



OPTIMIERUNG VON TROCKENTOILETTEN FÜR DEN EINSATZ BEI ALPINEN OBJEKTEN

Masterarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieurin

eingereicht von:
LEHNER, AGNES

Betreuer: Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Günter Langergraber

Mitbetreuer: Dipl.-Ing. Dr. Norbert Weissenbacher

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde am Institut für Siedlungswasserbau, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz (SIG) unter der Leitung von DI Dr. Norbert Weissenbacher durchgeführt. Für die großartige Unterstützung und die zahlreichen Anmerkungen welche viel zur Vernetzung der einzelnen Arbeitsbereiche beigetragen haben, gilt ihm ein besonderer Dank.

Für den Anstoß zu dieser Arbeit möchte ich DI Harald Kromp von der MA 31 Wiener Wasser danken, welcher mich mit vielen Informationen und wichtigen Datengrundlagen ausgestattet hat.

Dank gilt auch der Belegschaft der Betriebsleitung von Wiener Wasser in Hirschwang, dabei besonders Ing. Hans Tobler für die zahlreichen Informationen, seine Unterstützung und sein Interesse sowie Herrn Brettenthaler für die vor Ort Betreuung beim Forsthaus auf der Hübelwiese.

Für die interessante und nette Begleitung zur Voisthaler Hütte möchte ich mich bei Ernst Formann von der Betriebsleitung von Wiener Wasser in Wildalpen bedanken. Auch dem Hüttenwirt der Voisthaler Hütte Hans Winkler gilt Dank für die freundliche Behandlung und die Herausgabe seiner Aufzeichnungen über die Trockentoilette.

Für ihre Herzlichkeit, Offenheit und Hilfsbereitschaft möchte ich Richard Waidhofer und allen anderen Mitgliedern des Gloggnitzer Gebirgsvereins, welche ich bei meinen zahlreichen Besuchen auf der Gloggnitzer Hütte kennen lernen durfte, vielmals danken.

Selbiger Dank gilt auch für die Mitglieder der Sektion Burgenland des Österreichischen Alpenvereins, welche mich immer sehr freundlich auf der Rieshütte Empfangen und mit wunderbaren mehrgängigen Menüs bekocht haben. Besonders danken möchte ich dabei Gerhard Paul, der mich, sofern es ihm möglich war, immer begleitet hat und große Begeisterung und Interesse an meiner Arbeit gezeigt hat.

Weiters danken möchte ich Ing. Thomas Ebner, welcher mich mit viel Geduld in die Geheimnisse der chemischen Analysen im Labor für Abfallwirtschaft eingeweiht hat und mir, so wie auch DI Erwin Binner, jederzeit mit Rat und Tat beiseite gestanden hat.

Meinen Eltern möchte ich herzlich für ihre Unterstützung in allen belangen und speziell für die oftmalige Begleitung bei Begehungen, das Bereitstellen eines fahrbaren Unterersatzes und das Korrekturlesen dieser Arbeit danken.

Last but not least danke ich all meinen Freunden die mich im Laufe dieser Masterarbeit auf vielen schönen Wanderungen, Skitouren, Klettersteigen und Klettertouren zu meinen Klos begleitet und mich dabei mit Witzen über das Thema dieser Arbeit unterhalten haben.

