

18662 / 03-23

SCHLUSSBERICHT

Klärschlammproblematik im Hochgebirge: Dritte Phase des Projektes Untersuchung und Optimierung der Verwertung bzw. der Beseitigung von Abfällen aus der Abwasserbehandlung im Bereich alpiner Hütten des Deutschen Alpenvereins



Dezember 2008

Das Forschungsvorhaben „Klärschlammproblematik im Hochgebirge: Dritte Phase des Projektes Untersuchung und Optimierung der Verwertung bzw. der Beseitigung von Abfällen aus der Abwasserbehandlung im Bereich alpiner Hütten des Deutschen Alpenvereins“ wurde mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert, wofür wir an dieser Stelle unseren Dank aussprechen.

Ebenfalls danken wir den DAV-Sektionen Berlin, Leutkirch, Mindelheim, Mainz, Mittenwald, Neumarkt, Nördlingen, Ostpreußen und Schwaben für die freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Praxisversuche. Herrn Ernst Pfeiffer danken wir für die Umsetzung der Infrastrukturarbeiten.

Besonderen Dank gilt allen mitwirkenden Autoren Wolfgang Becker, Thomas Cyris, Rudolf Ettl, Thorsten Junker, Michael Schön, Falk Schönherr, Peter Weber und Bernhard Wett. Herrn Falk Schönherr danken wir für die redaktionelle Zusammenführung der einzelnen Berichtsteile.

Universitätsprofessor Dr.-Ing. Frank Wolfgang Günthert
Universitätsprofessor Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolfgang Rauch

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Solar-Komposter (Klostertaler Umwelthütte)	3
2.1	Allgemeines	3
2.2	Einzelmessungen	3
2.2.1	Aufstellung und Erstbefüllung am 21.09.2006	3
2.2.2	Begehung am 19.10.2006	5
2.2.3	Begehung, Umschöpfen am 16.03.2007	5
2.2.4	Begehung am 02.08.2007	5
2.2.5	Begehung am 03.10.2007	6
2.2.6	Begehung am 08.10.2008	8
2.3	Zusammenfassende Auswertung und Wasserbilanz	9
2.3.1	Berechnung von Masse, Kubaturen und Porenanteile	9
2.3.2	Wasserbilanz	12
2.4	Resümee	13
3	Trockentoilettenanlage Brunnsteinhütte	14
3.1	Allgemeines	14
3.2	Datenauswertung	15
3.2.1	Berechnung Masse, Kubatoren und Porenanteile	15
3.2.2	Wasserbilanz	16
4	Betriebsprobleme bei Trockentoiletten	19
4.1	Klostertaler Umwelthütte	19
4.1.1	Derzeitige Situation der Trockentoiletten-Anlage	19
4.1.2	Verbesserung der derzeitige Situation der Trockentoiletten-Anlage	19
4.1.3	Kompostierung der Fäkalschlämme	20
4.2	Brunnsteinhütte	21
4.2.1	Trockentoiletten-Anlage	21
4.2.2	Kompostierung der Fäkalschlämme	21
5	Solar-Komposter Kaunergrathütte	25
5.1	Allgemeines	25
5.2	Erstbegehung am 14.08.2007	27
5.3	Begehung am 15.09.2007	27
5.4	Begehung am 28.12.2007	28
5.5	Begehung am 18.06.2008	28
5.6	Begehung am 09.09.2008	31
5.7	Bemerkungen zur Aufstellung der Geräte	32
5.8	Resümee	33
6	Filtersackanlage für Reststoffe aus einer nassen Vorreinigung (Ostpreußenhütte)	36

6.1	Lage und örtliche Verhältnisse der Ostpreußenhütte	36
6.1.1	Ausstattung der Hütte	37
6.1.2	Wärme- und Energieversorgung	37
6.1.3	Trinkwasserversorgung	37
6.1.4	Abwassertechnische Anlage	38
6.2	Reststoffbehandlung	38
6.2.1	Aufbau der Filtersackanlage	38
6.2.2	Beschreibung der Verfahrenstechnik	40
6.2.3	Investitionskosten der Anlage	40
6.3	Probenahme und Analysenergebnisse	40
6.3.1	Vorarbeiten zur Befüllung	40
6.3.2	Beschickung der Filtersackanlage	41
6.4	Beurteilung der Reststoffbehandlung	43
6.4.1	Beurteilung der Analysen vom 31. Oktober 2007	43
6.4.2	Beurteilung der Analysen vom 10. Juni 2008	44
6.4.3	Bemessungsgrundlagen	44
6.5	Strategie für die Beschickung der Filtersackanlage	45
6.5.1	Optimierung der Verfahrenstechnik	45
6.5.2	Beschreibung der Beschickungsstrategie	46
6.5.3	Weitergehende Maßnahmen	46
6.6	Fazit	47
7	Pflanzenbeetanlage Stuttgarter Hütte	48
7.1	Lage und örtliche Verhältnisse der Stuttgarter Hütte	48
7.1.1	Baugrundverhältnisse	48
7.1.2	Niederschläge	48
7.1.3	Ausstattung der Hütte	48
7.1.4	Abwassertechnische Anlage	49
7.2	Verfahrenstechnik von Pflanzenbeetanlagen mit Grasbepflanzung zur Be- handlung fließfähiger Schlämme	50
7.2.1	Allgemeine Beschreibung der Verfahrenstechnik	50
7.2.2	Verfahrensmodifikationen für den Einsatz im Hochgebirge	51
7.2.3	Bemessung der Pflanzenbeetanlage	52
7.2.4	Bauausführung	53
7.3	Erkenntnisse aus Phase 2 und Zielsetzung für die Untersuchungen in Phase 3	53
7.4	Untersuchungen und Ergebnisse	54
7.4.1	Visuelle Beobachtungen bei der Ortsbegehung am 1.8.2007	55
7.4.2	Ergebnisse von Laboranalysen	56
7.4.3	Interpretation der Untersuchungsergebnisse	57
7.5	Ökonomische Bilanzierung	58
7.6	Empfehlungen für den Betrieb von Pflanzenbeetanlagen mit Grasbepflan- zung im Hochgebirge	59
8	Schlamm-Kompostier-System (Olperer Hütte)	60
8.1	Lage und örtliche Verhältnisse der Olperer Hütte	60
8.1.1	Ausstattung der Hütte	60
8.1.2	Hüttenneubau	60
8.1.3	Wärme- und Energieversorgung	60
8.1.4	Wasserversorgung	61

8.1.5	Abwassertechnische Anlage	61
8.1.6	Vorgaben des Wasserrechtsbescheides	64
8.2	Verfahrenstechnische Beschreibung des Schlamm-Kompostier-Systems (SKS)	64
8.2.1	Original Separatöraufbau	64
8.2.2	Funktionsweise Schlamm-Kompostier-System (SKS)	66
8.3	Zielsetzung und offene Fragen	67
8.3.1	Besonderheiten der Hochgebirgslage	67
8.3.2	Offene Fragen	68
8.3.3	Zielsetzung	69
8.4	Vorgehensweise für die erforderlichen Untersuchungen	69
8.4.1	Modifikationen des SKS	69
8.4.2	Probenahme	70
8.5	Ergebnisse der Untersuchungen	72
8.5.1	Analyseergebnisse zum Entwässerungsverhalten	72
8.5.2	Messungen der Partikelgrößenverteilung	73
8.5.3	Ergebnisse der chemisch-analytischen Untersuchungen	74
8.5.4	Ergebnisse ergänzender Vergleichsmessungen	75
8.6	Beurteilung der Reststoffbehandlung	79
8.6.1	Rottevorgang	79
8.6.2	Volumenreduktion und Entwässerbarkeit der Reststoffe	79
8.6.3	Rezirkulation von feinen Schwebstoffen / Partikelanalyse	80
8.6.4	Vergleichende Betrachtung der Filtermaterialien	82
8.6.5	Wirtschaftliche Betrachtung der Nachrotte	82
8.6.6	Erforderliche Behältergröße	84
8.6.7	Entleerung der Behälter	84
8.7	Empfehlungen zur Verbesserung der Reststoffbehandlung	85
9	Belange des Bodenschutzes	87
9.1	Bodenschutz	87
9.1.1	Bodenfunktionen	87
9.1.2	Regelungen des Bodenschutzes in Deutschland	88
9.1.3	Regelungen des Bodenschutzes in Österreich	89
9.2	Aspekte des Klärschlammaustrages	89
9.2.1	Rechtliche Regelungen	89
9.2.2	Klärschlamm als Dünger	90
9.2.3	Anwendung im Hochgebirge	91
9.3	Umweltschädigende Inhaltsstoffe	92
9.3.1	Hygienische Parameter	92
9.3.2	Organische Schadstoffe	93
9.3.3	Nährstoffe	93
9.3.4	Schwermetalle	94
9.4	Resümee	99
10	Empfehlungen zur Behandlung von Reststoffen im Hochgebirge	100
10.1	Verwertung und Entsorgung von Reststoffen aus Sicht der Behörden	100
10.2	Fachliche Begutachtung des Empfehlungsleitfadens	101
11	Zusammenfassung	103
11.1	Untersuchung und Bewertung von Technologien zur Reststoffbehandlung	103
11.1.1	Solar-Komposter	103

11.1.2	Trockentoiletten	105
11.1.3	Filtersackanlagen für Schlamm aus Mehrkammergruben	105
11.1.4	Pflanzenbeete mit Grasbepflanzung	106
11.1.5	Schlamm-Kompostier-System von <i>Rexatec</i>	106
11.2	Rahmenbedingungen alpiner Extremlagen	107
11.2.1	Bemessungsgrundlagen	107
11.2.2	Klimatische Bedingungen	108
11.2.3	Sensibilität des Umlandes	108
11.3	Empfehlungen und Anforderungen an Behandlungsverfahren	109
	Abbildungsverzeichnis	111
	Tabellenverzeichnis	114
	Literaturverzeichnis	116
A	Empfehlungen für die Reststoffentsorgung auf Berghütten	119
A.1	Veranlassung und Zielsetzung	119
A.2	Rechtliche Grundlagen	120
A.2.1	Deutschland	120
A.2.2	Österreich	120
A.3	Charakterisierung der Hütten	122
A.3.1	Hüttenkategorie	122
A.3.2	Höhenlage und Erreichbarkeit	122
A.3.3	Energieversorgung	124
A.4	Abwasserbehandlung und Reststoffanfall	124
A.4.1	Allgemeiner Überblick	124
A.4.2	Reinigungssysteme unterteilt nach Trockensubstanz	124
A.4.3	Stoffströme einer Berghütte	125
A.5	Reststoffbehandlung	126
A.5.1	Vergleich verschiedener Verfahren	126
A.5.2	Qualität und Quantität der anfallenden Reststoffe	130
A.5.3	Empfehlungen zur Verfahrensauswahl	134
A.5.4	Bemessungshilfen für einzelne Verfahren	136
A.6	Bemessungsbeispiele	141
A.6.1	Solar-Trockner und Solar-Komposter	141
A.6.2	Überdachte Trockenbeete	142
A.6.3	Pflanzenbeetanlagen mit Grasbepflanzung	142
A.6.4	Filtersackanlage zur Behandlung von Reststoffen aus einer Mehrkammergrube	143
A.7	Vorgehen zur Auswahl eines Behandlungsverfahrens	143
B	Projektarbeit	145
B.1	Projektpartner	145
B.1.1	Deutscher Alpenverein e.V. (DAV)	145
B.1.2	Universität der Bundeswehr München	145
B.1.3	Universität Innsbruck	146
B.1.4	Grammer Solar GmbH	146
B.2	Publikationen	146
B.3	Diplom- und Seminararbeiten	147

1 Einleitung

Die Alpen sind Europas bedeutendster Gebirgszug und zugleich eines seiner wichtigsten Urlaubs- und Erholungsgebiete. Seit über 100 Jahren bemühen sich die alpinen Vereine Wanderern Berghütten als Stützpunkte für Gebirgstouren zur Verfügung zu stellen. Durch die zunehmenden Besucherzahlen (von 1938 bis 1988 stieg die Zahl der jährlichen Übernachtungen in den Alpen von 50 auf 350 Millionen an) wurde die Versorgung der Hütten mit hygienisch einwandfreiem Trinkwasser, Gebrauchsgütern und Energie immer schwieriger und verursachte damit einhergehend auch Probleme im Bereich der Abfallentsorgung und der Abwasserreinigung. Der Erhalt und der Schutz der Gebirgsregionen wurden in den letzten Jahrzehnten zum zentralen Arbeitsschwerpunkt der Alpenvereine. Viele Berghütten sind mit einer wirkungsvollen Abwasserreinigungsanlage ausgerüstet worden.

Als Nebenprodukt der Abwassereinigung fällt eine gewisse Menge Reststoffe als Klärschlamm, Filtersackgut, Siebrückstand oder Trockentoilettenkompost in unterschiedlicher Qualität und Konsistenz an. Diese Reststoffe wurden bislang meist im Hüttenumfeld ausgebracht. Dies birgt allerdings ein örtliches hygienisches Gefährdungspotential und kann in sensiblen Lagen die Qualität vorhandener Wasserressourcen beeinträchtigen sowie eine Veränderung der Vegetation bewirken.

Wegen dieser Vorbehalte und den verschärften gesetzlichen Rahmenbedingungen hinsichtlich Klärschlammausbringung und Bodenschutz (beispielsweise ist in Tirol das Aufbringen von Klärschlamm auf landwirtschaftlich nutzbaren Flächen untersagt) wird die Entsorgung von Reststoffen ins Tal immer häufiger angeordnet.

Das diesem Bericht zugrunde liegende, von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderte, Forschungsvorhaben, wurde gemeinsam vom Deutschen Alpenverein e.V. (Abteilung Hütten-Wege-Kletteranlagen), der Universität der Bundeswehr München, der Universität Innsbruck und der Grammer Solar GmbH durchgeführt.

Ziel dieses Projektes ist es, Verfahren zur Behandlung von Reststoffen im Hochgebirge zu optimieren, neue Verfahren zu entwickeln, Systeme miteinander zu vergleichen und ihre jeweiligen idealen Einsatzbedingungen herauszufinden. Die Leistung der einzelnen Behandlungsverfahren soll hauptsächlich hinsichtlich der Volumenreduktion (Entwässerung) und der Hygienisierung bewertet werden, aber auch bezüglich des Abbaus und Verbleibs von Nähr- und Schadstoffen.

Hierzu wurden in der ersten Projektphase [1] die notwendigen Randbedingungen (rechtliche Grundlagen, klimatische Bedingungen, Hüttenmerkmale) kategorisiert. In der zweiten Phase [2] wurden verschiedene Technologien zur Behandlung von Reststoffen im Hochgebirge untersucht; es wurden bestehende Verfahren optimiert, neue Systeme entwickelt und versucht, ihre idealen Einsatzbedingungen herauszufinden.

In der nun abgeschlossenen dritten Projektphase wurden die einzelnen Technologien vollständig erprobt und abschließend bewertet. Der vorliegende Schlussbericht zeigt eine Reihe von Reststoffbehandlungsmöglichkeiten und soll für die unterschiedlichen Standorte und Randbedingungen sowohl den Verantwortlichen der Alpenvereine, den Betreibern von Berghütten, Planern aber auch Behördensachverständigen einen Überblick über die verschiedenen Optionen der Reststoffbehandlung auf Berghütten verschaffen sowie eine Hilfe bei der Auswahl des richtigen Behandlungsverfahrens sein. Zusätzlich zu den in den vorangegangenen Projektphasen vorgestellten und untersuchten Technologien auf den einzelnen Hüttenstandorten enthält dieser Schlussbericht zusätzliche Informationen zu folgenden Themen:

- Filtersackanlage für Reststoffe aus einer nassen Vorreinigung (Ostpreußenhütte)
- Schlamm-Kompostier-System (Olperer Hütte)
- Solar-Komposter auf der Kaunergrathütte
- Betriebsprobleme bei Trockentoilettenanlagen
- Belange des Bodenschutzes

Sämtliche Erfahrungen und Ergebnisse wurden abschließend in einem Leitfaden zur Bemessung von Anlagen zur Abwasserreinigung und Reststoffbehandlung auf Berghütten zusammengefasst (Anlage A). In den Leitfaden flossen auch die konstruktiven Beiträge der Teilnehmer (bayerische und tiroler Behördenvertreter, die am Projekt beteiligten Wissenschaftler, Vertreter des Deutschen und des Österreichischen Alpenvereins) des Projekttreffens auf der Brunnsteinhütte am 24.07.2008 ein. Des Weiteren wurden fachliche Stellungnahmen verschiedener Institutionen und Sachverständiger zum Leitfaden eingeholt und in diesen Schlussbericht aufgenommen (Kapitel 10).

2 Solar-Komposter (Klostertaler Umwelthütte)

2.1 Allgemeines

Die Klostertaler Umwelthütte (2362 m Seehöhe) ist eine unbewirtschaftete Selbstversorgerhütte im Sivrettagebiet. Die Hütte ist mit einer Kompostiertoilette ausgestattet, deren Auffangbehälter im unbeheizten Keller des Gebäudes untergebracht ist. Untersuchungen an Materialproben aus dem Jahr 2002 im Rahmen einer Studie der FH Amberg [28] kamen zu dem Ergebnis, dass das anfallende Toilettenmaterial aufgrund des hohen Wassergehaltes und den damit verbundenen anaeroben Verhältnisse im Sammelbehälter nicht als Kompost oder Kompostrohstoff einzustufen ist. Es wurde deshalb entschieden, auf der Hütte einen Solar-Komposter zu installieren.

Dieser wurde Ende September 2006 aufgestellt und in Betrieb genommen. Seit der Winter-begehung im März 2007 (entspricht dem Letztstand der Ergebnisse im Abschlussbericht 2. Phase) wurde der Solarkomposter an drei weiteren Terminen begangen wobei die Messgeräte ausgelesen sowie Proben zur bakteriologischen und physikalischen Untersuchung gezogen wurden. Bei der letztmaligen Begehung am 08.10.2008 wurde das Untersuchungsprogramm abgeschlossen und die Messgeräte abgebaut. Im Folgenden sind die Ergebnisse aller bisherigen Begehungen zusammengefasst.

2.2 Einzelmessungen

2.2.1 Aufstellung und Erstbefüllung am 21.09.2006

Nach der Aufstellung wurde der Komposter mit Material aus der Trockentoiletten-Anlage befüllt. Die Einfüllhöhe betrug 100 Zentimeter (Vollfüllung auf 620 Liter). Tabelle 2.1 zeigt die Messwerte.

Wie bereits oben erwähnt, wurden im Jahr 2002 Proben des Toilettenmaterials von der FH Amberg untersucht [28]. Hierbei wurde damals festgestellt, dass das Material einen TS-Gehalt von etwa 29% und einen Glühverlust von durchschnittlich 71% aufwies. Mit dem im September 2006 gemessenen TS-Wert von durchschnittlich 15,7% haben sich die Verhältnisse hinsichtlich einer Kompostierfähigkeit des Materials im Auffang-behälter der Toilettenanlage gegenüber 2002 noch verschlechtert und sprechen somit für den Einsatz des Solar-Komposters.



Abbildung 2.1: Standort des Solar-Komposters auf der Kloostertaler Umwelthütte [Foto M.Schön 2007]

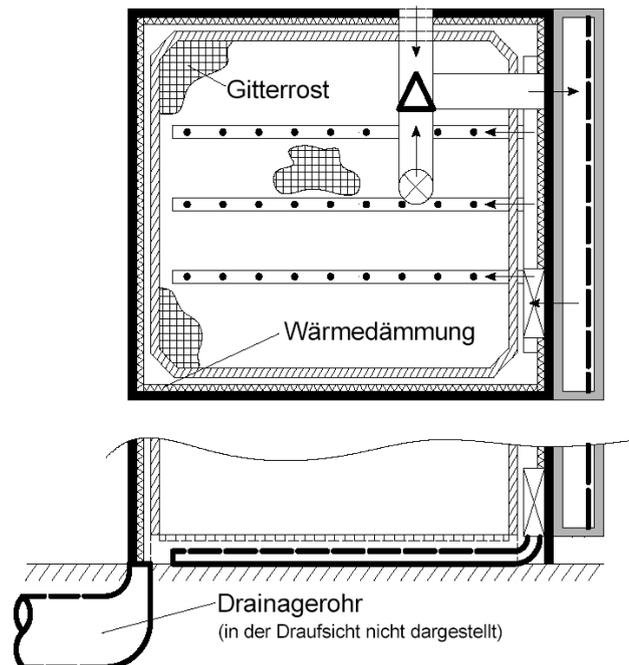


Abbildung 2.2: Schemazeichnung Solar-Komposter

Tabelle 2.1: Messwerte am 21.09.2006

Material	Bezeichnung	TS-Gehalt [M-%]	GV [%-TS]	Bemerkung
TT-Material	West	14,5	65,7	
	Mischung	11,9	67,7	
	LiVo	20,7	78,5	
	Mittelwert	15,7	70,6	
Rindenmulch		80,0	98,0	
Stroh + Heu		87,0	93,0	Mittelwert Stroh + Heu
Kompostkultur		31,1	70,9	

2.2.2 Begehung am 19.10.2006

Bei dieser Begehung wurden die Messsonden im und am Komposter angebracht. Die vorgefundene Füllhöhe betrug 93 cm, das entspricht bei einer Grundfläche von $0,62m^2$ einem Volumen von 578 Litern.

2.2.3 Begehung, Umschöpfen am 16.03.2007

Bei dieser Begehung wurde der Komposter ausgeräumt, das Material dabei aufgelockert und anschließend wieder eingefüllt. Die vorgefundene Füllhöhe betrug 77 cm (477 Liter) und nach Wiederbefüllung knapp 80 cm (496 Liter). Tabelle 2.2 zeigt die Messwerte.

Tabelle 2.2: Messwerte am 16.03.2007

Bezeichnung	TS-Gehalt [M-%]	GV [%-TS]
1	26,4	72,9
2	24,4	75,6
3	24,1	78,9
Mittelwert	24,9	75,8

2.2.4 Begehung am 02.08.2007

Nach der Probenahme wurde der Innenbehälter ausgeräumt, der Inhalt homogenisiert, gewogen und wieder eingebracht, wobei die vorgefundene Füllhöhe 63 cm (391 Liter) und nach Wiederbefüllung 71 cm (440 Liter) betrug. Die Ergebnisse der Analyse des Materials sind in den Tabellen 2.3 und Tabelle 2.4 dargestellt.

Im Vergleich zu den entsprechenden Daten von der Begehung im März 2007, kann festgestellt werden, dass sich der Trockensubstanzgehalt (TS) von durchschnittlich rund 25% auf 30% erhöht hat und somit eine weitere Entwässerung des Materials stattgefunden hat.

Tabelle 2.3: Physikalische Parameter der Analysen vom 02.08.2007

Probe	Entnahme [cm] ¹	TS [M-%]	GV [%-TS]	pH [-]	k25 [$\mu S/cm$]
A	0/-5	67,0	70,7	8,0	433
B	-10	28,0	71,8	8,0	556
C	-20	25,6	78,5	8,3	412
D	-35	23,7	75,6	8,4	404
E	-45	24,7	72,5	8,3	438
G	-60	24,7	72,7	8,7	524
Mittelwert		25,3 (ohne A)	73,6		

Tabelle 2.4: Bakteriologischer Befund einer Mischprobe (Feststoff) vom 02.08.2007

Enterobacteriaceen [in 1 Kg Feststoff]	Enterokokken [in 1 Kg Feststoff]	Salmonellen [in 1 Kg Feststoff]	Wurmeier [in 1 Kg Feststoff]
$4,5 \cdot 10^3$	$6,5 \cdot 10^3$	nicht nachweisbar	++ Strongyloieseier + Cestodeneier +++ Kokizidienoozysten + Nematodenlarven + Ascarideneier

Die Auswertung der Temperatur-Messsonden ergab die in Abbildung 2.3 dargestellten Ergebnisse. Wie man aus den Temperaturganglinien in der Abbildung 2.3 sieht, bewegten sich die Temperaturen der zuströmenden Luft im Zentralrohr kaum unter 0°C. Durch den Energieeintrag der erwärmten Luft sank die Komposttemperatur nie unter 0°C ab und es konnte trotz Außentemperaturen von teilweise unter -20°C ein Durchfrieren des Kompostmaterials vermieden werden.

2.2.5 Begehung am 03.10.2007

Die Ergebnisse, welche bei der Begehung am 03.10.2006 gewonnen wurden sind in Abbildung 2.4 und in Tabelle 2.5 dargestellt.

Die vorgefundene Füllhöhe betrug 64 cm (397 Liter) und es kann festgestellt werden, dass sich im relativ kurzen Zeitraum zwischen dieser und der letzten Begehung der TS-Wert nicht verändert hat. Bei den Temperaturganglinien zeigt sich erneut, dass sich die Temperaturen im Zentralrohr sowie im Kompostmaterial stets über der 0°-Grenze bewegten.

Tabelle 2.5: Physikalische Parameter der Analysen vom 03.10.2007

Probe	Entnahme [cm]	TS [M-%]	GV [%-TS]	pH [-]	k25 [$\mu S/cm$]
P1	oben	38,3	68,1	7,7	573
P2	mitte	28,4	71,9	8,0	526
P3	unten	26,6	63,6	8,0	539
Mittelwert		31,1	67,9		

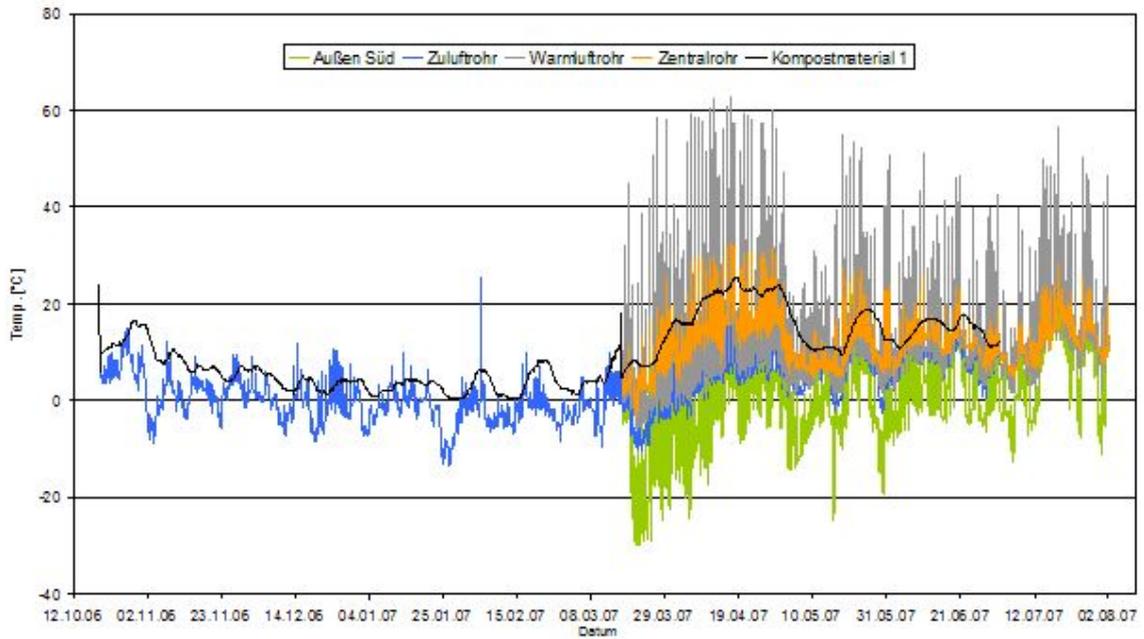


Abbildung 2.3: Temperaturkurven von Oktober 2006 bis August 2007

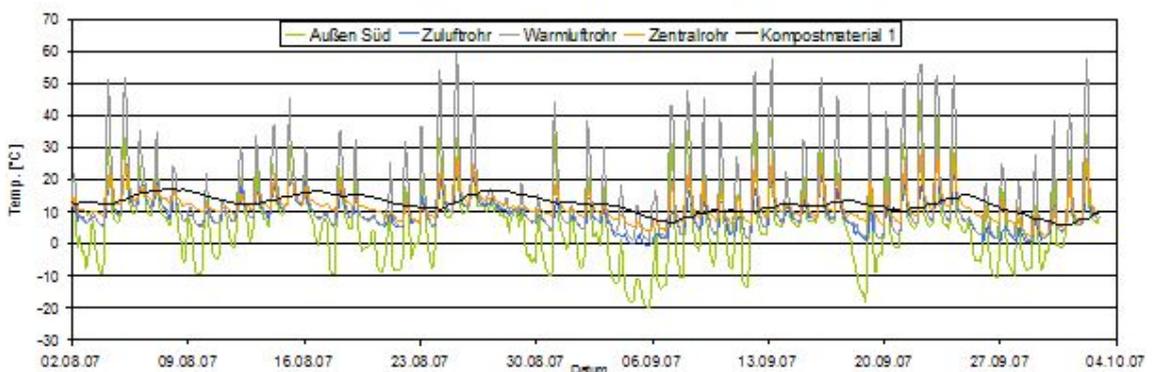


Abbildung 2.4: Temperaturkurven von August 2007 bis Oktober 2007

2.2.6 Begehung am 08.10.2008

Die vorgefundene Füllhöhe betrug rund 59cm, das entspricht bei einer Grundfläche des Komposters von $0,62m^3$ einem Volumen von 364 Litern. Die Analyse der aus drei verschiedenen Höhenschichten entnommenen Proben ergab die Ergebnisse, welche in Tabelle 2.6 dargestellt sind.

Tabelle 2.6: Physikalische Parameter der Analysen vom 08.10.2008

Probe	Entnahme [cm]	TS [M-%]	GV [%-TS]	pH [-]	k25 [$\mu S/cm$]
P1	oben	65,8	72,7	7,8	515
P2	mitte	31,1	76,7	7,8	615
P3	unten	46,1	59,6	7,9	950
Mittelwert		47,7	69,6		

Im Vergleich zu den entsprechenden Daten von der Begehung im Oktober 2007, kann festgestellt werden, dass sich der Trockensubstanzgehalt (TS) von durchschnittlich 31% auf rund 48% erhöht hat und somit eine weitere Entwässerung des Materials stattgefunden hat.

Die Mischprobe für die bakteriologische Untersuchung lieferte untenstehenden Befund. Es kann festgestellt werden, dass sich im Vergleich zur Analyse vom August 2007 mit einem Gehalt von $4,5 \cdot 10^3$ Enterobacteriaceen in 1 kg FS und $6,5 \cdot 10^3$ Enterokokken in 1 kg FS die bakteriologischen Parameter wesentlich verringert und somit verbessert haben.

Tabelle 2.7: Bakteriologischer Befund einer Mischprobe (Feststoff) vom 08.10.2008

E. coli in 1 Kg Feststoff	Entero- bacteriaceen in 1 Kg Feststoff	Entero- kokken in 1 Kg Feststoff	Salmonellen in 1 Kg Feststoff	Wurmeier in 1 Kg Feststoff
nicht nachweisbar	100	30	nicht nachweisbar	vereinzelt Nematodenlarven

Die Auswertung der Temperatur-Messsonden ergab unten abgebildete Ergebnisse. Die Aufzeichnungen reichen bis zum 15.06.2008, da die Speicherkapazität der Sensoren ab diesem Zeitpunkt erschöpft war. Wie man den Ganglinien entnehmen kann, betrogen die Tiefsttemperaturen der zuströmenden Luft im Zentralrohr nur wenig unter $0^\circ C$. Durch den Energieeintrag der erwärmten Luft sank trotz Außentemperaturen von teilweise unter $-40^\circ C$ und weniger die Komposttemperatur in den ungünstigsten Fällen nur bis knapp unter den Gefrierpunkt und ein Durchfrieren des Kompostmaterials konnte somit weitestgehend vermieden werden.

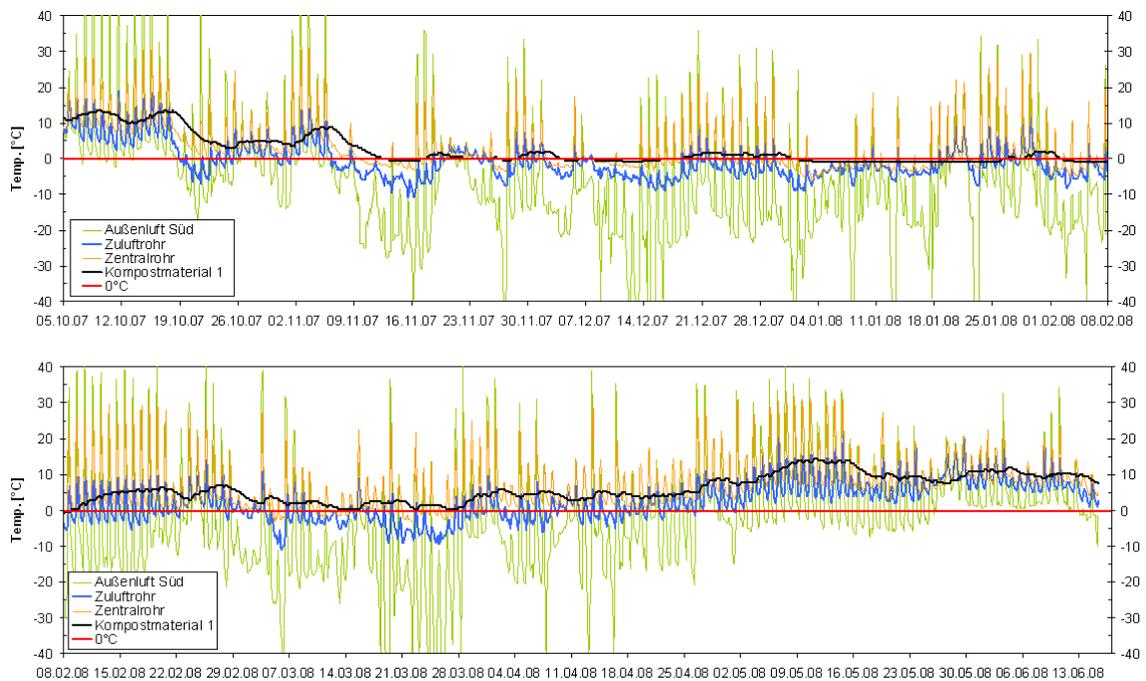


Abbildung 2.5: Temperaturkurven vom 05.10.2007 bis 15.06.2008

2.3 Zusammenfassende Auswertung und Wasserbilanz

Im Folgenden wurde aus sämtlichen bisher gewonnen Daten und Annahmen bzgl. der Materialdichten eine Abschätzung der Massen, Kubaturen und Porenanteile für jede Begehung berechnet. Des Weiteren enthält dieser Abschnitt eine aus diesen Werten gebildete Wasserbilanz, die einen Überblick über die Auf-, Abbau- und Umwandlungsprozesse im Solar-Komposter seit seiner Aufstellung erlaubt.

2.3.1 Berechnung von Masse, Kubaturen und Porenanteile

In den Tabellen 2.8 bis 2.11 sind die Massen, Kubaturen und Porenanteile der verschiedenen Anteile des Kompostgemisches zu den genannten Zeitpunkten berechnet.

Tabelle 2.8: Berechnete bzw. gemessene Massen, Kubatoren und Porenanteile am 21.09.2006 (Der Porenanteil wurde durch Iteration berechnet.)

		Vol. ges. [Liter]	Masse [%]	Dichte [Kg/m ³]	Masse [Kg]	Volumen [Liter]
TT-Material	Luft		0,0	1,2	0,0	12,5
	Wasser		84,3	1000	370,9	370,9
	org. Material		11,1	1050	48,8	46,4
	anorg. Material		4,6	2000	20,3	10,2
	gesamt	440	100	1000	440	440
	Porenanteil [%]	2,8				
Rindenmulch	Luft		0,0	1,2	0,0	92,8
	Wasser		20,0	1000	7,8	7,8
	org. Material		78,4	1050	30,6	29,1
	anorg. Material		1,6	2000	0,6	0,3
	gesamt	130	100	300	39	130
	Porenanteil [%]	71,4				
Stroh+Heu	Luft		0,0	1,2	0,0	36,3
	Wasser		13,0	1000	0,5	0,5
	org. Material		80,9	1050	3,2	3,1
	anorg. Material		6,1	2000	0,2	0,1
	gesamt	40	100	100	4	40
	Porenanteil [%]	90,7				
Kompost- kultur	Luft		0,0	1,2	0,0	2,4
	Wasser		68,9	1000	5,5	5,5
	org. Material		22,1	1050	1,8	1,7
	anorg. Material		9,1	2000	0,7	0,4
	gesamt	10	100		8	10
	Porenanteil [%]	24,5				
Gesamt	Luft			1,2	0,0	144,0
	Wasser			1000	384,7	384,7
	org. Material			1050	84,3	80,3
	anorg. Material			2000	21,9	11,0
	gesamt	620		792	491	620
	Porenanteil [%]					
	TS-Gehalt [%]	23,2				
GV [% TS]	74,0					

Tabelle 2.9: Berechnete bzw. gemessene Massen, Kubatoren und Porenanteile am 16.03.2007 (Der Porenanteil wurde durch Iteration berechnet.)

		Vol. ges. [Liter]	Masse [%]	Dichte [Kg/m ³]	Masse [Kg]	Volumen [Liter]
TT-Material	Luft		0,0	1,2	0,0	114,0
	Wasser		75,1	1000	283,5	283,5
	org. Material		18,9	1050	71,4	68,0
	anorg. Material		6,0	2000	22,8	11,4
	gesamt	477	100	792	378	477
	Porenanteil [%]	23,9				

Tabelle 2.10: Berechnete bzw. gemessene Massen, Kubatoren und Porenanteile am 02.08.2007 (Der Porenanteil wurde durch Iteration berechnet.)

		Vol. ges. [Liter]	Masse [%]	Dichte [Kg/m ³]	Masse [Kg]	Volumen [Liter]
TT-Material	Luft		0,0	1,2	0,0	94,2
	Wasser		74,7	1000	231,2	231,2
	org. Material		18,8	1050	58,3	55,5
	anorg. Material		6,5	2000	20,2	10,1
	gesamt	391	100		310	391
	Porenanteil [%]	24,1				

Tabelle 2.11: Berechnete bzw. gemessene Massen, Kubatoren und Porenanteile am 03.10.2007 (Der Porenanteil wurde durch Iteration berechnet.)

		Vol. ges. [Liter]	Masse [%]	Dichte [Kg/m ³]	Masse [Kg]	Volumen [Liter]
TT-Material	Luft		0,0	1,2	0,0	101,5
	Wasser		68,9	1000	216,7	216,7
	org. Material		21,1	1050	66,3	63,2
	anorg. Material		10,0	2000	31,4	15,7
	gesamt	397	100		314	397
	Porenanteil [%]	25,6				

Tabelle 2.12: Berechnete bzw. gemessene Massen, Kubatoren und Porenanteile am 08.10.2008 (Der Porenanteil wurde durch Iteration berechnet.)

		Vol. ges. [Liter]	Masse [%]	Dichte [Kg/m ³]	Masse [Kg]	Volumen [Liter]
TT-Material	Luft		0,0	1,2	0,0	101,5
	Wasser		52,3	1000	150,9	150,9
	org. Material		33,2	1050	95,7	91,1
	anorg. Material		14,5	2000	41,7	20,8
	gesamt	364	100	792	288	364
	Porenanteil [%]	25,6				

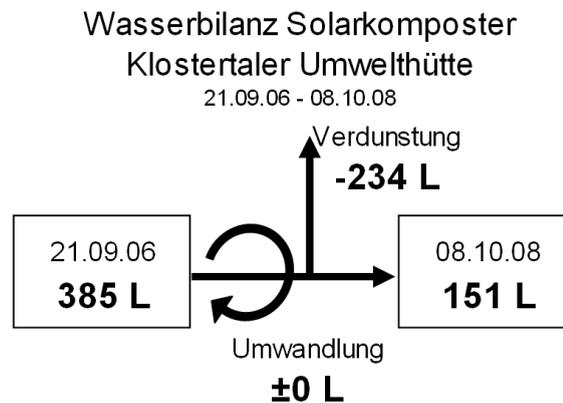


Abbildung 2.6: Übersicht Wasserbilanz Klostertaler Umwelthütte

2.3.2 Wasserbilanz

Der folgende Abschnitt enthält eine aus obigen Werten gebildete Wasserbilanz. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass im bisherigen Untersuchungszeitraum von den zu Beginn eingefüllten 385 L Wasser etwa 234 L verdunstet sind. Im Komposter waren am Stichtag 08.10.2008 somit noch 151 L Wasser vorhanden. Eine weitere, jedoch vergleichsweise geringe Menge an Wasser dürfte durch biogene Umwandlungsprozesse (Umwandlung von organischem Material) entstanden sein, wird aber in der überschlägigen Bilanz nicht berücksichtigt.

Eingebrachtes Wasser

Bei der Erstbefüllung am 21.09.2006 wurden 385 Liter Wasser in den Solar-Komposter eingebracht. Diese Menge ist die Bezugsbasis für die weitere Bilanzierung.

Noch vorhandenes Wasser

Am 08.10.2008 sind im Solar-Komposter noch 151 Liter Wasser vorhanden.

Abgelaufenes + verdunstetes Wasser

Die Menge an abgelaufenem und verdunstetem Wasser ergibt sich aus der Bilanzierung von eingebrachtem, entstandenem und noch vorhandenem Wasser.

$$= \text{eingebrachtes} + \text{entstandenes} - \text{noch vorhandenes}$$

$$= 385 \text{ Liter} + 0 \text{ Liter} - 151 \text{ Liter} = 234 \text{ Liter}$$

Im Zeitraum vom 21.09.2006 bis 08.10.2008 sind also 234 Liter Wasser abgelaufen bzw. verdunstet.

Basierend auf o.g. Zahlen, veranschaulicht untenstehende Grafik die Entwicklung des Kompostierprozesses seit der Befüllung im Herbst 2006 und dem Abschluss der Untersuchungen im Oktober 2008. Deutlich zu sehen ist die starke Entwässerung sowie die fort-

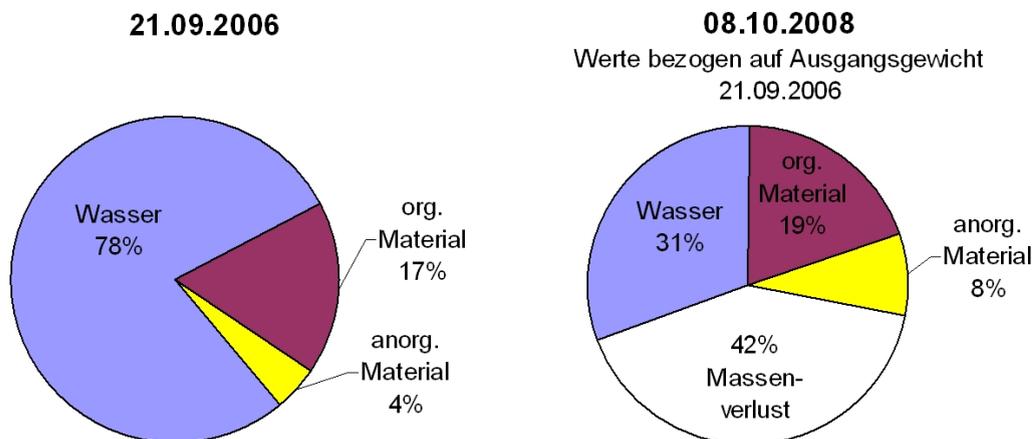


Abbildung 2.7: Entwicklung des Kompostmaterials über den Betrachtungszeitraum. Die Werte für den 08.10.2008 sind bezogen auf das Ausgangsgewicht bei der Befüllung am 21.09.2006.

schreitende Mineralisierung des Materials (Verdoppelung des anorganischen Anteils von 4% auf 8%).

2.4 Resümee

Bei der Beobachtung des Kompostierprozesses im Solar-Komposter der Kloostertaler Umwelthütte über die Dauer von etwas mehr als einem Jahr wurde eine Volumensreduktion von etwa 42 % (von 620 L auf 364 L) festgestellt und eine Verdunstung von 61 % des Wassers (bezogen auf das anfangs enthaltene Wasser) ermittelt. Bilanzrechnungen zur Abschätzung des Porenanteils zeigten, dass sich Massenverluste und Setzungen im Material ungefähr ausgleichen und der Porenanteil nur geringfügig im Bereich zwischen 24 % und 28 % schwankt. Bei der Beobachtung des Kompostierprozesses im Solar-Komposter der Kloostertaler Umwelthütte über die Dauer von etwas mehr als zwei Jahren zeigte sich angesichts der o.g. Verringerung der Masse um mehr als 40% und die Reduzierung des Füllvolumens von ursprünglich 620 L auf 364 L die hohe Effizienz des Solarkomposters auch im Hinblick auf logistische und somit wirtschaftliche Vorteile bei der Verbringung des Materials ins Tal. Wie anhand der bakteriologischen Untersuchungen belegt, kam es durch die Mineralisierung des Materials auch in hygienischer Hinsicht zu einer wesentlichen Verbesserung, so dass man in diesem Fall von einem unbedenklichen Material sprechen kann.

3 Trockentoilettenanlage Brunnsteinhütte

3.1 Allgemeines

Wie bereits im Abschlussbericht der 2. Projektphase [2] sowie im Bericht über Betriebsprobleme bei Trockentoilettenanlagen (TT), findet sich untenstehend eine kurze Beschreibung der TT-Anlage auf der Brunnsteinhütte (1.560 m, Karwendelgebiet, DAV-Sektion Mittenwald).

Die Abwasserreinigungsanlage der bewirtschafteten Brunnsteinhütte ist mit drei wasserlosen Trockentoiletten sowie Urinal ausgestattet. Die flüssigen Abgänge (TT-Sickerwasser, Urin) sowie die Grauwässer aus der Hütte werden in einem Puffertank zwischengespeichert und periodisch in kleinen Pumpmengen weiter zur biologischen Reinigungsstufe gepumpt.

Die in den drei Trockentoiletten zurückgehaltenen festen Abwasserinhaltsstoffe fallen mit Strukturmaterial (grobe Sägespäne + Kompostbeschleuniger) versetzt zunächst über einen Abwurfschacht in den hinteren Teil des Auffang- und Lagerungsbereichs (Abbildung 3.1, Mitte). Von dort wird das TT-Material nach Hochziehen eines Trennschiebers mittels einer Harke periodisch in das vordere Verrottungsabteil ($B \times T \times H = 0,6 \times 0,6 \times 0,7$ m; $H_{\text{Nutz}} \approx 2/3 \cdot 0,7\text{m}$) gezogen (Abbildung 1, rechts). Dabei wird es durchmengt, homogenisiert und durchlüftet.

Das Verrottungsabteil ist mit einem Deckel versehen, gut einseh- und bedienbar. Von dort wird das mit ausreichend Strukturmaterial vermengte TT-Material nach Bedarf (je nach TT-Anfall) in ein Transportgefäß herausgeschöpft und anschließend zur Nachrotte in konventionelle Rotteboxen unterschiedlicher Bauart gefüllt.



Abbildung 3.1: Links: Ansicht der Toilettenanlage vom Haupthaus [Foto B.Wett 2002]. Mitte: Abwurfschächte und hinterer Lagerungsbereich mit Klappe für Zugabe von Strukturmaterial [Foto R.Ettl 2004]. Rechts: Vorderes Verrottungsabteil [Foto R.Ettl 2004]

3.2 Datenauswertung

3.2.1 Berechnung Masse, Kubatoren und Porenanteile

Trotz relativ schlechter Datenlage bzgl. Einfüllvolumina, Materialdichten u.ä. soll ähnlich wie beim Solar-Komposter der Kloostertaler Umwelthütte im folgenden versucht werden, eine Abschätzung der Abbauvorgänge in der TT-Anlage sowie des damit verbundenen Massen- und Volumenreduktionen zu treffen.

Tabelle 3.1: Messwerte Brunnsteinhütte

Probe	Saison	Entnahme	Datum	TS [M-%]	GV [%TS]
Mischprobe 3	2004-2005	Rottebox	07.07.2005	23	78
Mischprobe 2	2002-2004	Rotteboxeb	07.07.2005	32	69
Mischprobe 1	2000-2002	Rottebox	07.07.2005	40	73
Einzelprobe	Mitte 2001	Rottebox	07.07.2005	41	71
Einzelprobe	Mitte 2000	Rottebox	07.07.2005	39	68
A	2005-2006	vord. Verrottungsabteil	Ende Juli 2006	20,4	84
B	2004-2005	braune Rottebox	Ende Juli 2006	22,7	79
C	2002-2003	Draht-Rottebox	Ende Juli 2006	29,0	76

In Tabelle 3.1 sind Messwerte für die Trockensubstanz und den Glühverlust von Kompostmaterial unterschiedlichen Alters angegeben. Für die weiteren Berechnungen wird dementsprechend für, aus der aktuellen Saison stammendes Material, ein TS-Gehalt von 20 % und ein GV von 84 %, für zwei Jahre altes Material TS 30 % und GV 73 % angenommen. Die Dichte des Materials wird mit $800\text{Kg}/\text{m}^3$ veranschlagt.

Nach Auskunft des Hüttenwirts wird das vordere Verrottungsabteil 6mal pro Saison entleert, wobei bei jeder Leerung ein 30 Liter-Kübel ca. 4 bis 5mal befüllt wird. Für die weiteren Berechnungen wird daher ein entleertes Volumen von 850 Liter/Saison angenommen.

Im Abschlussbericht der 2. Projektphase (2007) wird auf Basis einer Jahresbelastung von 5000EW_{60} und unter Annahme eines spezifischen TT-Anfalls (inkl. Strukturmaterial) von $0,125\text{L}/\text{EW}_{60}$ ein Frischmaterial-Volumen von 625 Liter/Saison angenommen. Durch die Auflockerung beim Entleeren, der Zugabe von zusätzlichem Strukturmaterial und einer ggf. etwas höheren Jahresbelastung liegt die Annahme von 850 Liter an entleertem Volumen pro Saison daher in einer sinnvollen Größenordnung.

Der Hüttenwirt gibt weiter an, dass sich nach zwei Jahren Kompostierzeit das Volumen von anfangs 850 Liter auf noch etwa 450 Liter reduziert hat, was im Mittel einen Abbau von 200 Liter pro Jahr bedeutet. Aus diesem Grund wird für die folgenden Berechnungen ein Betrachtungszeitraum von 2 Jahren gewählt.

Tabelle 3.2: Berechnete bzw. gemessene Massen, Kubatoren und Porenanteile am Anfang (Der Porenanteil wurde durch Iteration berechnet.)

		Vol. ges. [Liter]	Masse [%]	Dichte [Kg/m ³]	Masse [Kg]	Volumen [Liter]
TT-Material am Anfang	Luft		0,0	1,2	0,0	186
	Wasser		80,9	1000	544	544
	org. Material		16,8	1050	114	109
	anorg. Material		3,2	2000	22	11
	gesamt	850	100		800	850
	Porenanteil [%]	21,9				

Tabelle 3.3: Berechnete bzw. gemessene Massen, Kubatoren und Porenanteile nach 2 Jahren (Der Porenanteil wurde durch Iteration berechnet.)

		Vol. ges. [Liter]	Masse [%]	Dichte [Kg/m ³]	Masse [Kg]	Volumen [Liter]
TT-Material nach 2 Jahren	Luft		0,0	1,2	0,0	108
	Wasser		70,0	1000	252	252
	org. Material		21,9	1050	79	75
	anorg. Material		8,1	2000	29	15
	gesamt	450	100		360	450
	Porenanteil [%]	24,1				

3.2.2 Wasserbilanz

Der folgende Abschnitt enthält eine aus obigen Werten gebildete Wasserbilanz für einen Betrachtungszeitraum von zwei Jahren. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass im bisherigen Untersuchungszeitraum von den zu Beginn eingefüllten 544 Liter Wasser etwa 21 Liter durch biogene Umwandlungsprozesse hinzugekommen sowie etwa 313 Liter verdunstet sind. Im Kompostmaterial waren nach 2 Jahren somit noch 252 Liter Wasser vorhanden.

Eingebrachtes Wasser

Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes waren 544 Liter Wasser im System eingebracht worden.

Biogen entstandenes Wasser

Um die aus biogenen Umwandlungsprozessen entstandenen Wassermenge ungefähr abschätzen zu können, wird vereinfachend angenommen, dass die gesamte organische Masse im Komposter aus Glucose besteht.

