

Membrananlagen zur Abwasserreinigung auf Hütten im alpinen Bereich



Auftragnehmer:



**Dipl. Ing. Dr. nat. techn.
Gerhard Cordt**

staatlich befugter und beideter
ZIVILINGENIEUR für
KULTURTECHNIK und WASSERWIRTSCHAFT
allgemein beedeter und gerichtlich **zertifizierter Sachverständiger**
zertifizierter Mediator

A-5700 Zell am See, Gartenstraße 1, Tel.: 06542-74180, Fax: 06542-73564
Internet: www.cordt.com, Mail: cordt@sbg.at

OtterWasser
GmbH

Engelsgrube 81
D-23552 Lübeck
☎ (+49) 0451-70 200-51
-52
📧 info@otterwasser.de
🌐 www.otterwasser.de

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)

Sachbearbeitung:

Dipl. Ing. Andrea Albold

Dipl. Ing. Dr. Gerhard Cordt

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung.....	1
2	Aufgabenstellung.....	2
3	Membranen und Membranmodule	2
3.1	Hersteller von Membranen/Membranmodulen	2
3.2	Anwendungsbereiche von Membranen	3
3.3	Hersteller von Membrananlagen.....	4
3.4	Funktionsweise der Membranmodule.....	5
4	Membranbelebungsanlage.....	7
4.1	Funktionsweise Membranbelebungsanlage	9
4.1.1	Aufbau und Verfahrenstechnik	9
4.1.2	Dimensionierung von Membranbelebungsanlagen	10
4.1.3	Betrieb von Membranbelebungsanlagen	12
4.1.4	Mögliche Reinigungsleistung	13
4.1.5	Reststoffe.....	13
4.1.6	Systemvergleich mit konventionellen Belebungsanlagen.....	14
4.2	Membranbelebungsanlage als Fertigprodukt (Kleinkläranlage)	16
4.3	Membrananlage als individuell zusammengestellte Anlage	19
5	Membranbelebungsanlagen zur Abwasserreinigung im alpinen Bereich.....	20
5.1	Randbedingungen für den Einsatz im Gebirge.....	22
5.2	Das Beispiel Olpererhütte.....	24
5.2.1	Ausstattung der Olpererhütte.....	24
5.2.2	Materialien, Betriebsstoffe	25
5.2.3	Die Kläranlage	25
5.2.4	Dimensionierung der Abwasseranlage Olpererhütte	26
5.2.5	Betrieb Kläranlage	27
5.2.6	Betriebsdatenkontrolle	30
5.2.7	Wartungsaufwand.....	30
5.2.8	Energieverbrauch	31
5.2.9	Kosten.....	31
5.2.10	Bewertung der Membrananlage	31
5.3	Weitere gebaute Beispiele im Alpenraum.....	35
5.3.1	Bergstation Hohtälli [eawag], [M.Böhler u.a.], [Baumgartner, H. 2008]	35
5.3.2	Weitere gebaute Membranbelebungsanlagen im alpinen Bereich	36

6	Bewertung des Einsatzes von Membrananlagen zur Abwasserreinigung auf Hütten	38
7	Literatur	41
8	Anlage	43

Abbildungsverzeichnis:

Bild 1: Rohr-, Platten-, und Hohlfasermodule [Hasselbach, R. 2008]	5
Bild 2: Schema Dead-End und Cross-Flow Filtration [Hasselbach, R. 2008].....	6
Bild 3: Anordnungen von Membranmodulen in einer Kläranlage [Pinnekamp, 2007]	10
Bild 4: Schema Membranbelebungsanlage als Fertigteilanlage	17
Bild 5: Neue Olpererhütte, Quelle Internet	24
Bild 6: Membrankläranlage Olpererhütte (2008)	25
Bild 7: Schlammkompostieranlage (bei abgenommenem Deckel) 2008.....	26
Bild 8: Nachrüstung Siebanlage [2009]	27
Bild 9: Nachrüstung Hebeanlage [2009].....	28
Bild 10: Belüfteraggregate der biologischen Stufe	29
Bild 11: Blick über den Schlegeisstausee	40

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Porengrößen von Membranen, verändert nach [Pinnekamp 2006].....	3
Tabelle 2: Kläranlagen mit Membranbelebungsstufe	8
Tabelle 3: Messdaten Olpererhütte aus Stichproben	33
Tabelle 4: Keimbelastung im Vergleich zur Badegewässerrichtlinie	34
Tabelle 5: Vergleich Gesamtkoloniebildende Einheiten, coliforme Keime	34

1 Veranlassung

Während des Internationalen Fachseminars „Umweltgerechte Ver- und Entsorgungskonzepte für Berg- und Schutzhütten“ der Deutschen Bundesstiftung Umwelt in Benediktbeuern wurde unter anderem die Reststoffproblematik bei der Abwasserreinigung mehrfach diskutiert.

Im Zuge dieser Gespräche wurde die Reinigung von Abwasser mittels Membranbelebungsverfahren wegen der geringeren erforderlichen Behältervolumina und der geringeren Überschussschlammengen im Vergleich zu anderen technischen Abwasserreinigungsanlagen aufgegriffen und kontrovers diskutiert.

Ein Ergebnis dieser Diskussion war der Wunsch eine Kurzstudie zum Einsatz der Membranbelebungsverfahren in der Abwasserreinigung im Gebirge anhand eines Projektbeispiels zu erstellen.

Die Firma OtterWasser GmbH hat anschließend einen Förderantrag für eine Kurzstudie mit dem Titel „Kurzstudie über den Einsatz von Membranbelebungsverfahren zur Abwasserreinigung auf Hütten im alpinen Bereich am Beispiel der Mannheimer Hütte und der Oberzalimhütte der Sektion Mannheim des DAV“ gestellt. Dieser Antrag wurde unter dem Aktenzeichen 17400/40 durch die DBU bewilligt.

Nach ersten überschlägigen Dimensionierungen sollte die Oberzalimhütte eine Kläranlage mit einem Anschlusswert von 28 EW erhalten (Größenordnung von < 50 EW = Kleinkläranlage) respektive die Mannheimer Hütte eine Anlage mit 58 EW Anschlusswert.

Im Laufe der Recherche im Jahr 2004/2005 stellte sich heraus, dass es mehrere Anlagenhersteller für Kleinkläranlagen am Markt gibt. Allerdings besaß zu diesem Zeitpunkt noch keine dieser Kleinkläranlagen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Kleinkläranlagen durch das Deutsche Institut für Bautechnik, wie sie zu diesem Zeitpunkt für anderen Anlagentypen (Tropfkörper o.ä.) bereits üblich war. Mehrere dieser Kleinkläranlagen nach dem Membranbelebungsverfahren befanden sich jedoch im Zulassungsverfahren. Haupteinsatzgebiet waren die Anlagen mit Anschlussgrößen von 4-8 EW. Größere Anlagen gab es nur vereinzelt und konnten somit eher als Pilotanlagen bezeichnet werden. Aus diesem Grund konnte in diesem Größenbereich lediglich auf wenig bis keine Erfahrung zurückgegriffen werden.

Unterschiedliche Abwasserzweckverbände sammelten ersten Erfahrungen durch den großtechnischen Einsatz (z.B. KA Rödingen 3.000 EW 1999, Kaarst-Nordkanal 80.000 EW 2004). Diese Erfahrungen sind aber aufgrund der hohen Anschlusswerte nur bedingt nutzbar.

Die Recherchen und Betrachtungen waren sehr zeitaufwändig. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Olpererhütte im Stubai an die Sektion Neumarkt verkauft, neu geplant und anschließend mit neuer Technik errichtet. Im Zuge dieser Bauarbeiten wurde eine Membranbelebungsanlage zur Abwasserreinigung geplant, im Jahr 2007 realisiert und in der Saison 2008 in Betrieb genommen. Die Erfahrungen aus der ersten Betriebssaison sollten mit in die hier vorliegende Studie aufgenommen werden. Zu diesem Zweck wurde der Förderantrag erweitert und das ZT-Büro Dr. Cordt als Partner hinzugezogen.

In der ersten Saison war der Besucheransturm auf die Hütte sehr groß. In dieser ersten Saison überschritten sich somit die Inbetriebnahme und damit das Einfahren der Anlage mit extremsten Belastungsbedingungen, so dass hier keine für einen regulären Betrieb verwertbaren Erfahrungen gesammelt werden konnten und eine weitere Saison auf der Hütte betrachtet werden sollte.

Ein Besuch auf der Hütte in der Saison 2009 wurde ebenfalls in diese Studie mit aufgenommen.

2 Aufgabenstellung

Ziel dieser Studie ist es, Randbedingungen für den sinnvollen Einsatz von Membranbelebungsanlagen für Hütten im alpinen Bereich zu formulieren.

Die einzelnen Arbeitsschritte sind folgender Aufstellung zu entnehmen:

- Recherche für derzeit auf dem Markt befindliche Membranbelebungsanlagen
- Bewertung der Membrananlage auf Reinigungsleistung, Wartung und Betrieb, Kosten u.a.
- Bewertung auf Einbaumöglichkeiten bei Hütten im alpinen Bereich
- Formulierung von Randbedingungen für den Einsatz von Membranbelebungsanlagen
- Betrachtung der Membranbelebungsanlage der Olpererhütte

3 Membranen und Membranmodule

Definition der verwendeten Bezeichnungen:

Membran	reine Platte oder Hohlfaser oder ähnliches (Filter)
Membranmodul	Zusammenfassung, bzw. Verbindung von Membranen zu einer Einheit mit Zu- und Ablauf. Verschiedene Größen sind möglich
Membrananlage bzw. Membran- belebungsanlage	gesamte biologische Kläranlage inklusive Belüftung und Reaktionszone

3.1 Hersteller von Membranen/Membranmodulen

Zu Beginn der Recherchen im Jahr 2005 konnte in ersten Gesprächen nicht abschließend festgestellt werden, ob die angefragten Hersteller Membranen in Eigenbau herstellen, oder extern gefertigte Membranen in ihren eigenen Modulen einbauen. Aus diesem Grund wurde diese Gruppe von Herstellern von Membranen und Modulen zusammengefasst.

Als Hersteller von Membranen bzw. Membranmodulen wurden folgende Firmen hauptsächlich genannt:

- A3
- Kubota
- Zenon, Hohlfasermembran
- Mitsubishi, Plattenmembran

- Micordyn Nadir, Plattenmembran Kunststoff
- Pall Wassertechnik, Hohlfaser, Kunststoff
- Weise Water Systems (Lieferant für ATB und Mall)

Es konnte festgestellt werden, dass für Kleinkläranlagen im wesentlichen Plattenmembranen eingesetzt wurden, bei den großtechnischen Anlagen neben Plattenmembranen auch Hohlfasermembranen. Bei den großtechnischen Anlagen wurde sowohl Keramik als auch Kunststoffe zur Herstellung der Membranen verwendet.

3.2 Anwendungsbereiche von Membranen

Die Membranen selbst können in der Bauform der Membranen als Platten- oder Hohlfasermembran, im Material als Kunststoff- oder Keramikmembran unterschieden werden.

Weiterhin unterscheiden sich die Membranen in ihrer Porengröße. Je nach Anwendungsgebiet werden die Membranen bis hin zur Trinkwasseraufbereitung verwendet. In der Abwasserreinigung finden sich unterschiedliche Anwendungen für die unterschiedlichen Porengrößen:

Tabelle 1: Porengrößen von Membranen, verändert nach [Pinnekamp 2006]

Einsatzbereich	Größe [µm]	Molekulargewicht [g/mol] bzw. [Dalton]	Typische Porenweite [µm]	Abtrennungseigenschaft
Filtration	ca. 110 – 5 µm			bis zu Abtrennung von Belebtschlammflocken und einige Bakterien
Mikrofiltration	5 – 0,1 µm	um 1.000.000	0,4	bis zu Abtrennung von Bakterien und teilweise Viren
Ultrafiltration	0,1 – 0,005 µm	ca. 200.000 – 20.000	0,04	bis zu Abtrennung von Viren
Nanofiltration	0,01 - 0,001 µm	20.000 - 200	0,004	bis zu Abtrennung von diversen Wasserinhaltsstoffen wie Pflanzenschutzmittel und Medikamentenrückständen
Umkehrosmose	0,001 – 0,0001 µm	bis 200	0,0004	bis zur Abtrennung organischer Säuren

3.3 Hersteller von Membrananlagen

Da die Technik der Membranbelebungsanlagen zum Zeitpunkt der ersten Entwürfe für die Studie noch sehr neu war, gestaltete sich die Recherche nach Informationen auch sehr aufwändig. Zuerst wurden Hersteller von Membranbelebungsanlagen recherchiert. Die Schwierigkeit bei der Recherche bestand darin herauszufinden, welche Membranen von welchen Herstellern eingesetzt wurden bzw. welche Membran dem Hersteller zugeordnet werden konnte. So wurden z.B. die von Firma Weise Water Systems hergestellten Plattenmodule auch bei Fa. Mallbeton und ATB eingesetzt, wobei nicht eindeutig geklärt werden konnte, wer letztendlich der Hersteller der Membran war.

Die folgende Auflistung gibt den Stand von Herstellern von Membranmodulen 2007 wieder. Die Auflistung enthält die bekanntesten Hersteller in alphabetischer Reihenfolge und die hauptsächlich eingesetzte Membranart. Es ist ebenfalls genannt, ob die Firma lediglich Kleinkläranlagen, bzw. auch größere Kläranlagen herstellt bzw. projiziert. [Drogeloh 2007]

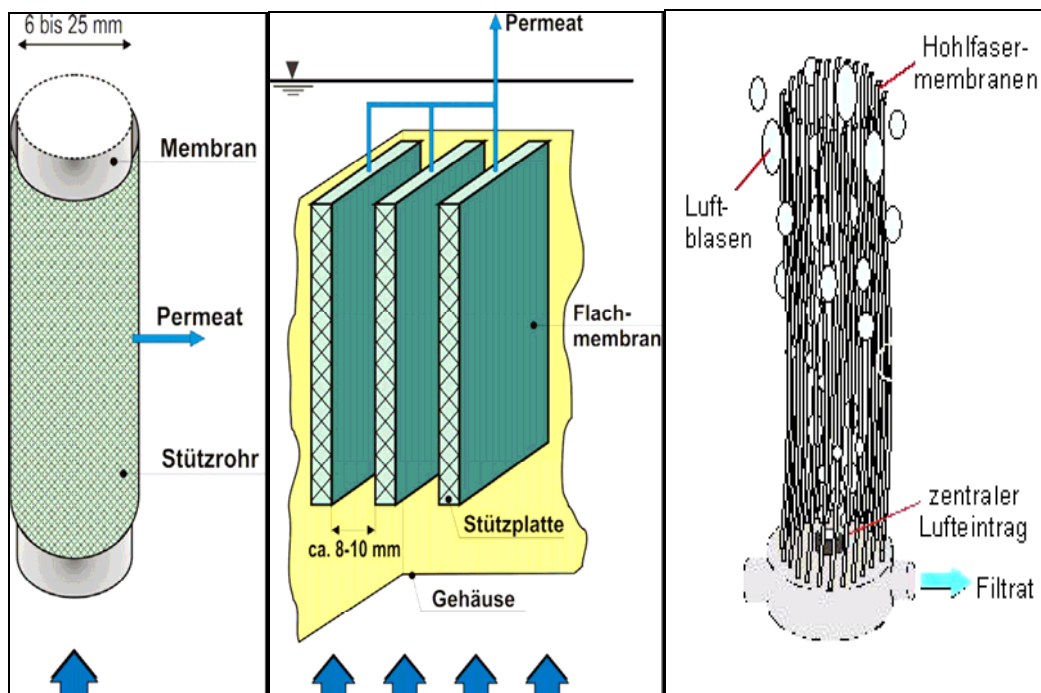
- A3, Plattenmembran
- Aggerwasser GmbH, Plattenmembran
- ATB, (Kleinkläranlagen) Plattenmembran
- Busse, (Kleinkläranlagen) Plattenmembran
- Huber, Plattenmembran, MembraneClearBox (bis 8 EW Nachrüstsatz) ,HoneyComb-System (Belegung + UF bis 150 EW), 0,4 µm (auch Kleinkläranlagen)
- Koch, Hohlfasermembran
- Mall Umweltsysteme GmbH, (Kleinkläranlagen) Plattenmembran
- Martin Systems, (auch Kleinkläranlagen) Plattenmembran
- Rhebau Rheinische Beton- und Bauindustrie GmbH Co. KG (Kleinkläranlagen)
- Rotreat, Hohlfasermembran
- Uponor, (Kleinkläranlagen) Plattenmembran (jetzt Fa. Huber DeWaTec)
- WABAG, Hohlfasermembran
- Wavin GmbH (Kleinkläranlagen)
- Weise Water Systems, Plattenmembran

3.4 Funktionsweise der Membranmodule

Die Membranmodule können unterschiedliche geometrische Größen, bzw. Membranflächen, besitzen. Die charakteristischen Kenngrößen sind die Membranfläche und der Membranmaterial-abhängige Durchfluss durch die Membran (Flux).

Die Membranmodule werden als Rohr-, Platten- und Hohlfasermodule angeboten. Folgende Abbildung zeigt die 3 unterschiedlichen Modulformen.