Inhaltsverzeichnis

Department Wasser-Atmosphäre-Umwelt	1
1. Einleitung	1
2. Zielsetzung und Aufgabenstellung	3
3. Allgemeine Grundlagen	4
3.1 Bedeutung und geografische Lage der Untersuchungsgebiete	4
3.2 Geologie und Wasserhaushalt	5
3.3 Klima	5
3.4 Abwasserentsorgung auf Extremstandorten	7
3.5 Rechtliche Rahmenbedingungen für Schutzhütten in alpinen Lagen	9
3.5.1 Abwasserentsorgung	9
3.5.2 Entsorgung von Feststoffen aus der Abwasserentsorgung	11
3.6 Kompostierung	12
3.6.1 Heißrotte	12
3.6.2 Kaltrotte	12
3.6.3 Kompostparameter	13
3.6.3.1 Temperatur	13
3.6.3.2 Wassergehalt	13
3.6.3.3 Ammonium- (NH ₄) / Nitratstickstoff (NO ₃)	14
3.6.3.4 Elektrische Leitfähigkeit	14
3.6.3.5 pH-Wert	15
3.6.3.6 Organikgehalt	15
3.6.3.7 C/N-Verhältnis	16
3.6.3.8 Huminstoffe	16
3.6.4 Eigenschaften kompostierbarer Materialien	16
3.6.4.1 Ausgangsstoffe	17
3.6.4.2 Zuschlagsstoffe	17
3.7 Trockentoiletten	18
3.7.1 Begriffsbestimmung	18
3.7.2 Funktionsprinzip	19
3.7.2.1 Toilette ohne Urintrennung	20
3.7.2.2 Separationstoilette	20
3.7.2.3 Entlüftung	21
3.7.3 Gebräuchliche Systeme bei alpinen Objekten	22
3.7.3.1 Komposttoilette System Berger	22
3.7.3.2 Trockentoilette System Radlspöck	25
3.7.3.3 Trockentoilette System Scherr/Mader	25
3.7.3.4 Komposttoilette System Otto Kandler Haus	25
3.7.3.5 Separations-/Trenntoilette System Amor	26
3.7.4 Externe Weiterbehandlung von Reststoffen aus Trockentoiletten	26
3.7.4.1 Konventionelle Kompostiersysteme	26
3.7.4.2 Solarkomposter	27
3.7.4.3 Stufenkomposter	29
4. Beschreibung der untersuchten Objekte	31
4.1 Übersicht und Lage	31
4.2 Gloggnitzer Hütte	32
4.3 Hübelwiese	34
4.4 Rieshütte	35
4.5 Voisthaler Hütte	37

5. Material und Methoden	39
5.1 Temperaturmessung	40
5.2 Probenahme	41
5.3 Chemische und physikalische Analysen	42
5.3.1 Probenarten	42
5.3.1.1 Eluat	42
5.3.1.2 Frische Laborprobe	42
5.3.1.3 Luftgetrocknete Laborprobe	42
5.3.1.4 Ofentrockene Laborprobe	42
5.3.2 Wassergehalt (WG)	43
5.3.3 Ammoniumstickstoff (NH ₄ -N)	43
5.3.3.1 Prinzip	43
5.3.3.2 Durchführung	43
5.3.3.3 Reagenzien	43
5.3.3.4 Auswertung	44
5.3.4 Nitratstickstoff (NO ₃ -N)	44
5.3.4.1 Prinzip	44
5.3.4.2 Durchführung	44
5.3.4.3 Reagenzien	44
5.3.4.4 Auswertung	44
5.3.5 Leitfähigkeitsmessung	45
5.3.6 pH-Wert	45
5.3.7 Glühverlust (GV)	45
5.3.7.1 Durchführung	45
5.3.7.2 Auswertung	45
5.3.8 Gesamtorganischer Kohlenstoff (TOC), Gesamtstickstoff (TN) und C/N Verhältnis	46
5.3.9 Huminstoffe	46
6. Ergebnisse und Diskussion	47
6.1 Temperatur	47
6.1.1 Wetterbedingungen im Untersuchungszeitraum	47
6.1.2 Gloggnitzer Hütte	48
6.1.3 Hübelwiese	50
6.1.4 Rieshütte	52
6.1.5 Voisthaler Hütte	53
6.2 Kompostanalysen	55
6.2.1 Struktur	55
6.2.2 Wassergehalt, Anorganik- und Organikgehalt, Glühverlust	57
6.2.3 Ammonium- / Nitratstickstoff	59
6.2.4 Leitfähigkeit und pH-Wert	61
6.2.5 Kohlenstoff und C/N-Verhältnis	62
6.2.6 Huminstoffe	63
6.3 Zusammenfassende Betrachtung	64
6.4 Optimierungsmöglichkeiten	66
6.4.1 Empfehlungen für die untersuchten Objekte	66
6.4.1.1 Gloggnitzer Hütte	66
6.4.1.2 Hübelwiese	66
6.4.1.3 Rieshütte	67
6.4.1.4 Voisthaler Hütte	67
6.4.2 Generelle Empfehlungen	68
6.4.2.1 Wassergehalt	68
6.4.2.2 Temperatur	68
6.4.2.3 Zuschlagsstoffe	68
6.4.2.4 Sonstiges	69
7. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	70

