Mazedonien.....	12
3.2	Maßnahmen zum EU-Eintritt	12
3.3	Ausblick in die Zukunft.....	12
4	ALLGEMEINES ZUR ABWASSERREINIGUNG	12
4.1	Allgemeine Gesichtspunkte	12
4.2	Abwasserparameter.....	12
4.3	Allgemeine Begriffe zur Abwasserreinigung	12
5	KONZEPTE FÜR DIE ZUKÜNFTIGE REALISIERUNG DER ABWASSERREINIGUNG AUF DER BASIS EINER FALLANALYSE.....	12
5.1	Ausschreibungsdaten	12
5.2	Verfahrenskonzepte.....	12
5.3	KONZEPT I – Membranbelebung.....	12

5.3.1	Mechanische Reinigung mit ROTAMAT® Pipestrainer	12
5.3.2	Vorlagebehälter	12
5.3.2.1	Berechnung des Vorlagebehältervolumens.....	12
5.3.3	Biologische Reinigung mit HUBER VRM® -Verfahren.....	12
5.3.3.1	Auswahl einer VRM.....	12
5.3.3.2	Belebungsbecken.....	12
5.3.3.3	Belüftungseinrichtungen.....	12
5.3.4	Schlamm Speicher	12
5.3.5	Schlamm entsorgung.....	12
5.4	KONZEPT II – Anaerobe Behandlung	12
5.4.1	Mechanische Abwasserreinigung mit integrierter Siebgutpresse und - wäsche mit HUBER ROTAMAT® Siebschnecke Ro 9 (3 mm)	12
5.4.2	Vorlagebehälter	12
5.4.3	Der Anaerobreaktor	12
5.4.3.1	Volumenberechnung (Anaerobreaktor)	12
5.4.3.2	Verhältnis von CSB, Stickstoff und Phosphor.....	12
5.4.4	Teichkläranlage	12
5.4.4.1	Bemessung	12
5.4.4.2	Volumenberechnung	12
5.4.4.3	Wasserdichtheit.....	12
5.4.4.4	Kontrolle und Wartung.....	12
5.4.4.5	Vor- und Nachteile von Abwasserteichanlagen.....	12
5.4.4.6	Entschlammung.....	12
6	KOSTENVERGLEICHSANALYSE	12
6.1	Kosten zur Realisierung des ersten Konzepts	12
6.2	Kosten zur Realisierung des zweiten Konzepts	12
6.3	Zusammenfassung der Kosten der beiden Konzepte	12
7	POTENTIALE FÜR EINE ABWASSERWIEDERVERWENDUNG	12
7.1	Wasserwiederverwendungsarten.....	12
7.2	Qualitätsanforderungen an behandeltes Abwasser zur Bewässerung.....	12
7.3	Wiederverwendung des gereinigten Abwasser nach Durchlaufen der Konzepte I und II	12

8	BEWERTENDES FAZIT	12
----------	--------------------------------	-----------

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Städte in Serbien und Montenegro mit Abwasserkläranlage.....	12
Abbildung 2: Schematische Darstellung des ersten Konzepts	12
Abbildung 3: Schematische Darstellung des Pipestrainer.....	12
Abbildung 4: Schwankungen der Abwassermenge und der darin erhaltenen absetzbaren Stoffe von 50.000 Einwohnern im Laufe von 24 Stunden [15].....	12
Abbildung 5: VRM -Leistung	12
Abbildung 6: HUBER VRM [®] -Unit [16]	12
Abbildung 7: Glasklares Wasser als Ergebnis moderner Abwasserreinigung.....	12
Abbildung 8: VRM [®] 20 Modul mit einer Filterfläche von 3 qm [16].....	12
Abbildung 9: Schematische Darstellung einer Membranträgerplatte [16]	12
Abbildung 10: Beckendimensionieren.....	12
Abbildung 11: Schematische Darstellung des zweiten Konzepts.....	12
Abbildung 12: HUBER ROTAMAT [®] Siebschnecke Ro 9.....	12
Abbildung 13: Schematische Darstellung eines Festbettreaktors [21]	12
Abbildung 14: Belüfteter Abwasserteich	12
Abbildung 15: Funktionschema einer belüfteten Abwasserteichanlage [9]	12

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Rechtsgrundlagen des kommunalen Abwassers in Serbien	11
Tabelle 2: Die maximalen erlaubten Konzentrationen gefährlicher und schädlicher Stoffe im Abwasser, die in Gewässer frei einleiten werden dürfen [4]	12
Tabelle 3: Städte mit Abwasserkläranlage	12
Tabelle 5: Durchschnittliche Verschmutzung des häuslichen Abwassers [13]	12
Tabelle 6: Berechnungsdarstellung der Überschussabflussmenge	12
Tabelle 7: Durchsatzleistung VRM 20 [17]	12
Tabelle 8: Kosten für Pipestrainer (Mechanische Reinigung)	12
Tabelle 9: Kosten für Vorlagebecken, Belebungs- und Filtrationskammer	12
Tabelle 10: Kosten der VRM	12
Tabelle 11: Kosten der Ro 9	12
Tabelle 12: Investitionskosten Vorlagebecken	12
Tabelle 13: Investitionskosten Anaerobreaktor	12
Tabelle 14: Zusammenstellung der Kosten für Konzept I	12
Tabelle 15: Zusammenstellung der Kosten von Konzept II	12
Tabelle 16: WHO-Richtlinien (1989) für die Nutzung behandelten Abwassers in der Landwirtschaft [26]	12

Abkürzungen

BSB ₅	Biologischer Sauerstoffbedarf (5 Tage)
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CARDS	Community Assistance for Reconstruction, Development and Stabilisation
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
d.h.	das heißt
E	Einwohner
EW	Einwohnerwert
DIN	Deutsches Institut für Normung
EU	Europäische Union
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LGA	Landesgewerbeanstalt
MAP	Magnesiumammoniumphosphat (Struvit)
Mio.	Million
Nr.	Nummer
PHARE SOP 99	The Programme of Community aid to the countries of Central and Eastern Europe
rd.	rund
Ro	ROTAMAT
SBR	Sequencing Batch Reactor
u.a.	und andere
UF	Ultrafiltration
usw.	und so weiter
v.a.	vor allem
vgl.	vergleiche
VRM	Vacuum Rotation Membrane
z.B.	zum Beispiel

Formelzeichen und Einheiten

a_{OC}	[kg/h]	Sauerstoffzufuhrvermögen in Abwasser
A	[m ²]	Fläche
B	[m]	Breite
B_A	[g/(m·d)]	Flächenbelastung
$B_{d,BSB5}$	[kg/d]	BSB 5 -Fracht je Tag
$B_{R,BSB5}$	[kg/(m ³ ·d)]	BSB 5 -Raumbelastung
B_{TS}	[kg/(kg·d)]	BSB 5 -Schlammbelastung
f_{O_2}	[g/(m ³ ·m)]	spezifische Sauerstoffausnutzung
h	[m]	Tiefe des Teiches
h_E	[m]	Einblastiefe; Steighöhe der Druckluft im Wasser
L	[m]	Länge
O_B	[kg/kg]	Sauerstofflast, Quotient aus spezifischem Sauerstoffzufuhrvermögen und BSB 5 - Raumbelastung
oTR	[mg/l]	Organische Trockenrückstand
$OV_{C,BSB5}$	[kg/kg]	Sauerstoffverbrauch
TKN	[mg/l]	Kjeldahl-Stickstoff-Konzentration (Ammonium-N und organischer N)
TS_{BB}	[kg/m ³]	Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken
t_{TS}	[d]	Schlammalter
Q_L	[m ³ /h]	Luftvolumenstrom
Q_{Zu}	[m ³ /d]	Abwasserzufluß
V_R	[m ³]	Reaktorvolumen
V_{BB}	[m ³]	Nutzinhalt des Belebungsbeckens
$ÜS_B$	[kg/kg]	spezifische Überschußschlammproduktion, bezogen auf B_d ,
W_R	[W/m ³]	Leistungsdichte
V_{BT}	[m ³]	Nutzinhalt des belüfteten Teichs

Zusammenfassung

In Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die aktuelle Situation im Bereich der kommunalen Abwasserreinigung in Serbien und Mazedonien beschrieben. Es wurden die aktuellen und zukünftigen rechtlichen Rahmenbedingungen für diesen Bereich dargestellt und der derzeit in beiden Ländern erreichte Stand bei den kommunalen Abwasserkläranlagen und Klärschlammentsorgung beurteilt.

Zwei Konzepte für die zukünftige Realisierung der Abwasserreinigung für den ländlichen Bereich in dieser Region wurden auf der Basis von einer Fallanalyse erarbeitet und dargestellt. Dabei wurde berücksichtigt, dass das gereinigte Abwasser für die Bewässerung genutzt werden kann. Als Fallbeispiel wurde der Ort Karbinci genommen, der sich in Ostmazedonien befindet. Das erste Konzept ist eine Belebungsmembrankombination, die eine neue und zukunftsorientierte Methode darstellt, um das Volumen des Abwasserbelebungsbeckens stark zu reduzieren. Das zweite Konzept ist eine anaerob-aerob Kombination bzw. ein Bioreaktor und ein belüfteter Teich als Nachstufe. Zunächst wurden die Vor- und Nachteile der beiden Konzepte analysiert, danach wurden alle Becken dimensioniert und die Investitionskosten zur Realisierung der Konzepte ermittelt. Anhand der Ergebnisse ist eindeutig festzustellen, dass die beiden Konzepte sowohl die EU-Bestimmungen erfüllen, als auch, dass das gereinigte Abwasser zur Bewässerung genutzt werden kann und diese Konzepte finanziell eine optimale Lösung für die betrachtete Region darstellen.

Serbien und Mazedonien sind Länder, die in absehbarer Zeit der Europäischen Union beitreten werden. Deshalb müssen sie die Anforderungen der EU im Bereich der Abwasserreinigung, sowie bezüglich des allgemeinen Umweltschutzes erreichen. Demzufolge ist in diesem Bereich eine schnelle Entwicklung zu erwarten, welche größere Investitionen in den nächsten Jahren mit sich bringen wird. Die Firmen, die Maschinen und Anlagen zur Abwasserreinigung anbieten, Firmen wie Hans Huber AG, können mit ihren Erfahrungen und neuen innovativen Lösungen in diesem Bereich helfen.

Abstract

In the previously enclosed material the current situation of the purification of the municipal waste waters in Serbia and Macedonia was described. Also the procedure taken with the received sludge was described too. The existing and the future legal regulations for this topic were presented and the necessary technical state of the wastewater treatment plants (WWTP) in the region was shown.

The two concepts for further problem solution (about the municipal waste waters) were presented, water that can be used again for irrigation. As an example for the analysis, the Community Karbinci was chosen, community which is situated in the Eastern part of Macedonia. The first concept is presented as a combination of aerobic and membranous cleaning and it is a new method which reduces the volume of the aeration tanks, place where the substances in waste waters are destroyed and at the same time the space needed for their building.

The second concept is a combination of anaerobic and aerobic treatment, or in other words, anaerobic reactor and pond with aeration system are planned. After the analyses were done all the advantages and the disadvantages of the two concepts were seen and the objects dimensioned and the total estimation of the investment expenses was done. From the received results it can be concluded that the two concepts meet the demands of the European Union and the purified water can be further used for irrigation and financially they are optimum decisions of this case.

Serbia and Macedonia are countries which expect to become members of the EU in the following period, and they will have to meet the standards for the cleaning of the waste waters and the protection of the environment. That is why a big progress and bigger investments for the future are expected. The companies which offer machines and installations for water purification, like Hans Huber AG, can help with their experience and new innovative solutions.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund der Arbeit

Wasser ist die Grundlage des Lebens, und deshalb wird zum Beispiel auf anderen Planeten vor allem nach Wasser gesucht, um festzustellen, ob es dort Leben gibt oder Leben gegeben hat. Drei Viertel der Erdoberfläche sind mit Wasser bedeckt. Die gesamte Wassermenge beträgt ca. 1,4 Milliarden Kubikkilometer. Davon umfassen 92,2 % Salzwasser und das Eis der Pole. Das Gebirge enthält weitere 2,2 %. Das Süßwasser der Flüsse, der Seen und des Grundwassers der Kontinente macht nur 0,6 % der gesamten auf der Erde vorhandenen Wassermenge aus.

Durch die Einwirkungen der Sonnenenergie ist Wasser einem ständigen Kreislauf unterworfen. Wasser ist am Aufbau der Pflanzen- und Tierwelt maßgeblich beteiligt. Der menschliche Körper besteht aus 60 bis 70 % Wasser, manche Gemüse und Früchte zu mehr als 90 %. Beim erwachsenen Menschen beträgt der tägliche Wasser-Bedarf etwa 35 g je kg Körpergewicht. Ein erwachsener Mensch braucht täglich ca. 3 l Wasser in Form von Getränken oder als Bestandteil anderer Nahrungsmittel.

Wasser wird allerdings auch dort verbraucht, wo es nicht lebensnotwendig, aber bei unserem Zivilisationsstand unentbehrlich ist, z.B. bei der Körper- und Wohnungspflege. Insgesamt verbraucht jeder Einwohner der Bundesrepublik Deutschland ca. 130 - 150 l Wasser pro Tag. Ebenso ist die Industrie auf Wasser angewiesen. So werden z.B. zur Herstellung von 1 kg Kunststoff bis zu 500 l Wasser eingesetzt. Daher ist der sorgsame und sparsame Umgang mit Wasser sowie dessen Reinhaltung eines der wichtigsten Ziele des Umweltschutzes.

Mit der Ostweiterung der Europäischen Union müssen sich die neuen und die zukünftigen Mitgliedsstaaten auch den Anforderungen der EU auf dem Gebiet des Umweltschutzes stellen. Hierzu gehört nicht zuletzt die weitergehende Reinigung von Abwasser als Instrument des vorsorgenden Gewässerschutzes, die zunächst in entsprechenden nationalen Gesetzen und Verordnungen festgelegt und dann durch konkrete technische Maßnahmen umgesetzt werden muss. Dies kann durch die

Erweiterung und Ertüchtigung vorhandener Anlagen oder den Bau neuer Anlagen geschehen.

Vor diesem Hintergrund ergibt sich der Anlass für diese Arbeit, in welcher technische Konzepte für Serbien und Mazedonien entwickelt werden, mit welchen sich die zukünftigen Anforderungen der EU erfüllen lassen. Die Konzepte beziehen sich auf die zukünftige Realisierung der Abwasserreinigung auf der Basis einer Fallanalyse für den ländlichen Bereich. Zuvor müssen jedoch erst die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Reinigung des kommunalen Abwassers erörtert werden. Im Rahmen des zweiten Kapitels wird der in beiden Ländern derzeit erreichte Stand bei der kommunalen Abwasserreinigung und Klärschlammentsorgung aufgezeigt und diskutiert. Anschließend werden die Potentiale für eine Abwasserwiederverwendung abgeschätzt.

1.2 Aufgabenstellung

In dieser Arbeit soll zunächst die aktuelle Situation im Bereich der kommunalen Abwasserreinigung in Serbien und Mazedonien dargestellt werden. Auf dieser Basis sollen technische Konzepte entwickelt und beschrieben werden, mit denen sich die zukünftigen Anforderungen erfüllen lassen. Dabei ist auch die Möglichkeit einer Abwasserwiederverwendung zu berücksichtigen.

Spezifizierte Aufgabenstellung

- 1. In einer einführenden Übersicht ist darzustellen, welche rechtlichen Rahmenbedingungen es für die Bereiche „Kommunales Abwasser“ sowie „Klärschlammentsorgung“ in Serbien und Mazedonien aktuell gibt und wie der behördliche Vollzug erfolgt.*
- 2. Der in beiden Ländern derzeit erreichte Stand bei der kommunalen Abwasserreinigung und Klärschlammentsorgung soll beschrieben und im Hinblick auf die aktuellen und zukünftigen Anforderungen beurteilt werden.*
- 3. Getrennt für den ländlichen und den städtischen Bereich sollen auf der Basis von Fallanalysen Konzepte für die zukünftige Realisierung der Abwasserreinigung erarbeitet, dargestellt und unter Bezugnahme auf Betriebserfahrungen an anderer Stelle diskutiert werden.*
- 4. Es ist zu versuchen, die Potentiale für eine Abwasserwiederverwendung, beispielsweise für industrielle Zwecke oder in der Landwirtschaft, abzuschätzen und die dafür erforderlichen Reinigungsverfahren zu spezifizieren.*
- 5. Die Arbeit soll eine Zusammenfassung der Ergebnisse in deutscher und englischer Sprache, jeweils auf maximal zwei DIN-A 4 Seiten, enthalten.*

2 Rechtliche Rahmenbedingungen in den Bereichen „Kommunales Abwasser“ und „Klärschlamm-sorgung“

2.1 Einleitung im Bereich: Kommunales Abwasser

Als kommunales Abwasser wird das aus Haushaltungen oder ähnlichen Einrichtungen und damit zusammen in der Kanalisation abfließende Niederschlagswasser oder sonstiges Abwasser aus Gewerbe- oder Industrieanlagen bezeichnet.

Zielsetzung der Ableitung und Behandlung dieser Abwässer ist es, Boden und Gewässer vor schädlichen Verunreinigungen zu schützen und deren Nutzung und die dortigen Lebensgemeinschaften möglichst nicht zu beeinträchtigen.

Die Anforderungen an die kommunalen Abwasseranlagen sind insbesondere in der Richtlinie des Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser (91/271/EWG) sowie in den gesetzlichen Regelungen der Länder, insbesondere im Wassergesetz festgelegt.

Zur Beseitigung der kommunalen Abwässer in Serbien und Mazedonien sind grundsätzlich die Gemeinden verpflichtet, in denen das Abwasser anfällt. Bestandteil dieser Verpflichtung ist auch eine regelmäßige Kontrolle eines ordnungsgemäßen Betriebs und Unterhaltung dieser Anlagen. Der ordnungsgemäße Zustand und Betrieb der Anlagen wird im Rahmen der Eigenüberwachung und der staatlichen Überwachung regelmäßig überprüft.

2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen in Mazedonien

Das Wassergesetz („Amtsblatt der RM“, Nr. 4/98, 19/00) soll die gesetzliche Grundlage zum Schutz und zur Verwaltung der Gewässer in der Republik Mazedonien.

In diesem Gesetz sind jedoch nur die Belange bezüglich des Trinkwassers geregelt, für die Abwasserreinigung und den Gewässerschutz findet man hierin keine Bestimmungen.

Das bestehende Gesetz für Gewässer definiert die Bedingungen und Methoden zur Nutzung und Verteilung der Gewässer, zum Schutz vor Überschwemmungen und andere schädlichen Wirkungen der Gewässer, zur Kontrolle der Verschmutzung der Gewässer, zur operativen Verwaltung der Gewässer und zur Finanzierung der Tätigkeiten der Wasserwerke. Die Forderungen im Bezug auf die Qualität der Gewässer sind nicht tief im Gesetz „eingearbeitet“. Dieses Gesetz lehnt sich wie auch andere wichtige gesetzliche Akte in großem Maß an die Gesetzgebung aus dem ehemaligen Jugoslawien an. Die Gesetzgebung der Republik Mazedonien sowie die Vorschriften auf dem Gebiet der Gewässer sind zum größten Teil schon vorher verabschiedet worden, noch bevor die juristischen Akte der EU auf diesem Gebiet verabschiedet wurden. Diese Gesetze wurden konsequent in Übereinstimmung mit den nationalen Bedingungen, Bedürfnissen und Forderungen ausgearbeitet, ohne dabei die Gesetzgebung der EU in Betracht zu ziehen. [1]

Um diese Fehler zu beheben und um die nationale Gesetzgebung der europäischen anzugleichen, ging man 2003 daran, ein neues Gesetz für Gewässer auszuarbeiten, welches alle Aspekte der Verwaltung umfasst: Benutzung der Ressource, Schutz und Kontrolle der Verschmutzung, Schutz vor schädlicher Wirkung der Gewässer und Planung einer funktionierenden Verwaltung mit den Gewässern. Das Gesetz wurde im Rahmen des PHARE SOP 99 Programms ausgearbeitet.

Durch das Gesetz werden die Art und Weise des Wasserverbrauchs, der Schutz der Gewässer vor Verschmutzung und Ausschöpfung, die Wasserwirtschaft, die Finanzierung der Tätigkeiten der Wasserwerke, die Konzessionen, die Bestimmungen für Grenzgewässer und andere Fragen, die für die Schaffung eines einheitlichen Systems zur Benutzung der Gewässer von Bedeutung sind, geregelt.

2.2.1 Wassergesetz (Entwurf)- Skopje, Januar, 2005

Im Gesetzesentwurf sind die Forderungen der folgenden EU-Richtlinien auf dem Gebiet der Gewässerverwaltung direkt übermittelt:

- Direktive (Richtlinie) des Europäischen Parlaments und Rates Nr. 91/271/EWG zur Behandlung der kommunalen Abwässer;

- Direktive (Richtlinie) des Europäischen Parlaments und Rates Nr. 86/278/EWG zum Schutz der Umwelt, besonders wenn in der Landwirtschaft Klärschlamm benutzt wird;

Der Gesetzesentwurf für Gewässer stellt einen Rahmenvertrag dar, in dem die wichtigsten Vorschriften und Ziele umfasst sind, während die technischen Aspekte in den Unterpunkten geregelt werden.

Die wichtigsten Gesetzpunkte sind in folgend gegeben:

IV. Schutz der Gewässer

1. Allgemeine Vorschriften

Artikel 77

Allgemeine Verbote

Jegliche Tätigkeit, mit der die Gewässer verschmutzt werden oder Abwässer ausgelassen werden oder mit der eine Verschmutzung oder das Einleiten von Abwässern ermöglicht wird, ist verboten, außer es ist gesetzlich erlaubt.

7. Urbane Abwässer

Artikel 112

Beseitigung von Abwässern

Die Beseitigung von Abwässern im Sinne dieses Gesetzes bedeutet Sammlung, Durchführung, Säuberung und Einleitung von Abwässern von den häuslichen und industriellen Erzeugern, wie auch des gesammelten Regenwassers in den urbanen Gebieten. Die Beseitigung umfasst auch unterirdische Infiltration oder Bewässerung des Bodens mit Abwässern wie auch die Beseitigung des Klärschlammes, den man durch die Behandlung der Abwässer bekommt.