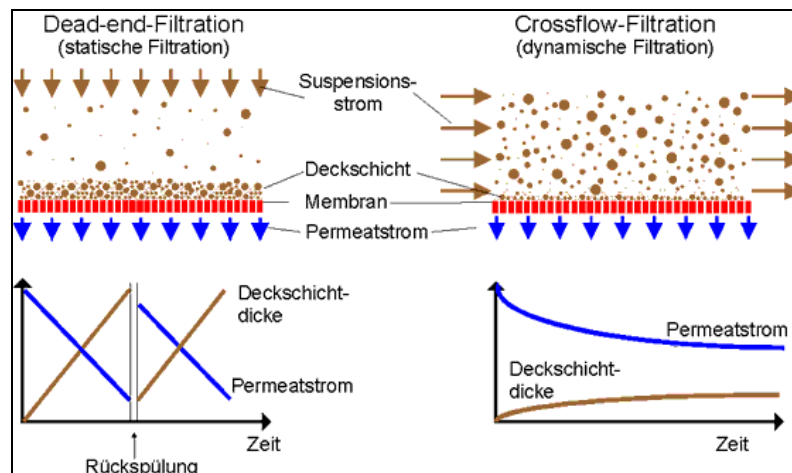
Bild 1: Rohr-, Platten-, und Hohlfasermodule [Hasselbach, R. 2008]



Membranmodule werden weiterhin in ihrer Betriebsweise, in Dead-End oder Cross-Flow Betrieb, unterschieden. Beim Dead-End Betrieb wird die Membran über einen bestimmten Zeitraum durchströmt und die entstandenen Ablagerungen auf der Membran entfernt.

Im Cross-Flow Betrieb (sog. Querstromfiltration) ist im rechten Winkel zur Strömungsrichtung eine Strömung angeordnet, sodass hierdurch eine Abreinigung der entstandenen Deckschicht von der Membranoberfläche erfolgt. In der Regel wird diese Querströmung durch einen Luftstrom erzeugt. Die Filterstandzeiten der Membranen werden dadurch vergrößert, eine regelmäßige Regeneration der Membranen muss allerdings zusätzlich erfolgen.

Bild 2: Schema Dead-End und Cross-Flow Filtration [Hasselbach, R. 2008]



In der kommunalen Abwasserbehandlung (Kleinkläranlagen und Kläranlagen) werden die Membranmodule in die Belebungsstufe integriert und werden in der Regel als Membranbelebungsverfahren bezeichnet. Hierbei werden Membranmodule entweder im Anschluss an die biologische Stufe separat durchflossen oder direkt in der biologischen Stufe eingesetzt. Die Membranmodule bewirkt die Abtrennung der flüssigen von der festen Phase im Belebungsbecken und ersetzt somit die Nachkläreinrichtungen.

Das Filtrat wird mittels Druckdifferenz (z.B. durch Pumpen) aus der Anlage abgezogen und abgeleitet. Die feste Phase verbleibt in der biologischen Stufe bis zum Erreichen eines anlagenspezifischen Trockensubstanzgehaltes der in der Regel höher liegt als bei herkömmlich betriebenen Belebungsanlagen.

Das größte Problem der Membranen im Betrieb ist eine gegebenenfalls dauerhafte Verschmutzung, das so genannte "Fouling". Es können unterschiedliche Arten von Fouling an der Membran entstehen:

- Mineralisches Fouling: Ablagerungen von anorganischen Verbindungen in kristalliner Form (=scaling)
- Organisches Fouling: Ablagerungen von organischen Verbindungen wie Öle, Fette usw.
- Fouling durch Partikel: Ablagerungen von z.B. Ton, Huminstoffen u.a.
- Biofouling: Wachstum von Mikroorganismen auf der Membranoberfläche

Hierbei ist zu unterscheiden, ob es ein reversibler (durch Reinigung zu beheben) oder ein irreversibler Vorgang (Membran ist zerstört) ist.

Die Folge des Foulings ist ein erhöhter Transmembrandruck und eine Verschlechterung des Durchflusses durch die Membran bis hin zur vollständigen Verstopfung der Membran.

4 Membranbelebungsanlage

Membranbelegungsanlagen werden dann eingesetzt, wenn erhöhte Anforderungen an den Ablauf einer Kläranlage gestellt werden, insbesondere auch im Hinblick auf ein hygienisch einwandfreies Abwasser. Ein weiterer Vorteil von Membranbelebungsanlagen ist der Betrieb bei hohen Trockensubstanz-Gehalten in der biologischen Stufe. Dies hat eine Reduzierung des benötigten Reaktorvolumens und damit kleinere mögliche Beckengrößen sowie geringere Mengen an Überschussschlamm zur Folge.

Membranbelebungsanlagen werden für kleine Anschlussgrößen (Kleinkläranlagen) genauso wie für große Kläranlagen eingesetzt.

Folgende grundlegende Aussagen für Membranbelebungsanlagen ergeben sich anhand unterschiedlicher Versuchsergebnisse [Alt, K. u.a. 2007]:

- Der Schlammanfall unterscheidet sich in der Regel nicht von dem klassischer Belebungsanlagen
- Die reaktionskinetischen Leistungen entsprechen denen vergleichbarer konventioneller belebter Schlämme
- Das Schlammalter in Membranbelebungsanlagen bewegt sich abhängig vom jeweiligen Trockensubstanzgehalt näherungsweise im Bereich konventioneller Anlagen, da den Feststoffgehalten in den Belebungsbecken bzw. an den Membranen Grenzen gesetzt sind
- Schlämme aus Membranbelebungsanlagen beeinflussen die Schlammbehandlung nicht negativ
- Alle zum Einsatz in der kommunalen Abwasserreinigung verfügbaren Membranmodule mit nominalen Porengrößen unter $0,5\ \mu\text{m}$ werden mit Luft gespült und unterscheiden sich hinsichtlich der Effizienz der Keimverminderung nicht wesentlich
- Es können grundsätzlich ausreichend vorgeklärte Abwässer Verwendung finden. Es ist dabei unerheblich, ob dies maschinell oder mittels Sedimentation erfolgt.
- Membranbelebungsanlagen sind mit den üblichen Verfahren zur
CSB-Elimination
Nitrifikation,
Stickstoffelimination
simultaner aeroben Schlammstabilisierung sowie
mit Verfahren zur biologischen und chemischen Phosphorentfernung ohne
Einschränkung kombinierbar.

Membranbelebungsanlagen halten die geforderten Ablaufwerte wie herkömmliche Belebungsanlagen bei richtiger Dimensionierung ein, benötigen aber dabei weniger Beckenvolumina.

Einige Beispiele von Membranbelegungsanlagen im kommunalen Bereich sind der folgenden Tabelle zu entnehmen

Tabelle 2: Kläranlagen mit Membranbelebungsstufe

Name	Ausbau- größe	Zulauf	eingesetzte Membran	Hohlfaser/Platte	Poren- größe	MF/UF/NF/RO	Membran- fläche	Fläche/EW	Bau/ Inbetrieb- nahme
	[EW]	[m³/a]			[µm]		[m²]	[m²/EW]	
Richtheim	100	5.475	Kubota ES 100	Platte	0,01	UF/NF	160	1,60	06/2004
Weiz	24	1.300	Memjet, mitshubishi	Hohlfaser	0,4	MF		0,00	03/1998
St. Peter/Judenburg	1.500	80.000	Memjet, mitshubishi	Hohlfaser	0,4	MF	945	0,63	09/1999
Tietz/Rödingen	3.000	164.250	Zenon ZW500OCP	Hohlfaser	0,1	UF	4846	1,62	2001
Markranstädt	12.000	657.000	Zenon ZN500OCP	Hohlfaser	0,1	UF	7360	0,61	2000
Säntis	267	14.600	Zenon	Hohlfaser				0,00	2000
Nordkanal	80.000	4.380.000	Zenon	Hohlfaser	0,1	UF	84480	1,06	2004
Simmerath	750	41.063	Koch Membran	Hohlfaser	0,1-0,2	UF/MF	1000	1,33	
Büchel	1.000	54.750	Kubota	Platte	0,4	MF	960	0,96	
Fa. Huber Demoanl.	33	1.825	VRM Membran	Platte	0,04	UF		0,00	2004
Fa. Huber Demoanl.	7	365	VUM Membran	Platte	0,04	UF		0,00	2004
Berghotel Schwägalp	780	42.705	VRM Membran	Platte	0,038	UF	270	0,35	
Knautnaundorf	900	49.275		Platte			756	0,84	2002
Monheim	9.700	531.075	ZeeWeed 500C	Hohlfaser	0,1	UF	12300	1,27	2003
Seelscheid	11.500	629.625	Kubota	Platte			11480	1,00	2004
Konzen	10.000	547.500	Kubota	Platte			23040	2,30	2005
Woffelsbach	6.200	339.450	Kubota	Platte			16800	2,71	2005

Aus der Tabelle ist zu entnehmen, dass 1998/1999 die ersten großen Membrananlagen in Betrieb genommen wurden. Weitere Anlagen folgten dann in den nächsten Jahren.

Zum Zeitpunkt der ersten Recherche wurde von mehreren Kleinkläranlagen-Herstellern erklärt, im Bereich von 4-8 EW eine Vielzahl von Anlagen errichtet zu haben. Ebenfalls wurde ein Pilotvorhaben zum Einsatz von Membrananlage in Nordrhein-Westfalen durch den Emschergenossenschaft/Lippeverband geplant. Die Realisierung hierzu erfolgte im Jahr 2006. Auch hier handelt es sich im wesentlichen um Anlagen in der Größenordnung zwischen 4 und 8 EW von einem Hersteller. Die Anlagen wurden als Fertiganlagen eingebaut.

Inzwischen sind mehrere Membranbelebungsanlagen von 5 unterschiedlichen Herstellern in der Größenordnung von Kleinkläranlagen durch das Deutsche Institut für Bautechnik geprüft und bauaufsichtlich eine Zulassung ausgesprochen worden.

Für die Hütten im alpinen Raum werden Anlagen in einer Größenordnung zwischen 50 und ca. 300 EW angenommen. Somit sollte vor allem in diesem Größenordnungsbereich nach Erfahrungen mit der Reinigung von häuslichem Abwasser durch Membrananlagen gesucht werden.

In diesem Bereich zwischen Kleinkläranlage und großtechnischer Anlage konnten nur sehr wenige Literaturstellen und Erfahrungen recherchiert werden.

4.1 Funktionsweise Membranbelebungsanlage

4.1.1 Aufbau und Verfahrenstechnik

Beschreibung von Anlagentypen

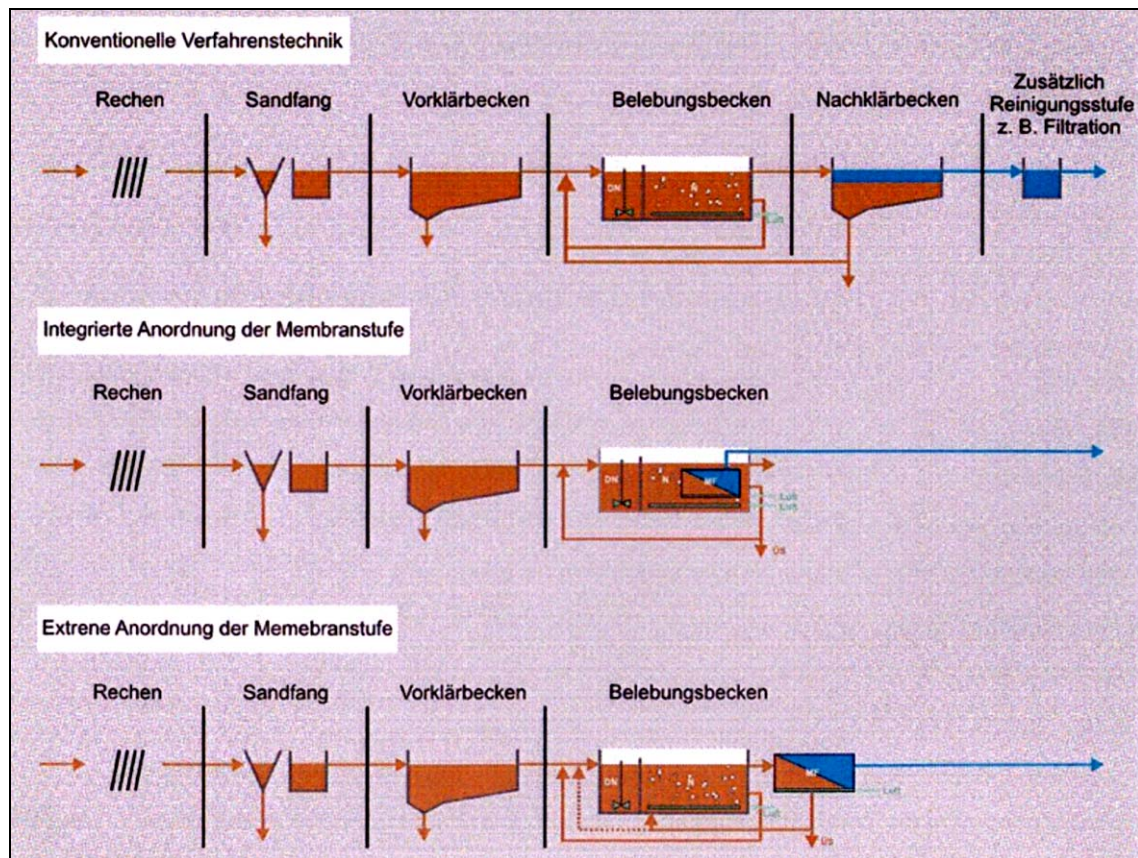
Membranbelebungsanlagen bestehen aus einer Vorklärung, einer biologischen Stufe (Belebungsbecken) und einer Abzugseinrichtung für das gereinigte Abwasser. Bei Membranbelebungsanlagen wird das Membranmodul in der Regel in der biologische Stufe montiert und bewirkt die fest/flüssig Trennung anstelle eines herkömmlichen Absetzbeckens zur Nachklärung.

Es besteht ebenfalls die Möglichkeit, das Membranmodul in eine separate Baueinheit nach der biologischen Stufe zu installieren.

Das folgende Bild zeigt den möglichen Aufbau einer Membranbelebungsanlage im Vergleich zu konventionellen Belebungsanlagen mit Nachkläreinrichtung.

Nachgeschaltete Membranmodule (nach Absetzbecken) werden hauptsächlich bei hohen Anforderungen (Hygienisierung, Einhaltung von Badegewässerqualität o.ä.) an den Ablauf der Kläranlage eingesetzt.

Bild 3: Anordnungen von Membranmodulen in einer Kläranlage [Pinnekamp, 2007]



Je nach Anforderungen an das aufnehmende Gewässer kann die Anlage zuzüglich zu einer Nitrifikation, auch eine Denitrifikationsstufe beinhalten. Bedingt durch die gewählte Porengröße der Membran (siehe oben) können unterschiedliche Reinigungsleistungen hinsichtlich der Feststoffe und somit auch der hygienischen Parameter erzielt werden.

4.1.2 Dimensionierung von Membranbelebungsanlagen

Der **Vorklärung** kommt bei der Planung einer Membranbelebungsanlage ein größerer Stellenwert als bei den konventionellen Belebungsanlagen zu, da die Membranmodule empfindlich gegen Verschlammung und Verzopfung (verursacht durch z.B. Haare und Fette) sind (Fouling). Zur Vorklärung werden Siebanlagen mit Maschenweiten zwischen 1 und 3 mm, Sandfänge, bei kleineren Anlagen auch Absetzeinrichtungen eingesetzt. Der DWA-Fachausschuss KA-7 empfiehlt in jedem Fall die Installation von Sand und Fettfang [DWA 2005] für größere Anlagen. Wie in der Abwasserreinigung üblich sollte bei Anschluss von gastronomischen Betrieben ein Fettfang vorgesehen werden.

Die **biologische Stufe** einer Membrananlage wird in der Regel nach dem Arbeitsblatt ATV - A 131 [ATV-DVWK A-131, 2000] dimensioniert (je nach Anforderungen an die Stickstoffelimination ist eine Nitrifikation, bzw. Denitrifikation zu berücksichtigen). Folgt man den Regelblättern, so ist für Anlagen von 1.000 bis 5.000 EW das Arbeitsblatt DWA A - 226 [DWA-A 226, 2009], sowie bei Anlagen kleiner 1.000 EW Anschlusswert das Arbeitsblatt DWA - A 222

(derzeit in Überarbeitung) [DWA-A 222, 2009] heranzuziehen. In beiden Arbeitsblättern wird allerdings auf den Arbeitsbericht des Ausschusses der DWA KA 7 [DWA 2005] verwiesen.

Folgende Grundvoraussetzungen sind bei der Dimensionierung einer Membranbelegungsanlagen zu berücksichtigen:

- ausreichende Sauerstoffversorgung des belebten Schlammes
- ausreichende Umwälzung und Durchmischung des Belebungsbeckens
- transmembrane Druckdifferenz als Triebkraft für den Filtrationsvorgang (Permeatpumpe oder hydrostatische Druckdifferenz)
- Kontrolle der Deckschichtbildung (grobblasige Belüftung unterhalb der Membranmodule)

Durch den Einsatz von Membranen zur Fest/Flüssig-Trennung kann die biologische Stufe mit höheren Feststoffgehalte betrieben werden, als es in herkömmlichen Belebungsanlagen möglich ist. Der limitierende Faktor ist hier der Sauerstoffeintrag in den Belebtschlamm. Ist der Feststoffgehalt im Belebtschlamm zu hoch, so muss zu viel Energie aufgewendet werden, um ausreichend Sauerstoff den Mikroorganismen zum Abbau zur Verfügung zu stellen. In der Regel wird davon ausgegangen, dass Membranbelebungsanlagen wirtschaftlich bis zu einem Feststoffgehalt von ca. 12 g/l betrieben werden können (im Vergleich hierzu: herkömmliche Belebungsanlagen ca. 3 g/l).

Aufgrund des erhöhten Feststoffgehaltes in der biologischen Stufe wird das für den biologischen Abbau benötigte Volumen reduziert und somit kann die Größe des Belebungsbeckens der Kläranlage kleiner gehalten werden als bei herkömmlichen Belebtschlammanlagen. Durch das geringere Anlagenvolumen wird andererseits die Belebungsstufe anfälliger gegen Stoßbelastungen. Dies ist bei dem Entwurf der Anlage ebenfalls zu berücksichtigen.