8. Verzeichnisse	72
8.1 Literaturverzeichnis	72
8.2 Abbildungsverzeichnis	75
8.3 Tabellenverzeichnis	78
9. Anhang	79
9.1 Erhebungsbogen Vorlage	79
9.2 Laborergebnisse	80
9.3 Selbstständigkeitserklärung	82
10. Lebenslauf	83

Kurzzusammenfassung

In den Alpen befinden sich rund 22.000 Berg- und Schutzhütten, bei deren Nutzung Abwässer und Abfälle anfallen. Viele davon befinden sich in Extremlagen, welche durch die beschränkte Dauer ihrer Bewirtschaftung, einen geringeren Wasserverbrauch sowie ihre eingeschränkte Erreichbarkeit und Energieversorgung definiert sind. Um die Umwelt und wertvolle Trinkwasserressourcen zu schützen, müssen die Abwässer bestmöglich entsorgt werden. Komposttoiletten sind dabei eine mögliche Systemkomponente für angepasste Lösungen, speziell bei Wasserknappheit. Im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit sollten vier baulich teils unterschiedliche Komposttoiletten untersucht und bewertet werden und anhand der daraus gewonnenen Erkenntnisse Vorschläge zur Optimierung erarbeitet werden.

Zu diesem Zweck wurde im Zeitraum zwischen Oktober 2011 und November 2012 die Außen-, Innenraum- und Komposttemperatur bei drei Schutzhütten und einem Betriebsgebäude überwacht. Weiters wurde im Abstand von zwei bis drei Monaten Kompostproben gezogen und auf ihre kompostrelevanten chemischen und physikalischen Parameter analysiert.

Die Auswertung der halbstündlich gemessenen Temperaturdaten zeigt, dass eine Erwärmung der Raumluft außerhalb der Kompostbox durch einen Solarluftkollektor nur einen geringen Einfluss auf die Komposttemperatur hat. Weiters zeigen sich große Unterschiede bei der Komposttemperatur zwischen in Gebäuden integrierten und einzeln stehenden Komposttoiletten. Das wirkt sich stark auf die Kompostierung aus. Durch die Analyse der Kompostproben wird der große Einfluss des Wassergehalts auf den Rottefortschritt und auf die Kompostqualität deutlich, welcher stark von der Nutzungsart der Toilette abhängt. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wurden Maßnahmen empfohlen, durch die sich die Komposttemperatur, der Wassergehalt, die Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen und somit die Kompostierungsgeschwindigkeit verbessern sollen. Grundsätzlich hat sich die Komposttoilette als Möglichkeit der Fäkalienbehandlung in Gebirgslagen durchaus bewährt und kann bei entsprechender Dimensionierung bei allen Objektgrößen eingesetzt werden.

Abstract

Approximately 22.000 mountain huts and refuges currently exist in the Alps. Most of them are situated in extreme locations where they are hard to access. Nevertheless, they generate relevant amounts of solid waste and wastewater. In order to protect the Alpine environment and to preserve drinking water resources, the wastewater generated by mountain huts and refuges must be disposed to minimize adverse impacts. For adapted sanitation systems, composting toilets are a possible system component, especially in the case of water shortage. This master thesis focuses on the analyses of four composting toilets with partly different designs with the goal of providing information for further optimization.

In this study the indoor, outdoor, and compost temperatures of the composting toilets were monitored from October 2011 to November 2012. In addition, compost samples were taken every two to three month and analysed for the relevant physical and chemical parameters.