Artikel 113

Allgemeine Pflichten

- (1) Die Gemeinde und die Stadt Skopje sind dazu verpflichtet, die Abwässer innerhalb ihres Gebiets zu sammeln, zu beseitigen und zu säubern. Dazu gehört auch die Beseitigung des Klärschlammes.

(2) Die Gemeinden und die Stadt Skopje sorgen dafür, dass die urbanen Abwässer, die in die Kanalisation eintreten, vor dem Auslassen einer Behandlung gemäß den Vorschriften der Artikel 114 bis 118 dieses Gesetzes unterzogen worden sind, wie auch:

1. Die Anlagen werden so geplant, gebaut, betrieben und gepflegt, dass eine erfolgreiche Arbeit in den lokalen klimatischen Bedingungen möglich ist;
2. Die gesäuberten Abwässer und der Klärschlamm, die man als Resultat der Säuberung der Abwässer bekommen hat, sollen wieder verwendet werden, wenn dies angemessen ist;
3. Die Beseitigung der Abwässer und des Klärschlammes soll mit minimalen negativen Einflüssen auf die Umwelt erreicht werden.

(3) Die Gemeinden und die Stadt Skopje sind verpflichtet:

1. das Kanalisationssystem zu schaffen, zu verbessern und auszubauen und die Gewährleistung eines einwandfreien Abflusses der Abwässer aufrecht zu erhalten;
2. sich um die Entleerung der Abwassergruben zu kümmern;
3. den Abfluss der industriellen Abwässer in Vereinbarung mit den Vorschriften in das Kanalisationssystem zu erlauben und Übereinkünfte für ihre Einleitung zu treffen;
4. der Vereinbarung dieses Unterpunktes mit den Vorschriften für Monitoring der Gewässer von Punkt VI dieses Gesetzes zu folgen.

Artikel 114

Einleitung, Sammlung und Behandlung des urbanen Abwassers

(1) Die Regierung der Republik Makedonien und die Bürgermeister der Gemeinden und der Bürgermeister der Stadt Skopje sind verpflichtet, folgendes zu ermöglichen:

1. Das Bestehen eines System zur Sammlung der Abwässer in jedem bewohnten Gebiet mit mehr als 2000 Einwohnern und angemessener

Säuberung der Abwässer vor dem Einleiten in die Gewässer bis zu einem Niveau, welches die Qualitätsziele befriedigt;

2. Die angemessene Säuberung aller Abwässer, die aus Sammelsystemen für bewohnte Gebiete mit weniger als 2000 Einwohnern abgelassen werden;
 3. Sekundäre biologische oder andere angemessene Behandlung der Abwässer aus den Sammelsystemen für Abwässer aus bewohnten Gebieten mit mehr als 2000 Einwohnern, im Fall, dass die Abwässer in Zonen abgelassen werden, die empfindlich auf Einleiten der Abwässer reagieren können.
- (2) Wenn das Bestehen von Sammelsystemen und der Abfluss der Abwässer aufgrund hoher Kosten nicht gerechtfertigt ist oder diese nicht zur Verbesserung der Umwelt beitragen, werden individuelle Systeme oder andere angemessene Systeme benutzt, mit denen das gleiche Niveau zum Schutz der Umwelt erreicht werden kann.
- (3) Zur Realisierung der Vorschriften von Paragraph (1) und (2) dieses Artikels, verabschiedet die Regierung auf Antrag des Organs der Staatsverwaltung, welches für Arbeit auf dem Gebiet der Gewässerverwaltung zuständig ist, in Zusammenarbeit mit dem Organ der Staatsverwaltung, welches für die Arbeit auf dem Gebiet des Transports zuständig ist, ein Programm zum Abfluss, zur Sammlung und zur Behandlung der urbanen Abwässer.
- (4) Das Antragsprogramm wird auf Grundlage des Antragsprogramms des Rates der Gemeinde und des Rates der Stadt Skopje ausgearbeitet.
- (5) Alle urbanen Abwässer müssen durch die bestehenden Systeme gesammelt, abgeleitet und gesäubert werden (so wie das in Paragraph (1) und Paragraph (2) dieses Artikels geregelt ist), außer es sind keine anderen Methoden zur Sammlung und Säuberung notwendig, die mit der Erlaubnis zum Ablassen von Abwässern wegen der gefährlichen Zusammensetzung der industriellen Abwässer geregelt sind.

- (6) Der Umweltminister und der Verkehrsminister schreiben die näheren Bedingungen, die Art und die Forderungen zur Planung, Bau und Betrieb der Kanalisationssysteme und der Säuberungsstationen zur Behandlung der urbanen Abwässer vor, wie auch die technischen Standards, Parameter, Standards der Emission und die Normen für Qualität zur Entsorgung und Säuberung der Abwässer, im Hinblick auf die Überlastung und die Methode zur Reinigung der urbanen Abwässer, die in die Zone abgelassen werden, die empfindlich auf das Einleiten von urbanen Abwässern reagiert.

Artikel 118

Nutzung des Klärschlammes von der Reinigung der urbanen Abwässer

- (1) Der Klärschlamm den man durch die Reinigung der Abwässer bekommt, soll wieder genützt werden, falls dies angemessen ist. Dabei wird darauf geachtet, die negativen Einflüsse auf die Umwelt bis zum kleinsten möglichen Grad zu verringern. Zuvor muss eine Erlaubnis für die durchzuführenden Arbeiten auf dem Gebiet der Wasserverwaltung durch die zuständige staatliche Behörde ausgegeben werden.
- (2) Der Umweltminister schreibt in Einvernehmen mit dem Landwirtschaftsminister vor, auf welche Art und Weise der Klärschlamm genutzt wird. Des Weiteren wird folgendes vorgeschrieben: die Werte der Konzentration der Schwermetalle im Klärschlamm, die maximalen jährlichen Mengen von Schwermetallen, die in den Boden gelangen dürfen und die Art der Informationen, die die Erzeuger des Klärschlammes regelmäßig den Verbrauchern zukommen lassen müssen.
- (3) Der für das Wasser zuständige Minister schreibt den Inhalt der Anforderung und der Erlaubnis zur Nutzung des Klärschlammes vor, wie auch die Art und Weise zur Ausstellung der Erlaubnis zur Nutzung des Klärschlammes von Paragraph (1) dieses Artikels.

XIII. Vorläufige und abschließende Vorschläge

Artikel 248

Die Einleitung, Sammlung und Behandlung von urbanen Abwässern

Die Regierung der Republik Mazedonien ist in Zusammenarbeit mit den Bürgermeistern der Gemeinden und dem Bürgermeister der Stadt Skopje für folgendes zuständig:

1. Aufbau eines Systems zur Ansammlung der Abwässer in jedem bewohnten Gebiet mit mehr als 2000 Einwohnern und angemessene Reinigung der Abwässer bis zum Niveau, welches die Qualitätsziele befriedigt; im Zeitraum von 15 Jahren ab in Krafttreten dieses Gesetzes;
2. Angemessene Reinigung aller Abwässer die aus den Systemen zur Sammlung von Abwässern aus bewohnten Gebieten mit weniger als 2000 Einwohnern abgelassen werden; im Zeitraum von 15 Jahren ab in Krafttreten dieses Gesetzes;
3. Sekundäre (biologische) oder andere angemessene Behandlung der Abwässer von den Systemen zur Sammlung von Abwässern aus bewohnten Gebieten mit mehr als 2000 Einwohnern, im Fall, dass die Abwässer in Zonen abgelassen werden, die empfindlich auf die Einleitung von urbanen Abwässern reagieren; im Zeitraum von 15 Jahren ab in Krafttreten dieses Gesetzes; [2]

2.2.2 Umweltgesetz, Skopje, Juni, 2005

XXII. Strafbestimmungen

Artikel 213

(1) mit einer Geldstrafe von 200.000 - 300.000 Denari^A wird die Rechtsperson bestraft, wenn:

1. sie verschmutzende Stoffe und Substanzen in die Medien der Umwelt einfließen lässt, auf eine Art und Weise und in Mengen oder Konzentrationen, welche die vorgeschriebenen Normen (Artikel 20) überschreitet. [3]

^A Mazedonische Währung (61 Denari = 1 Euro)

2.3 Rechtliche Rahmenbedingungen in Serbien

Serbien nimmt samt seiner autonomen Provinzen Vojvodina (im Norden) und Kosovo-Metohija (im Süden, zurzeit unter internationaler Kontrolle) eine 88.361 km² große Fläche im Herzen der Balkanhalbinsel ein. Es hat keinen direkten Zugang zum Meer. Wichtigste Flüsse sind die Save und die Donau, die das Land auf dem Weg zum Schwarzen Meer über 588 km durchfließt.

Der Umgang mit dem kommunalen Abwasser in Serbien ist sehr wenig geregelt. Die Gesetze, Verordnungen und Vorschriften sind alt, manche sind sogar vom ehemaligen Jugoslawien geblieben und entsprechen nicht den Anforderungen der Europäischen Union. Zurzeit ist ein neues Wassergesetz in Vorbereitung, welches voraussichtlich im nächsten Jahr in Kraft treten wird. Hierin sind alle relevanten EU-Richtlinien berücksichtigt. Alle Gesetze und Verordnungen, die momentan in Serbien gelten und in welchen Aussagen zur kommunalen Abwasserentsorgung und -reinigung getroffen werden, sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Rechtsgrundlagen des kommunalen Abwassers in Serbien

	Rechtsgrundlagen
(a)	Verfassung von Serbien (Belgrad 28.09.1990)
(b)	Umweltschutzgesetz („Amtsblatt der RS“, 2004)
(c)	Nationalökologischer Aktionsplan (Belgrad 2004)
(d)	Gesetz für integrierte Verhindern und Kontrolle der Umweltverschmutzung
(e)	Gesetz zur strategischen Abschätzung von Umwelteinflüssen
(f)	Wassergesetz („Amtsblatt der RS“, Nr. 46/91, 53/93, 67/93, 48/94, 54/96)
(g)	Gesetz für kommunale Tätigkeit („Amtsblatt der RCG“, Nr. 12/95)
(h)	Verordnung für die Qualität des Abwassers und die Art der Einleitung in die Gewässer („Amtsblatt der RCG“, Nr. 10/97 und 27/97)

2.3.1 Verordnung für die Qualität des Abwassers und die Art der Einleitung in die Gewässer

(„Amtsblatt der RCG“, Nr. 10/97 und 27/97)

Artikel 5

Qualität des Abwassers zur Einleiten in einen Vorfluter

Die erforderliche Qualität des gereinigten Abwassers ist in folgenden Parametern beschrieben.

Tabelle 2: Die maximalen erlaubten Konzentrationen gefährlicher und schädlicher Stoffe im Abwasser, die in Gewässer frei einleiten werden dürfen [4]

Parameter	Einheit	Grenzwerte	Parameter	Einheit	Grenzwerte
Temperatur	°C	40	Ni	mg/l	1,0
Suspendierte Stoffe	mg/l	<300	Ag	mg/l	0,1
Sedimentierte Stoffe	mg/1h	10	Zn	mg/l	2,0
pH		6-9	Sn	mg/l	2,0
CSB	mg/l	<460	Se	mg/l	0,1
BSB ₅	mg/l	<500	NH ₄	mg/l	10
Al	mg/l	20	CN	mg/l	0,2
As	mg/l	0,1	F	mg/l	10
Ba	mg/l	4	NO ₂	mg/l	10
Pb	mg/l	0,5	NO ₃	mg/l	50
B	mg/l	2	P	mg/l	10
Cd	mg/l	0,1	SO ₄	mg/l	300
Cr	mg/l	0,5	S	mg/l	1
Fe	mg/l	2,0	Pflanzen- und Tieröl	mg/l	40
Cu	mg/l	1,0	Mineralöl	mg/l	10

3 Stand bei der kommunalen Abwasserreinigung und Klärschlamm Entsorgung

3.1 Beschreibung des aktuellen Stands bei der kommunalen Abwasserreinigung in Serbien und Mazedonien

Die Republik Serbien (10 Mio. Einwohner) und die Republik Mazedonien (2 Mio. Einwohner) befinden sich in einer Phase rascher Veränderungen in allen Sektoren der Regierung und Gesellschaft. Die Länder befinden sich im Wiederaufbau ihrer Wirtschaft und Infrastruktur sowie der Anpassung ihrer Gesetzgebung an neue nationale Prioritäten einschließlich der Harmonisierung mit EU-Normen und -Standards. Die Europäische Union unterstützt diese Entwicklung im Rahmen des CARDS-Programms in den Bereichen Energie, Transport, Umwelt und Wirtschaftsentwicklung.

Zurzeit existieren in den rd. 135 serbischen Städten nur 37 kommunale Kläranlagen (7 mit mechanischer Reinigung, 30 mit Biologie), von denen viele in einem schlechten Zustand oder ganz außer Betrieb sind. In Mazedonien existieren zurzeit nicht mehr als 10 kommunale Kläranlagen. Derzeit werden in Serbien nur 15 % und in Mazedonien nur 10 % des Abwassers aus der öffentlichen Kanalisation behandelt. Dabei wird ein großer Teil des industriellen Abwassers ohne Vorbehandlung ebenfalls über städtische Netze abgeleitet. Das ungereinigte Abwasser beeinflusst in Serbien vor allem die Flüsse Donau und Save und in Mazedonien Bregalnica und Vardar. Die Städte, in welchen eine Abwasserkläranlage existiert und auch funktioniert, sind in Tabelle 3 aufgelistet und in Abbildung 1 kartografisch aufgezeigt.

Tabelle 3: Städte mit Abwasserkläranlage

Städte in Serbien	Baujahr	EW	Durchfluss oder Wassermenge
Kragujevac	1990 in 2002 erweitert	250.000	1.250 l/s + 400 l/s
Nis	1988 in 2000 erweitert	-	120.000m ³ /d +250.000 m ³ /d
Gornji Milanovac	-	50.000	150 l/s
Sombor	1985	-	20.000 m ³ /d
Becej	1989	-	200l/s
Valjevo	1982 in 2002 erweitert	-	500 l/s +475 l/s
Subotica	-	-	60.000m ³ /d
Paracin	1989	-	-
Bujanovac	- ^A	1.000	-
Horgos	-	4.000	-
Pancevo	-	-	-
Novi Sad	-	45.000	-
Ruma	-	45.000	-
Städte in Montenegro	Baujahr	EW	Durchfluss oder Wassermenge
Podgorica	1978	55.000	36%
Städte in Mazedonien	Baujahr	EW	Durchfluss oder Wassermenge
Ohrid/Srtuga	1988	120.000	470l/s
Kumanovo	2006	100.000	1.300m ³ /h
Dojran	1988 in 2001 erneuert	12.000	100 l/s
Makedonski Brod	2000	5.000	750m ³ /d
Tarinci	2004	600	134 m ³ /d
Resen	1988	12.000	94l/s

Ein weiteres Hauptproblem in Serbien ist die Abwassersituation in der Hauptstadt Belgrad (rd. 1,7 Mio. Einwohner). Obwohl der Ausbau der Kanalisation bereits Ende des 19. Jahrhunderts begann, existiert bis heute keine Kläranlage in der Stadt. Die Situation stellt sich in Belgrad durch die große Einwohnerzahl und -konzentration noch verschärft dar. Hauptquelle für die Trinkwasserversorgung ist der Fluss Save, in welchen auch stromaufwärts der Wasserentnahmestellen unbehandeltes Abwasser direkt eingeleitet wird. Das Entwässerungsgebiet Banatzki im Norden der Stadt entwässert in die Donau. Das Gelände ist fast durchgängig eben mit einem Grundwasserspiegel nahe der Geländeoberfläche, weshalb es von vielen offenen Drainagekanälen und Bachläufen durchzogen ist. Zurzeit existierten in diesem Gebiet

^A Informationen sind nicht vorhanden

nur zwei Kanalstrecken für 2 Baugebiete, die direkt in die Donau ableiten. Der Großteil des Gebietes ist ohne Kanalisation und die häuslichen und industriellen Abwässer werden in das Gelände abgelassen. Ursprünglich hatte die Stadt geplant, das gesamte Terrain um mehrere Meter aufzuschütten, um damit den Baugrund aus der Grundwassernähe anzuheben. Durch viele illegale Ansiedlungen in den letzten Jahren (auch durch die nach Banatzki gekommenen Flüchtlinge) kann dies nicht mehr realisiert werden. Im Zusammenhang mit der derzeitigen Aktion der Stadtverwaltung für die Legalisierung dieser Ansiedlungen, müssen Lösungen für eine funktionierende zukunftsorientierte Abwasserkanalisation gefunden und eine Kläranlage errichtet werden. Der neue Generalplan zur Stadtentwicklung BEOGRAD2021 sieht den Neubau von vier kommunalen Kläranlagen vor. Gleichzeitig ist das Kanalisationssystem zu rekonstruieren und auszubauen.



Abbildung 1: Städte in Serbien und Montenegro mit Abwasserkläranlage

Die Industrie befindet sich in einer totalen Umbruchsituation. Ein Großteil arbeitet nur mit geringer Kapazität oder wurde stillgelegt und die zukünftige Entwicklung ist kaum abschätzbar. Bisher trug die Einleitung unbehandelten Industrieabwassers in die städtische Kanalisation bzw. direkt in die Gewässer sehr zur Umweltverschmutzung bei.

Der Klärschlamm, welcher aus der Reinigung der ca. 15% der Gesamtabwassermenge der betrachteten Region anfällt, erfährt keine weitere Behandlung. Der Klärschlamm wird momentan entweder einfach deponiert, oder zur landwirtschaftlichen Nutzung als Dünger auf die Felder ausgebracht. Grenzwerte oder Bestimmungen für diese Art der Nutzung bzw. Entsorgung sind in den derzeit gültigen Gesetzen und Vorschriften nicht berücksichtigt.

Das Problem für die Planung von Kläranlagen in Serbien und Mazedonien besteht vor allem darin, dass kaum Informationen und keine systematischen Untersuchungen zum Abwasseranfall in den Kommunen /Industrien vorliegen. Dies ist jedoch unbedingte Voraussetzung für ein Entwicklungsprogramm im Abwassersektor und für gezielte Unterstützungsprogramme der EU.

3.2 Maßnahmen zum EU-Eintritt

Seit der politischen Reform in Serbien im Herbst 2000 hat dieses Land das erklärte Ziel, der EU beizutreten. Die Umweltgesetzgebung befindet sich derzeit im Aufbau und die Verwaltung versucht bereits jetzt die Anforderungen für einen späteren EU-Beitritt in der Umweltpolitik zu berücksichtigen. Umweltmaßnahmen sind derzeit v. a. in den Bereichen Wasserversorgung und Sanierung von grundwassergefährdeten Gebieten vorgesehen.

Viele Produktions- und Infrastrukturanlagen in Serbien und Montenegro sind zerstört oder derart veraltet, dass für künftige Investoren eine Erneuerung mittels „Best Available Technology“ die erste Option darstellen wird und dabei große Technologiesprünge erreicht werden. Es ist anzunehmen, dass nach der geplanten Herstellung der Kostenwahrheit für Energie- und Ressourcenverbrauch im Land ein hoher Bedarf an modernster, integrierter Umwelttechnologie bestehen wird. Da sich die politische Stabilität, die Rechtssicherheit und damit die Planbarkeit für Investoren

weiter verbessern wird, kann das Land sicherlich als Zukunftsmarkt für Umweltinvestitionen bezeichnet werden.

Makedonien hat im März 2005 um die Aufnahme in die Europäische Union angesucht und liegt damit bereits ganz „auf Kurs Richtung EU“. In Mazedonien liegen die Prioritäten der Abwassereinigung auch bei der Behandlung und Entsorgung jener Abwässer, welche die Trinkwasserressourcen gefährden. Die Wasserver- und Abwasserentsorgung wurde in der Vergangenheit stark vernachlässigt, wobei vorrangig auf Verdünnung und die Selbstreinigungswirkung der Flüsse gesetzt wurde. Infolge unangemessen niedriger Tarife waren die Einnahmen der Ver- und Entsorgungsbetriebe zu gering, so dass Wartungsarbeiten und Neuinvestitionen ausblieben. Die verfehlte Preispolitik förderte zudem Überkonsumption und sorglosen Umgang. Abwasserentsorgung nach modernen Standards findet nicht statt. Dies führt zu großen Problemen durch Grundwasser- und Gewässerverschmutzungen und in der Folge zur Gefährdung der Trinkwasserversorgung und zu gravierenden Umweltverschmutzungen. Sowohl bei den gesetzlichen und institutionellen Rahmenbedingungen als auch beim Aus- und Aufbau von Kanalisationsnetzen und Klärkapazitäten sind dringend Maßnahmen erforderlich. Bisher fehlen in der Zentralregierung und auch in den Städten, Kommunen und Wasserver- und Entsorgungsbetrieben Daten und Informationen über Abwasseranfall und -verschmutzungen.

3.3 Ausblick in die Zukunft

Nach der Phase der politischen Willensfindung und der Konzeptionierung befinden sich diese Länder nun in der Phase der konkreten Umsetzung der Reformpläne, welche auch verstärkt die Umsetzung des Verursacherprinzips vorsehen. Damit werden in diesen Ländern in Zukunft viele Umweltprojekte auch betriebswirtschaftlich rentabel sein.

Die Länder zeichnen sich durch einen Investitionsstau in den letzten Jahrzehnten aus, wodurch jetzt bei Neuinvestitionen große Technologiesprünge und damit auch deutliche Effizienz- und Wirtschaftlichkeitsverbesserungen erreicht werden. Hinsichtlich der Rechts- und Planungssicherheit befinden sich diese Länder derzeit in einer unruhigen Phase, da die Neustrukturierung der Verwaltung und damit die

Festlegung der Zuständigkeiten und Tarifregelungen für Infrastrukturen (z.B. Energie-, Abfall-, Abwassersektor) noch nicht abgeschlossen sind. Dies sollte aber innerhalb der nächsten Jahre, ähnlich wie in den Ländern der ersten EU-Beitrittswelle der Fall sein. So werden z.B. die Erhöhung der Energieeffizienz zur Sicherung der Energieversorgung sowie das Abfallrecycling und Abwassereinigung als Schwerpunkte betont. Ein nicht zu verschweigendes Problem in diesen Ländern ist die Korruption, welche auch bei Behördengenehmigungen zu Umweltprojekten noch nicht befriedigend gelöst ist.