Der Bemessungsansatz für die benötigte Membranfläche ist der maximale Abwasserzufluss (bei kommunalen Anlagen ggf. der Mischwasserzufluss), d.h. der membranspezifische Permeatfluss (Flux). Je nach Membranmodulart kann dieser zwischen 8 l/(m²*h) und 30 l/(m²*h) schwanken [DWA 2005].

Bei der Dimensionierung ist weiterhin zu beachten, dass bei sinkender Temperatur die Viskosität des belebten Schlammes sinkt und sich somit die Filtrierbarkeit des Schlammes verschlechtert [Pinnekamp, 2007]. Somit sollte die niedrigste Temperatur der maßgebende Faktor sein.

Membranbelebungsanlagen für Hütten im alpinen Bereich sind entsprechend der gesetzlichen Vorschriften zu dimensionieren. Hierzu gehört die 3. Abwasseremissionsverordnung (Österreich) für Hütten in Extremlage, die 1. Abwasseremissionsverordnung (Österreich) für Hütten, die nicht unter die 3. AEV [3.AEV 2006] fallen, sowie in Deutschland die jeweils gültigen Landeswassergesetzen. Weiterhin gilt in Österreich das ÖWAV-Regelblatt 1 (dritte Auflage) [OEWAV RB 1, 2000] mit Hinweisen zur Dimensionierung von Abwasseranlagen im alpinen Bereich, sowie die entsprechenden ÖNORMEN.

4.1.3 Betrieb von Membranbelebungsanlagen

Für semizentrale Anlagen (hier wurden Anlagen kleiner 10.000 EW betrachtet) wurde von B. Lesjean und anderen [Lesjean, B. 2007] folgende Randbedingungen für den Betrieb genannt:

- Qualifiziertes und engagiertes Betriebspersonal
- Klare Betriebsanweisungen
- Schnelle Reaktionen im Falle von jeglichen Prozess- oder Systemstörungen

Für die Pilotanlage Berlin-Margarethenhöhe mit einem Anschlusswert von 230 EW wurde für den Betrieb ein Zeitaufwand von 4 h/ Woche angegeben, wobei hier eine Fernüberwachung installiert wurde und der Zeitaufwand somit reduziert werden konnte [Lüdicke, C u.a. 1 2009].

Reinigung

Die Membranen müssen in regelmäßigen Abständen gereinigt werden. In großen Anlagen wird entweder in etwa ein bis zwei-wöchigem Abstand eine Reinigungsflüssigkeit während des Betriebes zudosiert. Andererseits wird ein bis viermal pro Jahr eine höhere Reinigungsmittelkonzentration über eine längere Einwirkzeit zugegeben. Die Reinigung kann auf mehrere Arten erfolgen, abhängig vom Aufbau der Anlage. Beste Reinigungsergebnisse werden durch ein "Einweichen" der Membran in Reinigungslösung erzielt. Hierzu muss das Membranmodul entweder leicht aus der Anlage auszubauen sein oder das Becken in dem das Modul installiert ist, vollständig geleert werden können (nur bei nachfolgender Membranfiltration im eigenen Becken nach der biologischen Stufe möglich).

Erfahrungen wurden in Berlin-Margarethenhöhe mit einer Membranbelebungsanlage mit einem Anschlusswert von 230 EW gesammelt. Die Membranen wurden mit geringen Konzentrationen von NaOCl sowie H₂O₂ einmal pro Monat gereinigt. 4 mal pro Jahr erfolgte eine Reinigung mit einer höher konzentrierten Zitronensäurelösung [Lesjean, B. IWA 2004]. Nach dem ersten Betriebsjahr mussten unterschiedliche Parameter im Betrieb der Anlage umgestellt werden. Mit den Modifikationen wurden auch die Reinigungsintervalle angepasst, so dass nun die Membranen monatlich wechselnd betrieben werden. Die in Ruhe befindliche Membran wird regeneriert. Bei jedem dritten Reinigungszyklus wird zusätzlich, falls notwendig, mit Zitronensäure gereinigt [Lüdicke, C. u.a., 2009].

Energieverbrauch

Auf kommunalen Kläranlagen wird davon ausgegangen, dass der Energieverbrauch einer Membranbelebungsanlagen um den Faktor 2-3 höher liegt als in konventionellen Anlagen. In der Veröffentlichung von [Lesjean, B. 2007] wird davon ausgegangen, dass in Anlagen bis 10.000 EW zum Zeitpunkt der Studie ein mittlerer Energiebedarf von 0,9 kWh/m³ häuslichen Abwassers erreicht werden kann. Dies gilt für einen optimierten Betrieb mit stabilen hydraulischen Verhältnissen.

Für die Cross-Flow Belüftung allein wird von ca. 0,25 - 0,8 kWh/m³ Abwasserdurchsatz ausgegangen. Diese Energiemenge wird zusätzlich zu der Energiemenge, die für die Belüftung notwendig ist benötigt. Eine Literaturstudie des KompetenzzentrumWasser Berlin hat für die

Größenordnung von 100 –5.000 EW Anschlusswert sehr unterschiedliche Stromverbräuche zwischen 1,8 und 6 kWh/m³ festgestellt. Diese große Spanne kann mit den unterschiedlichen Reinigungsleistungen hinsichtlich Stickstoff-, Phosphor- und Keimelimination der Kläranlagen begründet werden.

Im Vergleich dazu wird der Energieverbrauch für 2 - 50 EW Anlagen mit 1,5 - 3 kWh/m³ (Kleinkläranlagen, hier in der Regel lediglich Kohlenstoffelimination) und für die Anlagen größer 5.000 EW mit 0,8 - 1,4 kWh/m³ Abwasser angegeben [Lüdicke, C. u.a. 2 2009].

Die eigene Anlage mit 230 EW Anschlusswert hat 6 kWh/m³ benötigt, wobei diese Anlage auf eine weitgehende Nährstoffelimination ausgelegt worden ist (P-Fällung, Bio-P-Elimination und Denitrifikation) und somit ein hoher Energieverbrauch zu erwarten war.

4.1.4 Mögliche Reinigungsleistung

Die Reinigungsleistungen von Membranbelebungsanlagen sind im Unterschied zu konventionellen Belebtschlammanlagen im allgemeinen gleich bleibend gut, unabhängig von auftretenden temporären hydraulischen und organischen Stoßbelastungen da sie in der Regel aus einem vor geschalteten Pufferbehälter beschickt werden. Dies insbesondere deshalb, da bei richtiger Dimensionierung ein bei Belebtschlammanlagen sehr häufig vorkommender "Schlammabtrieb" in den Ablauf, nicht stattfinden kann, da die Membran einen sicheren Rückhalt des Belebtschlammes bewirkt.

Dr. Ing. G. Cordt hat im Rahmen eines Forschungsvorhabens gemeinsam mit der Firma TGB Wien, zwei Membranbelebungsanlagen über mehrere Jahre betrieben. Dabei ist besonders die Konstanz der hohen Reinigungsleistung hinsichtlich BSB₅, CSB, TOC und NH₄-N aufgefallen, obwohl die Anlagen absichtlich sehr unterschiedlich belastet wurden, zum Teil mit bis zur doppelten Nennbelastung [Fürhacker u.a, 2008]. Die Auswertungen aus Untersuchungen mit Abwasser aus Sanitäreinrichtungen einer Hochschule sind in den Anlagen zu entnehmen.

Daraus ist zu erkennen, dass bei richtiger Dimensionierung und richtiger Beurteilung der Randbedingungen auch heute schon Membranbelebungsanlagen in der Lage sind, bei vollautomatischem Betrieb, sehr gute Reinigungsleistungen zu erzielen.

4.1.5 Reststoffe

Als Reststoffe fallen Primärschlamm und Überschussschlamm an. Die Menge an Primärschlamm entspricht der aus herkömmlichen Belebungsanlagen. Gegebenenfalls muss zum Schutz der Membranen eine bessere Abscheidung erfolgen (vor allem bei fetthaltigem Abwasser). Somit fällt hier gegebenenfalls etwas mehr Primärschlamm an.

Auf der anderen Seite fällt, wegen des hohen Trockensubstanzgehaltes in der biologischen Stufe, weniger Überschussschlamm an als in herkömmlichen Anlagen. Untersuchungen haben gezeigt, dass Überschussschlamm aus Membranbelebungsanlagen, denen häusliches Abwasser zufließt, genauso gut entwässerbar ist wie solcher aus konventionellen Belebungsanlagen. [DWA 2005].

4.1.6 Systemvergleich mit konventionellen Belebungsanlagen

Ein Systemvergleich mit konventionellen Anlagen wie z.B. Belebungsanlagen mit herkömmlicher Nachklärung, SBR-Anlagen oder Festbetтанlagen zeigt, dass durch den Einsatz von Membranen als Nachklärung kein Schlammabtrieb (als Belebtschlamm oder Blähschlamm) stattfindet. Beim Membranbelebungsverfahren hält die Membran alle Feststoffe im System zurück und es kann nur Abwasser das wirklich vom Schlamm abgetrennt ist zum Ablauf gelangen.

Um nicht auch gelöste Stoffe (organische und ggf. anorganische) in den Ablauf gelangen zu lassen, die eine Membran schadlos durchwandern würden, ist eine entsprechende Dimensionierung der Anlage erforderlich, sodass die gelösten Substanzen im Bereich der Abwasserreinigungsanlage sicher in feste Biomasse umgesetzt (oder eingebaut) werden.

Die Vorteile der Membranbelebungsanlagen können allgemein wie folgt zusammengefasst werden [DWA 2005]:

- geringer Platzbedarf, weil durch den höheren Trockensubstanzgehalt die Belebungsbeckenvolumina kleiner gewählt werden können (Vergleich: eine übliche Belebtschlammanlage wird mit 3 g/l TS bis 5 g/l TS betrieben, eine Membranbelebungsanlage mit 8 g/l bis 12 g/l TS, womit bei sonst gleicher Schlammbelastung eine doppelt so gute Reinigung erzielt wird und nur das halbe Behältervolumen benötigt wird) und auf die Nachklärung als Absetzbecken ganz verzichtet werden kann (weitere räumliche Einsparung),
- wesentlich einfachere Möglichkeit zur Einhausung von Kläranlagen wegen kleinerer Baugröße und somit höherer Akzeptanz in dicht besiedelten Gebieten (weil u.a. kaum Geruchsemissionen erfolgen),
- hygienisch einwandfreie Ablaufqualität, weil keine abfiltrierbaren Stoffe im Ablauf enthalten sind und dadurch die Keimzahl stark reduziert ist,
- Verbesserung der Betriebssicherheit bei hydraulischen Stoßbelastungen durch Vermeidung von Beeinträchtigungen der Ablaufqualität durch Blähschlamm, Schwimmschlamm und Schlammabtrieb (er wird durch die Membran komplett zurückgehalten),
- Reduktion der organischen Restverschmutzung
- rasche Umsetzung der gelösten organischen Belastung (z.B. aus Restaurantküchen etc) in Biomasse wegen der hohen Trockensubstanzgehalte im Belebungsbecken und daher gute Pufferwirkung bei Belastungsstößen mit leichtabbaubaren Substanzen (wichtig für den Hüttenbetrieb)
- alle bisher in langjähriger Praxis gewonnenen Erfahrungen von kleinen Belebtschlammanlagen können bei Membranbelebungsanlagen genauso genutzt werden.
- bei saisonalem Betrieb und damit Anfahren der Membranbelebungsanlage mit einem Impfschlamm/Wasser-Gemisch wird in dieser Anfahrphase keine Abwasser emittiert, da die Behälter erst gefüllt werden. Somit kann sich bereits jetzt eine

Biologie aufbauen, die dann voll funktionsfähig ist, wenn der erste Ablauf aus der Anlage erfolgt.

Als Risiken bzw. Nachteile von Membranbelebungsanlagen werden folgende genannt [DWA 2005]:

- Stoßbelastungen müssen in der Membranbelebungsanlage über Pufferbehälter ausgeglichen werden.
- geringfügig erhöhter Gesamtenergiebedarf bei kleinen Kläranlagen im Vergleich zu anderen Belebungsanlagen, insbesondere für die Modulbelüftung,
- die Membranmodule können durch Faserstoffe, zu hoher Biomassekonzentration oder ungenügender Querströmung im Filtrationsbereich verblocken oder verschlammen, weshalb stets auf eine korrekte Funktionsweise der Modulbelüftung zu achten ist,
- gering erhöhter apparativer Aufwand und zusätzliche Anforderungen an die Prozesssteuerung,
- Einbringung/ Produktion von Schadstoffen durch Reinigungschemikalien (z.B. AOX durch chlorhaltige Oxidationsmittel),
- Errichtung von geeigneten Chemikalienlagern bei vor Ort Reinigung der Membran
- weniger Erfahrungen vorhanden im Vergleich zu anderen Anlagentypen/Verfahren
- bisher wenig Erfahrung mit dem Umgang von Membranen bei der Außerbetriebnahme und Wiederinbetriebnahme vorhanden im Hinblick auch auf eine richtigen Lagerung/Überwinterung

Biofilmanlagen bei denen sich Biozönosen auf Aufwuchskörpern wie z.B. Tropfkörpern, Bodenfilter, oder anderen Aufwuchsflächen festsetzen und das vorbei strömende Abwasser als Lieferant der Nährstoffe dient, benötigen für eine gute Ablaufqualität wesentlich mehr Volumen (und damit auch Fläche) als Anlagen nach dem Membranbelebungsverfahren. Im Vergleich zu den Belebungsanlagen ist der Stromverbrauch hier wesentlich geringer wenn keine künstliche Belüftung erfolgen muss. Die maschinelle Ausstattung von Biofilmanlagen ist wesentlich weniger aufwändig (keine künstliche Belüftung notwendig) und somit sind diese Anlagen einfacher in Betrieb und Wartung.

4.2 Membranbelebungsanlage als Fertigprodukt (Kleinkläranlage)

Kleinkläranlagen werden in der Regel von Herstellern in verschiedenen Baugrößen für 4 EW bis ca. 50 EW Anschlusswert angeboten. Diese sehr kleinen Anlage umfassen einem Behälter inklusive aller Technik wie Belüfter, notwendige Pumpen usw., sodass eine voll funktionsfähige Kläranlage geliefert wird, die nach Anschluss an die Zu- und Ablaufleitung direkt in Betrieb gehen kann.

Kleinkläranlagen sind in der Regel in einem einzigen Behälter untergebracht. In diesem Behälter ist die Vorklämung und die biologische Stufe in unterschiedlichen Kompartimenten zu finden. Das Membranpaket als Trenneinheit zwischen flüssiger und fester Phase befindet sich in der biologischen Stufe. Eine Permeatpumpe fördert das gereinigte Abwasser aus der Anlage zur Einleitstelle (falls die geodätische Höhe nicht ausreichen sollte). Der Überschussschlamm kann bis zu einer Konzentration von bis zu 20 g/l TS in der Belebung verbleiben oder in die Vorklämung bzw. einen externen Überschussschlammbehälter gepumpt werden. Bei größeren Anschlusswerten bis 50 EW können Vorklämung und Belebungsstufe in getrennten Behältern untergebracht sein.

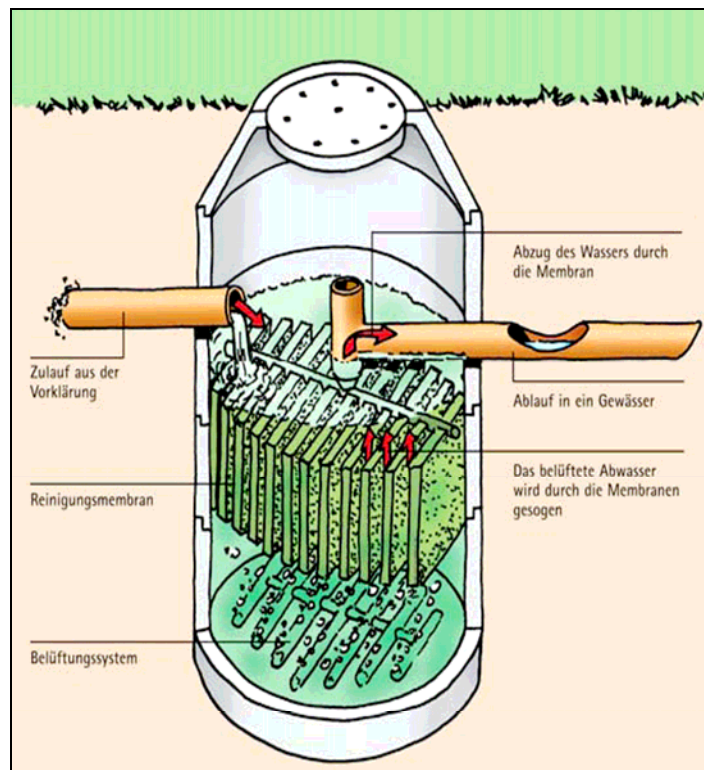
Im Bereich der Kleinkläranlagen (Anschlusswert bis 8 m³/d Schmutzwasseranfall) werden Fertiganlagen von verschiedenen Herstellern am Markt angeboten. Anlagen dieser Größenordnung unterliegen in Deutschland der DIN 4261, bzw. der entsprechenden Europäischen Norm 12 566. Eine bauaufsichtliche Zulassung erfolgt durch das Deutsche Institut für Bautechnik in Berlin. Die Zulassung wird für die gesamte Anlage inkl. Belüfter, Behälter und sonstige Ausrüstung, bzw. bei Nachrüstsätzen auch ohne Behälter, ausgesprochen. Hierbei bekommen die Anlagen eine Zulassung, die auf besonders zugelassenen Prüffeldern getestet werden. In der Regel werden die Anlagen mit einem Anschlusswert von 4 - 8 EW im Betrieb mit kommunalem Abwasser geprüft und das Zertifikat auch auf die größeren Baugrößen ausgesprochen. Die Begründung hierfür sind die geringeren Zulaufschwankungen, bzw. -spitzen (hydraulisch und organisch) die sich vergleichmäßigen, je größer der Anschlusswert der Anlage ist.