Gleichung für Glucoseabbau:



Die Molare Masse von Glucose ($C_6H_{12}O_6$) beträgt 180 g/mol. Daraus folgt:

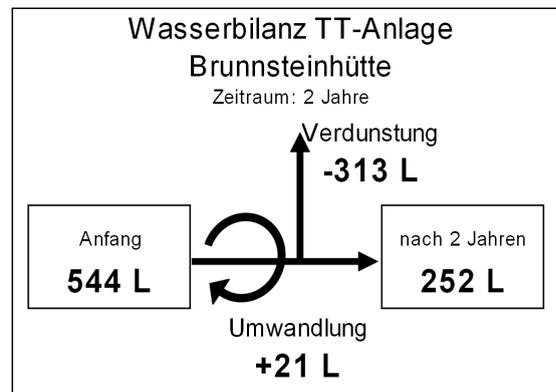


Abbildung 3.2: Übersicht Wasserbilanz Brunnsteinhütte

- aus einem Mol abgebauter Glucose entstehen 6mol Wasser
- aus 180g abgebauter Glucose entstehen $6 \cdot (2 + 19) = 108g$ Wasser

Tabelle 3.4: Bilanzierung des biogen entstandenen Wassers bis zum 03.10.2007

	Masse	Datum/Zeitraum
org. Material	114 Kg	Anfang
org. Material	79 Kg	nach 2 Jahren
abgebautes org. Material	35 Kg	in 2 Jahren
Wasser	21 Kg (Liter)	in 2 Jahren

Noch vorhandenes Wasser

Nach zweijähriger Behandlung waren noch 252 Liter Wasser im System vorhanden.

Abgelaufenes + verdunstetes Wasser

Die Menge an abgelaufenem und verdunstetem Wasser ergibt sich aus der Bilanzierung von eingebrachtem, entstandenem und noch vorhandenem Wasser.

$$= \text{eingebrachtes} + \text{entstandenes} - \text{noch vorhandenes}$$

$$= 544 \text{ Liter} + 21 \text{ Liter} - 252 \text{ Liter} = 313 \text{ Liter}$$

Im zweijährigen Betrachtungszeitraum sind also 313 Liter Wasser abgelaufen bzw. verdunstet.

Zusammenfassung Wasserbilanz

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich beim Vergleich von frisch aus dem vorderen Verrottungsabteil der TT-Anlage der Brunnsteinhütte entnommenen Material mit zwei Jahre altem Material eine Volumenreduktion von etwa 47 % (von 680 Liter auf 360

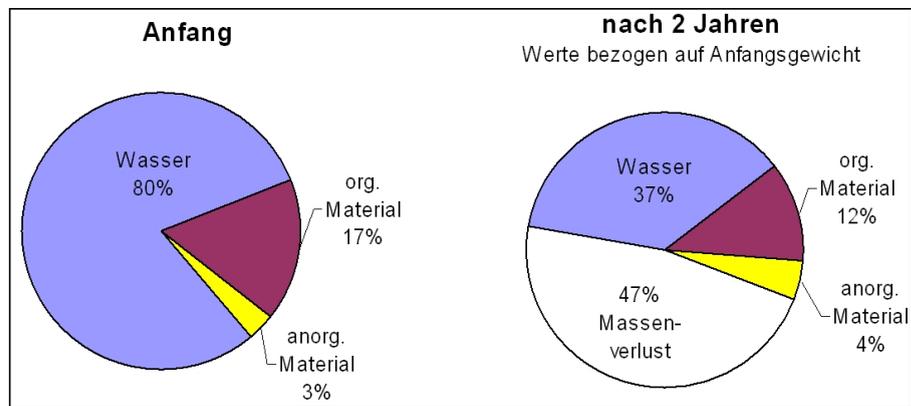


Abbildung 3.3: Entwicklung des Kompostmaterials über einen Betrachtungszeitraum von 2 Jahren. Die Werte nach 2 Jahren sind bezogen auf das Anfangsgewicht.

Liter) ergibt und eine Verdunstung von etwa 55 % des Wassers (bezogen auf das anfangs enthaltene und durch Umwandlung entstandene Wasser) ermittelt werden konnte.

Weiteres Umschöpfen und Lagern bringt einen weiteren, durch den sich verlangsamen- den biogenen Abbau prozentuell aber geringeren Masseverlust mit sich. Auf Grund von Beobachtungen vor Ort kann nach weiteren 3 Jahren mit einem Endwert von ca. 350 bis 300 Liter gerechnet werden. Das ist - bezogen auf das Ausgangsvolumen von 850 Liter - ein Restvolumen von 41 bis 35%.

4 Betriebsprobleme bei Trockentoiletten

Vergleich der Anlagen auf der Brunnsteinhütte und der Klostertaler Umwelthütte

4.1 Klostertaler Umwelthütte

4.1.1 Derzeitige Situation der Trockentoiletten-Anlage

Dem in der TT-Anlage der Klostertaler Umwelthütte (2362 m, Silvrettagebiet) anfallenden Material wird insgesamt relativ wenig Strukturmaterial zugesetzt. Bei Materialtemperaturen, welche selten über 4°C betragen, zersetzt sich das TT-Material kaum und es bleibt stets sehr feucht. Deshalb bleibt es größtenteils als Feuchtmaterial auf dem Gitter liegen und wird nicht bis kaum durchlüftet. Da es als nasse Feuchtmasse nicht durch das Gitter fallen kann, gelangt es auch nicht bis in die Entnahmekammer bzw. nur ein sehr kleiner Teil, der dort durch Urin und Sickerwasser eingestaut wird.

Das sehr nasse und wenig zersetzte TT-Material kann derzeit nur sehr mühsam und umständlich über die „Klappe für Einstreu“ entnommen werden. Die beiden äußeren Rinnen sind im Entnahmebereich nicht ausreichend mit der zentralen Kammer verbunden. Deshalb steht dort das Sickerwasser höher als im Zentralbereich. Das TT-Material ist dort deutlich weniger eingestaut, da aus dem Zentralbereich bereits zu einem früheren Zeitpunkt für das Sickerwasser durch die angrenzenden Kellerräume eine Ableitung in HT50-Material ins Freie geschaffen wurde.

4.1.2 Verbesserung der derzeitige Situation der Trockentoiletten-Anlage

Allgemein ist zu sagen, dass insgesamt deutlich mehr Strukturmaterial zugesetzt werden muss.

Wie oben beschrieben, ist die Entnahme von TT-Material zur Befüllung des Komposters derzeit nur sehr mühsam über die Einstreuklappe möglich und sollte daher unbedingt konstruktiv erleichtert werden (Abbildung 4.1):

Dazu sollte in der Trennwand zwischen TT-Stauraum und TT-Entnahmekammer eine entsprechend breite und hohe Entnahmeöffnung angeordnet werden. Dies gilt in gleicher Weise auch für die Frontseite. Die herausgeschnittenen Teile sind mit Schiebern aus nichtrostendem Werkstoff leicht entfernbar zu befestigen. Durch beide Öffnungen wird an deren unterer Kante ein gelochtes Profilblech aus nichtrostendem Werkstoff in das TT-Material

geschoben. Soll TT-Material entnommen werden, kann es auf der so geschaffenen Ebene mit einer Harke nach vorne gezogen werden, wo es mit Strukturmaterial vermengt noch länger gelagert werden oder direkt in einen Schubkarren geschaufelt und zum Solarkomposter gebracht werden kann. In den Trennwänden sind zum besseren Abfließen von Urin und Sickerwasser aus den seitlichen Rinnen in den Zentralbereich entsprechend große Verbindungsöffnungen herzustellen. Damit kommt man konstruktiv der TT-Anlage auf der Brunsteinhütte [38] näher, die deutlich effektiver arbeitet und zu bedienen ist.

4.1.3 Kompostierung der Fäkalschlämme

Da das in der Selbstversorgerhütte anfallende TT-Material stets sehr feucht ist, wurde im Rahmen des DBU-Projekts [2] im September 2006 außerhalb der Hütte ein Solar-Komposter zur Nachbehandlung der Reststoffe aufgestellt (Abbildung 2.1 auf Seite 4). Im Folgenden soll diese Anlage mit jener auf der Brunsteinhütte verglichen, Betriebsprobleme aufgezeigt und Verbesserungsmaßnahmen vorgeschlagen werden.

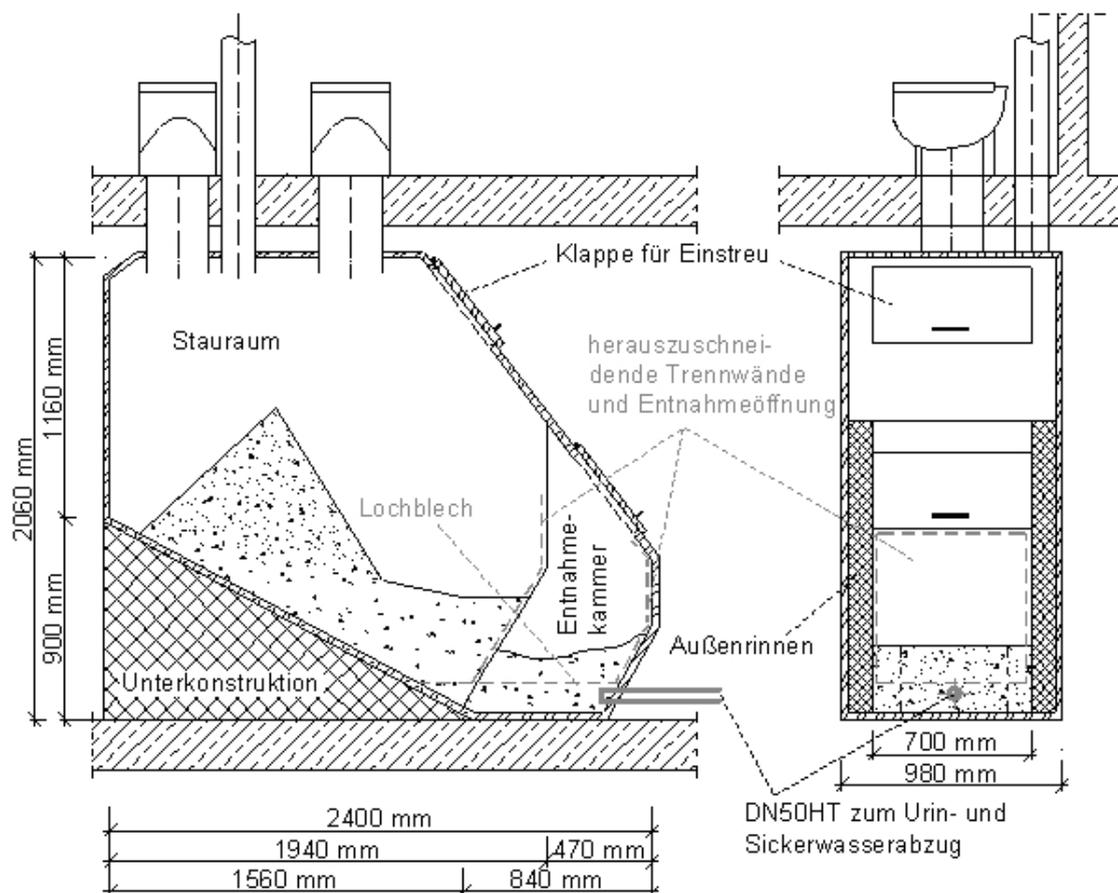


Abbildung 4.1: Schema der Trockentoiletten-Anlage der Klostartaler Umwelthütte mit konstruktiven Verbesserungen



Abbildung 4.2: Ansicht der Toilettenanlage vom Haupthaus [Foto B.Wett 2002]

4.2 Brunsteinhütte

4.2.1 Trockentoiletten-Anlage

Im Unterschied zur Klostertaler Umwelthütte, welche eine reine Selbstversorgerhütte ist, stellt sich im Allgemeinen die Wartungssituation der TT-Anlage (Abbildung 4.2) auf der bewirtschafteten Brunsteinhütte (1560m, Karwendel) wesentlich besser dar.

Das auf der Hütte anfallende Material, fällt zunächst - mit wesentlich mehr Strukturmaterial als auf der Klostertaler Umwelthütte versetzt - zuerst über einen Abwurfschacht in den hinteren Teil des Auffang- und Lagerungsbereichs (Abbildung 4.4).

Von dort wird das TT-Material nach Hochziehen eines Trennschiebers mittels einer Harke in das vordere Verrottungsabteil ($B \times T \times H = 0,6 \times 0,6 \times 0,7 \text{ m}$) gezogen (Abbildung 4.4). Dabei wird es durchmengt, homogenisiert und durchlüftet.

Zur besseren Durchlüftung sind in der TT-Anlage der Brunsteinhütte mehrere Lüftungskanäle aus Lochblechen angeordnet. Urin und Sickerwasser werden auf Bodenniveau in seitlich angeordneten Rinnen abgezogen, um ein Einstauen des TT-Materials zu verhindern (Abbildung 4.5).

4.2.2 Kompostierung der Fäkalschlämme

Das Verrottungsabteil (Abbildung 4.4) ist mit einem Deckel versehen, gut einseh- und bedienbar. Von dort wird das mit ausreichend Strukturmaterial vermengte TT-Material nach Bedarf (je nach TT-Anfall) in ein Transportgefäß herausgeschöpft und anschließend



Abbildung 4.3: Abwurfchächte und hinterer Lagerungsbereich [Foto R.Ettl 2004]



Abbildung 4.4: Vorderes Verrottungsabteil [Foto R.Ettl 2004]



Abbildung 4.5: Innenansicht des hinteren Auffangbehälters (von oben) mit Lüftungsblechen und Sickerwasserabzug [Foto E.Joas 2004]

zur Nachrotte in konventionelle Rotteboxen unterschiedlicher Bauart gefüllt (Abbildung 4.7).

Bei der Verrottung des TT-Materials herrscht sowohl in der TT-Anlage selbst als auch in den im Freien angestellten Rotteboxen den ganzen Sommer über - aber auch davor und danach - infolge der Aufstellungsart, der Exposition und der geringeren Höhenlage, ein deutlich höheres Temperaturniveau als an der TT-Anlage der Kloostertaler Umwelthütte.

Dies soll an der Kloostertaler Umwelthütte durch eine verbesserte Nachrotte des in der TT-Anlage selbst wenig stabilisierten TT-Materials im Solarkomposter ausgeglichen werden.



Abbildung 4.6: Rottebehälter der Brunsteinhütte [Foto R.Ettl 2004]



Abbildung 4.7: Verschiedene Rottebehälter [Foto R.Ettl 2004]

5 Solar-Komposter Kaunergrathütte

5.1 Allgemeines

Auf der Kaunergrathütte (2817 m Seehöhe, Pitztal, DAV-Sektion Mainz) wurden im Oktober 2006 durch die Sektion Mainz zunächst zwei Solar-Komposter mit etwa südöstlicher Ausrichtung aufgestellt und in Betrieb genommen (Abbildung 5.1). Das eingefüllte Reststoffmaterial aus der Toilettenanlage der Hütte stammt nach Auskunft des Hüttenwirts ausschließlich aus der Saison 2006. Es wurde im September 2006 in die alte Komposttrommel gefüllt und nach Aufstellung der zwei Solar-Komposter am 24. Oktober 2006 in diese umgefüllt.

Am 18.06.2008 wurden zwei weitere Komposter mit derselben Ausrichtung von vorne gesehen links von den alten Kompostern aufgestellt. Diese Geräte wurden allerdings nicht mit Messgeräten ausgerüstet und waren somit nicht Gegenstand des Untersuchungsprogramms. Allerdings wurden Feststoffproben aus diesen Kompostern entnommen und analysiert.

Die Anlage wurde 2007 insgesamt dreimal und 2008 zweimal begangen wobei Messgeräte installiert bzw. ausgelesen sowie Proben gezogen wurden. Bei der letztmaligen Begangung am 09.09.2008 wurden die Sonden abgebaut und das Untersuchungsprogramm abgeschlossen. Im Folgenden sind die Ergebnisse zusammengefasst.



Abbildung 5.1: Solar-Komposter (links die 2 neuen Geräte) und alte Komposttrommel auf der Kaunergrathütte [Fotos M.Schön 2008]



Abbildung 5.2: Innenbehälter mit Zentral- und Horizontalrohren zur Verteilung der solar erwärmten Luft [Foto M.Schön 2008]

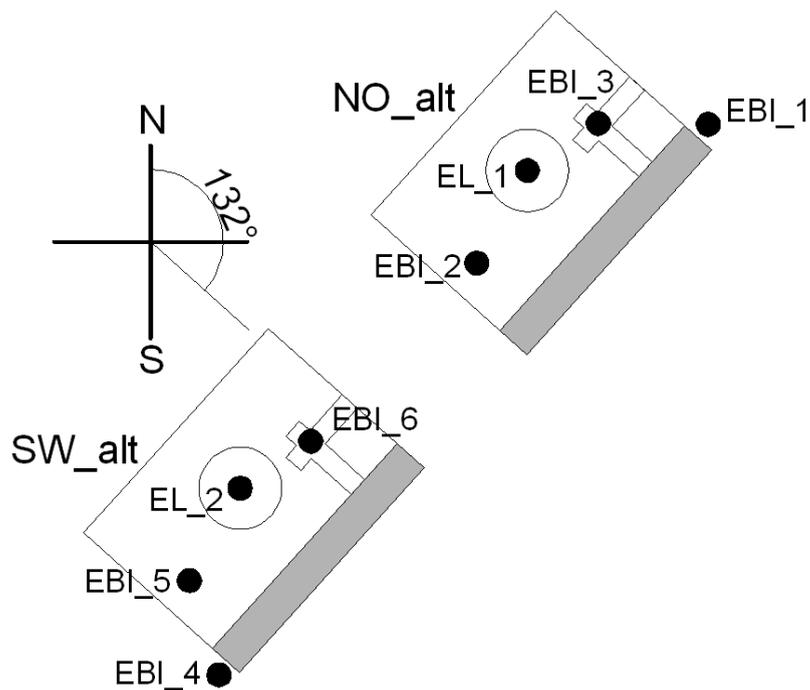


Abbildung 5.3: Lage der installierten Messsonden in den Solar-Kompostern

5.2 Erstbegehung am 14.08.2007

Bei der Erstbegehung durch das IUT am 14.08.2007 wurde festgestellt, dass im südwestlichen Solarkomposter (Abbildung 5.3) die Belüftung durch das Solarpaneel ausgefallen war (es konnte im Gegensatz zum Komposter NO kein Ventilatorgeräusch festgestellt werden). Nach Installation der Messgeräte wurden aus den beiden Geräten jeweils drei Proben aus unterschiedlichen Schichten gezogen. Die Physikalischen Parameter der Analyse der entnommenen Materialproben sind in Tabelle 5.1 dargestellt.

Tabelle 5.1: Physikalische Parameter der Proben vom 14.08.2007. Die Entnahme ist gemessen unter OK-Innenbehälter (Gesamthöhe 100cm)

Probe	Gerät	Entnahme [cm]	TS [%]	GV [%TS]	pH [-]	k 25 [$\mu S/cm$]
P1	NO	0-5	64	73	9,6	497,3
P2	NO	80	37	69	9,5	311,6
P3	NO	95-100	68	72	9,7	405,2
P4	SW	0-5	35	80	8,6	279,9
P5	SW	80	26	71	10,6	465,5
P6	SW	95-100	38	63	9,7	355,3

In Abbildung 5.4 sind die vorgefundene Abstiche in den beiden Kompostern bildlich dargestellt.

Gerät NO			Gerät SW		
64	65	69	53	48	53
53	59/50	60	54	61	50
64	60	63	58		61

Abbildung 5.4: Abstiche am 14.08.2007

Bei einer Gesamthöhe des Innenbehälters von 100 cm ergeben sich somit im Mittel Füllhöhen von 39 cm (Komposter NO) bzw. 45 cm (Komposter SW).

5.3 Begehung am 15.09.2007

Am 15.09.2007 wurden die Solar-Komposter im Rahmen der DAV-Infotour erneut begangen. Hierbei wurden die Sonden zur Materialfeuchte-Messung ausgelesen. Da diese Daten erst nach Ende des Messprogramms kalibriert werden können, liegen zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Messwerte vor.

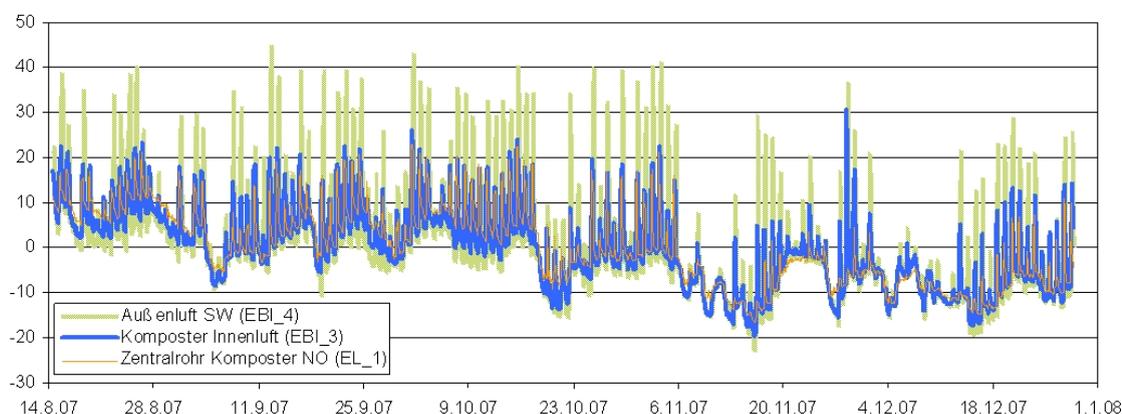


Abbildung 5.5: Temperaturganglinien für den Solar-Komposter NO vom 14.08.2007 bis 28.12.2007

5.4 Begehung am 28.12.2007

Bei der Winterbegehung am 28.12.2007 wurde das Material in einem nahezu durchgefrorenen Zustand mit einer mittleren Füllhöhe von etwa 37 cm vorgefunden. Das Vorhaben, im nordöstlichen Solarkomposter horizontale gelochte Rohre zur besseren Durchlüftung des Materials einzubauen, musste daher auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden. Es konnten zwei Proben aus unterschiedlichen Schichten zur physikalischen Untersuchung gezogen werden. Diese sind in Tabelle 5.2 dargestellt.

Im Vergleich zu den Werten vom 14.08.2007 kann somit eine Verbesserung des Trockenstoffgehaltes sowie eine fortschreitende Mineralisierung (Abnahme Glühverlust) des Materials festgestellt werden.

Tabelle 5.2: Physikalische Parameter der Proben vom 28.12.2007

Probe	Gerät	TS [%]	GV [%TS]	pH [-]	k 25 [$\mu S/cm$]
Mitte	NO	51,6	63,2	9,1	683
Unten	NO	78,7	61,2	9,6	559

Die Auslesung der Messsonden im nordöstlichen Komposter ergab unten dargestellte Werte. Da das Material durchgefroren war, waren jedoch nicht alle Sensoren erreichbar. Auf eine Auslesung der Sensoren im Gerät SW musste wegen Einbruch der Dämmerung verzichtet werden. Die Messwerte sollen bei der nächsten Begehung ausgelesen werden.

5.5 Begehung am 18.06.2008

Im Rahmen der Eröffnung der Hüttensaison am 18.06.2008 wurden in beide Solarkomposter horizontale gelochte Rohre zur besseren Durchlüftung des Materials eingebaut sowie weitere Umbaumaßnahmen durchgeführt (s. folgende Kapitel). Des Weiteren wurden zwei

neue Komposter (Abbildung 5.1) mit derselben Ausrichtung von vorne gesehen links von den alten Kompostern aufgestellt.

In Abbildung 5.6 sind die vorgefundene Abstiche in den beiden Kompostern bildlich dargestellt. Bei einer Gesamthöhe des Innenbehälters von 100 cm ergeben sich somit im Mittel Füllhöhen von rund 37 cm (Komposter NO_alt) bzw. 39 cm (Komposter SW_alt), was Füllvolumina von 198 L bzw. 209 L entspricht (Grundfläche $0,54m^2$).

Das Material aus den beiden alten Kompostern (SW_alt und NO_alt) wurde anschließend entnommen und nach Abwägen gemeinsam in den Komposter NO_alt eingefüllt. Das Gewicht des umgefüllten Materials aus beiden Kompostern betrug in Summe etwa 173 kg (79+95), was bei einer Füllhöhe von ca. 67 cm in NO_alt nach Wiederbefüllung eine Materialdichte von etwa $476 Kg/m^3$ ergibt. Toilettenmaterial aus der Saison 2007 wurde in den folgenden Tagen in den Komposter SW_alt und den neuen Komposter NO_neu gefüllt. Der Komposter SW_neu blieb zunächst leer.

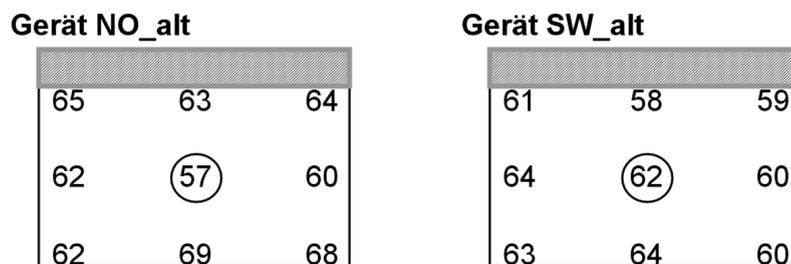


Abbildung 5.6: Abstiche am 18.06.2008 vor Umfüllung

Es wurden Proben aus unterschiedlichen Schichten zur physikalischen und bakteriologischen Untersuchung gezogen, welche in Tabelle 5.3 und 5.4 dargestellt sind.

Tabelle 5.3: Physikalische Parameter der Proben vom 18.06.2008. (Sämtliche Werte beziehen sich auf die Situation vor der o.g. Umfüllung!)

Probe	Gerät	TS [%]	GV [%TS]	pH [-]	k 25 [$\mu S/cm$]
oben	NO_alt	38,9	59,2	9,4	353,8
Mitte	NO_alt	32,4	68,1	9,4	374,7
unten	NO_alt	43,6	62,6	9,4	801,4
Mittelwert		38,3	63,3		
oben	SW_alt	33,8	60,7	9,3	200,8
Mitte	SW_alt	31,5	66,2	9,2	367,8
unten	SW_alt	37,6	68,0	9,1	555,5
Mittelwert		34,3	65,0		
Mischprobe	NO_NEU	30,3	88,4	8,8	289,8

Die Auslesung der Messsonden in den Kompostern ergab unten dargestellte Werte. Wie aus den Kurven ersichtlich, fällt die Temperatur des Kompostmaterials v.a. im Winterhalbjahr unter den Gefrierpunkt, was natürlich den Kompostierprozess völlig

Tabelle 5.4: Bakteriologischer Analyse der Proben vom 18.06.2008

Gerät	E. coli in 1 Kg Feststoff	Entero- bacteriaceen in 1 Kg Feststoff	Entero- kokken in 1 Kg Feststoff	Salmonellen in 1 Kg Feststoff	Wurmeier in 1 Kg Feststoff
NO_alt	nicht nachweisbar	710	910	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar
SW_alt	nicht nachweisbar	110	1200	nicht nachweisbar	Kokiziden, Nematodenlarven
NO_neu	nicht nachweisbar	2200	6800	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar

zum Erliegen bringt und damit eine unbefriedigende Situation darstellt. Im Gegensatz zum Solar-Komposter auf der Kloostertaler Umwelthütte, bei dem kein Durchfrieren des Materials auftritt, sind auf der Kau-nergrathütte die topografische Situation und v.a. auch die Art und Weise der Aufstellung der Geräte hierfür verantwortlich zu machen. Entsprechende Abhilfe konnte durch Umbaumaßnahmen geschaffen werden (s. hierzu nachfolgendes Kapitel).

Leider musste festgestellt werden, dass die Sensoren für die Außentemperatur seit der letzten Begehung am 28.12.2007 vom Wind verblasen wurden und somit keine weiteren Messdaten mehr zur Verfügung standen.

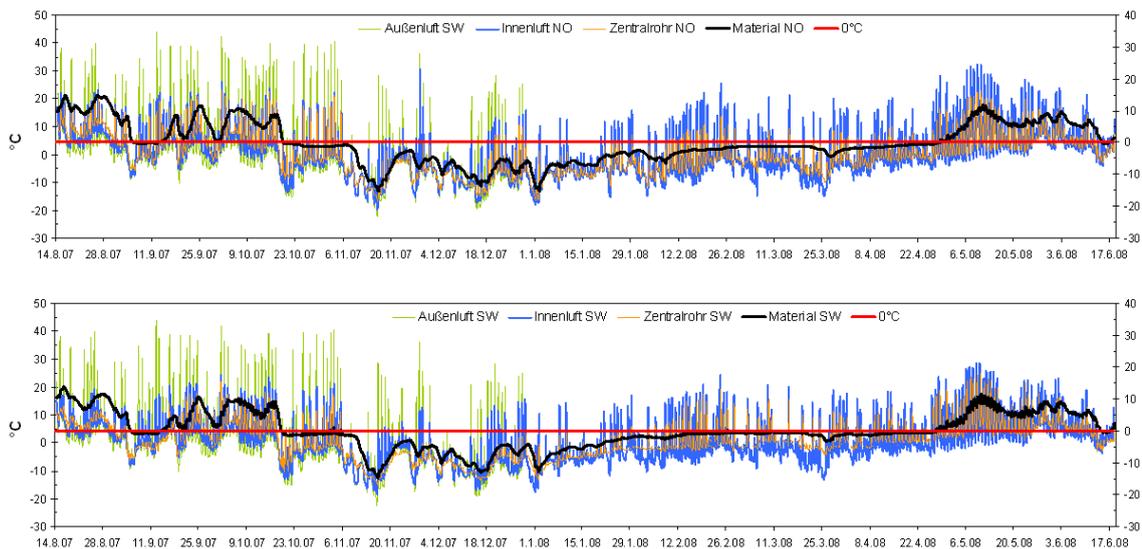


Abbildung 5.7: Temperaturganglinien für den Komposter NO_alt (oben) und SW_alt (unten) vom 14.08.2007 bis 18.06.2008

5.6 Begehung am 09.09.2008

Bei dieser Begehung wurden letztmalig Proben gezogen und die Messgeräte abgebaut. Wie bereits oben erwähnt, wurde am 18.06.2008 das Material aus den Kompostern NO_alt und SW_alt entnommen und nach Abwägen gemeinsam in den Komposter NO_alt eingefüllt. Toilettenmaterial aus der Saison 2007 wurde in den folgenden Tagen in den nun leeren Komposter SW_alt und den neuen Komposter NO_neu gefüllt. In den Tagen vor der Begehung am 09.09.2008 wurde Toilettenmaterial aus der Saison 2008 in den Komposter SW_neu gefüllt.

In Abbildung 5.8 sind die vorgefundene Abstiche in den Kompostern NO_alt und SW_alt bildlich dargestellt. Bei einer Gesamthöhe des Innenbehälters von 100 cm ergeben sich somit im Mittel Füllhöhen von 64 cm (Komposter NO_alt) bzw. 71 cm (Komposter SW_alt), was Füllvolumina von 345 L bzw. 384 L entspricht. Es ist hierbei zu beachten, dass diese Werte durch das Umfüllen und Mischen des Materials am 18.06.2008 nicht mit den Ergebnissen aus vorherigen Begehungen verglichen werden können. Die beiden neuen Solar-Komposter wiesen im Mittel Füllhöhen von 55 cm (Komposter NO_neu) bzw. 68 cm (Komposter SW_neu) auf, was Füllvolumina von 299 L bzw. 365 L entspricht.

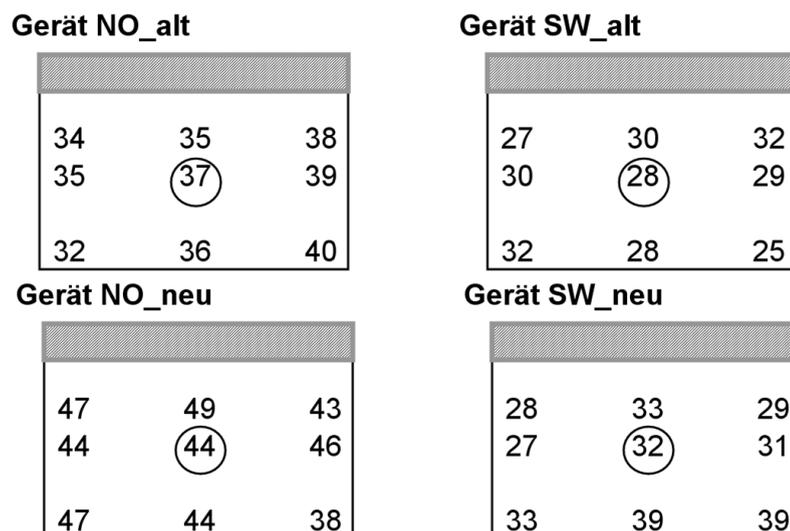


Abbildung 5.8: Abstiche am 09.09.2008

Die Untersuchung der gezogenen Proben ergab untenstehende Werte. Auch diese (NO_alt und SW_alt) können aus den o.g. Gründen nicht mit den Ergebnissen aus vorherigen Begehungen verglichen werden. Es kann jedoch überschlägig ausgesagt werden, dass sich die Trockensubstanz von 38% und 34% (NO_alt und SW_alt) am 18.06.2008 deutlich auf 45% (NO_alt mit beiden Materialien) verbessert hat.

Die Auslesung der Temperatur-Messsonden ergab unten dargestellte Werte. Wie aus den Kurven ersichtlich, konnte durch die oben erwähnten Umbaumaßnahmen am 18.06.2008 (s. auch nachfolgendes Kapitel) eine sofortige Verbesserung der thermischen

Situation in den Solar-Kompostern erzielt werden, was sich in einem deutlichen Anstieg der Temperatur im Innenbehälter, Zentralrohr und v.a. im Kompostmaterial niederschlug.

Um den oben genannten Verlust der Außentemperatursonden zu kompensieren, wurde das Gerät für die Messung der Innentemperatur in NO_alt ab dem 18.06.2008 nach außen verlegt. Leider fiel bei der Messsonde für die Materialtemperatur im Gerät SW_alt die Batterie aus, so dass hier nur Messwerte bis etwa Mitte Juli 2008 vorliegen.

Tabelle 5.5: Physikalische Parameter der Proben vom 09.09.2008.

Probe	Gerät	TS [%]	GV [%TS]	pH [-]	k 25 [$\mu S/cm$]
oben	NO_alt	44,1	84,1	8,1	304,7
Mitte	NO_alt	39,4	62,4	9,4	330,9
unten	NO_alt	50,0	61,6	9,4	408,7
Mittelwert		44,5	69,4		
oben	SW_alt	50,4	84,9	7,6	353,0
Mitte	SW_alt	36,5	82,8	8,5	436,2
unten	SW_alt	40,1	89,8	8,0	374,8
Mittelwert		42,4	85,8		
oben	NO_NEU	32,0	69,7	8,3	528,2
Mitte	NO_NEU	29,4		8,1	624,7
unten	NO_NEU	32,0	81,7	9,2	494,2
Mittelwert		31,1	75,7		
Mischprobe	SW_neu	25,5	86,5	8,8	650,1

5.7 Bemerkungen zur Aufstellung der Geräte

Wie bereits oben erwähnt, wurde das Material bei der Begehung am 28.12.2007 in einem durchgefrorenen Zustand vorgefunden und auch die Temperaturkurven für den darauf folgenden Zeitraum lassen bis in den April 2008 Materialtemperaturen von unter 0°C erkennen. Im Gegensatz zum Solar-Komposter auf der Kloostertaler Umwelthütte, bei dem durchgängig eine Materialtemperatur über dem Gefrierpunkt aufrechterhalten werden konnte, sind auf der Kaunergrathütte die topografische Situation und v.a. auch die Art und Weise der Aufstellung der Geräte hierfür verantwortlich zu machen:

Mittels einer Sonnenstandskurve und einem Verschnitt mit dem umgebenden Gelände (Abbildung 5.11) konnte festgestellt werden, dass die nach Südosten ausgerichteten Kollektorflächen in den Wintermonaten (November bis Januar) bei Schönwetter nur maximal etwa 4 Stunden täglich beschienen werden. Unter den gegebenen Umständen stellt die gewählte Ausrichtung die bestmögliche Lösung dar, jedoch ist angesichts von Außentemperaturen von bis zu -20°C in den Wintermonaten (Abbildung 5.5) die Sonnenscheindauer offensichtlich trotzdem zu gering.

Des Weiteren kamen zunächst Fehler in der Art und Weise der Aufstellung der Solar-Komposter hinzu. Die Geräte wurden nicht wie vorgesehen direkt auf dem Untergrund aufgestellt, sondern auf einem Rahmen aus Betonsteinen aufgeständert (Abbildung 5.9). Durch Spalten zwischen den Steinen konnte somit kalte Außenluft von unten durch das Bodengitter hindurch in das Kompostmaterial eindringen. Bei entsprechenden Windverhältnissen kann dies zu einer erheblichen Auskühlung führen, die die Warmluftzufuhr durch den Kollektor bei weitem übersteigt und somit quasi ineffektiv werden lässt.



Abbildung 5.9: Ursprüngliche Aufstellung der Geräte auf Betonsteinen [Foto M.Schön 2007]

Im Rahmen der Hüttenöffnung am 18.06.2008 wurden zusammen mit Mitgliedern der Sektion Mainz sowie dem Hüttenwirt entsprechende Verbesserungsmaßnahmen durchgeführt. Dabei konnte durch das Anbringen von Wärmedämmplatten im Unterbau der Aufstandsfläche des Innenbehälters in Verbindung mit einem Rindenmulchfilter sowie durch die winddichte Abdichtung des Betonfundaments mit Steinen und Rindenmulch Abhilfe geschaffen werden (Abbildung 5.10). In den Unterbau wird die vom Solarkollektor erwärmte Luft eingblasen und von unten in das Material und das Zentralrohr weitergeleitet. Um eine Durchrieselung von Kompostmaterial in den Raum unterhalb des Gitters zu verhindern und somit eine einwandfreie Luftzufuhr zu gewährleisten, wurde ein feinmaschiges Netz auf das Unterbodengitter auslegt.

5.8 Resümee

Abschließend kann angemerkt werden, dass sich die volle Wirkungsweise der im Oktober 2006 aufgestellten Solarkomposter aufgrund der genannten Verbesserungsmaßnahmen erst ab dem Juni 2008 eingestellt hat. Somit kann die Beurteilung der Effektivität und des Nutzens dieser Geräte vernünftigerweise auch nur ab diesem Zeitpunkt erfolgen.



Abbildung 5.10: Wärmedämmplatten und Rindenmulchfilter im Unterbau des Innenbehälters (links), feinmaschiges Netz auf dem Bodengitter und horizontale Lüftungsrohre (Mitte) sowie winddichte Abdichtung der Fundamente mit Steinen und Rindenmulch (rechts) [Foto M.Schön 2008]

Wie man dem Temperaturverlauf in Abbildung 5.7 entnehmen kann, führten diese Maßnahmen zu einer sofortigen Verbesserung der thermischen Situation im SolarKomposter, was sich in einem deutlichen Anstieg der Temperatur im Innenbehälter, Zentralrohr und v.a. im Kompostmaterial niederschlug. Durch die verbesserte Wärmedämmung und Warmluftzufuhr brachten konnte eine signifikante Verbesserung der Materialstruktur durch Aktivierung der biologischen Prozesse erzielt werden.

Durch die Entnahme und das Umfüllen von Material aus den Kompostern NO_alt und SW_alt in den Komposter NO_alt sind die Ergebnisse vom 18.06. und 09.09.2008 zwar nicht direkt vergleichbar, da hier die beiden Komposterinhalte aufgelockert und vermischt wurden. Dennoch können überschlägige Aussagen getroffen und Tendenzen abgelesen werden. So konnte in der genannten Periode eine Reduzierung des Volumens von ca. 407 Liter (198+209) auf etwa 345 Liter festgestellt werden. Auch hat sich die Trockensubstanz von 38% und 34% (NO_alt und SW_alt) am 18.06.2008 deutlich auf 45% (NO_alt mit beiden Materialien) verbessert. Für die Zukunft werden daher ähnlich gute Ergebnisse wie auf der Klostertaler Umwelthütte erwartet.

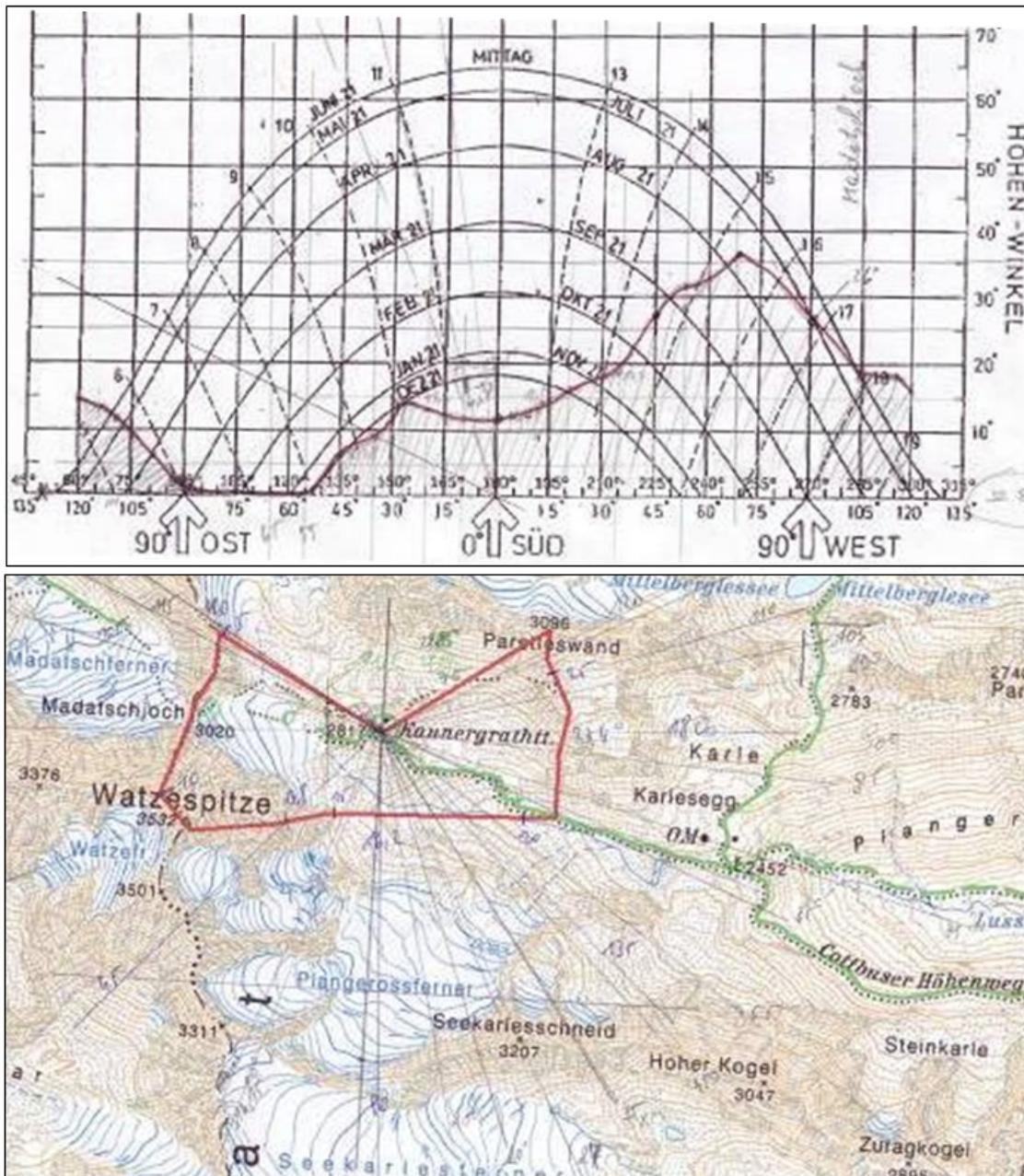


Abbildung 5.11: Sonnenstandskurven für verschiedene Monate und Tageszeiten. Das Geländere relief (oben) bzw. der Verschnitt mit dem Gelände (unten) sind rot eingezeichnet.

6 Filtersackanlage für Reststoffe aus einer nassen Vorreinigung (Ostpreußenhütte)

Filtersackanlagen werden üblicherweise zur mechanischen Reinigung (Fest- und Grobstoffabscheidung) von Rohabwasser eingesetzt. In den hintereinander angeordneten Filtersäcken bleiben die Feststoffe im Gewebe hängen, das sich allmählich belegt und eine Filterwirkung entsteht. Kommt es zum Rückstau fließt das Abwasser weiter zum nächsten Sack, weshalb Filtersackanlagen meist straßenförmig ausgeführt sind. Nach erfolgter Füllung erhalten die Säcke Zeit, um abzutropfen und auszutrocknen. Die Anzahl der erforderlichen Filtersäcke sollte auf eine einjährige Standzeit ausgelegt werden.

Filtersackanlagen als mechanische Vorreinigung haben sich inzwischen mehrfach bewährt.

Im Rahmen der zweiten Phase des Projektes wurde auf der Memminger Hütte eine Filtersackanlage zur Behandlung von biologisch teilstabilisiertem Überschussschlamm untersucht und bewertet. Hierbei handelte es sich um eine TEKNOBAG-Anlage mit lediglich zwei Säcken, integrierten Pumpen und entsprechenden Hebern. Nach erfolgter Füllung müssen die Säcke angenommen und im Freien weiterbehandelt werden. Mit der Anlage lässt sich das Volumen der anfallenden Schlämme erheblich reduzieren (>95%). Allerdings ist durch den häufigen Wechsel der Filtersäcke der Arbeits- und Betriebsaufwand für den Hüttenwirt erhöht.

Das Prinzip der angedachten Filterstraße für Reststoffe (Primär- und Sekundärschlamm sowie Bioabfälle) aus einer nassen Vorreinigung soll eine Weiterentwicklung der TEKNOBAG-Anlage darstellen und auf der Ostpreußenhütte untersucht werden. Dabei soll insbesondere der Fragestellung nachgegangen werden, inwieweit sich die etablierten Filtersackanlagen zur mechanischen Vorreinigung auch zur Behandlung von Primär- und Sekundärschlammgemischen aus Absetzbecken (Mehrkammergruben) einsetzen lassen. Die Struktur und die Zusammensetzung des Schlammgemisches sind hinsichtlich der Entwässerungseigenschaften ungünstiger (Porenbelegung durch Feinteile, schlechte Rissbildung des Primärschlammes [2]).

6.1 Lage und örtliche Verhältnisse der Ostpreußenhütte

Die Ostpreußenhütte liegt auf 1630 Metern Höhe, inmitten der Salzburger Kalkalpen, oberhalb des Ortes Werfen im Pongau. Sie ist ausschließlich zu Fuß erreichbar. Von dem Gasthaus Dielalm dauert der Aufstieg etwa 2,25 Stunden, ab Tenneck (nördlich von Werfen) ca. fünf Stunden und 3,5 Stunden ab Imlau/Pfarrwerfen.

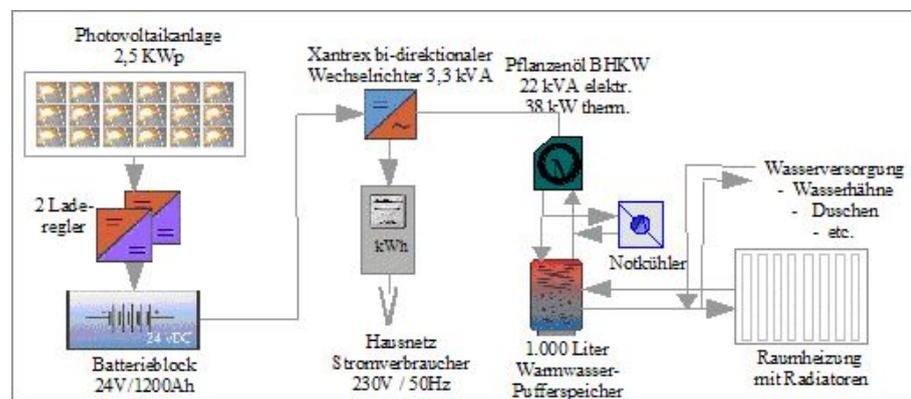


Abbildung 6.1: Schema der Wärme- und Elektroanlage der Ostpreußenhütte [10]

6.1.1 Ausstattung der Hütte

Für Übernachtungen stehen 57 Schlafplätze (18 Betten, 40 Matratzenlager) sowie 10 offene Schlafplätze im Winterraum zur Verfügung. Geöffnet hat die Hütte von Mai bis Ende Oktober und vom 26. Dezember bis zum 6. Januar. In dieser Zeit werden etwa 700 Übernachtungs- und 3500 Tagesgäste bewirtet.

6.1.2 Wärme- und Energieversorgung

Die Wärme- und Energieversorgung der Ostpreußenhütte ist schematisch in Abbildung 6.1 dargestellt.

Vor der Sanierung wurde die Stromversorgung von zwei Dieselaggregaten mit einer jeweiligen Leistung von 22kWh sowie von einer einfachen Photovoltaikanlage sichergestellt. Nun wird für die Stromversorgung ein Blockheizkraftwerk (BHKW) auf Pflanzenölbasis eingesetzt. Die Abwärme wird zur Warmwasserbereitung und zur Beheizung der Hütte über Heizkörper genutzt. Dazu wurde die bestehende Photovoltaikanlage erweitert, die nun neben dem Blockheizkraftwerk einen Batterieblock mit Strom versorgt.

Die hausinterne Elektronanlage wurde einheitlich auf ein 220-Volt-Netz umgestellt und mit energiesparenden Verbrauchern ausgerüstet. Dazu zählt zum Beispiel die Nutzung von Energiesparlampen oder der Aufbau eines ausgeklügelten Last-Managements.

6.1.3 Trinkwasserversorgung

Die Ostpreußenhütte wird durch eine natürliche Quelle bei der Blühnteckalm (1400 Meter) mit frischem Quellwasser versorgt. Das Quellwasser wird zunächst in einen Hochbehälter gepumpt (15m³ Fassungsvermögen) aus dem dann der Trinkwasserbedarf der Hütte gedeckt wird. Der Trinkwasserbedarf beträgt etwa 160m³ pro Jahr. Eine Leitung von einer tiefer liegenden Alm versorgt die Hütte zusätzlich mit Trinkwasser [10].

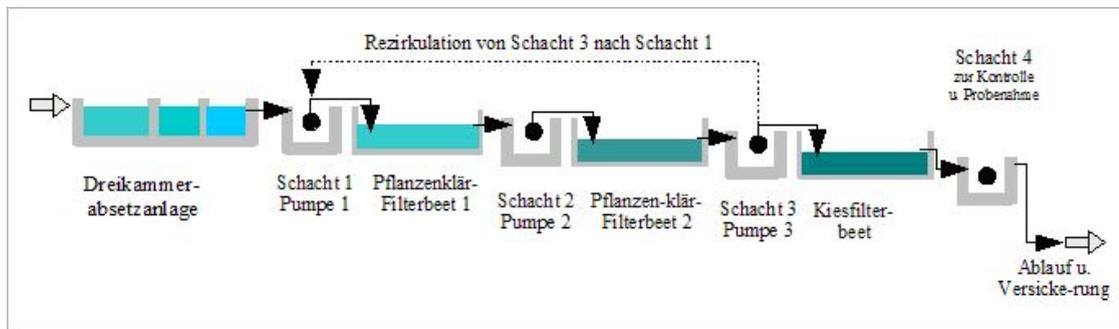


Abbildung 6.2: Schema der Abwasserreinigungsanlage der Ostpreußenhütte [10]

6.1.4 Abwassertechnische Anlage

Vor der Sanierung der abwassertechnischen Anlage erfolgte die Abwasserentsorgung über eine Dreikammerkläranlage mit einem Überlauf auf die umliegenden Almflächen.

Bei der Neukonzeption der Anlage musste auf eine besonders hochwertige Ablaufqualität des gereinigten Abwassers geachtet werden, da der Kalkboden des Hochkönigsmassivs stark verkrustet und zerklüftet ist. Flüssigkeiten mit ihren Schadstoffen könnten dadurch schnell bis zum Talgrund abfließen und dort eventuell die Wasserversorgung gefährden. Die bisherige Dreikammerkläranlage von 11m^3 Inhalt (Abbildung 6.3) wurde saniert und mit einem mehrstufigen Pflanzenfilterbeetsystem zur biologischen Reinigung bei gleichzeitig gesteuerten Kreislaufführungen ergänzt. Zwei dieser Kreislaufführungen erfolgen über eine Kiesbett-Nachreinigung, so dass nun nach vollständigem Reinigungsdurchlauf eine ausreichende Ablaufqualität gewährleistet ist.

Die Abwasserreinigungsanlage der Ostpreußenhütte, wie sie nach der Sanierung besteht, ist in Abbildung 6.2 dargestellt.