Deutschland besitzt den Ruf eines „Umweltmutterlandes“. Tatsächlich wurden aufgrund der engagierten nationalen Umweltpolitik in den 80er und 90er Jahren sowie der EU-Umweltrichtlinien, Umwelttechnologien und Umwelt-Lösungskonzepte in Deutschland bereits früh umgesetzt. Dadurch hat sich in Deutschland eine gut entwickelte Umwelttechnikbranche etabliert. Da in den untersuchten Ländern der Ausbau der Umweltinfrastruktur, wie z.B. Abwasserbehandlungssysteme um etwa 10 bis 20 Jahre zeitverzögert erfolgt, können deutsche Unternehmen die Erfahrungen im eigenem Land nutzen und neben der „Hardware“ auch Lösungspakete aus Planung, Bau und Betrieb anbieten. Deutsche Umwelttechnik-Unternehmen besitzen auch aufgrund der geographischen Nähe einen deutlichen Konkurrenzvorsprung gegenüber Umwelttechnik-Unternehmen aus anderen Ländern wie Frankreich, Dänemark oder Holland.

4 Allgemeines zur Abwasserreinigung

4.1 Allgemeine Gesichtspunkte

Jedes von Menschen unbeeinflusste Gewässer ist ein Biotop, in dem sich die biologischen und chemischen auf- und abbauenden Stoffwechselprozesse im Gleichgewicht befinden. Langfristige oder jahreszeitliche Veränderungen der Umwelteinflüsse (z.B. Laubfall im Herbst oder geringfügige Nährstoffzufuhr durch natürliche Bodenerosion) können schadlos kompensiert werden. Dieses Gleichgewicht wird durch die Einleitung von Abwasser in mehrfacher Weise empfindlich gestört. Dabei sind die Einflüsse von besonderer Bedeutung:

- aerob biologisch abbaubare Stoffe belasten den O₂-Haushalt der Gewässer,
- Pflanzendüngestoffe verursachen Eutrophierungen besonders in Seen, aber auch in Fließgewässern und küstennahen Meeresgebieten,
- schwer abbaubare, toxische Stoffe können sich in Sedimenten und Organismen anreichern, die Lebewesen schädigen und die Nutzung des Gewässers (Fischerei, Trinkwassergewinnung) beeinträchtigen.

Die Aufgabe der Abwasserreinigung mit ihren Verfahren ist es daher, diese negativen Einflussfaktoren vor der Einleitung von Abwasser in ein Gewässer mit möglichst weitgehendem Wirkungsgrad zu kompensieren.

Die Abscheidung von Feststoffen durch Rechen, Siebe, Sedimentation oder Flotation allein ist unzureichend und kann nur als erster Schritt einer mehrstufigen Reinigungskette dienen, da alle echt oder kolloidal gelösten oder in nicht absetzbarer Form suspendierten Stoffe nicht erfasst werden. Bei kommunalem Abwasser z.B. werden in der Regel nur 30 % bis 35 % der Gesamtverschmutzung in der „mechanischen Stufe“ durch Sedimentation entfernt.

Für die weitere Reinigung des Abwassers bis zu einem BSB-Wirkungsgrad von > 95 % wurden zu Beginn des Jahrhunderts biologischen Verfahren entwickelt. Man ging dabei davon aus, dass in der Natur alle biologisch abbaubaren, sauerstoffzehrenden organischen Stoffe durch Mikroorganismen zu anorganischen Endprodukten

abgebaut oder „mineralisiert“ werden. So nutzte man bei den sogenannten „Großräumiger Verfahren“ die natürlichen Selbstreinigungsprozesse im Gewässer (Teichverfahren) oder im Boden (Abwasser-Landbehandlung) zur Abwasserreinigung aus. Diese Verfahren sind jedoch von den klimatischen Verhältnissen (Sommer-Winter) stark abhängig, ermöglichten kaum eine Regelung des Prozessablaufes und beanspruchten relativ große Flächen.

Die ersten Zeugnisse abwassertechnischer Bauten finden sich in den Stadtkulturen des Altertums. Kanalisationsanlagen aus dem 6. Jahrtausend v. Chr. wurden bei Ausgrabungen in der Türkei gefunden, die Städte in Industral und Zweistromland (2. Jahrtausend v. Chr.) besaßen aus gebrannten Tonrohren oder gemauerten Ziegeln erstellte Kanäle. Bekanntes Beispiel einer altertümlichen Kanalisation ist die cloaca maxima in Rom aus dem 5. Jahrhundert v. Chr., erstellt von etruskischen Ingenieuren. Mit dem Ausbau der Kanalisationsanlagen des alten Roms und in den römischen Kolonien wurden beachtliche sozial-hygienische Leistungen vollbracht. [5]

Die ersten technischen Kläranlagen entstanden zu Anfang des 20. Jahrhunderts. Heute werden die in Haushalten und Industriebetrieben anfallenden Abwässer meist zusammen mit dem Regenwasser in einem Kanalsystem gefasst und einer zentralen Kläranlage zugeleitet. Nach geltendem Recht ist Abwasser ein durch jeglichen Gebrauch verändertes, insbesondere verunreinigtes und deshalb ein durch Einleiten in die Kanalisation, in ein Gewässer (Vorfluter) oder in den Untergrund zu beseitigendes Wasser. Die DIN 4045 unterscheidet die im Abwasser enthaltenen Fraktionen in Schmutzwasser (z.B. häusliches oder gewerbliches), Fremdwasser (z.B. eingedrungenes Grundwasser), Regenwasser, Mischwasser und Kühlwasser. Die Abwasserentsorgung in Deutschland umfasst ein öffentliches Kanalnetz von ca. 400.000 km, welches das Abwasser in die zentralen Abwasserbehandlungsanlagen leitet, von denen es in Deutschland ca. 10.000 Stück gibt. Die konventionelle Kläranlage besteht aus einer mechanischen und einer biologischen Reinigung. [6]

Moderne Abwasserreinigung besteht aus folgenden Schritten:

- Vorklärung / mechanische Behandlung
- biologische Behandlung
- chemisch-physikalische Behandlung

- Nachklärung

Die mechanische Behandlung besteht aus Rechen, Sandfang und Vorklärbecken. Kontinuierlich gestiegene gesetzliche Anforderungen erfordern den zusätzlichen Ausbau der Kläranlagen um der biologischen Klärstufe.

In der biologischen Klärstufe werden die Abwasser-Inhaltsstoffe, wie z.B. Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor, u. a. mit Hilfe von Bakterien aus dem Wasser entfernt. In Abhängigkeit vom gewählten Verfahrenskonzept können Phosphorverbindungen auch durch die Zugabe von chemischen Fällmitteln eliminiert werden.

Phosphor und Stickstoff stammen u. a. aus Waschmitteln, aus landwirtschaftlicher Düngung oder aus dem menschlichen Urin. Sie sind Nährstoffe und wirken düngend auf Algen im Gewässer. Deren übermäßiges Wachstum kann das Gewässer schwer schädigen.

Die biologischen Verfahren nutzen die Fähigkeit von Mikroorganismen, Schadstoffe im Abwasser abzubauen. Viele organische Schadstoffe können nur auf biologischem Wege wirtschaftlich aus dem Abwasser eliminiert werden. Hierzu stehen die verschiedensten Anaerob- und Aerobtechniken zu Verfügung. Die Besonderheit der Anaerobtechnik ist die Versäuerung und Vergärung organischer Kohlenstoffverbindungen zu den Endprodukten Methan und Kohlendioxid. Anaerobe Verfahren benötigen keine Sauerstoffbelüftung und die Menge an Überschussschlamm ist gering. Anaerobverfahren sind besonders geeignet für Abwässer mit hohen organischen (CSB, BSB) Belastungen.

Bei der Aerobtechnik werden die Mikroorganismen mit Sauerstoff versorgt, um den Abbau der Abwasserinhaltsstoffe zu unterstützen. Diese werden dann oxidativ in mineralische Bestandteile umgewandelt. Anaerobanlagen sind besonders geeignet zur Einhaltung niedrigster Grenzwerte von z.B. CSB, BSB, P und N.

Anaerob und Aerobtechniken können als Einzelverfahren oder in Kombination eingesetzt werden. So erfolgt idealer Weise der Haupt-CSB-Abbau in einem anaeroben Reaktor unter Bildung eines energiereichen Biogas und die anschließende Abwasserreinigung auf die niedrigen Direkteinleitergrenzwerte in einer aeroben Biologie. Durch die zusätzliche Integration von Membrantechniken

kann die Leistungsfähigkeit der biologischen Anlagen erhöht und der Platzbedarf deutlich verringert werden.

In der kommunalen Abwasserreinigung entsteht als „Abfallprodukt“ Klärschlamm. Dieser hat einen organischen Anteil von ca. 60-75% und setzt sich aus etwa 55% Primär- und 45 % Sekundärschlamm zusammen. [8] Die gesammelten Schlämme werden im Eindicker eingedickt, wodurch das Volumen verringert und das abgetrennte Wasser in die Abwasserreinigung zurückgeleitet wird. Damit der eingedickte Frischschlamm später in der Landwirtschaft genutzt werden kann, wird er bei Temperaturen von 60-70°C hygienisiert, wobei Krankheitskeime, Wurmeier usw. abgetötet werden. Bei einer Temperatur von ca. 35°C werden im Faulraum die abbaubaren organischen Stoffe unter Ausschluss von Sauerstoff in Biogas (Methan CH_4 und Kohlendioxid CO_2) zersetzt. Das anfallende Biogas wird im Gasometer bis zur Nutzung bzw. Umwandlung in thermische oder elektrische Energie gestapelt. Der Schlamm wird im Nachfaulraum weiter eingedickt und im Sommer auf die Felder ausgebracht. [7] Die in Deutschland pro Jahr anfallenden Klärschlamm-mengen liegen zwischen 2,2 und 4,9 Mio. t TS.

4.2 Abwasserparameter

Kommunales sowie mit ihm vermisches gewerbliches Schmutzwasser stellt ein Vielstoffgemisch dar, dessen Hauptbestandteil (ca. 99,9 %) Wasser ist. Eine vollständige Analyse aller im Wasser befindlichen Einzelverbindungen ist praktisch unmöglich und würde Jahre in Anspruch nehmen. Deshalb ist es nützlich, so genannte „Summenparameter“ zu bestimmen, die eine Vielzahl gleichartiger Stoffe erfassen und deren Bestimmung in kurzer Zeit eine übersichtliche Information liefert. Eine erste Einteilung kann nach organischen und anorganischen Wasserinhaltsstoffen vorgenommen werden. Summarische Größen für die organischen Stoffe sind:

- chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)
- biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB) und
- der totale organische Kohlenstoff (TOC).

Die Schwermetalle (z.B. Cadmium, Quecksilber usw.) sind einzeln zu bestimmen. Zu der Gruppe der Stoffe, die schon im Mikrogrammbereich hemmend auf Bakterien und toxisch auf die Biozönose wirken, gehören auch die Pestizide.

Abwasserinhaltsstoffe werden mit Blickpunkt auf ihre Wirkung im Vorfluter in vier Gruppen unterteilt:

- Die Zehrstoffe – diese belasten den Sauerstoffhaushalt eines Gewässers, indem sie den biochemischen Sauerstoffbedarf vergrößern. Dazu gehören alle abbaubaren organischen Stoffe und Ammonium.
- Die Nährstoffe – diese verursachen Eutrophierung (Überdüngung) in Gewässern und damit eine Verschmutzung durch Algen. Hierzu gehören Stickstoff (N) und Phosphor (P).
- Die Giftstoffe – diese wirken auf die Mikroorganismen des Wassers hemmend und toxisch (z. B. Schwermetalle und Pestizide).
- Die Störstoffe – diese Stoffe wirken in verschiedener Weise störend. Störstoffe sind z.B. Sand, Öle und Fette. [9]

4.3 Allgemeine Begriffe zur Abwasserreinigung

Ammonium

Man kennt Ammonium häufiger in der Form des Ammoniaks. Ammoniak kommt sowohl in wässriger Lösung, als auch als Gas vor. Der typische Pferdestallgeruch besteht zum Teil aus Ammoniak-Gasen. Eigentlich ist Ammoniak gar nicht so schlecht. Es hilft in geringen Dosen bekannterweise bei Schnupfen. Im Abwasser kann sich in bestimmten pH-Wert Bereichen aus Ammonium, das ein relativ ungefährlicher Dünger ist, schnell Ammoniak entwickeln. Ammoniak ist fischgiftig und sollte nach Möglichkeit nur sehr begrenzt in ein Gewässer gelangen.

Nitrit

Bekannt aus dem Speisesalz wird Nitrit als Konservierungsmittel in vielen Fleischarten verwendet. Nitrit ist für den Erwachsenen Menschen nicht schädlich. Bei Kleinkindern und Säuglingen allerdings kann mit Nitritpökelsalzen konservierte Nahrung zur lebensgefährlichen Blausucht führen. Im Abwasser ist Nitrit ein sehr starkes Fischgift. Nitritgehalte von 5 mg/l können in einem Aquarium beispielsweise

ein völliges Fischsterben verursachen. Leitet man Nitrit in ein Gewässer ein, wird es zwar sehr stark verdünnt, allerdings ist auch hier eine Gefahr nicht auszuschließen. In Biologischen Kläranlagen wird Nitrit als Übergangsprodukt der Nitrifikation, zu Nitrat umgewandelt.

Nitrat

Nitrat ist vor allem im landwirtschaftlichem Bereich als Dünger bekannt. Nitratstickstoffe sind für den Pflanzenwachstum mitverantwortlich. Nitrat ist für den Menschen nicht schädlich. Der Nitratgehalt im Abwasser ist für die Lebensformen auch nicht entscheidend. Allerdings führen zu hohe Konzentrationen zu einer sogenannten Eutrophierung des Vorfluters. Das vermehrte Pflanzenwachstum durch den eingeleiteten Dünger sorgt schnell dafür, dass das biologische Gleichgewicht aus den Fugen gerät.

Phosphat

Verdünnte Phosphorsäure ist in verschiedenen Lebensmitteln als Geschmacksregulator oder zur Konservierung enthalten. Colahaltige Getränke zum Beispiel enthalten Phosphorsäure. Phosphate in Lebensmittel sind kennzeichnungspflichtig. Während man vor einigen Jahren dazu überging, Phosphate aus Waschmitteln zu entfernen, trug man dazu bei, die Eutrophierung der Gewässer zu mindern. Im Industriellen Zeitalter, bei dem zunehmend größere Mengen an Reinigungsabwässern den Zulauf von Abwasserbehandlungsanlagen verdünnen, wird teilweise das für Mikroorganismen wichtige Phosphat sogar zudosiert. Der Stand der Technik erlaubt heute schon einen biologischen Phosphatabbau. Allerdings ist dieses komplizierte System für Kleinkläranlagen aufgrund der hohen Messanforderungen nicht praktikabel. Deshalb werden Phosphate ausgefällt, indem Fällungsmittel (zum Beispiel Eisenverbindungen) zudosiert werden. Die Phosphate binden sich mit dem Fällmittel und sinken zu Boden, wo sie entweder im Überschussschlamm (Großkläranlage) oder im Vorklärschlamm (Kleinkläranlage) sedimentieren und zusammen mit dem Schlamm entsorgt werden können.

Nitrifizierung

Die Umwandlung von Stickstoffverbindungen, von Ammoniumstickstoff über Nitrit zu Nitrat-Stickstoff, die oft auch fälschlicherweise als Stickstoffentfernung bezeichnet

wird, nennt man Nitrifikation. Für den Vorfluter schädliche Verbindungen, werden in unschädliche Dünger verwandelt. Nitrat, das Endprodukt der Nitrifizierung ist als solches nicht schädlich, führt auf lang oder kurz allerdings zu einer Eutrophierung. Deshalb folgt auf die heute übliche Nitrifikation eine weitere Stufe, die Denitrifikation

Denitrifikation

Das Abbauprodukt der Nitrifikation ist Nitratstickstoff. Um den als solchen nicht gefährlichen Dünger aus dem Wasser zu entfernen, macht man sich Bakterienstämme zu Nutze, die unter kontrollierten Bedingungen Nitratverbindungen "knacken" können. Diesen Bakterien wird der Sauerstoff entzogen. Im sauerstofflosen Milieu, man spricht auch von anoxischer Phase, beginnen die Bakterien den im Nitrat enthaltenen Sauerstoff aus der Verbindung zu lösen. Diese biochemische Veratmung hat zur Folge, dass sich jetzt freier elementarer Stickstoff im Wasser befindet. Elementarer Stickstoff kommt in der Natur als Gas vor und steigt somit auf und geht in die Luft über. Der Stickstoff ist aus dem Abwasser entfernt und schließt sich dem Luftkreislauf an.

Selbstreinigung

Die einfachste Kläranlage der Welt ist unsere Natur. In begrenzten Umfang kann die Natur sich "selbstreinigen". In jedem Wasser kommen Mikroorganismen vor, die sich von im Wasser enthaltenen Schmutzteilchen ernähren. Unterschieden wird zwischen sessilen und freischwebenden Mikroorganismen. Sessile Arten setzen sich zum Beispiel auf dem Boden eines Flusses oder an Pflanzen ab und nehmen vorbeitreibende Partikel auf. Man nennt das Biologischer Rasen. Freischwebende Arten bilden meist zusammen mit Schmutzpartikeln sogenannte Flocken aus, die frei im Wasser treiben und eine biologische Masse bilden. Der Reinigungsprozess fast aller Kläranlagen beruht immer auf einem dieser beiden Prinzipien. Es werden kontrollierte, optimale Lebensbedingungen geschaffen und die Selbstreinigungskraft wird somit vervielfacht.

Lebendes Wasser

Im Abwasser leben viele unterschiedliche Formen von Lebewesen. Meist so klein, dass man sie nur unter dem Mikroskop beobachten kann. Bakterien, Pilze und sogar Wurmeier finden sich im Rohabwasser von Kläranlagen. Einzellige und Mehrzellige

Lebewesen bilden meist Gemeinschaften, die entweder eine Nutz- oder eine Nahrungskette bilden. Eine Nutzkette ist zum Beispiel die Nitrifizierung, wobei eine Art von Lebewesen Nitrit produziert, das wiederum einer anderen Art als Nahrung dient. Vereinfacht ausgedrückt gilt auch im Abwasser "fressen und gefressen" werden. Heute kennt man die Zusammenhänge der einzelnen Lebewesen im Wasser so gut, dass man am Vorkommen der einen Art schon sehen kann, dass auch die dazupassende andere Art vorhanden sein muss. Man schließt zum Beispiel bei Ämoben darauf, dass deren Hauptnahrung, das Pantoffeltierchen auch vorkommen muss. Mit der Qualität und der Beschaffenheit des Abwassers ändern sich auch die Lebensbedingungen, was dazu führt, dass anpassungsfähige Lebewesen andere Arten verdrängen. In einer gut eingefahrenen Biologie, wie zum Beispiel bei SBR Anlagen, führt der Verdrängungswettbewerb dazu, dass häufig nur noch eine gewünschte Art von Organismen in der Biologie vorkommt. Die Biologie wird darauf trainiert indem man die Lebensbedingungen konstant hält. Stablen Biologien können auch kurzfristige Störungen meist nichts anhaben. Grundsätzlich passt sich das "lebende Wasser" immer den herrschenden Bedingungen an.

Krankheitserreger

Der Ablauf einer Kläranlage mag mit dem bloßen Auge sehr sauber aussehen, aber der Schein kann trügen. Winzige Bakterien und Pilze, zum Teil sogar Viren und Wurmeier können in einer Kläranlage nicht vollständig abgebaut werden. Das ist auch gar nicht gewollt, denn auch hierbei handelt es sich ja um Lebewesen, die in der Natur ihren festen Platz haben. Trinken darf man das Ablaufwasser einer Kläranlage aber auf keinen Fall. Der Nutzung als Brauchwasser steht unter bestimmten Bedingungen allerdings nichts entgegen. Hierzu ist allerdings eine Membranfiltration von Nöten. Die Membran kann zum Beispiel von einem Wurmei nicht durchdrungen werden, je nach Porengröße der Membran ist es sogar möglich Viren zurückzuhalten. Keimfreies Wasser hat allerdings auch seinen Preis. Für den normalen Haushalt an einer Kleinkläranlage ist es nur wichtig, zu wissen, dass man in der Nähe von Abwasser keinen Brunnen installieren kann und auch die Kinder sollten natürlich nicht in Kontakt mit dem Klärsystem kommen. Bei jeder Arbeit an einer Kläranlage sind grundsätzlich Handschuhe zu tragen. Beim Reinigen der Anlage mit einem Schlauch sollte auf Grund des aufsteigenden Wasserdampfes auch ein geeigneter Mundschutz getragen werden.

Betonkorrosion

Betonbehälter sind in der Abwassertechnik weit verbreitet. Früher wurden Mehrkammerausfallgruben aus Beton in den Boden eingesetzt, deren Deckel keine Entlüftung enthielt. Das macht natürlich auch Sinn, denn der Geruch aus so einer Ausfallgrube wäre im Sommer unerträglich. Da man die Faulgase dennoch irgendwie ableiten musste, installierte man Belüftungspilze, also Rohrleitungen, die irgendwo anders aus dem Boden kamen, wo der Geruch nicht störte. Da die Rohrleitungen leider meist unterhalb des Konus in den Behälter führten, teilweise auch noch unterhalb der Trennwand (bei einer kombinierten Zulaufentlüftung), bildete sich am höchsten Punkt des Betonbehälters eine Faulgaswolke. Diese führte zu starker Betonkorrosion und über Jahre konnte der weich werdende Beton sogar zu einer Gefahr werden. Der Deckel dieser Anlagen konnte durchbrechen. Bei heutigen Anlagen, die nach einem belüftetem Prinzip arbeiten, entstehen zwar immer noch Faulgase wie zum Beispiel Schwefelwasserstoff, der zusammen mit feuchter Luft zu schwefeliger Säure reagiert, - doch durch die vorgesehenen Belüftungsschlitze können diese entweichen. Der Geruch der aus belüfteten Kläranlagen wahrnehmbar ist, riecht nur leicht erdig. Alternativ kann man auch Kunststoffbehälter nutzen, um eine Belüftung kommt man heute aber nicht mehr herum.