The analysis of the temperature data indicated that heating the room outside the compost box with a solar air collector has a very low effect on the compost temperature. The data also showed a significant difference in the compost temperature depending on the location of the toilet. Indoor systems show higher compost temperatures in winter and lower ones in summer. Compost temperatures in detached toilet houses follow the outside temperatures. The analysis of the compost samples illustrates the large influence of the water content on the rotting process and the compost quality. This influence furthermore depends significantly on the type of usage the toilet receives. Based on the results, measures to optimize the composting process were proposed by improving the composting temperature, the water content, and the oxygen supply. Generally, composting toilets are feasible for mountain regions at different design sizes.

1. Einleitung

Einen großen Teil des österreichischen Territoriums nehmen die Alpen ein. Aus ökologischer Sicht weisen diese Gebiete eine hohe biologische Vielfalt auf, außerdem sind sie ein wichtiges Trinkwasserreservoir. Dies macht sie besonders sensibel gegenüber menschlichen Eingriffen.

Dabei sind die Alpen bis zu den höchsten Gipfeln teilweise sehr intensiv touristisch erschlossen. Rund 22.000 Berg- und Schutzhütten im Besitz von alpinen Vereinen oder Privaten durchziehen das Alpenmassiv. Aufgrund ihrer „Insellagen“ müssen sie aber überwiegend dezentral ver- und entsorgt werden. Daneben wird der Hüttenbetrieb noch ganz wesentlich durch die Extremlage beeinflusst, welche sich in Form von ungünstigen Witterungsbedingungen, großer Höhenlage und schwerer Erreichbarkeit darstellt (IEVEBS, 2010).

Der Betrieb einer Berg- und Schutzhütte erzeugt zwangsläufig Abwasser und Abfall, welche bei unsachgemäßer Behandlung das Grundwasser gefährden können. Erfahrungen zeigen, dass Beeinträchtigungen der Gewässer und insbesondere des Grundwassers oftmals erst sehr spät festgestellt werden. Das Ausmaß der Belastung und die Eintragspfade sind oft nur schwer zu erfassen, da sie sich weiträumig ausdehnen und sehr beständig sein können, sowie mit den gängigen Analyseverfahren nicht immer sofort identifizierbar sind (CASTELL-EXNER, 2010).

Um diese Gefährdungspotenziale schon im Vorfeld zu vermeiden, bedarf es erheblicher Anstrengungen und Investitionen. Dabei sollte die früher gängige Praxis der Abwasser- bzw. Fäkalienentsorgung am Berg möglichst nicht mehr angewandt werden. Diese war es, Abwasser bzw. den Inhalt von Latrinen mit Chlorkalk zu desinfizieren und vor Ort flächig auszubringen. Manchmal wurde das Abwasser einfach über einen Steilhang oder in eine nahe gelegene Doline abgeleitet. Diese, teilweise auch heute noch so praktizierten Methoden, können neben der Grundwassergefährdung in sensiblen Gebieten auch eine Veränderungen der Vegetation bewirken.

Um nun Abwasser von Berg- und Schutzhütten fachgerecht zu entsorgen, muss aufgrund unterschiedlichster örtlicher Bedingungen, für jede Einzelne eine individuell angepasste und praktikable Lösung gefunden werden. Diese soll gleichzeitig dem Stand der Technik entsprechen. Möglichkeiten zur Abwasserentsorgung am Berg sind zum Beispiel ein Kanalanschluss, eine Sammlung in einem dichten Behälter mit anschließendem Abtransport mittels Tankwagen zum nächsten Kanal oder Klärwerk oder eine Abwasserreinigungsanlage vor Ort. Als weitere Systemkomponente kann eine Trocken- oder Komposttoilette errichtet werden. Trockentoilette steht hier als Überbegriff für Toiletten, welche kein Wasser zur Spülung benötigen. Als Komposttoiletten werden jene Trockentoiletten bezeichnet, welchen die gesammelten Fäkalien und Zuschlagsstoffe kompostieren. Im Vergleich zu einem Sanitärsystem mit Spültoilette kann das gesamte in einer Berg- und Schutzhütte anfallende Abwasser damit deutlich verringert, sowie dessen Nährstoff- und Keimbelastung um einiges gesenkt werden. Das bewirkt eine Erleichterung bei der Weiterbehandlung des Abwassers bzw. eine Verminderung des Aufwands bei der Reinigung.