6.2 Reststoffbehandlung

6.2.1 Aufbau der Filtersackanlage

Die Anlage zur weiteren Behandlung der Reststoffe ist in einem eigenen abschließbaren, luftdurchlässigen Holzanbau (vgl. Abbildung 6.4) untergebracht. Der Holzanbau hat die Abmessungen: 200cm Höhe, 400cm Länge und 150cm Tiefe.

Die Filtersackanlage besteht aus sieben Filtersäcken. Je ein Filtersack besteht aus drei Lagen; die innerste Lage ist Jutesackgewebe, die mittlere und äußere Lage Kartoffelsackgewebe (Raschelsack). Das Volumen eines einzigen Filtersackes beträgt ca. 60 Liter. Am Befüllungsstutzen (Durchmesser 17cm) sind die Säcke mit Kabelbindern befestigt. Der Befüllungsstutzen selbst ist am senkrechten Ende um 90° abgewinkelt, so dass die Säcke bei der Befüllung nicht nach unten abrutschen können. Der Befüllungsstutzen und die Zulaufrinne sind miteinander verschweißt. Das Material ist Hartkunststoff.

Unter den Säcken befindet sich ein mit schwerer PE-Teichfolie ausgekleidetes Holzbassin mit Auslauf. Die Maße des Holzbassins sind ca.: 50cm Höhe, 70cm Tiefe und 400cm Länge.



Abbildung 6.3: Sanierte Dreikammergrube der Ostpreußenhütte [Foto F.Schönherr 2007]



Abbildung 6.4: Holzanbau der Filtersackanlage [Foto F.Schönherr 2007]



Abbildung 6.5: Zulauftrinne während der Beschickung am 31.10.2007 [Foto F.Schönherr 2007]

6.2.2 Beschreibung der Verfahrenstechnik

Die Zulauftrinne wird händisch über einen Schlauch (Durchmesser 1 Zoll) mit den abgesetzten Reststoffen aus der Dreikammergrube befüllt. Die einzelnen Kammern werden zuvor mit einem separaten Rührer durchmixt, um die Pumpfähigkeit der Reststoffe sicher zu stellen. In der Zulauftrinne fließen die Reststoffe zunächst in den ersten Sack und dann, wenn dieser voll ist, über in den zweiten Sack, dann in den dritten usw..

Durch die Entwässerung der Reststoffe aufgrund der Filterwirkung der Filtersäcke tropft das Schlammwasser in das ausgekleidete Holzbassin. Über den im Boden eingelassenen Auslauf (KG-Rohr) wird das Schlammwasser wieder zurück in die Vorreinigung geleitet. Damit eine gute Austrocknung sowie Ausfrierung gegeben ist, ist der Holzanbau notwendig um vor Witterung und Manipulation (Gäste, Wild) zu schützen. Die ausreichende Belüftung ist durch Lücken zwischen den Brettern sichergestellt.

6.2.3 Investitionskosten der Anlage

Für die Errichtung der Filtersackanlage mit der Einhausung fielen Investitionskosten in Höhe von etwa 7300 Euro an. Abbildung 6.6 zeigt den Anteil der Kosten an den Gesamtkosten.

6.3 Probenahme und Analyseergebnisse

6.3.1 Vorarbeiten zur Befüllung

Vor dem Befüllen der Filtersäcke wurde der Inhalt der Mehrkammergrube vollständig durchmischt, damit die Reststoffe pumpbar sind. Damit wurden gleichzeitig Faser- und

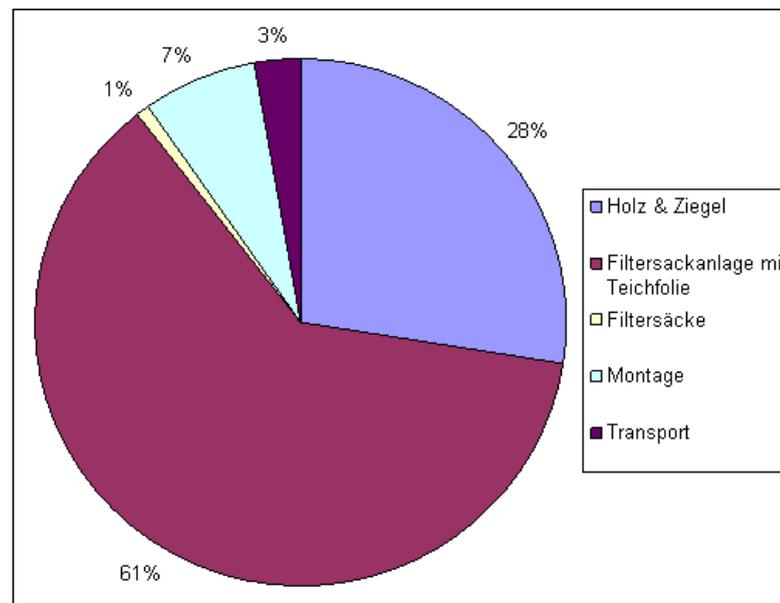


Abbildung 6.6: Anteil einzelner Investitionskosten am Bau der Filtersackanlage

Störstoffe verhäckselt, welche die Pumpe verstopfen könnten. Für die Durchmischung wurde ein auf der Hütte befindender Quirl in die Mehrkammergrube gesenkt, der die Inhaltstoffe etwa 15 Minuten aufrührte und so eine fließfähige, pumpbare Substanz schuf.

6.3.2 Beschickung der Filtersackanlage

Die Beschickung der Filtersackanlage erfolgte mittels einer Pumpe, die an den Beschickungsschlauch für die Zulaufrinne angeschlossen wurde. Abbildung 6.7 zeigt die Filtersackanlage bei der Beschickung am 31.10.2007. Der Ansaugpunkt für die Reststoffe lag am Ende eines starren gusseisernen Rohres (Durchmesser ein Zoll) in der Mehrkammergrube in etwa zwei Meter Tiefe.

Die Pumpenleistung zur Überwindung der Förderhöhe war ausreichend. Wie in der Planung vorgesehen, wurden die sieben Säcke (Füllvolumen je Sack ca. 60 Liter) nacheinander befüllt. Unmittelbar mit der Beschickung trat fast gleichzeitig Filtratwasser aus den Säcken aus und rann in die Mehrkammergrube zurück. Nachdem alle Säcke und die Zuführungsrinne befüllt waren, wurde die Pumpe ausgeschaltet. Es wurde sowohl der Zulauf in die Säcke, sowie in fünfminütigen Abständen das Filtratwasser des ersten Sackes beprobt. Nach etwa einer halben Stunde waren sämtliche Säcke noch etwa halb gefüllt; nur noch Rinnsale an Filtratwasser traten aus den Säcken aus. Die Pumpe wurde erneut eingeschaltet, um die Säcke wieder zu füllen. Während der zweiten Beschickung wurde ebenfalls der Zulauf in die Säcke beprobt und das austretende Filtratwasser aus Sack 3. Die Analyseergebnisse sind in Tabelle 6.1 aufgeführt.

Tabelle 6.1: Analysen der Reststoffe am 31.Oktober 2007

Probe	Zeit	Bezeichnung	pH [-]	GV [%]	TR [%]	TKN [mg/l]	NH ₄ - N [mg/l]	P _{ges,roh} [mg/l]
1	10:58	Zulauf Filtersackanlage (1.Beschickung)	6,31	90,0	1,2	546	280	81
2	10:55	Ablauf Filtersack 1	6,15	71,4	0,3	413	259	67
3	11:00	Ablauf Filtersack 1	6,33	61,3	0,2	361	266	59
4	11:05	Ablauf Filtersack 1	6,43	62,9	0,2	350	266	58
5	11:15	Ablauf Filtersack 1 (11:10-11:17)	6,48	57,4	0,2	357	266	86
6	11:20	Zulauf Filtersackanlage (2.Beschickung)	6,14	89,7	1,4	574	284	110
7	11:40	Ablauf Filtersack 3	6,41	58,2	0,2	343	273	55

Tabelle 6.2: Analysen der Reststoffe am 10.Juni 2008

Probe	Zeit	Bezeichnung	pH [-]	GV [%]	TR [%]	TKN [g/Kg]	NH ₄ - N [mg/Kg]	P _{ges,roh} [g/Kg]
1	12:10	oberer Sackrand	7,2	94,3	73,2	11,0	52	1,21
2	12:15	Filtersack 1	7,6	93,8	25,7	16,4	35	1,76
3	12:25	Filtersack 2	7,6	91,3	24,0	18,8	29	1,92



Abbildung 6.7: Filtersackanlage bei der Beschickung am 31.10.2007 [Foto F.Schönherr 2007]

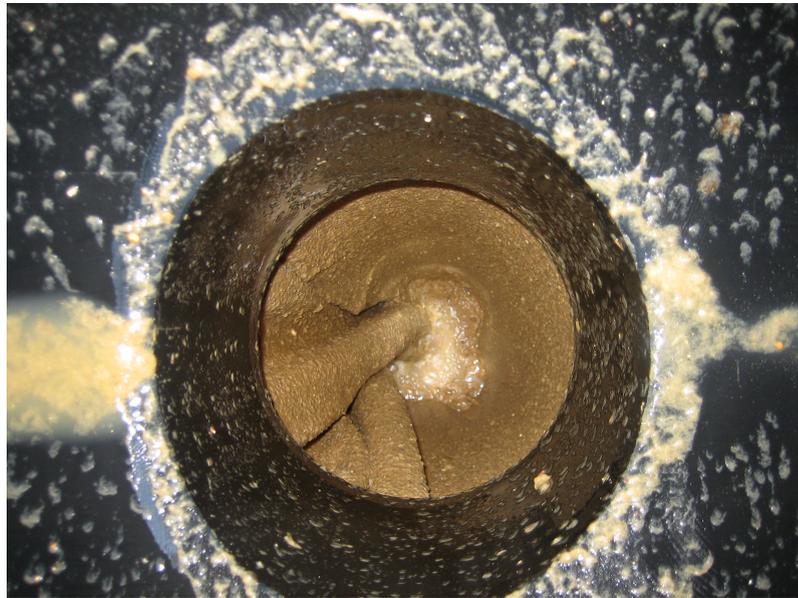


Abbildung 6.8: Blick in einen Filtersack unmittelbar nach der ersten Beschickung am 31.10.2007 [Foto F.Schönherr 2007]

6.4 Beurteilung der Reststoffbehandlung

6.4.1 Beurteilung der Analysen vom 31. Oktober 2007

Die Messergebnisse zeigen eine Filterwirkung der Säcke. Der Glühverlust reduzierte sich von 90% auf 57,4%. Auch beim Trockenrückstand ist ein Rückgang zu verzeichnen. Hinzu kommt, dass sich die Messergebnisse stabil bei einem TR-Gehalt von 0,2% einstellen. Ebenfalls stabil scheint sich der Ammoniumstickstoffgehalt bei 266 mg/l einzustellen (siehe Probe 3, 4 und 5).

Eine Änderung des pH-Wertes wurde nicht erreicht. Ebenso konnte ein Einfluss des gefilterten Schlammwassers (durch Rücklauf in die Vorklärung) auf die Eigenschaften der Reststoffe im Zulauf der Filtersackanlage nicht beobachtet werden (siehe Probe 1 und Probe 6 in Tabelle 6.1).

Bei der ersten Beschickung konnte nach übereinstimmender Beurteilung vierer Personen, allerdings ohne eine Messung vorzunehmen, festgestellt werden, dass die austretende Filtratwassermenge allmählich nachließ. Damit verbunden schien auch die Belegung der Innenseite der Jutesäcke zuzunehmen, sowie der Pegelstand in den Säcken abzunehmen.

Bei der zweiten Beschickung trat weit weniger Filtratwasser aus, als bei der ersten Beschickung. Dies könnte an der vorhandenen Belegung der Innenseite der Jutesäcke liegen. Die Messergebnisse der Probe 7 lassen darauf schließen, dass mit zunehmender Belegung der Säcke auch deren Filterleistung (Rückhalt von Feststoffen) steigt. Dies muss jedoch noch mit einer weiterführenden Beprobung verifiziert werden.

Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass der Rückhalt der Trockenmasse bei über 90% liegt und dass die Organik der Trockenmassen ebenfalls mit mehr als 90% zurückgehalten wird. Bei TKN, NH_4N und Pges kann mit einem Rückhalt größer 50%

gerechnet werden. 90% des Ammoniums werden wieder zurück in die Mehrkammergrube geführt.

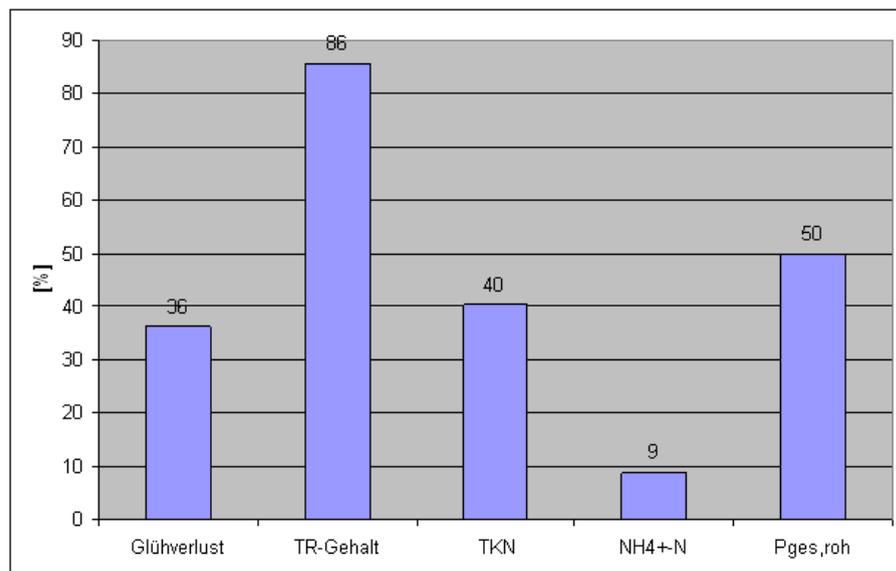


Abbildung 6.9: Rückhalt der Filtersackanlage

6.4.2 Beurteilung der Analysen vom 10. Juni 2008

Bei der Ortsbegehung am 10. Juni 2008 waren die im Herbst 2007 beschickten Säcke zwischenzeitlich abgehängt worden. Eine weitere Beschickung fand nicht statt. Die Säcke wiegen alle zwischen 9 und 12 Kg.

Entlang der inneren Seite des Jutesackmaterials befindet sich im oberen Sackbereich eine pappmascheeartige Schicht (Probe 1 in Tabelle 6.2), die ein bis zwei Zentimeter dick ist und sich durch einfache Handbewegungen bzw. Bewegungen des Sackes vom Jutegewebe lösen lässt. Diese pappmascheeartige Schicht besitzt einen sehr geringen Wasseranteil (26,8%) und hebt sich optisch vom übrigen Sackmaterial ab.

Im unteren Sackbereich befinden sich die entwässerten Reststoffe. Auch dieser lässt sich gut vom Jutesackgewebe lösen und ist teilweise zur Kugelform zusammengerollt. Der Wassergehalt beträgt, wie aus den Proben 2 und 3 der Tabelle 6.2 ersichtlich ist, zwischen 74 bis 76 %. Verglichen mit den Werten aus Tabelle 6.1 hat sich der Wasseranteil in den Reststoffen deutlich reduziert. Unangenehme Gerüche sind keine auszumachen, so dass eine stattfindende Faulung ausgeschlossen werden kann. Darauf deuten auch die gemessenen pH-Werte der Reststoffe hin; sie liegen alle über pH 7,0.

6.4.3 Bemessungsgrundlagen

Für die Dimensionierung der Filtersackanlage sollte nicht von den Daten für die Auslegung der Kläranlage, sondern von der tatsächlichen, durchschnittlichen Gästefrequentierung (plus Sicherheitszuschlag) ausgegangen werden.

Die Anzahl der Gäste der letzten Saison 2007 stellte sich wie folgt dar: 3500 Tagesgäste, 700 Übernachtungsgäste und hochgerechnet auf die Saison 500 (2,5 Personen auf 200 Tage) ständig anwesende Personen (Personal).

Die Umrechnung der Personenanzahl auf die bemessungstechnische Größe EW_{60} erfolgt nach Tabelle 3 aus dem ÖWAV-Regelblatt 1 [36].

Die sich danach ergebende saisonale Belastung der Kläranlage ist pro Saison mit

$$[3500EW_{60} \cdot \frac{3}{12} + 700EW_{60} \cdot \frac{11}{12} + 500EW_{60} \cdot 1 = 2017EW_{60}$$

zu veranschlagen. Zudem sollte ein Sicherheitsaufschlag von ca. 20% berücksichtigt werden, um eventuelle saisonale Schwankungen nicht zu vernachlässigen.

Wird der Primärschlammfall nach IMHOFF [21] mit $35 \frac{gTR}{EW_{60} \cdot a}$ angesetzt, dann ergibt sich der Schlammfall je Saison:

$$(2017 \frac{EW_{60}}{a} \cdot 1,2) \cdot 35 \frac{gTR}{EW_{60}} = 85 \frac{kgTR}{a}$$

Bei einem Rückhalt von 85%, ergeben sich damit 12 Füllungen der Filtersackanlage.

6.5 Strategie für die Beschickung der Filtersackanlage

6.5.1 Optimierung der Verfahrenstechnik

Nimmt man die deutsche Norm DIN 4261-1 [12, Seite 11, Punkt 7.2] als Grundlage für eine Beschickungsstrategie, so ist die Mehrkammergrube zu entleeren, wenn diese zu 50% mit Schlamm gefüllt ist. Dabei ist der Zulauf, Überlauf und Ablauf von Schwimmschlamm freizuhalten.

“Mehrkammer-Absetzgruben sind nach Feststellung halber Füllung des Nutzvolumens mit Schlamm zu entleeren.” [12, Seite 11, Punkt 7.2]

Geht man davon aus, dass der Schlamm sich zum größten Teil in der ersten Kammer absetzt, so sollte dann eine Entleerung stattfinden, wenn das Schlammvolumen der ersten Kammer ca. $2,5 \text{ m}^3$ beträgt.

Der Wassergehalt der Primärschlammproben (Tabelle 6.1) lag bei 98,7%. Dieser relativ hohe Wert kam zustande, da der gesamte Inhalt der ersten Kammer ($5,5 \text{ m}^3$), vor der Beschickung, durchmischt wurde. Wenn jedoch vor der Beschickung der Filtersackanlage die Klarwasserschicht abgezogen werden würde, so wäre dadurch der Feststoffgehalt des Schlammes, welcher in die Filtersäcke gepumpt wird, höher.

Wenn eine Entleerung, nach DIN 4261-1 [12], bei einem Schlammvolumen von ca. $2,5 \text{ m}^3$ stattfindet, hat die Klarwasserzone ein Volumen von ca. 3 m^3 . Vor der Beschickung der Säcke sollte möglichst viel von der Klarwasserzone abgezogen werden. Werden beispielsweise $2,5 \text{ m}^3$ Klarwasser abgezogen, verdoppelt sich der TR-Gehalt auf 2,6%. Bei dieser Konzentration ist er weiterhin pumpfähig.

Geht man weiterhin von einem Feststoffrückhalt von 85% aus, entspricht das einem Rückhalt von 16 Kg pro Befüllung der Filtersackanlage. Das ergibt 6 Befüllungen der Anlage in einer Saison, um die anfallenden Feststoffe von 85 Kg abzufiltrieren. Jedoch wären pro Beschickung (3 in jeder Saison) 4 Befüllungen notwendig um die $2,5 m^3$ zu filtrieren ($\frac{2500l}{650l} \approx 4$).

Es ist zu Prüfen, ob sich bei verändertem Feststoffgehalt ein anderer/besserer Rückhalt einstellt.

6.5.2 Beschreibung der Beschickungsstrategie

Bei jeder Beschickung soll zuerst die Klarwasserzone, welche sich zwischen Schwimm- und Absetzschlamm befindet, abgezogen werden. Daraufhin ist der verbleibende Schlamm ausreichend zu verquirlen und größere Konglomerate zu zerkleinern

Unter Berücksichtigung des anfallenden Primärschlammes muss die Filtersackanlage pro Saison etwa 12-mal befüllt werden (Volumenreduzierung durch Belegung der Filtersäcke unberücksichtigt). Somit ergeben sich bei der Beschickung mehrere Möglichkeiten. Die Anlage könnte 12-mal beschickt werden mit jeweils einer Füllung, was einen hohen Arbeitsaufwand für das Hüttenpersonal bedeuten würde. Andererseits könnte sie auch mit 6 Beschickungen à 2 Befüllungen, 4 Beschickungen à 3 Befüllungen, 3 Beschickungen à 4 Befüllungen oder flexibel nach der saisonalen Auslastung betrieben werden.

Regelmäßige Beschickungen reduzieren den Arbeitsaufwand pro Beschickung (geringere Verfestigung der Schwimmschlammsschicht) und reduzieren damit den Zeitaufwand gegenüber Beschickungen, welche in größeren Zeitabständen erfolgen.

Es kann davon ausgegangen werden, dass durch die Trocknung und Ausfrierung des Schlammes in den Säcken, dieser einen Feststoffgehalt von ca. $250 \frac{kg}{m^3}$ erreicht (Tabelle 6.2). Somit müssen die Säcke ein Volumen von $85 \frac{kgTR}{a} / 250 \frac{kg}{m^3} = 0,34m^3$ vorhalten. Da dies gegeben ist ($7 \text{ Säcke} \times 60l = 0,42 m^3$), können die Säcke die gesamte Saison hängen bleiben und werden erst vor dem nächsten Saisonbeginn erneuert. Dadurch ist die größtmögliche Entwässerung sichergestellt. Die Entwässerung findet wie genannt durch Verdunstung im Sommer und durch Ausfrierung im Winter statt.

6.5.3 Weitergehende Maßnahmen

Die bei der Beprobung der Anlage gewonnenen Erkenntnisse zeigen, dass der Rückhalt von Feststoffen gut ist. Die Trübstoffe werden mit dem verwendeten Filtermaterial anfänglich nur schwach zurückgehalten. Mit ihrem Rückhalt ist erst ab einer gewissen Dicke des Filterkuchens zu rechnen, was die Dauer zwischen den Befüllungen erhöht. Falls die feinen Trübstoffe nicht abgefiltert werden, können sie sich in der Grube anreichern und eventuell über ihren Ablauf in die nachfolgenden Pflanzenbeete geraten. Um dies zu verhindern sollten die Filtersäcke mehrfach beschickt werden.

Sollte es nicht möglich sein, die Trübstoffe durch die Filtersäcke aus dem Abwasser zu entfernen, ist über weitergehende Maßnahmen nachzudenken. So könnte beispielsweise vor

den Ablauf des Auffangbehälters (für das aus den Säcken tropfende Filtrat) ein feinporiges Teichfließ/Geotextil angeordnet werden.

6.6 Fazit

Eine Filtersackanlage, wie sie auf der Ostpreußenhütte aufgebaut wurde, ist eine im Verhältnis kostengünstige und wartungsarme Möglichkeit, um Reststoffe zu trocknen und deren Volumen auf ein transportierbares Maß zu reduzieren.

Gerade für kleine Kläranlagen in exponierten Lagen ist es wichtig das Volumen der Schlämme so weit zu reduzieren, dass es durch Einzelpersonen abtransportiert werden kann. Wenn die Erfahrungswerte der ersten und zweiten Projektphase bestätigt werden, ist bei der Filtersackanlage eine ausreichende Volumenreduktion gegeben. Ebenfalls sind der nahezu wartungsfreie Betrieb und die geringen Betriebskosten (keine Stromversorgung der Anlage, es müssen lediglich neue Säcke beschafft werden) ein wichtiges Entscheidungskriterium für die Hüttenbetreiber.

Durch die „Vorverpackung“ der dann getrockneten Schlämme ergibt sich ein weiterer Vorteil. Die gefüllten Säcke lassen sich problemlos mit einem stabilen Plastiksack überstülpen und dann abnehmen, womit eine hygienische Handhabung gesichert ist, was den Transport erleichtert und den „Berührungsängsten“ des Personals mit Fäkalien entgegen wirkt.

Wichtiger jedoch sind die bei der ersten Beprobung der Anlage gewonnenen, relativ stabilen, Messergebnisse in Bezug auf die Leistungsfähigkeit der Filterstraße. Hier kann zusammenfassend davon ausgegangen werden, dass der Rückhalt der Feststoffe bei über 85% liegt und die Organik der Trockenmasse mit mehr als 35% zurückgehalten wird. Bei der Konzentration an Stickstoff (TKN) und Phosphor (P_{ges}) kann mit einem Rückhalt um 50% gerechnet werden. Ammonium wird zu rund 10% zurückgehalten. Dies entspricht den bereits gewonnenen Erfahrungswerten aus der ersten und zweiten Phase des Projektes [1; 2], sowie den Werten aus anderen Projekten wie beispielsweise dem EU Life Projekt [38].

Die voranstehend beschriebenen Ergebnisse zeigen, dass die Filtersackanlage die geweckten Erwartungen erfüllt. Die gewählte Größe der Filtersäcke ist zwar ausreichend für das anfallende Schlammvolumen, allerdings würden größere Säcke die Handhabung im gefüllten Zustand erleichtern. Durch die konsequente Anwendung der neu entwickelten Beschickungsstrategie wird die Leistungsfähigkeit der Anlage weiter steigen, wodurch die bisherigen Messergebnisse mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit bestätigt und übertroffen werden.

7 Pflanzenbeetanlage Stuttgarter Hütte

Die Behandlung von Klärschlamm in Pflanzenbeeten ist ein Verfahren zur Entwässerung und weitergehenden Mineralisierung von biologisch stabilisiertem oder teilstabilisiertem Schlamm. Durch die Behandlung bekommt der Schlamm eine erdähnliche Struktur, weshalb dieses Verfahren häufig auch als „Klärschlammvererdung“ bezeichnet wird.

Dennoch bleibt das Endprodukt Klärschlamm. Nach Ansicht des DWA-Fachausschusses AK 2 „Stabilisierung, Entseuchung, Konditionierung, Eindickung und Entwässerung von Schlämmen“ sollte deshalb der Begriff „Klärschlammvererdung“ möglichst nicht verwendet werden.

7.1 Lage und örtliche Verhältnisse der Stuttgarter Hütte

Die Stuttgarter Hütte der DAV-Sektion Schwaben liegt in Tirol 2310müNN am westlichen Rand der Lechtaler Alpen. Sie ist ausschließlich zu Fuß erreichbar. Der Aufstieg vom nächstgelegenen Ort Zürs dauert etwa zwei Gehstunden und vier Stunden von Steeg im Lechtal. Nördlich der Hütte, im Bereich der Vererdungsanlage, liegt eine etwa 15m breite Rinne, die sich zum Krabachtal zieht. Das Gefälle in diesem Bereich beträgt 20 bis 30%.

7.1.1 Baugrundverhältnisse

Nach Auskunft des Hüttenpersonals ist der anstehende Fels (Kalkstein) im Bereich der geplanten Vererdungsanlage von einer 30 bis 50 cm starken Bodenschicht überdeckt.

7.1.2 Niederschläge

Das Hochgebirgsklima ist von niedrigen Temperaturen und starken Niederschlägen geprägt. Die mittlere Niederschlagsmenge der Jahre 1961 bis 1990 in Zürs beträgt 1779mm pro Jahr; 1981 wurde die höchste jährliche Niederschlagsmenge mit 2300mm gemessen.

Auf einem schmalen Bergsattel zwischen dem Krabachtal und dem Pazüeltal gelegen, befindet sich die Stuttgarter Hütte - etwa 700 m oberhalb von Zürs - in einer Westwetterstaulage. Es ist davon auszugehen, dass hier die Niederschlagsmengen signifikant höher ausfallen als in Zürs und etwa 60 bis 70% des Niederschlages in Form von Schnee fallen.

7.1.3 Ausstattung der Hütte

Für Übernachtungen stehen auf der Stuttgarter Hütte 20 Betten und 50 Lagerplätze zur Verfügung. In einem separaten Nebengebäude sind weitere 12 Lager eingerichtet. Jährlich werden etwa 2300 Übernachtungen registriert und 2000 zusätzliche Tagesgäste geschätzt. Die Hüttenpächter Florian und Heidi Beiser haben bei gutem Wetter jährlich von Mitte

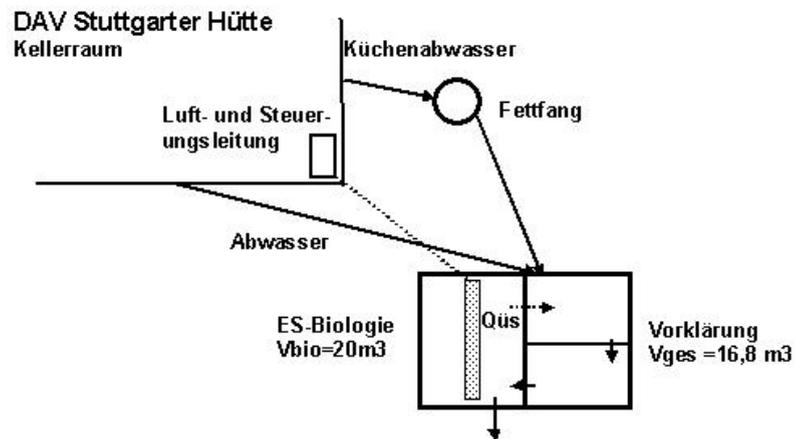


Abbildung 7.1: Fließschema der Abwasserreinigungsanlage verändert nach [38]

Juni bis Ende September (107 Tage) geöffnet. Die Ver- und Entsorgung erfolgt über eine Materialseilbahn. Die Hütte ist an das öffentliche Stromversorgungsnetz angeschlossen.

7.1.4 Abwassertechnische Anlage

Zur Reinigung des häuslichen Abwassers wurde bereits vor Projektbeginn die ehemalige Dreikammergrube mit einer biologischen Reinigung und vorgeschaltetem Fettfang nachgerüstet. Die kleinen Kammern (VKB1 + VKB2) mit insgesamt $16,8\text{m}^3$ Volumen dienen nun als Vorklärung und zur Speicherung des Primär- und Überschussschlammes. In der mit 20m^3 größten Kammer (SBR) erfolgt die biologische Reinigung des Abwassers nach dem Belebungsverfahren im Aufstaubetrieb. Das gereinigte Abwasser wird auf Vegetationsflächen im Hüttenumfeld verrieselt.

Für Umbau und Betrieb der Kläranlage liegt ein wasserrechtlicher Bewilligungsbescheid aus dem Jahre 1998 vor. Dabei wird von einer maximalen Belastung von 150EW_{60} entsprechend $9\text{KgBSB}_5/d$ ausgegangen. Der Schlamm (gemäß Bescheid maximal $8,0\text{m}^3/a$ bzw. $400\text{KgTM}/a$) darf außerhalb der Frostperiode auf Vegetationsflächen ausgebracht werden.

Nach Beendigung der Bewirtungssaison wird die Kläranlage über die Wintermonate stillgelegt. Dem belebten Schlamm werden Polymere zugegeben, um eine bessere Sedimentation zu erreichen. Anschließend wird das Überstauwasser abgepumpt. Die Schlämme aller drei Becken werden mittels einer Schneidradpumpe auf Flächen in der Umgebung der Hütte ausgebracht. Zuvor müssen Störstoffe (verfestigter Schwimmschlamm, kleine Zweige, Damenbinden, u. Ä.) des Primär- und Überschussschlammes im ersten Vorklärbecken mit einem Mixer zerkleinert werden.

7.2 Verfahrenstechnik von Pflanzenbeetanlagen mit Grasbepflanzung zur Behandlung fließfähiger Schlämme

7.2.1 Allgemeine Beschreibung der Verfahrenstechnik

Derzeit werden zwei verschiedene Verfahren der Klärschlammbehandlung in Pflanzenbeeten großtechnisch eingesetzt.

Die bekanntere und in der Literatur mehrfach beschriebene Variante ist das Nassverfahren mit Schilfbewuchs. Sie ist im Hochgebirge nicht einzusetzen, da einerseits das Schilf in diesen Höhen nicht mehr wächst und andererseits eine vegetationsuntypische Pflanze angesiedelt werden würde.

Das zweite, weniger weit verbreitete und entsprechend wenig beschriebene Verfahren ist das der so genannten „Klärschlammvererdung im sequentiellen Trockenverfahren“. Die folgende Verfahrensbeschreibung gilt für die Behandlung im Tiefland, die für das Hochgebirge erforderlichen Modifikationen werden im Kapitel "Verfahrensmodifikation" beschrieben. Die Pflanzenbeetanlage besteht aus einem gegen das Erdreich abgedichteten Polder (Beet) mit Vertikal- und Horizontaldrainagen, welche in der Kiesschicht verlaufen. Die Schlammeinbringung ist durch eine ausgeprägte Zyklusfolge gekennzeichnet.

Zu Beginn der Behandlung wird Schlamm in die Anlage gefüllt. Anschließend erhält er einige Wochen Zeit, um über Drainage und Verdunstung so weit zu entwässern, dass eine Graseinsaat erfolgen kann. Das Gras dient der weiteren Entwässerung und Auflockerung des Schlammes. Nach wenigen Wochen bildet sich eine relativ artenreiche Biozönose, die bereits höhere Bodenbewohner wie beispielsweise Regenwürmer aufweisen kann. Bei Erreichen eines bestimmten Mineralisierungsgrades wird die Anlage, welche bis zu diesem Zeitpunkt nicht beschlammte wurde, also „trocken“ betrieben wurde, mit einer neuen Lage Schlamm beaufschlagt, die auf die erste Lage aufgebracht wird. Ein Zyklus dauert, abhängig von den klimatischen Randbedingungen, etwa 3 bis 9 Monate. Nach 3 bis 5 Zyklen wird der getrocknete Schlamm entnommen.

In Abbildung 7.2 ist die Zyklusfolge der Klärschlammbehandlung im sequentiellen Trockenverfahren schematisch dargestellt. Die untere Schicht stellt die Drainage aus Kies (2) dar. Zum Erhalt der Drainagewirkung wird üblicherweise eine Sandschicht (3) über der Kiesschicht eingebaut, die eine Verlagerung von Schlammteilchen in die Kiesschicht minimieren soll.

In der ersten Hälfte des ersten Zyklus ist der aufgebrachte Rohschlamm hellbraun dargestellt (4). Die Menge reduziert sich allmählich durch Entwässerung und Organikabbau, während das Gras (6) wächst. Der mineralisierte Schlamm (Substrat) ist ab der zweiten Hälfte der Zyklen dunkelbraun dargestellt (5). Im zweiten Zyklus wird der Rohschlamm (hellbraun) auf der verbleibenden Schicht des ersten Zyklus aufgebracht. Der nach der Behandlung übrig bleibende Klärschlamm ist wieder dunkelbraun dargestellt. Dieses Vorgehen wird mehrfach wiederholt bis der Polder geräumt wird.

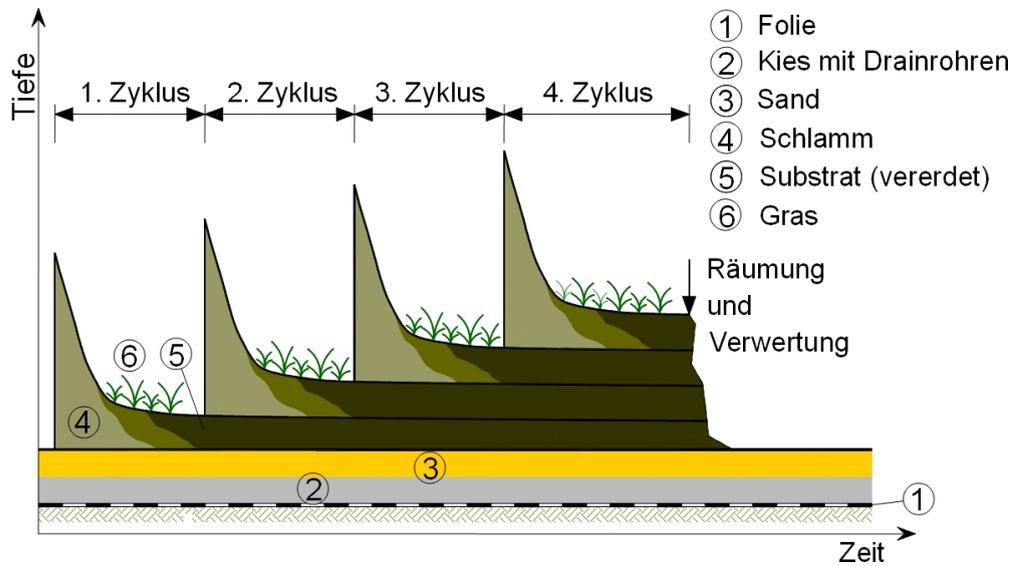


Abbildung 7.2: Aufbau und Betrieb von Pflanzenbeeten mit Grasbepflanzung [27]

Die Auslegung erfolgt üblicherweise auf eine Flächenbelastung von $40 \text{ kgTM}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Diese Menge wird in der Regel auf zwei Zyklen aufgeteilt [27]. Zudem sollte das gesamte Füllvolumen der Anlage so gewählt werden, dass oberhalb der momentanen Schlamm-schicht neuer Schlamm eingefüllt werden kann und ein ausreichender Freibord eingehalten bleibt.

Die Ingenieurbüro Pabsch & Partner GmbH hat das Verfahren der „Klärschlammvererdung im sequentiellen Trockenverfahren“ unter der Patentnummer AT000000216355E in Österreich patentieren lassen.

7.2.2 Verfahrensmodifikationen für den Einsatz im Hochgebirge

Die wesentlichen Modifikationen für die Schlammbehandlung in Pflanzenbeetanlagen im Hochgebirge gegenüber dem Tiefland werden durch das ungünstigere Klima und die saisonale Betriebsweise der Kläranlage bedingt. In der alpinen Lage sind die Vegetationsperioden kürzer, die durchschnittlichen Temperaturen tiefer und die jährlich fallenden Niederschlagsmengen signifikant höher; zudem fällt der überwiegende Teil des Niederschlags in Form von Schnee.

Zur Verbesserung der Ableitung von Oberflächenwasser nach Regenfällen oder während der Schneeschmelze sind Vertikaldrainagen, die über die Schlamm-schicht hinausragen, sinnvoll. Ihre Anzahl wurde gegenüber Anlagen im Tiefland erhöht.

Da die biologische Aktivität mit geringerer Temperatur deutlich abnimmt (in eigenen Versuchen wurde eine Reduzierung der Umsatzgeschwindigkeit um zwei Drittel bei einem Rückgang der Temperatur von 20°C auf 10°C ermittelt), muss die Flächenbelastung erheblich reduziert werden. Es soll von einer Flächenbelastung von $10 \text{ KgTM}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$

ausgegangen werden.

Aufgrund der kurzen Vegetationsperiode ist maximal nur ein Zyklus pro Jahr möglich. Dieser beginnt mit der Beschickung der Anlage nach Beendigung der bewirtschafteten Saison. Es muss der gesamte Schlamm eines Jahres während einer Beschickung in dem Beet untergebracht werden können.

Über die Wintermonate ist die Pflanzenbeetanlage vollständig und dauerhaft mit Schnee bedeckt; der Schlamm im Polder friert durch. Bis zum Beginn der nächsten Bewirtschaftungsaison ist der Schlamm soweit entwässert, dass die Einsaat erfolgen kann.

7.2.3 Bemessung der Pflanzenbeetanlage

Aus früheren Untersuchungen, welche im Rahmen des EU-Projektes „Technologievergleich und Ökobilanz von Abwasserreinigungsanlagen in alpinen Extremlagen“ [38] durchgeführt wurden, ist die biologische Belastung der Kläranlage bekannt. Gemäß diesen Angaben ist mit einer mittleren Abwasserbelastung von $37EW_{60}$ auszugehen.

Ergänzt um die Dauer des Hüttenbetriebes (107 Tage) und den Standardwert von $80gTM/(E \cdot d)$ für gemischten Vorklär- und aerob behandelten Überschussschlamm [21] ergibt sich daraus ein Feststoffanfall von $317KgTM/a$.

Dazu ist zu bemerken, dass der spezifische Schlammanfall auf eine höhere Reinigungsleistung bezogen ist, als sie im Hochgebirge erreicht werden kann. Der angegebene Schlammanfall beinhaltet somit eine Reserve.

Da bei der Entleerung das erste Vorklärbecken weitgehend durchmischt wird, muss der gesamte Schlamm eines Jahres während einer Beschickung in dem Beet untergebracht werden können. Dabei ist nicht von dem in dem Bau- und Betriebsbewilligungsbescheid angegebenen Schlammanfall von $8,0m^3$ auszugehen, sondern von dem Gesamtvolumen der Vorklärung, das sind $16,8m^3$. Zuzüglich fällt etwa $2m^3$ sedimentierter belebter Schlamm (36,9KgTS bei 2% TS) aus dem Biologiebecken an. Insgesamt sollte also von $19m^3$ Schlamm ausgegangen werden, der jährlich zur Behandlung im Pflanzenbeet anfällt.

Die erforderliche Grundfläche des Pflanzenbeetes berechnet sich aus der anfallenden Feststoffmenge ($317KgTM/a$) und der zulässigen Flächenbelastung von $10KgTM/(m^2 \cdot a)$. Die Fläche beträgt $31,7m^2$.

Das erforderliche Volumen des Polders zur Aufnahme des Schlammes muss oberhalb der Schicht der bereits eingebrachten Lagen vorhanden sein, für die eine Stärke von 20 cm (entspricht in etwa der Schichtdicke nach drei bis vier Zyklen) angenommen wird. Aus der Grundfläche, den gewählten Böschungsneigungen von 1:1 bzw. 1:2 und der Berücksichtigung eines ausreichenden Freibords ergibt sich eine Höhe von 70 Zentimetern oberhalb der Sandschicht.

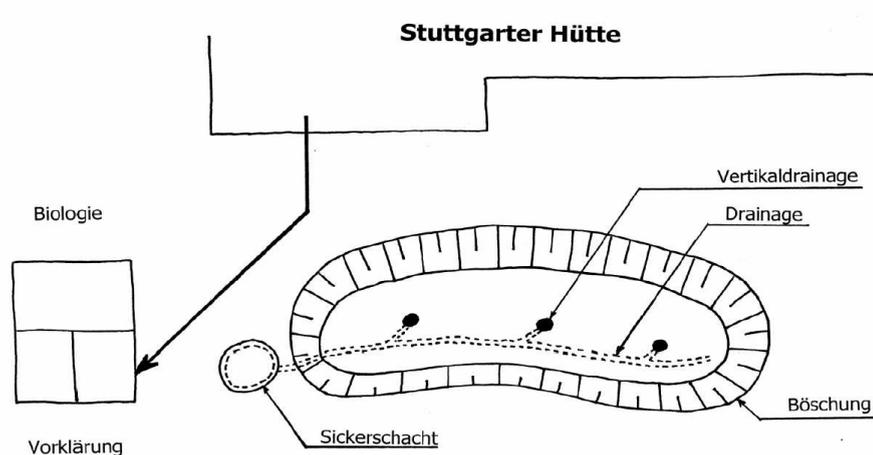


Abbildung 7.3: Lage der Elemente von Abwasserreinigung und Klärschlammbehandlung der Stuttgarter Hütte

7.2.4 Bauausführung

Nach Beendigung des Hüttenbetriebes wurde die Kläranlage der Stuttgarter Hütte Ende September 2004 außer Betrieb gesetzt. Der Schlamm wurde in den drei Kammern belassen; das Überstauwasser abgepumpt.

Die Pflanzenbeetanlage wurde vom 22. bis 24. Oktober 2004 nach den genannten Ausführungen mit verkleinerter Grundfläche erbaut. In Abbildung 7.3 sind die wesentlichen Komponenten und ihre Anwendung dargestellt.

Die Pflanzenbeetanlage besteht aus einem Polder (Beet), Horizontal- und Vertikaldrainagen und einem zwischen Pflanzenbeet- und Kläranlage angebrachten Sickerschacht, wo das gesamte Sickerwasser der Anlage gesammelt und zurück in die Kläranlage geleitet wird. Der Schacht ist etwa 40 Zentimeter tief.

Am linken Rand des Polders ist eine Überlaufmulde in der Böschung. Hierdurch wird die vorgesehene 70 Zentimeter Füllhöhe nicht durchgehend eingehalten und so das nutzbare Volumen reduziert. Zudem hat der Polder mit ca. 22m^2 eine geringere Grundfläche als die geplanten 32m^2 , was die Flächenbelastung erhöht.

7.3 Erkenntnisse aus Phase 2 und Zielsetzung für die Untersuchungen in Phase 3

Im Rahmen der zweiten Phase wurde eine Pflanzenbeetanlage auf der Stuttgarter Hütte errichtet und betrieben. Mit der Anlage konnte der Wassergehalt des eingebrachten Mischschlammes von 98% auf bis zu 70% gesenkt werden. Hinsichtlich des Grads der Mineralisierung zeigte sich eine offensichtliche Abhängigkeit vom Grad der Wurzelbildung der eingesäten Gräser. Während im ersten Zyklus bei nur schwacher Wurzelbildung fast

keine Senkung des Glühverlustes messbar war, sank dieser bei mäßiger Durchwurzelung im zweiten Zyklus dagegen von 86 auf 62% ab. Weitere Versuchsreihen, wie beispielsweise durch Variation der Aussaat verschiedener Grassamenarten, ergaben keine wesentliche Unterschiede hinsichtlich der Behandlungsziele Entwässerung und Mineralisierung.



Abbildung 7.4: Bepflanzung der Gräser in der Pflanzenbeetanlage. Das linke Bild ist vom September 2005 [Foto F.Schönherr (2005)], das rechte Bild vom September 2006 [Foto F.Schönherr (2005)]

Aufgrund der Erfahrungen aus Phase 2, ergeben sich weiterführende Fragestellungen, um den Einsatz von Pflanzenbeeten zur Klärschlammbehandlung im Hochgebirge abschließend bewerten und empfehlen zu können.

- Wie wirkt sich eine Verdopplung der Flächenbelastung auf die Entwässerung aus?
- Verbessert sich die Durchwurzelung des Schlammkörpers der Gräser bei einer zweijährigen Vegetationsperiode? kann hierdurch der Grad der Entwässerung und der Mineralisierung erhöht werden?

Die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen sind für wirtschaftliche Gesichtspunkte für den Betrieb von Pflanzenbeetanlagen bedeutsam. Einerseits spart eine möglichst kurze Zyklusdauer Polderfläche bzw. -größe und damit Investitionskosten; andererseits kann eine längere Zykluszeit die Behandlungsziele verbessern.

7.4 Untersuchungen und Ergebnisse

Nach Beendigung der Hüttensaison 2006 wurden die Rohschlämme aus der Abwasserreinigungsanlage im Oktober 2006 auf nur eine Pflanzenbeethälfte gebracht, um die Auswirkungen einer erhöhten Flächenbelastung und einer längeren Zykluszeit zu untersuchen.



Abbildung 7.5: Pflanzenbeetanlage der Stuttgarter Hütte am 1.8.2007 [Foto F.Schönherr 2007]. Die letztjährig nicht beschickte Polderhälfte ist im Vordergrund zu sehen.

Für die Untersuchungen blieb die südliche Polderhälfte (das ist die rechte Polderhälfte in Abbildung 7.3) schlammfrei. Die nördliche Hälfte wurde hingegen mit der gesamten Rohschlammmenge beaufschlagt. Sie wurde bei der Ortsbegehung (5. Juni 2007) zunächst vom noch vorhandenen Schnee geräumt und dann eingesät. Der Schlamm wurde hierzu zunächst mit einer Harke aufgeraut, danach der Samen aufgebracht und anschließend glatt gestrichen.

Nach der Einsaat im Juni fiel Anfang Juli erneut Schnee, so dass der Polder erst Mitte Juli komplett schneefrei war. Die Vegetationsperiode der Saison 2007 war somit von Mitte Juli (Polder schneefrei) bis Mitte September (erneute Beschickung) überaus kurz.

7.4.1 Visuelle Beobachtungen bei der Ortsbegehung am 1.8.2007

Vom seitlichen Rand her ist der Polder gut eingewachsen; umgebende Gräser zieren die Rand- und Böschungflächen. Äußerlich sind keine Feuchtigkeitsunterschiede zwischen der letztjährigen und vorletztjährigen Beschickung zu erkennen. Farblich jedoch ist die letztjährig beschickte Fläche des Polders wesentlich heller, (ockerfarben bis gräulich) als die letztjährig nicht beschickte Fläche, die dunkelbraun bis schwärzlich gefärbt ist und bereits erdähnliches Aussehen und erdähnliche Struktur (Krümel) besitzt.

Die 2006 ausgesäten Gräser in der letztjährig nicht beschickten Polderhälfte sind weitestgehend noch vorhanden. An einigen Stellen jedoch, ist kein Bewuchs auszumachen.

Die Schlammschicht der letztjährig nicht beschickten Polderhälfte ist sehr dünn. Die Dicke beträgt nur 3-4 Zentimeter. Der Bewuchs hier ist recht ordentlich und optisch ver-

gleichbar mit dem rechten Bild aus Abbildung 7.4; die vorhandenen Gräser sind ca. 20-25 Zentimeter hoch und sehr gut mit der gesamten Schlammschicht verwurzelt.

An vereinzelt Stellen im Randbereich ist die Schlammschicht merklich dicker (7 – 9cm) und weist erdähnliche Konsistenz auf (vgl. Probe 3 in Tabelle 7.1). Hier ist die Einsaat sehr gut aufgegangen und hier überaus dicht; auch die Wurzelbildung ist hier am ausgeprägtesten.

Auf der letztjährig beschickten Polderhälfte sind erneut (wie auch schon in Phase 2 beobachtet und beschrieben wurde) großflächig pappmascheeartige, stark verfestigte Flächen sichtbar, deren Struktur auf Toilettenpapier schließen lässt.

Nur 1-2 Zentimeter ist die eigentliche Schlammschicht dick. Sie ist erst nach der Entfernung der pappmascheeartigen Schicht zu erkennen. Zwischen diesen Schichten hat sich inzwischen großflächig Schimmel ausgebreitet.

Aufgegangen und angewachsen ist die Saat nur teilweise und nur an vereinzelt Stellen. Dort wo sie aufgegangen ist, ist sie gut angewachsen und bereits passabel durchwurzelt. Spärlich jedoch sind die bewachsenen Flächen; sie betragen in etwa nur 5-10% dieser Polderhälfte. Die Saat ist nur an Stellen, wo die pappmascheeartige Schicht Risse bekam aufgegangen. Es sind noch viele nicht gekeimte Samen zu erkennen.

7.4.2 Ergebnisse von Laboranalysen

Im Zuge der Ortsbegehungen wurden Proben der Reststoffe im Polder genommen und im Labor des Instituts für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr analysiert. Die Ergebnisse dieser Analysen sind in Tabelle 7.1 dargestellt.

Tabelle 7.1: Analysen der Mischschlammgemische in der Pflanzenbeetanlage der Stuttgarter Hütte

Nr.	Datum	pH-Wert [-]	GV [%]	TR-Gehalt [%]	TKN [g/KgTM]	NH ₄ – N [g/KgTM]	P _{ges,roh} [g/KgTM]
1	01.08.07	6,8	67,3	31,8	32,7	0,1	6,8
2	01.08.07	5,7	79,1	30,8	22,2	0,4	3,1
3	01.08.07	6,7	46,2	32,2	21,7	0,1	4,2
4	25.09.07	6,3	82,2	5,3	46,2	1,5	14,1
5	25.09.07	6,3	82,3	5,2	45,6	1,6	14,9
6	03.07.06	6,5	72,0	27,1	23,2	0,2	5,8
7	07.09.06	7,1	62,6	30,0	24,8	0,2	5,0

Probe 1 entstammt der südl. Hälfte

Probe 2 entstammt der nördl. Hälfte unter Pappmascheschicht

Probe 3 entstammt den dickeren Schlammschichten am Rand

Probe 4 ist eine Mischprobe aus der nördl. Hälfte nach erneuter Beschickung

Probe 5 ist eine Mischprobe aus der südl. Hälfte nach erneuter Beschickung

Proben 6 & 7 sind Referenzproben aus 2006 von Mischroben

Die Ergebnisse der Analysen der Schlammproben aus Tabelle 7.1 lassen folgende Erkenntnisse zu:

- Die ähnlich großen TR-Gehalte (nur 1% Unterschied) der Proben vom 01.08.07 bestätigen die vorher beschriebene visuelle Beobachtung, der ähnlichen Feuchtigkeitsverhältnisse im Pflanzenbeet.
- Der pH-Wert der Reststoffe unter der Pappmascheeschicht ist mit 5,7 am niedrigsten und im sauren Bereich. Dies könnte auf Hydrolyseprozesse hinweisen, die entstehen, wenn keine aeroben Zustände mehr vorherrschen.
- Die Analysewerte der Reststoffe aus der letztjährig nicht beschickten Polderhälfte vom 1.8.07 sind in ähnlicher Größenordnung wie die Analysen vom 3.7. und 7.9.06. Offensichtlich pendeln sich TR-Gehalte und Glühverluste bei dem eher spärlichen Bewuchs auf diesem Niveau ein. Wäre dies der Fall, so brächte eine verlängerte Zykluszeit keine besseren Behandlungsergebnisse.
- Demgegenüber zeigt der Schlamm in den dickeren Schichten mit gutem Bewuchs und ordentlicher Durchwurzelung den geringsten Glühverlust (46,2%). Setzt man einen anfänglichen gleichen Wert voraus, so ist hier der Grad der Mineralisierung der Reststoffe am weitesten vorangeschritten.