Derzeit besitzen Membrankläranlagentypen von 8 unterschiedlichen Firmen (siehe auch Liste oben) eine bauaufsichtliche Zulassung in Deutschland.

In Österreich gibt es diese Bauartzulassung für Kleinkläranlagen nicht, da die tatsächlichen Betriebsbedingungen einer Kleinkläranlage erheblich von denen bei einer standardisierten Bauartzulassung abweichen können.

Die folgende Abbildung zeigt einen schematischen Aufbau einer Fertigteil-Membrananlage als Beispiel.

Bild 4: Schema Membranbelebungsanlage als Fertigteilanlage



Randbedingungen für Kleinkläranlagen

Bei Kleinkläranlagen werden folgende Randbedingungen formuliert (EN 12 566, DIN 4261):

- maximale Zulaufmenge 8 m³/d Schmutzwasser (entspricht ca. 50 EW)
- es darf kein öffentliches oder längeres Kanalnetz angeschlossen sein, die Entfernung zum entsorgenden Objekt soll möglichst gering sein.
- es darf keine Regenentwässerung, kein Grundwasser oder Drainagen an die Anlage angeschlossen sein
- Kleinkläranlagen unterliegen starken hydraulischen und organischen Zulaufschwankungen, entsprechend dem täglichen Verhalten der Bewohner der angeschlossenen Wohneinheiten (starke hydraulische Belastung in den Morgen- und Abendstunden, Entleerung einer Badewanne wirkt auf das Gesamtsystem schwerer als bei größeren Anlagen usw.).

Die Dimensionierung erfolgt in der Regel auf der Basis der Zulaufmengen von 60 g/E*d BSB₅ und einer Raumbelastung von 0,75 kg/m³*d BSB₅. Für eine standardisierte 8 EW Anlage wird ein Energieverbrauch von ca. 0,38 kWh/E*d [Dorgeloh, E. u.a., 2007] angenommen. Umgerechnet auf den Wasserverbrauch ergibt sich mit der Annahme von 150 l/E*d ein Energieverbrauch von 2,5 - 4 kWh/m³ Abwasser.

Betrieb/Wartung

Kleinkläranlagen werden "eigen überwacht", d.h. der Anlagenbetreiber muss ein Betriebsbuch führen und die Anlage in regelmäßigen Abständen auf Funktionsfähigkeit prüfen. Weiterhin wird eine regelmäßige externe Wartung (oder Fremdüberwachung) durch ein geeignetes Unternehmen vorgeschrieben. Hierbei wird die Funktionsfähigkeit geprüft, der bauliche Zustand bewertet und Proben genommen und analysiert, um die Ablaufqualität zu prüfen.

Kleinkläranlagen, die eine Zulassung durch das DIBT besitzen, werden in der Regel 3 mal pro Jahr gewartet. Ein Membranwechsel (gebrauchte Membran gegen eine regenerierte Membran) erfolgt unabhängig vom Zustand der Membran einmal jährlich meistens im Zusammenhang mit einer externen Wartung.

Kosten [LFU Bayern 2007]

Bei Kleinkläranlagen mit einem Anschlusswert von 16 EW liegen die Investitionskosten nach einer bayerischen Umfrage bei ca. 11.000 € (Stand 2009). Hierbei sind die Kosten für den Bodenaushub, wieder Verfüllen der Baugrube, Herrichten der Oberfläche sowie die Erstellung von Anschlusskanälen und ein Einlaufbauwerk nicht enthalten.

Als Betriebskosten werden in dieser Umfrage für Membrananlagen ca. 550 €/a für den laufenden Betrieb und Wartung (Strom, Wartung, Analysenkosten u.ä.) sowie zusätzlich ca. 300 €/a für Fäkalschlammentsorgung und Prüfung durch einen externen Sachverständigen genannt.

Erfahrungen aus dem Betrieb [Freund, M. 2009]

Erfahrungen aus dem Betrieb von 21 Membran-Kleinkläranlagen in der Größenordnung 4-8 EW des Lippeverbandes zeigen, dass diese kleinen Anlagen bei einer guten (passenden) Auslastung gut funktionieren, d.h. bei einer Belastung einer 4 EW-Anlagen durch 3-4 Bewohner funktioniert diese Anlage in der Regel gut. Bei Unterlast sind die für den Reinigungsvorgang zuständigen Mikroorganismen in der biologischen Stufe gefährdet und können sogar absterben, d.h. der Belebtschlamm wird mineralisiert und über den Überschussschlammbauzug aus der biologischen Stufe ausgetragen. Bei diesen Anlagen wurde eine Rezirkulation in die Vorklärung nachgerüstet, die eine Versorgung der Mikroorganismen über den dort vorhandenen gelösten CSB minimal aufrecht erhalten.

Im Mittel wurde festgestellt, dass diese Anlagen 2-3 fachen Stromverbrauch im Vergleich zu anderen technischen Kleinkläranlagen zeigen für die Belüftung der Biologie, den Luftreinigungsstrom und die Permeatpumpe.

Der Lippeverband betreibt die einzelnen Anlagen selbst und schätzt die Kosten für den Betrieb mit ca. 11.000 €/a ab (ca. 550 € pro Jahr und Anlage). Hierbei sind der Membrantausch, die Wartungsarbeiten und Verbrauchs- und Ersatzmaterialien enthalten. Energiekosten trägt der Nutzer selbst, so dass diese Kosten nicht in der Auflistung mit enthalten sind.

Vergleicht man diese Kosten mit denen aus der Befragung in Bayern mit 850 €/a und Anlage mit Anschlusswert von 16 EW so sind diese Kosten erwartungsgemäß höher. Der Unterschied

bei den Austauschkosten für die Membran dürften hier nicht gravierend unterschiedlich sein. Durch die gemeinsame Wartung aller 21 Anlagen kann der Betrieb kostengünstiger organisiert werden als bei einer Einzelbetrachtung von einer Kleinkläranlage mit 16 EW.

4.3 Membrananlage als individuell zusammengestellte Anlage

Die Planung von individuell zusammengestellten Anlagen erfolgt in der Regel bei größeren Anlagen, die nicht mehr unter die Kategorie der Kleinkläranlagen fallen. Soll Abwasser, das nicht häuslichem Abwasser entspricht, gereinigt werden muss in der Regel ebenfalls eine eigene Dimensionierung für diesen einen Fall individuell, auch im Bereich der Kleinkläranlagen, erfolgen. Dies ist beispielsweise bei Autobahnraststätten, Tagesausflugslökalen oder ähnlichen Objekten der Fall.

Individuell zusammengestellte Anlagen müssen nach den Grundlagen und Randbedingungen, die in den voran stehenden Kapitel beschrieben sind, geplant und dimensioniert werden. Nach den hydraulischen und organischen Zulauffrachten sowie den Vorgaben für den Ablauf muss die Vorklämung und die biologische Stufe dimensioniert werden und die Auswahl der Membran erfolgen.

Individuell zusammengestellte Anlagen sollten als Gesamtanlage von einem mit der Planung von kleinen Kläranlagen erfahrenen Ingenieur/Planer aus dem Abwasserbereich dimensioniert werden.

5 Membranbelebungsanlagen zur Abwasserreinigung im alpinen Bereich

Membranbelebungsanlagen, die in der kommunalen Abwasserreinigung eingesetzt werden, sind in der Investition und im Betrieb kostenintensiver als konventionelle Anlagen. Aus diesem Grund werden Membranbelebungsanlagen dort eingesetzt, wo die Vorteile wie geringer Platzbedarf und Hygienisierung von Abwasser stärker gefragt sind und konventionelle Anlagen aufwändig nach- bzw. aufgerüstet werden müssten.

Dies gilt in gleichem Maße für Membrananlagen im alpinen Bereich. So ist die Installation einer Membrananlage gegebenenfalls dann sinnvoll, wenn keine ausreichende Wasserversorgung vorhanden ist und das weitgehend gereinigte Abwasser in der Hütte, z.B. für die Toilettenspülung, wieder verwendet werden soll. Andere Randbedingungen können ein empfindliches aufnehmendes Gewässer (Vorflut) bzw. Versickerung im Karstgebiet oder auch beengte räumliche Verhältnisse sein.

Es gilt immer, dass durch genaue Betrachtung der Randbedingungen einer Hütte das für diesen Standort am besten geeignete System gefunden werden muss.

Eine Abwasserreinigungsanlage für eine Hütte im alpinen Bereich sollte generell

- einen Fettabscheider für die Küchenabwasser
- eine mechanische Vorreinigung (systemabhängig passend)
- eine dem Stand der Technik entsprechende vollbiologische Reinigungsstufe
- eine verlässlich funktionierende Nachklärung
- eine Schönung bzw. Hygienisierung des Ablaufes (falls erforderlich) und
- eine ordnungsgemäße Schlamm Entsorgung

aufweisen.

Die mechanische Vorreinigung kann als Naßentschlammung (z.B. Mehrkammergrube) und als Trockenentschlammung (z.B. Feststoffsiebpresse) ausgeführt werden.

Um bei hydraulischen Zulaufspitzen eine ausreichende Entfernung von Feststoffen sicher zu stellen kann das Volumen der Naßentschlammung relativ groß ausfallen. Somit kann es in Schwachlastzeiten (und somit bei längeren Aufenthaltszeiten) zu Rücklösungen kommen, die dann wiederum eine zusätzliche Belastung in der biologischen Stufe darstellt. Der hier anfallende Primärschlamm muss entweder vor Ort stabilisiert oder frisch entsorgt werden.

Die Trockenentschlammung funktioniert auch bei großen hydraulischen Zulaufschwankungen gleich bleibend gut. Rücklösungen treten hier nicht auf, da die Feststoffe direkt von der flüssigen Phase getrennt werden. Die Reststoffe aus der Trockenentschlammung sind in der Regel entwässert und können - abhängig von Abfallentsorgungsgesetzen unter Umständen auch als Hausmüll entsorgt werden. Die Trockenentschlammung benötigt eine Stromversorgung entweder eigens für die Anlage errichtet oder aus dem Hüttennetz kommend.

Für die biologische Stufe sind Anlagen mit sessilen Organismen (z.B. Tropfkörper-, Bodenfilter-, Kiesbett-, Festbetтанlagen) besser geeignet als kleine Belebtschlammanlagen, da sie bei entsprechenden Temperaturen auch in Schwachlastphasen eine biologische Reinigungsleistung aufrecht erhalten können. Belebtschlammverfahren im Durchlaufbetrieb sind dagegen weniger geeignet, da hier Zulaufschwankungen in der hydraulischen und der organischen Fracht nur schwer abgepuffert werden können. Dies führte bei den Abwasseranlagen zu Modifikationen im Zulauf der Anlagen (Errichtung von Puffertanks zur Vergleichmäßigung von Spitzenzulaufbelastungen) und in der Nachklärung der Anlagen (z.B. Ersatz von Nachklärbecken durch Membranfilter oder Filtersäcke).

Die wesentlichen Vorteile einer Membranbelebungsanlage im Gebirge sind analog zu den herkömmlichen kommunalen Anlagen hier noch einmal genannt:

- Betrieb mit hohen Belebtschlammkonzentrationen ist möglich, damit verbunden ist eine niedrige Schlammbelastung und ein geringerer Platzbedarf als bei vergleichbaren konventionellen Anlagen (wichtig bei erforderlicher Einhausung ggf. zur Beheizung)
- Sehr hohe Ablaufqualität, keine Feststoffe im Ablauf und eine stark reduzierte Keimzahl im Vergleich zu konventionellen Anlagen ist möglich
- Weitestgehende Kohlenstoffelimination auch bei schlecht abbaubaren Verbindungen, da wegen des hohen Schlammalters speziell adaptierte Mikroorganismen angereichert werden können
- kein Schlammabtrieb durch gegebenenfalls auftretenden Schwimmschlamm durch den Einsatz einer Membran zur Abtrennung des Schlammes
- Verringerung der Überschussschlammproduktion durch die Erhöhung des Schlammalters und somit eine geringere Menge an Reststoffen aus der Anlage.
- Ein vollautomatischer Betrieb der Anlage ist möglich
- bei saisonalem Betrieb, und damit Leerfahren der Anlage zum Saisonende, keine Abwasserausleitung während der Einfahrphase durch Nutzung noch freien Volumens in der Belebungsstufe

Als Nachteil gelten die erhöhten Anschaffungskosten für die Membranmodule, der sensible Betrieb (Anfahren mit geschultem Betriebspersonal gegebenenfalls notwendig) im Vergleich mit Verfahren mit Biofilmanlagen, höhere spezifische Energiekosten und die fehlenden Erfahrungen beim Betrieb dieser Anlagen im alpinen Bereich (Extremlage).

Derzeit werden im Gebirge nur wenige Membrananlagen als Inselanlage betrieben. Mehrere Anlagen sind in Berg- oder Talstationen von Seilbahnen untergebracht, wo der Aspekt der Stromversorgung vernachlässigt werden kann. Die Zugänglichkeit ist hier sehr viel besser als bei Hütten in Extremlage und es ist in der Regel technisches Betriebspersonal vorhanden.

5.1 Randbedingungen für den Einsatz im Gebirge

Durch den Besuch von Gästen wird in früher unbesiedelten Gebieten heute fallweise eine Infrastruktur hergestellt und angeboten, die zwangsweise zur Produktion von Abwässern führt.

Abwasserreinigung im Gebirge muss in vielen Fällen vor Ort erfolgen, wenn die Erreichbarkeit und die Anschlussmöglichkeiten an die öffentliche Kanalisation nicht gegeben sind. Diese so genannten "Insellösungen" werden in dieser Studie betrachtet.

Die bisherige Erfahrung bei der Planung von Abwasserreinigungsanlagen im Gebirge hat gezeigt, dass es kein Patentrezept gibt, das für alle Anwendungen sinnvoll angewendet werden könnte, da die Randbedingungen sehr unterschiedlich sind.

Das Abwasser aus einzelnen Objekten, die touristisch genutzt werden, zeigt sehr starke Belastungsschwankungen (hydraulisch und organisch). Hinzu kommt, dass bei Hütten in Extremlage auch eine Überbelegung auftreten kann, da in bestimmten Situationen keine Person abgewiesen werden darf.

Da wenig Wasch- bzw. Duschwasser anfällt und, durch kurze Kanäle, in der Regel kein Fremdwasser anfällt, ist das Abwasser aus Objekten im Gebirge (ähnlich der Fremdenverkehrsobjekte) im allgemeinen durch sehr hohe Konzentrationen gekennzeichnet.

Hinzu kommt, dass an speziellen Standorten, wo vorwiegend Pissoire genutzt werden (z.B. Ausflugslokale mit vielen Tagesgästen), ein sehr stickstoffüberfrachtetes Abwasser, das einer besonderen Behandlung bedarf, anfällt.

Neben diesen stark schwankenden Zulaufbelastungen, sowohl über den Tag als auch über den Wochenzyklus gesehen, führen oftmals auch sehr niedrige Außentemperaturen einerseits und andererseits auch des Abwassers zu nicht unerheblichen Problemen in der biologischen Reinigungsstufe.

Auch gilt es, eine 2-Saisoncharakteristik zu beachten (Winter-/Sommersaison). Das bedeutet, dass eine Abwasserreinigungsanlage nach einer Saison ggf. außer Betrieb genommen werden muss und zu Beginn der nächsten Saison wieder neu angefahren werden muss, oder man "füttert" die Anlage über die Zwischensaison über eine automatische Steuerung durch. Die Anfahrtszeit der Anlage nach Wiederinbetriebnahme sollte möglichst gering sein, um schon zu einem frühen Zeitpunkt die geforderten Ablaufwerte einzuhalten.

Die für eine Abwasserreinigung notwendige Energie wird in der Regel vor Ort im Inselbetrieb erzeugt. Oft muss die Energieversorgung bei Erneuerung oder Erweiterung einer Abwasseranlage ebenfalls erweitert werden.

Weitere Randbedingungen sind baulicher Art. Da im Alpenraum nur in äußerst wenigen Fällen neue Hütten, in denen neue Techniken vorgesehen und adäquat eingebaut werden können, errichtet werden, muss im Bestand geplant und gebaut werden, der oftmals sehr beengt ist. Baukosten einer Abwasserreinigung an extremen Standorten sind in der Regel durch Felsaushub und Transportaufwand erheblich teurer als im Tal.

Ebenfalls baulich zu berücksichtigen ist ein ausreichender Blitzschutz, da hohe Luftelektrizität alleine schon oft zum Anspringen von Sicherheitseinrichtungen (FI-Schutz etc.) und damit zu Störungen des Betriebes führen kann.

Randbedingung bei der Reinigung und Entsorgung von Hüttenabwasser ist das jeweilige aufnehmende Gewässer/Grundwasser. Sehr kleine Gewässer (Bäche) dürfen durch den Kläranlagenablauf nicht unzulässig belastet werden. Das erfordert eine ausreichend gute Qualität der Abwasserreinigung.

Auch die Entsorgung der Reststoffe muss an den Standort der Hütte angepasst sein (z.B. Primärschlamm, Überschussschlamm). So muss bei der Auswahl eines geeigneten Systems berücksichtigt werden, ob Reststoffe in der Umgebung verwertbar (rechtliche Randbedingungen), einfach abtransportierbar sind (ggf. durch einen Forstweg o.ä.) oder ob der Abtransport nur mit erheblichem Aufwand möglich ist (z.B. Hubschraubertransport, bei Erreichbarkeit der Hütte lediglich zu Fuß).