Verschiedene Varianten von Trockentoiletten werden schon seit vielen Jahren erfolgreich in zahlreichen Regionen dieser Erde eingesetzt. In Gebirgslagen in den Alpen sind sie allerdings noch nicht sehr häufig anzutreffen. Die fehlenden Langzeiterfahrungen sowie die extremen Bedingungen, wie niedrigen Temperaturen und schlechte Erreichbarkeit der Hütten, lassen einen Einsatz von Trockentoiletten schwierig erscheinen. Auch eine eindeutige Aussage, was mit den Reststoffen der Trockentoilette passieren soll, lässt sich schwer treffen. Im deutschsprachigen Raum gab es zwei große Forschungsprojekte welche sich in den letzten Jahren unter anderem auch intensiv mit Trocken- Komposttoiletten bzw. dessen Reststoffen auseinandergesetzt haben: „Umweltgerechte Ver- und Entsorgung ausgewählter Berg- und Schutzhütten im Alpenraum“ (DBU, 2012) und „Integrale Evaluierung der Ver- und Entsorgungssysteme bei Berg- und Schutzhütten“ (IEVEBS, 2010). Beide Projekte sind in Kooperation von staatlichen Einrichtungen, alpinen Vereinen, Universitäten und Ingenieurbüros entstanden. Deren Forschungsergebnisse dienen, neben dem Buch „Kompost-Toiletten“ von

Einleitung

Wolfgang Berger und Claudia Lorenz-Ladener, als wichtigste Grundlagen der vorliegenden Arbeit (BERGER und LORENZ-LADENER, 2008).

Diese, von Wiener Wasser initiierte Masterarbeit soll einen Beitrag zur verbesserten Anwendung von Trockentoiletten in Gebirgslagen liefern. Als Studienobjekte für diese Arbeit dienten dabei vier Berghütten mit teilweise unterschiedlichen Komposttoiletten-Systemen, welche in den Wasserschutzgebieten von Rax, Schneeberg und Hochschwab liegen. Bei den untersuchten Toiletten sollen die Fäkalien vor Ort kompostiert, hygienisiert und dann entsorgt, bzw. in der Umgebung der Hütte ausgebracht werden. Das anfallende Abwasser wird lokal behandelt bzw. versickert. Dabei verbessert sich neben dem angestrebten Schutz des Grundwassers auch der Komfort bei der Benützung der Toiletten aufgrund einer deutlich reduzierten Geruchsentwicklung im Vergleich zu den früheren verwendeten Latrinen. Die vorliegende Arbeit soll als Grundlage für technische und organisatorische Verbesserungen bei Komposttoiletten in alpinen Lagen dienen.

2. Zielsetzung und Aufgabenstellung

Ziel dieser Arbeit ist es, anhand von vier ausgewählten Trockentoiletten in Gebirgslage, eine Aussage über die Funktion der Fäkalienkompostierung an Extremstandorten zu treffen. Weiters sollen Schwachstellen der betrachteten Systeme dokumentiert und Optimierungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

Das Untersuchungsprogramm basiert auf regelmäßigen Begehungen und Kompostprobennahmen sowie der Messung von Innen-, Außen- und Komposttemperatur. Im Oktober 2011 wurden die ersten Temperatursensoren angebracht. Der Beobachtungszeitraum beläuft sich auf etwa ein Jahr.

Die folgenden Fragestellungen sollen in dieser Arbeit beantwortet werden:

- Ist die Komposttoilette ein geeignetes Sanitärsystem für alpine Objekte?
- Unter welchen Bedingungen ist dessen Betrieb möglich bzw. optimal?
- Ist die Funktion der vier untersuchten Trocken-/Komposttoiletten zufriedenstellend?
- Wo liegen die Schwachstellen der Untersuchungsobjekte?
- Was sind die entscheidenden Faktoren für eine funktionierende Kompostierung in kalten Klimaten und wie können sie beeinflusst werden?
- Wie können die vorhandenen Trocken-/Komposttoiletten optimiert werden?