7.4.3 Interpretation der Untersuchungsergebnisse

Für das Zustandekommen der pappmascheeartigen Schicht sind vermutlich Dichteunterschiede zwischen ihren Strukturstoffen (Toilettenpapier) und den Partikeln der restlichen Primärschlammfraktion verantwortlich. Vor dem Einbringen des Primärschlammes in den Polder wird dieser durchmischt; vorhandene Störstoffe werden verhäckselt. Im Polder sedimentieren dann die dichteleichteren Papierstoffe langsamer und bilden so allmählich die beobachtete Pappmascheeschicht aus.

Die dünne pappmascheeartige Schicht, welche weite Polderflächen bedeckt, ist großen Feuchtigkeitsschwankungen unterworfen. Bei mehreren aufeinanderfolgenden Sonnentagen trocknet sie rasch und stark aus. (Bei der Ortsbegehung am 21.6.2005 (Projektphase 2) wurde ein TR-Gehalt von 91% in der Pappmascheeschicht gemessen.) Bei Regen hingegen wird sie weich und nass. Das hat nachfolgend beschriebene Auswirkungen.

Zum Einen wird die schnell trocknende Pappmascheeschicht relativ fest ist und nur schwach luftdurchlässig. Damit wird die Feuchte in den tiefer liegenden Schichten am Entweichen gehindert, wodurch auch die Entwässerung des Gesamtschlammgemisches leidet. Zum Anderen ist wohl die mangelnde Luftdurchlässigkeit Ursache für die beobachtete Schimmelbildung unter der Pappmascheeschicht.

Für das Anwachsen der Gräser scheint die Pappmascheeschicht ungeeignet zu sein. Die in ihr eingesäten Samen sind nicht gekeimt. Lediglich an Stellen wo sich Risse gebildet haben, wachsen die Samen an. Ursache hierfür könnte eine Armut an Nährstoffen oder das starke Austrocknen sein.

Die Ausbildung der Pappmascheeschicht sollte unbedingt verhindert werden. So sollte

bei der Beschickung unbedingt darauf geachtet werden, dass auch der abgesetzte Belebtschlamm des Biologiebeckens mit in die Pflanzenbeetanlage eingebracht wird.

Einen deutlich höheren Mineralisierungsgrad der behandelten Reststoffe erscheint nur in den dickeren Schichten möglich. Vermutlich ist die Umsetzung der Stoffe auf die starke Durchwurzelung zurück zu führen, welche den Lufteintrag, der für die Mineralisierung unabdingbar ist, begünstigt. Die gute Durchwurzelung selbst, bedarf einer nicht zu trockenen Umgebung, welche wiederum nur die dickeren Schichten gewährleistet.

7.5 Ökonomische Bilanzierung

Die Aufwendungen für den Bau der Versuchsanlage im Oktober 2004 beliefen sich auf rund 9700 Euro brutto. Sie beinhalten den Einsatz von Arbeitsmitteln, Material-, Personal- und Transportkosten. Gegenüber Pflanzenbeetanlagen im Tiefland ist der Anteil der Transportkosten an den gesamten Baukosten höher.

Die Anteile der Herstellungskosten für die Pflanzenbeetanlage sind in Abbildung 7.6 dargestellt.

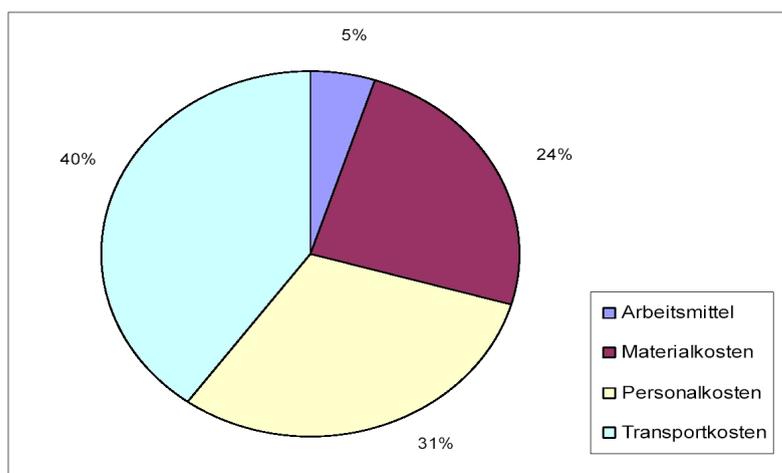


Abbildung 7.6: Verteilung der einzelnen Kostenarten an den Gesamtaufwendungen zum Bau der Versuchsanlage auf der Stuttgarter Hütte

7.6 Empfehlungen für den Betrieb von Pflanzenbeetanlagen mit Grasbepflanzung im Hochgebirge

Pflanzenbeetanlagen zur Behandlung von Klärschlamm können auch im Hochgebirge erfolgreich betrieben werden. Für Bau und Betrieb dieses Verfahrens sind allerdings besondere Voraussetzungen zu erfüllen.

Die Lage im Hochgebirge zwingt aufgrund kürzerer Vegetationsperioden, niedrigeren Durchschnittstemperaturen und höheren Niederschlagsmengen zu Verfahrensmodifikationen: Die Flächenbelastung sollte nicht mehr als $10 \text{KgTM}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ betragen und nicht mehr als ein Betriebszyklus pro Jahr vorgesehen werden. Zur besseren Ableitung von Regenfällen oder nach der Schneeschmelze sind zusätzliche Vertikaldrainagen empfehlenswert.

Der Aufbau des Polders sollte vom Fachpersonal durchgeführt werden und enggestuftes Kies ohne Tonanteile zum Aufbau der Filterschicht verwendet werden. Die Neigung der Böschungen sollte nicht zu steil (1:0,3 bis 1:0,5) sein, um ein Abrutschen der Filterschicht zu verhindern. Ebenso sollte zum Schutz der Filterschicht eine Prallplatte oder Ähnliches vorhanden sein, welche die Energie bei der Befüllung des Polders minimiert.

Bei den Untersuchungen im Rahmen der Phase 2 dieses Forschungsvorhabens [2] hat sich gezeigt, dass der Wassergehalt gegen Ende eines Betriebszyklus von der Witterung abhängt. Die Räumung des Beetes sollte deshalb nach längeren Trockenphasen erfolgen, da hier die Gesamtmasse des Schlammes am niedrigsten ist.

Wird das Sickerwasser aus der Pflanzenbeetanlage zurück in die Kläranlage geführt, kann sich die Zulaufmenge signifikant erhöhen (bei der Stuttgarter Hütte sind dies beispielsweise 15%). Dies kann unter Umständen zu Reinigungsdefiziten führen. Die Bemessung der Kläranlage sollte dahingehend überprüft werden. Als Anhaltswert zur Berechnung dieser Sickerwassermenge sollte davon ausgegangen werden, dass etwa die Hälfte des Schlammwassers und etwa drei Viertel des Niederschlagswassers über das Sickerwasser abgeführt wird.

Wichtiger Faktor für den Grad der Mineralisierung und der Entwässerung ist die Durchwurzelung der Schlammschicht. Hierdurch wird die Neigung zur Rissbildung gefördert, Sauerstoff dringt ein und Feuchtigkeit kann entweichen. Die Einsaat der Gräser sollte möglichst früh, unmittelbar nachdem der Polder schneefrei ist, vorgenommen werden, um eine möglichst starke Durchwurzelung zu erreichen. Eine solche Durchwurzelung bedingt eine gewisse Dicke der Schlammschicht. Dünnere Schichten trocknen in den Sommermonaten teils stark aus, was das Wachstum der Gräser hemmt.

Eventuell kann es, je nach Lage des Pflanzenbeetes, ratsam sein, dieses zunächst für ein bis drei Zyklen ohne Graseinsaat zu betreiben und erst wenn eine gewisse Schichtdicke erreicht ist, den Polder einzusäen.

8 Schlamm-Kompostier-System (Olperer Hütte)

8.1 Lage und örtliche Verhältnisse der Olperer Hütte

Die Olperer Hütte liegt auf 2389m Höhe über dem Meeresspiegel in den Zillertaler Alpen. Sie ist ausschließlich zu Fuß und mit dem Hubschrauber zu erreichen. Bei dem Aufstieg zur Hütte vom Schlegeisspeicher sind ca. 600 Höhenmeter zu überwinden und für den Aufstieg 1,5 Stunden einzuplanen.

8.1.1 Ausstattung der Hütte

In der Schutzhütte der Kategorie I¹ stehen 60 Schlafplätze im Hauptgebäude und 12 Lager im Winterlager (ganzjährig geöffnet) zur Übernachtung zur Verfügung. Die Hütte bietet eine vollwertige Gastronomie, Internet sowie Duschen. Der Bewirtschaftungszeitraum erstreckt sich von Anfang Juni bis Ende September bzw. Anfang Oktober, je nach Witterung. In den durchschnittlich 105 Öffnungstagen werden ca. 2500 Übernachtungsgäste und 5700 Tagesgäste bewirtet (die Zahlen beruhen auf Auslastung der alten Olpererhütte mit Sicherheitszuschlägen). Das ständig anwesende Personal besteht aus 6 Personen, für die es 6 weitere Betten gibt.

8.1.2 Hüttenneubau

Aufgrund von Brandschutz- und Behördenauflagen wurde die 125 Jahre alte Hütte im Jahr 2007 durch einen Neubau ersetzt. Dabei wurde auf eine einfache Konstruktion mit minimierter technischer Ausstattung Wert gelegt [25]. Im Sinne des Umweltschutzes wurden nur Materialien zum Bau verwendet, die bei der Herstellung möglichst wenig Energie benötigen und gut recycelbar sind.

8.1.3 Wärme- und Energieversorgung

Die Wärme- und Energieversorgung wird über eine Photovoltaikanlage sowie mit einem Blockheizkraftwerk sichergestellt. Die überschüssige Energie der Photovoltaikanlage wird mit einem entsprechenden Akkusatz zwischengespeichert und steht somit in sonnenarmen Zeiten zur Verfügung. Das Blockheizkraftwerk wird ausschließlich mit Rapsöl betrieben.

¹Eine Hütte der Kategorie I muss ihren ursprünglichen Charakter als Stützpunkt für den Bergsteiger und Bergwanderer bewahren. Es gibt lediglich einfache Verköstigung und schlichte Ausstattung. Der Aufstieg dauert in der Regel mindestens eine Gehstunde und ist nur in Ausnahmefällen mit mechanischen Hilfen erreichbar. Sie kann bewirtschaftet, bewartet, unbewirtschaftet oder ein Biwak sein [3].

Um den Energieverbrauch so gering wie möglich zu halten wurde ein aktives Lastmanagement installiert, wodurch das gesamte Projekt von der DBU für förderungswürdig eingestuft wurde.

8.1.4 Wasserversorgung

Die Trinkwasserversorgung erfolgt über die im Herbst 2003 neu gefassten „Olpererhüttenquelle“, einer nicht öffentlichen Trinkwasserversorgungsanlage oberhalb der Olpererhütte. Der Anlage wurde mit dem Trinkwasserbefund der ARGE Wasser-Analytik vom 29.09.2005, Protokoll Nr. AW050619, Trinkwassertauglichkeit bescheinigt [24].

8.1.5 Abwassertechnische Anlage

Die bestehende Abwasserentsorgungsanlage, eine Dreikammer Absetz- und Faulanlage mit Verrieselung des von Grobstoffen befreiten Abwassers, wurde im Zuge des Hüttenneubaus ebenfalls ersetzt. Für die biologische Abwasserreinigung wurde eine Belebtschlammanlage mit Membranfiltration errichtet. Die gesamte Anlagentechnik ist im Technikraum/Keller der Olpererhütte untergebracht. Anfallende Reststoffe werden vor Ort mit dem Schlamm-Kompostier-System der Firma Rewatec behandelt.

Bemessungsgrößen

Die Anlage wurde von dem Ingenieurbüro *Walter Ingenieure GmbH* in Zusammenarbeit mit der *Hans Huber AG* geplant und bemessen. Als Planungsgrundlage diente das ÖWAV-Regelblatt 1 sowie die Vorschriften des Landes Tirol [35]. Als Berechnungsgrundlage wurden die Besucherzahlen der alten Olpererhütte mit einem Sicherheitszuschlag verwendet, woraus sich folgende Ausgangswerte ergeben (siehe auch Tabelle 8.1):

- maximaler täglicher Abwasseranfall: $4,28 \frac{m^3}{d}$
- durchschnittlicher Abwasseranfall: $2,26 \frac{m^3}{d}$
- durchschnittliche BSB_5 -Schmutzfracht: $3,38 \frac{kgBSB_5}{d}$
- maximale BSB_5 -Schmutzfracht: $6,82 \frac{kgBSB_5}{d}$

Nach Walter [35] wurde das Schlamm-Kompostier-System aufgrund einer Herstellerempfehlung auf $50EW_{60}$ ausgelegt. Setzt man nach Imhoff [20] für die anfallende Schlammmenge $2,0 \frac{l}{E \cdot d}$ an, ergibt sich eine saisonale Gesamtschlammmenge $10500l = 10,5m^3$.

Tabelle 8.2 zeigt die Kennwerte für die Bemessung und die Planung. Die Zahlenangaben über die tatsächliche Auslastung während der Saison 2008 wurden während der DAV-InfoTour (13.-14.09.2008) bekannt gegeben.

Die Besucherzahlen der neuen Olpererhütte sind dreimal höher als diejenigen, welche der Planung zugrunde gelegt wurden. Ursache hierfür ist vermutlich das große Interesse der Öffentlichkeit.

Tabelle 8.1: Auslegung der Abwasseranlage Olpererhütte [35]

	Jahresbelastung	Spitzenbelastung	Wochenmittel	Tagesmittel (105d)
ständiges Personal	630 Pers/a	6 Pers/d	6 Pers/d	6 Pers/d
Übernachtungsgäste	2538 Pers/a	60 Pers/d	30 Pers/d	24 Pers/d
Tagesgäste lang/kurz	5712 Pers/a	95k u. 95l Pers/d	41k u.41l Pers/d	27k u. 27l Pers/d
Saisondauer	105 Tage			
<i>BSB₅</i> -Belastung:	Richtwerte	Spitzenbelastung	Wochenmittel	Tagesmittel (105d)
	<i>gBSB₅/d</i>	<i>gBSB₅/d</i>	<i>gBSB₅/d</i>	<i>gBSB₅/d</i>
st. anwesend	60	360	360	360
ÜbernachtungsG	60	3600	1800	1451
TagesG-L	17,5	1666	714	476
TagesG-K	12,5	1190	510	340
Summe BSB [<i>kgBSB₅/d</i>]		6,82	3,38	2,63
Hydraulische Last:	Richtwerte	Spitzenbelastung	Wochenmittel	Tagesmittel (105d)
	l/d	l/d	l/d	l/d
st. anwesend	75	450	450	450
ÜbernachtungsG	40	2400	1200	967
TagesG-L	10	952	408	373
TagesG-K	5	476	204	136
Summe Hydraulik [<i>m³/a</i>]		4,28	2,26	1,83

Tabelle 8.2: Kennwerte zur Planung und Bemessung der technischen Anlagen der Olpererhütte

	alte Hütte	Planung für neue Hütte	neue Hütte
Übernachtungen pro Saison	1800-2000	2500	4000
Tagesgäste		5700	14 000
Abwasseranfall (Wochenmittel)		3,38 <i>kgBSB₅/d</i>	6,60 <i>kgBSB₅/d</i>
Membranfläche		3 Module á 10,5m ³	
Energieverbrauch der Membran			29KWh/d
Maximalleistung BHKW		8KW	
Rapsöl-Verbrauch pro Saison		2000 Liter	3300 Liter (bis 13.9.)

Dies schlägt sich natürlich in den Zahlen für den Energieverbrauch und des Abwasseranfalls nieder. Die Kläranlage ist während der gesamten Saison 2008 einer hydraulischen und biologischen Überbelastung ausgesetzt gewesen. Dennoch konnten die im Wasserrechtsbescheid [24] geforderte Reinigungsleistung eingehalten werden [18].

Für die Saison 2009 ist ein Umbau der Kläranlage geplant. Im neuen Abwasserreinigungskonzept sollen die Separatoren nur noch mit Überschussschlamm beschickt werden. Die groben Reststoffe werden über eine Siebschnecke schon vor der Vorklärung entfernt.

Fettabscheider

Da Küchenabwässer fetthaltig sind, bedürfen sie einer besonderen Vorbehandlung. Dafür wurde ein Fettabscheider installiert, durch den die Küchenabwässer laufen, bevor sie in der Vorklärung mit dem restlichen Abwasser vermischt werden.

Nach Walter [35] wurde für die Auslegung ein Wasseranschluss DN15 sowie einer Haushaltsgeschirrspülmaschine angesetzt. Daraus resultiert ein erforderlicher Fettabscheider NG 1.

Vorklärung

Die erste Stufe der Abwasserreinigung ist das Vorklär- bzw. Schlamm-speicherbecken. Dieses hat ein Nutzvolumen von $5m^3$. Der sich nach unten absetzende Primär- und Überschussschlamm (siehe 8.1.5. Belebungsbecken) sammelt sich im Pumpensumpf und wird mittels zweier Schneidradpumpen abgezogen und in die Separatoren gepumpt. Das vorgereinigte Abwasser gelangt über einen Überlauf in den nachfolgenden Pufferbehälter.

Puffer

Der Puffer besteht aus zwei Behältern zu je $5m^3$. Mittels Tauchpumpe wird das Belebungsbecken gleichmäßig mit dem vorgereinigten Abwasser beschickt. Für den Fall der Überbelastung ist ein Notüberlauf mit Störmeldevorrichtung vorhanden. Das Puffervolumen ist nach Walter [35] für zwei Tage Spitzenbelastung ausgelegt.

Belebungsbecken

Im Belebungsbecken erfolgen die biologische Reinigung und der Klarwasserabzug durch Membranfiltration. Das Nutzvolumen beträgt $5m^3$.

Der Lufteintrag wird über am Boden installierte Rohrbelüfter sichergestellt. Die internen Membranfiltermodule der Firma Huber, Typ MembranClearBox, haben eine Trenngrenze von 38nm. Dies bedeutet, dass das Klarwasser bakterien- und nahezu keimfrei ist.

Vorgesehen ist, dass das Permeat in der bestehenden Dreikammerabsetzanlage gesammelt und für die Toilettenspülung wieder verwendet wird. Der anfallende Überschussschlamm wird diskontinuierlich in die Vorklärung zurück gepumpt. Die Auslegung der Membranfläche erfolgte für die hydraulische Spitzenbelastung. Daraus resultierend wurde mit einem Flux von $15 \frac{l}{m^2 \cdot h}$ und einer Membranfläche von $24m^2$ geplant. Aufgrund der besonderen

Verhältnisse vor Ort (Hochgebirge) wird die Anlage jedoch mit einem Flux von $5 - 10 \frac{l}{m^2 \cdot h}$ und $31,5 m^2$ betrieben.

Schlamm-Kompostier-System (SKS)

Eine detaillierte Beschreibung des Schlamm-Kompostier-Systems erfolgt unter Punkt 8.2. Entgegen dem dort beschriebenen Beschickungsintervall von einem Tag wird das SKS auf der Olpererhütte in unregelmäßigen Abständen durch manuelles Einschalten der Pumpen beschickt.

8.1.6 Vorgaben des Wasserrechtsbescheides

In der wasserrechtlichen und naturschutzrechtlichen Bewilligung [24] wird keine genaue und endgültige Aussage getroffen, ob der kompostierte Klärschlamm im Hüttenumfeld ausgebracht werden darf. Unter dem Punkt „Befund aus kläranlagentechnischer Sicht“ wird darauf verwiesen, dass der anfallende Klärschlamm vor Ort mit dem Schlamm-Kompostier-System der Firma Rewatec kompostiert wird. Weiterhin heißt es, dass die Nachrotte in einer zweiten Stufe erfolgt. Im „Spruch“ unter IV. Punkt 18. wird jedoch festgelegt, dass die bei der Abwasserreinigung anfallenden Stoffe nach abfallrechtlichen Bestimmungen zu entsorgen sind. Weiterhin wird im „Allgemeinen Befund“ festgelegt, dass die auf der Olpererhütte anfallenden Abfälle zur ordnungsgemäßen Entsorgung ins Tal gebracht werden müssen.

Es ist davon auszugehen, dass die Ausbringung von Reststoffen im Hüttenumfeld nicht möglich ist. Für das Entsorgungskonzept bedeutet dies, dass das Hauptaugenmerk der Reststoffbehandlung auf der Entwässerung bzw. Volumen-/Gewichtsreduzierung liegt.

8.2 Verfahrenstechnische Beschreibung des Schlamm-Kompostier-Systems (SKS)

Das Schlammkompostierungssystem besteht aus einem Separator und einem Thermokomposter. Diese ersetzen den sonst üblichen Schlammspeicher. Der genaue Aufbau der SKS und die Funktionsweise werden in diesem Kapitel erläutert.

8.2.1 Original Separataraufbau

Nach Rewatec [29] besteht der Aufbau eines Separators aus vier Lagen (siehe Abbildung 8.2):

Von außen nach innen ist die erste Lage der Außenbehälter aus Polyethylen. Dieser wird möglichst nah am Klärbehälter so in den Boden eingelassen, dass ein Gefälle von mindestens 1% ($\frac{1cm}{1m}$) im Filtratabflussrohr gegeben ist.

In den Außenbehälter wird ein Entwässerungsbehälter (Höhe 1,02m), ebenfalls aus Polyethylen, eingesetzt. Dieser ist mit Bohrungen im weiten Abstand versehen, welche ein Abfließen des Filtrats ermöglichen.

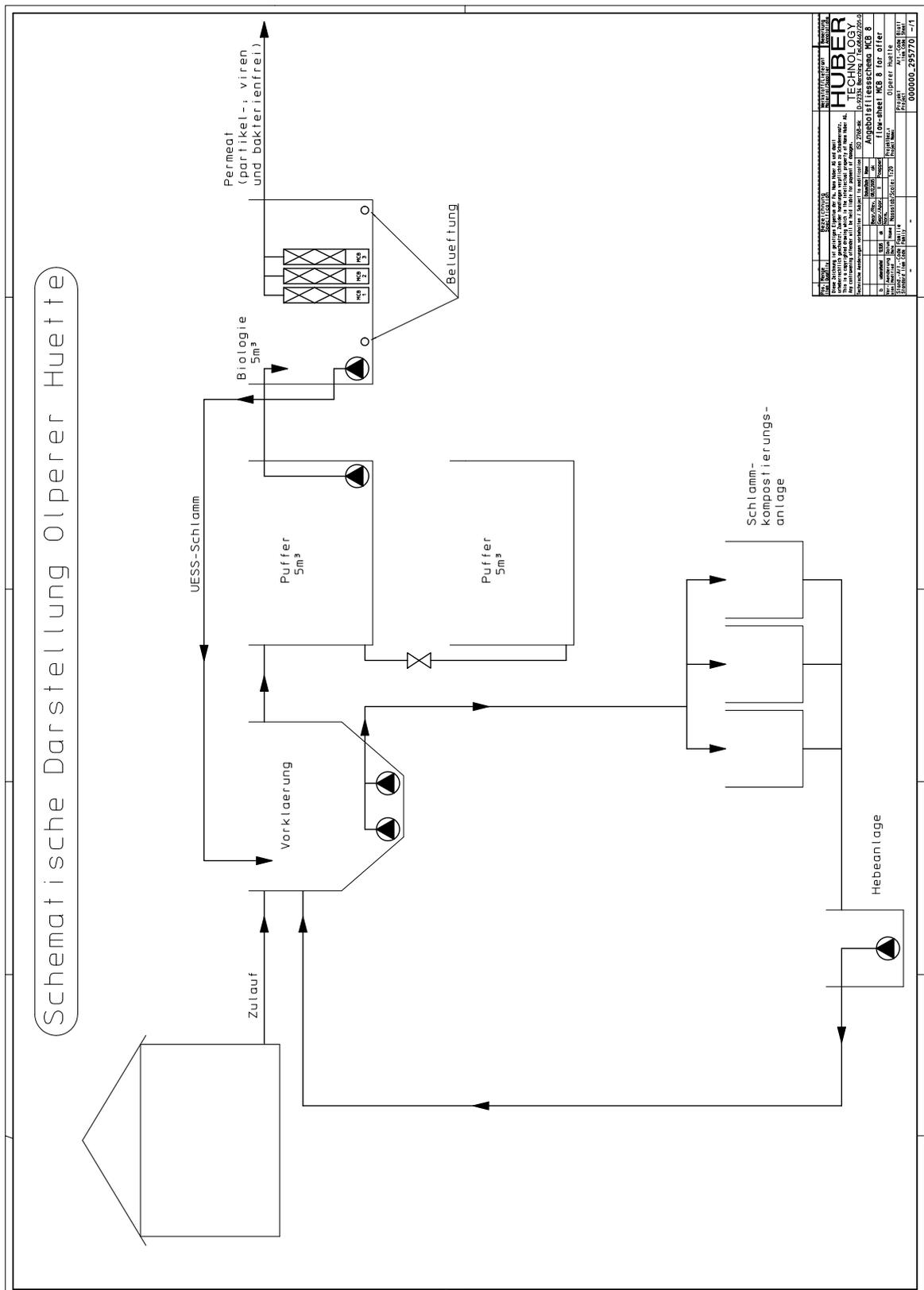


Abbildung 8.1: Fließschema KA-Olpererhütte[17]

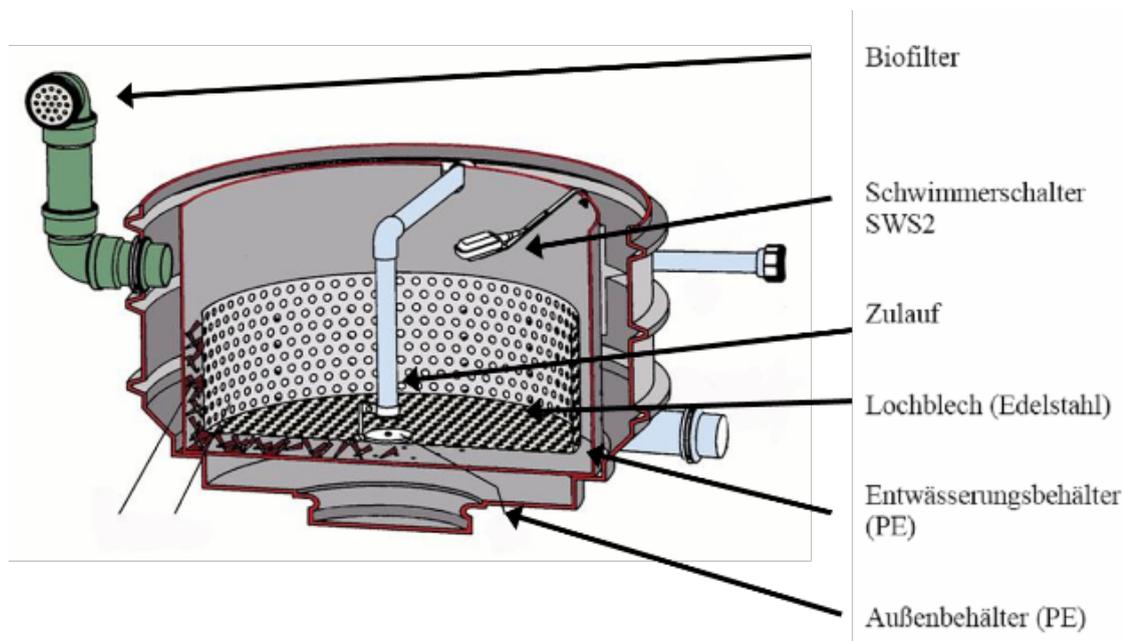


Abbildung 8.2: Aufbau des Separators[29]

Auf den Boden des Entwässerungsbehälters wird eine ca. 5cm hohe Schicht Biofiltersubstrat aufgebracht. Das Biofiltersubstrat besteht aus handelsüblichen Holzackschnitzeln. Der eigentliche Siebeinsatz besteht aus einer Lochblechplatte und einem Lochblechzylinder (Höhe 67cm, Durchmesser 100cm), welche wie ein Korb mittig auf der Substratschicht angeordnet werden. Der seitliche Zwischenraum zwischen Entwässerungsbehälter und Lochblecheinsatz wird mit dem Biofiltersubstrat aufgefüllt. Zusammen bilden das Substrat und der Lochblecheinsatz die dritte und vierte Schicht.

Die Befüllung erfolgt mittig im unteren Bereich des Separators durch eine von oben kommende Druckrohrleitung. Für eine gute Verteilung des Schlammes sorgt eine am Ende der Druckrohrleitung angebrachte Prallplatte.

Gegen ein Überlaufen des Separators schützt ein Schwimmerschalter, der am oberen Rand des Siebeinsatzes angebracht ist.

Der Deckel mit integriertem Bioluftfilter komplettiert den Separator und verhindert Geruchsbelästigungen.

8.2.2 Funktionsweise Schlamm-Kompostier-System (SKS)

Während der Abwasserbehandlung entsteht Überschussschlamm. Dieser wird durchgehend in die Vorklärung zurückgepumpt, wo er sich zusammen mit dem Primärschlamm auf dem trichterförmigen Boden absetzt. Von diesem Pumpensumpf werden die Feststoffe 1 mal täglich in den Separator gepumpt.

Im Separator wird durch den Lochblecheinsatz und das Biosubstrat Wasser abgeschieden. Dieses fließt zurück in die Vorklärung und wird dadurch dem Reinigungsprozess erneut

zugeführt. Natürliche Rotteprozesse reduzieren zusätzlich das Feststoffvolumen im Separator. Nach Rewatec [29] muss der Separator ein- bis zweimal im Jahr entleert werden und der Rohkompost zur Nachkompostierung und Hitzehygienisierung in den zur Anlage gehörenden Thermokomposter gefüllt werden.

Vermischt mit Biosubstrat hat der Rohkompost eine Mindestaufenthaltszeit in dem Thermokomposter von 1-5 Jahren. Danach kann der Kompost (laut Rewatec) als „*hygienischer, unbedenklicher und wohlriechender Fertigkompost*“ weiter verwendet werden.

8.3 Zielsetzung und offene Fragen

Aufgrund der exponierten Lage der Olpererhütte können die im Flachland gesammelten und verifizierten Erfahrungen des beschriebenen Schlammkompostiersystems nicht ohne eine Überprüfung angewendet werden.

Die besonderen Rahmenbedingungen im hochalpinen Bereich sind zu berücksichtigen. Diese ergeben sich zum Beispiel aus dem für die Reststoffbehandlung ungünstigem Klima, der daraus resultierenden saisonalen Betriebsführung, der sensibleren, alpinen Umwelt sowie dem vorherrschenden Entsorgungs- und Umweltrecht. [2]

8.3.1 Besonderheiten der Hochgebirgslage

Das ÖWAV-Regelblatt1 [37] geht von einer Vielzahl von zu beachtenden Randbedingungen aus. Auf die Schlammbehandlung haben jedoch nicht alle Punkte einen direkten Einfluss und müssen daher für den Standort Olpererhütte nicht betrachtet werden.

Sensibilität des Standortes Grundsätzlich ist hier die Bodenbeschaffenheit als erstes zu beachten. Laut [32] gehört der Zillertaler Hauptkamm größtenteils zur Zentralgneiszone mit hartem Gestein. Dies lässt auf eine relativ schwache Sensibilität schließen. Da jedoch das gesamte Zillertal ein Naturpark und demnach ein Schutzgebiet ist, ist gemäß Gesetz eine hohe Sensibilität gegeben [37]. Dadurch ist insbesondere die Schlammausbringung vor Ort in Hinblick auf den Nährstoffeintrag mit einer möglichen Veränderung der Vegetation zu überprüfen.

Höhenlage Aufgrund der Höhenlage der Olpererhütte (2389m ü.NN) besteht ein direkter Einfluss durch die klimatischen Bedingungen. Die Kläranlage ist komplett im Technikraum untergebracht, was Störungen durch das Klima stark reduziert. Die Schlammbehandlung ist trotzdem stark von den klimatischen Bedingungen abhängig. Die saisonale Betriebsführung der Hütte ist hierbei das Hauptargument. Da die Hüttensaison nur von Juni bis September geht, ist auch nur in diesem Zeitraum die gesamte Technik im Einsatz. Was wiederum bedeutet, dass nur in diesem Zeitraum eine Temperatur (Abluft BHKW, Abwassertemperatur) von ca. 20°C im Technikraum gegeben ist. Im Zeitraum von Oktober bis Mai muss davon ausgegangen werden, dass die Außentemperatur maßgeblich für die Innenraumtemperatur ist. Dies ist wiederum wichtig, da unter 4°C keine biologischen Prozesse (hier Vorrotte) mehr stattfinden [4]. Somit darf auf der Olpererhütte nur von einer verkürzten

Zeitspanne von vier anstatt zwölf Monaten (Originalauslegung der Firma Rewatec [29]) ausgegangen werden, was die gesamte Behandlungsdauer (siehe Punkt 8.2.2) dementsprechend verlängert.

Betriebszeiten Da die Betriebszeiten der Olpererhütte an die Witterung bzw. das Klima gebunden sind, greift hier eine ähnliche Argumentation wie zum Punkt „Höhenlage“ und wird daher nicht weiter ausgeführt.

Abwasseranfall und Organische Belastung Der spezifische Abwasseranfall liegt bei ca. 50l pro Tag und Gast, was in etwa der Hälfte von häuslichem Abwasseranfall entspricht. Da sich jedoch der spezifische Schmutzanfall nicht verringert sind die Konzentrationen stark erhöht. Die Konzentrationen an BSB_5 , CSB, $NH_4 - N$ und P_{ges} überschreiten die des kommunalen Abwassers in der Regel um ein Mehrfaches [37]. Für die Berechnung der organischen Belastung gibt das ÖWAV-Regelblatt 1 [37] Richtwerte vor. Diese sind in Abhängigkeit der Hüttenausstattung und der Art des Gastes gegeben. Für die Olpererhütte kann demnach von $60gBSB_5/d$ für Personal und Übernachtungsgäste sowie von $15gBSB_5/d$ für Tagesgäste ausgegangen werden.

8.3.2 Offene Fragen

Aus den bereits genannten Rahmenbedingungen und gesetzlichen Vorgaben (Wasserrechtsbescheid, Feldschutzgesetz) ergeben sich nachfolgende Fragestellungen:

Volumenreduktion und Entwässerbarkeit der Reststoffe Da die Reststoffe nicht vor Ort im Hüttenumfeld ausgebracht werden können, sind das Volumen und das Gewicht des Schlammes die entscheidenden Kostenfaktoren bei der Reststoffentsorgung. Daher ist zu untersuchen ob die Entwässerungsleistung der Separatoren in Hinblick auf Volumen- und Gewichtsreduktion verbessert werden kann.

Rezirkulation von feinen Schwebstoffen Die Separatoren mit dem Lochblecheinsatz und dem Biofiltersubstrat sollen wie erwähnt die gröberen Reststoffe und die daran angelagerten kleineren Partikel zurück halten. Bei den Membranfiltermodulen liegt die Trenngrenze bei 38 nm. Daher bleibt ein bestimmter Anteil an feinen Schwebstoffen und kleineren Partikeln dauerhaft im System und kann die Reinigungsleistung der Anlage beeinträchtigen. Daraus resultierend ist zu prüfen, in wie weit der Rückhalt der Separatoren verbessert werden kann, um die Belastung der Anlage zu reduzieren.

Rottevorgang Es ist zu prüfen, ob sich unter den gegebenen Bedingungen tatsächlich eine Rotte einstellt, oder ob dies durch die z.B. kurze Saison nicht gegeben ist. Falls sich nicht wie Vorgesehen eine Rotte einstellt [29], kann dies Auswirkungen auf den weiteren Behandlungsablauf haben und die Behandlung im Thermokomposter verzögern oder eventuell verhindern. Auch ist zu beachten, dass wenn sich keine Rotte einstellen sollte andere Prozesse (z.B. Faulung) ablaufen könnten. Diese könnten zu anderen bzw. ungewollten Ergebnissen führen. Zudem kann keine Volumenreduzierung bzw. Entwässerung erreicht werden.

Eignung des Systems für den Hochgebirgseinsatz Abschließend ist die Frage zu prüfen, ob das Rewatec Schlamm-Kompostier-System im Allgemeinen für den Einsatz im Hochgebirge geeignet ist.

Dabei sind auch Punkte wie die Handhabung der Reststoffe vor Saisonanfang (Verbringung in den Thermokomposter) und der Arbeits-/Wartungsaufwand für den Hüttenwirt zu prüfen.

8.3.3 Zielsetzung

Im Rahmen dieses Bericht soll der Ablauf der Untersuchungen der Reststoffbehandlung hinsichtlich der unter Punkt 8.3.2 aufgeworfenen Fragen betrachtet und bewertet werden. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf einer optimierten Entwässerung der Reststoffe. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen eine Handlungsempfehlung für die Saison 2009 darstellen.

8.4 Vorgehensweise für die erforderlichen Untersuchungen

Aus den aufgeworfenen Fragen wurde die nachfolgend dargestellte Vorgehensweise abgeleitet.

8.4.1 Modifikationen des SKS

Aufgrund der sich ergebenden Fragestellungen und der örtlichen Gegebenheiten wurde der Aufbau des Schlamm-Kompostier-Systems leicht verändert.

- Der Bioluftfilter wurde durch ein festes Abluftsystem ersetzt.
Der Holzboden der Olpererhütte schließt den Technikraum gegen den Gastraum nicht komplett luftdicht ab. Daher wurde diese Modifikation notwendig um die Gefahr einer Geruchsbelästigung im Gastronomiebereich auszuschließen.
- Die Separatoren wurden vergrößert.
Wegen der räumlichen Situation im Technikraum mussten die Separatoren um 20cm erhöht werden um ein ausreichendes Nutzvolumen zu gewährleisten. Die Lochblecheinsätze haben nun eine Höhe von 67cm, einen Durchmesser von 100cm und somit ein Volumen von 526,2l. Damit ergibt sich ein Gesamtvolumen von 1578,65l $\approx 1,6m^3$.
- Auf der Innenseite des Lochblecheinsatzes wurde in zwei Separatoren ein Filtermaterial eingebracht.
Von den drei Separatoren wurden zwei mit unterschiedlichem Filtermaterial bestückt und ein Separator als Referenz ohne zusätzliches Filtermaterial in Betrieb genommen. Als Filtermaterial eingebracht worden sind (siehe Seite 70 Abbildung 8.3):
 - Separator A: kein Filtermaterial (Referenzseparator)
 - Separator B: Teichvlies, handelsüblich, 400g/m²



Abbildung 8.3: Separatoren A-C mit Filtermaterial

- Separator C: Uferbefestigungsmatte aus Kokosfaser, $400\text{g}/\text{m}^2$

Durch das eingebrachte Filtermaterial soll der Rückhalt der Separatoren verbessert werden. Das heißt, dass zum einen die kleineren Partikel und feinen Schwebstoffe stärker zurück gehalten werden sollen, wodurch zum anderen der Trockensubstanzgehalt in den Separatoren erhöht werden würde. Dies wiederum würde zu einer verbesserten Volumen- und Gewichtsreduktion führen.

8.4.2 Probenahme

Wie in Abbildung 8.1 zu erkennen ist, werden die Reststoffe mit zwei Pumpen durch ein gemeinsames Rohr, in die Separatoren gepumpt. An diesem Rohr (vor der Teilung) befindet sich die Probenahmestelle für den Zulauf.

Die Abläufe der Separatoren laufen nach ca. 20cm in einem Rohr zusammen und enden in einer weiteren Pumpe, die das Filtrat zurück in die Vorklärung pumpt. Im Bereich der ersten 20cm ist jeweils eine Entnahmestelle für die Ablaufmessungen. Die Entnahmestellen bestehen jeweils aus einem T-Stück als Abzweigung mit einem angeschlossenen Kugelhahn zur Probenahme.

Beprobung des Zu- und Ablaufes

Als erstes mussten die Absperrhähne des Zulaufes geöffnet werden. Diese verhindern ein ständiges, unkontrolliertes überlaufen der Vorklärung in die Separatoren. Danach wurden die Schneiradpumpen in Betrieb genommen und die Separatoren beschickt. Während der Beschickung wurde die Zulaufprobe genommen. Jedoch erst mit zeitlicher Verzögerung nach dem Anschalten der Pumpen um eine versehentliche Probenahme von alten, sich noch im Zulaufrohr befindlichen Reststoffen auszuschließen. Nach der Beschickung wurde der Ausgangszustand wieder hergestellt.

Danach wurden die Ablaufproben genommen. Da die Filtratpumpe in den Ablaufrohren einen so starken Unterdruck erzeugt, dass bei geöffneten Ablaufprobenahmestellen lediglich Luft angesaugt wird und kein Filtrat entnommen werden kann, musste diese zur Probenahme ausgeschaltet werden. Nach den Probenahmen wurde die Pumpe wieder eingeschaltet um den ordnungsgemäßen Betrieb zu gewährleisten.

Eine Probenahme der Zu- und Abflüsse erfolge am 07.08.2008 sowie am 12.09.2008 durch Thorsten Junker und am 22.08.2008 durch die Firma Huber.

Beprobung des Innenraumes

Die Probenahme aus dem Innenraum der Separatoren erfolge mittels eines handelsüblichen PVC-Abflussrohres, Länge 50cm, Durchmesser 5cm. Das Abflussrohr wurde langsam in die anstehenden Reststoffe bis auf den Boden der Separatoren eingeführt. Danach wurde das Rohr an der Oberseite verschlossen und die Reststoffe mittels Unterdruck entnommen. Die verbleibenden Resthöhen in den Separatoren wurden dokumentiert.

Dieses Vorgehen war jedoch nur bei den Separatoren A und C möglich, da sich im Separator B eine etwa 5-10cm hohe Schwimmschlammschicht auf einer ca. 30cm starken Abwasserschicht befand. Daher wurde aus Separator B eine Probe des Schwimmschlammes genommen.

Die geplante Messung der Sauerstoffsättigung, mittels einer Kompostsonde, im Separatorinnenraum konnte nicht durchgeführt werden, da keine ausreichende Reststoffhöhe gegeben war, bzw. dies im Separator B aufgrund des anstehenden Abwassers nicht möglich/nötig gewesen ist. Die Messung sollte Aufschluss darüber geben, ob eine Rotte überhaupt möglich ist bzw. aerobe Bedingungen vorherrschen.

Eine Beprobung des Innenraums konnte nur am 12.09.2008 durchgeführt werden, da sich erst zu diesem Zeitpunkt ausreichend Material in den Separatoren befand.

8.5 Ergebnisse der Untersuchungen

Sämtliche nachstehend aufgeführten Ergebnisse wurden im Labor der Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität der Bundeswehr München untersucht.

8.5.1 Analyseergebnisse zum Entwässerungsverhalten

Das Entwässerungsverhalten der drei Separatoren kann anhand der Messungen der Resthöhe (Schlammoberkante bis Lochblechoberkante) beschrieben werden.

Bei der Inbetriebnahme der Separatoren am 07.08.2008 wurde das erste mal die Resthöhe gemessen. Bei der letzten Beschickung am 12.09.2008 wurde diese Messung wiederholt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8.3 aufgelistet.

Während der Beschickung am 07.08.2008 wurde beobachtet, dass sich der Schlamm nicht gleichmäßig auf die Separatoren verteilt. Separator C wurde am stärksten beschickt, A mittelmäßig und Separator B am schwächsten. Bei der beobachteten Anfangs-Entwässerung ergab sich jedoch ein anderes Bild. Separator A entwässerte am schnellsten, B mittelmäßig und Separator C am langsamsten.

Am 12.09.2008 wurde beobachtet, dass Separator B anscheinend nicht mehr bzw. nur sehr langsam entwässert. Die Separatoren A und C zeigten ein ungefähr gleiches Entwässerungsverhalten. Bei der Beschickung konnte beobachtet werden, dass die Separatoren A und C kaum beschickt wurden und der Großteil in den Separator B gepumpt wurde. Dies zeigte sich auch darin, dass der Separator B (nach der Beschickung) bis zur Oberkante voll und in den Separatoren A und C so gut wie keine Höhenänderung festzustellen war. Nach 24h ist der Schlammspiegel im Separator B um ca. 30cm gefallen.

Tabelle 8.3: Resthöhen in den Separatoren

DATUM	SEPARATOR A [cm]	SEPARATOR B [cm]	SEPARATOR C [cm]
07.08.2008	6	9	53
12.09.2008 vor Beschickung	27	37-42	17
12.09.2008 nach Beschickung	32	0-47	22



A: ohne Filtermaterial

B: Teichvlies

C: Kokosfasermatte

Abbildung 8.4: Separatoren A-C vor der Beschickung am 12.09.2008



Abbildung 8.5: Separatoren A-C nach der Beschickung am 12.09.2008

8.5.2 Messungen der Partikelgrößenverteilung

Bei den Ergebnissen der Partikelanalyse ist zu erkennen, dass sich die Partikelgrößenverteilung zwischen Zu- und Ablauf in den feineren Bereich verschiebt. So verschiebt sich der mittlere, geometrische Durchmesser von $76,72\mu m$ im Zulauf auf $6,48\mu m$ im Ablauf. In dem nachfolgenden Diagramm (Abbildung 8.6) ist diese Verschiebung anhand der Mittelwerte dargestellt.

Weiterhin ist zu erkennen, dass sich die Ablaufwerte, im Verhältnis zur Erstbeschickung, verschlechtern. Der mittlere Ablaufdurchmesser der Proben vom 07.08.2008 beträgt $4,24\mu m$ und verdoppelt sich in den Proben vom 12.09.2008 auf $8,72\mu m$. Gleichzeitig ist jedoch auch der mittlere Zulaufdurchmesser vom 12.09.2008 geringer als bei der Erstbeschickung (Abbildung 8.7).

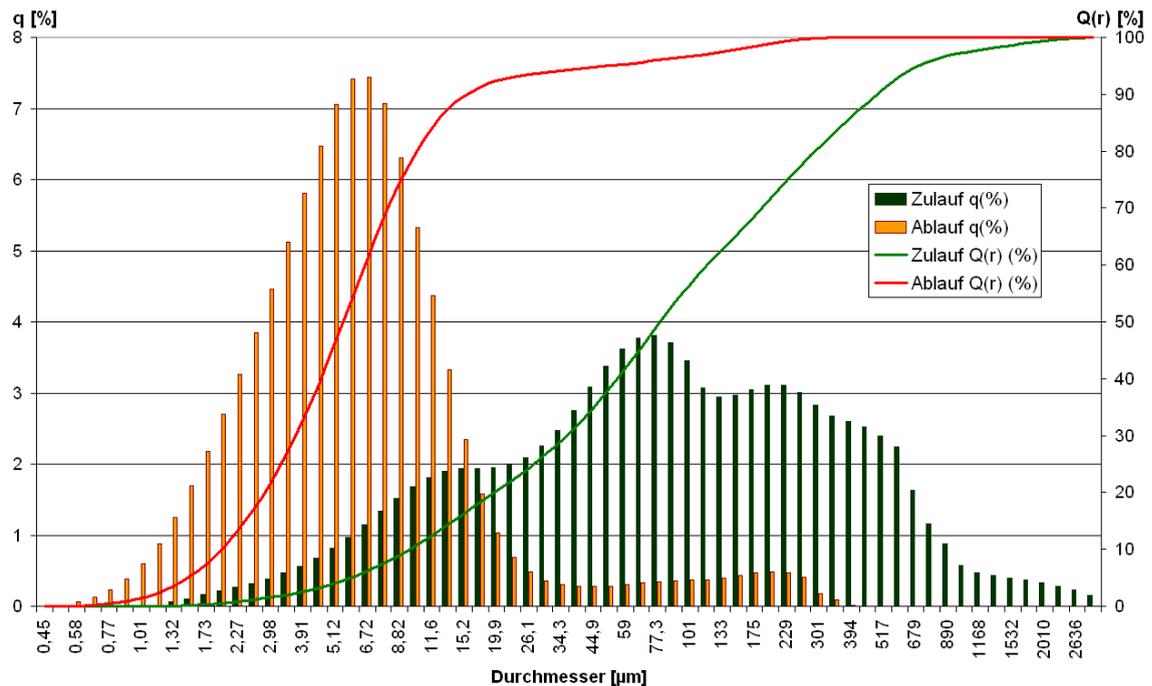


Abbildung 8.6: Mittelwerte Zu- und Ablauf

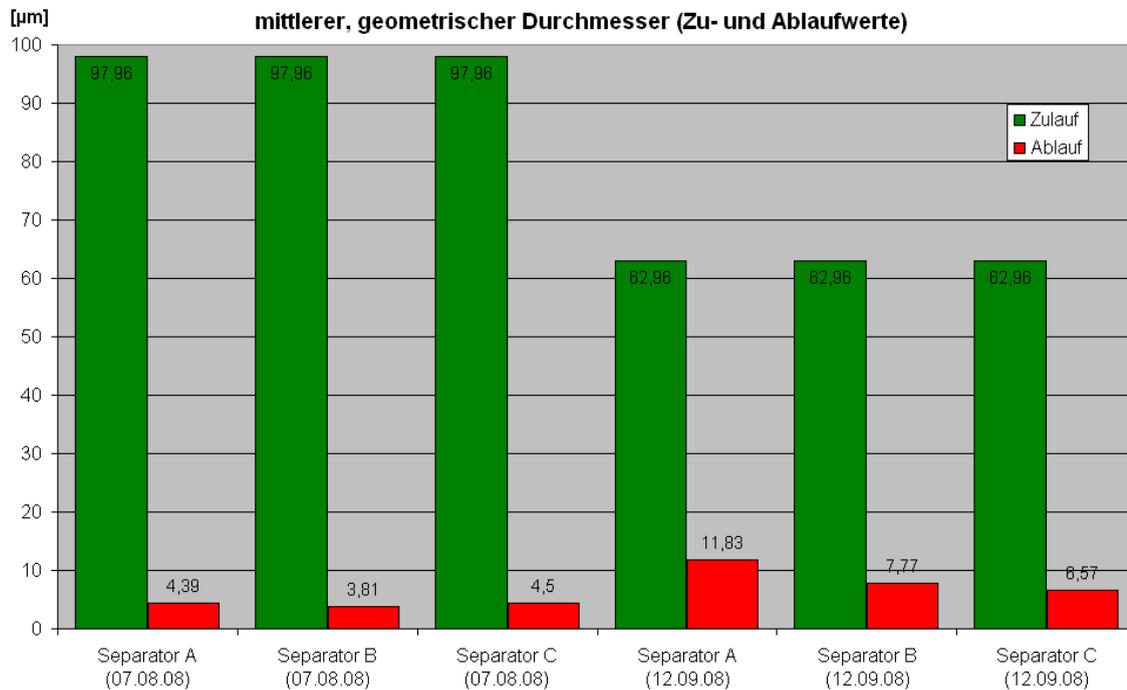


Abbildung 8.7: mittlerer, geometrischer Durchmesser

8.5.3 Ergebnisse der chemisch-analytischen Untersuchungen

Die Analyse der Schwermetalle zeigt, dass diese im üblichen Konzentrationsbereich alpiner Reststoffe liegen und somit viele Grenz- und Richtwerte zum Teil deutlich unterschritten werden.

Tabelle 8.4: Messwerte Oppererhütte und Schwermetallgrenzwerte der Tiroler Klärschlammverordnung [22, §3 (3)]

PARAMETER	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
GRENZWERT in mg/kg TS	10	100	100	500	2000	10	500
MAX. MESSWERT (Innenraum) in mg/kg TS	< 0,5	74	9,7	8	321	< 0,1	13

Bei der Konzentration des Stickstoffes ist ebenfalls eine Aufkonzentrierung im Separatorinnenraum zu verzeichnen. Jedoch muss hier zwischen Ammoniumstickstoff und dem Kjeldahl-Stickstoff unterschieden werden. Die Konzentration des Ammoniumstickstoffes hat sich im Innenraum um den Faktor 11 vergrößert, während der gesamt Stickstoff eine Konzentrationssteigerung um das 55-Fache, im Vergleich zum Zulauf, hat.