Pflanzenkläranlagen

Grundsätzlich ist auch eine Pflanzenkläranlage eine gute Alternative um sein Abwasser zu reinigen. Pflanzen können Stickstoffe aufnehmen und in den Pflanzenwurzeln angesammelte Bakterienstämme sorgen für einen Abbau der Schmutzfracht. Das Prinzip der Pflanzenkläranlage erreicht ebenfalls sehr gute Reinigungsleistungen. Leider reicht eine Nitrifikation heute schon nicht mehr aus und man kann Pflanzen nicht "updaten" - für zukünftige noch weitergehende Anforderungen ist eine Pflanzenkläranlage leider nicht mehr gewappnet. Zumal eine Pflanzenkläranlage sehr pflegeintensiv ist und nicht jeder bereit ist, einen großen Teil seines Grundstückes dafür zu opfern.

Tropfkörperkläranlagen

Das Prinzip eines Tropfkörpers besteht darin, sessile Mikroorganismen auf einer größtmöglichen Oberfläche anzusiedeln. Das Abwasser durchströmt diese Schicht

und Schmutzfracht wird an den Mikroorganismen vorbeigespült. Behälter der Tropfkörperanlagen sind im Gegensatz zu anderen Systemen sehr tief. Die Tiefe hängt mit der Einwohnerzahl zusammen. Das Wasser, das unter der Schüttung (meist Lava-Schlacke) aus dem Tropfkörper austritt, wird in einen Nachklärbereich gepumpt. Hier setzt sich Schlamm ab und das überstehende saubere Wasser läuft aus dem Ablauf der Kläranlage. Eine Denitrifikationsstufe in einem Tropfkörper ist nicht möglich, da die Bakterien bei der Beschickung immer wieder mit Sauerstoff versorgt werden. Würde man die Beschickung unterbrechen, würden die Bakterien, also der biologische Rasen des Tropfkörpers austrocknen.

Fachgerechte Wartung

Zu den Aufgaben eines Wartungsbetriebes gehört vor allem, das Einschätzen der Reinigungsleistung und die Kontrolle der einwandfreien Funktion der Kläranlage. Hierbei muss sich der Betrieb auf eine Reihe von Messungen verlassen, die vor Ort ausgeführt werden können. Schlammvolumenbestimmung und Messung des O₂-Gehaltes sind wichtige Steuerparameter, die allerdings über die Qualität des Ablaufs nichts Direktes aussagen. Deshalb werden pH-Wert und absetzbare Stoffe gemessen. Außerdem weis das geschulte Personal einer Wartungsfirma, wie der Ablauf riechen und aussehen muss. Diese sogenannten organoleptischen Parameter sind durchaus subjektiv. Da aus Zeitgründen vor Ort allerdings kein CSB gemessen werden kann, ist die Erfahrung eine der wichtigsten Hilfen für eine korrekte Einschätzung der Kläranlage. Vor Ort muss zwischen Schwimmschlamm, Blähschlamm und normalen Belebtschlamm unterschieden werden. Die Einstellung der Anlage erfolgt meist für einen Zeitraum von mehr als 3 Monaten. Deshalb ist die Qualität des Wartungsunternehmens von entscheidender Wichtigkeit für den Betreiber, der sich letztendlich im Falle eines schlechten Ablaufergebnisses vor der Behörde rechtfertigen muss. Wir empfehlen Ihnen deshalb, dass Sie bei der ersten Wartung auf jeden Fall dabei sind und sich ein Bild von der Arbeit des Wartungsbetriebes machen.

Einen guten Betrieb erkennt man zum Beispiel daran, dass nicht nur der Deckel gehoben und die Nase reingehalten wird.

Eutrophierung

Einfach erklärt bedeutet Eutrophierung nichts anderes als Überdüngung. Während ein gewisses Maß an Stickstoff und Phosphorverbindungen im Wasser die Grundlage für die Pflanzenwelt bilden, führt eine zu hohe Konzentration dazu, dass sich wesentlich mehr Pflanzen bilden können, die das Wasser mit immer mehr Sauerstoff versorgen. Die starke Pflanzenbildung und der hohe Sauerstoffgehalt führen nun dazu, dass sich auch Lebewesen wie Fische stark vermehren können. Aufgrund des Nahrungsangebots entwickelt sich eine zunehmende Überbevölkerung die durch Ihre Ausscheidungen den Boden des Gewässers übersäen. Da Mikroorganismen, welche die Ausscheidungen abbauen jetzt auch explosionsartig anfangen zu wachsen, werden wiederum mehr Mineralien produziert, die den Pflanzen als zusätzlich Wachstumsquelle dienen. So schließt sich die Kette der Eutrophierung. Pflanzen sterben irgendwann ab und sinken zu Boden, Über Jahre entwickelt sich ein dichter Bodenschlamm, indem es zu Faulungen kommt. Der Sauerstoffbedarf des Gewässers wächst, sogar absterbende Fische sorgen ebenfalls dafür, dass der Bodenschlamm immer dicker wird. Irgendwann kommt es zur Rücklösung von Phosphat aus dem verfaulten Pflanzen. Der Kreislauf beginnt von vorne und wird zusehends beschleunigt. Vom Umkippen spricht man, wenn das Verhältnis aus den Fugen gerät. Kann man den Kreislauf nicht stoppen, löst sich nach Jahren Faulgas aus dem Bodenschlamm und vergiftet das Gewässer. Sämtliche auf Sauerstoff angewiesene Lebewesen sterben. Ein totes Gewässer erkennt man oft daran, dass man bis zum Grund gucken kann und sich hier nur noch brauner Schlamm befindet. Durch die hohen Anforderungen an die moderne Abwasserreinigung hat die Eutrophierung unserer Gewässer nachgelassen. Einige Seen haben sich trotzdem noch nicht wieder erholt. Es dauert lange, bis sich wieder neues Leben in einem einmal umgekippten Gewässer entwickelt. [10]

Anaerobe Abwasserbehandlung

Die anaerobe Abwasserbehandlung wird vor allem bei stark verschmutztem Industrieabwasser angewendet. Die anaerobe Behandlung läuft unter sauerstofffreien Bedingungen ab. Im Gegensatz zum aeroben Verfahren, enthält das Wasser wenig Schlamm und es entsteht Methangas. Bei der anaeroben Abwasserbehandlung unterscheidet man vier biochemische Teilprozesse:

- a) Hydrolyse
- b) Versäuerung
- c) Acetogenese
- d) Methanogenese

a) Hydrolyse

In der Hydrolyse-Phase müssen die hochmolekularen, oft ungelösten Substanzen durch Exo-Enzyme zu gelösten Bruchstücken abgebaut werden (Polysaccharide – Monosaccharide)

b) Versäuerung

In der Versäuerungs-Phase werden von fakultativ und obligat anaeroben Bakterien kurzkettige organische Säuren, Alkohole, H_2 und CO_2 gebildet, wobei die Methanbakterien jedoch nur Essigsäure, H_2 und CO_2 direkt zu Methan umsetzen können.

c) Acetogenese

Biochemische Umwandlung von organischen Säuren und Alkohol zu Essigsäure, H_2 und CO_2 .

d) Methanogenese

In der Methanogenese-Phase werden die Acetogeneseprodukte zu Biogas umgewandelt. Dabei werden zwei Methanogenesearten unterschieden:

- Acetatdecarboxylierung
- Wasserstoffverbrauchende Methanbildung

Die Methanbakterien sind für den letzten Schritt des anaeroben Abbaus verantwortlich und daher von entscheidender Bedeutung für den gesamten Prozess.[11]

5 Konzepte für die zukünftige Realisierung der Abwasserreinigung auf der Basis einer Fallanalyse

In diesem Kapitel werden zwei Konzepte bezüglich der zukünftigen Realisierung der Abwasserreinigung in Serbien und Mazedonien entwickelt. Hierfür wird die Abwassersituation des Ortes Karbinci in Ostmazedonien betrachtet. Es werden sowohl die Investitionskosten berechnet, als auch die Vor- und Nachteile mittels einer detaillierten Vergleichsanalyse herausgearbeitet. Anschließend werden die Ergebnisse unter Bezugnahme auf betriebliche Erfahrungswerte an anderer Stelle diskutiert.

Der Ort Karbinci in Ostmazedonien als Fallanalyse

Der Ort Karbinci befindet sich neben dem Fluss Bregalnica, in der Nähe der Stadt Stip. Zur Abwasserentsorgung wurde bereits ein neues Kanalsystem angelegt. Momentan wird das gesammelte Abwasser jedoch noch ungeklärt in den Fluss Bregalnica eingeleitet.

Die Stadt hat den Bau einer Kläranlage beschlossen und ausgeschrieben. Dieses Projekt wird außerdem von der mazedonischen Organisation für europäische Zusammenarbeit unterstützt.

5.1 Ausschreibungsdaten

Der Ausschreibungstext beinhaltet alle technisch relevanten Eingangsparameter, die zur Dimensionierung der Kläranlage, die 120 m entfernt vom Fluss Bregalnica gebaut werden soll, notwendig sind.

Die Parameter bezüglich Einwohnerzahl, Abwassermenge und Nährstofffracht sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Eingangsparameter

Einwohner	1	840 ^A
Abwassermenge	120 l/E·d	100,6 m ³ /d
BSB ₅	60 g/lE·d	50,3 kg/d

^A Voraussichtliche Einwohnerzahl in 20 Jahren; aktuell beläuft sich die Einwohnerzahl auf 790

Die Abflusswerte richten sich nach den momentanen gesetzlichen Bestimmungen in Mazedonien. Für BSB₅ gilt ein oberer Grenzwert von 20 mg/l, außerdem darf die Menge der abfiltrierbaren Stoffe 30 mg/l nicht überschreiten. [12]

Das Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131 gibt Werte für die durchschnittliche Verschmutzung von häuslichem Abwasser an (siehe Tabelle 5). Dieser Tabelle liegt ein spezifischer Wasserverbrauch von 120 l/(E·d) zu Grunde. [13]

Tabelle 5: Durchschnittliche Verschmutzung des häuslichen Abwassers [13]

Parameter	Spezifische Schmutzfrachten bzw. Nährstofffracht (g/E·d)	Mittlere Konzentration (mg/l) für den Fall Karbinici
CSB	120	1000
BSB ₅	60	500
N	11	91,6
P	1,8	15
TS	70	583,3

5.2 Verfahrenskonzepte

Im Folgenden werden zwei Verfahrenskonzepte vorgestellt, die zwar unterschiedliche verfahrenstechnischen Abläufe aufweisen, aber zum selben Ziel führen. Diese Konzepte bestehen aus mechanischer und biologischer Reinigung. Die Anlagen werden exemplarisch für 840 EW, einem Zufluss von 100 m³/d und einer BSB₅-Fracht von 50,4 kg/d ausgelegt.

Ziel beider Verfahrenskonzepte zur Abwasserbehandlung ist die Wiederverwendung des gereinigten Abwassers zur Bewässerung. Eine Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser bietet sich an, um die wertvolle Ressource „Wasser“ zu schonen. Die technischen Voraussetzungen zur Nutzung des gereinigten Abwassers zur Bewässerung in der Landwirtschaft bestehen. Im landwirtschaftlichen Sektor ist ein großer Wasserbedarf für die Bewässerung gegeben, der durch die Verwendung von gereinigtem Abwasser gedeckt werden kann. Zudem sind im Abwasser wichtige Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor vorhanden, die bei einer Wiederverwendung in der Landwirtschaft genutzt werden können.

Diese Anlagenkonzepte sollen eine Nährstoffelimination während der bewässerungsfreien Zeit gewährleisten. In Zeiten, in denen das Abwasser zur Bewässerung verwendet wird, sollen die Nährstoffe im Abwasser erhalten bleiben, um sie zur Düngung verwenden zu können.

Das erste Konzept ist eine Kombination von aerober Behandlung und Membrantechnologie. Das ermöglicht eine kompakte, moderne und auf jeden Fall sichere Anlage. Vom Abwasser werden zuerst durch eine kleine und kompakte Maschine alle Schwimm-, Sink- und Schwebstoffe, die größer als 3 mm sind, mittels Siebung abgetrennt. Danach wird das Abwasser einem Vorlagebehälter zugeführt, um im weiteren Prozessverlauf einen konstanten Zufluss (Q_{24}) ins Belebungsbecken garantieren zu können. Außerdem kann dadurch das Erfordernis eines sehr großvolumigen Belebungsbeckens umgangen werden. Im Belebungsbecken werden durch die Zugabe von Sauerstoff die biologisch abbaubaren Stoffe im Abwasser unter Bildung von Belebtschlamm abgebaut. Der Belebtschlamm wird anschließend einer Filtrationskammer mit Membraneinheit zur Abfiltrierung zugeführt. Die Membranen weisen eine Porengröße von kleiner als 38 nm auf, wodurch neben den Feststoffen auch alle Bakterien, sowie die meisten Viren und Keime zurückgehalten werden. Der aufkonzentrierte Schlamm wird danach wieder dem Belebungsbecken zugeführt, aus welchem entstandener Überschussschlamm von Zeit zu Zeit abzuziehen ist. Das Filtrat bzw. das Permeat kann nach diesem Verfahren zur Bewässerung genutzt werden.

Das zweite Konzept ist eine Kombination aus anaerober und aerober Technologie. Das in der mechanischen Stufe von Schwimm-, Sink- und Schwebstoffe befreite Abwasser, wird hierbei ebenfalls zunächst in einen Vorlagebehälter geleitet, um einen konstanten Durchfluss (Q_{24}) zu erreichen. Das ist hier sehr wichtig, um eine optimale Funktion des Anaerobreaktors, der als nächste Stufe vorgesehen ist, gewährleisten zu können. Im diesem Reaktor findet ein organischer Abbau der gelösten Stoffe im Abwasser statt. Dieser Abbau ist jedoch nicht ausreichend, da hierbei nur ein CSB-Abbau von 75 % erreicht wird. Deswegen ist eine Kombination mit einer nachgeschalteten aeroben Reinigung erforderlich. Diese aerobe Reinigung erfolgt mittels eines belüfteten Teichs, dessen Anlage in Serbien und Mazedonien sehr kostengünstig realisiert werden kann. Zudem stellen die klimatischen

Verhältnisse in der betrachteten Region eine optimale Voraussetzung für das Betreiben eines solchen aeroben Reinigungsverfahrens dar.

5.3 KONZEPT I – Membranbelebung

Das erste Konzept ist wie bereits beschrieben eine Aerobabwasserbehandlung. Zur mechanischen Reinigung eignet sich der Rotamat von Huber. Ein Vorlagebehälter zur Pufferung und zur Gewährleistung eines gleichmäßigen Durchflusses folgt im Anschluss. Danach ist ein Zweikammerbelebungsbehälter (Biologie und Filtration) mit einer Belüftungsanlage (Biologie) und mit einer rotierenden Plattenmembranunit VRM (Filtration) von Huber vorgesehen (Abbildung 2).

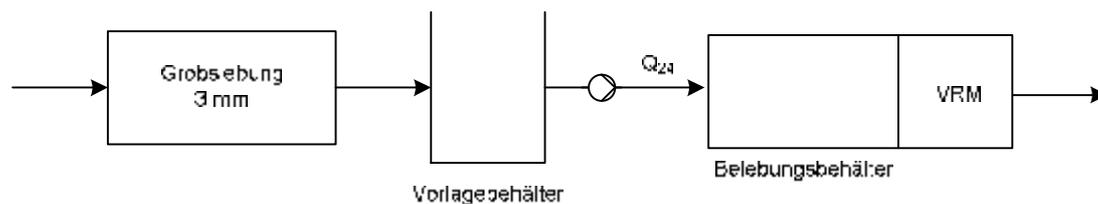


Abbildung 2: Schematische Darstellung des ersten Konzepts

5.3.1 Mechanische Reinigung mit ROTAMAT® Pipestrainer

Der Pipestrainer (Abbildung 3) dient zur mechanischen Vorreinigung kleiner kommunaler und industrieller Abwasserströme von bis zu 5 l/s. Für diese Aufgabe ist der Pipestrainer prädestiniert, da durch den gezielten Einsatz in Rohrleitungen die mechanische Behandlung des Abwassers am Entstehungsort vor dem Einleiten von Abwässern in der Reinigungsstufe möglich ist. Der geringe Platzbedarf für die Maschinenteknik und die spezielle Konzeption zum Einbau in Rohrleitungen ermöglichen eine Siebung des Abwassers am Entstehungsort.

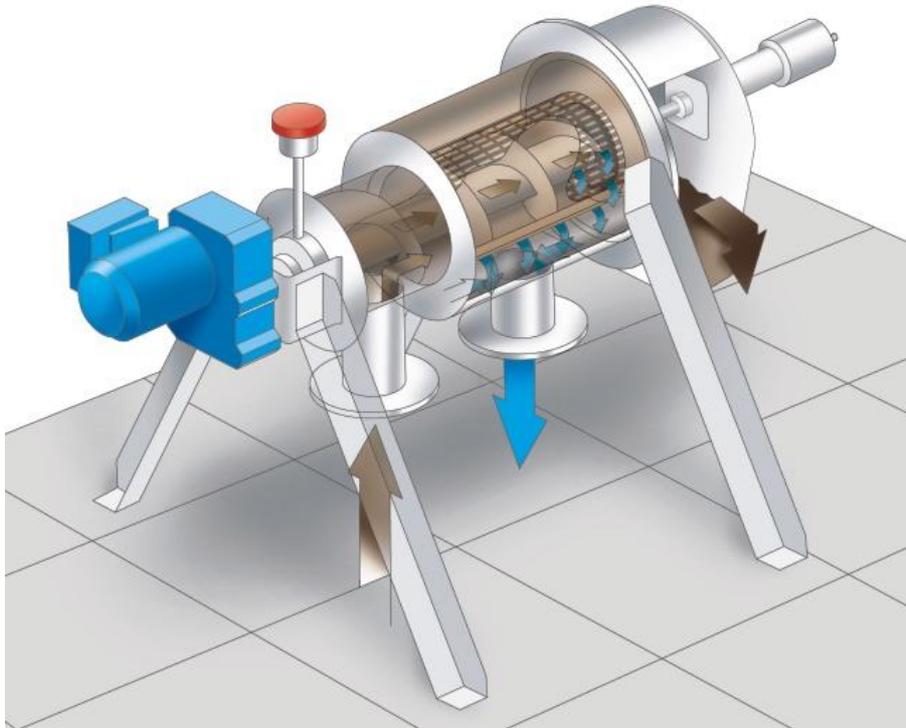


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Pipestrainer

Der Pipestrainer ist ein horizontal angeordneter, röhrenförmiger Feinststoffabscheider, unterteilt in eine Siebzone und einem Austragsteil mit Staukonus und Staukonus-einstellvorrichtung. Die Siebzone besteht aus einer vom Siebkorb umgebenen Schneckenwendel, welche die auf der Siebfläche zurückgehaltenen Feststoffe durch Rotation zum Siebgutauswurf fördert. Das zu reinigende Abwasser durchströmt die Siebfläche von innen nach außen und wird anschließend durch einen Ablaufstutzen vertikal nach unten aus der Maschine geleitet. Der Siebkorb kann mit unterschiedlichen Filterelementen bestückt und somit an die jeweilige Filteraufgabe angepasst werden. Die Reinigung der Siebfläche erfolgt auf mechanischem Wege mittels Bürsten, die an der Schneckenwendel befestigt sind, eine Rückspülung durch Wasser wird nicht benötigt. Der Grad der Entwässerung des Siebgutes wird durch die eingestellte Federkraft auf den Staukonus bestimmt, d. h. die Öffnung eines ringförmigen Austragsspalt es im Siebgutauswurf erfolgt in Abhängigkeit der vorgespannten Druckkraft auf die Feder. Die Integration in ein Rohrleitungssystem und die Betriebsautomatik lässt sich ohne großen Aufwand durchführen. [14]

Die Vorteile für den Anwender sind:

- geschlossene und kompakte Bauweise, Integration des Pipestrainer in geschlossenes Leitungssystem
- geringer Platzbedarf für die Maschinenteknik, auch nachträglich in die Rohrleitung einbaubar
- mechanische Reinigung der Siebfläche – kein Spülwasserbedarf
- Flexibilität in der Wahl des erforderlichen Siebelementes
- vollautomatische Arbeitsweise
- günstige Amortisation durch Kosteneinsparung in Betrieb und Unterhalt

5.3.2 Vorlagebehälter

5.3.2.1 Berechnung des Vorlagebehältervolumens

Die Lebensgewohnheiten der Bevölkerung bestimmen in der Zeitspanne zwischen Tag und Nacht weitergehend auch den Abfluss des kommunalen Schmutzwassers. Besonders deutlich sind diese aus dem Kurvenverlauf des Abflusses zurzeit herauszulesen (Abbildung 4). Der niedrigste Abfluss-Wert ist dort erwartungsgemäß in der Nacht zwischen 2 Uhr und 6 Uhr festzustellen. In den Morgenstunden steigt er rapide an, erreicht in den Mittagsstunden von 12 bis 14 Uhr seinen Höhenpunkt (ca. 3mal so hoch wie der Nachtwert), um dann wieder gegen Abend langsam abzufallen. Werden die Abflusswerte an den einzelnen Wochentagen betrachtet, so unterliegen auch sie großen Schwankungen. Zum Wochenbeginn treten die Waschtage und gegen Ende die Putz- und Säuberungsaktionen der Haushalte und des Kleingewerbes deutlich in Erscheinung. Die Sonn- und Feiertage weisen von allen Tagen die niedrigsten Abflusswerte auf. [15]

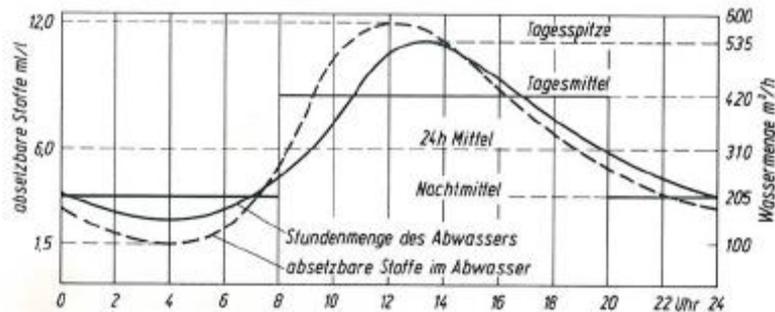


Abbildung 4: Schwankungen der Abwassermenge und der darin erhaltenen absetzbaren Stoffe von 50.000 Einwohnern im Laufe von 24 Stunden [15]

Zur Auslegung des Vorlagebehältervolumens wird die oben gezeigte Grafik verwendet.