Im ersten Teil der Arbeit sollen die allgemeinen Grundlagen, wie etwa die Lage, Geologie, Wasserhaushalt und Klima der Untersuchungsgebiete vermittelt werden. Weiters sollen die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Abwasser- und Fäkalienkompostentsorgung bei Schutzhütten in alpinen Lagen skizziert werden. Danach soll näher auf den Kompostierungsprozess und dessen Parameter sowie auf verschiedene Trockentoiletensysteme, welche im alpinen Bereich Einsatz finden, eingegangen werden.

Nach einer ausführlichen Beschreibung der vier alpinen Objekte mit Trocken-/Komposttoiletten sollen im Methodenkapitel die Temperaturmessungen, die Vorgangsweise bei den Probenahmen sowie die wichtigsten Parameter bei den chemisch/physikalischen Analysen der Probe erläutert werden.

Im Ergebnisteil sollen die Temperaturdaten und die analysierten Kompostparameter dargestellt und bewertet, sowie Optimierungsmöglichkeiten für Komposttoiletten im Allgemeinen und im Bezug auf die untersuchten Toiletten aufgezählt werden.

Abschließend soll eine Zusammenfassung der Arbeit und der wichtigsten Schlussfolgerungen folgen.

3. Allgemeine Grundlagen

3.1 Bedeutung und geografische Lage der Untersuchungsgebiete

Die Stadt Wien bezieht schon seit über 100 Jahren fast ihr gesamtes Trinkwasser aus den Gebirgsstöcken von Rax, Schneeberg, Schneealpe und Hochschwab. Mit diesem qualitativ hochwertigen Quellwasser versorgen Wiener Wasser täglich über 1,7 Millionen Menschen. Voraussetzung für die einwandfreie Qualität des Wiener Wassers ist eine möglichst schonende Bewirtschaftung der Quellschutzgebiete und der größtmögliche Schutz vor potenziellen Verunreinigungen. Als landschaftlich sehr attraktive Gebiete im Nahbereich von Ballungszentren sind sie stark frequentiert. Es sind in diesem Spannungsfeld Lösungen gefragt, bei denen sowohl die Nutzung der Landschaft für Freizeitaktivitäten als auch bestmöglicher Schutz der Quellwasservorkommen vor Beeinträchtigungen nebeneinander bestehen und mögliche negative Auswirkungen minimiert werden können (ARTNER, 2002).

Auf nachfolgender Karte sind die Gebirgsstöcke markiert, auf welchen sich die untersuchten Trocken-/Komposttoiletten befinden. Über Straßen sind der Schneeberg und die Rax etwa 100 km und der Hochschwab etwa 150 km von Wien entfernt.