Die Betrachtung der Phosphorwerte zeigt, dass die Konzentration im Innenraum um das 50-Fache gestiegen ist. Dies spiegelt sich auch in den Zu- und Ablaufwerten wieder, da hier eine Reinigungsleistung zu erkennen ist.

Der Organik-Anteil in den Separatoren steigert sich im Verhältnis zum Zulaufmittel um das 1,14-Fache. Das bedeutet, dass der Glühverlust im Mittel bei 92,4% liegt (Separato-

rinnenraum). Bei den Zu- und Ablaufwerten ist diese Anreicherung in Form der geringeren Ablaufwerte wieder zu erkennen.

Bei dem pH-Wert ist ebenfalls eine Abnahme vom Zulaufmittelwert zum Ablaufmittelwert zu erkennen. Dieser ist jedoch sehr gering. Wesentlich deutlicher ist die Abnahme des pH-Wertes im Separatorinnenraum. Er liegt nur noch bei 5,1 und hat sich damit um über 20% gesenkt.

Der Trockenrückstand hat sich im Innenraum, in Bezug zum Zulaufmittelwert, von 1% auf 13,23%, um das 13-Fache vergrößert. Die Mittelwerte sowie die Änderungen der Konzentrationen (Zulauf - Innenraum) sind in Tabelle 8.5 dargestellt.

Tabelle 8.5: Mittelwerte der Olpererhüttenproben

ENTNAHMESTELLE	Zulauf SKS	Ablauf	Innenraum
TEMPERATUR [C°]	20,75	20,75	22,73
PH-WERT	6,48	6,35	5,10
GLÜHVERLUST [%]	81,23	77,38	92,40
TR-GEHALT [%]	1,00	0,50	13,23
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/kg TR]
TKN	515	392	28047
$NH_4^+ - N$ [mg/l]	272,50	292,67	2918,33
P_{ges} [mg/l]	103,75	97,44	5056
SCHWERMETALLE:	[μ g/l]	[μ g/l]	[mg/kg TR]
Cd	< 1,0	< 1,0	< 0,50
Co	< 7,75	< 7,0	< 1,0
Cr	< 10	< 10	12,67
Cu	795	587,67	64
Hg	< 1,0	< 1,0	< 0,10
Ni	420,25	245,11	9,17
Pb	78,75	< 47	6,67
Zn	2876,25	1576,67	276

8.5.4 Ergebnisse ergänzender Vergleichsmessungen

Thorsten Junker untersuchte und bewertete in seiner Diplomarbeit [?] das Schlamm-Kompostier-System der Olperer Hütte. In Ergänzung zu den, auf der Olpererhütte gezogenen Proben führte er Vergleichsmessungen mit Überschussschlamm auf der Kläranlage Holzkirchen durch, um detailliertere Aussagen über die verwendeten Filtermaterialien ohne das Biosubstrat treffen zu können.

Die Versuchsanlage besteht aus einem durchsichtigen PVC-Rohr, an dessen Ende ein

Lochblech angebracht ist. Das Rohr hat einen Innendurchmesser von 19,3cm und eine Höhe von 47,7cm und demnach ein Nutzvolumen von 13,95l. An der Außenseite des Rohres wurde ein Zentimetermaß aufgeklebt, welches alle 3,42cm mit einer Markierung versehen ist. Das entspricht jeweils genau dem Volumen von einem Liter und dient zur besseren Dokumentierbarkeit. Auf der Innenseite des Lochbleches werden die verschiedenen Filtermaterialien zur Beprobung eingebracht.

Zuerst wurde das jeweils zu beprobende Filtermaterial auf dem Lochblech befestigt. Danach wurden 10 Liter Überschussschlamm in das Rohr gefüllt. Dies entspricht einer Höhe von 35cm. Daraufhin wurde die Höhe des Schlammes im Rohr in festen, zeitlichen Abständen dokumentiert. Als zeitlicher Abstand wurde eine Minute in den ersten 10 Minuten gewählt und anschließend ein Abstand von zehn Minuten.

Diese Vorgehensweise erfolgte für drei verschiedene Filtermaterialien, und auch für die auf der Olpererhütte verwendeten Materialien Teichvlies und Uferbefestigungsmatte aus Kokosfasern sowie mit einem Jutematerial.

Entwässerungsverhalten

Durch den guten Rückhalt des Teichvlieses war nur eine Beschickung mit 10l Überschussschlamm möglich. Diese wurde dann über drei Stunden lang dokumentiert. Das Zeitintervall wurde zu Beginn auf jeweils eine Minute festgesetzt. Nach einem Zeitraum von 10 Minuten wurde im 10 minütlichen Abstand weitergemessen.

Bei der Kokosfasermatte sowie bei dem Jutematerial war der Rückhalt so gering, dass eine Dokumentation nicht möglich war und der Versuch abgebrochen wurde. Der Versuch eine ausreichende Rückhaltewirkung herzustellen indem die Filtermaterialien mehrlagig (Kokosfasermatte dreilagig, Jutematerial fünflagig) eingebracht wurden brachte ebenfalls keinen Erfolg. Da kein Rückhalt möglich war, wurde der Versuch im Folgenden eingestellt.

Wie in Abbildung 8.9 und Tabelle 8.6 zu erkennen ist, sind in den ersten drei Stunden des Versuchs mit Teichvlies lediglich 3,5l Überschussschlamm zum Ablauf gekommen. Nach 24 Stunden waren es insgesamt 6,3l. Demnach hat das Teichvlies sehr starke Rückhaltewirkung und lässt entsprechend langsam Filtrat aus den Reststoffen durchsickern.

Partikelanalyse der Vergleichsmessung

Bei der Partikelanalyse zeigte sich, dass der Überschussschlamm der Kläranlage Holzkirchen feiner ist als der Primär- und Überschussschlamm der Olpererhütte. Der mittlere, geometrische Durchmesser liegt bei $53,67\mu m$, wobei kein Unterschied zwischen Zu- und Ablauf ersichtlich ist. Abbildung 8.10 zeigt die gemessenen Mittelwerte.



vor der Beschickung

nach der Beschickung

Abbildung 8.8: Vergleichsmessungen auf der KA-Holzkirchen

Tabelle 8.6: Entwässerungsverhalten Teichvlies

ZEIT [min]	HÖHE [cm]	VOLUMEN [l]	ZEIT [min]	HÖHE [cm]	VOLUMEN [l]
0	35	10,24	50	26,6	7,78
1	31,5	9,22	60	26,3	7,69
2	30,5	8,92	70	26	7,61
3	30,4	8,89	80	25,5	7,61
4	30,2	8,84	90	25,1	7,34
5	30	8,78	100	24,7	7,23
6	29,8	8,72	110	24,5	7,17
7	29,6	8,66	120	24,35	7,12
8	29,5	8,63	130	24,2	7,08
9	29,4	8,60	140	24	7,02
10	29,1	8,51	150	23,8	6,97
20	28,3	8,28	160	23,5	6,88
30	27,5	8,05	170	23,2	6,79
40	27,1	7,93	180	23	6,73
			1435	13,5	3,95

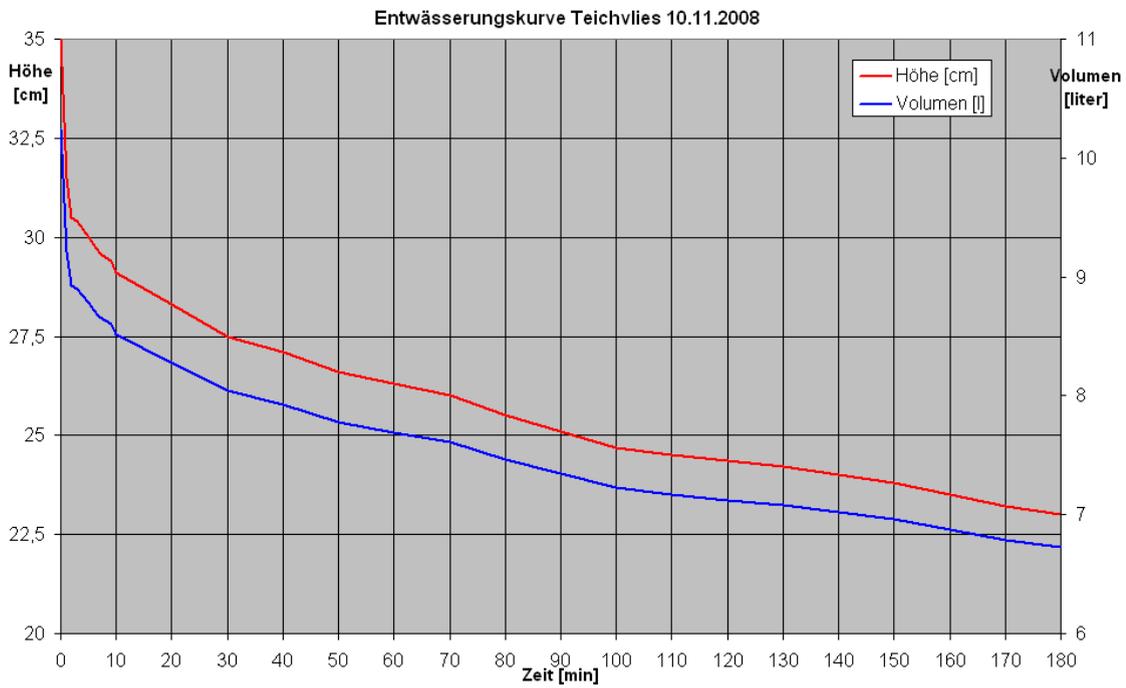


Abbildung 8.9: Entwässerungskurve Teichvlies

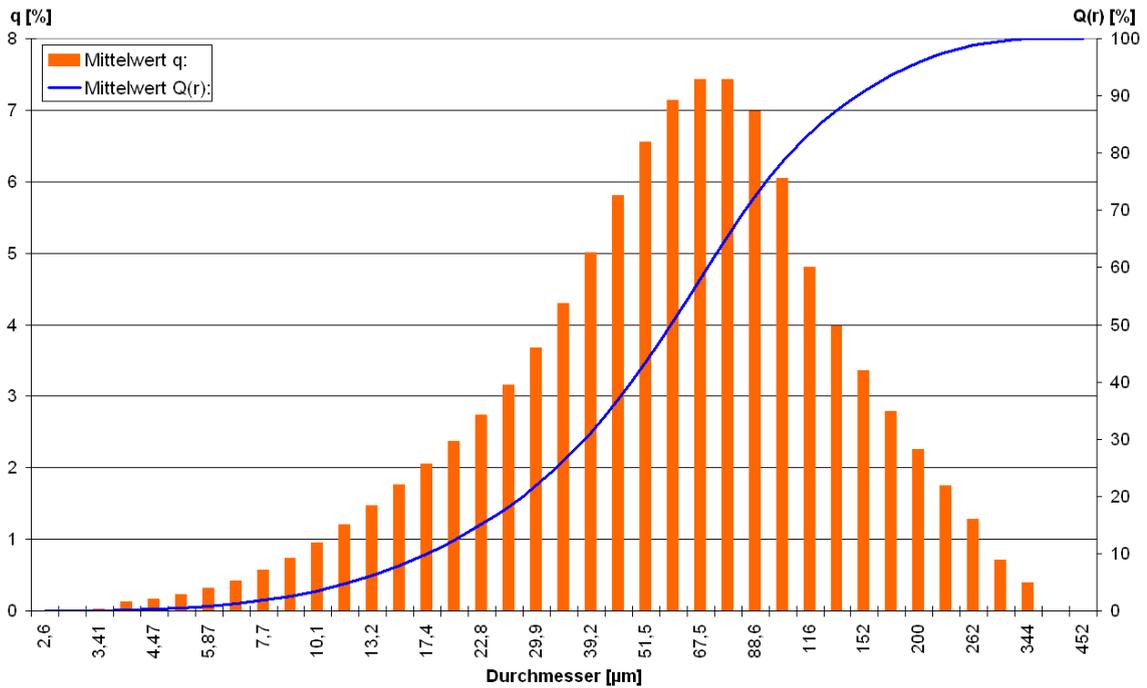


Abbildung 8.10: Vergleichsmessung: Mittelwerte

8.6 Beurteilung der Reststoffbehandlung

8.6.1 Rottevorgang

Für eine Beurteilung des Rotteprozesses wurden keine Rottegradbestimmung durchgeführt. Deshalb kann nur eine interpretative Bewertung erfolgen.

Nach [15, Punkt 8.3 Verfahrensparameter] liegt ab einem Wassergehalt von über 70% eine mangelnde Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen vor. Der mittlere TR-Gehalt der Reststoffe liegt bei 13,23% und somit der Wassergehalt bei 86,77%. Zusätzlich wird über die künstliche Entlüftung der vorhandene Restsauerstoff aus den Separatoren abgesaugt. Daher ist auf der Olpererhütte keine Rotte möglich.

Prinzipiell kann nur im aeroben Bereich ausreichende Reaktionswärme freigesetzt werden, so dass es zu einer, für den Rottevorgang notwendigen, Selbsterwärmung kommen kann [31, Seite 94, 6.4].

Durch die Zugabe von Strukturmaterial könnte der Wassergehalt gesenkt und ein ausreichendes Porenvolumen für eine Rotte geschaffen werden. Geht man bei Strukturmaterial von einem Restwassergehalt von 10% aus müsste mindestens ein Mischungsverhältnis von einem Teil Strukturmaterial und zwei Teilen Schlamm erreicht werden, um unter die erforderlichen 70% Wassergehalt zu kommen. Nach Imhoff [20, Seite 295] liegt das Verhältnis Strukturmaterial zu Schlamm sogar bei 1:1,2.

Ein weiterer Anhaltspunkt dafür, dass keine Rotte vorliegt ist der absinkende pH-Wert von 6,5 auf 5,1. Nach Imhoff [20, Seite 253f] und dem Klärschlammhandbuch der ATV [4, Seite 96, Punkt 2.3.2.1] ist der (sinkende) pH-Wert ein Indikator für eine Schlammfäulung. In diesem Fall eine saure Gärung. Gärungsprozesse sind jedoch ungünstig, da nur langsame Stoffumsatzraten erfolgen und eine Volumenreduktion kaum stattfindet. Als weiterer unerwünschter Nebeneffekt tritt bei der sauren Gärung die Bildung von Gasen auf. Es werden Kohlensäure, Wasserstoff und geringe Mengen an Methan und Schwefelwasserstoff freigesetzt [20, Seite 88]. Dieser Prozess könnte die starke Geruchsentwicklung in den Separatoren erklären.

8.6.2 Volumenreduktion und Entwässerbarkeit der Reststoffe

Durch den, im Separatorinnenraum, gestiegenen Trockenrückstand von einem Prozent auf 13,23% ist auf der Olpererhütte von einer Volumenreduktion von über 90% auszugehen. Nachfolgende Beispielrechnung für ein Reststoffvolumen von $1m^3$ belegt dies [4, Seite 95]:

$$V_{neu} = V_0 * (TR_0/TR)$$

$$V_{neu} = 1m^3 * \frac{1\%}{13,23\%} = 0,07559m^3$$

Geht man von den $10,5m^3$ anfallenden Schlamm auf der Olpererhütte aus (Punkt 8.1.5), ergibt sich eine Volumenreduktion auf $0,79m^3$. Dies bedeutet gleichzeitig eine Gewichtsreduktion von 10,5t auf 800kg.

Die drei Separatoren müssen jedoch aufgrund der eingebrachten Filtermaterialien getrennt betrachtet werden.

Der Trockenrückstand im Separator C ist mit 15,3% am stärksten gestiegen. Im Separator B mit 12,8% liegt der Trockenrückstand im Mittel und mit 11,6% liegt der Separator A am unteren Ende. Dieses Ergebnis ist logisch, da der Separator A ohne Filtermaterial arbeitet und demnach den stärksten Durchgang von Feststoffen hat.

Im Separator B wurde das Teichvlies eingebracht. Wie bereits geschildert hat sich das Vlies relativ schnell zugesetzt und konnte demnach nicht mehr richtig bzw. nur noch sehr langsam entwässern. Der Rückhalt an Feststoffen ist jedoch bei dem Teichvlies am besten. Dies wurde auch durch die Vergleichsmessung mit kommunalem Klärschlamm bestätigt. Das Teichvlies ist daher aufgrund der langsamen Entwässerung nicht für den Einsatz auf der Olpererhütte geeignet.

Das am besten geeignete Material ist demnach die Kokosfasermatte. Die Dichte des Materials erzeugt die gewünschte Filterleistung und damit den gewünschten Rückhalt. Gleichzeitig neigt es nicht zur Porenbelegung wie das Teichvlies. Ein weiterer positiver Effekt der Kokosfaser ist, dass diese organisch ist und somit bei der späteren Kompostierung, als Strukturmaterial, mit in den Komposter eingebracht werden kann und nicht gesondert entsorgt werden muss.

Bei der Entwässerung ist bisher nur die natürliche Entwässerung durch die Schwerkraft berücksichtigt. Durch die im Hochgebirge niedrigen Wintertemperaturen muss jedoch auch die Gefrierkonditionierung berücksichtigt werden. Dabei verringern sich die Bindekräfte zwischen Feststoffen und Wasser, was zu einer besseren Entwässerung führt.

Durch die geplante Nachrotte sollen die organischen Stoffe weiter umgesetzt werden. Durch die Kompostierung kann sich das Volumen noch einmal um bis zu 50% reduzieren [15]. Hierfür liegen gute Voraussetzungen vor, da der organische Anteil der Feststoffe bei über 90% liegt.

8.6.3 Rezirkulation von feinen Schwebstoffen / Partikelanalyse

Der Vergleich der Partikelanalysen der Olpererhütte mit den Vergleichsmessungen zeigt, dass vermutlich erst durch die größeren Partikel ($> 0,5\text{mm}$) auf der Olpererhütte ein Rückhalt und eine Veränderung der Korngrößenverteilung erreicht wird. Durch die größeren Partikel kann sich ein Filterkuchen aufbauen, der dann in der Lage ist die feinen Schwebstoffe, im Bereich von $30\mu\text{m} - 3\text{mm}$ zurück zu halten. Dadurch lässt sich die Verschiebung des mittleren, geometrischen Durchmesser von $76,72\mu\text{m}$ im Zulauf auf $6,48\mu\text{m}$ im Ablauf erklären.

Die Vergleichsmessung hat gezeigt, dass bei einem homogenen Schlamm (ÜSS der KA-Holzkirchen) mit einem mittleren, geometrischen Durchmesser von ca. $55\mu\text{m}$, bei dem relativ dichten Teichvlies, keine Veränderung der Sieblinie gegeben ist und sich bei

den anderen Materialien erst gar kein Rückhalt und somit auch keine Verschiebung der Sieblinie einstellt.

Dies liegt an den fehlenden Partikeln $> 500\mu m$, was in der Abbildung 8.11 deutlich zu erkennen ist. Ein Vergleich der Sieblinien (Abbildung 8.12) zeigt ebenfalls deutlich den fehlenden Anteil an größeren Partikeln. Der von $4,24\mu m$ auf $8,72\mu m$ vergrößerte, mittlere Durchmesser ist ein Hinweis darauf, dass aus dem Filterkuchen, nach mehrmaliger Beschickung, feine Partikel ausgeschwemmt werden. Es darf allerdings nicht der geringere Zulaufdurchmesser unberücksichtigt bleiben. Wie aus den Vergleichsmessungen ersichtlich wurde, ist ein geringerer Zulaufdurchmesser für einen größeren Ablaufdurchmesser verantwortlich, da sich der Filterkuchen schlechter aufbauen kann (Punkt 8.5.4). Die Ablaufwerte des Separators A machen hierbei den größten Anteil, mit einem mittleren Durchmesser von $11,83\mu m$, aus (Abbildung 8.7).

Die Rezirkulation von feinen Schwebstoffen beschränkt sich demnach auf die Partikel zwischen $38nm$ und $30\mu m$. Dies stellt im Fall der Olpererhütte jedoch kein Problem dar, da die Hütte über die Wintermonate nicht bewirtschaftet wird.

Die Kläranlage wird in diesem Zeitraum außer Betrieb genommen. Dabei wird die Membrananlage zurückgespült und die einzelnen Behälter komplett entleert. Dadurch werden die feinen Schwebstoffe aus dem System entfernt und somit wird die Leistung der Anlage nicht beeinträchtigt.

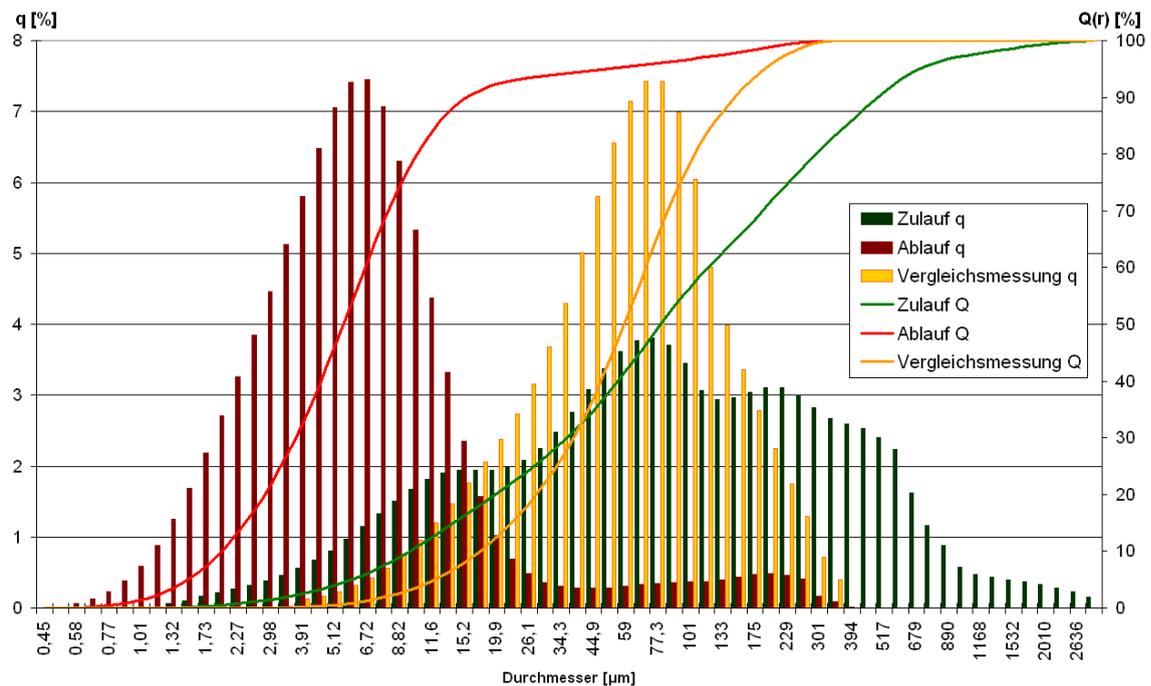


Abbildung 8.11: Gegenüberstellung: Olpererhütte - Vergleichsmessung

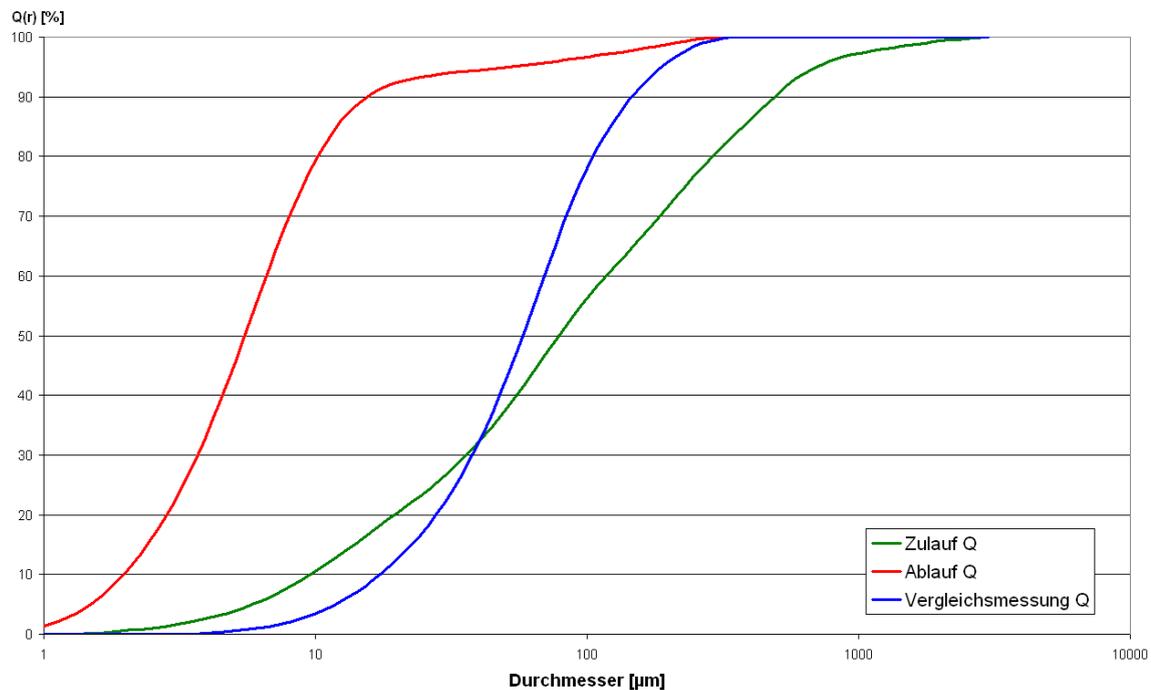


Abbildung 8.12: Sieblinien Olpererhütte und Vergleichsmessung

8.6.4 Vergleichende Betrachtung der Filtermaterialien

Die Ergebnisse der chemisch-analytischen Untersuchungen, sowie der Partikelanalyse stimmen in ihrer Aussage überein, bzw. stützen sich gegenseitig.

Wie im Vorfeld schon beschrieben, hat das Teichvlies die größte Filterwirkung und hält feinere Partikel zurück als die Kokosfasermatte. Dies ist jedoch nur bei der ersten Beschickung nutzbringend. Danach setzen sich die Teichvliessporen zu und es findet so gut wie keine Entwässerung mehr statt. Zudem werden auch größere Partikel aus dem Teichvlies ausgespült, was die gute Anfangsfilterwirkung aufhebt (Abbildung 8.13).

Die Filterleistung der Kokosfaser ist zu Beginn schlechter als die des Referenzreaktors. Die kann daran liegen, dass sich kleine Partikel aus dem Naturprodukt lösen und somit die Werte in die Höhe treiben. Sobald sich jedoch ein Filterkuchen aufgebaut hat ist der Rückhalt der Kokosfaser am größten. Im Vergleich zum Teichvlies kommt es bei der Kokosfaser zu keinen Belegungssanzeichen. Der Vorteil der Kompostierbarkeit wurde ebenfalls schon angeführt. Dies zeigt, dass die Kokosfaser hinsichtlich des Rückhaltes von Feinstpartikeln für den Dauerbetrieb die beste Lösung darstellt.

8.6.5 Wirtschaftliche Betrachtung der Nachrotte

Geht man davon aus, dass die Ausbringung der kompostierten Reststoffe nicht erlaubt ist, ist zu betrachten ob sich durch eine Nachrotte von bis zu 5 Jahren oder länger (Punkt 8.2.2 und 8.3.1) überhaupt wirtschaftliche Vorteile ergeben.

Ein Solar-Komposter wie er z.B. auf der Kloostertaler Umwelthütte [11, Kapitel 7] zum Einsatz kommt (Volumen $0,6m^3$), hat einen Anschaffungspreis von ca. 5.000 Euro. Mit

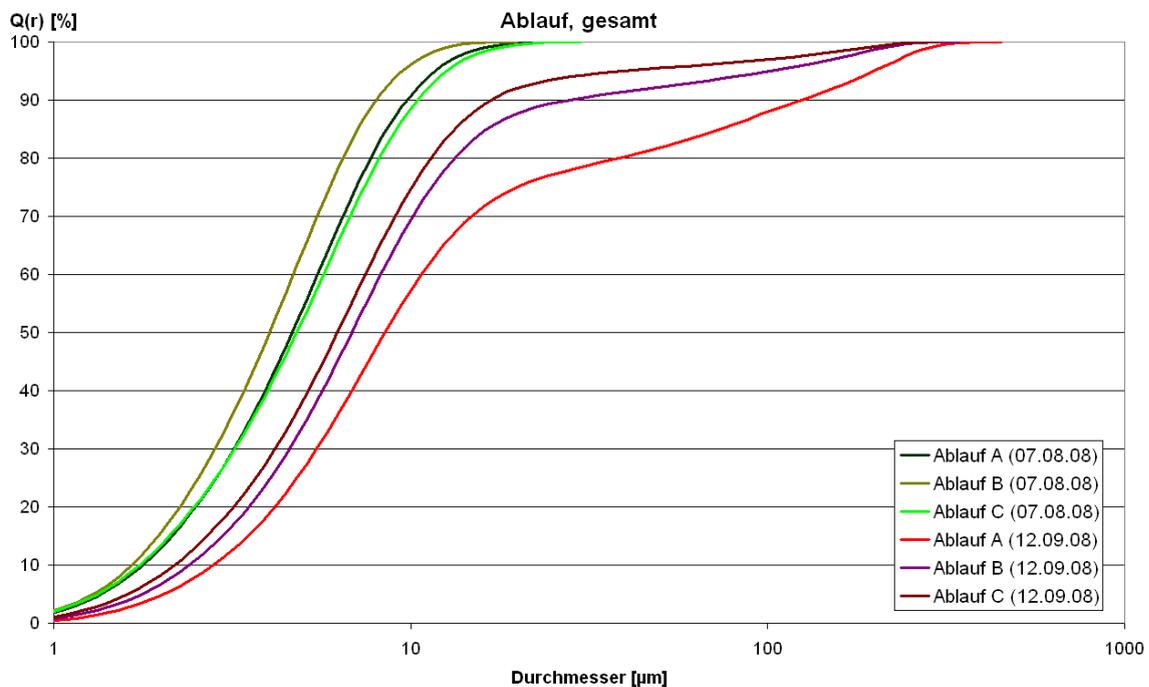


Abbildung 8.13: Partikelanalyse Ablauf, gesamt

einer Zugabe von Strukturmaterial im Verhältnis 1:2 (siehe Punkt 8.6.1) bekommt man ein zu kompostierendes Gesamtvolumen von $1,2\text{m}^3$ (Auslegungsgröße) bzw. $2,4\text{m}^3$ (Saison 2008). Das bedeutet, dass bei einer Saison nach Berechnungsgrundlage zwei Komposter und bei einer Saison wie 2008 vier Komposter benötigt werden. Somit entstehen 10.000 Euro - 20.000 Euro Gesamtanschaffungskosten.

Wie unter Punkt 8.6.2 beschrieben, kann bei einer optimal verlaufenden Kompostierung mit einer Volumenverringerung von bis zu 50% gerechnet werden. Durch die nicht optimalen Voraussetzungen im Hochgebirge ist ein so hoher Wert jedoch nicht zu erwarten. Legt man trotzdem 50% zugrunde bekommt man nach abgeschlossener Kompostierung ein Gesamtvolumen von $0,6 - 1,2\text{m}^3$. Das bedeutet eine Volumenreduktion von $0,2 - 0,4\text{m}^3$ bezogen auf die Ausgangsreststoffe (Abbildung 8.15).

Betrachtet man nun die anfallenden Transportkosten für den Abtransport mit dem Hubschrauber und geht von einem leichten Transporthubschrauber mit einer Nutzlast von 1000kg und einem Preis pro Flugminute von 80 Euro aus, kommt man bei einer Flugzeit von 15 Minuten auf 1.200 Euro. Dies sollte reichen, um die gesamten auf der Olpererhütte anfallenden Reststoffe ins Tal zu fliegen. Zusammen mit dem anschließenden Straßenabtransport entstehen Kosten von ca. 1.500 Euro bis 2.000 Euro. Diese Kosten entstehen sowohl bei direktem Abtransport der Reststoffe vor Beginn der neuen Saison als auch bei einer Kompostierung und daran anschließenden Abtransport. Für die Kompostierung muss Strukturmaterial zur Olpererhütte geflogen werden, wodurch zusätzliche Kosten entstehen. Unter den genannten Bedingungen ist eine Nachrotte der in den Separatoren behandelten Reststoffe wirtschaftlich nicht vorteilhaft.

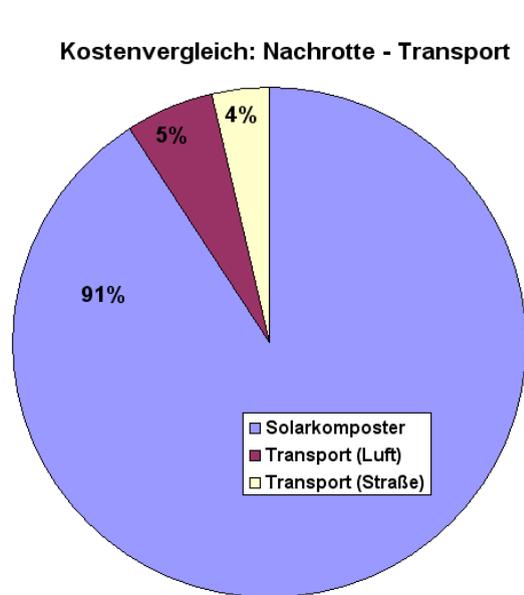


Abbildung 8.14: Kostenvergleich:
Solarkomposter -
Abtransport

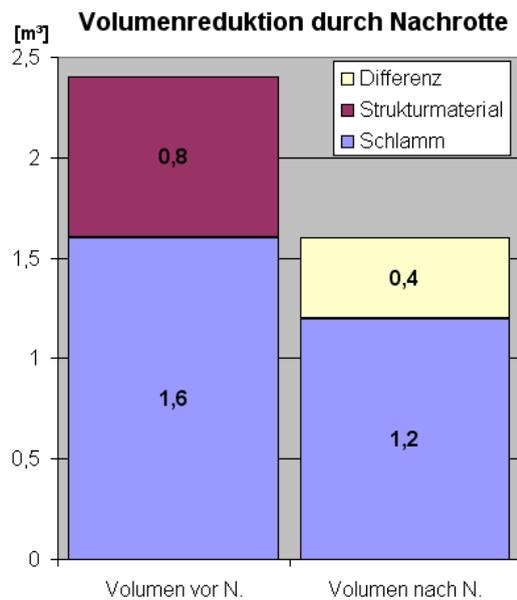


Abbildung 8.15: Volumenreduktion durch
Nachrotte (rechnerische
Werte der Saison 2008)

8.6.6 Erforderliche Behältergröße

Da die gesamte Anlage auf einen Abwasseranfall von $3,38 \text{ kg BSB}_5/d$ ausgelegt wurde, die tatsächliche Belastung jedoch bei $6,60 \text{ kg BSB}_5/d$ liegt ist demnach das SKS-Volumen auch unterdimensioniert. Wenn man die von Rewatec empfohlene Auslegungsgröße von 50 EW_{60} proportional zum aufgetretenen Schmutzwasseranfall verdoppelt, bekommt man nach Imhoff [20] mit $2,0 \frac{l}{E \cdot d}$ Schlammmanfall eine saisonale Gesamtschlammmenge von $21000 \text{ l} = 21 \text{ m}^3$. Ausgehend von einer Volumenreduktion von ca. 90% kommt man auf ein in den Separatoren vorzuhaltendes Mindestvolumen von $2,1 \text{ m}^3$. Mit einem vorhandenen Gesamtvolumen von $1,6 \text{ m}^3$ wäre das vorhandene System definitiv zu klein.

8.6.7 Entleerung der Behälter

Nach Angaben des Herstellers (Rewatec) sollen die Separatoren händisch entleert werden. Normalerweise sind die Separatoren im Erdboden eingelassen. Dies ist auf der Olpererhütte nicht der Fall. Im Technikraum der Olpererhütte stehen die Separatoren auf dem Boden. Da sie zudem eine Sonderanfertigung sind, sind sie ca. 30cm höher als normal. Für die Entleerung der drei Separatoren sind, aufgrund der Erfahrungen beim Befüllen, mindestens sechs Stunden zu veranschlagen. Aufgrund ihres Durchmessers und ihrer Höhe ist die händische Entleerung problematisch zu sehen. Eine handelsübliche Schaufel ist, aufgrund ihrer Länge, bei den vorhandenen Abmessungen störrisch. Zudem kann das Bücken in den beengten Verhältnissen auf Dauer überaus anstrengend sein. Letztlich ist das längere Arbeiten mit nicht hygienisierten Reststoffen hygienisch bedenklich zu sehen. Zusammengefasst führen diese Umstände höchstwahrscheinlich dazu, dass das Entleeren der Separatoren keine gerngemachte Arbeit ist und nicht sorgsam erledigt werden wird.

Die sorgsame Bestückung der Separatoren ist allerdings eine wichtige Voraussetzung für den Betrieb und das Behandlungsergebnis.

8.7 Empfehlungen zur Verbesserung der Reststoffbehandlung

Ausgehend von den gewonnenen Erkenntnissen können folgende Empfehlungen gegeben werden, die eine Verbesserungen der Reststoffbehandlung bewirken sollen:

Volumen des Schlamm-Kompostier-Systems: Wenn die Besucher- und Übernachtungsgastzahlen der Olpererhütte dauerhaft den Stand der Saison 2008 erreichen und alle Reststoffe (Vorklär- und Überschussschlamm) in den Separatoren entwässert und vorgerottet werden sollen, muss ein ausreichendes Volumen bereit gestellt werden. Da das derzeitige Volumen, wie dargestellt, hierfür nicht ausreichend ist, muss entweder ein vierter Separator aufgestellt oder eine getrennte Behandlung des Vorklär- und des Überschussschlammes erwogen werden.

Wahl des Filtermaterials: Wie beschrieben lieferte der Betrieb des Separator mit dem von *Rewatec* vorgeschlagenen Aufbau (Holzhackschnitzel mit Lochblechgitter) zufriedenstellende Ergebnisse hinsichtlich der Entwässerung und des Rückhaltes von Feinstpartikeln. Beides kann durch die zusätzliche Bestückung mit Kokosfasermatten verbessert werden. Sollte erwogen werden, das Filtermaterial ebenfalls der Rotte zuzuführen, muss darauf geachtet werden, dass das Filtermaterial keine künstlichen Fasern zur Verstärkung beinhalten, die nicht abbaubar sind und gesondert entsorgt werden müssen.

Erstbeschickung: Um eine Verlagerung von Schlammpartikeln in die Holzhackschnitzel zu verhindern, sollten die Separatoren zuerst mit Vorklärschlamm beschickt werden. Dieser enthält größerer Partikel, welche einen Filterkuchen über den Hackschnitzeln aufbauen und damit dann auch kleinere Partikel zurückhalten können. Wie sich aus den ergänzenden Vergleichsmessungen zeigte, kann eine ausschließliche Beschickung mit Überschussschlamm hinsichtlich des Stoffrückhaltes eine wesentlich schlechtere Leistung aufweisen, so dass die Funktionalität der Separatoren nicht mehr zwingend gegeben ist.

Gefrierkonditionierung: Zur Verbesserung des Entwässerungsergebnisses sollten die Separatoren erst nach den Wintermonaten zu Beginn der Sommersaison entleert werden, um den Effekt einer stattfindenden Gefrierkonditionierung zu nutzen.

Nachrotte: Der Behandlungsschritt der Nachrotte ist auf die Verwertungs- bzw. Entsorgungsoption der Reststoffe abzustimmen. Bei einem vorgeschriebenen Abtransport der Reststoffe kann ein wirtschaftlicher Nutzen der Nachrotte nicht erwartet werden. Für funktionierende Rottebedingungen muss wegen der Zusammensetzung der Reststoffe aus den Separatoren zusätzliches Strukturmaterial zugegeben werden, welches allerdings erst zur Hütte transportiert werden müsste.

Handling der Reststoffe: Die derzeit erforderliche händische Entleerung der Separatoren ist aus hygienischen Aspekten und zeitaufwändigen Gesichtspunkten nicht tragbar. Es sollten hierfür unbedingt Maßnahmen ergriffen werden, welche diese Situation verbessern. Beispielsweise wäre es denkbar, eine Art Netz in die Separatoren einzubringen oder den Lochblecheinsatz als stabiler Korb auszuführen, um damit die behandelten Reststoffe per Hebezug zu entnehmen. Die Einsätze müssen hierbei keine Funktion im Sinne des Behandlungszieles erfüllen. So könnte das Netz dünn und grobmaschig sein, jedoch aber auch belastend und reißfest sein.

9 Belange des Bodenschutzes

Reststoffe bezeichnen nach [34] die bei der Abwasserreinigung anfallenden und abgetrennten Inhaltstoffe in unterschiedlicher Form und Konsistenz. Sie wurden bisher meist im Hüttenumfeld ausgebracht, was lokal die Vegetation verändern kann, örtlich ein hygienisches Gefährdungspotenzial birgt und in sensiblen Lagen die Qualität vorhandener Wasserressourcen beeinträchtigen kann. Wegen dieser Vorbehalte und den verschärften gesetzlichen Regelungen zur Klärschlammasbringung, wird die Entsorgung der Reststoffe ins Tal immer häufiger angeordnet.

Grundsätzlich ist die Mitbehandlung von Reststoffen von Berghütten in größeren Kläranlagen im Tal die umweltgerechteste Entsorgung, weil hier eine kontrollierte Behandlung gewährleistet ist. Aus Sicht der Betreiber von Berghütten ist dieser Entsorgungsweg, aufgrund der meist fehlenden Zufahrtsstraßen, wirtschaftlich nicht tragfähig [34]. Ist der Abtransport aus rechtlichen Gründen nicht zwingend vorgeschrieben, könnte weiterhin eine Ausbringung vor Ort erwogen werden. Hierfür muss das Gefährdungspotenzial der Schädigung der Umwelt und des Bodens abgeschätzt werden. Die Konzentration an Schwermetallen ist hierbei ein wichtiges Kriterium.

9.1 Bodenschutz

9.1.1 Bodenfunktionen

Als Boden wird der oberste Teil der Erdkruste zwischen Lithosphäre und Biosphäre bezeichnet. Böden entstehen durch die verschiedenen bodenbildenden Prozesse und bilden, je nach klimatischen Bedingungen eine charakteristische Lebensgemeinschaft/Biozönose aus [30].

Als zentrale Lebensgrundlage für Pflanzen, Tiere und Menschen. In diesem Zusammenhang erfüllen Böden wichtige Aufgaben, wie BLIEFERT [9] anführt:

- **Regelungsfunktionen:** Böden filtern, puffern, transportieren, emittieren und speichern Stoffe; sie sind ein entscheidendes Glied bei Energie- und Stoffwechselflüssen in Ökosystemen.
- **Lebensraumfunktion:** Böden bilden Lebensräume für Mikroorganismen, Pflanzen, und Kleinstlebewesen und sind daher Lebensgrundlage für Tiere und Menschen.
- **Nutzungsfunktion:** Böden werden, sowohl im land- und forstwirtschaftlichen Bereichen als auch in der Verwendung als Rohstofflieferanten (Ton, Sand, Kies etc.) genutzt.

Böden gehören zu den nicht erneuerbaren Ressourcen. Aus diesem Grunde kommt dem Schutz des Bodens als Lebensgrundlage für künftige Generationen eine besondere Bedeutung zu. Eine langfristige Nutzung ist jedoch zunehmend durch schädigende Einflussnahme gefährdet. Diffuse und lokale -meist menschlich verursachte- Verunreinigungen, der Rückgang organischer Substanz und die Verringerung biologischer Vielfalt verschlechtern verstärkt den Zustand der Böden [33]. Dies kann bei anhaltender Verödung zum Verlust von fruchtbaren Bodenschichten führen. Vor allem auf Flächen die landwirtschaftlich genutzt werden darf es deshalb zu keiner Anreicherung von Schadstoffen in Böden und in den auf ihnen angebauten Pflanzen kommen [9].

9.1.2 Regelungen des Bodenschutzes in Deutschland

Das Schutzniveau für Böden in Europa ist sehr unterschiedlich geregelt, teilweise sind, im Gegensatz zu den Umweltmedien Wasser und Luft, noch keine allgemein verbindlichen Schutzanforderungen an einen vorsorgenden Bodenschutz formuliert [33]. So werden von der EU Kommission lediglich auf Strategien für eine künftige Bodenschutzpolitik verwiesen [33]

Dagegen hat der Gesetzgeber in Deutschland wichtige Aspekte des Bodenschutzes, u.a. Böden als schutzwürdige Güter, in besonderer Weise durch gesetzliche Rahmenbedingungen Rechnung getragen (BBodSchG., BBodSchV.) Weiterhin gibt es zahlreiche Regelungen in Gesetzen und Verordnungen, auf Basis des Bundesimmissionsschutzgesetzes, die -indirekten Schutz des Bodens vor schädlichen Veränderungen zum Ziel haben (Düngemittelgesetz und Düngemittelverordnung).

Bundesbodenschutzgesetz

Durch das Bundesbodenschutzgesetz (BBod.SchG) [7] sind Grundsätze zur Sicherung und Wiederherstellung der natürlichen Funktion des Bodens gefasst. Dazu sind im Sinne des Gesetzes schädliche Bodenveränderungen (Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen) abzuwehren und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen. Zu den Grundsätzen gehören u.a. die Erhaltung und Verbesserung der Bodenstruktur, die Vermeidung von Bodenabträge durch Standort angepasste Nutzung und die Erhaltung des standorttypischen Humusgehaltes durch ausreichende Zufuhr an organischer Substanz.

Bundesbodenschutzverordnung

Durch die Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) [8] werden die vom Gesetzgeber angeführten allgemeinen Ziele des Bodenschutzes konkretisiert und besondere Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in Böden vorgegeben. Schadstoffe im Sinne dieser Verordnung sind Stoffe, die beispielsweise aufgrund ihrer Gesundheitsschädlichkeit, Langlebigkeit oder Bioverfügbarkeit im Boden oder auf Grund anderer Eigenschaften und ihrer Konzentration geeignet sind, den Boden in seiner Funktion zu schädigen oder sonstige Gefahren hervorzurufen können.

An das Auf- und Einbringen von Materialien werden besondere Anforderungen gestellt. Dabei wird auf die Einhaltung der stofflichen Qualitätsanforderungen nach KrW-/AbfG und AbfKlärV verwiesen. Je nach Bodenart, u.a. Lehm Schluff, Sand und Ton für Schwermetalle und organische Parameter Vorsorgewerte definiert, deren 70% Wert bei landwirtschaftlicher Folgenutzung nicht überschritten werden darf.

Als weitere Anforderung an die Nährstoffzufuhr ist die Menge und Verfügbarkeit des aufzubringenden Materials dem Pflanzenbedarf der Folgevegetation anzupassen.

Zur Regelung der Umsetzung der Bundesbodenschutz- und Altlastenrechts wurde in Bayern zusätzlich eine Verwaltungsvorschrift (Bay Bod.SchVwV, 2000) erlassen.

Verwaltungsvorschrift

Zur Umsetzung der Bundesbodenschutz- und Altlastenrechts wurde in Bayern zusätzlich eine Verwaltungsvorschrift erlassen, in der der nachhaltige Schutz des Umweltgutes „Boden“ und einhergehend der Vorsorgeaspekt gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen angeführt werden. (Bay Bod.SchVwV, 2000)

9.1.3 Regelungen des Bodenschutzes in Österreich

In Österreich wird der Schutz der Bodenqualität durch Bodenschutzgesetze und Klärschlammverordnungen einzelner Bundesländer geregelt, wobei dabei auch Grenzwerte zur Ausbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftliche Flächen festgelegt sind mit dem Ziel einer Erhaltung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit. In einigen Bundesländern u.a., Tirol, Vorarlberg fehlen Bodenschutzgesetze.

9.2 Aspekte des Klärschlammaustrages

Aus den Regelungen des Bodenschutzes ist ersichtlich, dass der Boden als Lebensraum für Pflanzen, Tieren und Menschen geschützt werden muss. Das bedeutet, dass er einerseits nicht durch Schadstoffe verunreinigt werden darf und andererseits auch durch äußere Verödung (beispielsweise Erosion) geschützt werden sollte, indem beispielsweise Humus oder andere Boden verbessernde Stoffe aufgetragen werden. Hierzu kann auch der Klärschlamm gehören, falls dieser nicht mit schädigenden Stoffen (organischen Schadstoffen, Schwermetalle u.a.) verunreinigt ist.

Das Aufbringen von Klärschlamm auf Böden regeln eigene Richtlinien, Gesetze oder Verordnungen. Im Folgenden soll auf die Aspekte der Klärschlammaufbringung unter den Gesichtspunkten des Bodenschutzes eingegangen werden.

9.2.1 Rechtliche Regelungen

Die Richtlinie 86/278/EWG regelt die Verwendung von Klärschlamm mit dem Ziel, dass Schäden für Böden, Vegetation, Tiere und Menschen vermieden werden. Weiterhin soll sie

der Förderung einer schadlosen Nutzung von Klärschlamm in der Landwirtschaft dienen.

In der Klärschlammverordnung wird als Voraussetzung für ein Aufbringen u.a. festgelegt, dass besonders der Nährstoffbedarf der Pflanzen unter Berücksichtigung der im Boden verfügbaren Nährstoffe und organischer Substanzen erfolgen soll. (AbfKlärV 1992). Weiterhin werden besondere Auflagen hinsichtlich von Bodenuntersuchungen im Vorfeld einer Klärschlammausbringung und begleitend dazu gestellt. Untersuchungsparameter sind dabei im Bereich der Schwermetalle vorgegeben.

9.2.2 Klärschlamm als Dünger

Hinsichtlich der Entsorgung bzw. Verwertung wird Klärschlamm durch verschiedene Merkmale wie sein Schadstoff- und Nährgehalt, sein Gehalt an organischer Trockensubstanz und seine Ästhetik charakterisiert [14].

Nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz [KrW-/AbfG 1994] ist die Verwertung einer Beseitigung vorzuziehen. Grundgedanke hierfür ist die Kreislaufführung wertgebender Bestandteile. ONNEN [26] spricht der Verwertung spricht der Verwertung von Klärschlamm folgende positive Auswirkungen zu:

- Zufuhr organischer Substanz als Humusquelle (Förderung der biologischen Aktivität, Erhöhung des Nährstoffbindevermögens)
- Zufuhr von Makro- und Mikronährstoffen
- Anhebung des pH-Wertes
- Rückführung der dem Boden durch Pflanzen entzogenen Stoffe

Als Hauptbestandteile sind Stickstoffe, Kalium, Calcium, Magnesium, Phosphor und organische Substanz zu nennen, die als Bodenverbesserungsmittel (Verwendung in Weinanbaugebieten zur Reduzierung der Erosion im hängigen Gelände), sowie teilweise als Düngerersatz für mineralische Dünger dienen können [?].

Die Verfügbarkeit der Nährstoffe Stickstoff und Phosphor hängen stark von der Bindungsform, resultierend u.a. aus der Abwasser- und Schlammbehandlung ab. Eine gute Wirksamkeit bzgl. Phosphors haben z.B. Schlämme aus Anlagen mit rein biologischer Phosphorelimination bzw. mit Kalkfällung, dagegen kann mit Eisen- oder Aluminiumsalzen gebundener Phosphor nicht vollständig, bzw. nur langfristig zur Pflanzenverfügbarkeit gerechnet werden [14].

Begrenzt wird die Anwendung von Klärschlamm durch die Gehalte an anorganischen (insbesondere Schwermetalle) und organischen Schadstoffen. Des Weiteren sind aus seuchenhygienischen Gesichtspunkten pathogene Bakterien, Viren und Wurmeier zu berücksichtigen.

BANNIK et al. [5] formulierten Handlungsoptionen, die zur Vermeidung von Schadstoffanreicherungen im Boden beitragen sollen:

- Vermeidung/Minderung schädlicher Stoffeinträge
- Begrenzung der Einträge auf Gleichgewicht mit tolerierbaren/zulässigen Austrägen („Eintrag = Austrag“)
- Begrenzung der Konzentration einzubringender Materialien auf die Bodenvorsorgewerte („Gleiches zu Gleichem“)

In den geltenden rechtlichen Vorschriften Deutschlands und Österreichs wird die Verwertung klärschlammhaltiger Produkte nur nach deren Gehalt an Schadstoffen (Schwermetalle, organische Schadstoffe) vorgenommen. Eine Begrenzung der Nährstofffracht ist nicht formuliert. Diese wird allerdings in den derzeit diskutierten Bewertungskonzepten (das BMU-/BMVEL- und das VDLUFA/DWA-Konzept) für eine Grenzwetherleitung der Klärschlammausbringung mit einbezogen.