Mit Hilfe dieser Grafik wird der Zuflusskoeffizient K_Q für jeweils eine Stunde eines Tages ermittelt (siehe Tabelle 6). K_Q ist der Quotient aus dem jeweiligen 1h-Mittel und dem 24h-Mittel des Zuflusses. Aus Gründen der Vereinfachung sind die K_Q -Werte in Tabelle 6 mit den gegenwärtigen Zuflussmengen einer jeden vollen Stunde ermittelt worden. Die daraus resultierenden Abweichungen sind so gering, dass kein durchschlagender Unterschied bei der Berechnung des Vorlagebehältervolumens ausgemacht werden kann.

Z.B. um 13 Uhr (siehe Abbildung 4): $K_Q = 535 \text{ m}^3/\text{h} / 310 \text{ m}^3/\text{h} = 1,725$

In diesem Beispiel sagt K_Q aus, dass um 13 Uhr die Abwassermenge das 1,725fache des 24h-Mittel ist.

Für 840 E und einer Abwassermenge von 120 l/E·d, ergibt sich somit ein Zufluss von 4,2 m^3/h .

Wenn man diesen Zufluss von 4,2 m^3/h um 13 Uhr mit dem entsprechenden $K_Q = 1,725$ multipliziert, bekommt man die genaue Abwassermenge für diese Stunde.

4,2 $\text{m}^3/\text{h} \cdot 1,725 = 7,245 \text{ m}^3/\text{h}$ kann als Abwassermenge in der Zeit von 13 bis 14 Uhr angenommen werden.

Wenn man von dieser Abwassermenge das 24h-Mittel des Zulaufs subtrahiert, erhält man die Überschussabwassermenge (\ddot{U}_{13}) für diese Stunde, die im Vorlagebecken gespeichert werden muss.

$$\ddot{U}_{13} = 7,245 \text{ m}^3/\text{h} - 4,2 \text{ m}^3/\text{h} = 3,045 \text{ m}^3/\text{h}$$

Wenn man die Überschussabwassermengen für alle Stunden, an denen $K_Q > 1$ (9-20 h) ist summiert, erhält man die ganze Überschussabwassermenge eines Tages (\ddot{U}_d) und somit das benötigte Volumen des Vorlagebehälters.

$$\ddot{U}_d = \ddot{U}_{10 \text{ Uhr}} + \ddot{U}_{11 \text{ Uhr}} + \ddot{U}_{12 \text{ Uhr}} \dots \dots \dots + \ddot{U}_{19 \text{ Uhr}}$$

Als Ergebnis errechnet sich ein Wert von 17.545 l Abwasserüberschuss in der Zeit von 9 bis 20 Uhr, der im Vorlagebehälter gespeichert werden soll. Das bedeutet, der Vorlagebehälter sollte ein Volumen von ca. **18-20 m³** haben.

Tabelle 6: Berechnungsdarstellung der Überschussabflussmenge

Uhrzeit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K_Q	0,60	0,55	0,52	0,48	0,52	0,58	0,66	0,79	1,00	1,15	1,40	1,65
Überschuss (l/h)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	610	1692	2710
Uhrzeit	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
K_Q	1,73	1,69	1,58	1,44	1,35	1,19	1,10	1,00	0,82	0,79	0,76	0,66
Überschuss (l/h)	3048	2913	439	1829	1490	813	406	0	-	-	-	-
Überschuss (l/von 9 bis 20 Uhr)	17.545											

5.3.3 Biologische Reinigung mit HUBER VRM[®]-Verfahren

Der technische Fortschritt im kommunalen Abwassersektor und die damit erreichte Entlastung der Oberflächengewässer von eutrophierend wirkenden Schadstofffrachten hat in den vergangenen Jahren zu zahlreichen Verbesserungen im Verfahrensablauf auf Kläranlagen geführt. Dessen ungeachtet wurde den in großer Zahl vorhandenen Krankheitserregern/Keimen im Kläranlagenablauf nur wenig Beachtung geschenkt. Um dieser Gefahr vorzubeugen hat sich in den vergangenen Jahren die Mikro- und Ultrafiltration in Kombination mit dem Belebungsverfahren als ein geeignetes Verfahren zur Minimierung der Ablaufbelastung bei gleichzeitigem Rückhalt pathogener Keime herauskristallisiert. Damit kann den weiter wachsenden Anforderungen an die Einleitungen der Kläranlagenabläufe begegnet werden, ohne den „klassischen“ Weg der Erweiterung mit zusätzlichen Belebungs- und Nachklärbecken sowie Filtrations- und Desinfektionsanlagen zu beschreiten.

Das HUBER VRM[®]-Verfahren ist ein System von in die Belebung getauchten Ultrafiltrationsmembranen. Die hohe Qualität des so gereinigten Abwassers erlaubt

die sichere Einhaltung strengster Richtlinien und trägt den zukünftigen, verschärften gesetzlichen Regelungen verbunden mit optimierten Investitions- und Betriebskosten Rechnung. Das Membranbelevungsverfahren HUBER VRM[®] ist eine Kombination aus biologischer Abwasserreinigung und hocheffizienter Fest / Flüssig-Trennung. Das mechanisch vorgereinigte Abwasser wird belüftet, biologisch gereinigt und nach dem „Niederdruckprinzip“ durch die Ultrafiltrationsmembran gesaugt und so von allen Feststoffen, Bakterien und nahezu allen Viren befreit. Durch Erhöhung der Konzentration der aktiven Biomasse auf 8 - 12 g/l kann die Leistungsfähigkeit bestehender konventioneller Abwasseranlagen gesteigert werden, ohne größere Beckenvolumina zu benötigen. Nachgeschaltete Nachklärbecken sowie Sandfilter und eine Abwasserdesinfektion zur weitergehenden Abwasserreinigung können bei sogar verbesserter Ablaufqualität entfallen. Bereits vorhandene Nachklärbecken können so für eine neue Nutzung zur Verfahrensoptimierung genutzt werden.

Das HUBER Membranprinzip

Das Prinzip der Membranfiltration beruht auf einer Abtrennung von in wässrigen Lösungen suspendierten Feststoffen mittels einer Druckdifferenz. Die wässrige Lösung (in den meisten Fällen Wasser) dringt durch die Membran, Feststoffe verbleiben auf der Konzentratseite und müssen durch eine Relativbewegung an der Membranoberfläche von dieser entfernt werden. Die für das Durchtreten der wässrigen Komponente erforderliche Druckdifferenz ist im Wesentlichen abhängig von der Porengröße und der Beschaffenheit der verwendeten Membran. HUBER verwendet für alle Membranverfahren eine extrem hydrophile („wasserliebende“) Membran mit sehr guten Benetzungseigenschaften und einer geringen Affinität für foulende und Belag bildende Abwasserinhaltsstoffe. Auf die Porengröße bezogen liegt die Membran im Bereich der Ultrafiltration (die Porengröße beträgt ca. 38 nm), was einerseits hohe Durchflüsse (bis 60 l/m²h) bei niedrigen Transmembrandrücken (< 100 mbar) ermöglicht, aber andererseits alle Feststoffe, Bakterien und größtenteils sogar Keime zurückhält (Abbildung 5). Neben der wässrigen Phase gelangen lediglich Ionen und niedermolekular gelöste Substanzen durch die Membran.



Abbildung 5: VRM -Leistung

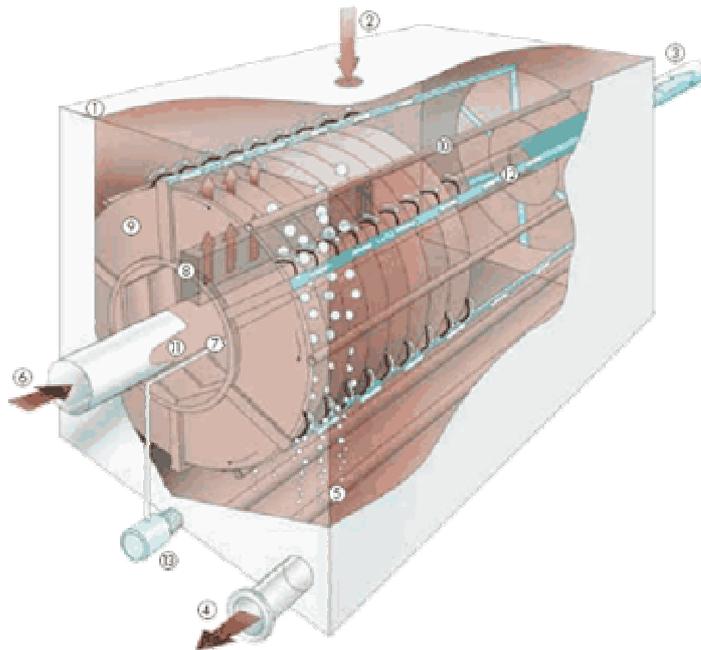
Die für einen konstanten Betrieb notwendigen Überströmungen der Ultrafiltrationsmembranen werden beim HUBER Membranprinzip durch eine besonders effektive Luftströmung auf der Konzentratseite erreicht.

Funktionsbeschreibung

Das komplette HUBER VRM-Unit (Abbildung 6) ist in einem Rahmengestell integriert und wird direkt in das Belebungsbecken (1) getaucht. Die Technik besteht aus einer rotierenden Hohlwelle (11), um die je nach Typ sechs oder acht UF-Module in einem definierten Abstand angeordnet sind.

Das biologisch gereinigte Abwasser wird mittels der transmembranen Druckdifferenz bei einer molekularen Trenngrenze von 150 kDa durch die Membranen gesaugt und über die Permeatsammler (12) dem Ablauf (3) zugeführt.

Um der Deckschichtbildung und somit einer Verringerung der Flussraten während des Durchtritts der flüssigen Komponente des Belebtschlammgemisches durch die Membran entgegenzuwirken, wird eine Querströmung (Cross-Flow) an der Membranoberfläche erzeugt.



1. Reaktorbehälter
2. Zulauf Abwasser
3. Permeatablauf
4. Schlammabzug
5. Feinblasige Belüftung -
Belegung
6. Zulauf Spülmedium -
Belebtschlamm
7. Spüllufteintrag
8. Spülstrahl
9. Membran
10. Membransegment
11. Rotierende Hohlwelle
12. Permeatsammler
13. Spülluftgebläse

Abbildung 6: HUBER VRM[®]-Unit [16]

Die Innovation des HUBER VRM[®]-Systems ist gekennzeichnet durch ein neuartiges, effektives und variables Reinigungssystem zur Erzeugung hoher Strömungsgeschwindigkeiten (8) an den Membranoberflächen und den völligen Verzicht auf eine periodische Rückspülung.

Das Prinzip der Membranabreinigung besteht in der Erzeugung zielgerichteter Luft- und Mediumströmungen unter gleichzeitiger Nutzung der radialen Beschleunigung entlang der rotierenden Membranen (9) im Reaktor. Bei dem Huber VRM[®]-Verfahren muss stets nur ein einzelnes Membransegment (10) mit hoher Intensität, bei gleichzeitig minimierten Energiekosten, gereinigt werden. [16]

Das HUBER VRM[®]-Unit kann je nach Anwendungsfall in bestehende Betonbecken sowie in Stahlbehälter oder Containereinheiten integriert werden.

Die Vorteile des HUBER Membranbelegungsverfahrens VRM[®]

Das HUBER Membranbelegungsverfahren VRM[®] ist die zukunftsorientierte Lösung für ständig steigende Anforderungen in der Abwasserreinigung mit höchsten Ablaufqualitäten.

- Höchste Ablaufqualität durch die vollständige Partikelabtrennung von der flüssigen Phase (Abbildung 7)



Abbildung 7: Glasklares Wasser als Ergebnis moderner Abwasserreinigung

- Einhaltung hygienischer Standards durch die hohe Trennschärfe der UF-Membranen (37 nm, 150 kDa) für Bakterien und Viren
- Bis zu 70 % kleinere Belegungsvolumina möglich durch hohe Konzentrationen an aktiver Biomasse
- Deckschichtentfernung mit minimiertem Energiebedarf durch die sequentielle Reinigung der rotierenden Membranen
- Geringe Energieaufnahme für Spülluft, da der Spüllufteintrag in der Mitte der VRM[®]-Units erfolgt
- Verzicht auf periodische Permeatrückspülungen während des Filtrationsbetriebs
- Periodische Desinfektion des Permeatsystems zur Verhinderung einer permeatseitigen Kontamination
- Gebläsesteuerung zur Stickstoffelimination erfolgt unabhängig von der Ultrafiltration, dadurch Möglichkeit zur intermittierenden Denitrifikation
- Vollautomatischer Filtrationsbetrieb in Abhängigkeit des Transmembrandrucks. Eine Überschreitung des Kontrollwertes aktiviert automatisch die Intensivreinigung. Anschließend kehrt die Filtration in den normalen periodischen Modus zurück.
- Die Filtration benötigt durch die konstant hohe Permeabilität der Membranen nur geringe und damit schonende Transmembrandrücke. Die Standzeit der Membranen wird dadurch positiv beeinflusst.
- Durch die Rotationsbewegung des Filtrationsmoduls wird im Reaktionsbehälter eine intensive Turbulenz erzeugt, so dass zusätzliche Einrichtungen zur Beckenumwälzung nicht erforderlich sind.

- Breites Anwendungsspektrum durch variablen Einsatz von Spülpumpe und Spülluft (Industrieabwässer, z.B. Wäschereien, mit hohen Tensidgehalten)
- Komplettes Edelstahl-Design
- Auffinden und Austausch einzelner defekter Module (3 m² oder 6 m³ Membran) leicht möglich.
- Entnahme eines gesamten Membransegmentes möglich [16]

5.3.3.1 Auswahl einer VRM

Zur Auswahl einer VRM muss die Membranfläche berechnet werden, die zur Reinigung von 100,8 m³/d (840 E · 120 l/E·d) Abwasser notwendig ist.



Abbildung 8: VRM[®] 20 Modul mit einer Filterfläche von 3 qm [16]

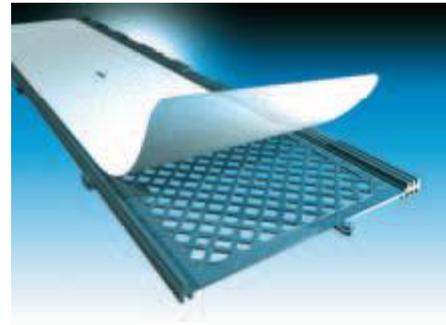


Abbildung 9: Schematische Darstellung einer Membranträgerplatte [16]

Die Reinigungsleistung von 1 m² Membranfläche ist 15-18 l/h.

$$Q_{Zu} = 840 \text{ E} \cdot 120 \text{ l/E} \cdot \text{d} = 100.800 \text{ l/d}$$

$$100.800 \text{ l/d} / 24\text{h} = 4.190 \text{ l/h}$$

$$4.190 \text{ l/h} / 15 \text{ l} \cdot \text{m}^2/\text{h} = 279,33 \text{ m}^2 \cdot 1,1^{\text{A}} = 307,3 \text{ m}^2$$

In der Tabelle 7 sind die Baugrößen aller VRM sowie die jeweiligen Potenziale aufgelistet. Es ist ersichtlich, dass bei 307,3 m² berechneter Membranfläche eine VRM 20/120 benötigt wird. Diese Membranunit hat eine Membranfläche von 360 m² und eignet sich somit für eine Abwassermenge von 4,19 m³/h.

^A Zur Berücksichtigung der Filtrationspausen wird der Faktor 1,1 mit eingerechnet

Tabelle 7: Durchsatzleistung VRM 20 [17]

Baugrößen VacuumRotationMembrane	Zeichen	Einheit	Bemerkung	VRM 20/60	VRM 20/90	VRM 20/120	VRM 20/150	VRM 20/180	VRM 20/240	VRM 20/300
Membranfläche Insgesamt	A_{Membran}	m ²		180	270	360	450	540	720	900
Membranfläche _{Plate}		m ²		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Anzahl Platten		Stück		240	360	480	600	720	1008	1200
Anzahl Module		Stück	4 Platten/Modul	60	90	120	150	180	240	300
Anzahl Elemente		Stück	6 Module/Element	10	15	20	25	30	40	50
nomineller Membranfluss (optimal)	$V_{p,nom}$	l/m ² xh	$P_{\text{Trans}} < 150 \text{ mbar}$	18	18	18	18	18	18	18
maximaler Membranfluss	$V_{p,max}$	l/m ² xh	$P_{\text{Trans}} < 300 \text{ mbar}$	30	30	30	30	30	30	30
nomineller Fluss pro Unit (optimal)	$Q_{\text{Unit,nom.}}$	m ³ /h	$P_{\text{Trans}} < 150 \text{ mbar}$	3	4	6	7	9	12	15
maximaler Fluss pro Unit	$Q_{\text{Unit,max}}$	m ³ /h	$P_{\text{Trans}} < 300 \text{ mbar}$	5	7	10	12	15	19	24
erforderl. Luftbedarf Modulspülung	Q_{Luft}	m ³ _N /h	350 l/m ² xh	63	95	126	158	189	252	315
Gesamtlänge L		mm				2.536				
Gesamtbreite B		mm				2.300				
Gesamthöhe H (min. Wsp.)		mm				2.700				
Dimension Permeatabzug		DN				ø112				
Dimension Spülluftanschluss		DN				2 x ø60,3				
Antriebsleistung (n = 2 min ⁻¹)	P_{Antrieb}	kW		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

5.3.3.2 Belebungsbecken

Beckenform und Umwälzung sind so zu gestalten, dass keine Schlammablagerungen entstehen. Belüftungseinrichtungen, auch davon getrennte Umwälzeinrichtungen, müssen wartungsarm, betriebssicher und leicht auswechselbar sein. Der Rücklaufschlammfluss muss dem Auslastungsgrad entsprechend eingestellt werden können. Die Oberkante der Becken muss mindestens 30 cm über dem höchsten Betriebswasserstand liegen.

Bei einer täglichen BSB₅-Fracht (B_d [kg/d]) ergibt sich das erforderliche Beckenvolumen zu: [18]

$$V_{BB} = \frac{B_{d,BSB_5}}{B_{TS} \cdot TS_{BB}} [m^3] \quad \text{oder} \quad V_{BB} = \frac{B_{d,BSB_5}}{B_{R,BSB_5}} [m^3] \quad \text{weil} \quad B_{R,BSB_5} = B_{TS} \cdot TS_{BB} \left[\frac{kg}{m^3 \cdot d} \right]$$

Zur Bestimmung des Rauminhalts für die Abwasserreinigung mit Schlammstabilisierung ist anzusetzen: [18]

$$B_{TS} < 0,07 \text{ kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$$

B_{TS} - kg/(kg · d) -BSB₅-Schlammbelastung

Das entspricht einem Schlammalter von

$$t_{TS} > 16-17 \text{ d}$$

bei einer Überschussschlammproduktion von

$$\ddot{U}SB \sim 1 \text{ kg TR}/\text{kg BSB}_5$$

$$TS_{BB} = 10 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$B_{d,BSB_5} = 790^A \text{ E} \cdot 60 \text{ g}/\text{Ed} = 47,40 \text{ kg}/\text{d}$$

$$V_{BB} = 47,40 / 0,07 \cdot 10 = 67,7 \text{ m}^3$$

Die Berechnung zeigt, dass das Volumen des Belebungsbehälters mindestens 67,7 m³ betragen muss. Die ausgewählte VRM 20/120 hat eine Gesamtlänge von 2536 mm, Gesamtbreite von 2300 mm und Gesamthöhe (min. Wsp) von 2700 mm (Tabelle 7). Bei der Dimensionierung des VRM-Beckens muss beachtet werden,

^A Hier wurde mit der momentanen Einwohnerzahl gerechnet. Ein späterer Anstieg der Einwohnerzahl kann über eine Steigerung des TS_{BB} von 10 kg/m³ auf 12 kg/m³ (840 E) kompensiert werden.

dass von allen Seiten ein Mindestabstand von 50 cm zur VRM-Unit eingehalten werden muss, um Wartungs- und Montagearbeiten zu ermöglichen. Demzufolge muss das VRM-Becken eine Länge und Breite von 3,5 m und eine Mindesthöhe von 3,1 m (2,7 m Anlagenhöhe + 0,1 m Sicherheitszugabe + 0,3 m siehe 5.3.3.2) haben. Entsprechend kann das Belebungsbecken in gleicher Breite und Höhe ausgeführt werden. Bei einem errechneten Volumen von 67,7 m³ ergibt sich somit eine Länge von 6,9 m für das Belebungsbecken (Abbildung 10).

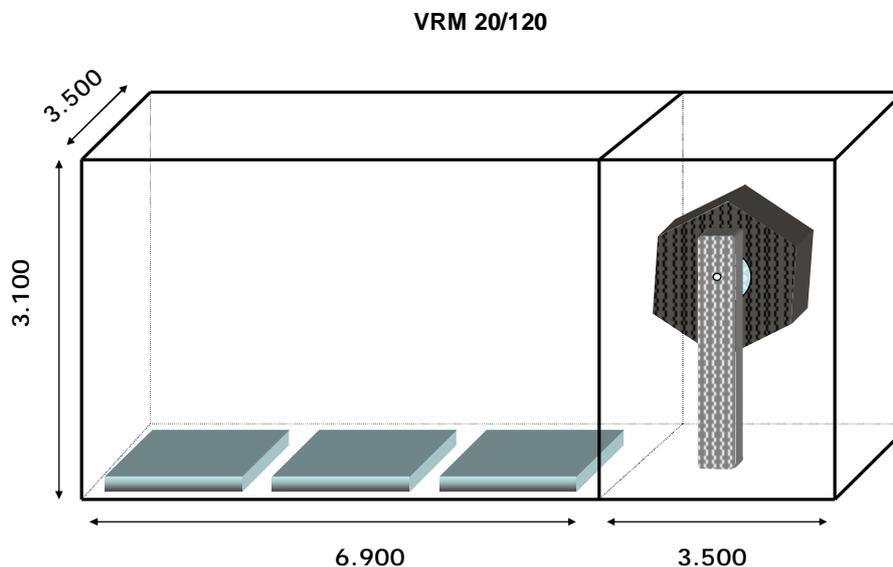


Abbildung 10: Beckendimensionieren

5.3.3.3 Belüftungseinrichtungen

Das erforderliche Sauerstoffzufuhrvermögen in Abwasser berechnet sich zu: [18]

$$aOC = \frac{O_B \cdot B_{d,BSB_5}}{24} [kg/h]$$

Sauerstofflast $O_B \geq 3,0kg/kg$

$B_{d,BSB_5} = 47,4kg/d$ (siehe 5.3.3.2)

Somit ist

$$aOC = \frac{3 \cdot B_{d,BSB_5}}{24} = 0,125 \cdot B_{d,BSB_5} = 0,125 \cdot 47,4 = 5,925 [kg / h]$$

Dieser Wert deckt bei normalem kommunalen Abwasser den Sauerstoffverbrauch der Mikroorganismen für die Kohlenstoff- und Stickstoffoxidation ab, da in der Regel im Zulauf das Verhältnis TKN : BSB₅ ~ 1:5 ist.