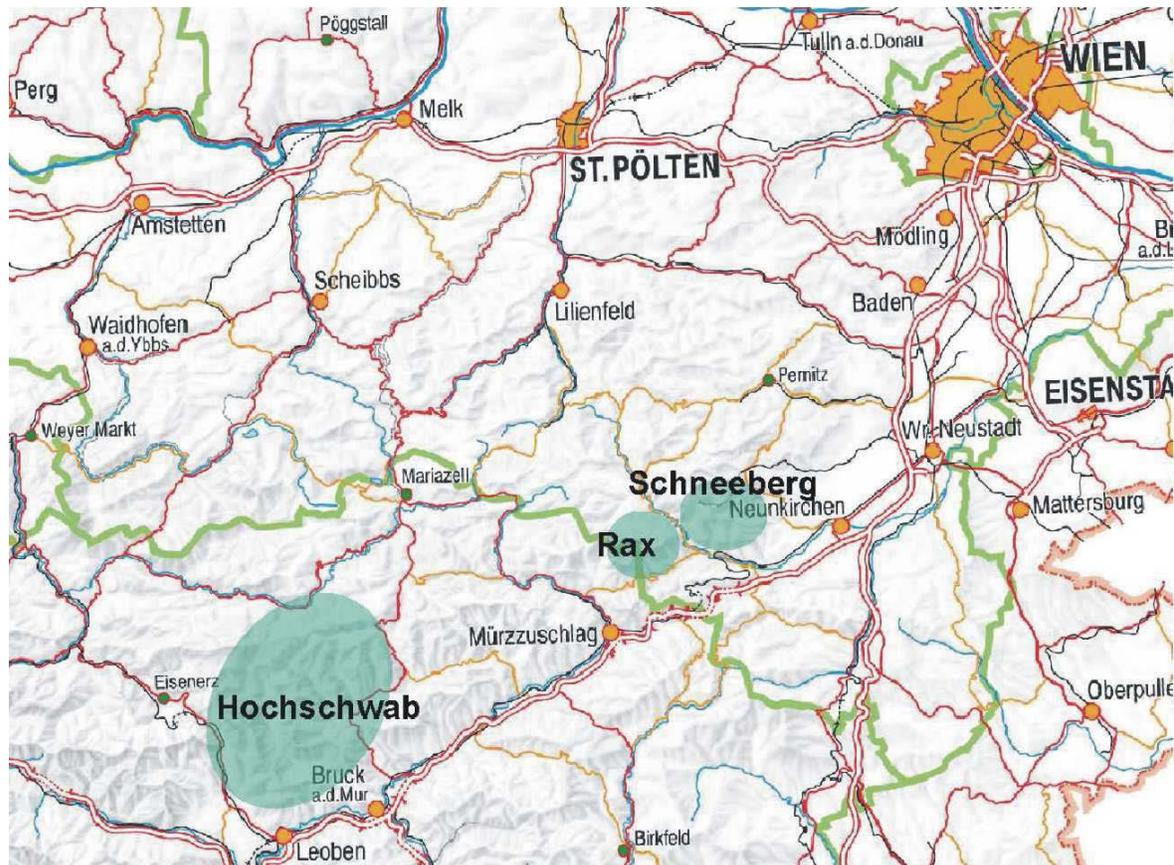


Abbildung 1: Geografische Lage der Untersuchungsgebiete Maßstab 1:1.000.000 Quelle: AMAP

3.2 Geologie und Wasserhaushalt

Schneeberg, Rax und Hochschwab gehören geologisch gesehen zu den Ostausläufern der nördlichen Kalkalpen. Zum überwiegenden Teil bestehen sie aus Kalken und Dolomiten. Daneben gibt es noch ganz vereinzelt andere Gesteine, wie etwa Porphyroid, Grünschiefer, Quarzite oder Kalkglimmerschiefer, die allerdings lokal sehr begrenzt sind – oft in Form von Stufen, Rippen oder kleinen Kuppen. Kennzeichnend für alle Kalk- und Dolomitgesteine ist die Ausbildung von Dolinen und die starke Klüftigkeit, die eine entscheidende Rolle für die Wasserdurchlässigkeit spielen (RIEDL, 1977). Diese Systeme aus Klüften und Schichtfugen reichen tief in das Berginnere hinein und durchziehen den gesamten Gebirgsstock, wobei die Größe von kleinen Fugen bis zu ausgedehnten Höhlensystemen reichen kann.

Die Verweildauer des Wassers im Gestein (d.h. die Dauer vom Einsickern an der Oberfläche bis zum Quellaustritt) ist sehr unterschiedlich, sie reicht von wenigen Stunden bis zu vielen Jahren. Auch die Schüttungsverhältnisse werden sehr stark von den anstehenden Gesteinen bestimmt.

So ist Kalk eher grob geklüftet, dessen Quellen reagieren auf Niederschlagsereignisse zumeist sehr kurzfristig, sie 'springen' sehr rasch an und ebbten auch relativ rasch wieder ab.