Grundlage des VDLUFA/DWA-Konzeptes ist ein Minimierungsgebot für Schwermetallfrachten, die in Verbindung mit Nährstoffzufuhren nach „guter fachlicher Praxis“ aufgebracht werden sollen. Die wertgebenden Bestandteile für die Versorgung des Bodens mit Nährstoffen und Humus sollen hierbei in Bezug zu den tolerierbaren Schadstoffeinträgen gesetzt werden.

Zielsetzung des BMU-/BMVEL-Konzeptes ist die Begrenzung des Eintrages nachteiliger Stoffeinträge durch die Düngung landwirtschaftlicher Nutzflächen, um eine nachhaltige Bodennutzung zu gewährleisten. Der maximale zulässige Gehalt an Schadstoffen orientiert sich an den Vorsorgewerten der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung [BBodSchV 1999].

Die Verwendungsfähigkeit von kommunalen Klärschlämmen wird kontrovers diskutiert. An dieser Stelle sei auf das im Juli 2008 durch das bayerische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz durchgeführte „Internationale Klärschlammposium“ verwiesen [6]. Hierbei lag der Fokus weniger auf Nährstoffeinträgen durch eine mögliche landwirtschaftliche Klärschlammverwertung, sondern eindeutig auf den Schutz von Böden und Flächen durch zusätzlich eingetragene organische Schadstoffen und Schwermetallen. Nach neuesten Erkenntnissen wird der Nutzen einer Klärschlammausbringung im Hinblick auf die Verfügbarkeit und Bereitstellung von Nährstoffen nur als sehr begrenzt eingeschätzt [13].

9.2.3 Anwendung im Hochgebirge

Im Umland von Berghütten findet die Klärschlammverordnung meist keine Anwendung, da es sich hierbei selten um landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden handelt. Entscheidungen, welche die Klärschlammverwertung in den Bergen betreffen, regelt das Schreiben des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen

(StMLU) vom 18.02.1994. Hiernach sollte auf Berghütten anfallender Klärschlamm ins Tal gebracht und dort in kommunalen Kläranlagen entsorgt werden. Falls eine Entsorgung ins Tal, beispielsweise wegen Fehlens geeigneter Transportmöglichkeiten, nicht zumutbar ist, soll geprüft werden, ob im Einzelfall ausnahmsweise eine Entsorgung des Schlammes nach §4 (2) des Abfallgesetzes zugelassen werden kann.

Für die praktische Umsetzung bedeutet dies, dass bei Fehlen einer solchen Transportmöglichkeit und der Entsorgung nach dem Abfallgesetz, eine Einzelfallentscheidung getroffen werden muss. Dafür ist das Gefährdungspotenzial einer Aufbringung abzuschätzen, d.h. die Sensibilität des Umlandes/Bodens (Bodenart, Untergrundgestein, Höhenlage, Vegetation, Niederschlag, etc.) und die Boden schädigende Wirkung der Reststoffe (Schwermetalle, Nährstoffe, hygienische Parameter, organische Schadstoffe, etc.) gegeneinander abzuwägen. Letztlich sind dies u.a. stark von der Wahl der Verfahren zur Abwasserreinigung und Reststoffbehandlung geprägt. Hierzu bieten die Internetseiten „Ökobilanz“ [38] und „Klärschlammproblematik“ [1; 2] hilfreiche und weiterführende Informationen.

9.3 Umweltschädigende Inhaltsstoffe

Eine Begrenzung an Schadstoffen im Klärschlamm wird für Schwermetalle und organische Schadstoffe in der Klärschlammverordnung angegeben. Diese findet jedoch im Hochgebirge, wie oben genannt, meist keine Anwendung. Die Verwertung bzw. Entsorgung der Reststoffe soll vielmehr im Einzelfall entschieden werden. Für diese Einzelfallentscheidungen ist das Wissen um die Menge der Reststoffe und die Verschmutzung der Reststoffe überaus bedeutsam.

9.3.1 Hygienische Parameter

Für die Bewertung hygienischer Aspekte sind die Bodenmächtigkeit, der geologische Untergrund und die morphologische Lage der jeweiligen Hütten zu beachten. So sind beispielsweise Gebirgsstöcke aus Kalkgestein im Vergleich zum Urgestein meist schroffer und verkarsteter, wodurch Niederschlag schnell in den Untergrund gelangt und die teils weit verzweigten Klüften und Höhlen fließt. Auf diese Weise können Schadstoffe mittransportiert werden und so oft weit entlegene, tiefer liegende Wasserfassungen verunreinigen [2].

Eine Untersuchung hygienischer Parameter (Salmonellen, Wurmeier, Enterokokken, usw.) in den Reststoffen wurde im Rahmen der zweiten Projektphase durchgeführt. Die detaillierten Ergebnisse sind im Abschlussbericht [2] zusammengefasst. Tabelle A.13 zeigt eine zusammengefasst Ergebnisübersicht.

Ein Vergleich der Ergebnisse verschiedener technischer Verfahren ist aber nur ansatzweise möglich, da die standortspezifischen Einflüsse und hüttentechnische Merkmale zu berücksichtigen sind. So sind bei Enterobacteriaceen nach einer Schlammbehandlung im Solar-Schlammrockner eine Reduktion der Koloniebildenden Einheiten von fünf Dezima-

len nachweisbar (bsp. Leutkircher Hütte), während in Schlämmen, die im überdachten Trockenbeet behandelt wurden (Mindelheimer Hütte), lediglich eine Reduktion dieser Leitorganismen um eine Dezimale feststellbar ist.

9.3.2 Organische Schadstoffe

Eine Bewertung der organischen Schadstoffen wie beispielsweise PCDD/F, PFT oder PAK's wurden im Rahmen der drei Projektphasen nicht untersucht. Grund hierfür ist der Umstand, dass auf Berghütten keine typischen Eintragungspfade für diese Schadstoffgruppe vorhanden ist:

- Die Behandlungs- und Reinigungsverfahren sind meist überdacht und geschlossen. Dadurch ist eine Emission aus der Luft schwer möglich.
- Der Einsatz aggressive Reinigungsmittel sind nicht gestattet, da ansonsten mit einer Beeinträchtigung der biologischen Reinigungsverfahren zu rechnen ist.
- Industrielle bzw. gewerbliche Eintragungspfade gibt es keine.

9.3.3 Nährstoffe

Bei der Abschätzung des notwendigen Bedarfes der Böden an Nährstoffen und Humus, muss berücksichtigt werden, dass mit zunehmender alpiner Höhenstufe der Bedarf abnimmt. Die alpine Vegetation ist teils an sehr karge und nährstoffarme Verhältnisse angepasst und reagiert in diesen Fällen empfindlich auf Düngung. GROHMANN [16] weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass im Almgebiet beispielsweise eine Ausbringung des Klärschlammes kaum auffällt, aber in Höhen von 2200 Metern eine enorme Artenverarmung bewirken kann. Eine quantitative Erfassung des Nährstoff- und Humusbedarfes alpiner Böden existiert derzeit noch nicht.

Klärschlämme weisen normalerweise hohe Stickstoff- und Phosphatgehalte auf, aber niedrige Kaliumgehalte [DWA 2004]. Kalium ist wasserlöslich und wird überwiegend mit dem gereinigten Abwasser ausgetragen. Hinsichtlich der Bewertung einer möglichen Verwertung sind nicht die Gesamtkonzentrationen an Nährstoffen relevant, sondern nur deren pflanzenverfügbarer Anteil. Da bei der Abwasserreinigung im Hochgebirge meist keine Phosphatelimination betrieben wird, sind die durchschnittlichen Phosphatkonzentrationen in alpinen Reststoffen niedriger als in kommunalen Klärschlämmen. Das zeigen auch die Ergebnisse der zweiten Projektphase.

Der düngewirksame Teil des Stickstoffes (N_w) in Reststoffen kann nach ATV [23] in Abhängigkeit des Ammoniumstickstoffes (N_{min}) und des organisch-gebundenen Stickstoffes ($N_{ges} - NH_4N$) berechnet werden. Es gilt Gleichung (9.1).

$$N_w = 0,9 \cdot N_{min} + 0,25 \cdot N_{org} \quad (9.1)$$

Die Ergebnisse der zweiten Projektphase zeigen, dass der zu Beginn der Behandlung in den Reststoffen enthaltene Ammoniumstickstoff mit fortschreitender Behandlungsdauer abnimmt und zum Ende der Behandlung nur noch in sehr kleinen Konzentrationen in den Reststoffen enthalten ist. Er wird mit dem austretenden Schlammwasser zurück zur Kläranlage geführt. Der organisch-gebundene Stickstoff ist als TKN an die Reststoffe gebunden. Er wird nicht in die Kläranlage zurückgeführt, teilweise allerdings biologisch abgebaut. Durch die Reststoffbehandlung kann somit der anfangs enthaltenen pflanzenverfügbare Anteil an Stickstoff erheblich gesenkt werden.

Am Beispiel der Stuttgarter Hütte (Daten aus Kap.5.2.4.5. - Schlussbericht Phase II [2]) ist ersichtlich, dass bei der Behandlung im Pflanzenbeet eine Reduktion des TKN um mehr als 30% und des Ammoniumstickstoffs um mehr als 90% erfolgt ist. So kann eine Rückgang des pflanzenverfügbaren Phosphors im gesamten Schlamm von anfänglich 4,67 kg auf einen Wert von 1,7 kg nach der Behandlung errechnet werden.

9.3.4 Schwermetalle

Am Institut für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München wurden in der ersten und der zweiten Projektphase über einen Zeitraum von fünf Jahren Reststoffproben auf deren Schwermetallgehalte hin analysiert.

Die Proben stammen von neun verschiedenen Berghütten des Deutschen Alpenvereins mit unterschiedlichen Abwasserreinigungssystemen und Behandlungsverfahren der Reststoffe. Alle Hütten werden touristisch genutzt und zählen zu der Kategorie I.

Die Reststoffe waren, abhängig vom jeweiligen Behandlungsverfahren und der Behandlungsdauer, teils fließfähig und teils stichfest. Für die Untersuchungen wurden mehrfach Teilproben an verschiedenen Stellen und aus verschiedenen Tiefenlagen entnommen und zu einer Mischprobe vermengt. Diese wurde dann homogenisiert und zu einer Laborprobe aufbereitet.

Die Laboranalysen wurden auf Ausreißer hin nach den Signifikanzschranken nach Pearson und Hartly untersucht. Als Signifikanzniveau wurde 0,01 gewählt. In Tabelle 9.1 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertungen dieser Reststoffproben zusammengestellt. Der angegebene Stichprobenumfang bezieht sich auf die Anzahl vorhandener Laboranalysen vor dem Ausreißertest.

Abhängig vom eingesetzten Reinigungsverfahren des Abwassers, fallen Reststoffe in unterschiedlicher Form und Konsistenz als Klärschlamm, Trockentoilettenkompost, oder Filtersackrückstand an. Im Hinblick auf eine weitere Reststoffbehandlung ist die Unterscheidung in fließfähige und stichfeste Reststoffe sinnvoll. Diese Unterscheidung zeigt sich hauptsächlich im Wassergehalt, aber auch bei der Konzentration an Nährstoffen (C, N, P) und Schwermetallen. Tabelle 9.2 und Tabelle 9.3 zeigen das Ergebnis der statistischen Auswertung von Schwermetallkonzentrationen in fließfähigen und stichfesten Reststoffen. Auch hier wurden Ausreißer nach den Signifikanzschranken (Signifikanzniveau 0,01) nach Pearson und Hartly untersucht.

Tabelle 9.1: Ergebnisse der statistischen Auswertung untersuchter Reststoffproben

	Einheit	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn
Arithm. Mittelwert	mg/Kg	0,57	1,64	19,06	75,07	0,11	3,14	14,12	6,83	426
Median	mg/Kg	0,51	1,4	14,5	62	0,1	2,85	12	5	390
Minimalwert	mg/Kg	0,03	0,03	1,7	15,6	0,03	0	2,5	1	144
Maximalwert	mg/Kg	1,5	4	68	193	0,3	10	41,7	27	1019
Standardabweichung	mg/Kg	0,32	1,03	14,02	39,3	0,05	2	8,75	6,03	186
Schiefe	1	0,82	0,62	1,58	1,39	2,67	1,18	1,02	1,33	1,47
Umfang der Stichproben	Stück	71	69	71	71	71	51	71	70	70
Anzahl der Ausreißer	Stück	4	4	1	0	5	1	2	2	1

Tendenziell liegen Median- und Maximalwerte der Schwermetallkonzentrationen in stichfesten Reststoffen unterhalb der Konzentration in fließfähigen Reststoffen. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Messergebnisse der Metallkonzentrationen in stichfesten Reststoffen bei der Beprobung lediglich einer Verfahrensvariante der Schlammbehandlung, Stufenkomposter am Kaiserjochhaus, ermittelt wurden.

Für eine genauere Einschätzung der Messergebnisse sind noch Untersuchungen, u.a. auch an weiteren Verfahrensvarianten zur Erzeugung von stichfesten Reststoffen, notwendig.

Tabelle 9.2: Ergebnisse der statistischen Auswertung untersuchter Reststoffproben fließfähiger Reststoffe

	Einheit	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn
Arithm. Mittelwert	mg/Kg	0,64	1,6	19,59	80,05	0,11	3,63	14,68	7,61	460
Median	mg/Kg	0,58	1,4	15,5	62	0,1	3	12	6	401
Minimalwert	mg/Kg	0,03	0,1	3,4	24	0,03	1,1	2,5	1	164
Maximalwert	mg/Kg	2	4	68	193	0,3	10	41,7	27	1090
Standardabweichung	mg/Kg	0,38	1,03	14,7	41,29	0,04	1,94	9,12	6,43	211
Umfang der Stichproben	Stück	57	57	57	57	56	40	57	56	56

Literaturwerte

In Tabelle 9.4 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertungen von Reststoffproben, welche in der einschlägigen Literatur gefunden wurden, zusammengestellt. Ein Ausreiser-test wurde hierbei nicht durchgeführt. Der Vergleich dieser Literaturwerte mit den eigenen Messungen zeigt folgende Auffälligkeiten:

- Gegenüber den eigenen Messungen sind hier die arithmetrischen Mittelwerte höher.

Tabelle 9.3: Ergebnisse der statistischen Auswertung untersuchter Reststoffproben stichfester Reststoffe

	Einheit	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn
Arithm. Mittelwert	mg/Kg	0,43	1,75	16,94	54,81	0,14	1,52	11,49	3,54	338
Median	mg/Kg	0,36	1,9	13	53,5	0,1	1,1	10,8	3	349
Minimalwert	mg/Kg	0,29	0,03	1,7	15,6	0,1	0,54	2,5	2	144
Maximalwert	mg/Kg	0,87	3,7	33	102	0,3	3,18	25,8	6	527,1
Standardabweichung	mg/Kg	0,19	1,15	11,08	20,51	0,06	0,92	6,33	1,51	115
Umfang der Stichproben	Stück	14	14	14	14	14	12	13	14	14

Tabelle 9.4: Ergebnisse der statistischen Auswertung von in der Literatur gefundenen Schwermetallkonzentrationen von Reststoffen aus Kleinkläranlagen und nicht-kommunalen kleinen Kläranlagen

	Einheit	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Arithm. Mittelwert	mg/Kg	1,23	25,18	182,87	2,15	14,49	31,31	633
Median	mg/Kg	1,05	20,2	137	0,82	12,2	15,7	533
Minimalwert	mg/Kg	0,33	4,9	31,5	0,26	6,2	7,02	287
Maximalwert	mg/Kg	2,8	64,3	435	18	32,2	124	1267
Standardabweichung	mg/Kg	0,61	19,82	138,59	4,59	8,44	31,58	305
Stichproben-umfang	Stück	14	13	15	14	13	15	15

Zudem streuen die Werte wesentlich mehr.

- Die Schwermetalle Cd, Hg und Pb sind, verglichen mit den durchschnittlichen Konzentrationen kommunaler Klärschlamm, wesentlich geringer.
- Die Schwermetalle Cu, Zn und Ni treten gegenüber den anderen Schwermetallen in höheren Konzentrationen auf. Das sind die Metalle welche auch in den Hausinstallationen zu finden sind und auch als Spurenelemente am menschlichen Stoffwechsel beteiligt sind.

Vergleich mit Grenz- und Literaturwerten

Für die Bewertung der Schwermetallkonzentrationen ist der Vergleich mit den gesetzlich zulässigen Grenz- und fachlich empfohlenen Richtwerten entscheidend. In Abbildung 9.1 sind die Maximalwerte aus Tabelle 9.1 mit Grenzwerten der Klärschlammverordnung von 1992 [?] und ihrer Novelle von 2007, sowie den Richtwerten des VDLUFA/DWA-Klärschlammkonzept für Lehmböden gegenübergestellt. Die geforderten Grenzwerte für Schwermetallgehalte sind teilweise sogar deutlich unterschritten. Dies gilt insbesondere für Quecksilber und Blei. Auch der Vergleich der mittleren Konzentrationen mit kommunaler Klärschlamm und mit Schlämmen aus Kleinkläranlagen bzw. kleinen Kläranlagen (Literaturauswertung) zeigt, dass die Konzentrationen in alpinen Reststoffen niedriger sind (Tabelle 9.4). VESTNER & GÜNTHERT [34] kommen zu gleichen Ergebnissen.

Tabelle 9.5 zeigt Grenzwerte für Schwermetalle in Klärschlämmen und klärschlammhaltigen Stoffen. Die Einheit ist mg/Kg Trockenmasse. Die Werte beziehen sich auf Lehmböden.

Tabelle 9.5: Grenzwerte für Schwermetalle in Klärschlämmen und klärschlammhaltigen Stoffen

	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn
BMU, BMVEL 2002	0,9		45	70	0,5		45	60	390
VDLUFA/DWA 2003	2,5		200	550	2		80	200	1400
MUNLV NRW 2003	1,2		170	200	0,8		70	60	650
AbfKlärV 1992 ¹	10 (5)		900	800	8		200	900	2500 (2000)
AbfKlärV 2007 Novelle	2,5		100	700	1,6		60	120	1500
Bodenschutzverordnung	1		60	40	0,5		50	70	150
86/278/EWG									
3. Arbeitspapier zur Novellierung der EU- Klärschlammrichtlinie ²	2		600	600	2		100	200	1500
EU-Ökolandbau V	0,7		70	70	0,4		25	45	200
ÖWWV Regelblatt 17	10		500	500	10		100	500	2000
KSVO Steiermark	10	100	500	500	10	20	100	500	2000

Beim VDLUFA/DWA -Konzept wurde für die essentiellen Schwermetalle Cu und Zn als bedeutende Elemente der Pflanzen- und Tierernährung die zulässigen Konzentrationen (in Bezug auf die berechneten Werte) erhöht.

Eintragungspfade von Schwermetallen

Abbildung 9.2 zeigt die Stoffströme im Hüttenbetrieb und, unabhängig der rechtlichen Regelungen, die verschiedenen Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten. In dieser Abbildung sind die wichtigsten Stoffströme und Entsorgungswege von Abwasser und Reststoffen einer Berghütte dargestellt. Danach sind folgende Eintragungsquellen von Schwermetallen möglich:

- Materialien der Wasserleitungen. Diese sind meist aus Kupfer oder Zink bzw. bei älteren Hütten auch noch aus Blei. Als Anhaltswerte geben HULLMANN & KRAFT [19] bei Metaldächern eine jährliche Abschwemmung von etwa 1,34 g/m für Kupfer und 3,0 g/m für Zink an.
- Verunreinigungen durch Wasch- und Putzmittel sowie Staub- und Rußpartikel Menschliche Ausscheidungen. Zink, Kupfer und Nickel essentielle Elemente des

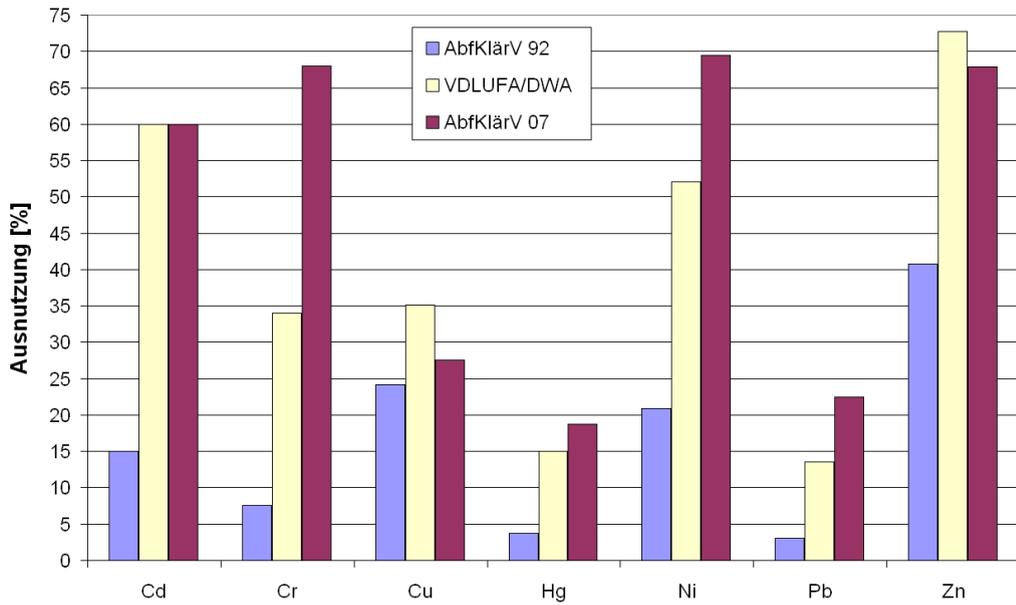


Abbildung 9.1: Ausnutzung der Maximalwerte aus Tabelle 1 von Grenz- bzw. Richtwerten der Klärschlammverordnung von 1992 [?], ihrer Novelle von 2007 und des VDLUFA/DWA-Klärschlammkonzeptes (VDLUFA/DWA)

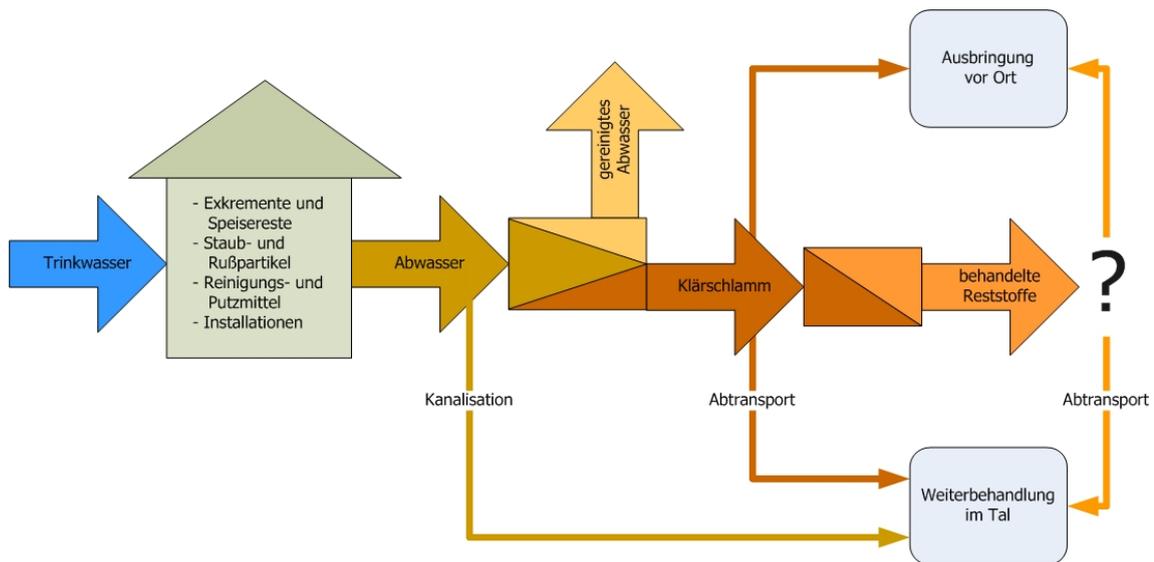


Abbildung 9.2: Eintragungspfade von Schwermetallen und Stoffströme einer Berghütte

menschlichen Stoffwechsels und sind deshalb auch konzentrierter in den Ausscheidungen vorhanden als beispielsweise Quecksilber oder Blei.

- Vorverschmutzung des Trinkwassers
- Behandlungshilfsstoffe zur Abwasserreinigung bzw. Kompostierung, wie beispielsweise Traubenkernschrot oder Sägemehl.

9.4 Resümee

Die Entsorgung von Reststoffen ins Tal zur Mitbehandlung in größeren Kläranlagen stellt grundsätzlich die beste Entsorgungsmöglichkeit dar, welche allerdings, wegen der meist fehlenden Zufahrtswege, mit großen Kosten verbunden ist. Wirtschaftlich sinnvoller wäre die Ausbringung der Reststoffe im Hüttenumfeld, falls diese nicht aufgrund gesetzlicher Regelungen verboten ist. Dabei sind die Belange des Bodenschutzes (Sensibilität des Umlandes) und der Gehalt an Boden schädigenden Inhaltsstoffen gegeneinander abzuwägen. Die Schwermetallkonzentrationen, die Nährstoffgehalte und die hygienischen Parameter sind dabei ein wichtiges Kriterium.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurden Schwermetallkonzentrationen in Reststoffen von Berghütten gemessen und statistisch ausgewertet. Die dabei ermittelten Höchstkonzentrationen liegen teilweise deutlich unterhalb gängiger Grenz- und Richtwerte. Auch beim Vergleich mit durchschnittlichen Konzentrationen kommunaler Klärschlämme oder Schlämmen aus Kleinkläranlagen sind die Konzentrationen in alpinen Reststoffen niedriger. Auch hinsichtlich dem Gehalt pflanzenverfügbaren Stickstoffs konnte gezeigt werden, dass dieser durch eine biologische Reststoffbehandlung deutlich reduziert werden kann.

10 Empfehlungen zur Behandlung von Reststoffen im Hochgebirge

In der zweiten Phase des Projektes „Klärschlammproblematik im Hochgebirge“ wurden verschieden Verfahren zur Behandlung von Reststoffen im Hochgebirge untersucht und optimiert. Es wurden neue Verfahren entwickelt, Systeme miteinander verglichen und ihre jeweiligen idealen Einsatzbedingungen herausgefunden. Diese Arbeit wurde zum Teil in dieser dritten Phase weitergeführt und abgeschlossen.

Anhand der gewonnenen Erfahrungen konnten die Erkenntnisse über die Behandlung von Reststoffen zusammengefasst werden. Als komprimiertes Ergebnis entstand der im Anhang A ab Seite 119 vollständig abgedruckte Empfehlungsleitfaden. Dieser soll als hilfreiches Werkzeug für die Anwendung von Reststoffbehandlungs-Technologien für Betreiber von Schutzhütten, Planer und Behörden verstanden werden.

Nach der Fertigstellung des Empfehlungsleitfadens im Juli 2008 luden wir Vertreter bayerischer und österreichischer Behörden zu einer Informationsveranstaltung auf die Brunnsteinhütte ein, um ihnen die Ergebnisse der drei Phasen vorzustellen und mit ihnen zu diskutieren. Eingeladen wurden Vertreter aller zuständigen Genehmigungsbehörden der im Forschungsprojekt untersuchten Berghütten und deren jeweiligen vorgesetzten Fachbehörden. Dabei stand, neben der praxistauglichen Eignung des Empfehlungsleitfadens, vor allem die Diskussion um die Verwertung bzw. Entsorgung von Reststoffen unter dem Aspekt des Bodenschutzes und der Einhaltung gesetzlicher Vorschriften im Mittelpunkt.

10.1 Verwertung und Entsorgung von Reststoffen aus Sicht der Behörden

Die Verwertung und Entsorgung von Klärschlamm ist in den Bundesländern Bayern und Tirol rechtlich unterschiedlich geregelt und zu bewerten.

In Tirol ist eine Ausbringung von Klärschlämmen auf landwirtschaftliche Grundflächen nach dem Tiroler Feldschutzgesetz (LGBl. Nr. 58/2000 idF LGBl. Nr. 56/2002) verboten. In Bayern ist die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm, aufgrund der Bindung an Bundesrecht, zulässig. Sie wird jedoch fachlich problematisch bewertet und nach Beschlüssen des bayerischen Ministerrats (2001) aus Gründen eines vorbeugenden Umwelt-, Gesundheits- und Verbraucherschutzes politisch abgelehnt. Bayern verfolgt konsequent das politische Ziel, auf ein Verbot der Ausbringung kommunaler Klärschlämme auf landwirtschaftlich genutzten Böden bei Bund und der Europäischen Union hinzuwirken.

Die deutsche Klärschlammverordnung (vom 15.04.1992) ist im Umland von Berghütten in der Regel nicht anwendbar, da es sich hierbei selten um landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden handelt. Entscheidungen, welche die Klärschlammverwertung in den Bergen betreffen, regelt das Schreiben des (damaligen) Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) vom 18.02.1994. Hiernach sollte auf Berghütten anfallender Klärschlamm ins Tal gebracht und dort in kommunalen Kläranlagen entsorgt werden. Falls eine Entsorgung ins Tal, beispielsweise wegen Fehlens geeigneter Transportmöglichkeiten, nicht zumutbar ist, soll geprüft werden, ob im Einzelfall ausnahmsweise eine Entsorgung des Schlammes nach § 4 (2) des damaligen Abfallgesetzes (jetzt § 27 Abs.2 KrW-/AbfG) zugelassen werden kann. Hinsichtlich der Inhaltsstoffe (Schwermetalle, organische Schadstoffe, usw.) besteht bei Reststoffen von Berghütten ein geringeres Gefährdungspotenzial für Mensch, Tier und Boden als bei Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen.

„Reststoffe aus der Abwasserreinigung“ wird als sinnvolle Sammel-Bezeichnung für die auf Berghütten anfallenden Klärschlämme, Siebrückstände, Filtersackgüter, usw. befürwortet.

Über den Verbleib der Reststoffe sollte im Einzelfall auf Basis genereller, einheitlicher Zielvorgaben entschieden werden. Kriterien für derartige Entscheidungen sollten die Qualität der Reststoffe (Schwermetalle, hygienische Parameter, organische Schadstoffe), die Quantität der Reststoffe (Masse, Volumen, Trockensubstanzgehalt) und Besonderheiten, die sich aus der Lage der Hütte (Untergrund, Höhenlage, Erreichbarkeit, usw.) ergeben, sein. Folglich sollten Wasserrechtsbescheide möglichst, unabhängig vom gewählten Behandlungsverfahren, Zielvorgaben für die Qualität des Restproduktes enthalten.

Für Bayern sollten Zielvorgaben für die Entscheidungsfindung und Kriterien für eine tolerierte Aufbringung von Reststoffen (keine Deponierung im Sinne der Abfallverordnung) im Hüttenumfeld erarbeitet werden. Hierfür besteht der Wunsch beispielhafte Einzelfallentscheidungen verschiedenster Lösungen zum Umgang mit der Reststoffbehandlung und -entsorgung als Vollzugshilfe aufzuzeigen. In Tirol könnte prinzipiell die Möglichkeit diskutiert werden, das Verbot der Klärschlammaufbringung auf landwirtschaftliche Grundflächen zu umgehen. Dazu müssten bestimmte Flächen in Hüttennähe von der landwirtschaftlichen Nutzung ausgenommen werden, um dort gezielt Reststoffe auszubringen. Diese Ausbringung darf keine Deponierung im Sinne des Abfallgesetzes sein.

10.2 Fachliche Begutachtung des Empfehlungsleitfadens

Der im Anhang A abgedruckte Empfehlungsleitfaden wurde mit der Bitte um eine fachliche Begutachtung und Stellungnahme an 34 verschiedene Behördenvertreter, Hüttenbetreiber und Ingenieurbüros geschickt.

Mit der Resonanz sollen ergänzende Anmerkungen aufgenommen, falsche Aussagen korri-

giert und so die Qualität der Empfehlungen sichergestellt werden.

Die wesentlichen Anmerkungen lauten zusammengefasst:

- Der Leitfaden vermittelt übersichtlich die gegenwärtig möglichen Varianten der Reststoffbehandlung auf Schutzhütten. Er ist gut strukturiert und führt in nachvollziehbarer Weise von den Rahmenbedingungen zu den Detailspekten. Der Leitfaden wurde durchweg als hilfreiches bis hervorragendes Planungswerkzeug gesehen, der alle wesentlichen Aspekte der Reststoffbehandlung anspricht.
- Die Darstellung der rechtlichen Grundlagen wurde als verständliche Übersicht für Anforderungen, welche an eine genehmigungspflichtige Anlage gestellt werden, gesehen. Grundsätzlich werden die gesetzlichen Bestimmungen, die in den einzelnen Bundesländern gelten, als sehr komplex und unübersichtlich angesehen.
- Ergänzenswert im Sinne des Reststoffhandlings sind deutlichere Aussagen über die Möglichkeiten der Verfrachtung, die Dauer des manuellen Umsetzens und den hygienischen Umgang mit den Reststoffen. Stichefeste Reststoffe sind nicht mehr pumpfähig und bedürfen des manuellen Umsetzens in ein Transportgefäß. Der hiermit verbundene Aufwand kann erheblich über den Erfolg eines Verfahrens entscheiden.
- Für den Betrieb und die Betreuung von Anlagen zur Abwasserreinigung bzw. Reststoffbehandlung im Gebirge wird die Notwendigkeit einer intensiven Schulung vorausgesetzt. Das Aufzeigen ihres Nutzens wären sicherlich ein gutes Argument für die Teilnahme an entsprechenden Kursen.
- Gefordert werden deutlicher formulierte Aussagen, ob eine Ausbringung von Reststoffen im alpinen Bereich als ökologisch vertretbares Handeln gelten kann, insbesondere dann, wenn der Energieaufwand für den Abtransport mitbetrachtet wird. Diese Benennung wäre als „Pfeilspitze“ gegen das *Tiroler Feldschutzgesetz* und dessen pauschales Verbot der Klärschlammausbringung wünschenswert.

11 Zusammenfassung

In der dritten Phase des Projektes „Klärschlammproblematik im Hochgebirge“ wurden die in der zweiten Projektphase begonnenen Untersuchungen, Bewertungen und Entwicklungen von Technologien zur Behandlung von Reststoffen auf Berghütten weitergeführt. Die Systeme wurden miteinander verglichen und Anwendungsempfehlungen in Abhängigkeit ihrer Einsatzmöglichkeiten wurden erarbeitet.

Als komprimiertes Ergebnis entstand der im Anhang 1 vollständig aufgeführte Empfehlungsleitfaden für die Reststoffentsorgung auf Berghütten. Die Anwendung einer Technologie ist hierbei abhängig von Aspekten hüttentechnischer und betrieblicher Merkmale, standortspezifischen Einflüssen und gesetzlichen Auflagen. Für die Diskussion über eine Verwertung bzw. Entsorgung der Reststoffe sind neben den gesetzlichen Bestimmungen auch und insbesondere Aspekte des örtlichen standortumgebenden Umwelt- und Bodenschutzes zu beachten

11.1 Untersuchung und Bewertung von Technologien zur Reststoffbehandlung

11.1.1 Solar-Komposter

Da die Umwandlungsgeschwindigkeit beim Kompostieren stark vom Temperaturniveau abhängig ist, erschien es zielführend, einen solarunterstützten Komposter zu entwickeln. Dieser ermöglicht eine Verlängerung der Zeitspanne mit Materialtemperaturen über dem Gefrierpunkt sowie eine allgemeine Erhöhung der Temperatur.

Klostertaler Umwelthütte

Nach einer Testphase im Tal mit Trockentoiletten-Material von der Brunsteinhütte wurde der Solar-Komposter Ende September 2006 auf der Klostertaler Umwelthütte aufgestellt und in Betrieb genommen. Hauptbestandteil des Gerätes ist ein vom Projektpartner Grammer Solar entwickelter Solar- Luftkollektor, wie er bereits bei den Schlamm Trocknern auf der Nördlinger und Leutkircher Hütte verwendet wurde. Warmluft aus dem Kollektor umströmt das Kompostiergut und temperiert zusätzlich zur biogenen Wärme den Kompost. Die Kompostierung wird damit optimiert und funktioniert über einen längeren Zeitraum - auch bei kühleren Außentemperaturen, wie sie in Gebirgslagen meist vorherrschen.

Der Komposter (Fassungsvermögen 600 L) wurde in 5 Chargen mit Material aus der TT befüllt, jeweils mit einer Zwischenlage aus Rindenmulch und Stroh/Heu. Zur

Animpfung wurde zuoberst eine biologisch aktive Kultur aus einem bestehenden Komposter aufgebracht. Insgesamt wurden 400 L TT-Material mit durchschnittlich 15,7% TS eingefüllt, was in etwa der Schmutzfracht aus 6 Jahren entspricht. Zusätzlich wurden im Komposter selbstregistrierende Messgeräte zur Aufzeichnung von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit angebracht. Bei einer Begehung im Oktober 2006 wurden eine bereits einsetzende Verpilzung sowie eine Setzung um mehrere Zentimeter festgestellt. Die Auswertung der Temperatur- Messsonden zeigte, dass durch den Energieeintrag der erwärmten Luft die Komposttemperatur trotz Außentemperaturen von teilweise unter -40°C und weniger in den ungünstigsten Fällen nur bis knapp unter den Gefrierpunkt sank und ein Durchfrieren des Kompostmaterials somit weitestgehend vermieden werden konnte.

Bei der Beobachtung des Kompostierprozesses über die Dauer von etwas mehr als zwei Jahren zeigte sich angesichts der Verringerung der Masse um mehr als 40% und die Reduzierung des Füllvolumens von ursprünglich 620 L auf 364 L die hohe Effizienz des Solarkomposters auch im Hinblick auf logistische und somit wirtschaftliche Vorteile bei der Verbringung des Materials ins Tal. Die bakteriologischen Untersuchungen zeigten, dass es durch die Mineralisierung des Materials auch in hygienischer Hinsicht zu einer wesentlichen Verbesserung kam, so dass man von einem unbedenklichen Material sprechen kann.

Kaunergrathütte

Die beiden Solar-Komposter auf der Kaunergrathütte (Fassungsvermögen 540 L) wurden im Oktober 2006 aufgestellt und mit Reststoffmaterial aus der Toilettenanlage der Hütte aus der Saison 2006 befüllt. Im Juni 2008 wurden zwei weitere Solar-Komposter aufgestellt und befüllt.

Bei der Auswertung der Temperatursonden wurde festgestellt, dass v.a. im Winterhalbjahr Materialtemperaturen von unter 0°C auftraten, was den Kompostierprozess zum Erliegen brachte. Diese Beeinträchtigungen konnten auf Fehler in der Art und Weise der Aufstellung der Solar-Komposter zurückgeführt werden, welche im Juni 2008 durch entsprechende Verbesserungsmaßnahmen beseitigt wurden. Dies führte zu einer sofortigen Verbesserung der thermischen Situation im Solar-Komposter, was sich in einem deutlichen Anstieg der Temperatur im Innenbehälter, Zentralrohr und v.a. im Kompostmaterial niederschlug.

Im Untersuchungszeitraum kam es zu einer Reduzierung des Volumens von ca. 407 Liter auf etwa 345 Liter und der Trockensubstanzgehalt verbesserte sich von 38% bzw. 34% deutlich auf 45%. Für die Zukunft werden daher ähnlich gute Ergebnisse wie auf der Kloostertaler Umwelthütte erwartet.

Kosten und Nutzen

Der Anschaffungspreis eines Solar-Komposters beträgt ca. 3800 Euro zzgl. MwSt. und 250 Euro Transportkosten pro Stück (bis ins Tal). Der Transport auf die Hütte mittels Hubschrauber kostet ca. 120-160 Euro bei einem geschätzten Gewicht von 400 kg

und 30-40 Cent/kg. Der Zeitaufwand für den Aufbau und das Befüllen inkl. Vorbereitung der Aufstellfläche und sonstige Arbeiten kann mit etwa 4 Stunden angegeben werden.

Durch die Anwendung des Solar-Komposters kommt es zu einer wesentlichen Volumens- und Massenreduktion sowie einem Abbau von pathogenen Keimen im behandelten Material. Dies zieht eine Reihe von Vorteilen für Mensch und Natur nach sich:

- die Transporthäufigkeit des Restmaterials ins Tal wird wesentlich reduziert (Kosten-, Zeit- und Umweltvorteil)
- die Hantierbarkeit des Materials wird erleichtert (trockenes Material mit erdiger Konsistenz, das leicht in Säcke o.ä. abgefüllt werden kann)
- reduziertes Gesundheitsrisiko beim Umgang und Berührung des Materials
- wesentlich niedrigere Geruchsbelastung

11.1.2 Trockentoiletten

Die Klostertaler Umwelthütte (DAV-Hauptverein, 2362 m Seehöhe, Silvrettagebiet) ist eine ganzjährig geöffnete Selbstversorgerhütte ohne Wasserversorgungsleitungen. Als Wasserabgabe- und Waschstelle dient lediglich ein Laufbrunnen vor dem Haus bzw. geschmolzener Schnee. Es fällt nur Grauwasser aus dem Küchenbereich und Urin sowie Kompostsickerwasser als Abwasser an. Die mittlere jährliche Belastung beträgt etwa 600-700 Nächtigungen zuzüglich Tagesgäste.

1993 wurde auf der Hütte eine Trockentoiletten-Anlage (TT) installiert. Die Beschickung der TT erfolgt vom Obergeschoß, die Kompostierung und Entleerung im Untergeschoß. Die Saison-/Jahresschmutzfracht ergibt sich aus obigen Zahlen in etwa mit $600EW_{60}/a$. Der jährliche einwohnerspezifische TT-Anfall mit relativ geringem Strukturmaterialeinsatz und relativ geringer Abbautätigkeit errechnet sich mit ca. $0,11L/EW_{60}$.

Die im TT-Material untergebrachten Temperatursonden wiesen ein Niveau von knapp unter 0 bis max. $+10^{\circ}C$ auf. Bei diesem Temperaturniveau und den vorhandenen Wassergehalt des Materials (11,9 - 20,7% TS) dürften die biologischen Abbauvorgänge sehr gering sein.

11.1.3 Filtersackanlagen für Schlamm aus Mehrkammergruben

Filtersackanlagen werden üblicherweise zur mechanischen Vorreinigung von Rohabwasser eingesetzt. In den hintereinander angeordneten Filtersäcken bleiben die Feststoffe im Gewebe hängen, das sich allmählich belegt und eine Filterwirkung entsteht. Kommt es zum Rückstau fließt das Abwasser weiter zum nächsten Sack. Nach erfolgter Füllung erhalten die Säcke Zeit, um abzutropfen und auszutrocknen. Die Anzahl der erforderlichen Säcke sollte auf eine einjährige Standzeit ausgelegt werden.

Auf der Ostpreußenhütte wurde eine Filtersackanlage zur Entwässerung von Reststoffen aus einer Mehrkammergrube untersucht und bewertet. Die saisonale Belastung der Kläranlage liegt bei 1900 bis 2200 EW_{60} . Der jährliche Feststoffanfall ergab sich, bei einer angenommenen einwohnerspezifischen Schlammanfall von $35 \text{ gTR}/(EW_{60} \cdot a)$ und einem 20% Sicherheitsfaktor, zu $85 \text{ gTR}/a$.

Während der Behandlung erhöhte sich der Trockenrückstandsgehalt von 0,2% bei der Beschickung auf ca. 25%. Letztere Angabe kann auch für die Auslegung der Anlage verwendet werden. Für das erforderliche Filtersackvolumen sollte mindestens das dreifache Volumen des am Ende der Behandlung zu erwartende Reststoffvolumen angenommen werden.

11.1.4 Pflanzenbeete mit Grasbepflanzung

Wesentliche Ziele bei der Klärschlammbehandlung in Pflanzenbeeten sind die Entwässerung und die Mineralisierung des Schlammes. Dabei wird der Schlamm auf bestimmte Flächen (Polder) in der Umgebung der Hütte ausgebracht. Anschließend muss der Schlamm über Drainage und Verdunstung so weit entwässern, dass eine Graseinsaat erfolgen kann. Das Gras dient der weiteren Entwässerung und Auflockerung des Schlammes. Relativ rasch bildet sich eine artenreiche Biozönose. Nach Erreichen eines bestimmten Mineralisierungsgrades wird der Polder mit einer neuen Lage Schlamm beaufschlagt, die auf die erste Lage aufgebracht wird. Die Dauer eines Zyklus ist abhängig von den klimatischen Randbedingungen (ca. 1 Jahr). Nach ca. 3 bis 5 Zyklen wird der Polder geräumt.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde auf der Stuttgarter Hütte (DAV Sektion Schwaben, 2310 m Seehöhe, Lechtaler Alpen) eine Pflanzenbeetanlage (Grundfläche 22 m^2) errichtet und untersucht. Zum Saisonende wird der belebte Schlamm gemeinsam mit Schlamm aus der Vorklärung in den Polder eingebracht. Das dabei anfallende Sickerwasser wird erneut der Kläranlage zugeführt. Bei 107 Betriebstagen beträgt die Belastung der Kläranlage etwa $4000 \text{ EW}_{60}/a$ (417 m^3 Abwasser). Der rechnerische Schlammanfall beträgt $306 \text{ Kg}/a$, wovon lediglich $259 \text{ Kg TS}/a$ weiterbehandelt werden; der Rest wird mit dem Klarwasser ausgetragen.

Mit der Anlage konnte der Wassergehalt von 98% auf 75% bzw. 70% gesenkt werden, was einer Volumenreduktion von über 90% entspricht. Die Mineralisierung organischer Substanzen hat im ersten Versuchszyklus kaum stattgefunden. Im zweiten Zyklus dagegen wurde eine Senkung des Glühverlustes von 86% auf 62% erreicht. Entscheidenden Anteil daran hat die Durchwurzelung der Schlammsschicht. Die Einsaat sollte möglichst früh in der Saison erfolgen. Bei der Erstbeschickung empfiehlt es sich eventuell nur eine Polderhälfte zu beschicken, damit die Einsaat bei längeren Sommertagen nicht austrocknet.

11.1.5 Schlamm-Kompstier-System von Rexatec

Im Zuge des Neubaus der Olpererhütte wurde das Schlamm-Kompostier-system der Firma *Rexatec* zur Entwässerung und Vorrotte des bei der Abwasserreinigung anfallenden Primär- und Überschussschlammes installiert. Dieses besteht im wesentlichen aus einem mit Holzhackschnitzeln gefüllten Separator aus Polyethylen zur Entwässerung des

Schlammes. Der Schlamm wird mittig über eine Druckrohrleitung auf den Separatorboden eingebracht (Befüllung von unten). Über die Holzhackschnitzel wird das Schlammwasser abgeschieden und in die Vorklärung zurückgeführt. Nach einer Betriebsaison müssen die Separatoren entleert werden. Die Reststoffe sind dann soweit entwässert, dass sie mit Strukturmaterial angereichert in eine nachfolgende Kompostierung gegeben werden können.

Bei den Untersuchungen während der Sommersaison 2008 zeigte sich, dass sich der Feststoffgehalt der Reststoffe in den Separatoren von unter 1% TR auf etwa 15% TR erhöhte. Dieser wird sich während den Wintermonaten aufgrund von Frost-Tau-Wechseln weiter erhöhen. Der Rückhalt von Kleinspartikeln kann durch den zusätzlichen Einbau von Filtermaterialien wie beispielsweise Kokosfasermatten erhöht werden. Bei der Erstbeschickung sollte allerdings darauf geachtet werden, dass zuerst Vorklärschlamm eingebracht wird. Da dieser i.d.R. größere Partikel enthält, kann sich hierdurch ein unterstützender Filterkuchen aufbauen.

Die derzeit notwendige händische Entleerung der Separatoren, sollte wegen hygienischen und betrieblichen Gesichtspunkten, verbessert werden. Hierzu wurden Ansatzpunkte aufgezeigt.

11.2 Rahmenbedingungen alpiner Extremlagen

Die Erfahrungen mit Verfahren zur Klärschlammbehandlung in „Normallagen“ können nicht ohne Weiteres auf die Situation im Hochgebirge übertragen werden. Für Planung und Bemessung von Anlagen im alpinen Raum müssen die besonderen Randbedingungen berücksichtigt werden. Diese ergeben sich durch die saisonale Betriebsweise der Berghütten, durch das ungünstigere Klima und durch die sensiblere Hochgebirgsumgebung.

11.2.1 Bemessungsgrundlagen

In Abhängigkeit der sanitären Ausstattung und der vorhandenen Wasserversorgung einer Berghütte liegt der durchschnittliche tägliche Wasserverbrauch pro Gast in der Regel nicht höher als 50 bis 75 Liter [Hefler 2008] und beträgt damit weniger als die Hälfte des durchschnittlichen häuslichen Verbrauchs. Da sich die Abwasserbelastung nicht in gleicher Weise mindert, ist der spezifische Schmutzfrachtanfall höher. BSB_5 -Konzentrationen im Rohwasser bis 1200 mg/l und unausgewogene Nährstoffzusammensetzungen sind deshalb keine Seltenheit [34].

Für Berghütten kann der spezifische Schmutzfrachtanfall in Anlehnung an das Regelblatt 1 des österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV) [36] in Abhängigkeit der Anzahl ständig anwesenden Personals, der Übernachtungsgäste und der Tagesgäste bestimmt werden. Danach ist bei einer mäßigen sanitären Ausstattung der Hütte (Fließwasser in Küche und WC-Anlagen, Dusche nur für Personal) von Richtwerten von 60 g BSB_5 /Tag für ständige Bewohner, 50 g BSB_5 /Tag für Übernachtungsgäste und 15 g BSB_5 /Tag für Tagesgäste auszugehen.

Der saisonale Reststoffanfall berechnet sich aus dem Schmutzfrachtanfall pro Saison [EW_{60}/a], der spezifischen Schlammproduktion [$g TR/EW_{60}$] und dem mittleren Trockenrückstandsgehalt der Reststoffe [% TR]. Die spezifische Schlammproduktion liegt zwischen 20-60 $g TR/EW_{60}$. Bei spülwasserlosen Systemen wie Trockentoiletten ist diese niedriger und beträgt 100 bis 150 $g TR/EW_{60}$. [38]

11.2.2 Klimatische Bedingungen

In alpiner Lage sind die durchschnittlichen Luft- und Bodentemperaturen tiefer, die Vegetationsperioden kürzer und die jährlich fallenden Niederschlagsmengen höher; zudem fällt etwa 60 bis 70 Prozent des Niederschlags in Form von Schnee [2].

Für die Auslegung der Behandlungsverfahren bedeutet dies, dass gegenüber der üblichen Bauweise Verfahrensmodifikationen erforderlich werden. Nicht überdachte Technologien sollten mit einer niedrigeren Flächenbelastung ausgelegt werden. Zudem sollten Maßnahmen zur Verbesserung der Ableitung von Oberflächenabwasser nach Regenfällen und während der Schneeschmelze ergriffen werden. Für Verfahren mit gewünschter Stoffumsetzung sollte bedacht werden, dass die biologische Aktivität mit tieferer Temperatur abnimmt. Beispielsweise reduziert sich die Umsatzgeschwindigkeit auf ein Drittel bei Abnahme der Temperatur von 20°C auf 10°C [21]. Das bedeutet, dass die Behandlungszyklen entsprechend erhöht werden müssen.

11.2.3 Sensibilität des Umlandes

Ist der Abtransport aus rechtlichen Gründen nicht zwingend vorgeschrieben, könnte weiterhin eine Ausbringung vor Ort erwogen werden. Hierfür muss das Gefährdungspotenzial der Schädigung der Umwelt und des Bodens abgeschätzt und somit die jeweilige Wirkung auf das Umland betrachtet werden. Dazu sind der Gehalt an enthaltenen Nährstoffen und Schwermetalle wichtige Kriterien.