Der Luftvolumenstrom (mit feinblasiger Druckluftbelüftung) zur Abdeckung des erforderlichen Sauerstoffzufuhrvermögens in Abwasser (*aOC*) errechnet sich in Abhängigkeit von der Einblastiefe h_E zu

$$Q_L = \frac{aOC}{f_{O_2} \cdot h_E} [m^3 / h]$$

Spezifische Sauerstoffausnutzung - ohne getrennte Umwälzung

$$f_{O_2} = 8 - 10 g / m^3 \text{ Luft je m Einblastiefe [18]}$$

$$h_E = 2,8 \text{ (siehe 5.3.3.2)}$$

$$Q_L = \frac{5,925}{10 \cdot 10^{-3} \cdot 2,8} = 211,6 m^3 / h$$

Der benötigte Luftvolumenstrom beträgt 211,6 m³/h. Hiermit können die Kosten für die Belüftungsausrüstung berechnet werden.

5.3.4 Schlamm-speicher

Für die Sammlung des Schlammes empfiehlt sich je nach Entsorgungsmöglichkeit eine getrennte Speicherung. Speicherbehälter sind mit Markierungen zur Bestimmung der aus der Belebung abgezogenen bzw. aus dem Speicher abgegebenen Schlammmenge zu versehen. Wird Schlamm mit mobilen Entwässerungseinrichtungen in größeren Abständen entwässert, sind eine entsprechende Zufahrt und Möglichkeiten zur Zwischenspeicherung und dosierten Zuführung des Filtratwassers in die Kläranlage vorzusehen.

Das erforderliche Speichervolumen richtet sich nach den Entsorgungsmöglichkeiten, sollte aber nach ATV-A 122 mindestens 100 l/E betragen. [19] Deswegen sollte das Schlamm-speichervolumen im betrachteten Fall mindestens 84 m³ (840 E · 100 l/E) betragen.

5.3.5 Schlammentsorgung

Der Verbleib des anfallenden Schlammes muss bereits bei der Planung bedacht werden. Soweit eine landwirtschaftliche Verwertung nicht möglich ist, stellt die Abfuhr zu einer Kläranlage mit Einrichtungen zur weiteren Schlammbehandlung die zweckmäßigste Lösung dar. Im betrachteten Fall ist eine weitere Schlammbehandlung wegen dem geringen Schlammanfall und den noch lockeren gesetzlichen Bedingungen nicht notwendig. Momentan wird der Schlamm mit Tankwägen auf Felder ausgebracht.

5.4 KONZEPT II – Anaerobe Behandlung

Das zweite Konzept ist wie bereits beschrieben eine Anaerobabwasserbehandlung. Die mechanische Reinigung erfolgt hierbei mittels einer Rotamat-Siebschnecke von Huber. Ein Vorlagebehälter zur Pufferung und zur Gewährleistung eines gleichmäßigen Durchflusses folgt im Anschluss. Danach folgen der Anaerobreaktor und ein belüfteter Teich (Abbildung 11).

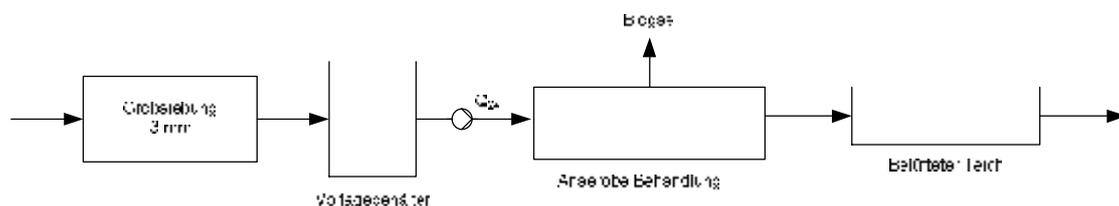


Abbildung 11: Schematische Darstellung des zweiten Konzepts

5.4.1 Mechanische Abwasserreinigung mit integrierter Siebdruckpresse und -wäsche mit HUBER ROTAMAT® Siebschnecke Ro 9 (3 mm)

Eine mechanische Reinigung als erste Behandlungsstufe ist mit einer weitestgehenden Entnahme der Schwimm-, Sink- und Schwebestoffe auf kommunalen Kläranlagen notwendig. Hierbei gilt es, unter Berücksichtigung der hydraulischen Verhältnisse möglichst hohe Abscheideleistungen zu erzielen. Betriebssicherheit, Leistungsfähigkeit sowie Hygiene sind bei einer mechanischen Abscheideanlage wichtige Faktoren.

Die ROTAMAT® Siebschnecke Ro 9 ist ein einzigartiges System, das die Funktionen Sieben, Waschen, Austragen, Kompaktieren und Entwässern in einer Anlage zusammenzufassen. In Abhängigkeit der Spaltweite (0,5 mm) bzw. des Lochdurchmessers (3 mm) und der Baugröße (Siebkorbdurchmesser bis 700 mm) kann die individuell auf den Einsatzbedarf zugeschnittene Durchsatzleistung realisiert werden. Im Fall Karbinci, für ein Durchfluss von 100 m³/d, passt eine Baugröße von 300 mm. Die ROTAMAT® Siebschnecke Ro 9 ist komplett in Edelstahl gefertigt und im Vollbad gebeizt. Der Einbau ist sowohl in einem separaten Behälter als auch direkt in das Gerinne möglich.



Abbildung 12: HUBER ROTAMAT® Siebschnecke Ro 9

Die ROTAMAT® Siebschnecke Ro 9 (Abbildung 12) wird direkt in das Gerinne bzw. in den Behälter eingebaut. Das Abwasser gelangt durch die offene Stirnseite in die Siebtrommel und durchströmt das Spaltsieb bzw. das Lochblech, wobei in Abhängigkeit von der Durchtrittsöffnung die mitgeführten Schwimm-, Sink- und Schwebestoffe abgetrennt werden. Durch die Belegung der Siebfläche kann eine zusätzliche Filterwirkung erreicht werden, die über die vorhandene Durchtrittsöffnung deutlich hinausgeht. Wird aufgrund der Siebflächenbelegung ein definierter Wasserstand vor der Anlage erreicht, so schaltet sich die Maschine ein. Die Reinigung der Siebfläche erfolgt durch robuste, wellenlose Edelstahlförderwendeln mit gleichzeitiger Nachreinigung der Siebfläche durch verschleißfeste Bürsten. Gleichzeitig wird das Siebgut in das geschlossene Steigrohr gefördert. Dort wird das Rechengut auf ca. 40 % TS entwässert, kompaktiert und in den Container abgeworfen. Da die Siebgutwäsche und -presse in ein System integriert ist, spart man sich zwei zusätzliche Komponenten im Rechenraum und reduziert Ihre Entsorgungskosten auf ein Minimum. Die Austragsschnecke transportiert, entwässert und kompaktiert vollkommen geruchsgekapselt das Siebgut und wirft dieses in einen bereitgestellten Container bzw. in eine nachgeschaltete Transportvorrichtung ab. [20]

Durch den Einsatz der HUBER ROTAMAT® Siebschnecke vermeidet man

- nicht abbaubare störende Schwimmstoffe auf den Beckenoberflächen
- Verstopfung von Belüftungseinrichtungen und Pumpen
- aufwendige, arbeits- und personalintensive Reinigungsarbeiten.

Vielmehr erreicht man

- eine Verbesserung der Funktion der Kläranlage und dadurch günstige Ablaufwerte. Einhaltung der geforderten Ablaufwerte
- sauberen, von nicht abbaubaren Stoffen gereinigten Schlamm
- kompaktiertes, entwässertes Siebgut (für Deponierung)

Bei integrierter Siebgutwäsche:

- Auswaschung der Fäkalien mit Rückführung in den biologischen Klärprozess, dadurch Reduzierung des Rechengutvolumens und geruchsfreies Rechengut
- insgesamt dadurch eine wesentliche Senkung der Entsorgungskosten

Die Vorteile sind:

- geringe Investitionskosten
- schneller, problemloser Einbau, auch nachträglich möglich
- gesicherte Selbstreinigung der Siebfläche durch Bürsten
- komplette Edelstahlkonstruktion, dadurch unübertroffene Lebensdauer und Wartungsfreiheit
- geruchsgekapselte Anlage
- geringe Entsorgungskosten durch integrierte Rechengutauswaschung und Rechengutpresse
- kein Gebäude erforderlich; frostsichere, beheizte Aufstellung möglich [20]

5.4.2 Vorlagebehälter

Siehe 5.3.2

5.4.3 Der Anaerobreaktor

Anaerobreaktoren arbeiten unter Sauerstoffabschluss. In ihnen befinden sich methanogene Mikroorganismen, die hochmolekulare organische Stoffe zu CH₄ und CO₂ (Methan + Kohlendioxid) vergären.

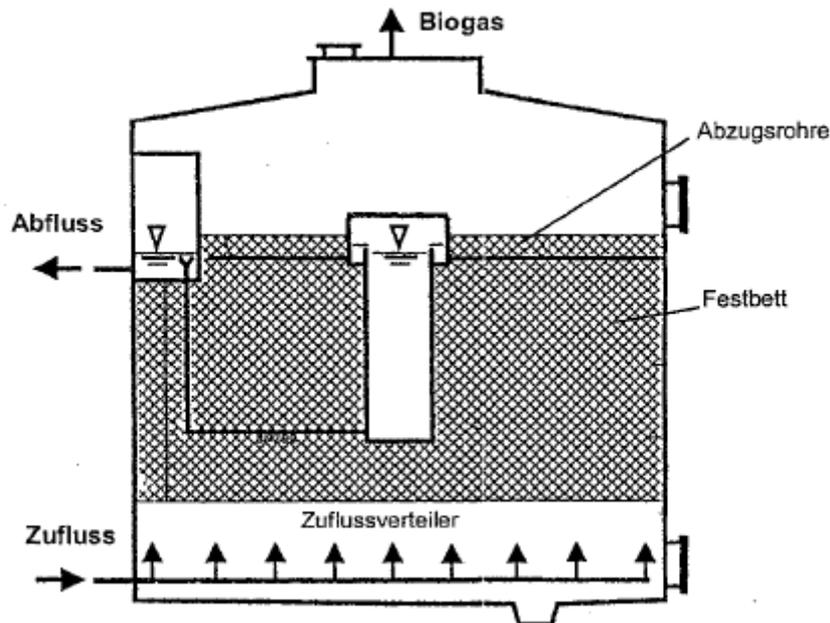


Abbildung 13: Schematische Darstellung eines Festbettreaktors [21]

Für den Fall Karbinci bietet sich ein Bimssteinfestbettreaktor an, weil bei anaeroben Festbettreaktoren ein großer Anteil des Reaktorvolumens mit ortsfesten Trägermaterialien befüllt ist, die als Aufwuchsfläche dienen und so den Biomassengehalt im Reaktor erhöhen.

Im Reaktor (Abbildung 13) selbst befindet sich Bimssteingranulat^A, auf dessen Oberfläche es zur Ansiedlung anaerob arbeitender Bakterien kommt (Immobilisierung zur Biomasserückhaltung). Das Abwasser durchströmt nun das Festbett und die Bakterien bauen anaerob die organischen Bestandteile des Wassers ab, womit sie den Chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) senken. Dieser beschriebene Prozess läuft nicht umgehend mit dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme des Reaktors mit höchstmöglicher Effizienz ab. Ursache ist, dass anaerob arbeitende Reaktoren eine gewisse Anlaufzeit benötigen, in der sich die verschiedenen Mikroorganismen auf dem Bimsstein ansiedeln. Ein weiterer Grund für den schwankenden Wirkungsgrad des Reaktors ist die Zusammensetzung des Abwassers, dessen Grundbestandteile sich nicht verändern, die Konzentrationen mitunter aber erheblichen Schwankungen

^A Bimsstein ist ein Gesteinsglas, d.h., es besitzt eine amorphe Struktur ohne erkennbare Kristalle. Es ist meist hellgrau oder gelblich, selten dunkel. Durch sein hohes Porenvolumen (bis 85%) schwimmt das Gestein auf Wasser (spezifisches Gewicht bis zu nur 0.3). Die poröse Struktur entsteht durch die Ausdehnung eingeschlossener Gase in zähflüssiger Lava, wenn diese an die Erdoberfläche gelangt, dabei der Druck plötzlich abfällt und die Lava sehr schnell erstarrt.

während des Kampagneverlaufs ausgesetzt sind. Wie bereits erwähnt, fällt bei den Abbauvorgängen der Bakterien unter anderem Methan an. [22] Dieses „Abfallprodukt“ kann weiter zur Energiegewinnung genutzt werden, was aber in der Fallanalyse Karbinci nicht vorgesehen ist.

Der Bimsstein, mit dem der Festbettreaktor befüllt ist, dient als Aufwuchsfläche für die Bakterien. Das Trägermaterialvolumen kann zwischen 25% und 100% des Wasservolumens betragen. Für Karbinci werden 80 % angenommen, um bei einer ausreichend großen mit Bakterien bewachsenen Reaktionsfläche ein angemessenes Reaktorvolumen einhalten zu können.

5.4.3.1 Volumenberechnung (Anaerobreaktor)

Raumbelastung

Bei kommunalem Abwasser ist aufgrund der niedrigen Konzentrationen die Raumbelastung keine Bemessungsgröße. In der Praxis beträgt die BSB-Raumbelastung ca. 0,8-1,5 kg BSB₅/(m³·d). [21]

Aufenthaltszeit

Die Aufenthaltszeit und die Raumbelastung sind die maßgeblichen Bemessungsparameter einer Anaerobanlage. Bei einer hohen Abwasserkonzentration ist die Raumbelastung maßgeblich, während bei niedrigen Konzentrationen (dies ist bei kommunalem Abwasser in der Regel der Fall) die Aufenthaltszeit der maßgebliche Bemessungsparameter ist. [21]

In der Praxis liegen die Werte zwischen 5 und 20 Tagen. Die Wahl der mittleren rechnerischen Aufenthaltszeit ist der einzigste Parameter, der die Reaktorgröße bestimmt. [21] In unserem Fall wird das Volumen mit einer Aufenthaltzeit von 5 Tagen und ein Trägermaterialvolumen von 80 % berechnet. [21]

$$Q_{Zu} = 840 \text{ E} \cdot 120 \text{ l/E} \cdot \text{d} = 100800 \text{ l/d} = 100,8 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$V_R = 100,8 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 5 \text{ d} = 504 \text{ m}^3$$

Bei dem Reaktor ist eine möglichst flächige Abzugseinrichtung vorgesehen, um eine weitergehende Durchströmung aller Bereiche zu gewährleisten und ein Verstopfen des Trägers zu verhindern. Es soll eine Öffnung pro 3-4 m² Reaktorgrundfläche gewählt werden. Teilweise besteht auch die Möglichkeit durch Gaseinpressung

beginnenden Verstopfungen entgegenzuwirken. Im Reaktor wird kein Abscheider installiert, da die Biomasse auf, unter und zwischen dem Trägermaterial ausreichend zurückgehalten wird. Außerdem sammelt sich das Gas über dem Wasserspiegel im Reaktordeckel und wird frei in die Luft gelassen.

Der Reaktor wird im Boden eingebaut, was einen etwas höheren Abbaugrad ermöglicht, bzw. eine gewisse Sicherheit bei Temperaturschwankungen.

In der Praxis zeigt sich, dass BSB-Abbaugrade zwischen ca. 75 und 80 % erreicht werden. Bei filtrierten CSB liegt der Abbaugrad in der gleichen Größenordnung, betrachtet man aber den homogenisierten CSB werden lediglich ca. 65-75 % erreicht. [21]

Damit verbleibt eine Restkonzentration an organischer Belastung, die eine nachgeschaltete aerobe Reinigung erfordert, die bei den vorgestellten Anlagen überwiegend in Form eines belüfteten flachen Teiches mit einer Aufenthaltszeit von ca. 1-1,5 Tagen erfolgt, der bei Sonneneinstrahlung auch eine entsprechende Entkeimung ermöglicht.

Ist das Verhältnis der abfiltrierbaren Stoffe zum CSB 0,5 oder kleiner, liegt die Biomasse überwiegend in Pelletform vor. Ansonsten überwiegt Schlamm mit flockiger Struktur. Bei pelletförmigem Schlamm können in der unteren Reaktorhälfte Biomassengehalte von bis zu 40 g/l sowie organische Schlammaktivitäten von 0,10-0,25 kg CSB/(kg oTR · d) erreicht werden. [21]

5.4.3.2 Verhältnis von CSB, Stickstoff und Phosphor

In Vergleich zu aeroben Prozessen wird bei anaeroben Verfahren sehr viel weniger Biomasse, bezogen auf die abgebaute organische Substanz, gebildet. Demnach ist auch der Bedarf an Nährstoffen für die anaeroben Mikroorganismen deutlich geringer als bei den aeroben Bakterien. Für den anaeroben Abbau ist ein Mindestnährstoffverhältnis von CSB:N:P von ca. 800:5:1. erforderlich.

Das Verhältnis von CSB, Stickstoff und Phosphor verdeutlicht, dass beim anaeroben Kohlenstoffabbau nur geringe Mengen Stickstoff und Phosphor eliminiert werden. Dementsprechend hoch sind auch die Abflusswerte für Stickstoff und Phosphor bei Anaerobanlagen, natürlich immer unter Berücksichtigung der Rohabwasser- bzw.

Rohschlammbeschaffenheit. Dazu trägt auch die im anaeroben Milieu ablaufende Ammonifikation (org. geb. N \rightarrow NH₃) und eine eventuelle Phosphor-Rücklösung aus den Bakterienzellen bei. Dieser Umstand kann für eine Stabilisierung des pH-Wertes im Methanreaktor im alkalischen Bereich durchaus willkommen sein. Es stellt aber sowohl Indirekt- als auch Direkteinleiter vor das Problem der Einhaltung der sehr niedrigen Grenzwerte für NH₄-N und Gesamtstickstoff.

Da das Eutrophierungsverhalten von Gewässern maßgeblich von den Nährsalzen Stickstoff und Phosphor geprägt wird, ist insbesondere bei Direkteinleitung von Abwässern die Nachklärung einer aeroben Reinigungsstufe im Anschluss an einen Anaerobprozess sinnvoll.

Bei Vorhandensein von Ammonium, Phosphat und Magnesium im Abwasser kann es bereits bei relativ schwach alkalischen Bedingungen zu plötzlichen und unkontrollierten Ausfällungen von MAP (Magnesiumammoniumphosphat) kommen. Diese Erscheinung ist mitunter für ein rasches Verlegen von Rohrleitungen in Anaerobanlagen verantwortlich und daher eine gefürchtete Störursache. [21]

5.4.4 Teichkläranlage

Nach der anaeroben Behandlung ist ein belüfteter Teich notwendig, um die im Abwasser verbliebenen Stoffe weiter abbauen zu können.

Teiche einfachster Form, möglichst in Erdbauweise sind nicht nur kostensparend in der Anlage, sondern darüber hinaus geeignet, alle in Betrieb und Wartung nachteiligen Eigenschaften herkömmlicher Kläranlagen auszuschalten. Allerdings ist die Existenz einer geeignet großen Grundfläche Voraussetzung.

Im ländlichen Raum werden hierfür meist gemeindeeigene Flächen verwendet. Die Teichkläranlagen (Abbildung 14 und 15) haben eine relativ hohe Prozessstabilität, eine sehr hohe Betriebssicherheit und geringen Wartungsaufwand.



Abbildung 14: Belüfteter Abwasserteich

In belüftete Abwasserteiche wird Sauerstoff mit technischen Belüftungseinrichtungen eingetragen. Dadurch vermindert sich der Flächenbedarf gegenüber unbelüfteten Abwasserteichen erheblich. Sie werden mit Rohabwasser oder mechanisch vorbehandeltem Abwasser beschickt und dienen der biologischen Reinigung. Zur Belüftung werden im Allgemeinen speziell für Teiche entwickelte Belüfter eingesetzt, die in den meisten Fällen gleichzeitig eine Umwälzung bewirken. Mit getrennten Einrichtungen für Belüftung und Umwälzung kann der Energieverbrauch verringert werden. Für die Reinigungsleistung sind in erster Linie die Kontaktzone Wasser/Bodenschlamm, mit dem dort biologisch wirksamen Aufwuchs und in zweiter Linie die frei schwimmenden Bakterien und Mikroorganismen von Bedeutung. Zur Abscheidung der Schwebstoffe ist eine Beruhigungszone oder ein nachgeschalteter Teich erforderlich. Bemessungskriterien sind entweder die BSB_5 -Raumbelastung oder die BSB_5 -Flächenbelastung. Der Einsatzbereich von belüfteten Abwasserteichen liegt (in der Regel) bei Anschlusswerten unter $EW\ BSB_5 = 5000\ E$. [23]

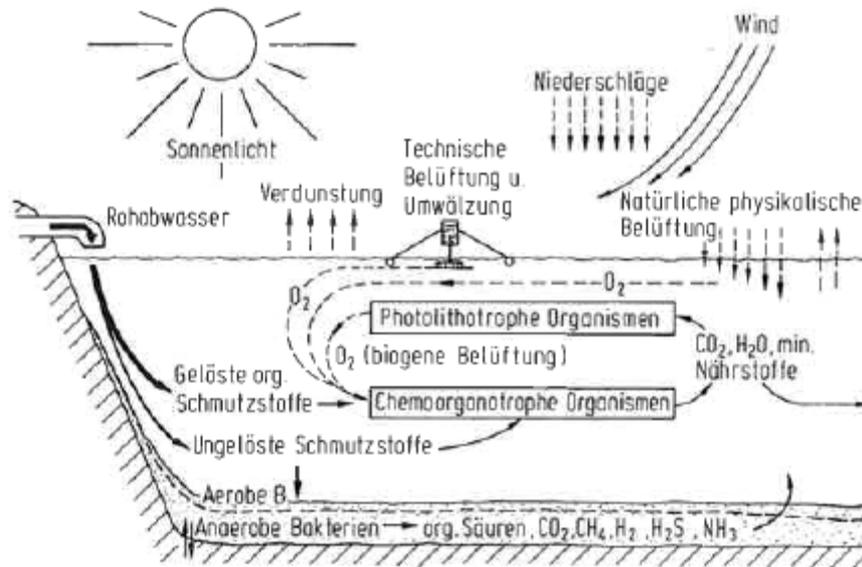


Abbildung 15: Funktionschema einer belüfteten Abwasserteichanlage [9]

5.4.4.1 Bemessung

Für die Bemessung von belüfteten Abwasserteichen ist eine BSB_5 -Raumbelastung von $B_R = 25 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ anzusetzen.