In der Regel ist der Betreiber der Hütte, also der Hüttenwirt, auch für den Betrieb der Abwasseranlage zuständig. Da der Hüttenwirt auch für die Energieanlage, den Küchen- und Beherbergungsbetrieb verantwortlich ist, ist nur wenig Zeit für die Betreuung der Abwasseranlage zur Verfügung. Weiterhin ist der Hüttenwirt kein ausgebildeter Klärfacharbeiter, sondern hat gegebenenfalls ein Seminar zu Grundlagen der Abwasserreinigung, wie es von den Abwasserverbänden angeboten wird, besucht. Bei aufwändigeren technischen Abwasseranlagen muss eine zusätzliche Einweisung/Fortbildung erfolgen oder gegebenenfalls eine Fernüberwachung implementiert werden, die allerdings eine stabile Stromversorgung und die Anbindung an ein Kommunikationsnetz voraussetzt.

Zu berücksichtigen ist ebenfalls der Aufwand für eventuell notwendige Reparaturen, Ersatzteile und Wartung. Zugangswege zu den Hütten sind oftmals langwierig für Wartungspersonal und Ersatzteile.

Diese strengeren Randbedingungen (im Vergleich zu Tallagen) müssen bei der Planung und beim Bau von Abwasseranlagen in alpinen Lagen berücksichtigt werden. Hieraus ist zu sehen, dass es immer eine ortsangepasste Lösung geben muss, die für einen bestimmten Standort die richtige Lösung ist, an einem anderen Standort aber nicht zu einer befriedigenden Lösung des Abwasserproblems führen muss.

Die folgende Auflistung soll einen Überblick über die wichtigsten Anforderungen, bzw. die zu berücksichtigenden örtlichen Bedingungen an die Abwasserreinigungsanlage aufzeigen:

- Art und Größe der zu entsorgenden Objekte mit dem daraus abzuleitenden Abwasseranfall festlegen
- Anforderung an die Reinigungsleistung definieren (gemäß den rechtlichen Vorgaben bzw. dem Vorfluter angepasst)
- Anforderungen an die Reststoffentsorgung klären (rechtlich), Handhabbarkeit der Reststoffentsorgung abschätzen
- vorhandene Energieversorgung der Hütte klären
- vorhandene Wasserversorgung der Hütte klären
- Wartungsaufwand abschätzen
- Betriebssicherheit der gewählten Anlage abschätzen

- Betriebscharakteristik der Abwasseranlage festlegen (Saisonbetrieb o.ä.)
- örtliche Situierung der Abwasserreinigungsanlage klären (im Keller, im Nebengebäude etc)
- stufenweise Erweiterungsmöglichkeiten aber auch Verkleinerungsmöglichkeiten der Abwasserreinigungsanlagen ermöglichen

5.2 Das Beispiel Olpererhütte

Die Olpererhütte wurde durch die Verfasser im Rahme dieser Studie mehrfach besucht, die Kläranlage vor Ort besichtigt, Proben genommen und analysiert und das Personal interviewt.

Bild 5: Neue Olpererhütte, Quelle Internet



5.2.1 Ausstattung der Olpererhütte

Die Olpererhütte liegt auf 2.389 müNN in den Zillertaler Alpen (Kristalin) und befindet sich am Fernwanderweg 502 von München nach Venedig, dem Berliner Höhenweg und an der Neumarkter Runde, einem im Jahr 2006 neu angelegten Panoramahöhenweg. Die ursprüngliche Hütte wurde im Jahr 2006 bis auf die Grundmauern abgerissen und im Jahr 2007 als Neubau auf den alten Fundamenten neu errichtet.

Die Olpererhütte ist eine Schutzhütte der Kategorie I und bietet 60 Schlafplätze (5 Zimmer für je 4 Personen und 5 Lager für je 8 Personen) im Hauptgebäude und 12 Lager im ganzjährig geöffneten Winterlager. (Winterlager Trockentoilette) Das Haupthaus ist mit Duschen ausgestattet. Die Hütte ist familienfreundlich und auch für Gruppen und Seminare geeignet, da die entsprechenden Räumlichkeiten vorhanden sind (auch Internetanschluss).

Die Hütte ist lediglich zu Fuß zu erreichen, es existiert kein Versorgungsweg. Der Zuweg erfolgt vom Schlegeisstausee direkt in 1,5 h und als Übergang vom Friesenberghaus in 2 Stunden, sodass die Hütte für Übernachtungsgäste und Tagesgäste attraktiv ist.

5.2.2 Materialien, Betriebsstoffe

Bei der Wahl der Baustoffe der neuen Hütte wurde sowohl der Energieaufwand, der zur Herstellung des Baustoffes benötigt wird, sowie die Recyklierbarkeit der Materialien nach der Nutzung berücksichtigt. Eine Fotovoltaikanlage und ein mit Rapsöl betriebenes Blockheizkraftwerk erzeugen den notwendigen Strom und das Warmwasser für Dusche, Küche und Heizung des Gebäudes.

5.2.3 Die Kläranlage

Die Kläranlage Oppererhütte besteht aus einem Fettabscheider für die Küchenabwässer mit Abzug des Fettes in Kübeln und ordnungsgemäßer Entsorgung im Tal.

Das derart vorgereinigte Abwasser gelangte ursprünglich (2008) in eine Grobentschlammung (Vorklärbecken) mit 5 m³ Nutzinhalt.

Ein anschließender Pufferspeicher mit 10 m³ Volumen vergleichmäßig die Tageszulaufspitzen. Die biologische Stufe, als Membranbelebung ausgeführt, hat ebenfalls ein Volumen von 5 m³. Sie enthielt zuerst 3 Membranpakete mit je 10 m² Membranfläche. Die Anlage ist als Ultrafiltration ausgelegt (38 nm Porenweite der Membran [Meuler, S.]). Durch die Membran wird das Wasser filtriert und anschließend im Gelände versickert. Die Anlage ist nach Aussage des Herstellers für 56 EW ausgelegt.

Bild 6: Membrankläranlage Oppererhütte (2008)



Der anfallende Überschussschlamm wird mit dem Primärschlamm in eine Schlammkompostieranlage gepumpt, die aus drei Becken zu je 1 m³ Nutzinhalt, Fabrikat Rewatec, besteht. Der Überlauf wird dem Abwasserzulauf der Kläranlage zugeführt.

Bild 7: Schlammkompostieranlage (bei abgenommenem Deckel) 2008



5.2.4 Dimensionierung der Abwasseranlage Olpererhütte

Die Hütte wurde ursprünglich für 2.500 Nächtigungen und 5.700 Tagesgästen pro Saison, an 105 Tagen gebaut. Die Abwasseranlage wurde auf eine zulaufenden Fracht von 3,38 kg BSB₅/d und einer maximal zulaufenden Abwassermenge von 4,3 m³/d dimensioniert [Huber 2009].

Eine überschlägige Kontrolle der Dimensionierung ergibt folgende Werte:

Bei einer Vollbelegung (noch keine Überbelegung) der Hütte schlafen 78 Personen (Besucher inklusive Personal) auf der Hütte. Weiterhin wird die Anzahl der Tagesgäste mit 50 bis 250 abgeschätzt.

Das bedeutet gemäß ÖWAV Regelblatt 1 [ÖEWAV RB1, 2000] eine hydraulische rechnerische Belastung von 4,58 m³/d bis 8,79 m³/d als Dimensionierungsgröße.

Das Volumen des Pufferspeichers beträgt 10 m³. Bei einer Spitzenlast von 8,8 m³/d bedeutet dies eine Pufferzeit von ca. 1 Tag. Im Spitzenfall wird somit das Abwasser von 1 Tag abgepuffert. Somit sollte die Anlage auf diesen Lastfall ausgelegt sein.

Bei der organischen Belastung ergibt sich lt Regelblatt 1 eine tägliche BSB₅ Fracht zwischen 6,82 kg/d oder 114 EW 60 und 8,43 kg/d oder 141 EW 60.

Das ist lt. Dimensionierung gemäß allgemein bekanntem ÖWAV-Regelblatt bereits das Doppelte bis 2,5 fache der ursprünglichen Dimensionierung durch den Planer, der die Anlage für 56 EW dimensioniert hat. [Benediktbeuern 2008]

5.2.5 Betrieb Kläranlage

Im ersten Betriebsjahr 2008 traten bedingt durch Überlastung und nicht an die Bedingungen angepasste Anlagentechnik der Kläranlage erhebliche Probleme auf. Nach diversen baulichen Änderungen im Jahr 2008 wurde die Betriebsführung in der folgenden Saison 2009 weiter verbessert. Anstatt der bisherigen Grobentschlammung in einem Absetzbecken wurde eine Trockenentschlammung (Fabrikat Huber Rotamat) nachgerüstet. Der Vorteil dieser Trockenentschlammung gegenüber der ursprünglichen Nassentschlammung ist, dass dadurch bereits 45 % - 65 % an organischem Material als Feststoffe aus dem Zulauf entnommen wird. (vgl. bei Nassentschlammung nur zwischen 15 % und 25 %). Somit wurde die organische Belastung der biologischen Stufe reduziert.

Bild 8: Nachrüstung Siebanlage [2009]



Durch die Nachrüstung einer Siebanlage wurde es notwendig, eine Hebeanlage zu installieren, die das Abwasser in die Puffertanks fördert.

Bild 9: Nachrüstung Hebeanlage [2009]



Zusätzlich wurde ein weiteres Membranpaket mit ebenfalls 10 m² Membranfläche installiert. Das entspricht mit nunmehr mit 4 x 10m² = 40m² Membranfläche einer 30%igen Erhöhung der Membranfläche gegenüber dem Vorjahr.

Um eine ausreichende Sauerstoffversorgung im Belebungsbecken sicher zu stellen wurden zwei neue, größere Belüfteraggregate installiert, sodass nunmehr drei Belüftungsaggregate vorhanden sind, die laut Aussage der Hüttenwirtin im Jahr 2009 jeweils 24 Stunden in Betrieb sind.

Bild 10: Belüfteraggregate der biologischen Stufe



Der durch die Trockenentschlammung entnommene Primärschlamm wird gepresst und in Plastiksäcke abgefüllt. Diese Säcke müssen mit einem Hubschrauber ins Tal abtransportiert und dort fachgerecht entsorgt werden (Kläranlage Strass). Die Reststoffe aus dem Fettabscheider werden ebenfalls in Fässern im Tal ordnungsgemäß entsorgt. Die Entsorgung erfolgt zum Ende der Saison, gemeinsam mit dem Ausbau der Membranpakete die ebenfalls ins Tal geflogen werden, dort regeneriert werden und frostsicher aufbewahrt werden können.

Wie viel zeitlicher und finanzieller Aufwand für den Abtransport benötigt wird ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht abschätzbar.

Die Kläranlage muss mit ihrer Reinigungsleistung lediglich die Extremlagenverordnung einhalten. Weitere schärfere Auflagen seitens der Behörde hinsichtlich der Reinigungsleistung der Abwasserreinigungsanlage liegen nicht vor.

5.2.6 Betriebsdatenkontrolle

Eine Betriebsdatenkontrolle ist zu diesem Zeitpunkt nicht möglich gewesen, da von Seiten des Betreibers keine Daten zur Verfügung gestellt werden konnten. Die Daten werden dem Schlussbericht der Sektion Neumarkt zur Olpererhütte zu entnehmen sein, der in diesem Jahr (2010) fertig gestellt werden soll.

Ein Vergleich mit anderen Anlagen ergibt, dass das Membranbelebungsverfahren unter den Randbedingungen wie sie auf der Olpererhütte gegeben sind, sehr gut betrieben werden kann.

5.2.7 Wartungsaufwand

Der **Betreiber** (in diesem Fall die Hüttenwirtin oder ihr Personal) einer Kläranlage muss in der Lage sein, die regelmäßigen Aufzeichnungen zu machen (Führen eines Betriebsbuches) und bei Betriebsproblemen anzugeben, wie sie sich darstellen bzw. wie sie sich auswirken. Bei den erforderlichen Aufzeichnungen der Werte für die Kläranlage werden die Belastung der Kläranlage betreffende Daten notiert (z.B. Tagesgäste, Nächtigungen, Tageswasserverbrauch, Kurse auf der Hütte etc). Mit diesen Daten ist es möglich, insbesondere in der Einarbeitungsphase der Anlage die richtigen Schlüsse zu ziehen, und eine optimale Einstellung der Anlage zu erreichen. Alle wesentlichen Daten nach einer Einstellungsänderung sollten ebenfalls festgehalten werden, um leichter eine Fehlerdiagnose zu ermöglichen.

Das beauftragte **Wartungspersonal** (externe Wartung) muss aus den Aufzeichnungen und der Darstellung der auftretenden Probleme in der Lage sein, wirksame Gegenmaßnahmen vor Ort gleichsam als Fernanalyse anzuordnen, um wieder einen ordnungsgemäßen Betrieb der Anlage zu erreichen.

Es ist für einen geregelten Betrieb einer Kläranlage wichtig, dass das Wartungspersonal das angewendete Reinigungsverfahren kennt und weiß, wie Problemen im Betrieb wirksam begegnet werden kann.

In der Regel wird eine in Betrieb befindliche Anlage im alpinen Bereich, bei einem reinen Sommerbetrieb, einmal pro Jahr durch ein extern beauftragtes Unternehmen gewartet. Bei Anlagen im Einfahrbetrieb kann es notwendig sein, in der Hochlastphase und bei Saisonende ein weiteres Mal vor Ort zu sein. Dies ist allerdings nur notwendig, wenn Probleme bei der Anlage auftreten.

Die Wartung der Anlage gestaltete sich auf der Olpererhütte, bedingt durch die falsche Dimensionierung, sehr viel aufwändiger, als für eine vergleichbare Anlage üblich. So wurde insgesamt 3 mal Belebtschlamm zur Kläranlage hochgeflogen. Weiterhin wurde im Juli 2008 ein größeres Gebläse eingebaut, das zu einem späteren Zeitpunkt im Austausch mit einem Plattenbelüfter versehen worden ist. Ausserdem wurde Mitte August 2008 eine Sauerstoffregelung nachgerüstet [Benediktbeuern 2009].

Da bei der Anlage Olpererhütte der Gehalt an Trockensubstanz im Belebungsbecken nicht leicht zu kontrollieren ist, wird angenommen, dass die Ursache der hohen Ablaufwerte lange

Zeit nicht erkannt werden konnte. Dies hätte durch das Vorhanden sein entsprechender Kontrolleinrichtungen und gut zugänglicher Probenahmestellen vermieden werden können.

5.2.8 Energieverbrauch

Nach mündlicher Aussage des Anlagenherstellers wurde das zur hauptsächlichsten Energieerzeugung aufgestellte Rapsöl-BHKW so ausgelegt, dass 1/3 der insgesamt auf der Hütte produzierten Energie für die Kläranlage erzeugt wird und die übrigen 2/3 für den gesamten Hüttenbetrieb (Küchenbewirtschaftung, Duschen, Heizung, Licht usw.). Dies hat zur Folge, dass laut Aussage des Architekten die Aussenwände lediglich als Massivholzwand mit 16 cm Dicke ohne weitere Wärmedämmung im Haupthaus errichtet worden sind, da so viel Abwärme aus dem BHKW vorhanden ist, dass es für Heizung der Räume und Warmwasser immer ausreichend ist um eine nur im Sommer betriebene Hütte zu versorgen.

5.2.9 Kosten

Die Kosten konnten nicht ermittelt werden. Diese werden ebenfalls dem Schlussbericht zur DBU-Fördermaßnahme der Sektion Neumarkt zu entnehmen sein (persönliche Auskunft Frau Meuler 2009).

5.2.10 Bewertung der Membrananlage

Im ersten Betriebsjahr wurden während des gesamten Sommers ca. 50% mehr Übernachtungsgäste und über 250% mehr Tagesgäste bewirte als ursprünglich angenommen wurde. Es kann davon ausgegangen werden, dass vor allem auch an Wochenenden die Belastung der Kläranlage sehr hoch war. Konkrete Zahlen zu Spitzenbelastungen an Wochenenden liegen nicht vor. und können nur über die Betten/Lagerkapazität der Hütte geschätzt werden.

Es wird angenommen, dass die Gründe für den Besucherstrom der architektonisch experimentelle Neubau und eine gute Werbestrategie der Sektion waren. Weiterhin war es der erste Hüttenneubau nach vielen Jahren im deutschen Alpenverein, was wahrscheinlich ebenfalls ein erhöhtes Interesse der Besucher hervorrief.

Bekanntlich ist eine Überlastung einer Kläranlage nicht an den Jahresnchtigungen oder Tagesgästen der Saison abzulesen, sondern an dem Mehrtagesdurchschnitt der Kläranlagenzulaufbelastung. Dadurch muss eine Verdoppelung der Saisongäste nicht automatisch eine Überlastung der Kläranlage bedeuten. Um eine Überlastung der Kläranlage festzustellen, hätte lediglich die Tagesabwassermenge zur annähernd gleichen Tageszeit über mehrere Wochen, in denen auch Spitzenbelastungen vermutet wurden, abgelesen werden müssen. Verglichen mit den an diesen Tagen ausgegebenen Essen und Nchtigungen hätte sehr leicht die tatsächliche Belastung der Anlage ermittelt werden können. Eine derartige Gegenüberstellung gibt dem Betreiber einen ganz guten Überblick, wann seine Kläranlage

allenfalls überlastet wird und er kann rechtzeitig entsprechend reagieren. Das ist für einen ordnungsgemäßen Betrieb unbedingt erforderlich.

Eine wie oben beschriebene Überschreitung der prognostizierten Jahres-Besucherzahlen spielt nur dann eine Rolle, wenn sie sich auch bis auf die täglichen Besucher/Übernachtungsgäste durchschlägt. Falls die Tagesgästepzahlen (unabhängig von der zu geringen Dimensionierung der Abwasserreinigungsanlage) um 250 % überschritten würden, dann kann in Kläranlagen, unabhängig vom eingesetzten Verfahren, nur sehr schwer diese Mehrbelastung aufgefangen werden. Es ist abzuschätzen, was im Notfall, bei hydraulischer oder organische Überbelastung der Anlage für Folgen entstehen.