Die alpine Vegetation ist an sehr karge und nährstoffarme Verhältnisse angepasst und reagiert empfindlich auf Düngung. Die Empfindlichkeit der Vegetation auf anthropogen verursachten Nährstoffeintrag nimmt mit der Höhe zu. Während im Almgebiet eine Ausbringung des Klärschlammes kaum auffällt, kann sie ab Höhen von 2200 Metern eine enorme Artenverarmung bewirken. [16]

Zur Abschätzung der Gefahr einer Kontamination von Trinkwasservorkommen durch pathogene Organismen sind die Bodenmächtigkeit, der hydrogeologische Untergrund und die morphologische Lage der jeweiligen Hütte zu beachten. Hydrogeologisch ist grundsätzlich zwischen wasserwirtschaftlich meist unproblematischem Urgestein mit dichter Bodenmatrix und kleinräumigen Porengrundwasserkörpern und dem Kalkgestein zu unterscheiden [Hefler 2008]. Gebirgsstöcke aus Kalkgestein sind im Vergleich zum Urgestein meist schroffer und verkarsteter, wodurch Niederschlag schnell in den Untergrund gelangt und in die teils weit verzweigten Klüften und Höhlen fließt. Auf diese Weise können Schadstoffe mittransportiert werden und teils weit entlegene Wasserfassungen verunreinigen.

11.3 Empfehlungen und Anforderungen an Behandlungsverfahren

Für die Auswahl eines Verfahrens zur Behandlung von Reststoffen sollten neben den technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten auch standortspezifische Einflüsse, hüttentechnische Merkmale, Aspekte der Betriebsführung und die Anpassung an das Endprodukt berücksichtigt werden. Je nach Lage der Hütte im Hoheitsgebiet der Staaten Österreichs und Deutschlands können unterschiedliche Regelungen zur Genehmigungspflicht der Anlagen und hinsichtlich der Ausbringung der Reststoffe gelten; in Nationalparks gelten wiederum gesonderte Bestimmungen. Die vorliegende Untersuchung hat sich bewusst auf die technischen Aspekte der einzelnen Schlammbehandlungsverfahren beschränkt. Eine geplante Anwendung sollte auf jeden Fall mit den zuständigen Vertretern der Bewilligungsbehörde und des Fördermittelgebers diskutiert werden.

Die Situation hinsichtlich verfügbarer Flächen unter Beachtung der Grundstücksverhältnisse bestimmt maßgeblich die Entscheidung zwischen kompakten technischen Einrichtungen oder naturnahen Methoden. Beete beispielsweise bedürfen ebenen oder muldenförmigen Flächen. Der Einsatz von solar-thermisch unterstützten Verfahren ist auf eine Exposition mit entsprechender Einstrahlung angewiesen.

Für die im genannten Forschungsprojekt untersuchten Anlagen lagen die Investitionskosten zwischen 7000 und 25000 Euro. Die spezifischen Kosten hängen sehr stark von der Anlagengröße und der Erreichbarkeit der Hütte ab. Der Anteil der Transportkosten an den gesamten Investitionskosten kann bis zu 40% betragen. Anzumerken ist, dass für eine wirtschaftliche Betrachtung der Technologien die einzelnen Kostenarten bilanziert werden müssen, was durch pauschalisierte Angaben nicht möglich ist. Hierbei sind bei einer vor-Ort- Behandlung von Reststoffen zu berücksichtigen: Planungskosten, Materialkosten, Transportkosten, Baukosten, Reinvestitionskosten und jährliche Betriebskosten.

Gute Erreichbarkeit und Zugänglichkeit einer Berghütte begünstigt einerseits die Anlieferung des nötigen Baumaterials und erleichtern andererseits den Abtransport behandelter Reststoffe zumindest wirtschaftlich. Aus technischer Sicht hat die Erreichbarkeit einer Hütte allerdings wenig Einfluss auf die Verfahrensauswahl. Vielmehr sollte hierfür auf eine gute Einpassung in das gesamte (oft bereits vorhandene) Klärkonzept der jeweiligen Hütte geachtet werden.

Die Funktionalität eines Behandlungsverfahrens hängt entscheidend von seiner Betriebsführung und Wartung ab. Im Allgemeinen verbessern sich das Behandlungsergebnis und die Nutzungsdauer der Anlage bei einer sorgfältigen und fachgerechten Wartung und Betriebsführung. Hinsichtlich des Betreuungsaufwands unterscheiden sich fließfähige Schlämme und stichfeste Komposte sehr. Erstgenannte sind im Gegensatz zu Kompost pumpfähig; Kompostmaterialien bedingen zudem optimale Feuchte und Struktur, was einen gewissen Betreuungsaufwand erfordert. Insofern sollte die Verfahrenstechnik so gestaltet werden, dass für den Betreiber ein hygienischer Umgang mit den Reststoffen gewährleistet ist und arbeitsschutztechnische Aspekte eingehalten werden. Der Standort

im Gelände, die Exposition einer Hütte, Bewuchs und Untergrundverhältnisse können die Einflüsse der klimatischen Bedingungen verstärken oder abschwächen.

Die Vorgehensweise zur Auswahl und Bemessung eines geeigneten Behandlungsverfahrens darf nicht als verbindliches oder vorgeschriebenes Vorgehen verstanden werden, sondern nur auf Erfahrungen basierende Empfehlung. Als Vorarbeit sollten zunächst aus den Besucherzahlen, der Betriebstage und des jeweiligen Wasserverbrauchs die Schmutzfracht und der jährliche Reststoffanfall abgeschätzt werden. Dazu sind die notwendigen Angaben aufgeführt.

Ist die zu erwartende Reststoffmenge (Trockenmasse und Gesamtvolumen) bekannt, kann in Abhängigkeit des Standorts einer Hütte, eine gewünschte Technologie ausgewählt werden. Das Verfahren sollte sich nicht nur gut in das vorhandene Klärkonzept der Hütte einbinden, sondern auch den speziellen standortspezifischen Einflüssen und Aspekten der Betriebsführung genügen. Vor allem jedoch, sollte es auf die Produkthanforderungen ausgerichtet sein, die sich aus den gesetzlichen Auflagen ergeben.

Denn je nach Entsorgungs- bzw. Verwertungsweg ergibt sich die maßgebliche Zielsetzung für die Reststoffbehandlung. Bei Abtransport ist die Volumenreduktion durch Entwässerung vorrangig; bei erlaubter Ausbringung sollte weitestgehende Nährstoff- und pathogene Keimreduktion betrieben werden.

Die Bemessung der ausgewählten Technologie sollte mit den genannten Bemessungshilfen vorgenommen werden. Je nach örtlichen Randbedingungen ist es möglich, die nach der Behandlung zu erwartenden Reststoffmengen (Masse, Volumen) und ihre Verschmutzungskonzentrationen (Nährstoffe, pathogene Keime, etc.) abzuschätzen. Beides sollte in Abhängigkeit der Behandlungsdauer angegeben werden.

Sind die Qualität und die Quantität der behandelten Reststoffe bekannt, so kann ihre umwelt- und bodenschädigende Wirkung für die jeweilige Hüttenumgebung abgeschätzt werden. Letztlich sollten neben diesen technischen Aspekten, sollte auch die wirtschaftliche Bedeutung der Behandlung und des Verbleibs der Reststoffe herausgearbeitet werden.

Abbildungsverzeichnis

2.1	Standort des Solar-Komposters	4
2.2	Schemazeichnung Solar-Komposter	4
2.3	Temperaturkurven von Oktober 2006 bis August 2007	7
2.4	Temperaturkurven von August 2007 bis Oktober 2007	7
2.5	Temperaturkurven vom 05.10.2007 bis 15.06.2008	9
2.6	Übersicht Wasserbilanz Klostertaler Umwelthütte	12
2.7	Entwicklung des Kompostmaterials über den Betrachtungszeitraum. Die Werte für den 08.10.2008 sind bezogen auf das Ausgangsgewicht bei der Befüllung am 21.09.2006.	13
3.1	Toilettenanlage, Abwurfschächte und hinterer Lagerungsbereich	14
3.2	Übersicht Wasserbilanz Brunsteinhütte	17
3.3	Entwicklung des Kompostmaterials über einen Betrachtungszeitraum von 2 Jahren. Die Werte nach 2 Jahren sind bezogen auf das Anfangsgewicht.	18
4.1	Schema der Trockentoiletten-Anlage der Klostertaler Umwelthütte mit konstruktiven Verbesserungen	20
4.2	Ansicht der Toilettenanlage vom Haupthaus [Foto B.Wett 2002]	21
4.3	Abwurfschächte und hinterer Lagerungsbereich [Foto R.Ettl 2004]	22
4.4	Vorderes Verrottungsabteil [Foto R.Ettl 2004]	22
4.5	Innenansicht des hinteren Auffangbehälters mit Lüftungsblechen und Sickerwasserabzug	23
4.6	Rottebehälter der Brunsteinhütte [Foto R.Ettl 2004]	24
4.7	Verschiedene Rottebehälter [Foto R.Ettl 2004]	24
5.1	Solar-Komposter (links die 2 neuen Geräte) und alte Komposttrommel auf der Kaunergrathütte [Fotos M.Schön 2008]	25
5.2	Innenbehälter mit Zentral- und Horizontalrohren zur Verteilung der solar erwärmten Luft [Foto M.Schön 2008]	26
5.3	Lage der installierten Messsonden in den Solar-Kompostern	26
5.4	Abstiche am 14.08.2007	27
5.5	Temperaturganglinien für den Solar-Komposter	28
5.6	Abstiche am 18.06.2008 vor Umfüllung	29
5.7	Temperaturganglinien für den Komposter NO_alt (oben) und SW_alt (unten) vom 14.08.2007 bis 18.06.2008	30
5.8	Abstiche am 09.09.2008	31
5.9	Ursprüngliche Aufstellung der Geräte auf Betonsteinen [Foto M.Schön 2007]]	33

5.10	Wärmedämmplatten und Rindenmulchfilter im Unterbau des Innenbehälters (links), feinmaschiges Netz auf dem Bodengitter und horizontale Lüftungsrohre (Mitte) sowie winddichte Abdichtung der Fundamente mit Steinen und Rindenmulch (rechts) [Foto M.Schön 2008]	34
5.11	Sonnenstandskurven für verschiedene Monate und Tageszeiten. Das Geländere relief (oben) bzw. der Verschnitt mit dem Gelände (unten) sind rot eingezeichnet.	35
6.1	Schema der Wärme- und Elektroanlage der Ostpreußenhütte [10]	37
6.2	Schema der Abwasserreinigungsanlage der Ostpreußenhütte [10]	38
6.3	Sanierte Dreikammergrube der Ostpreußenhütte [Foto F.Schönherr 2007] . .	39
6.4	Holzsanbau der Filtersackanlage [Foto F.Schönherr 2007]	39
6.5	Zulaufrinne während der Beschickung am 31.10.2007 [Foto F.Schönherr 2007]	40
6.6	Anteil einzelner Investitionskosten am Bau der Filtersackanlage	41
6.7	Filtersackanlage bei der Beschickung am 31.10.2007 [Foto F.Schönherr 2007]	42
6.8	Blick in einen Filtersack unmittelbar nach der ersten Beschickung am 31.10.2007 [Foto F.Schönherr 2007]	43
6.9	Rückhalt der Filtersackanlage	44
7.1	Fließschema der Abwasserreinigungsanlage verändert nach [38]	49
7.2	Aufbau und Betrieb von Pflanzenbeeten mit Grasbepflanzung [27]	51
7.3	Lage der Elemente von Abwasserreinigung und Klärschlammbehandlung der Stuttgarter Hütte	53
7.4	Bepflanzung der Gräser in der Pflanzenbeetanlage	54
7.5	Pflanzenbeetanlage der Stuttgarter Hütte am 1.8.2007	55
7.6	Verteilung der einzelnen Kostenarten an den Gesamtaufwendungen zum Bau der Versuchsanlage auf der Stuttgarter Hütte	58
8.1	Fließschema KA-Olpererhütte[17]	65
8.2	Aufbau des Separators[29]	66
8.3	Separatoren A-C mit Filtermaterial	70
8.4	Separatoren A-C vor der Beschickung am 12.09.2008	72
8.5	Separatoren A-C nach der Beschickung am 12.09.2008	73
8.6	Mittelwerte Zu- und Ablauf	73
8.7	mittlerer, geometrischer Durchmesser	74
8.8	Vergleichsmessungen auf der KA-Holzkirchen	77
8.9	Entwässerungskurve Teichvlies	78
8.10	Vergleichsmessung: Mittelwerte	78
8.11	Gegenüberstellung: Olpererhütte - Vergleichsmessung	81
8.12	Sieblinien Olpererhütte und Vergleichsmessung	82
8.13	Partikelanalyse Ablauf, gesamt	83
8.14	Kostenvergleich: Solarkomposter - Abtransport	84
8.15	Volumenreduktion durch Nachrotte (rechnerische Werte der Saison 2008) .	84

9.1	Ausnutzung der Maximalwerte aus Tabelle 1 von Grenz- bzw. Richtwerten der Klärschlammverordnung von 1992 [?], ihrer Novelle von 2007 und des VDLUFA/DWA-Klärschlammkonzeptes (VDLUFA/DWA)	98
9.2	Eintragungspfade von Schwermetallen und Stoffströme einer Berghütte . . .	98
A.1	Höhenlage und Anzahl der DAV-Hütten über- und unterhalb der Waldgrenze	123
A.2	Ver- und Entsorgung von DAV-Hütten in Abhängigkeit der Höhenlage . . .	123
A.3	Abwasserbehandlungsverfahren und ihre Anwendungshäufigkeit	125
A.4	Anzahl der DAV-Hütten in Abhängigkeit des Feststoffgehaltes ihrer anfallenden Reststoffe	125
A.5	Stoffströme auf Berghütten	126
A.6	Aufstellung und Befüllung des Solar-Schlammrockners	127
A.7	Filtersackanlagen	127
A.8	Überdachtes Trockenbeet in Außen- und Innenansicht	128
A.9	Ansicht und Funktionsweise von Pflanzenbeeten	128
A.10	Illustration zu Trockentoiletten	129
A.11	Solar-Komposter in Außen- und Innenansicht	129
A.12	Illustration zum Stufenkomposter	130
A.13	Ergebnisse der Behandlung von Reststoffen verschiedener Verfahren	132
A.14	Anwendungsbereich verschiedener Technologien	136

Tabellenverzeichnis

2.1	Messwerte am 21.09.2006	5
2.2	Messwerte am 16.03.2007	5
2.3	Physikalische Parameter der Analysen vom 02.08.2007	6
2.4	Bakteriologischer Befund einer Mischprobe (Feststoff) vom 02.08.2007	6
2.5	Physikalische Parameter der Analysen vom 03.10.2007	6
2.6	Physikalische Parameter der Analysen vom 08.10.2008	8
2.7	Bakteriologischer Befund einer Mischprobe (Feststoff) vom 08.10.2008	8
2.8	Berechnete bzw. gemessene Massen, Kubatoren und Porenanteile am 21.09.2006 (Der Porenanteil wurde durch Iteration berechnet.)	10
2.9	Berechnete bzw. gemessene Massen, Kubatoren und Porenanteile am 16.03.2007 (Der Porenanteil wurde durch Iteration berechnet.)	10
2.10	Berechnete bzw. gemessene Massen, Kubatoren und Porenanteile am 02.08.2007 (Der Porenanteil wurde durch Iteration berechnet.)	11
2.11	Berechnete bzw. gemessene Massen, Kubatoren und Porenanteile am 03.10.2007 (Der Porenanteil wurde durch Iteration berechnet.)	11
2.12	Berechnete bzw. gemessene Massen, Kubatoren und Porenanteile am 08.10.2008 (Der Porenanteil wurde durch Iteration berechnet.)	11
3.1	Messwerte Brunnsteinhütte	15
3.2	Berechnete bzw. gemessene Massen, Kubatoren und Porenanteile am Anfang (Der Porenanteil wurde durch Iteration berechnet.)	16
3.3	Berechnete bzw. gemessene Massen, Kubatoren und Porenanteile nach 2 Jahren (Der Porenanteil wurde durch Iteration berechnet.)	16
3.4	Bilanzierung des biogen entstandenen Wassers bis zum 03.10.2007	17
5.1	Physikalische Parameter der Proben vom 14.08.2007. Die Entnahme ist gemessen unter OK-Innenbehälter (Gesamthöhe 100cm)	27
5.2	Physikalische Parameter der Proben vom 28.12.2007	28
5.3	Physikalische Parameter der Proben vom 18.06.2008.	29
5.4	Bakteriologischer Analyse der Proben vom 18.06.2008	30
5.5	Physikalische Parameter der Proben vom 09.09.2008.	32
6.1	Analysen der Reststoffe am 31.Oktober 2007	42
6.2	Analysen der Reststoffe am 10.Juni 2008	42
7.1	Analysen der Mischschlammgemische in der Pflanzenbeetanlage der Stuttgarter Hütte	56

8.1	Auslegung der Abwasseranlage Olpererhütte [35]	62
8.2	Kennwerte zur Planung und Bemessung der technischen Anlagen der Olpererhütte	62
8.3	Resthöhen in den Separatoren	72
8.4	Messwerte Olpererhütte und Schwermetallgrenzwerte der Tiroler Klärschlammverordnung [22, §3 (3)]	74
8.5	Mittelwerte der Olpererhüttenproben	75
8.6	Entwässerungsverhalten Teichvlies	77
9.1	Ergebnisse der statistischen Auswertung untersuchter Reststoffproben . . .	95
9.2	Ergebnisse der statistischen Auswertung untersuchter Reststoffproben fließfähiger Reststoffe	95
9.3	Ergebnisse der statistischen Auswertung untersuchter Reststoffproben stichfester Reststoffe	96
9.4	Ergebnisse der statistischen Auswertung von in der Literatur gefundenen Schwermetallkonzentrationen von Reststoffen aus Kleinkläranlagen und nichtkommunalen kleinen Kläranlagen	96
9.5	Grenzwerte für Schwermetalle in Klärschlämmen und klärschlammhaltigen Stoffen	97
A.1	Qualität und Quantität der untersuchten und angefallenen Reststoffe	131
A.2	Ergebnisse der statistischen Auswertung untersuchter Reststoffproben . . .	133
A.3	Vergleich der mittleren Schwermetallkonzentrationen von alpinen Reststoffen mit kommunalen Klärschlämmen und Schlämmen aus Kleinkläranlagen	133
A.4	Volumen- bzw. Flächenbedarf der untersuchten Behandlungsmethoden in Abhängigkeit der saisonalen Hüttenbelastung	141

Literaturverzeichnis

- [1] DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT (DBU) (Hrsg.): 2002. – Abschlussbericht zum DBU-Forschungsvorhaben 18662/01
- [2] DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT (DBU) (Hrsg.): 2007. – Abschlussbericht zum DBU-Forschungsvorhaben 18662/02
- [3] ALPENVEREIN, Deutscher: *www.alpenverein.de.* , 2008. – Aufgerufen am: 25.11.2008
- [4] ATV: *ATV-Handbuch - Klärschlamm.* Postfach 1165, D-53758 Hennef : Abwassertechnische Vereinigung e.V., 1996. – ISBN 3-433-00909-0
- [5] BANNIK, C. ; BIEBER, E. ; BÖKEN, H. ; BRACH, M. ; EHRMANN, H. ; ET AL.: Grundsätze und Maßnahmen für eine vorsorgeorientierte Begrenzung von Schadstoffeinträgen in landbaulich genutzte Böden. Berlin : Umweltbundesamt, 2001. – UBA Texte 59/01. November
- [6] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ: Wege zu einer verantwortungsvollen Klärschlamm Entsorgung. In: *Internationales Klärschlamm Symposium - Tagungsband.* München, 30.6. bis 2.7. 2008. – Kloster Fürstenfeld
- [7] BBODSCHG. *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten.* vom 17. März 1998, BGBl. I, 502 1998
- [8] BBODSCHV. *Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung.* vom 12. Juli 1999, BGBl. I, 1554 1999
- [9] BLIEFERT, C.: *Umweltchemie.* 3. Auflage. Weinheim : WILEY-VCH, 2002
- [10] DAV-SEKTION KÖNIGSBERG. *Ostpreußenhütte.* URL: [http://www.ostpreussenhuette.de.](http://www.ostpreussenhuette.de) (Abruf am 13.12.2007) 2007
- [11] DBU: *Klärschlammproblematik im Hochgebirge; Abschlussbericht.* Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2007. – Phase 2
- [12] DIN4261-1: *Kleinkläranlagen, Teil 1: Anlagen zur Abwasservorbehandlung.* Berlin : Deutsches Institut für Normung e.V., 2002. – DIN 4261-1:2002-12
- [13] DREHER, P.: Bewertung der Klärschlammverwertung aus Sicht des Bodenschutzes. In: *Tagungsband zum internationalen Klärschlamm Symposium.* München : StMUGV, 30.6.-2.7. 2008, S. 107-113

- [14] DWA-ARBEITSGRUPPE GB-6.2: Klärschlämme - Inhaltsstoffe und Bewertung. Hennef : Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2004. – Forschungsbericht. – 138 S. – ISBN 3–937758–50–X
- [15] GÜNTHERT, W. ; CYRIS, T.: *Vorlesungsskript Abfallwirtschaft*. 85579 Neubiberg : Universität der Bundeswehr München; Institut für Wasserwesen, Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, 2007
- [16] GROHMANN, J.: Grundlagenerhebung zur Ausbringung von Klärschlamm alpiner Schutzhütten im Nationalpark Hohe Tauern-Osttirol. Tirol : Nationalpark Hohe Tauern-Osttirol, 1997. – Forschungsbericht. November
- [17] HUBER: *Angebotsfließschema MCB 8, Olpererhütte*. D-92334 Berching : Hans Huber AG, 2005
- [18] HUBER: *Meeting vom 22.10.2008 mit Rainer Pöpperl (Huber AG)*. D-92334 Berching : Hans Huber AG, 2008
- [19] HULLMANN, H. ; KRAFT, U.: Kupfer- und Zinkabschwemmungen von Metalldächern. In: *WLB* (2002), Nr. 10/2002, S. 26–31
- [20] IMHOFF: *Taschenbuch der Stadtentwässerung*. München : Oldenbourg Industrieverlag GmbH, 1993. – 28. Auflage. – ISBN 3–486–26332–3
- [21] IMHOFF, Karl und Klaus R.: *Taschenbuch der Stadtentwässerung*. 29. Auflage. München Wien : Oldenbourg Industrieverlag GmbH, 1999. – ISBN 3–48626333–1
- [22] KLÄRSCHLAMMVERORDNUNG: *Tiroler Klärschlammverordnung 2000*. Land Tirol, 2000. – LGBl. Nr. 89/2000; Verordnung der Landesregierung vom 19. Dezember 2000, mit der die Ausbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftliche Grundflächen näher geregelt wird (Tiroler Klärschlammverordnung 2000)
- [23] LESCHBER, Reimer ; LOLL, Ulrich ; VEREINIGUNG, Abwassertechnische (Hrsg.): *ATV-Handbuch Klärschlamm*. Berlin, Heidelberg, New York : Verlag Ernst & sohn, 1996. – ISBN 3–433–00909–0
- [24] MITTENDORFER, M.: *Deutscher Alpenverein e. V., Sektion Neumarkt in der Oberpfalz; Wiedererrichtung der "Olpererhütte" - Einzelabwasserbeseitigungsanlage wasserrechtliche und naturschutzrechtliche Bewilligung*. Franz-Josef-Straße 25, 6130 Schwaz : Bezirkshaupmannschaft Schwaz, 2006. – Geschäftszahl 2.1-1027/06-12
- [25] OLPERERHÜTTE: *Olpererhütte*. Pulverturm-gasse 8, D-92318 Neumarkt : Sektion Neumarkt i.d.OPf. des DAV e.V. und DAV-Ressort Presse- und Öffentlichkeitsarbeit der Bundesgeschäftsstelle, 2008
- [26] ONNEN, O.: Umweltschonende Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft. P-Wirkung des Klärschlammes in Abhängigkeit von der P-Fällung und vom Substrat. In: UNIVERSITÄT PADERBORN (Hrsg.): *Forschungsberichte des Fachbereichs Agrarwirtschaft Soest* Bd. Nr.13. Soest, 2001. – November

- [27] PABSCH, Holger: *Batch Humification of Sewage Sludge in Grass Beds*. 1. Auflage. Göttingen : Cuvillier Verlag, 2004. – Dissertation am Institut für kommunale und industrielle Abwasserwirtschaft der TU Hamburg-Harburg. – ISBN 3–86537–291–0
- [28] PIONTKOWSKI, W. ; BRAUTSCH, M. ; BISCHOF, F. ; BERNINGER, B.: Ganzheitliche Ver- und Entsorgungskonzepte für Häuser des Deutschen Alpenvereins (DAV) / Fachhochschule Amberg-Weiden. 2005. – Abschlussbericht zum Forschungsprojekt
- [29] REWATEC: *Kurzbeschreibung, MONOfuido SKS Vollbiologische SBR - Kleinkläranlage mit Schlamm-Kompostier-System (SKS) für 4 bis 18 EW*. Schönhauser Allee 10-11, 10119 Berlin : Rewatec, 2006. – DOKK4201 160407 KB MONOfuido SKS.doc
- [30] SCHEFFER, F. ; SCHACHTSCHNABEL, P.: *Lehrbuch der Bodenkunde*. 15. Auflage. Berlin : Spektrum Akademischer Verlag, 2002
- [31] TABASARAN, O. ; BARDTKE, D. ; BRUGGER, G. ; GROCHE, D. ; KRAUTH, K. ; SEYFRIED, C. ; VATER, W.: *Kontakt und Studium: Abwasser*. 7031 Grafenau 1/Württ. : Technische Akademie Esslingen, expert verlag, 1981. – Band 38, 2. Auflage. – ISBN 3–88508–652–2
- [32] TIROLER-LANDESREGIERUNG: *www.tiroler-schutzgebiete.at*. <http://www.tiroler-schutzgebiete.at/index.php?sid=pages&pid=54>, 2008. – Aufgerufen am: 29.10.2008
- [33] UMWELTBUNDESAMT: Hintergrundinformationen: Bodenschutz in der Europäischen Union (EU) voranbringen. Berlin, 2004. – Forschungsbericht. November
- [34] VESTNER, Richard J. ; GÜNTHER, F. Wolfgang: Abwasserentsorgung in alpinen Regionen - Reststoffe bei Alpenvereinshütten. In: *Korrespondenz Abwasser* (1999), Nr. 09/1999
- [35] WALTER, C.: *Anlagenplanung*. Zum Sperlasberg 4, 92355 Velburg : Walter Ingenieure GmbH, 2006
- [36] ÖWAV. *Abwasserentsorgung im Gebirge*. Regelblatt 1 des Österreichischen Wasser- und Abwasserverbands 2000
- [37] ÖWAV: *ÖWAV-Regelblatt-1, Abwasserentsorgung im Gebirge*. Wien : Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, 2000. – 3., vollständig überarbeitete Auflage
- [38] WETT, Bernhard ; BECKER, Wolfgang ; INGERLE, Kurt. *Technologievergleich und Ökobilanz von Abwasserreinigungsanlagen in alpinen Extremlagen - EU Life-Programm*. URL: <http://www.uibk.ac.at/c/c8/c815/life/einleitung.html>. (Abruf am 27.05.2004) 2002

A Empfehlungen für die Reststoffentsorgung auf Berghütten

A.1 Veranlassung und Zielsetzung

Der Deutsche Alpenverein praktiziert seit Mitte der 80er Jahre aktiven Umweltschutz im Bereich der Hütten und Wege. Ziel dieser Programme ist unter anderem der Bau von wirkungsvollen Abwasserreinigungsanlagen und der Sicherstellung einer umweltschonenden Entsorgung der anfallenden Reststoffe.

Bei der Abwasserreinigung fallen abgetrennte Inhaltstoffe in unterschiedlicher Qualität und Konsistenz an. Diese Reststoffe wurden bisher meist im Hüttenumfeld aufgebracht. Dieses Vorgehen kann eine Veränderung der Vegetation bewirken, birgt ein örtliches hygienisches Gefährdungspotenzial und kann in sensiblen Lagen die Qualität vorhandener Wasserressourcen beeinträchtigen. Wegen dieser Vorbehalte und den verschärften gesetzlichen Bedingungen hinsichtlich der Klärschlammaufbringung wird die Entsorgung ins Tal immer häufiger angeordnet.

Der Abtransport anfallender Reststoffe, vor allem der volumenreichen fließfähigen Klärschlämme würde viele Sektionen und Hüttenbetreiber, aufgrund der meist fehlenden Transportwege, wirtschaftlich enorm belasten. Behandlungsverfahren von Klärschlämmen und abgetrennten Abwasserinhaltsstoffen zur Reduzierung ihres Volumens können einen entscheidenden Beitrag leisten, Kosten zu sparen und Ressourcen zu schonen.

Daher wurde in Zusammenarbeit mit dem DAV und der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) das Projekt „Klärschlammproblematik im Hochgebirge“ ins Leben gerufen. Ziel dieses Projektes ist es, Verfahren zur Behandlung von Klärschlamm im Hochgebirge zu optimieren, neue Methoden zu entwickeln und zu testen, Systeme miteinander zu vergleichen und ihre jeweiligen idealen Einsatzbedingungen herauszufinden. Die Leistung der einzelnen Behandlungsverfahren ist hauptsächlich hinsichtlich der Volumen- und Gewichtsreduktion (Entwässerung) sowie der Hygienisierung bewertet, aber auch bezüglich des Abbaus und Verbleibs von Nähr- und Schadstoffen.

Als komprimiertes Ergebnis dieser Studien wurde im Folgenden ein Leitfaden für die Anwendung von Reststoffbehandlungs-Technologien für Betreiber von Schutzhütten, Planer und Behörden erarbeitet.

A.2 Rechtliche Grundlagen

Die EU-Richtlinie „82/278/EWG über den Schutz der Umwelt und insbesondere der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft“ setzt Mindestvorgaben der Klärschlammausbringung fest, welche die einzelnen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union in eigene Gesetze umzusetzen haben. Überall müssen diese Grenzwerte für Schwermetalle und organische Schadstoffe eingehalten werden. Die meisten Mitgliedsländer haben strengere Grenzwerte in ihren jeweiligen Gesetzen festgelegt, als die EU-Richtlinie fordert.

A.2.1 Deutschland

In Deutschland wird die Klärschlammausbringung durch Bundesgesetze geregelt. Hauptsächlich sind dies die Klärschlammverordnung, das Bundes-Bodenschutzgesetz und das Düngemittelgesetz. Die Klärschlammverordnung verbietet das Aufbringen von Klärschlamm auf Dauergrünland und forstwirtschaftlich genutzten Flächen. Im Umland von Berghütten ist sie in der Regel nicht anwendbar, da es sich hierbei selten um landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden handelt.

Entscheidungen, welche die Klärschlammverwertung in den bayerischen Bergen betreffen, regelt das Schreiben des (ehemaligen) Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) vom 18.02.1994. Hiernach sollte auf Berghütten anfallender Klärschlamm ins Tal gebracht und dort in kommunalen Kläranlagen entsorgt werden. Falls eine Entsorgung ins Tal, beispielsweise wegen Fehlens geeigneter Transportmöglichkeiten, nicht zumutbar ist, soll geprüft werden, ob im Einzelfall ausnahmsweise eine Entsorgung des Schlammes nach §27 Abs.2 KrW/AbfG zugelassen werden kann.

Die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm ist, aufgrund der Bindung an Bundesrecht, zulässig. Sie wird jedoch fachlich problematisch bewertet und nach Beschlüssen des bayerischen Ministerrats von 2001 aus Gründen eines vorbeugenden Umwelt-, Gesundheits- und Verbraucherschutzes politisch abgelehnt. Beispielsweise soll nach dem Bayerischen Gesetz- und Verordnungsblatt Nr. 7/2003 die landwirtschaftliche, gärtnerische und landbauliche Verwertung von Klärschlamm baldmöglichst beendet werden.

A.2.2 Österreich

Der Bodenschutz ist als Teilbereich des Umweltschutzes im Bundesverfassungsgesetz über den umfassenden Umweltschutz (BGBl. Nr. 491/1984) verankert. Der Boden ist verfassungsrechtlich ein Umwelt(Schutz)gut. In kompetenzrechtlicher Sicht fällt der Bodenschutz in Österreich, mit Ausnahme der Waldböden, in die Zuständigkeit der Länder.

Land Tirol

In Tirol wurde 2001 die gültige Klärschlammverordnung aufgehoben. Seitdem gilt allein das Tiroler Feldschutzgesetz 2000 (LGBl 58/2000 idF LGBl 56/2002). Es verbietet eine

Klärschlammaufbringung auf landwirtschaftliche Grundflächen (§8 Abs 1). Definiert sind landwirtschaftliche Grundflächen als Flächen, die landwirtschaftlich genutzt werden oder nach ihrer Beschaffenheit zur landwirtschaftlichen Nutzung geeignet sind (§1 Abs 2). Klärschlamm muss auf allen Hütten, welche auf Tiroler Hoheitsgebiet stehen, immer ins Tal gebracht und dort entsorgt werden.

Land Salzburg

Das Salzburger Bodenschutzgesetz 2001 (LGBl 80/2001) regelt nicht nur landwirtschaftliche, sondern weitgehend alle Böden, insbesondere auch sog. alpine Grünflächen. Mit der Klärschlamm-Bodenschutzverordnung 2002 (LGBl 85/2002) der Salzburger Landesregierung wurde die EU-Klärschlammrichtlinie (86/278/EWG) in nationales Recht umgesetzt. Hierin wurde zur langfristigen Sicherung der Böden als Grundlage für die Nahrungsmittelproduktion ein umfassendes Verbot der Klärschlammmanwendung auf allen Böden erlassen.

Die Verwendung von Klärschlamm und Klärschlammisierungen auf Böden ist grundsätzlich verboten. Dieses Verbot gilt nicht für Klärschlämme und Klärschlammisierungen aus Abwasserreinigungsanlagen für Einzelobjekte in Extremlagen (§3 Abs 2 Ziff 2). Hingegen ist die Verwendung von unvermishtem oder beigemengtem Klärschlammkompost (durch Kompostierung von Klärschlamm hergestelltes Material) explizit auch auf Almen und sonstigem alpinen Grünland (§4 Abs 3 lit g) verboten.

Land Vorarlberg

In Vorarlberg ist das Ausbringen von Klärschlamm nach dem Klärschlammgesetz Vorarlberg (LGBl 41/1985 idF 58/2001) grundsätzlich erlaubt, sofern durch die Herkunft und Beschaffenheit des Klärschlammes, die Ausbringungsfläche, die Ausbringungsmenge, die Häufigkeit, der Zeitpunkt und die Art der Ausbringung sowie die Bewirtschaftung der Ausbringungsflächen gewährleistet ist, dass die Fruchtbarkeit des Bodens nicht beeinträchtigt wird [...], dass die Gesundheit von Menschen und Tieren nicht gefährdet wird, Gewässer nicht verunreinigt werden, das Landschafts- und Ortsbild nicht gestört wird und keine unzumutbare Geruchsbelästigung eintritt.

Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass der Klärschlamm aus einer in Vorarlberg gelegenen Abwasserreinigungsanlage stammt sowie die in der Klärschlammverordnung Vorarlberg (LGBl 75/1997 idF 27/2002) vorgegebenen Grenzwerte (v.a. Schwermetallgehalte) eingehalten werden. Der Klärschlamm darf nur in Form von Klärschlammdünger sowie Stoffen, die unter Verwendung von Klärschlamm hergestellt wurden, zur Ausbringung abgegeben und verwendet werden, sofern sie nach bundesrechtlichen Vorschriften in den Verkehr gebracht werden dürfen (§1 Abs 1 u. 2). Beim Klärschlammdünger muss es sich um nach Bundeskompostverordnung kompostierten oder um thermisch getrockneten Klärschlamm handeln (Trockenmasse mindestens 70%) (§2 Abs 3 Lit a).

Klärschlammdünger darf allerdings nicht auf Almen (Originalwortlaut: „Alpen“) sowie auf Flächen, die von Natur aus keinen oder nur einen geringfügigen Bewuchs aufweisen, ausgebracht werden (§2 Abs 2 Lit d und e).

A.3 Charakterisierung der Hütten

A.3.1 Hüttenkategorie

Der Deutsche Alpenverein besitzt ca. 332 allgemein zugängliche Hütten, die sich nicht nur in Deutschland, sondern auch in Österreich, Frankreich und der Schweiz befinden. Knapp 41% liegen allein in Tirol und 25% in Bayern. Die allgemein zugänglichen Hütten sind zwei Gruppen gegliedert: Mittelgebirgshütten und Hütten, die in den Alpen stehen. Letztere werden wiederum in drei Kategorien eingeteilt, die sich hauptsächlich auf die Ausstattung der Hütte, die Art der Bewirtschaftung sowie die saisonale Besucherfrequenz beziehen. Diese Merkmale bestimmen letztendlich auch Art und Menge der anfallenden Reststoffe auf der Hütte.

Eine Hütte der Kategorie I ist eine Schutzhütte mit schlichter Ausstattung, einfacher Verköstigung und für den Besucher nur in Ausnahmefällen mit mechanischen Hilfen erreichbar. Sie kann bewirtschaftet, bewartet, unbewirtschaftet oder ein Biwak sein.

Eine Hütte der Kategorie II ist eine Alpenvereinshütte mit Stützpunktfunktion in einem vielbesuchten Gebiet, mit besserer Ausstattung und Verköstigung. Sie kann mechanisch erreichbar sein und ist in der Regel ganzjährig bewirtschaftet.

In die Kategorie III fällt eine Hütte, wenn sie mechanisch erreichbar, vorwiegend Ausflugsziel für Tagesbesucher ist und nur wenige Nächtigungen aufweist. Ihr gastronomischer Betrieb entspricht dem landesüblichen Angebot.

Zur Kategorie I sind mit 192 Hütten (58%) die meisten Hütten zu zählen. Speziell für sie gelten die hier ausgeführten Empfehlungen.

A.3.2 Höhenlage und Erreichbarkeit

Die Hütten des DAV erfüllen eine wichtige Schutzfunktion für Bergwanderer und Bergsteiger. Der DAV besitzt Hütten vom Tiefland bis in die nivale Stufe. Abbildung A.1 zeigt einen Überblick über die Verteilung der Hütten pro Höhenstufe, welche die Erreichbarkeit der Hütte und damit die Transportmöglichkeit für Reststoffe beeinflusst.

Wird die Waldgrenze mit 1700m angenommen, befinden sich 54% der Hütten darüber. In diesen Höhenlagen ist die Ver- und Entsorgung der Hütten nur erschwert über lange Fahrwege bzw. oftmals nur mittels Hubschraubertransport oder Materialeilbahnen möglich. Die Auswahl der Abwasserreinigungs- und Reststoffentsorgungssysteme ist daher auch unter diesen Gesichtspunkten zu betrachten.

Abbildung A.2 zeigt die prozentuellen Anteile der verschiedenen Ver- und Entsorgungswege von DAV-Hütten.

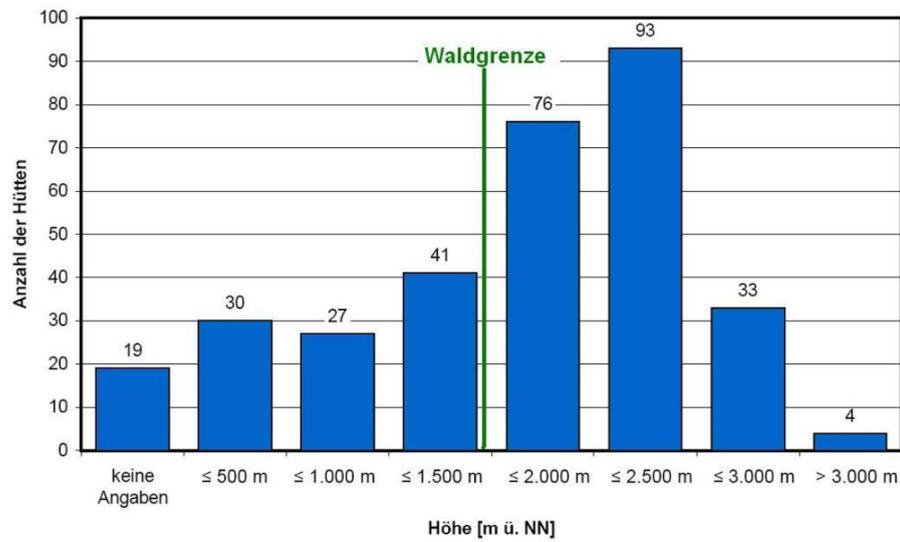


Abbildung A.1: Höhenlage und Anzahl der DAV-Hütten über- und unterhalb der Waldgrenze

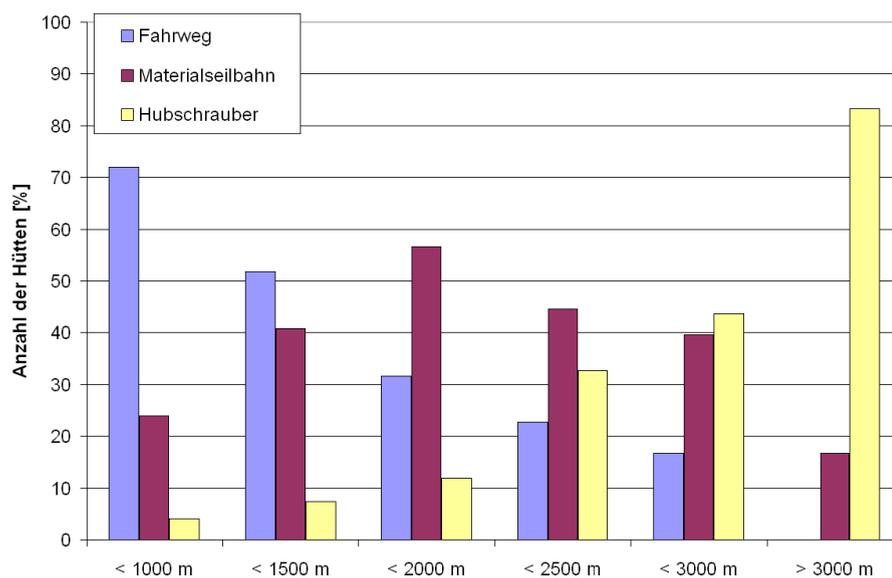


Abbildung A.2: Ver- und Entsorgung von DAV-Hütten in Abhängigkeit der Höhenlage

A.3.3 Energieversorgung

Die Energieversorgung der Hütten ist eine zentrale Kernaufgabe ihres Betriebes und auch eine der größten Schwierigkeiten. Berghütten der Kategorie I liegen meist aufgrund ihrer Aufgabe als Stützpunkt für Bergwanderer, außerhalb der Erreichbarkeit von öffentlichen Versorgungsnetzen.

An Hütten, bei denen ein Netzanschluss aus finanziellen oder technischen Gründen nicht realisierbar ist, bestehen so genannte Insellösungen zur Energieversorgung. Dabei kommen folgende Systeme zur Anwendung:

- Aggregate (Diesel, Gas oder Pflanzenöl)
- Blockheizkraftwerke (BHKW)
- Kleinwasserkraftwerke
- Photovoltaik (PV-Anlagen)
- Wind
- Holz

Diese Insellösungen erschweren den Betrieb einer Hütte meist enorm, da die installierten Einrichtungen (Waschmaschine, Licht, Pumpanlagen, usw.) in ihrem Strombedarf auf die verfügbare Elektrizität zeitlich und mengenmäßig abgestimmt werden müssen.

Das Vorhandensein einer Warmwasseraufbereitung bestimmt auch die sanitäre Ausstattung der Hütte (z.B. Duschen) was in direktem Zusammenhang mit dem Anfall und der Beschaffenheit des Abwassers und somit den letztendlich zu entsorgenden Reststoffen steht. Von der Art der Energieversorgung hängt darüber hinaus auch das verwendete Abwasserreinigungssystem ab (Pumpenbetrieb etc.). Die betrachteten Reststoffentsorgungstechnologien hingegen sind in ihrem Betrieb weitgehend energieautark.

A.4 Abwasserbehandlung und Reststoffanfall

A.4.1 Allgemeiner Überblick

Nachfolgende Abbildung A.3 (Stand 2001) gibt einen generellen Überblick über die derzeit eingesetzten Systeme zur Abwasserreinigung. Rund 35% aller DAV-Hütten besitzen einen Anschluss an die öffentliche Kanalisation. Die verbleibenden Hütten müssen ihr Abwasser vor Ort reinigen.

A.4.2 Reinigungssysteme unterteilt nach Trockensubstanz

Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung der Abwasserentsorgung und insbesondere für die Auswahl eines geeigneten Reststoffbehandlungsverfahrens, ist es sinnvoll, die Reinigungsverfahren nach ihren „Produkten“ zu unterscheiden. Hierbei ist der Schlamm-trockenmasse (TR) wesentlicher Parameter; er bestimmt das Transportgewicht und die Möglichkeiten weiterer Behandlungsschritte.

In einer groben Klassifizierung sollte zwischen fließfähigen ($TR < 10\%$) und stichfesten

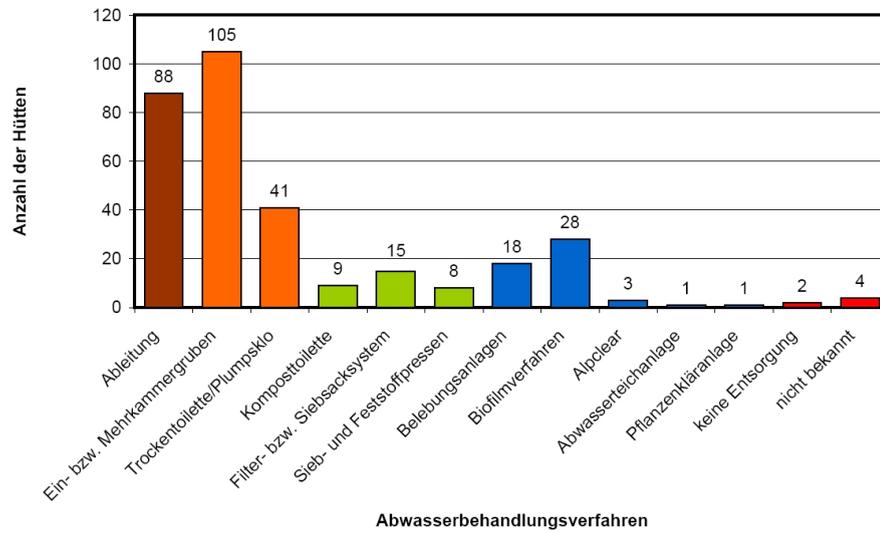


Abbildung A.3: Abwasserbehandlungsverfahren und ihre Anwendungshäufigkeit

Reststoffen ($TR > 10\%$) unterschieden werden.

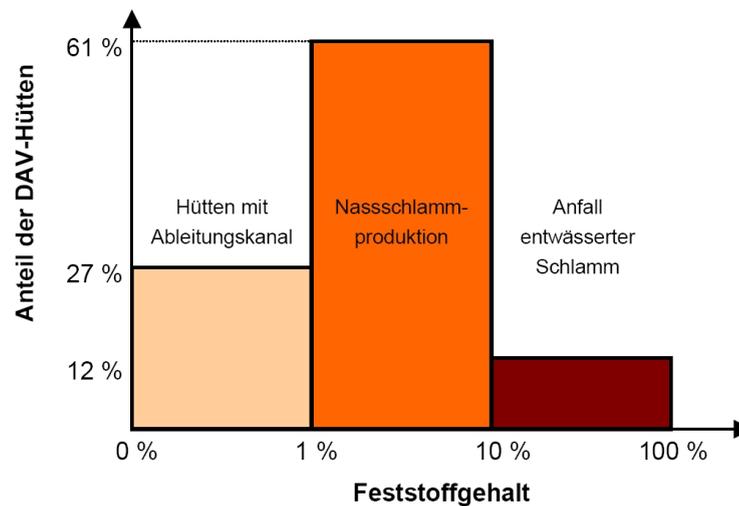


Abbildung A.4: Anzahl der DAV-Hütten in Abhängigkeit des Feststoffgehaltes ihrer anfallenden Reststoffe

A.4.3 Stoffströme einer Berghütte

Sowohl das System zur Abwasserreinigung als auch das zur Reststoffbehandlung sollte auf die gegebenen Rahmenbedingungen (geltende Rechtslage und hüttentechnische Merkmalen) einer Berghütte abgestimmt sein.

Nachfolgende Abbildung A.5 zeigt typische Nutzung und Stoffströme einer Berghütte. Grundsätzlich ergeben sich zwei Entsorgungsoptionen für den anfallenden Klärschlamm: Die Ausbringung vor Ort oder der Abtransport zur Weiterbehandlung ins Tal. In beiden

Fällen besteht die Möglichkeit, den Klärschlamm zur Volumen- und Gewichtsreduktion (Entwässerung) sowie zur Hygienisierung vorher einer Reststoffbehandlung vor Ort zu unterziehen.

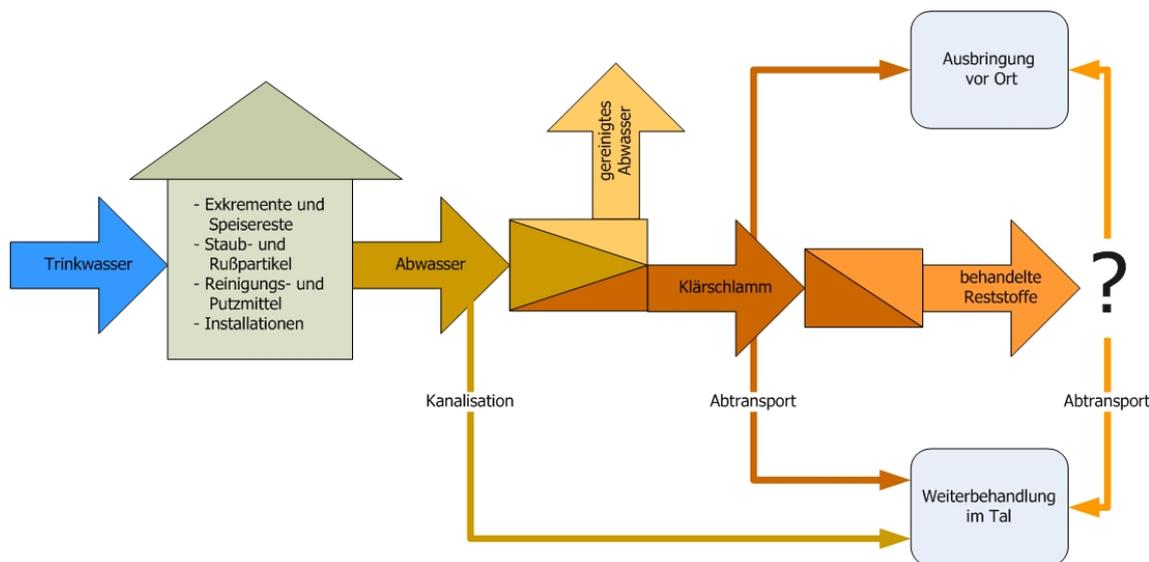


Abbildung A.5: Stoffströme auf Berghütten

A.5 Reststoffbehandlung

A.5.1 Vergleich verschiedener Verfahren

Im Rahmen des Projektes wurden verschiedene Verfahren zur Behandlung von Reststoffen auf Berghütten untersucht, beschrieben und bewertet. Im Einzelnen waren dies:

Solar-Schlammrockner

Der Solar-Schlammrockner kombiniert zwei Verfahren zur Schlammentwässerung: statische Entwässerung mit Hilfe eines Geotextils und solarunterstützte Trocknung (Evaporation). Das Herzstück des Geräts bildet dabei ein Solar-Luftkollektor, mit dem sowohl Wärme als auch netzunabhängig elektrische Energie zum Betrieb eines Ventilators gewonnen werden kann. Mit Hilfe des Luftkollektors können somit stets über dem Außenluftniveau liegende Schlammttemperaturen erzielt werden.

Filtersacksysteme

Das maschinelle Filtersacksystem Teknobag ist ein automatisiertes System zur Überschussschlamm-Entwässerung mit Polymerzumischung. Semipermeable Filtersäcke werden automatisch mit Klärschlamm befüllt, der durch die Wände des Filtersacks aufgrund des hydrostatischen Druckes entwässern kann. Der Filtersack wird periodisch und automatisch wiederbefüllt, bis der Schlammspiegel innerhalb einer voreingestellten Maximalzeit nicht mehr absinkt. Die vollen Teknobags werden mit einem speziellen



Abbildung A.6: Aufstellung und Befüllung des Solar-Schlammrockners

Transportwagen entnommen und im Freien zur weiteren Austrocknung gelagert.

Technisch weniger aufwendig ist ein System von Filtersäcken, die in Serie entlang einer Rohrleitung installiert sind. Der gravimetrisch zufließende Schlamm füllt den ersten Sack und bei komplettem Einstau läuft der Schlamm zum nächsten Sack über. Durch die Vorhaltung eines großen Sackvolumens steht ein entsprechender Entwässerungszeitraum zur Verfügung.