Als Sauerstoffverbrauch ist $OV_{C,BSB5} = 1,5 \text{ kg/kg}$ und für die Umwälzung, je nach eingesetztem System und hydraulischer Gestaltung des Teiches, eine Leistungsdichte $W_R = 1 - 3 \text{ W}/\text{m}^3$ anzusetzen. Die Sauerstoffzufuhr sollte an die Belastung angepasst werden können.

Für die auf dem Markt angebotenen Belüftungseinrichtungen ergeben sich meist Wassertiefen zwischen 1,5 und 2,5 m.

Der Stapelraum für den Schlamm ist als zusätzliches Volumen bereitzustellen. Dies kann in einer integrierten Nachklärzone wie in unserem Fall oder in einem nachgeschalteten Teich erfolgen. Die Teichsohle sollte mit Gefälle zu einem oder mehreren Tiefpunkten versehen sein, um den Schlamm dort abpumpen zu können.

Die Abwasserteiche sind den örtlichen Verhältnissen anzupassen. Die Formgebung ist auf die verwendeten Belüftungsaggregate abzustimmen.

Die Böschungen sind wegen der von den Belüftern ausgehenden Wasserbewegungen und zur Erleichterung der Wartungsarbeiten über die ganze

Böschungsfäche, mindestens jedoch 0,3 m oberhalb und unterhalb des Bereichs der Wasserspiegelschwankungen, z. B. durch Rasengittersteine, Lebendverbau oder Steinschüttungen, zu sichern.

Für die Bauausführung ist zu beachten:

Böschungsneigung für gewachsenen Boden $\leq 1:2$

Böschungsneigung bei Tondichtung $\leq 1:3$

Länge zur Breite (an der Oberfläche) $\geq 3:1$

Tiefe für Absetz- und Schlammzone $\geq 1,5$ m

Freibord $\sim 0,3$ m [23]

5.4.4.2 Volumenberechnung

Das Volumen ergibt sich nach folgender Formel:

$$V_{BT} = B_{d,BSB_5} / B_{R,BSB_5}$$

$$B_{d,BSB_5} = 80^A \% \text{ von } 50,40 \text{ kg/d} = 10,08 \text{ kg/d}$$

$$B_R = 25^B \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$$

$$V_{BT} = B_{d,BSB_5} / B_{R,BSB_5} = 10,08 \text{ kg/d} / 25 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$$

$$V_{BT} = 403 \text{ m}^3$$

$$\text{Flächenbedarf } B_A = L \cdot B$$

$$B_A = V_{BT} / h$$

$$h = 1,5^C \text{ m}$$

$$B_A = 400 / 1,5 = 266,7 \text{ m}^2$$

^A Bei der anaeroben Stufe ist der BSB₅-Fracht um 80% reduziert.

^B Nach ATV-DVWK-A 201

^C Frei gewählter Wert

L : B = 3 : 1 und davon L = 27 m, B = 10 m.

5.4.4.3 Wasserdichtheit

Die Teichdichtung dient dem Schutz des Grundwassers und der Verhinderung unzulässiger Verdünnung durch Zustrom von Grundwasser in die Teiche. Die auf die Aufenthaltszeit bezogenen Anforderungen der DIN-EN 12255-5 an die Wasserdichtheit beziehen sich auf den Trockenwetterabfluss. Wird bei Teichen eine künstliche Dichtung erforderlich, werden dadurch die Kosten nicht unwesentlich beeinflusst. Die Art der Dichtung ist auch auf das zur Schlammräumung angewandte Verfahren abzustimmen. Die Wahl des Dichtungsmaterials und der Dichtungssicherung ist somit sorgfältig abzuwägen. Ob Teiche künstlich gedichtet werden müssen, hängt von den anstehenden Bodenverhältnissen ab. Die Beurteilung des Bodens bezieht sich auf eine mindestens 0,3 m dicke Schicht an der Sohle und den Böschungen der Teiche.

Klüftiger Untergrund und Böden mit Durchlässigkeitswerten $k_f=10^{-8}$ m/s verlangen Dichtungsmaßnahmen.

Beton- oder Asphalt dichtungen sind in der Ausführung kostspielig, vor allem, wenn aufgrund des anstehenden Bodens besondere Unterbaumaßnahmen notwendig sind. Gering tragfähige oder stark setzungsempfindliche Böden können den Einsatz dieser Art von Dichtung aus Praktikabilitäts- und Kostengründen ausschließen. Der Vorteil von Beton- und Asphalt dichtungen liegt darin, dass die Sohle problemlos, z. B. zum Zweck der Schlammräumung, befahren werden kann.

Kunststoffdichtungen erfordern den Einsatz von mindestens 3 mm starken Bahnen oder Platten. Soweit diese der Sonnenbestrahlung ausgesetzt sind, muss UV-beständiges Material eingebaut werden. Bei Teichen, die zu Räumzwecken befahren werden müssen, ist vor dem Einbau einer Kunststoffdichtung zu klären, ob und ggf. wie das Dichtungsmaterial gegen Verschieben und Zerreißen durch Fahrzeuge sicher geschützt werden kann. Bei Einsatz von Kunststoffbahnen zur Dichtung von Teichen, die mit Oberflächenbelüftern ausgerüstet werden, sind die Bahnen an Sohle und Böschungen möglicherweise Sog- und damit Walkbeanspruchungen ausgesetzt. Solche Beanspruchungen führen zu einer Zerstörung.

Dichtungen durch künstlich eingebrachte Deckschichten aus bindigem Boden erfordern ein Material mit Durchlässigkeitswert $k_f < 10^{-8}$ m/s. Das Material ist lagenweise einzubauen und auf mindestens 95 % Proctordichte zu verdichten. Ist der anstehende Boden gut durchlässig, sind mindestens zwei Dichtungslagen vorzusehen. Bei geringerer Durchlässigkeit kann im Einzelfall auch eine Dichtungslage ausreichen, insbesondere in den hinteren Teichen einer Teichreihe oder in Schönungsteichen. Die unterste Dichtungslage kann auch durch eine geeignete bodenmechanische Konditionierung der obersten Schicht des anstehenden Bodens ersetzt werden. Bindige Deckschichten oder konditionierte Bodenschichten können durch Befahren mit Räumfahrzeugen stark in Mitleidenschaft gezogen werden.

Eine weitere Möglichkeit der Abdichtung sind Bentonitmatten. Bei Bodenverbesserungen mit Bentonit ist darauf zu achten, dass die Bodeneinbringtiefe = 30 cm beträgt. Maschinen mit derartiger Kapazität können normalerweise nur im Sohlbereich eingesetzt werden. Die Bestimmung des k_f - Wertes erfolgt nach DIN 18130-1 vor der Befüllung an mindestens drei Proben je Teich. [23]

Bei Böden mit Durchlässigkeitswerten $k_f < 10^{-8}$ m/s, wie im Fall Karbinci, kann auf zusätzliche Dichtungsmaßnahmen verzichtet werden.

5.4.4.4 Kontrolle und Wartung

Neben der regelmäßigen Kontrolle des Betriebs und der Wartung der maschinellen Einrichtungen sind die üblichen Reinigungs- und Unterhaltungsarbeiten durchzuführen. Durch Belüftung und Umwälzung lagert sich der Schlamm vorwiegend in Bereichen mit geringer Strömung ab. Die Räumung wird erforderlich, wenn das nach Bemessung erforderliche Wasservolumen, bzw. die Mindestaufenthaltszeit von fünf Tagen unterschritten ist. Die Abstände der Schlammräumung werden von der Größe des Schlammraumes und der zugeführten Schmutzfracht bestimmt. Der Schlamm Spiegel ist so oft zu messen, dass mit hinreichender Genauigkeit der Zeitpunkt der Schlammräumung vorausbestimmt werden kann.

5.4.4.5 Vor- und Nachteile von Abwasserteichanlagen

Die Vorteile sind:

- Möglichkeit einer naturnahen Gestaltung,
- einfache Kosten sparende Bauweise,
- kleiner bzw. geringer maschineller Aufwand,
- neben einer regelmäßigen Kontrolle des Betriebs nur geringer Wartungsaufwand,
- Schlammräumung in ein- bis mehrjährigen Abständen,
- großes Pufferungsvolumen, deshalb auch Möglichkeiten, das Regenwasser mitzubehandeln.

Nachteile sind:

- der verhältnismäßig hohe Flächenbedarf, durch jahreszeitlich- und witterungsbedingte Veränderungen schwankende Reinigungsleistungen,
- gelegentlich starke Algenentwicklung und unerwünschtes Algenabtreiben,
- mögliche geringe Geruchsemissionen.

5.4.4.6 Entschlammung

Das vorgesehene Entschlammungs- und Entsorgungsverfahren, die Entschlammungszeiträume, sowie die zu erwartende Schlammmenge und Beschaffenheit ist in den Planungsunterlagen anzugeben.

Vor der Schlammräumung empfiehlt es sich, die technischen und organisatorischen Abläufe sorgfältig zu planen und die zur Vergabe an Dritte vorgesehenen Leistungen gründlich zu ermitteln und eindeutig zu beschreiben.

Infolge langer Lagerzeiten ist der Schlamm durch Kaltfaulung anaerob stabilisiert, d.h. behandelt im Sinne der Richtlinie (86/278) EWG.

Bei langjähriger Lagerung können oTS- Gehalte bis 10 % erreicht werden. Die Rückbelastung durch das Filtrat aus einer Schlammentwässerung ist dann gering. Die anfallenden spezifischen Trockensubstanzmengen verringern sich auf rd. 35 kg/(E-a). Bei Mischkanalisation kann sich in Absetzteichen und Schlammtaschen ein TS- Gehalt von rd. 40 % einstellen.

Soll der Schlamm in der Landwirtschaft verwertet werden, ist folgendes zu beachten:

- Wird im Zulauf der Anlage auf einen Rechen verzichtet, sind die nicht verrotteten Bestandteile bei der Entschlammung zu entfernen.
- Der Stababstand eines im Schlammstrom angeordneten Rechens darf nach DIN – EN 12255 - 3 bei landwirtschaftlicher Verwertung 10 mm nicht überschreiten. Das anfallende Rechengut ist getrennt zu entsorgen.
- Die Schlammstapelzeiten in den Teichen umfassen in jedem Fall einen Zeitraum, der es ermöglicht, sich mit dem Entschlammungszeitpunkt auf die zeitlichen Bedürfnisse der Landwirtschaft einzustellen.
- Bei mehrjähriger Lagerzeit empfiehlt es sich zwischen den Räumintervallen den Schlamm auf die in der Klärschlammverordnung angeführten Messgrößen untersuchen zu lassen, um Ursachen möglicher Überschreitungen rechtzeitig abzustellen oder auf einen anderen Entsorgungsweg auszuweichen.

Die Schlammräumung aus großen Teichen ist sehr aufwendig. Abpumpen des Schlammes unter Wasser kann zu einem 5-fachen Volumen der zu entnehmenden Schlammmenge führen. Zur Volumenverminderung dieses Schlammes bieten sich Schlammfelder oder Trockenbeete an, deren Trübwasser in die Teiche zurückzuführen ist. Eine Bepflanzung mit Schilf verbessert bei mehrjähriger Lagerzeit die Entwässerung und verringert den Gehalt an organischer Trockensubstanz.

Sollen die Teiche zur Entschlammung geleert werden, ist vorab zu klären, wie für den Entschlammungszeitraum die Regenwasserbehandlung und die Anforderungen an die Reinigung eingehalten werden. Wegen der besseren Reinigungsleistung im Sommer sollte dieses Verfahren nur in dieser Jahreszeit angewandt werden. In den nicht entleerten Teichen ist während der Räumzeit Stauraum für den Regenwetterfall vorzuhalten. Gegebenenfalls sind sie zusätzlich zu belüften. [23]

6 Kostenvergleichsanalyse

In folgendem Kapitel werden die Investitionskosten zur Realisierung der beiden Konzepte betrachtet. Die Betriebskosten bleiben unberücksichtigt, da diese zum einen sehr gering sind, und zum anderen für beide Konzepte als nahezu identisch angenommen werden können

6.1 Kosten zur Realisierung des ersten Konzepts

In Kapitel 5 wurde das Konzept I dargestellt. Zur Ermittlung der Gesamtkosten werden zuerst die einzelnen Kosten berechnet. Die Erste Stufe in Konzept I ist die mechanische Reinigung mit dem Pipestrainer, dessen Preis in Tabelle 8 angegeben ist. Dieser Preis wurde von der Firma Huber ausgegeben. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der Preis für die Lieferung, Montage und Inbetriebnahme davon abhängig ist, ob nur diese Maschine von der Firma geliefert wird, oder noch andere. Bei einer gleichzeitigen Anlieferung, Montage und Inbetriebnahme von mehreren Huber Maschinen reduziert sich dieser Rechnungsposten pro Maschine.

Tabelle 8: Kosten für Pipestrainer (Mechanische Reinigung)

Pos.	Art	Anzahl	Preis
1	PS Rv 3/4 Lochblech	1	
1.1	Kolbenkompressor, Käser KCC 200-24 D, freistehend ohne Halterung	1	
2.1	Schaltschrankausführung	1	
2.3	Vor-Ort-Schalter o. EEx	1	
2.5	Erweiterung der Schalt- u. Steueranlage für Beschickungspumpe, Steuerung	1	
2.6	Steuerungserweiterung für pneumatische Staukonusregelung	1	
4.1	Potentialfreier Kontakt für Betriebs-/Störmeldung	2	
4.2	Amperemessgerät f. Antriebsmotor (1St.), Steuerung	1	
4.7	Steuertrafo für verschiedene Spannungen	1	
	Gesamt		11.911
	Lieferung, Montage und Inbetriebnahme		ca. 5.000
	Gesamtkosten in €		16.911

Das Vorlage-, Belebungs- und Filtrationsbecken wird aus Beton und im Boden eingebaut. In Abbildung 16 sind die Dimensionierungen, in Tabelle 9 die entsprechenden Kosten dargestellt. Die Preise gelten lokal nur für die betrachtete Region.

Tabelle 9: Kosten für Vorlagebecken, Belebungs- und Filtrationskammer

Nummer	Art der Arbeit	Einheit	Menge	Preis ^A pro Einheit	Gesamte Preis
1	Baggerarbeiten				
1.1	Vermessen und Abstecken der Baustelle	pauschal			40
1.2	Maschineller Aushub des Erdreichs (Kategorie III und IV) bis 2 m Tiefe $(13,4+2\cdot 1)\cdot(3,5+2\cdot 1)\cdot 2$	m ³	169,4	3,5	594
1.3	Maschineller Aushub des Erdreichs (Kategorie III und IV) über 2m Tiefe $(13,4+2\cdot 1)\cdot(3,5+2\cdot 1)\cdot 1,1 - 3\cdot(3,5+2\cdot 1)\cdot(3,1-2,5)$	m ³	83,27	6,8	566
1.4	Anlieferung und Verbauung von Schotter zur Fundamenterstellung d=15 cm	m ³	7,04	24	169
1.5	Aufschütten und Verdichten des Erdreichs nach Abschluss der Betonarbeiten	m ³	96,4	5,8	559
2	Betonarbeiten				
2.1	Anlieferung und Verbauung von Beton und Zusatzstoffen zur Erstellung der wasserdichten Bodenplatte d=30 cm	m ³	14,07	125	1.759
2.2	Anlieferung und Verbauung von Beton und Zusatzstoffen zur Erstellung der wasserdichten Außen- und Zwischenwände d=20 cm	m ³	23,57	145	3.418
2.3	Anlieferung und Verbauung des Baustahls (6-12 mm)	kg	4.635	0,73	3.384
3	Sonstige Arbeiten				
3.1	Auftragen eines wasserundurchlässigen Innenanstrichs (Hidromalflex)	m ²	184,28	8,9	1.640
3.2	Außenabdichtungsarbeiten (Bitumen, Teerpappe, Pressspanplatten)	m ²	99,08	13,75	1.362
3.3	Begrenzungs- und Sicherheitszaun	pauschal			1.250
3.4	Stahltür mit Verriegelung	Stück	1	290	290
3.5	Drainage	m	50	29	1.450
	Gesamt in €				16.482

^A Die Preise sind einem Angebot der Firma Beton, Stip, Mazedonien entommen.

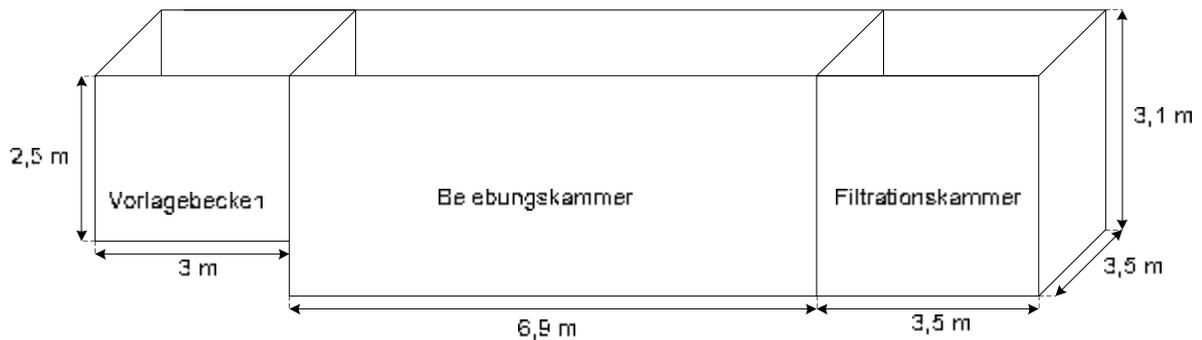


Abbildung 16: Beckendimensionen Konzept I

In Tabelle 10 sind die Kosten für die Filtrationsmaschine (VRM) aufgeführt, die der Preisliste der Firma Huber entnommen sind.

Tabelle 10: Kosten der VRM

Pos.	Angebotsübersicht	Preis in €
1	VRM Ultrafiltrationseinheit VRM 20/120 zum Einsatz in Membranbioreaktoren (MBR's)	
1.3	Aushebevorrichtung für VRM-Unit	
2	Permeatpumpe	
3	Spülluftgebläse	
4	Rezirkulationspumpe für belebten Schlamm	
5	Füllpumpe für chemische Reinigungen	
6	Steuerungsanlage für VRM 20 Membranfiltrationsanlage	
6.1	Frequenzumformer zur Regelung eines Antriebes mit 0,55 kW	
6.2	hydrostatische Füllstandssonde	
6.2.1	induktive Durchflussmessung in der Permeatleitung	
6.2.2	Prozessdruck-Meßumformer in der Permeatleitung	
7	Lieferung VRM-Anlage	
7.1	Montage des VRM-Units in bauseitigen Becken	
7.2	Inbetriebnahme VRM-Membranfiltration	
	Gesamt	97.396
	Mwst. ^A 18 %	16.704
	Gesamtkosten in €	114.100

^A Mwst. bezieht sich auf Pos. 1 bis 6.2.2; 18% entspricht dem Mwst.-Satz in Mazedonien

6.2 Kosten zur Realisierung des zweiten Konzepts

Die Kosten für die Maschine zur mechanischen Abwasserreinigung für das Konzept II sind in Tabelle 11 gezeigt. Die Preise wurde von der Firma Huber ausgegeben. Hierbei ist ebenfalls zu berücksichtigen, dass der Preis für die Lieferung, Montage und Inbetriebnahme davon abhängig ist, ob nur diese Maschine von der Firma geliefert wird, oder noch andere. Bei einer gleichzeitigen Anlieferung, Montage und Inbetriebnahme von mehreren Huber Maschinen reduziert sich dieser Rechnungsposten pro Maschine.

Tabelle 11: Kosten der Ro 9

Pos.	Art	Anzahl	Preis
1	Ro9/300/3, L=5152 mm (Lagermaschine)	1	
1	Einbeinabstützung für Ro9 BG300-500	1	
1	Quertraverse für Abstützung für Ro9 BG 300-500	1	
1	Einfache Verpackung auf Holzpalette für Ro1, Ro2 BG 600, Ro9 BG300-500, Sandaustragschnecke Ro5, RoK4 300-500	1	
1	Einbauzeichnung	1	
2.1	Schaltschrank Ro9 LOGO mit Absolutmessung	1	
2.1	Lufteinperlrrohr (1 Stück) für Niveaumessung/ Differenzmessung (2 Stück erforderlich), mit Abweisblech (erforderlich, wenn keine Aussparung im Gerinne) - Preis pro Stück	2	
2.2	Montageplatte Ro9 LOGO mit Absolutmessung	1	
2.3	Mehrpreis für TD 200	1	
2.4	Mehrpreis für Überlastschutz	1	
2.5	Mehrpreis für Wasserspiegeldifferenzmessung	1	
2.6	Vor-Ort-Schalter o. EEx	1	
4.7	Endlos Absackvorrichtung für Ro1, Ro 2 BG 600-1200, Ro9 BG 300-500	1	
4.13	Automatische Presszonenspülung für Ro1, Ro2, Ro5, Ro5C, Ro9, RoK4, incl. Magnetventil ohne Ex-Schutz	1	
4.14	Erweiterung der Steuerung für automatische Presszonenspülung, eingebaut in Steuerung, nur möglich wenn Steuerung von Huber geliefert wird	1	
4.16	Potentialfreier Kontakt für Betriebs-/Störmeldung	3	
4.17	Amperemessgerät f. Antriebsmotor (1St.), Steuerung	1	
4.18	Überspannungsschutz für CPU	1	
4.23	Steuertrafo für verschiedene Spannungen	1	
	Gesamt		11.907
	Lieferung, Montage, Inbetriebnahme		ca. 5.000
	Gesamtkosten in €		16.907

Die Kosten zum Bau des Vorlagebeckens sind in Tabelle 12 aufgeführt. Dieses Becken wird wie der Reaktor im Boden eingebaut, was eine normale Betriebsweise auch im Winter sichert.