Es stellt sich die Frage, welche Größenordnung sich im Mittel über die Jahre als Tagesbelastung der Kläranlage einstellen wird. Sollte diese Größenordnung stark von der angenommenen abweichen, so ist die Frage zu stellen, woran dies gelegen hat. Zum einen kann dies aus der Unkenntnis der Sektion heraus entstanden sein (die Sektion war erst kurze Zeit im Besitz dieser Hütte und hatte noch keine Erfahrungen mit einem Hüttenbetrieb, Angaben zum vorangegangenen Betrieb eventuell lückenhaft) zum anderen kann dies auch aus einer Fehleinschätzung des Planers heraus erfolgt sein, um nur zwei mögliche Ursachen zu nennen.

Deshalb ist es bereits bei der Planung sehr wichtig, die Randbedingungen des Objektes zu klären und eine diesen Randbedingungen angepasste Dimensionierung und geeignete Auswahl des Abwasserreinigungsverfahrens vorzunehmen.

Um den Zustand und den Betrieb einer Kläranlage beurteilen zu können muss eine entsprechende Beprobung möglich sein. Die Stellen zur Probenahme sollten gut zugänglich sein. Dies ist bei der Anlage der Olpererhütte leider nicht der Fall.

Bei der stichprobenartigen Betrachtung der Saison 2008 und 2009 wurde festgestellt, dass die Anlagenkonfiguration im Vergleich zur Eröffnung der Hütte nach dem 1. Betriebsommer nachgebessert werden musste.

Zum einen erfolgte die Installation eines Feststoffabscheiders. Die Installation von Siebanlagen vor Membranbelebungsanlagen wird auch für Tallagen zur Prozessstabilisierung (Verminderung von Foulingeffekten) empfohlen [DWA, 2005], sodass diese Nachrüstung als sinnvoll erachtet wird.

Im September 2008 und 2009 wurde jeweils eine Stichprobe, die vergleichbar mit einer Tagesmischprobe im Ablauf einer anderen Kläranlage [Fürhacker 2008 u.a.] entnommen und die folgenden Parameter analysiert. Folgende Tabelle zeigt die wichtigsten Parameter als Auszug aus dem Prüfbericht.

Tabelle 3: Messdaten Olpererhütte aus Stichproben

	Einheit	Messung 2008	Messung 2009
pH-Wert		7,34	7,84
CSB	mg/l	91	49
BSB5	mg/l	7,5	<6
Nges	mg/l	80	73
NH ₄ -N	mg/l	30	24
NO ₂ -N	mg/l	29	0,23
NO ₃ -N	mg/l	18,9	15,9
P _{ges}	mg/l	15,6	6
PO ₄ -P	mg/l	15,5	6
KBE	in 1 ml	>1000	>1000
Coliforme Keime	in 100 ml	760	125

Man kann aus den 2 Analysen erkennen, dass die Kläranlage weder im Jahr 2008 noch im Jahr 2009 optimal eingestellt war. Beide Beprobungen wurden jeweils an einem schönen Herbstwochenende durchgeführt und dürften daher von der Anlagenbelastung ganz gut vergleichbar sein. Da eine repräsentative Beprobung des Belebungsbeckens nicht möglich war kann kein Wert für den TS-Gehalt im Belebungsbecken zur Zeit der Probenahme angegeben werden.

Die geforderten Werte nach 3. Abwasseremissionsverordnung werden in jedem Fall bei weitem unterschritten.

Analysenwerte der Fa. Huber zeigen eine CSB- Zulaufkonzentration zur Belebungsstufe zwischen ca. 1.100 und 1.700 mg/l und Ablaufwerte in der Anfangsphase über 250 mg/l, anschließend unter 250 mg/l, wobei ein Großteil unter 100 mg/l liegt. [Benediktbeuern, 2009]

Eine Membrananlage ist in der Regel bei ordnungsgemäßer Auslegung und entsprechendem Betrieb in der Lage, sowohl eine Nitrifikation als auch eine Denitrifikation zu erreichen.

Weiterhin ist zu sehen, dass lediglich gelöster Phosphor abgegeben wird. Dies kann zum einen heißen, dass kein partikulärer Phosphor vorliegt (eher unwahrscheinlich), oder der partikuläre Phosphor in der Anlage zurückgehalten wird und nur der gelöste mit dem Überlauf die Kläranlage verlässt. Der Phosphoraustrag ist sehr eng mit dem jeweiligen Zeitpunkt der Probenahme in Verbindung mit dem gerade laufenden Arbeitszyklus der Anlage zu sehen, somit lassen sich die Ablaufwerte nur bedingt miteinander vergleichen.

Durch Stickstoff und Phosphor werden Nährstoffe in die nächste Umgebung der Hütte ausgetragen. Da es sich bei Hütten in extremen Lagen häufig auch um ökologisch sensible Gebiete handelt sollte bei einer Dimensionierung auf eine Nitrifikation geachtet werden, vor allem wenn die Anlage im Gebäudekomplex selbst in einem temperierten Raum untergebracht ist.

Weiterhin auffallend sind die erhöhten Konzentrationen an koloniebildenden Einheiten und Coliformen Keimen. Diese sollten selbst bei einer Ultrafiltration weitgehend zurückgehalten werden. Hier sollte untersucht werden, welche Ursachen dies haben kann.

Um eine Einschätzung der Keimbelastung des Ablaufes zu geben werden hier die Qualitätskriterien nach EU-Badegewässerrichtlinie angeführt. Die Badegewässerrichtlinie (EU Richtlinie 2006/7/EG) zeigt folgende Abstufungen:

Tabelle 4: Keimbelastung im Vergleich zur Badegewässerrichtlinie

Mikrobiologischer Parameter		Ausgezeichnete Qualität (95% Perzentil)	Gute Qualität (95% Perzentil)	Ablauf Olpererhütte 2008	Ablauf Olpererhütte 2009
e-Coli	KBE/100 ml	500	1000	2	15
Intestinale Enterokokken	KBE/100 ml	200	400	7	1

Nach obigem Vergleich entspricht der Ablauf hinsichtlich der genannten Parameter der Badegewässerrichtlinie der EU. In der Badegewässerrichtlinie sind die Parameter Coliforme Keime und gesamtkoloniebildende Einheiten nicht enthalten. Aus folgender Tabelle sind Literaturwerte mit denen der Olpererhütte verglichen:

Tabelle 5: Vergleich Gesamtkoloniebildende Einheiten, coliforme Keime

Literaturstelle	Anlage	Gesamt KBE/ ml	coliforme Keime KBE/100 ml
[Weber]	Mikrofiltration Rohrmodul	9	
[Röhricht]	Ultrafiltration Plattenmodul	< 1.000	< 100
[Janke]	Ultrafiltration Hohlfaser		< 50
[Huber 2009]	Ultrafiltration Plattenmembran	< 50	< 10
Olpererhütte	Mikrofiltration Plattenmembran	> 1.000 (2008) > 1.000 (2009)	760 (2008) 125 (2009)

Betrachtet man die im Internet veröffentlichten Angaben der Fa. Huber und die angestrebten Werte dort, so kann festgestellt werden, dass der Ablauf Olpererhütte diese Werte nicht einhält, auch bei Berücksichtigung des höher konzentrierten Abwassers. Im Jahr 2009 wurde eine geringere Anzahl coliformer Keime im Ablauf gefunden. Es ist anzumerken, dass dies jeweils eine qualifizierte Stichprobe war, die verfahrenstechnisch bedingt einer Tagesmischprobe entspricht. Hier sollte geprüft werden, aus welchem Grund die Ultrafiltrationsmembran keine besseren hygienischen Werte erbrachte.

Werden die Werte vom Jahr 2009 betrachtet, so fällt auf, dass die N_{ges} Konzentration nahezu gleich geblieben ist im Vergleich zum Vorjahr. Es wird davon ausgegangen, dass somit an den beiden Untersuchungstagen eine ähnliche Belastung der Kläranlage zugeflossen sein dürfte.

Weiterhin ist zu sehen, dass die CSB Werte im Ablauf um ca. 50% gefallen sind. Dies kann auf die Entlastung der biologischen Stufe der Anlage durch die Siebanlage zurückgeführt werden.

Die großen Differenzen im Phosphor können aus diesen beiden Stichproben nicht plausibel erklärt werden.

5.3 Weitere gebaute Beispiele im Alpenraum

Im Folgenden werden weitere Anlagen im Gebirge beschrieben, die bei der Literaturrecherche gefunden wurden. Es werden lediglich die Daten aus der Literatur wiedergegeben. Ein eigener Besuch dieser Objekte durch die Unterzeichnenden hat nicht stattgefunden.

5.3.1 Bergstation Hohtälli [eawag], [M.Böhler u.a.], [Baumgartner, H. 2008]

5.3.1.1 Beschreibung der Situation

Die Bergstation Hohtälli liegt im Skigebiet von Zermatt auf einer Höhe von 3286 müNN. Hier wird eine Toilettenstation für die Passagiere der Seilbahn im Winter betrieben. Im Sommer wird die Toilette lediglich von Betriebspersonal genutzt. Die Aufgabenstellung hier war einen Ersatz für die bestehende Trockentoilettenanlage zu finden. Gründe für den Ersatz waren hygienische Aspekte und der gestiegene Komfortanspruch der Touristen im Skigebiet Zermatt.

Es wurde entschieden, eine Spültoilette zu installieren, mit einer nachfolgenden biologischen Reinigung. Das gereinigte Abwasser sollte wieder verwendet werden, da auf dieser Höhe im Winter kein fließendes Wasser zur Verfügung steht. Weiterhin sollte die Belastung durch Ableitung in das Gelände so weit wie möglich vermieden werden.

Eliminationsanforderungen

Zusätzlich zum Kohlenstoffabbau sollten aus dem Abwasser die Nährstoffe möglichst zu 100% entfernt werden, eine Aufsalzung vermieden und ein hygienisch einwandfreies Brauchwasser zur Wiederverwertung erzeugt werden.

Es wurde erwartet, dass das der Anlage zulaufende Abwasser nicht der Zusammensetzung von häuslichem Abwasser entspricht, sondern mit einem hochkonzentrierten Abwasser und vor allem, erhöhten Stickstoffwerten zu rechnen ist.

Zur Aufbereitung des Abwassers wurde eine Membranbelebungsanlage im Jahr 2004/2005 geplant und gebaut. Die Anlage zeigte im ersten Betriebsjahr erhebliche Mängel bezüglich Qualität des gereinigten Toilettenabwassers (vor allem hoher Nährstoffgehalt im Ablauf, Gelbfärbung des gereinigten Abwassers, erhebliche verfahrenstechnische Probleme). Im folgenden Betriebsjahr 2005/2006 wurde die Anlage intensiv durch die eawag über 10 Monate vor Ort betreut.

Durch geänderte Betriebsführung (z.B. Erhöhung des Rücklaufschlammverhältnisses, angepasste Belüftungs- und Ruhephasen im Belebungsbecken) konnte eine vollständige

Nitrifikation und Denitrifikation erreicht werden. Ebenfalls durch geeignete Betriebsführung konnte eine 65%ige Phosphorelimination erreicht werden.

Die Aufsatzung des Recyklates wurde wie erwartet beobachtet. Um dieser Aufsatzung entgegen zu wirken sollte in der folgenden Saison Frischwasser über die Handwaschbecken zugeführt werden.

5.3.1.2 Membranmodule

Die eingesetzten Membranen (pro Membranblock 6 m², insg. 3 Blöcke, Porengröße 35 nm) besaßen im neuwertigen Zustand eine Permeabilität von 450 l/m²*h*bar. Die Module haben während ihrer Betriebszeit an Permeabilität verloren. Nach der ersten Betriebssaison unter schlechten Bedingungen wurde in der 2. Saison mit einer Permeabilität von 50 - 70 l/m²*h*bar begonnen. Allein durch mechanische und chemische Reinigung während des Betriebes konnte keine ausreichende Permeabilität hergestellt werden, sodass die Module gegen neue bzw. vom Werk aufgearbeitete Module ersetzt wurden.

Es wird für diese Anlage empfohlen, einen Flux von 8 l/min einzustellen, um die aerobe Kontaktzeiten des Abwassers für eine vollständige Nitrifikation zu optimieren. Ein Flux von 5 l/min sollte nicht unterschritten werden.

Die Permeabilität hängt bis zu einem gewissen Grad von der im Reaktor befindlichen Feststoffkonzentration ab. Um eine ausreichende Permeabilität zu erhalten wird eine Feststoffkonzentration von 8 - 10 g/l angestrebt.

5.3.1.3 Energieverbrauch

In der ersten Phase wurden pro m³ Abwasser 11,5 kWh zur Reinigung benötigt. Hierbei ist der erforderliche Aufwand für die Denitrifikation (Pumpenleistung) und die UV-Entkeimungsanlage mit berücksichtigt. Da das gereinigte Abwasser lediglich für die Toilettenspülung verwendet werden soll, kann auf die UV-Anlage verzichtet werden. So kann der Energiebedarf auf 8,1 kWh/m³ Abwasser für diese Anlage reduziert werden.

5.3.1.4 Betriebskosten

Für die Betriebsmittel wurden in den Veröffentlichungen keine Kosten angegeben. Lediglich Lohnkosten für die Betreuung und Wartung durch Personal der Seilbahngesellschaft der Anlage von 2.800 €/a werden angegeben.

5.3.2 Weitere gebaute Membranbelebungsanlagen im alpinen Bereich

Zur Vollständigkeit sollen hier weitere bekannte Projekte mit Abwasserreinigungsanlagen in Form einer Membranbelebungsanlage aufgeführt werden. Die Auflistung hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Säntis [Säntis 2005]

Die Bergstation der Seilbahn auf dem Säntis wurde im Jahr 2000 mit einer Membrankläranlage ertüchtigt. An die Abwasseranlage sind alle Gebäude auf dem Säntis angeschlossen. Das

Küchenabwasser des gastronomischen Betriebs verfügt über einen Fettabscheider. Die Feststoffe werden mit einem Feinabscheider aus dem Abwasser entfernt. Anschließend gelangt das vorgereinigte Abwasser in einen Zwischenbehälter aus dem dann die biologische Stufe beschickt wird. Die Anlage ist auf Nitrifikation und Denitrifikation ausgelegt. Der Überschussschlamm wird regelmäßig abgezogen und in einen Schlammstapelbehälter gefördert. Das Permeat wird ebenfalls zwischengespeichert und vor der Abgabe in das Gelände zur Entkeimung gechlort.

Der Überschussschlamm wird gepresst in Säcke abgefüllt und abtransportiert, auf dem gleichen Weg wird das abgezogene Fett aus dem Abscheider entsorgt.

Schwägalp [TerraLink 2005]

Die Kläranlage der Talstation der Säntisbahn reinigt das Abwasser des Berghotels Schwägalp, einer Schaukäserei und einer weiteren Pension. Insgesamt hat die Anlage einen Anschlusswert von 780 EW (60).

Anhand einer Intensivmessung wurde der Zufluss zur Kläranlage untersucht. Dies stellt eine optimale Vorbereitung für eine angepasste Dimensionierung dar. Im Jahr 2002 wurde die vorhandene Anlage dann umgebaut. Der Trockenwetterzufluss beträgt 100 m³/d, bei einem Spitzenzufluss von 6,5 m³/h.

Neue Monte-Rosa-Hütte

Die Neue Monte Rosa Hütte des SAC wurde ebenfalls mit einer Membranbelebungsanlage (Mikrofiltration) ausgerüstet. Die Anforderungen sind ähnlich denen der Bergstation Hohtäli, d.h. es soll eine Nitrifikation inkl. Denitrifikation erfolgen um das Toilettenwasser aus Brauchwasser zur Verfügung zu stellen. Das restliche benötigte Trinkwasser wird aus einer Zisterne gefördert. Der Bau der Hütte ist im September 2009 fertig gestellt worden. Der offizielle Betriebsbeginn ist die Sommersaison 2010.

6 Bewertung des Einsatzes von Membrananlagen zur Abwasserreinigung auf Hütten

Die Recherche hat gezeigt, dass in den letzten Jahren viele Membranbelebungsanlagen im Bereich der Kleinkläranlagen und mehrere Großkläranlagen in Betrieb genommen worden sind und hier Erfahrungen gesammelt wurden. Auch wurden Membrananlagen oft in Gebieten mit Wasserknappheit oder bei hohen Anforderungen an den Ablauf eingesetzt. Hier sind vor allem Anlagen in Trinkwassereinzugsgebieten, bei empfindlichen aufnehmenden Gewässern (Vorflutern) oder auf Schiffen zu nennen.

Es wurden auch Erfahrungen mit weitergehender Abwasserreinigung (Stickstoff und Phosphorelimination) gemacht.

Alle diese Erfahrungen und Erkenntnisse helfen beim Einsatz von Membrankläranlagen im Gebirge.

Einige Beispiele haben gezeigt, dass eine Abwasserreinigung mittels Membranbelebungsanlage in Höhenlagen gute Reinigungsleistungen erzielen wenn die Anlage auf die vorhandene Randbedingungen angepasst worden sind (Säntis, Schwägalp [ETH 2004]).

Das Abwasser von Hütten im alpinen Bereich kann nicht mit dem konventionellen kommunalen Abwasser verglichen werden. Die im Abwasser befindlichen Schadstoffe sind zwar ähnlich, aber die Konzentration und Zusammensetzung ist mit kommunalem Abwasser nicht zu vergleichen. Deshalb ist es schwer bis nicht machbar, vorgefertigte Standardanlagen im Hüttenbereich einzusetzen. Es muss immer eine ortsspezifische Auslegung erfolgen und es müssen die für Kläranlagen im Gebirge spezifischen Erfahrungen berücksichtigt werden.