Abbildung A.7: Filtersackanlagen

Überdachtes Trockenbeet

Im überdachten Trockenbeet wird abgesetzter Mischschlamm (Primär- und Tropfkörper-schlamm) aus dem Vorklärbecken der biologischen Kläranlage behandelt. Der Schlamm wird in der Regel einmal zum Ende des Hüttenbetriebes abgezogen und in das Trockenbeet gepumpt. Das Trockenbeet ist so konstruiert, dass eine quasikontinuierliche Luftströmung ermöglicht wird, die zum einen für den Abzug von bei der Faulung entstehender Geruchsstoffe und zum anderen für die Feuchtigkeitsabfuhr sorgt. Dabei werden eine Volumenminderung durch Schwerkraft, klimatische Einflüsse (Verdunstung und Frosteinwirkung) und einer sich ausbildenden Biozönose erreicht. Zum Ende der nächsten Saison wird das Trockenbeet geräumt und die verbliebenen Reststoffe werden zur aeroben Nachbehandlung (Nachrotte) auf einer befestigten Fläche gestapelt, bis sie letztendlich im Hüttenumfeld ausgebracht werden.



Abbildung A.8: Überdachtes Trockenbeet in Außen- und Innenansicht

Pflanzenbeetanlage

Bei der Klärschlammbehandlung in Pflanzenbeeten erfolgt eine Entwässerung und Mineralisierung des auf bestimmten Flächen (Polder) in der Umgebung der Hütte eingebrachten Schlammes. Die Pflanzenbeetanlage besteht aus einem gegen das Erdreich abgedichteten Polder mit Vertikal- und Horizontaldrainagen, welche in einer Kiesschicht verlaufen. Der Schlamm wird über die Drainage und Verdunstung so weit entwässert, dass eine Grauseinsaat erfolgen kann. Das Gras dient der weiteren Entwässerung und Auflockerung des Schlammes. Relativ rasch bildet sich eine artenreiche Biozönose. Nach Erreichen eines bestimmten Mineralisierungsgrades wird der Polder mit einer neuen Lage Schlamm beaufschlagt, die auf die erste Lage aufgebracht wird. Die Dauer eines Zyklus ist abhängig von den klimatischen Randbedingungen (ca. 1 Jahr). Nach ca. 3 bis 5 Zyklen wird der Polder geräumt. Mit einem ausgeprägten Bewuchs ist erst bei einem ausreichenden Schlamm-schichtdicken zu rechnen.

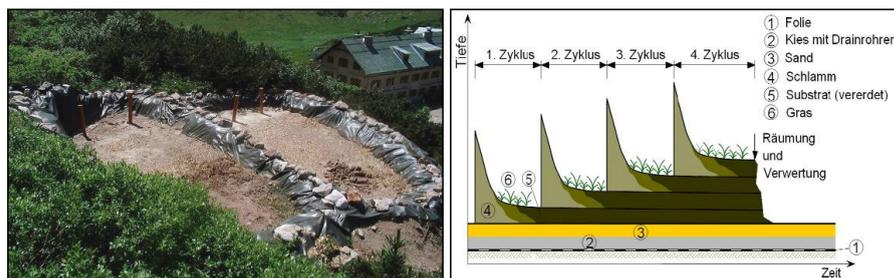


Abbildung A.9: Ansicht und Funktionsweise von Pflanzenbeeten

Komposttoiletten

Bei der untersuchten Komposttoiletten-Anlage werden die anfallenden flüssigen Anteile an Urin und Fäkalien sowie die Grauwässer aus der Hütte zunächst in einem Puffertank zwischengespeichert und anschließend biologisch weiter behandelt. Die in den Komposttoiletten zurückgehaltenen festen Abwasserinhaltsstoffe werden samt Strukturmaterial periodisch durchmischt und belüftet. Von dort wird das Material ausgetragen und mit weiterem Strukturmaterial vermengt zeitlich nacheinander in drei Kompostbehälter gefüllt. Die größ-

te spezifische Volumenreduktion findet dabei in der ersten Zeit nach dem Feststoffanfall durch Abtropfen und Abtrocknen statt. Durch mehrfaches Umfüllen (Homogenisierung und Belüftung) wird das anfangs sehr kompakte und feuchte Toiletten-Material weiter kompostiert und in seiner Qualität deutlich verbessert.



Abbildung A.10: Illustration zu Trockentoiletten

Solar-Komposter

Die Befüllung des Solar-Komposters erfolgt mit Material aus dem Trocken-WC („Plumpsklo“) der untersuchten Hütte. Hauptbestandteil des Gerätes ist ein Solar-Luftkollektor, wie er auch bei den Schlamm Trocknern verwendet wurde. Warmluft aus dem Kollektor umströmt das in einem wärmeisolierten Gehäuse eingebrachte Kompostiergut und temperiert zusätzlich zur biogenen Wärme den Kompost. Die Kompostierung wird damit optimiert und funktioniert über einen längeren Zeitraum - auch bei kühleren Außentemperaturen, wie sie in Gebirgslagen meist vorherrschen.



Abbildung A.11: Solar-Komposter in Außen- und Innenansicht

Stufenkomposter

Der untersuchte Stufenkomposter besteht aus 4 voneinander getrennten Kammern mit schiefem Boden. Das Rohabwasser des Haupt- und Nebengebäudes sowie das Küchenabwasser werden einer Siebpresse zugeführt, in der die Feststoffe aus dem Abwasser entfernt werden. Anschließend werden die Reststoffe mit Strukturmaterial angereichert und in verrottbare Transportsäcke aus Jute gefüllt. Diese werden dann händisch in die oberste Stufe

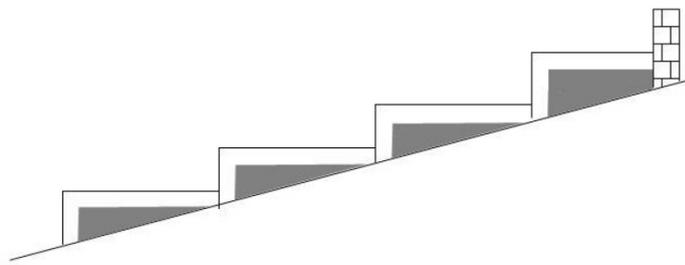


Abbildung A.12: Illustration zum Stufenkomposter

des Komposters eingebracht. Zu Beginn jeder Saison wird das Rottegut aus der untersten Stufe entnommen und anschließend der Inhalt der übrigen Stufen jeweils eine Stufe weiter nach unten umgesetzt. Dadurch werden die Reststoffe gelockert und gemischt. Die zum Saisonbeginn entnommenen Reststoffe der untersten Stufe werden auf einer eingezäunten Ödfläche im Hüttenumfeld ausgebracht und eingesät.

A.5.2 Qualität und Quantität der anfallenden Reststoffe

Fast alle untersuchten Objekte sind saisonal bewirtschaftete DAV-Hütten mit Jahresbelastungen von 2000 bis 10000 Einwohnerwerte (EW). Dabei ist zu beachten, dass die spezifischen Schlammproduktionen teils stark schwanken. Einerseits ist die Abwassercharakteristik (Verhältnis Tagesgäste zu Nächtigungen, ständig anwesendes Personal, Küchenbetrieb) entscheidend, andererseits das angewendete Abwasserreinigungsverfahren und die Schlammstabilisierung während der Saison. Bei Primärschlamm bewirkt beispielsweise die lange Lagerungszeit im Absetzbecken bei relativ hohen Abwassertemperaturen einen Verlust an Festmasse (Hydrolyse und Stabilisierung), bei Überschussschlamm ist die Schlammbelastung bzw. das Schlammalter maßgebend für den Stabilisierungsgrad.

Insgesamt zeigt die Übersicht in Tabelle A.1, dass der ermittelte Schlammanfall (Summe aus Primär- und Sekundärschlamm) zwischen 30 bis maximal 65 g TM/EW60 beträgt und damit am unteren Rand der Erwartungswerte liegt. Im Vergleich dazu liegt die spezifische Schlammproduktion bei kommunalen Anlagen zwischen 50 - 90 g TM/EW60. Entsprechend des Regelblatt 1 („Abwasserentsorgung im Gebirge“) [36] des österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV) werden Richtwerte für die organischen Frachten vorgegeben, die zur Ermittlung des Schlammanfalls herangezogen werden können.

Mikrobiologische und chemisch-analytische Untersuchungen

In Abbildung A.13 sind die Ergebnisse der mikrobiologischen und der chemisch-analytischen Untersuchungen zusammengestellt. Die angegebenen Messwerte (insbesondere die hygienischen Parameter) sind vor allem für die qualitative Unterscheidung von Anfangs- und Endprodukt geeignet und weniger für einen Vergleich zwischen den

Tabelle A.1: Qualität und Quantität der untersuchten und angefallenen Reststoffe

Objekt	saisonale Belastung [EW_{60}/a]	Behandlungsmethode	Art der Reststoffe	$[g TM/EW_{60}]$	Schlammmanfall [$Kg TM/a$]
Nördlinger Hütte	2200	SolarSchlammrockner	Primärschlamm	15	20-30
Leutkircher Hütte	2550	SolarSchlammrockner	Überschuss-schlamm	17	43
Memminger Hütte	5000	Filtersacksystem Teknobag	Überschuss-schlamm	NB	NB
Mindelheimer Hütte	8500	überdachtes Trockenbeet	Primär- und Tropfkörperschlamm	NB	NB
Stuttgarter Hütte	4000	Pflanzenbeetanlage	Primär- und Belebtschlamm	65	259
Kärlingerhaus	9560	Pflanzenbeetanlage	Primär- und Tropfkörperschlamm	NB	NB
Brunnsteinhütte	5000	Komposttoiletten	Fäkalien + Strukturmaterial	25-30	625 L/a
Klostertaler Umwelthütte	600	Trockentoiletten und SolarKomposter	Fäkalien + Strukturmaterial	25-30	70 L/a
Kaiserjochhaus	2900	Stufenkomposter	Feststoffe aus mech. Vorreinigung	NB	NB

NB: nicht bekannt

Verfahren. Um im Einzelfall eine quantitative Vergleichbarkeit zu bekommen, sind die Feuchtsubstanzwerte auf Trockensubstanzwerte umzurechnen.

Die Ergebnisse der Tabelle A.1 zeigen, dass mit den im Projekt untersuchten Verfahren eine zielführende Behandlung der Reststoffe möglich ist und diese in ein transport- bzw. ablagerungsfähiges Produkt überführt werden können. Vor allem bei fließfähigen Klärschlämmen kann eine deutliche Reduzierung des Volumens (bis zu 90% TR) erreicht werden; ebenso können faulfähige organische Substanzen, ausgedrückt durch den Glühverlust (GV), reduziert werden.

Abbildung A.13: Ergebnisse der Behandlung von Reststoffen verschiedener Verfahren

Objekt	Verfahren	Behandlungserfolg				Mikrobiol. Indikatororganismen [pro g FS]					
		TM [%]		GV [% TM]		Enterobacteriaceen		Enterokokken		Salmo-nella	Wurmeier
		Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende		
Nördlinger Hütte	Solar-Schlamm-trockner	1,2 3,8	10-40	86		2,4 · 10 ⁶	3,6 · 10 ⁶	3,5 · 10 ⁴	0	NN	NN
Leutkircher Hütte	Solar-Schlamm-trockner	1	7-20	76	67	1,6 · 10 ⁶	0	130	0	NN	anfängs NEM, KOK, STR
Memminger Hütte	Filtersack-system Teknobag	2	20-72	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB
Mindelheimer Hütte	Überdachte s Trockenbe-et	5	18 (22 nach Rotte)	92	90 (70 nach Rotte)	>10 ⁶	0 - 3 · 10 ⁴	9 · 10 ⁴	0 - 3 · 10 ⁶	NN	teilw. KOK, NEM
Stuttgarter Hütte	Pflanzen-beet-anlage	2	25-30	77-86	63	1,2 · 10 ⁶	2 · 10 ⁴	9 · 10 ⁴	3 · 10 ³ 4 · 10 ⁴	NN	NN
Kärlinger-haus	Pflanzen-beet-anlage	4-5	12-16	90	88	NB	NB	NB	NB	NB	NB
Brunnstein-hütte	Kompost-toiletten	20	40	68	78	3,5 · 10 ⁶	0	>10 ⁶	0	NN	teilw. NEM KOK
Klostertaler Umwelthütte	Trocken-WC u. Solar-Komposter	12-21	NB	66-78 (bei Befüllung)		NB	4,7 · 10 ⁶	NB	1,3 · 10 ⁶	NN	NB
Kaiserjoch-haus	Stufen-komposter	25	25	90	72-80	NB	2 · 10 ³ – 1,5 · 10 ⁶	2 · 10 ³	2 · 10 ⁶	NN	NN

FS: Feuchtsubstanz, TM: Trockenmasse, GV: Glühverlust, NB: nicht bekannt, NN: nicht nachweisbar, NEM: Nematodenlarven, KOK: Kokzidienoozysten, STR: Strongyloideiseier

Schwermetallbelastungen

Über die Projektphase wurden über einen Zeitraum von fünf Jahren von verschiedenen Hütten Reststoffe auf Schwermetallkonzentrationen hin untersucht. Die Reststoffe waren, abhängig vom jeweiligen Behandlungsverfahren und der Behandlungsdauer, teils fließfähig und teils stichfest. In Tabelle A.2 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung dieser Reststoffproben zusammengestellt.

Tabelle A.2: Ergebnisse der statistischen Auswertung untersuchter Reststoffproben

	Einheit	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn
Arithm. Mittelwert	mg/Kg	0,57	1,64	19,06	75,07	0,11	3,14	14,12	6,83	426
Median	mg/Kg	0,51	1,4	14,5	62	0,1	2,85	12	5	390
Minimalwert	mg/Kg	0,03	0,03	1,7	15,6	0,03	0	2,5	1	144
Maximalwert	mg/Kg	1,5	4	68	193	0,3	10	41,7	27	1019
Standardabweichung	mg/Kg	0,32	1,03	14,02	39,3	0,05	2	8,75	6,03	186
Schiefe	1	0,82	0,62	1,58	1,39	2,67	1,18	1,02	1,33	1,47
Umfang der Stichproben	Stück	71	69	71	71	71	51	71	70	70
Anzahl der Ausreißer	Stück	4	4	1	0	5	1	2	2	1

Für die Bewertung der Schwermetallkonzentrationen ist der Vergleich mit den gesetzlich zulässigen Grenz- und fachlich empfohlenen Richtwerten entscheidend. Die geforderten Grenzwerte für Schwermetalle sind teilweise deutlich unterschritten. Dies gilt insbesondere für Quecksilber und Blei. Auch der Vergleich der mittleren Konzentrationen mit kommunalen Klärschlämmen und mit Schlämmen aus Kleinkläranlagen bzw. kleinen Kläranlagen (Literatursauswertung) zeigt, dass die Konzentrationen in alpinen Reststoffen niedriger sind (Tabelle A.3).

Tabelle A.3: Vergleich der mittleren Schwermetallkonzentrationen von alpinen Reststoffen mit kommunalen Klärschlämmen und Schlämmen aus Kleinkläranlagen

	Einheit	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
alpine Reststoffe	mg/Kg	0,6	19,1	75,1	0,1	3,1	6,8	425,9
Schlämme aus Kleinkläranlagen	mg/Kg	1,2	25,2	182,9	0,3	14,5	31,3	633,3
kommunale Klärschlämme	mg/Kg	1,5	60,5	380,2	0,9	32,2	61,7	955,7

In Abbildung 5 sind die wichtigsten Stoffströme und Entsorgungswege von Abwasser und Reststoffen einer Berghütte dargestellt. Danach sind folgende Eintragungsquellen von Schwermetallen möglich:

- Materialien der Wasserleitungen. Diese sind meist aus Kupfer oder Zink bzw. bei älteren Hütten auch noch aus Blei. Als Anhaltswerte gibt HULLMANN & KRAFT

[19] bei Metalldächern eine jährliche Abschwemmung von etwa $1,34g/m^2$ für Kupfer und $3,0g/m^2$ für Zink an.

- Verunreinigungen durch Wasch- und Putzmittel sowie Staub- und Rußpartikel
- Menschliche Ausscheidungen. Zink, Kupfer und Nickel essentielle Elemente des menschlichen Stoffwechsels und sind deshalb auch konzentrierter in den Ausscheidungen vorhanden als beispielsweise Quecksilber oder Blei.
- Vorverschmutzung des Trinkwassers
- Behandlungshilfsstoffe zur Abwasserreinigung bzw. Kompostierung, wie beispielsweise Traubenkernschrot oder Sägemehl.

Verschmutzungen mit organischen Schadstoffen

Eine Bewertung der Verschmutzung mit organischen Schadstoffen wie beispielsweise PCDD/F, PFT oder PAK's wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht untersucht. Grund hierfür ist der Umstand, dass auf Berghütten keine typischen Eintragungspfade für die Schadstoffgruppe vorhanden sind:

- Die Behandlungs- und Reinigungsverfahren sind auf DAV-Hütten meist überdacht und geschlossen. Dadurch ist eine Emission aus der Luft schwer möglich.
- Der Einsatz aggressiver Reinigungsmittel ist nicht gestattet, da ansonsten mit einer Beeinträchtigung der biologischen Reinigungsverfahren zu rechnen wäre.
- Industrielle bzw. gewerbliche Eintragungspfade gibt es keine.

A.5.3 Empfehlungen zur Verfahrensauswahl

Für die Auswahl eines Verfahrens zur Behandlung von Reststoffen sollten neben den technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten auch standortspezifische Einflüsse und hüt- tentechnische Merkmale berücksichtigt werden.

- Je nach Lage der Hütte im Hoheitsgebiet der Staaten Österreichs und Deutschlands können unterschiedliche Regelungen zur Genehmigungspflicht der Anlagen und hinsichtlich der Ausbringung der Reststoffe gelten; in Nationalparks gelten wiederum gesonderte Bestimmungen. Die vorliegende Untersuchung hat sich bewusst auf die technischen Aspekte der einzelnen Schlammbehandlungsverfahren beschränkt. Eine geplante Anwendung sollte auf jeden Fall mit den zuständigen Vertretern der Bewilligungsbehörde und des Fördermittelgebers diskutiert werden. Nach allgemeinem Ermessen sind Entwässerungsverfahren von Nassschlamm wasserrechtlich bewilligungspflichtig, unabhängig davon ob Filtrate in die Kläranlage oder in den Untergrund emittiert werden. Die untersuchten Kompostierungstechnologien verursachen hingegen keine Abwasseremissionen.

- Die Situation hinsichtlich verfügbarer Flächen unter Beachtung der Grundstücksverhältnissen bestimmt maßgeblich die Entscheidung zwischen kompakten technischen Einrichtungen oder naturnahen Methoden (Beete beispielsweise bedürfen ebenen oder muldenförmigen Flächen). Der Einsatz von solar-thermisch unterstützten Verfahren ist auf eine Exposition mit entsprechender Einstrahlung angewiesen.
- Die Kosten für die präsentierten, neu errichteten Anlagen lagen zwischen 7500 und 25000 Euro. Die spezifischen Kosten hängen sehr stark von der Anlagengröße und der Erreichbarkeit der Hütte ab. Der Anteil der Transportkosten an den gesamten Investitionskosten kann bis zu 40% betragen.
- Gute Erreichbarkeit und Zugänglichkeit einer Berghütte begünstigt einerseits die Anlieferung des nötigen Baumaterials und erleichtert andererseits den Abtransport behandelter Reststoffe zumindest wirtschaftlich. Aus technischer Sicht hat die Erreichbarkeit einer Hütte allerdings wenig Einfluss auf die Verfahrensauswahl.
- Die Funktionalität eines Behandlungsverfahrens hängt entscheidend von seiner Betriebsführung und Wartung ab. Im Allgemeinen verbessern sich das Behandlungsergebnis und die Nutzungsdauer der Anlage bei einer sorgfältigen und fachgerechten Wartung und Betriebsführung. Hinsichtlich des Betreuungsaufwands unterscheiden sich fließfähige Schlämme und stichfeste Komposte sehr. Fließfähige Schlämme sind entgegen der Komposte pumpfähig; Kompostmaterialien bedingen zudem optimale Feuchte und Struktur, was einen gewissen Betreuungsaufwand erfordert.
- Der Standort im Gelände, die Exposition einer Hütte, Bewuchs und Untergrundverhältnisse können die Einflüsse der klimatischen Bedingungen verstärken oder abschwächen.

Vereinfacht lassen sich für die untersuchten Technologien folgende typische Anwendungsbereiche skizzieren:

- Das Filtersack-System (Teknobag) ist besonders dort sinnvoll einsetzbar, wo Transportprobleme für biologischen Überschussschlamm in Nassform vorhanden sind. Wegen seiner großen Kapazität ist das System für Hütten mit sehr starker Belastung bzw. Dauerbetrieb über das ganze Jahr geeignet (s. Abbildung A.14).
- Der Einsatz von Pflanzenbeetanlagen in niederschlagsreichen Regionen stand bei Projektbeginn in Frage, wobei diesbezügliche Zweifel mit dem Extrembeispiel Stuttgarter Hütte ausgeräumt werden konnten. Dennoch stellt dieses System die größten Ansprüche an die verfügbare Fläche, fügt sich aber andererseits als naturnahes Verfahren gut in eine geeignete Umgebung ein und bietet gerade für große Hütten eine kostengünstige Lösung. Überdachte Trockenbeete schließen den Witterungseinfluss aus, müssen aber baulich in das Hüttenumfeld integriert werden.
- Der Solar-Schlammrockner lässt sich einfach im Freien mit geeigneter Südexposition aufstellen. Durch die geschlossene Bauweise weist der Trockner eine sichere Strategie

gegen Geruchsprobleme auf und bietet insbesondere für kleine Hütten ein Kostenoptimum (vgl. Abbildung A.14).

- Beide untersuchten Kompostierungstechnologien haben sich bislang in ihren Anwendungsbereichen bewährt. Im Solar-Komposter konnte durch die solar-thermische Unterstützung gegenüber dem Stufenkomposter auch in großer Höhenlage die biologisch inaktive Winterperiode signifikant verkürzt werden.

In Abbildung A.14 sind verschiedene Technologien ausgewählten Einflussgrößen exemplarisch und qualitativ gegenübergestellt. Hierzu wurden zum einen das Vorhandensein geeigneter Aufstellflächen und zum anderen die Investitionskosten gewählt.

Anzumerken ist, dass für eine wirtschaftliche Betrachtung der untersuchten Technologien die einzelnen Kostenarten bilanziert werden müssen, was durch pauschalisierte Angaben nicht möglich ist. Hierbei sind bei einer Vor-Ort-Behandlung von Reststoffen zu berücksichtigen:

- Planungskosten,
- Materialkosten,
- Transportkosten,
- Bau-/herstellungskosten,
- Reinvestitionskosten und
- jährliche Betriebskosten

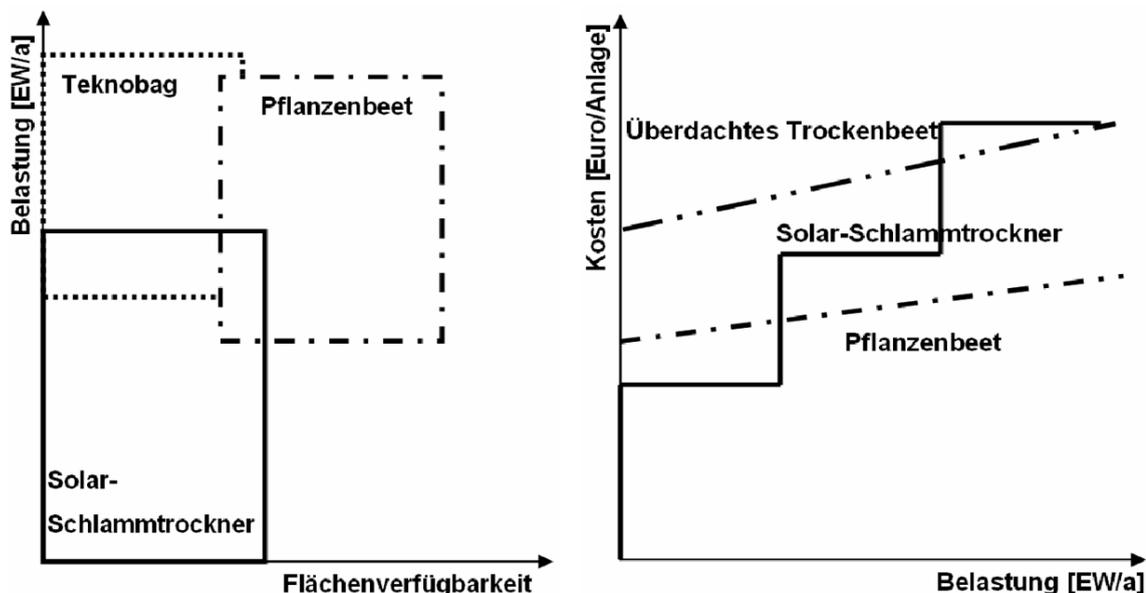


Abbildung A.14: Anwendungsbereich verschiedener Technologien bezüglich Belastung und Flächenverfügbarkeit (linkes Bild) sowie Investitionskosten und Belastung (rechtes Bild)

A.5.4 Bemessungshilfen für einzelne Verfahren

Im Folgenden sollen für die verschiedenen Verfahren Bemessungshilfen aufgezeigt werden. Bezüglich den zu erwartenden spezifischen Schmutzfrachten kann in Anlehnung an das

Regelblatt 1 [37] („Abwasserentsorgung im Gebirge“) des österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV) bei einer mäßigen sanitären Ausstattung der Hütte (Fließwasser in Küche, WC-Anlagen, Dusche nur für Personal) von Richtwerten von 60 g BSB₅/Tag für ständige Bewohner, ca. 50g BSB₅/Tag für Übernachtungsgäste sowie 15g BSB₅/Tag für Tagesgäste ausgegangen werden. 4 Tagesgäste entsprechen somit der Schmutzfracht eines ständigen Bewohners.

Die saisonale Belastung einer Hütte lässt sich unter Anwendung der oben zitierten Richtwerte allgemein nach folgender Formel berechnen:

$$B_S = \frac{n_S \cdot PE \cdot 60 \frac{gBSB_5}{PE \cdot d} + UN \cdot 50 \frac{gBSB_5}{UN \cdot d} + TG \cdot 15 \frac{gBSB_5}{TG \cdot d}}{60 \frac{gBSB_5}{EW_{60} \cdot d}} \quad (A.1)$$

In Gleichung A.1 bedeuten:

B_S	saisonale Belastung in $EW_{60}/Saison$
n_S	Öffnungstage pro Saison in d
PE	ständig anwesendes Personal pro Tag in d
UN	Anzahl der Übernachtungen pro Saison
TG	Anzahl der Tagesgäste pro Saison

Solar-Schlammrockner

Der Schlammumsatz bildet das entscheidende Bemessungskriterium für den Solar-Schlammrockner. Dieser hängt vom verfügbaren Befüllungsvolumen des Trockners und von der Anzahl der saisonalen Beschickungsintervalle ab. Letztere hängt ihrerseits von der Trockensubstanz des Nassschlammes sowie der Temperatur ab, was wiederum die Entwässerungsgeschwindigkeit bestimmt.

Bei ausreichender Sonneneinstrahlung und einer typischen Trockenmasse von 10 - 25 g TM/L kann mit Beschickungsintervallen von etwa 2-3 Wochen gerechnet werden, d.h. es können bei typischen Saisonöffnungszeiten etwa 5 Befüllungen pro Saison angesetzt werden. Nach Saisonende muss eine längere Trocknungszeit (über die Winterpause) abgewartet werden, bis der Behälter entleert werden kann.

Das erforderliche Trocknervolumen V_{erf} lässt sich wie folgt ermitteln:

$$V_{erf} = \frac{V_{Schlamm}}{n} \cdot f_{WB} = \frac{B_S \cdot SP_{Schlamm}}{TR_{Schlamm} \cdot n} \cdot f_{WB} \quad (A.2)$$

In Gleichung A.2 bedeuten:

$V_{Schlamm}$	anfallendes Schlammvolumen pro Saison
B_S	saisonale Belastung in $EW_{60}/Saison$
$SP_{Schlamm}$	spezifische Schlammproduktion in $g TR/EW_{60}$
$TR_{Schlamm}$	Trockenrückstand des Schlammes in %

n	Anzahl der Befüllungen pro Saison [1/Saison]
f_{WB}	Wiederbefüllungsfaktor [-]

Der Wiederbefüllungsfaktor berücksichtigt den Umstand, dass natürlich nach jeder Befüllung entwässerter Schlamm im Trockner zurückbleibt und somit das nutzbare Füllvolumen für die nächste Füllung verringert. f_{WB} kann mit 1,25 angenommen werden.

Solar-Komposter

Der Solar-Komposter wird typischerweise mit Material aus Trockentoiletten-Anlagen befüllt. Als die hauptsächlichen Bemessungskriterien ergeben sich daher die Trocknungsdauer (Größenordnung 1-2 Jahre) und die erforderliche Menge an zugesetztem Strukturmaterial (z.B. Sägemehl, Rindenmulch etc.), durch das die Kompostierfähigkeit des Toilettenmaterials durch Reduzierung des Feuchtegehalts reguliert wird.

Typischerweise geht man bei Trockentoiletten von einem spezifischen Frischmaterialanfall von $100 - 150 \text{ g}/EW_{60} \approx 0,10 - 0,15 \text{ L}/EW_{60}$ aus. Es wird davon ausgegangen, dass nach jedem Toilettengang eine gewisse Menge Strukturmaterial zugegeben wird (entweder automatisch oder durch den Benutzer). Eine evtl. Zugabe von zusätzlichen größeren Mengen an Strukturmaterial bei Räumung der Toilettenanlage muss gesondert berücksichtigt werden.

Das erforderliche Kompostervolumen V_{erf} pro Saison lässt sich unter Annahme eines ausreichenden Temperaturniveaus im Kompostmaterial einer einmaligen Befüllung pro Saison wie folgt berechnen:

$$V_{erf} = B_S + SP_{Material} + V_{SM \text{ separat}} \quad (\text{A.3})$$

In Gleichung A.3 bedeuten:

B_S	saisonale Belastung in EW_{60}/Saison
$V_{SM \text{ separat}}$	eventuell separat zugegebenes Strukturmaterial in L/Saison
$SP_{Material}$	spezifischer Materialanfall in L/EW_{60}

Überdachte Trockenbeete

Überdachte Trockenbeete bestehen aus einem festen Speicherbecken (Betonbassin o.ä.) und einer teiltransparenten Überdachung. Bei der untersuchten Anlage auf der Mindelheimer Hütte hat sich die dort gewählte Dachneigung von 43° des Satteldaches bewährt. Zudem sollte auf eine ausreichende Durchlüftung gesorgt werden, um einerseits Gerüche zu verflüchtigen und andererseits den Abtransport der erwärmten, feuchten Luft zu gewährleisten.

Für die Bemessung maßgeblich ist die Dimensionierung des Speicherbeckens. Dieses muss die gesamten Reststoffe einer Saison aufnehmen können (inklusive einem 10%igen Sicherheitszuschlag). Dabei sollte eine maximale Stapelhöhe von 20 bis 25 Zentimetern nicht überschritten werden.

Das erforderliche Beckenvolumen V_{erf} lässt sich unter Annahme einer spez. Schlammproduktion von $35 \text{ g TM}/EW_{60}$ und eines Sicherheitsfaktors von 1,1 wie folgt ermitteln:

$$V_{erf} = V_{Schlamm} \cdot f_S = \frac{B_S \cdot SP_{Schlamm}}{TR_{Schlamm}} \cdot f_S \quad (\text{A.4})$$

Da bei Trockenbeeten im Hochgebirge eine maximale Füllhöhe von $h_{Schlamm,empf} = 25 \text{ cm}$ möglichst nicht überschritten werden sollte, ergibt sich in Abhängigkeit des errechneten Speichervolumens die erforderliche Oberfläche zu:

$$A_{erf} \geq \frac{V_{erf}}{h_{Schlamm,empf}} \quad (\text{A.5})$$

In Gleichungen A.4 und A.5 bedeuten:

$V_{Schlamm}$	anfallendes Schlammvolumen pro Saison
B_S	saisonale Belastung in EW_{60}/Saison
$SP_{Schlamm}$	spezifische Schlammproduktion in $\text{g TR}/EW_{60}$
$TR_{Schlamm}$	Trockenrückstand des Schlammes in %
$h_{Schlamm,empf}$	Empfohlene maximale Füllhöhe des Schlammes im Speicherbecken in m
f_S	Sicherheitsfaktor [-]

Pflanzenbeetanlagen mit Grasbepflanzung

Die Lage im Hochgebirge zwingt aufgrund kürzerer Vegetationsperioden, niedrigeren Durchschnittstemperaturen und höheren Niederschlagsmenge möglichst eine Flächenbelastung (FB_{empf}) nicht größer als $10 \text{ kg TM}/m^2$ zu empfehlen und nicht mehr als einen Betriebszyklus pro Jahr. Zur besseren Ableitung von Regenfällen oder nach der Schneeschmelze sind zusätzliche Vertikaldrainagen empfehlenswert. Zum Aufbau der Filterschicht sollte enggestuftes Kies ohne Tonanteile verwendet werden. Die Neigung der Böschung sollte nicht zu steil (1:0,3 bis 1:0,5) sein, um ein Abrutschen der Filterschicht zu verhindern. Ebenso sollte zum Schutz der Filterschicht eine Prallplatte oder Ähnliches vorhanden sein, welche die Energie bei der Befüllung des Polders minimiert.

Der Polder sollte unmittelbar nach der Schneeschmelze eingesät werden, um eine möglichst starke Durchwurzelung der Schlammschicht zu erreichen. Diese ist ein wichtiger Faktor für den Grad der Mineralisierung und der Entwässerung.

Zur Bemessung von Pflanzenbeetanlagen mit Grasbepflanzung muss ein ausreichendes Poldervolumen (V_{Polder}) vorgehalten werden und zugleich eine zu hohe Flächenbelastung vermieden werden. Es gilt:

$$A_{erf} \geq \frac{B_S \cdot SP_{Schlamm} \cdot t_Z}{FB_{empf}} \quad (\text{A.6})$$

$$V_{erf} \geq V_{Schlamm} + (n - 1) \cdot \frac{V_{Schlamm} \cdot TR_{Reststoff}}{TR_{Schlamm}} \quad (A.7)$$

In Gleichungen A.6 und A.7 bedeuten:

$V_{Schlamm}$	anfallendes Schlammvolumen pro Saison
B_S	saisonale Belastung in $EW_{60}/Saison$
$SP_{Schlamm}$	spezifische Schlammproduktion in $g TR/EW_{60}$
$TR_{Schlamm}$	Trockenrückstand des Schlammes in %
$TR_{Reststoff}$	Trockenrückstand der Reststoffe am Ende eines Betriebszyklus in %
FB_{empf}	empfohlene maximale Flächenbelastung in $KgTR/m^2$
n	Anzahl der Betriebszyklen bis zur Polderräumung [-]

Filtersackanlagen zur Mischschlammbehandlung aus Mehrkammergruben

Die Filtersackanlagen zur Entwässerung von Mischschlamm aus Mehrkammergruben sollten auf eine einjährige Standzeit ausgelegt werden. Nach diesem Jahr sind die Säcke zu entfernen und durch neue zu ersetzen. Zur Verbesserung des Entwässerungseffekts sollten die Wintermonate unbedingt genutzt werden.

Die Dimensionierung der Filtersackanlage erfolgt hinsichtlich des erforderlichen Speichervolumens der Säcke ($V_{Sack,erf}$), die bei Behandlungsende nur zu einem Drittel gefüllt sein sollten. Es gilt:

$$V_{Sack,erf} \cdot m_S \geq 3 \cdot \frac{B_S \cdot SP_{Schlamm} \cdot f_S}{TR_{Schlamm}} \quad (A.8)$$

In Gleichung A.8 bedeuten:

$V_{Schlamm}$	anfallendes Schlammvolumen pro Saison
B_S	saisonale Belastung in $EW_{60}/Saison$
$SP_{Schlamm}$	spezifische Schlammproduktion in $g TR/EW_{60}$
$TR_{Schlamm}$	Trockenrückstand des Schlammes in %
m_S	Anzahl der Säcke in der Filtersackanlage [1]
f_S	Sicherheitsfaktor [-]

Aufgrund des Entwässerungsverhaltens von Mischschlamm, sollte die Filtersackanlage möglichst regelmäßig alle 15 Tage beschickt/befüllt werden.

Volumen- und Flächenbedarf der untersuchten Behandlungsverfahren

Die in der in Tabelle 5 angegebenen Zahlen über den spezifischen Volumen- bzw. Flächenbedarf der einzelnen Systeme wurden für die jeweiligen Fallbeispiele ermittelt und sind nur als Richtwerte zu betrachten, die in einer gewissen Bandbreite abhängig von den jeweiligen Randbedingungen schwanken können. Allgemein ist zu beachten, dass alle Verfahren eigens auf die sich stellenden Anforderungen der einzelnen Hütten zugeschnitten sind. Es

bestehen Unterschiede hinsichtlich der Lage der Objekte, den anfallenden Reststoffen und den gesetzlichen Auflagen.

Tabelle A.4: Volumen- bzw. Flächenbedarf der untersuchten Behandlungsmethoden in Abhängigkeit der saisonalen Hüttenbelastung

Objekt	Behandlungsmethode	saisonale Belastung [EW ₆₀ /a]	Volumen- bzw. Flächenbedarf [pro 1000 EW ₆₀]
Nördlinger Hütte	Solar-Schlamm Trockner	2150	0,2 m ³
Leutkircher Hütte	Solar-Schlamm Trockner	2550	0,2 m ³
Memminger Hütte	Filtersacksystem Teknobag	5000	1,2 m ²
Mindelheimer Hütte	überdachtes Trockenbeet	8500	1,8 m ²
Stuttgarter Hütte	Pflanzenbeetanlage	4000	30 m ²
Kärlingerhaus	Pflanzenbeetanlage	9560	3,4 m ²
Brunnsteinhütte	Komposttoiletten	5000	0,3 m ³
Klostertaler	Trockentoiletten und Solar-Komposter	600	1,0 m ³
Kaiserjochhaus	Stufenkomposter	2900	5,5 m ²
Ostpreußenhütte	Filtersackanlage	2000	12 m ²

A.6 Bemessungsbeispiele

Im Folgenden soll anhand von Zahlenbeispielen die Anwendung der im vorangegangenen Kapitel vorgestellten Bemessungshilfen verdeutlicht werden.

A.6.1 Solar-Trockner und Solar-Komposter

Kennzahlen der Hütte

135 Öffnungstage, 3 ständig anwesende Personen (PE), 1200 Nächtigungen (UN), 3000 Tagesgäste (TG)

saisonale Belastung

$$\frac{135 \cdot 3 \cdot 60 \frac{g BSB_5}{PE \cdot d} + 1200 \cdot 50 \frac{g BSB_5}{UN \cdot d} + 3000 \cdot 15 \frac{g BSB_5}{TG \cdot d}}{60 \frac{g BSB_5}{EW_{60} \cdot d}} = 2150 EW_{60}/a$$

Variante 1: Nassschlamm (Solar-Trockner)

Schlamm Trockenmasse (TM): 15 g/kg

spez. Schlammproduktion: 20 g TM/EW₆₀

$$V_{erf} = \frac{2150 \text{ EW}_{60}/a \cdot 20g \text{ TM}/\text{EW}_{60}}{15g\text{TR}/\text{Kg} \cdot 5} \cdot 1,25 = 700/a$$

Variante 2: Trockentoilettenmaterial (Solar-Komposter)

spez. Materialanfall: $0,1250 \text{ L}/\text{EW}_{60}$

$$V_{erf} = B_S + SP_{Material} + V_{SM \text{ separat}} = 2150 \text{ EW}_{60}/a \cdot 0,125 \text{ L}/\text{EW}_{60} = 270 \text{ L}/a$$

A.6.2 Überdachte Trockenbeete

Kennzahlen der Hütte

110 Öffnungstage; 5,5 ständig anwesende Personen (PE); 600-7000 Nächtigungen (UN); 8000-11000 Tagesgäste (TG).

saisonale Belastung

$$\frac{110 \cdot 5,5 \cdot 60 \frac{g \text{BSB}_5}{\text{PE} \cdot d} + 6500 \cdot 50 \frac{g \text{BSB}_5}{\text{UN} \cdot d} + 10000 \cdot 15 \frac{g \text{BSB}_5}{\text{TG} \cdot d}}{60 \frac{g \text{BSB}_5}{\text{EW}_{60} \cdot d}} = 8500 \text{ EW}_{60}/a$$

Dimensionierung des Speicherbeckens

Erforderliches Volumen:

$$V_{erf} = \frac{B_S \cdot SP_{Schlamm}}{TR_{Schlamm}} \cdot f_S = \frac{8500 \text{ EW}_{60}/a \cdot 35g\text{TR}/\text{EW}_{60}}{82Kg\text{TR}/m^3} \cdot 1,1 = 4,0 \frac{m^3}{\text{Saison}}$$

Erforderliche Fläche:

$$A_{erf} \geq \frac{V_{erf}}{h_{Schlamm,emp}} = \frac{4,0m^3}{0,25m} = 16m^2$$

A.6.3 Pflanzenbeetanlagen mit Grasbepflanzung

Saisonale Belastung

ca. $40500 \text{ EW}_{60}/a$ bzw. $37 \text{ EW}_{60}/d$ bei 107 geöffneten Tagen

Dimensionierung der Polderfläche

$$A_{erf} \geq \frac{B_S \cdot SP_{Schlamm} \cdot t_Z}{FB_{emp}} = \frac{4000 \text{ EW}_{60}/a \cdot 65g\text{TR}/\text{EW}_{60} \cdot 1a}{10Kg\text{TR}/m^2} = 26m^2$$

Dimensionierung des Poldervolumens

Da bei der Entleerung das erste Vorklärbecken weitgehend durchmischt wird, muss der gesamte Schlamm eines Jahres während einer Beschickung in dem Beet untergebracht

werden können. Dabei ist vom Gesamtvolumen der Vorklärung, das sind im Falle der Stuttgarter Hütte $16,8m^3$, auszugehen. Zuzüglich fällt etwa $2m^3$ sedimentierter belebter Schlamm (37KgTM bei 2%TR) aus dem Biologiebecken an. Insgesamt sollte also von $19m^3$ Schlamm ausgegangen werden, der jährlich zur Behandlung im Pflanzenbeet anfällt.

$$V_{erf} \geq V_{Schlamm} + (n - 1) \cdot \frac{V_{Schlamm} \cdot TR_{Reststoff}}{TR_{Schlamm}} = 19m^3 + (5 - 1) \cdot \frac{19m^3 \cdot 2\%}{25\%} = 25,1m^3$$

Das erforderliche Volumen des Polders muss oberhalb der Schicht der bereits eingebrachten Lagen vorhanden sein. Zudem sollte ein ausreichender Freibord eingehalten werden. Aus der erforderlichen Grundfläche und den gewählten Böschungsneigungen von 1:1 bzw. 1:2 ergibt sich eine Höhe von 70cm oberhalb der Sandschicht.

A.6.4 Filtersackanlage zur Behandlung von Reststoffen aus einer Mehrkammergrube

Ein Filtersack besteht aus zwei ineinander gestülpten handelsüblichen Kunststoff-Kartoffelsäcken und einem Innen liegendem Jutesack. Diese werden in der Filtersackanlage während einer Saison immer wieder beschickt, zu Beginn der nächsten Saison abgenommen und noch eine weitere Saison getrocknet.

saisonale Belastung

200 Öffnungstage; 2,5 ständig anwesende Personen (PE); 700 Nächtigungen (UN); 3500 Tagesgäste (TG).

saisonale Belastung

$$\frac{200 \cdot 2,5 \cdot 60 \frac{gBSB_5}{PE \cdot d} + 700 \cdot 50 \frac{gBSB_5}{UN \cdot d} + 3500 \cdot 15 \frac{gBSB_5}{TG \cdot d}}{60 \frac{gBSB_5}{EW_{60} \cdot d}} = 2000 EW_{60}/a$$

Dimensionierung der Filtersackanlage

Aufgrund der Verwendung von handelsüblichen Säcken, ist das Sackvolumen mit 85 Litern vorgegeben

$$m_S = \frac{3 \cdot B_S \cdot SP_{Schlamm} \cdot f_S}{V_{Sack,erf} \cdot TR_{Reststoffe}} = \frac{3 \cdot 2000EW_{60}/a \cdot 30gTR/EW_{60} \cdot 1,1}{85L \cdot 300gTR/L} \approx 8Stk/a$$

A.7 Vorgehen zur Auswahl eines Behandlungsverfahrens

Im Folgenden wird die Vorgehensweise zur Auswahl und Bemessung eines geeigneten Behandlungsverfahrens vorgestellt. Dieses soll nicht als verbindliches oder vorgeschriebenes Vorgehen verstanden werden, sondern als das aus den Erfahrungen mit dem genannten

Forschungsprojekt, am Besten erscheinende.

Als Vorarbeit sollten zunächst aus den Besucherzahlen, der Betriebstage und des jeweiligen Wasserverbrauchs die Schmutzfracht und der jährliche Reststoffanfall abgeschätzt werden. Dazu wurden im Abschnitt "Bemessungshilfen für einzelne Verfahren" notwendige Angaben gemacht.

Ist die zu erwartende Reststoffmenge (Trockenmasse und Gesamtvolumen) bekannt, kann auf Grundlage des Unterkapitels „Empfehlungen zur Verfahrensauswahl“ eine gewünschte Technologie ausgewählt werden. Das Verfahren sollte sich nicht nur gut in das vorhandene Klärkonzept der Hütte einbinden, sondern auch den speziellen standortspezifischen Einflüssen und Aspekten der Betriebsführung genügen. Vor allem jedoch, sollte es auf die Produkthanforderungen ausgerichtet sein, die sich aus den gesetzlichen Auflagen ergeben.

Denn je nach Entsorgungs- bzw. Verwertungsweg ergibt sich die maßgebliche Zielsetzung für die Reststoffbehandlung. Bei Abtransport ist die Volumenreduktion durch Entwässerung vorrangig; bei erlaubter Ausbringung sollte weitestgehende Nährstoff- und pathogene Keimreduktion betrieben werden.

Die Bemessung der ausgewählten Technologie sollte mit den genannten Bemessungshilfen (Abschnitt 5.4) vorgenommen werden. Je nach örtlichen Randbedingungen ist es möglich, die nach der Behandlung zu erwartenden Reststoffmengen (Masse, Volumen) und ihre Verschmutzungskonzentrationen (Nährstoffe, pathogene Keime, etc.) abzuschätzen. Beides sollte in Abhängigkeit der Behandlungsdauer angegeben werden.

Sind die Qualität und die Quantität der behandelten Reststoffe bekannt, so kann ihre umwelt- und bodenschädigende Wirkung für die jeweilige Hüttenumgebung abgeschätzt werden.

Letztlich sollten neben diesen technischen Aspekten, sollte auch die wirtschaftliche Bedeutung der Behandlung und des Verbleibs der Reststoffe herausgearbeitet werden.

B Projektarbeit

Die dritte Phase des Projektes „Klärschlammproblematik im Hochgebirge“ ist ein von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt unterstütztes Forschungsprojekt und wurde gemeinsam vom Deutschen Alpenverein e.V. (Abteilung Hütten-Wege-Kletteranlagen), zwei Hochschulen (Universität Innsbruck und Universität der Bundeswehr München) und der Grammer Solar GmbH durchgeführt. Projektbeginn war der 26.09.2007, Projektende der 31.12.2008.

B.1 Projektpartner

B.1.1 Deutscher Alpenverein e.V. (DAV)

Ressort Hütten-Wege-Kletteranlagen
Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Peter J. Weber
Von-Kahr-Straße 2-4, 80997 München
Telefon: +49 89 14003-0
Telefax: +49 89 14003-12
E-Mail: huetten_wege@alpenverein.de
<http://www.alpenverein.de>

B.1.2 Universität der Bundeswehr München

Institut für Wasserwesen, Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik
Professor Dr.-Ing. Frank Wolfgang Günthert
Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Falk Schönherr
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg
Telefon: +49 89 6004-3484
Telefax: +49 89 6004-3858
E-Mail: Falk.Schoenherr@unibw.de
<http://www.unibw.de/ifw/swa/>

Die Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen, Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik koordinierte als Bewilligungsempfänger den Projektablauf und die Projektleistungen.

B.1.3 Universität Innsbruck

Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Umwelttechnik

Professor Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolfgang Rauch

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernhard Wett

Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck

Telefon: +43 512 507-6926

Telefax: +43 512 507-2911

E-Mail: bernhard.wett@uibk.ac.at

<http://www.uibk.ac.at/umwelttechnik/>

B.1.4 Grammer Solar GmbH

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. (FH) Rudolf Ettl

Oskar-von-Miller-Straße 8, 92224 Amberg

Telefon: +49 9621 30857-0

Telefax: +49 9621 30857-10

E-Mail: info@grammer-solar.de

<http://www.grammer-solar.de/>

B.2 Publikationen

Im Zuge der Projektabwicklung wurden neben nachstehenden Veröffentlichungen zur Verbreitung der Zwischenergebnisse und Ergebnisse folgende projektspezifischen Veröffentlichungen geschrieben und Vorträge gehalten.

Veröffentlichungen

- Becker, W.; Schön, M.; Wett, B.(2007): Solar-thermic sewage sludge treatment in extreme alpine environments. *Water Science & Technology*, Vol.56, No.11, pp 19.
- Schönherr, Falk; Cyris, Thomas; Günthert, F. Wolfgang (2008): Belange des Bodenschutzes - Schwermetalle in Abwasser-Reststoffen. *Wasserwirtschaft/Wassertechnik*, 10/2008, S.26-29.
- Becker, W.; Schön, M.; Wett, B. (2008): Reststoffbehandlung und -entsorgung bei Kleinkläranlagen in Extremlagen. 2. Österreichischer Kleinkläranlagentag, ÖWAV-Seminar. *Wiener Mitteilungen*, Band 210, ISBN 978-3-85234-102-6, Wien.
- Schönherr, Falk; Schön, Michael; Wett, Bernhard; Günthert, F.Wolfgang (2009): Behandlung von Reststoffen im Hochgebirge - Anforderungen und Empfehlungen zur Verfahrenswahl. *Wasser&Abfall*, 03/2009.

Vorträge, Präsentationen und Ausstellungen

- Schön M., Becker W. und Wett B. (2007): Technologische Möglichkeiten zur Klärschlamm Entsorgung im Hochgebirge. Poster zum DBU-Projekt „Klärschlammpro-

blematik im Hochgebirge“. Konferenz *Managing Alpine Future*, Congress Innsbruck, 15.-17. Oktober 2007.

- Schönherr, Falk; Schön, Michael (2007): DBU-Forschungsprojekt *Klärschlammproblematik im Hochgebirge* - Umsetzung und Projektstand im Herbst 2007. Präsentation und Diskussion im Zuge der DAV-Infotour 2007 (Taschachhaus, Kaunergrathütte).
- Schönherr, Falk; Kreißel, Gerhard; Ettl, Rudolf (2007): Klärschlammproblematik im Hochgebirge - Posterpräsentation. DAV-Hauptversammlung 2007, Fürth, 6.-7.11.2007.
- Vorstellung des DBU-Projekts als Teil des Posters zu Technologieentwicklungen am Arbeitsbereich für Umwelttechnik, Universität Innsbruck. IFAT 2008 - Internationale Fachmesse für WasserAbwasserAbfallRecycling. München, 5. 9. Mai 2008.
- Schönherr, Falk(2007): DBU-Forschungsprojekt *Klärschlammproblematik im Hochgebirge* - Umsetzung und Projektstand im Herbst 2008. Präsentation und Diskussion im Zuge der DAV-Infotour 2008 (Friesenbergshaus, Olpererhütte).
- Schönherr, Falk; Schelper, Jürgen (2008): Klärschlammproblematik im Hochgebirge - Posterpräsentation. DAV-Hauptversammlung 2008, Jena, 7.-8.11.2008.

B.3 Diplom- und Seminararbeiten

An beiden wissenschaftlichen Einrichtungen wurden nachfolgend genannte Diplom- bzw. Seminararbeiten durchgeführt. Hierdurch wurden die Erkenntnisse aus den Untersuchungen von Behandlungsverfahren von Reststoffen in alpinen Extremlagen als Beispiele dezentraler Lösungen mit in die studentische Lehre integriert.

- Junker, Thorsten (2008): *Filtersackanlage für Reststoffe aus einer nassen Vorreinigung (Ostpreußenhütte)*. Oberseminar am Institut für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München.
- Junker, Thorsten (2008): *Untersuchungen zur Klärschlammbehandlung im alpinen Bereich*. Diplomarbeit am Institut für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München.