Tabelle 12: Investitionskosten Vorlagebecken

Pos.	Art der Arbeit	Einheit	Menge	Preis ^A pro Einheit	Gesamte Preis
1	Baggerarbeiten				
1.1	Vermessen und Abstecken der Baustelle	pauschal			20
1.2	Maschinelles Aushub des Erdreichs (Kategorie III und IV) bis 2,5 m Tiefe (3+2·1)·(3,5+2·1)·2,5	m ³	68,75	3,5	240
1.4	Anlieferung und Verbauung von Schotter zur Fundamenterstellung d=15 cm	m ³	1,58	24	38
1.5	Aufschütten und Verdichten des Erdreichs nach Abschluss der Betonarbeiten	m ³	42,5	5,8	246
2	Betonarbeiten				
2.1	Anlieferung und Verbauung von Beton und Zusatzstoffen zur Erstellung der wasserdichten Bodenplatte d=30 cm	m ³	3,15	125	394
2.2	Anlieferung und Verbauung von Beton und Zusatzstoffen zur Erstellung der wasserdichten Außenwände d=20 cm	m ³	6,5	145	943
2.3	Anlieferung und Verbauung des Baustahls (6-12 mm)	kg	1.500	0,73	1.095
3	Sonstige Arbeiten				
3.1	Auftragen eines wasserundurchlässigen Innenanstrichs (Hidromalflex)	m ²	43	8,9	383
3.2	Außenabdichtungsarbeiten (Bitumen, Teerpappe, Pressspanplatten)	m ²	32,5	13,75	447
3.5	Drainage	m	25	29	725
	Gesamt in €				4.531

In Abbildung 17 sind die Dimensionierungen, in Tabelle 13 die entsprechenden Kosten dargestellt. Die Preise gelten lokal nur für die betrachtete Region.

^A Die Preise sind einem Angebot der Firma Beton, Stip, Mazedonien entnommen

Tabelle 13: Investitionskosten Anaerobreaktor

Pos.	Art der Arbeit	Einheit	Menge	Preis ^A pro Einheit	Gesamte Preis
1	Baggerarbeiten				
1.1	Vermessen und Abstecken der Baustelle	pauschal			80
1.2	Maschinelles Aushub des Erdreichs (Kategorie III und IV) bis 2 m Tiefe (10+2·1)·(10+2·1)·2	m ³	288	3,5	1.022
1.3	Maschinelles Aushub des Erdreichs (Kategorie III und IV) über 2m Tiefe (10+2·1)·(10+2·1)·5	m ³	720	8,7	6.264
1.4	Anlieferung und Verbauung von Schotter zur Fundamenterstellung d=15 cm	m ³	15	24	360
1.5	Aufschütten und Verdichten des Erdreichs nach Abschluss der Betonarbeiten	m ³	338	5,8	1.960
1.6	Abdeckung des Reaktors mit 30 cm Erdschicht	m ³	60	5,8	348
2	Betonarbeiten				
2.1	Anlieferung und Verbauung von Beton und Zusatzstoffen zur Erstellung der wasserdichten Bodenplatte d=50 cm	m ³	60,5	125	7.563
2.2	Anlieferung und Verbauung von Beton und Zusatzstoffen zur Erstellung der wasserdichten Außenwände d=40 cm	m ³	108,16	145	15.683
	Abdeckplatte	m ²	108,16	175	18.928
2.3	Anlieferung und Verbauung des Baustahls (6-12 mm)	kg	22.000	0,73	16.060
3	Sonstige Arbeiten				
3.1	Auftragen eines wasserundurchlässigen Innenanstrichs (Hidromalflex)	m ²	360	8,9	3.204
3.2	Außenabdichtungsarbeiten (Bitumen, Teerpappe, Pressspanplatten)	m ²	291,2	13,75	4.004
3.3	Begrenzungs- und Sicherheitszaun	pauschal			1.800
3.4	Stahltür mit Verriegelung	Stück	1	290	290
3.5	Drainage	m	80	29	2.320
3.6	Schacht	Stück	2	390	780
3.7	Schachttreppe	Stück	2	195	390
	Gesamt in €				81.056

^A Die Preise sind von der Preisliste der Firma Beton, Stip, Mazedonien genommen.

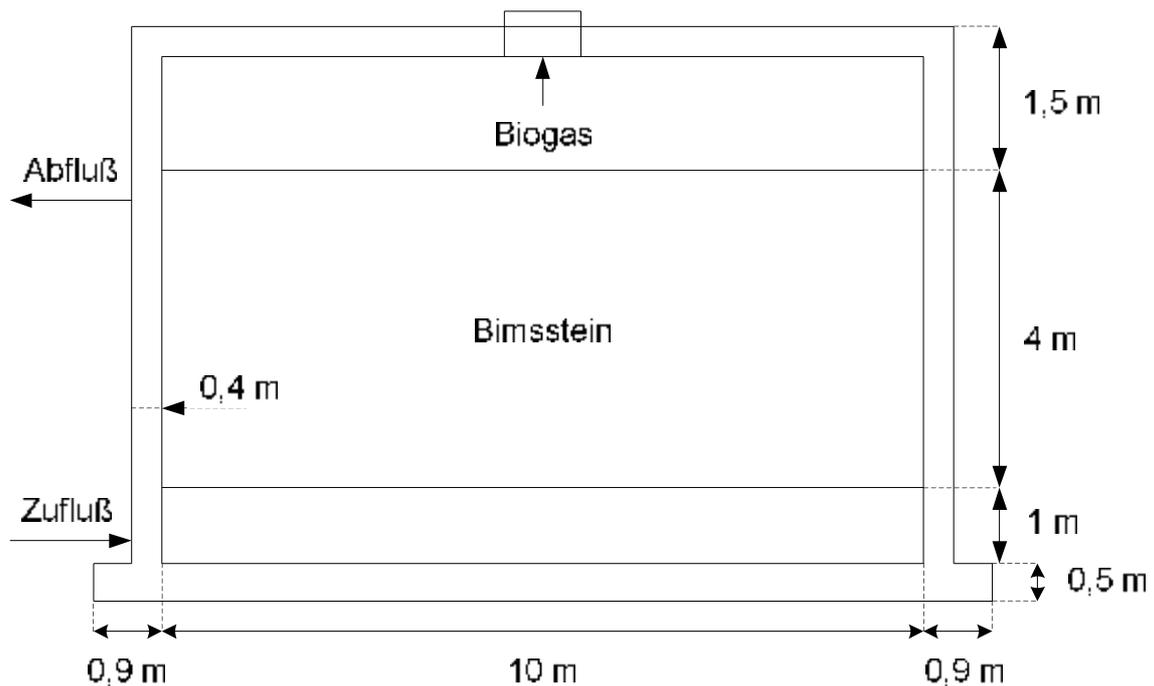


Abbildung 17: Dimensionierung Anaerobreaktor

6.3 Zusammenfassung der Kosten der beiden Konzepte

Die Tabellen 14 und 15 zeigen eine Zusammenstellung aller Kosten.

Tabelle 14: Zusammenstellung der Kosten für Konzept I

Pos.	Art der Kosten	Kosten
1	Pipestrainer (Mechanische Reinigung)	16.911
2	Vorlagebecken, Belebungs- und Filtrationskammer	16.482
3	Belüfter, Gebläse und Verrohrung für das Belebungsbecken ^A	ca. 5.000
4	VRM	114.100
	Gesamt in €	152.493

Tabelle 15: Zusammenstellung der Kosten von Konzept II

Pos.	Art der Kosten	Kosten
1	Ro9 (mechanische Reinigung)	16.907
2	Vorlagebecken (aus Beton)	4.531
3	Anaerobreaktor (aus Beton)	81.056
4	Bimsstein (40 m ³ ·150 €/m ³)	6.000
5	Flächige Ein- und Abzugseinrichtung sowie Pumpen für den Reaktor	ca. 5.000
6	Teichkläranlage (Bodenausgraben 403 m ³ x 3,5 €/m ³ und Einrichten)	1.410
7	Belüftungsausrüstung für die Teichanlage	ca. 5.000
	Gesamt in €	119.904

^A Der Preis für die Belüftungsausrüstung ist für die beiden Konzepte als Pauschale angenommen.

Die spezifischen Kapitalkosten für das Konzept I betragen:

$$\frac{152.493\text{€}}{815E \cdot 120l / E \cdot d \cdot 20a \cdot 365d} = 0,21\text{€/m}^3$$

Die voraussichtliche Einwohnerzahl in 20 Jahren ist 840, aktuell beläuft sich die Einwohnerzahl auf 790. Als Mittelwert ist 815 genommen.

Die Lebensdauer der Anlagen ist auf 20 Jahren geschätzt.

Die spezifischen Kapitalkosten für das Konzept II betragen:

$$\frac{119.904\text{€}}{815E \cdot 120l / E \cdot d \cdot 20a \cdot 365d} = 0,17\text{€/m}^3$$

Im Vergleich dazu steht der Trinkwasserpreis in dieser Region bei 0,50 € pro m³. Da dieser Preis in den nächsten Jahren aufgrund des bevorstehenden EU-Beitritts ständig steigen wird, vergrößert sich auch gleichzeitig der Wert des gereinigten Abwassers. Dadurch werden die oben beschriebenen Konzepte immer rentabler.

7 Potentiale für eine Abwasserwiederverwendung

7.1 Wasserwiederverwendungsarten

Gereinigtes Abwasser soll nach Möglichkeit wieder verwendet werden. Im Verlaufe dieser Wiederverwendung sind die Belastungen der Umwelt auf ein Minimum zu begrenzen.

Nach Asano (2003) lassen sich nachstehende Wiederverwendungsarten – sortiert nach eingesetztem Wasservolumen- unterschieden:

1. landwirtschaftliche Bewässerung
2. Bewässerung von Grünanlagen
3. industrielle Wiederverwendung
4. Grundwasseraufstockung
5. Verwendung in Freizeit- und Erholungsanlagen (künstlichen Seen, Teiche, Flüsse etc.)
6. kommunale Verwendung (Löschwasser, Klimaanlage, Toilettenspülung etc.)
7. Fischzucht
8. Wiederverwendung als Trinkwasser [24]

Für den Fall Karbinci ist wegen der heißen Sommertage besonders die Wiederverwendung des gereinigten Abwassers zur Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen interessant.

Die Frage nach der Notwendigkeit der Nährstoffelimination ist ein wesentlicher Punkt bei der Wiederverwendung von Abwasser zur Bewässerung. Speziell in den Mittelmeerländern wird gefordert, die im Abwasser enthaltenen Nährstoffe Stickstoff und Phosphor zur Düngung zu verwerten, anstatt sie aufwendig aus dem Abwasser zu eliminieren und anschließend Kunstdünger auf die Felder aufzubringen.

7.2 Qualitätsanforderungen an behandeltes Abwasser zur Bewässerung

Abwasser setzt sich aus einer Vielzahl gelöster und suspendierter, organischer und anorganischer Inhaltsstoffe zusammen. Zur Festlegung der Wasserqualität zur Bewässerung mit behandeltem Abwasser sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen:

- Schutz der menschlichen Gesundheit,
- Schutz des Bodens,
- Schutz der Bewässerungstechnik,
- Wiederverwendung der im Abwasser enthaltenen Nährstoffe,
- Akzeptanz der Bevölkerung.

An das Bewässerungswasser werden somit mikrobiologische, chemische und physikalische Anforderungen gestellt.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Aufbereitung von Abwasser zur Wiederverwendung von vielen, teilweise standortspezifischen Faktoren abhängig ist. In diesem Zusammenhang können folgend allgemeine Reinigungsziele definiert werden:

- Das Abwasser soll frei von abfiltrierbaren Stoffen, Trübung und Geruch sein.
- Die Belastung an wertmindernden Stoffen (Schwermetalle) für Boden, Pflanze und Grundwasser soll so gering sein, dass diesen keine dauerhaften Schäden zugeführt werden.
- Es sollten keine toxischen Inhaltsstoffe vorhanden sein.
- Die organischen Inhaltsstoffe sollten weitestgehend abgebaut sein.
- Die Inhaltsstoffe des Abwassers sollen keine Korrosion an der Bewässerungstechnik verursachen.
- Das Reinigungsziel soll an die Vegetationsperiode angepasst werden. Organische Inhaltsstoffe sind immer, Nährstoffe in Abhängigkeit der Wachstumsphase zu eliminieren.

- Eine Desinfektion mit dem Ziel der Reduzierung der mikrobiologischen Belastung ist erforderlich und richtet sich nach den Anforderungen des Einsatzes. [25]

Auf statischer Ebene liegen kaum Instrumente zur direkten Regelung der Abwasserwiederverwendung vor. Im Wesentlichen sind diesbezüglich die Richtlinien der World Health Organisation herauszustellen. Auf europäischer Ebene existiert lediglich die allgemeine Forderung der EU-Wasserrahmenrichtlinien einer grundsätzlich anzustrebenden Wiederverwendung von Wasser. Die im Jahre 1989 veröffentlichten WHO-Richtlinien geben Empfehlungen über mikrobiologischer Qualitätsanforderungen an Abwasser, das der Nutzpflanzenbewässerung dient. Die Richtlinien ziehen dabei die Belastung des Abwassers durch Fadenwürmer und Fäkal-Coliforme Keime im Betracht. Zudem wird der jeweilige Verwendungszweck des behandelten Abwassers sowie die voraussichtlich gefährdeten Gruppen berücksichtigt. Die wesentlichen Inhalte der WHO-Richtlinien sind in der folgenden Tabelle zusammenfassend dargestellt:

Tabelle 16: WHO-Richtlinien (1989) für die Nutzung behandelten Abwassers in der Landwirtschaft [26]

Kategorie	Verwendungszweck	Exponierte Gruppe	Fadenwürmer [arithm. Mittel der Anzahl an Eiern pro Liter]	Fäkal-Coliforme [geom. Mittel der Anzahl an FC pro 100 mL]
A	Bewässerung von (wahrscheinlich) ungekocht konsumierten Nutzpflanzen, Sportplätzen, öffentlichen Parks	Arbeiter, Verbraucher, Öffentlichkeit	≤ 1	≤ 10 ³
B	Bewässerung von Getreidepflanzen, Futterpflanzen, Weideland und Bäumen	Arbeiter	≤ 1	Keine Empfehlungen
C	Örtliche Bewässerung von Nutzpflanzen der Kategorie B falls eine Exposition von Arbeitern und der Öffentlichkeit nicht auftritt	keine	nicht zweckmäßig	nicht zweckmäßig

7.3 Wiederverwendung des gereinigten Abwasser nach Durchlaufen der Konzepte I und II

Für eine optimale Bewässerung mit Abwasser müssen die Bewässerungsmenge bilanziert und die Inhaltsstoffe im Bewässerungswasser berücksichtigt werden. Aus Pflanzenwasserbedarf, Bodenbeschaffenheit und Bewässerungssystem samt Entwässerung ergibt sich die erforderliche Bewässerungsmenge. Der Wasserbedarf schwankt jahreszeitlich in Abhängigkeit von Pflanzenart und Dauer der einzelnen Wachstumsphasen.

Bei der Verwendung des Abwassers für die Landwirtschaft spielt der Aspekt seiner Entseuchung von pathogenen Keimen eine besondere Rolle.

Das aerob und mit Membrantechnik behandelte Abwasser nach Konzept I enthält keine Gefahrstoffe, bzw. alle Keime wurden zurückgehalten.

Das anaerob behandelte Abwasser nach Konzept II kann nach Durchlaufen des belüfteten Teichs, in welchem vor allem die pathogenen Keime eliminiert werden, landwirtschaftlich wiederverwertet werden. So können Nährstoffe, insbesondere in Form von Stickstoff und Phosphor, für die Landwirtschaft zurückgewonnen werden. Durch die Mineralisierung des organischen Stickstoffs im Anaerobreaktor werden die enthaltenen Nährstoffe bei Verwendung als Dünger für die Pflanzen besser verfügbar. Im Vergleich zur üblichen Düngung gehen kaum noch Nährstoffe verloren, was die Belastung von Grund- und Oberflächenwasser erheblich verringert. Ein weiterer Vorteil ist die Verringerung von Geruchsbelästigungen.

8 Bewertendes Fazit

Mit der Vorstellung dieser zwei Konzepte für die zukünftige Realisierung der Abwasserreinigung für den ländlichen Bereich sollte verdeutlicht werden, wie das Problem der Abwasserreinigung in Serbien und Mazedonien gelöst werden kann.

Das erste Konzept ist kostenmäßig die um 27 % teurere Variante, weist aber im konkreten Fall einen geringeren Flächebedarf auf. Die geringeren Kosten des zweiten Konzepts ergeben sich aus der Tatsache, dass für die Realisierung der erforderlichen Reinigungsstufen, bis auf die mechanische Reinigung, auf rein bauliche Maßnahmen zurückgegriffen werden kann. Dieser Vorteil wird sich jedoch im Zuge der EU-Osterweiterung relativieren. Gründe hierfür sind die Preisangleichung, sowie eine erhöhte Nachfrage aufgrund der steigenden Neuinvestitionen, welche ein EU-Beitritt zur Folge haben wird.

Das aerobe Membrankonzept lässt eine sicherere Betriebsweise erwarten, da ein stabiler Prozess von einer geringeren Anzahl an unbeeinflussbaren Faktoren abhängt. Die Zeit bis zum Erreichen eines stabilen Prozesses ist zudem geringer als beim Anaerobkonzept. Die Prozessstabilität des Anaerobkonzepts hängt stark von der Temperatur sowie von den Zulaufkonzentrationen ab. Zudem ist hierbei mit einer gewissen Zeitspanne zwischen Inbetriebnahme und Erreichen eines stabilen Prozesses zu rechnen, da sich die Bakterien erst im Festbett ansiedeln müssen.

Auf jeden Fall benötigen beide Konzepte eine Wartung bzw. Kontrolle um die biologischen Abbauprozesse zu überwachen.

Zusammenfassend zeigt die vorliegende Arbeit, dass die beiden Konzepte sowohl die EU-Bestimmungen erfüllen, als auch, dass das gereinigte Abwasser zur Bewässerung genutzt werden kann und diese Konzepte finanziell eine optimale Lösung für die betrachtete Region darstellen.

Quellenverzeichnis

- [1] Wassergesetz, Amtsblatt der RM, Nr. 4/98, 19/00
- [2] Wassergesetz (Entwurf)- Skopje, Januar, 2005
- [3] Umweltgesetz, Skopje, Juni, 2005
- [4] Verordnung für die Qualität des Abwassers und die Art der Einleitung in die Gewässer, Amtsblatt der RCG, Nr. 10/97 und 27/97)
- [5] Abwassertechnische Vereinigung e.V. in St. Augustin: Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik – Dritte, überarbeitete Auflage; Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin/München, 1983
- [6] Lange J., Otterpohl R.: Abwasser – Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft, Mall-Beton - Verlag Donaueschingen-Pföhren 1997
- [7] Gujer, Willi: Siedlungswasserwirtschaft – 2. Auflage; Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2002
- [8] Rosenberger, Sandra: Charakterisierung von belebtem Schlamm in Membranbelebungsreaktoren zur Abwasserreinigung; VDI-Verlag, Düsseldorf, 2003
- [9] ATV-Handbuch: Biologische und weitergehende Abwasserreinigung – 4. Auflage; Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1997
- [10] Literaturquelle Internet: <http://www.sbr-kleinklaeranlagen.de/abwasser-fachbegriffe.htm> 21.03.2006
- [11] Biogashandbuch Bayern – Materialienband - Kap. 1.1 – 1.5, Stand Dez. 2004
- [12] Studie für Lokationswahl und Vorschlag einer technischen Lösung für die Abwasserreinigung des Ortes Karbinci, Tarinci und Dolni Balvan, Stip; Aura-Invest, Skopje 03.06.2002
- [13] ATV-DVWK-Regelwerk: Arbeitsblatt A131; Bemessung von einstufige Belebungsanlagen; Mai 2000; Copyright ATV-DVWK, Hennef 2003
- [14] Prospekt - Rotamat Pipestrainer, Hans Huber AG, 4.2005

- [15] ATV-Handbuch: Mechanische Abwasserreinigung – 4. Auflage; Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1997
- [16] Prospekt - Huber Membranbelebung VRM, Hans Huber AG, 1.2005
- [17] Durchsatzleistung, Baugroße VRM 20, Datenpool, Hans Huber AG Status: 12.08.2005
- [18] ATV-DVWK-Regelwerk: ATV-A 126 Grundsätze für die Abwasserbehandlung in Kläranlagen nach dem Belebungsverfahren mit gemeinsamer Schlammstabilisierung bei Anschlußwerten zwischen 500 und 5000 Einwohnerwerten; Dezember 1993; Copyright ATV-DVWK, Hennef 2003
- [19] ATV-DVWK-Regelwerk: ATV-A 122 Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von kleinen Kläranlagen mit aerober biologischer Reinigungsstufe für Anschlußwerte zwischen 50 und 500 Einwohnerwerten ; Juni 1991; Copyright ATV-DVWK, Hennef 2003
- [20] Prospekt – Rotamat Siebschnecke Ro 9, Hans Huber AG, 4.2005
- [21] Anaerobtechnik, Bischofsberger, W.;Dichtl, N; Rosenwinkel, K.-H.; Seyfried, C.F.; Böhnke, B. (Hrsg.) 2. vollst. Überarb. Aufl.,2005
- [22] Literaturquelle Internet: http://www.schulemachtzukunft2005-075.de/Seite_3.htm von 05.04.2006
- [23] ATV-DVWK-Regelwerk: ATV-DVWK-A 201 Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Abwasserteichanlagen; Entwurf Februar 2003, Copyright ATV-DVWK, Hennef 2003
- [24] Semizentrale Wasserver- und Entsorgungssysteme- eine Voraussetzung zur Innerstädtischen Wasserwiederverwendung? P.Cornel, B.Weber, H.R.Böhm, S.Bieker, A.Selz; Darmstadt, www.iwar.bauing.tu-darmstadt.de von 10.04.2006
- [25] Verwendung von Abwasser zur Bewässerung – Erarbeiten von Anlagenkonzepte unter besonderer Berücksichtigung des Nährstoffverbleibs im Wasser und jahreszeitlich unterschiedliche Fahrweise- Peter Cornel, Martin Wagner, Stefan Krause, Barbara Weber, Darmstadt
- [26] WORLD HEALTH ORGANISATION, 2005, <http://www.who.int/en/>