Gerade bei Hütten im alpinen Bereich ist die Voruntersuchung der Randbedingungen der entscheidende Schritt um eine möglichst genaue und angepasste Dimensionierung durchführen zu können. Nach der Erfassung der Randbedingungen wie u.a. Größe der Hütte, Frequentierung von Tages- und Übernachtungsgästen, Höhenlage, Betriebszeiten, Kosten und geforderten Ablaufqualitäten muss betrachtet werden, welches Klärverfahren am ehesten für diese Randbedingungen geeignet ist.

Grundsätzlich sollte der Betrieb einer Abwasseranlage möglichst wenig zeitaufwändig und einfach zu erledigen sein. Bei Membranbelebungsanlagen heißt das, dass eine Reinigung der Membran vor Ort nicht sinnvoll ist, da die Lagerung von Chemikalien notwendig wäre, das Personal gesondert geschult werden muss und die Zeit dafür aufgewandt werden muss.

Ein Ausgleichsbehälter vor der Membrananlage ist zwingend notwendig und muss für die zu erwartenden hydraulischen Stöße ausreichend dimensioniert sein.

In Gebieten mit Wasserknappheit oder bei Ableitung in Richtung eines Trinkwassereinzugsgebietes kann die Wahl einer Membranbelebungsanlage als beste Lösung erscheinen. Es muss aber beachtet werden, dass diese Anlagen höhere Investitions- und Betriebskosten hervorrufen können, die permanente Stromversorgung gesichert sein und zuverlässiges Personal vorhanden sein muss.

Bei Hütten im alpinen Bereich, die als Inselbetrieb mit eigener Stromerzeugung betrieben werden, muss bei der Planung einer Kläranlage immer mit berücksichtigt werden, dass die vorhandene Energieversorgung durch den Anschluss der Anlage gegebenenfalls angepasst und/oder verändert werden muss. Da die Membrananlage ein Drittel des Stromverbrauchs einer Hütte ausmachen kann, ist ein Abwasserkonzept mit einer Membrananlage nicht von einem parallelen Energiekonzept zu trennen.

Weiterhin hat sich gezeigt, dass die errichteten Anlagen derzeit einer intensiven Betreuung in den ersten Betriebssaisonen bedürfen, bis sie optimal eingestellt sind. Die Anlagen können nur im laufenden Betrieb an die zufließenden Abwasserbedingungen angepasst werden um eine ausreichende Reinigungsleistung zu erzielen und um die spezifische Abwasserbeschaffenheit ausreichend zu berücksichtigen.

Fazit:

Die Erfahrungen aus der Installation einer Membranbelebungsanlage auf der Olpererhütte haben gezeigt, dass

- die geodätische Höhe dort, wo es möglich ist, ausgenutzt werden soll, um nicht unnötig Energie zu verbrauchen
- die Option auf spätere Erweiterbarkeit/Rückbaubarkeit schon in der Planungsphase mit einbezogen werden muss
- bei Installation in Gebäuden eine Umgebung geschaffen werden soll, die leicht zu reinigen ist (leicht zu reinigende Wände und Böden, ausreichendes Gefälle im Boden zum Ablauf, Bodenabläufe o.ä.)
- auf eingesetzte Materialien geachtet werden muss (Verrottung, Verrosten muss vermieden werden, Rohre sollten leicht verarbeitbar sein und eine hohe Kerbschlagfestigkeit auch bei niederen Temperaturen haben)
- ein geordneter Überlauf vorhanden sein muss
- die Probenahmestellen an der Anlage gut zugänglich und sinnvoll angeordnet sein müssen (Belebungsstufe, Ablauf u.ä.)
- alle Mess- und Schalteinrichtungen gut zugänglich sein müssen und
- ein Entleeren der Becken (z.B. für Wartungszwecke) möglich sein muss.
- die gewählten Baumaterialien auch unter den feuchten Bedingungen im Gebirge lange beständig sein müssen
- sinnvoll erscheint es auch, die im DAV bereits seit vielen Jahren angesammelte Erfahrung mit der Abwasserreinigung im Gebirge mit einzubringen.

Die nächsten Jahre werden zeigen, wie sich die Membranbelebungsanlagen z.B. der Olpererhütte und der neuen Monte-Rosa-Hütte im Betrieb bewähren. Generell wird davon ausgegangen, dass Membranbelebungsanlagen auf Hütten im alpinen Bereich sinnvoll eingesetzt werden können. Gerade bei oft geringem Platzangebot und/oder hoher Anforderungen an die hygienische Ablaufqualität z.B. in Quellgebieten oder bei erforderlichem vollautomatischem Betrieb wird die Membranbelebungsanlage eine sinnvolle Lösung zur Abwasserreinigung sein, wenn ausreichend Energie zur Verfügung steht. .

Bild 11: Blick über den Schlegeisstausee



7 Literatur

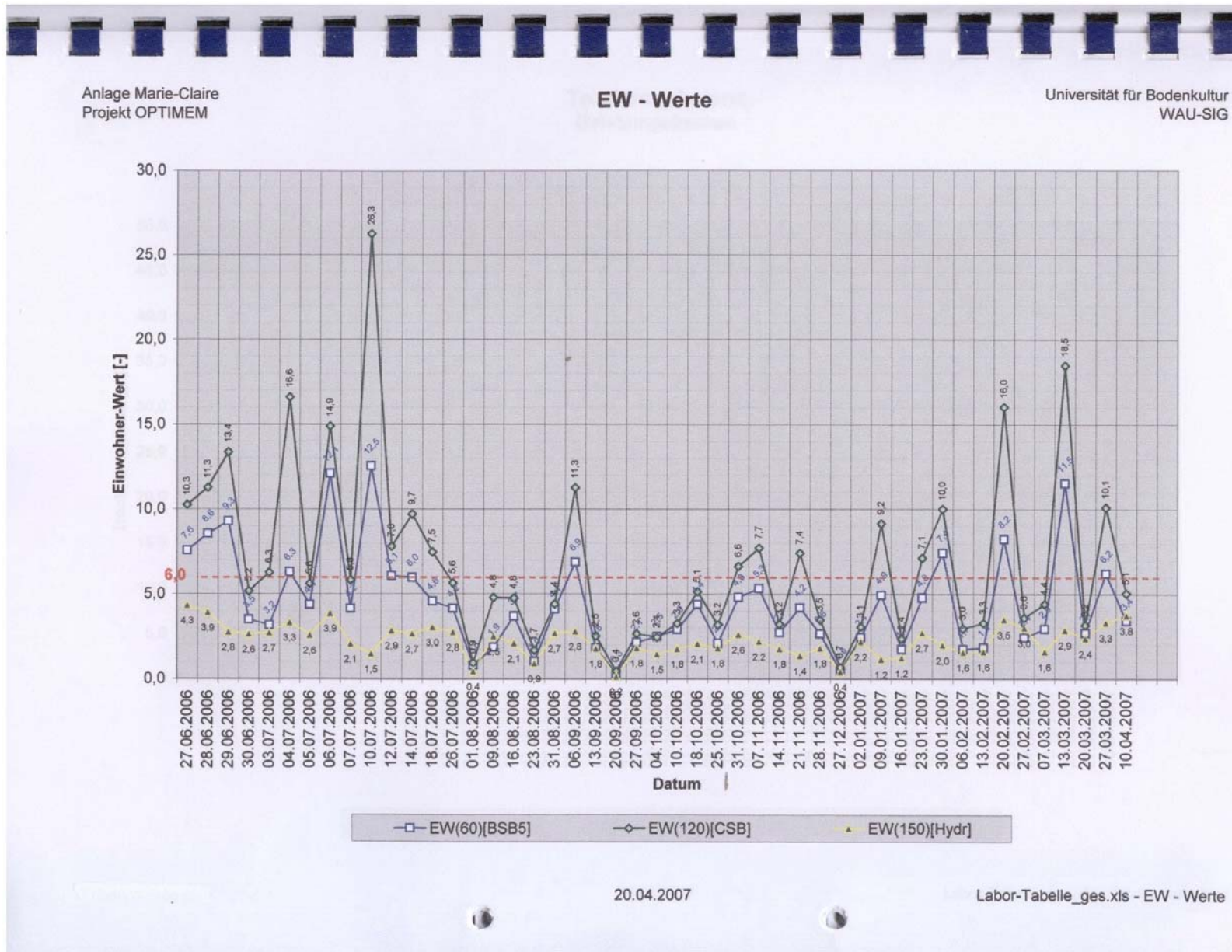
[Alt, K. Wedi, D. 2007]	Alt, K. Wedi, D. Bemessung, Konstruktion und Ausschreibung kommunaler Membranbelebungsanlagen, Skript zu Membrantage Aachen 23.06.2007	1
[ATV-DVWK A 131, 2000]	Fachausschuss KA 5 und KA 6: Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen, Mai 2000	2
[ATV-DVWK A 118, 1999]	Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen, November 1999	3
[Auth, S. 2007]	Auth, S: Was kostet eine Kleinkläranlage? Ergebnisse einer Herstellerbefragung, Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2007	4
[Benediktbeuern 2008]	Tagungsband 8. Internationales Fachseminar "Umweltgerechte Konzepte für Berg- und Schutzhütten" 29.02. - 01.03.2008	5
[Benediktbeuern 2009]	Tagungsband 9. Internationales Fachseminar "Umweltgerechte Konzepte für Berg- und Schutzhütten" 27.02. - 28.02.2009	6
[Böhler M. u.a. 2007]	Böhler M. u.a.: Treatment of toilet wastewater for reuse in a membrane bioreactor; Water Science & Technology Vol 56 No 5, 2007	7
[Dorgeloh, u.a 2007]	Dorgeloh, Dr.-Ing. E., Dipl.-Ing. A. Kaiser: Overview of domestic MBR Plants for decentralised wastewater treatment in Germany, Präsentation Technical Workshop: Performances and economics of membrane-based concepts of decentralised wastewater treatment, 06.06.2007, Berlin	8
[DWA 2005]	DWA-Fachausschuss KA-7, Membranbelebungsverfahren, 2. Arbeitsbericht Fassung vom 19.01.2005	9
[DWA A 222, 2009]	Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von kleinen Kläranlagen mit aerober biologischer Reinigungsstufe bis 1.000 Einwohnerwerte, Gelbdruck 2009	10
[DWA A-226 2009]	Grundsätze für die Abwasserbehandlung in Kläranlagen in Belebungsanlagen mit aerober Schlammstabilisierung bei Anschlusswerten ab 1.000 Einwohnerwerten, Dezember 2009	11
[eawag 2006]	Bützer, S. u.a. Dezentrale Reinigung und Wiederverwendung von Toilettenabwasser im alpinen Raum, Schlussbericht, eawag, aquatic research, 2006	12
[envicare Engineering 2008]	Kommunale Membran-Kläranlage St. Peter ob Judenburg, Graz 22.07.2008	13
[ETH 2004]	Abegglen, Ch., Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Übersicht Abwasserentsorgungssysteme in SAC-Hütten, Oktober 2004	14
[Baumgartner H. 2008]	Baumgartner H. Wasseraufbereitung, Kein Durchkommen für pathogenen Keime, in Umwelt 1/08, Dossier Umwelttechnologieförderung	15
[Frechen , 2008]	Frechen, F.B, Dr. Ing. Univ. Prof. Das Membranbelebungsverfahren in der kommunalen Abwasserreinigung, Vortrag im Rahmen der 5. Membrantage DWA-DVWK Kassel, 17.-19.06.2008	16
[Freund, M. 2009]	Persönliche Mitteilungen vom 23.11.2009	17
[Fürhacker u.a. 2008]	Fürhacker M., Cordt G., Forunier P. Kleinkläranlagen mit Membranbelebungsverfahren FFG-Bericht Prj Nr. 810208, 2008	18
[Hasselbach, R. 2007]	Hasselbach, R. Kläranlage Ihn - Membranbiologie mit belüftetem Vorteich (Lagoon Memb) - Konzeption und erste Betriebserfahrungen, Vortrag 12.12.2007	19
[Hasselbach, R. 2008]	Hasselbach, R. Membrantechnik, Grundlagen, Konzepte, Anforderungen an die Vorreinigung, Betriebserfahrungen des EVS mit Hohlfaserpolymermembranen, Vortrag 13.09.08	20

	Vortrag 13.09.08	
[Huber]	Dezentrales Abwasserkonzept auf höchstem Niveau, Internetpräsentation der Fa. Hans Huber AG	21
[Janke u.a. 2005]	Janke u.a. Betriebserfahrungen mit Hohlfaser-Polymermembranen zur Biomasse-Rückhaltung in kommunalen Belebungsanlagen, in Abwasserforum 2005 des EVS, Otzenhausen, 02.11.2005	22
[Joss, Dr. A. u.a. 2004]	Joss, Dr. A. u.a Betriebliche Details von Membran Belebungsanlagen, Module für die kommunale Abwasserreinigung in VSA Verband Schweizerischer Abfallfachleute, Fortbildungskurs 2004,	23
[Lesjean, B. 2007]	Lesjean, B. Design parameters and construction of the ENREM demonstration plant, Workshop "Performance and economics of membrane-based concepts for decentralised wastewater treatment", Berlin 06.06.2007	24
[Lesjean, B., IWA 2004]	Lesjean, B., Membrane Technologies for Wastewater Treatment and Reuse, 4-6. June, Berlin 2007, in Kompetenzzentrum Wasser Berlin Publications Series, 1.2004 ff., Volume 7	25
[Lesjean, B. u.a. 2005]	Lesjean, B Membrane bioreactor for semicentral sanitation with enhanced treatment performance, Platform Paper, 6th International Conference and Exhibition "Wastewater 2005", 10.-12- May 2005, Teplice, Czech. Rep.	26
[Lüdicke, C. u.a. 1 2009]	Lüdicke, C u.a. Forschungsprojekt ENREM, Kleinkläranlagen mit Membrantechnik in wwt 9/2009	27
[Lüdicke, C. u.a. 2 2009]	Lüdicke, C. u.a Operational Experience of MBR Demonstration Plant with Post Denitrification in Berlin-Margarethenhöhe (ENREM-PROJECT), in Final MBR-Network Workshop "Salient outcomes of the European R&D projects on MBR technology", Book of Proceedings 31.03.-01.04.2009, Berlin	28
[Meuler S.]	Meuler S. Dezentrale Abwasserreinigung auf der Olperer Hütte, Homepage Fa. Huber	29
[OEWA V RB1, 2000]	OEWA V-Regelblatt 1, 3. vollständig überarbeitete Auflage, 2000	30
[OENORM 12566-3, 2009]	OENORM 12566-3 Kleinkläranlagen für bis zu 50 EW, Teil 3: Vorgefertigte und/oder vor Ort montierte Anlagen zur Behandlung von häuslichem Schmutzwasser, September 2009	31
[OENORM 12566-4]	OENORM 12566-4 Kleinkläranlagen für bis zu 50 Einwohnerwerte - Teil 4: Bausätze für vor Ort einzubauende Faulgruben (N-E)	32
[OENORM B 2502-1]	OENORM B 2502-1 Kleinkläranlagen (Hauskläranlagen) für Anlagen bis 40 Einwohnerwerte - Anwendung, Ausführung, Bau und Betrieb	33
[OENORM B 2502-2]	OENORM B 2502-2 Kläranlagen - Kleine Kläranlagen für 51 bis 500 Einwohnerwerte - Anwendung, Bemessung, Bau und Betrieb	34
[Pinnekamp, 2006]	Membrantechnik für die Abwasserreinigung Hrsg. Pinnekamp, Univ.Prof.Dr.-Ing. J., Friedrich, H. Dr. rer. nat. , FIW Verlag Aachen	35
[Pinnekamp,. 2007]	Univ.Prof.Dr.-Ing. J. Pinnekamp Abschlussbericht, Optimierung der Gestaltung und des Betriebs von Membrananlagen in der kommunalen Abwasserreinigung OBEMEKA, Aachen, April 2007	36
[TerraLink 2005]	Abwasserproblematik im ländlichen Raum, Firmenbroschüre	37
[Wagner, 2003]	Abwassertechnik und Gewässerschutz, C.F. Müller-Verlag, 2003	38
[Weber, J.]	Weber, J Semi-dezentrale Abwasserreinigung höchster Qualität in einer bestehenden Siedlung: Heidelberg - Neurott, Membrankläranlage Heidelberg - Neurott, Planung, Bau und Betrieb	39

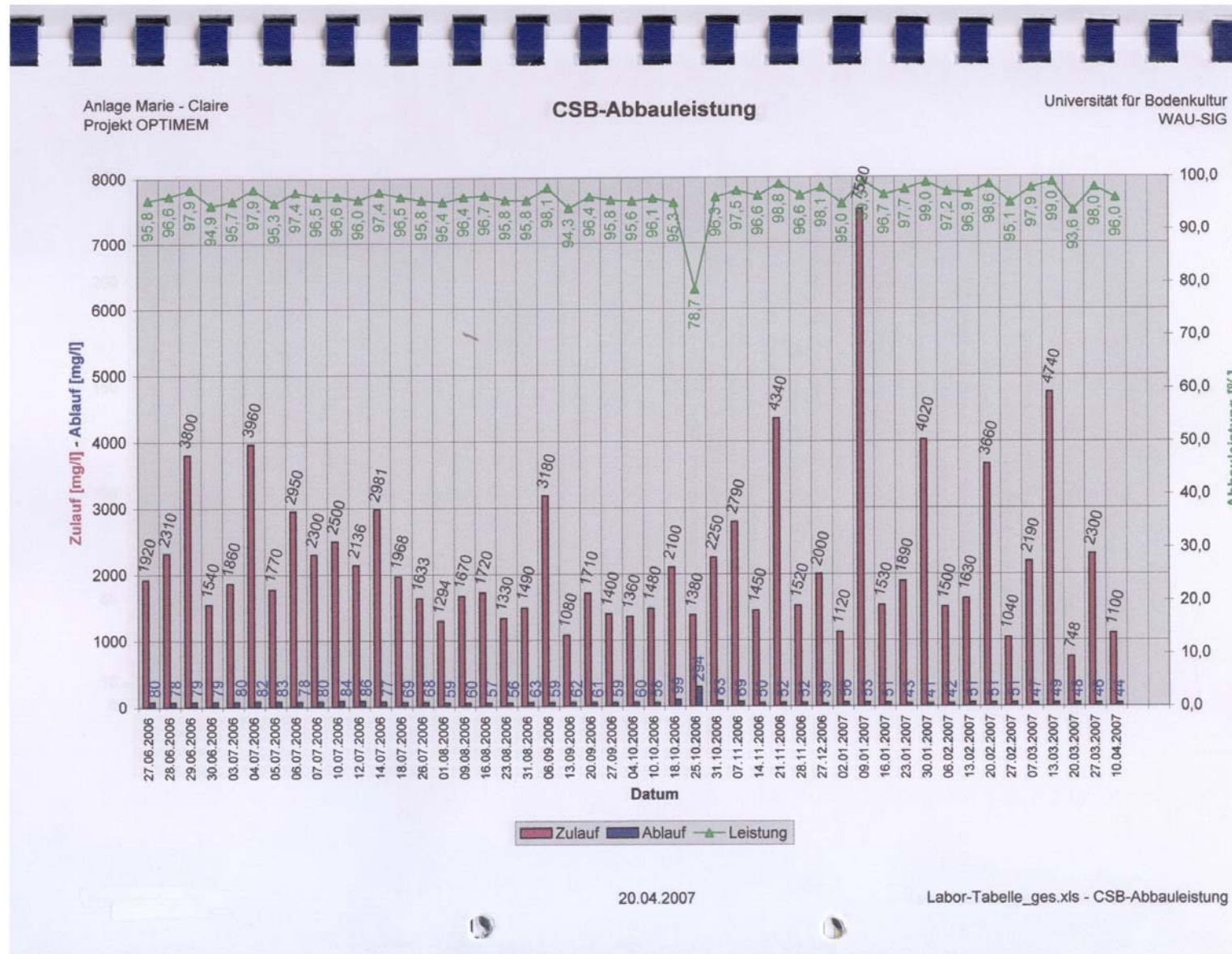
8 Anlage

Auswertungsgraphiken aus [Fürhacker u.a. 2008]

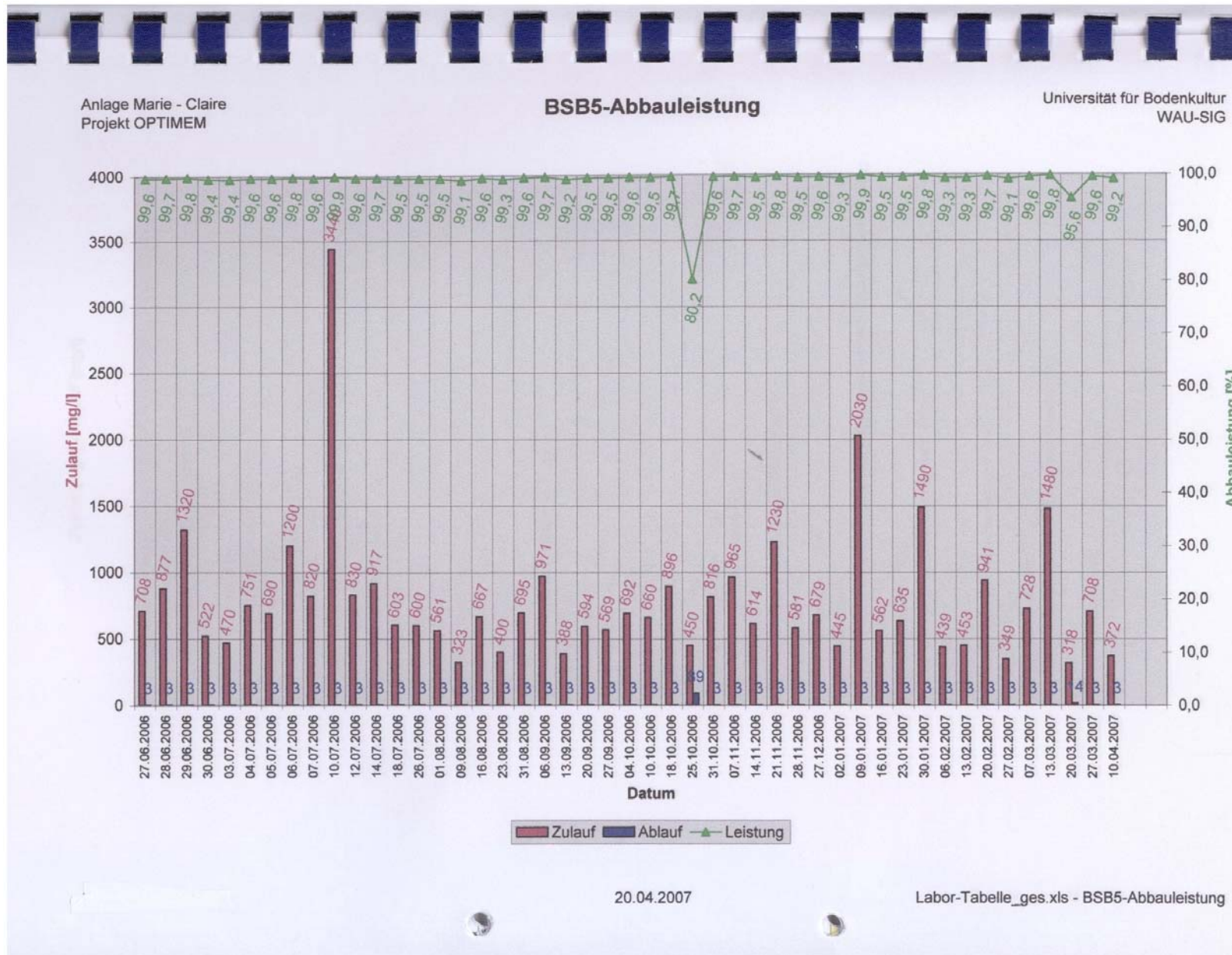
Einsetzbarkeit von Membrananlagen zur Abwasserreinigung im alpinen Bereich



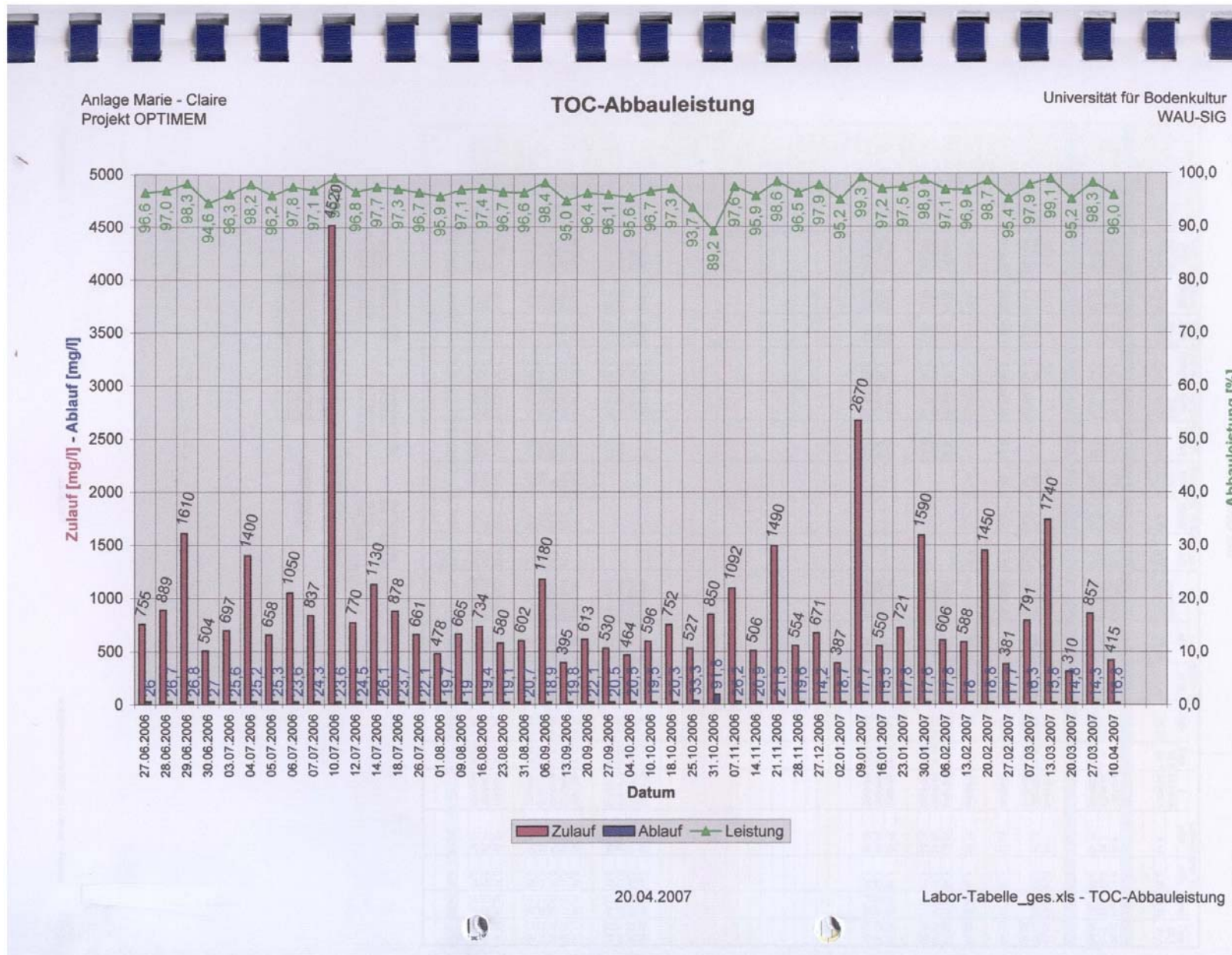
Einsetzbarkeit von Membrananlagen zur Abwasserreinigung im alpinen Bereich



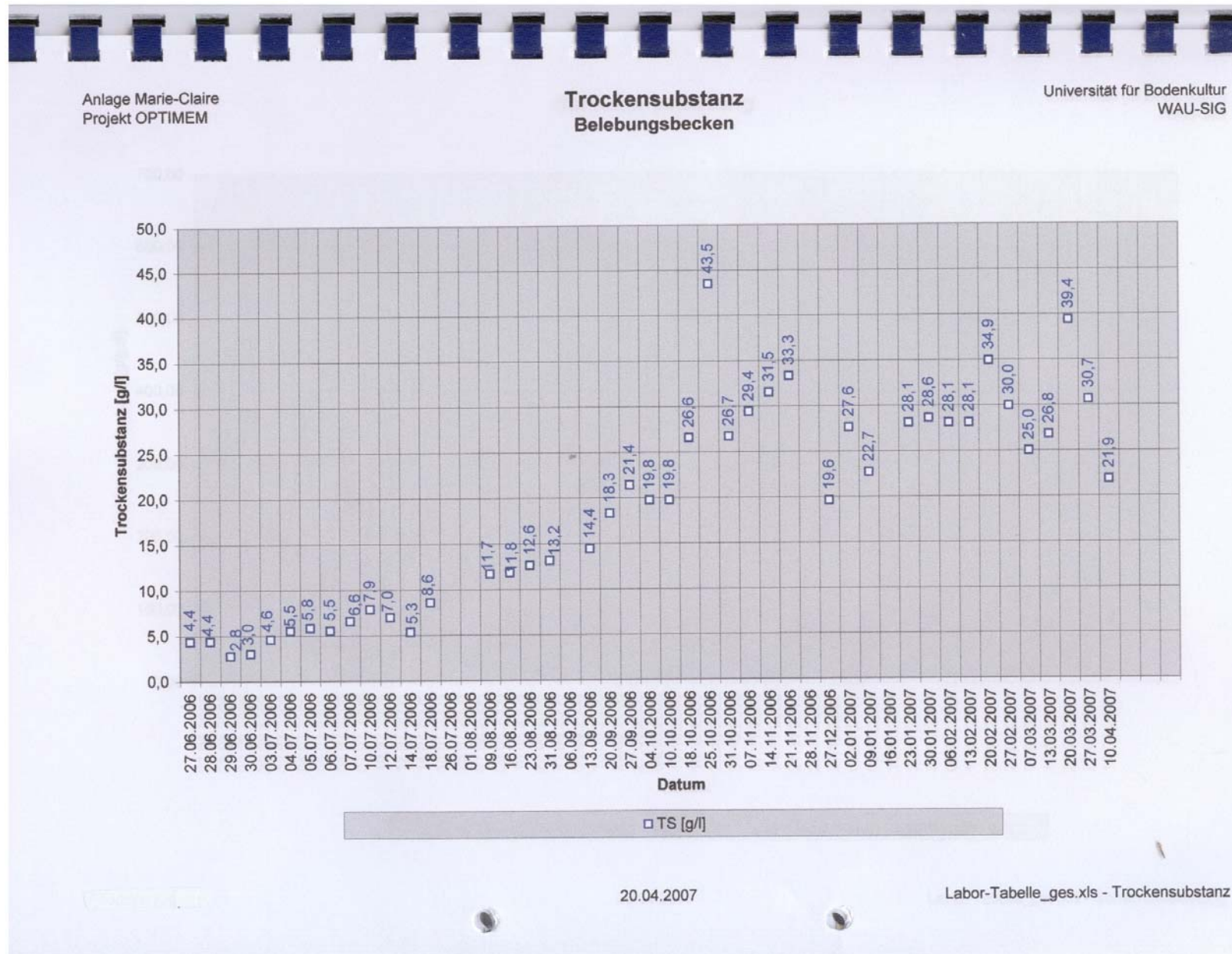
Einsetzbarkeit von Membrananlagen zur Abwasserreinigung im alpinen Bereich



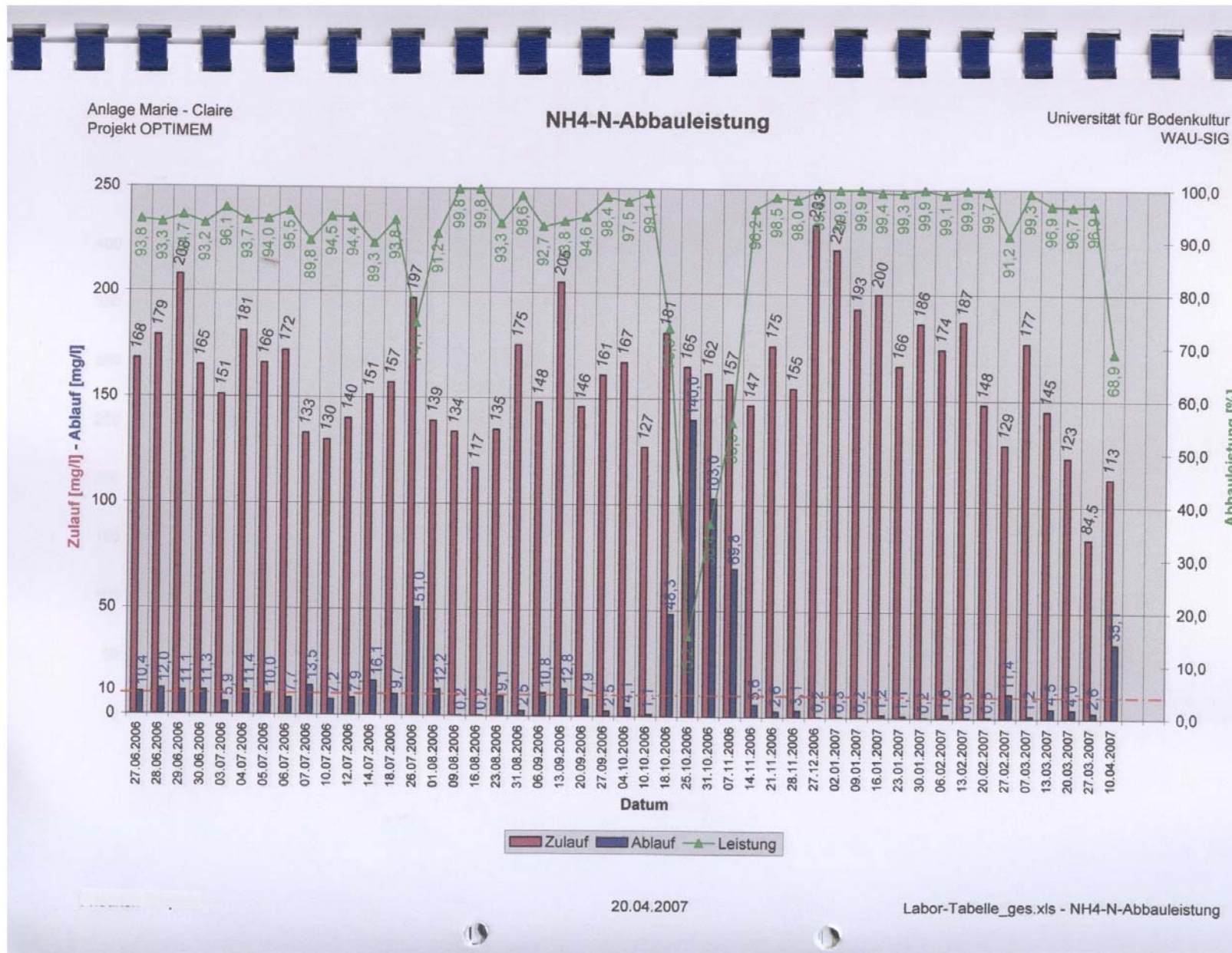
Einsetzbarkeit von Membrananlagen zur Abwasserreinigung im alpinen Bereich



Einsetzbarkeit von Membrananlagen zur Abwasserreinigung im alpinen Bereich



Einsetzbarkeit von Membrananlagen zur Abwasserreinigung im alpinen Bereich



Einsetzbarkeit von Membrananlagen zur Abwasserreinigung im alpinen Bereich