Dolomit dagegen ist feiner geklüftet und hat demnach nicht so eine starke Wassergängigkeit wie Kalkgestein. Das Speichervermögen ist aber in der Regel größer, wodurch das Wasser viel gleichmäßiger fließt (CORNELIUS (1936, zit. bei ARTNER, 2002), S. 46ff).

Karstwassersysteme sind sehr offene Systeme und demnach auch sehr anfällig für Verunreinigungen. Ist eine Verunreinigung erst einmal in das Karstwassersystem gelangt, so findet sie sich meist auch sehr rasch an den Quellaustritten wieder. Auf der anderen Seite können Teile des infiltrierten Niederschlags und somit auch mögliche Schadstoffe auch in tiefere Bereiche des Karstwasserkörpers eindringen, wo eine langfristige Speicherung erfolgt. Dadurch kann auch ein sehr kurz andauernder Schadstoffeintrag eine langfristige qualitative Beeinträchtigung des Quellwassers nach sich ziehen.

Der einzige Filter für Schadstoffe ist die Vegetation bzw. der Boden. Sehr wichtig ist die Bodenbedeckung bei Dolinen und Karrenfeldern. Dolinen sind trichterförmige Vertiefungen im Boden, an deren Grund in der Regel Ponore ('Schlucklöcher') anzutreffen sind. Sie haben (ebenso wie Karrenfelder) eine direkte Verbindung zum unterirdischen Karstwassersystem. Aus Unwissenheit wurden Dolinen früher zur Ablagerung von Abfällen oder zur Entsorgung von Abwässern verwendet.

Aus den vorher genannten Gründen ist es besonders wichtig Karstwasservorkommen durch technische Maßnahmen, aber auch durch Aufklärungsmaßnahmen vor Schadstoffeinträgen im Infiltrationsgebiet zu schützen bzw. sie zu reduzieren (CICHOCKI und ZOJER (1999, zit. bei ARTNER, 2002)).

3.3 Klima

Für das Klima im Gebirge sind Temperatur und Niederschlag die bestimmenden Faktoren. Sie unterscheiden sich in ihrer Intensität deutlich vom Tiefland. Die durchschnittlichen Lufttemperaturwerte steigen in Österreich im Allgemeinen von Westen Richtung Südosten an, sie werden jedoch im Gegensatz zu den Niederschlagsmengen sehr stark von der jeweiligen Höhenlage bestimmt. So nimmt die Temperatur mit der Höhe um etwa 0,5 bis 0,6 °C je 100 Meter ab (UNIBW, 2011a; ARTNER, 2002).

In der näheren Umgebung der untersuchten Objekte sind einige Wetterstationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) zu finden. Von diesen, zeigen die Stationen in Puchberg am Schneeberg (584 m) und Reichenau an der Rax (486 m) mit 8,9°C die höchsten Jahresdurchschnittstemperaturen. Etwas nördlicher, in Schwarzau am Gebirge (612 m) liegt der Jahresdurchschnitt um etwa 2°C niedriger. In Aflenz (784 m), am südöstlichen

Rand des Hochschwabs, herrscht eine Jahresdurchschnittstemperatur von 6,9°C (ZAMG, 2012). Im Bereich von Rax und Schneeberg kann durchschnittlich bis zu 1.750 mm, im Hochschwabgebiet sogar bis zu 2.000 mm Niederschlag pro Jahr fallen (WELTATLAS, 1995).

Anhand der folgenden Grafik (Abbildung 2) kann die Temperatur in Reichenau an der Rax, mit jener der etwas über 1.000 Meter höher gelegenen Bergstation der Rax Seilbahn verglichen werden. So ist es am Raxplateau durchschnittlich 5,3°C kälter als in Reichenau. Das Jahresmittel der Lufttemperatur beträgt dort lediglich 3,6°C. Während am Fuße der Rax in Reichenau die Monatsmittel nur im Dezember und Jänner leicht unter der 0°C-Grenze liegen, herrschen am Raxplateau durchschnittlich von Mitte November bis Ende März Minusgrade.

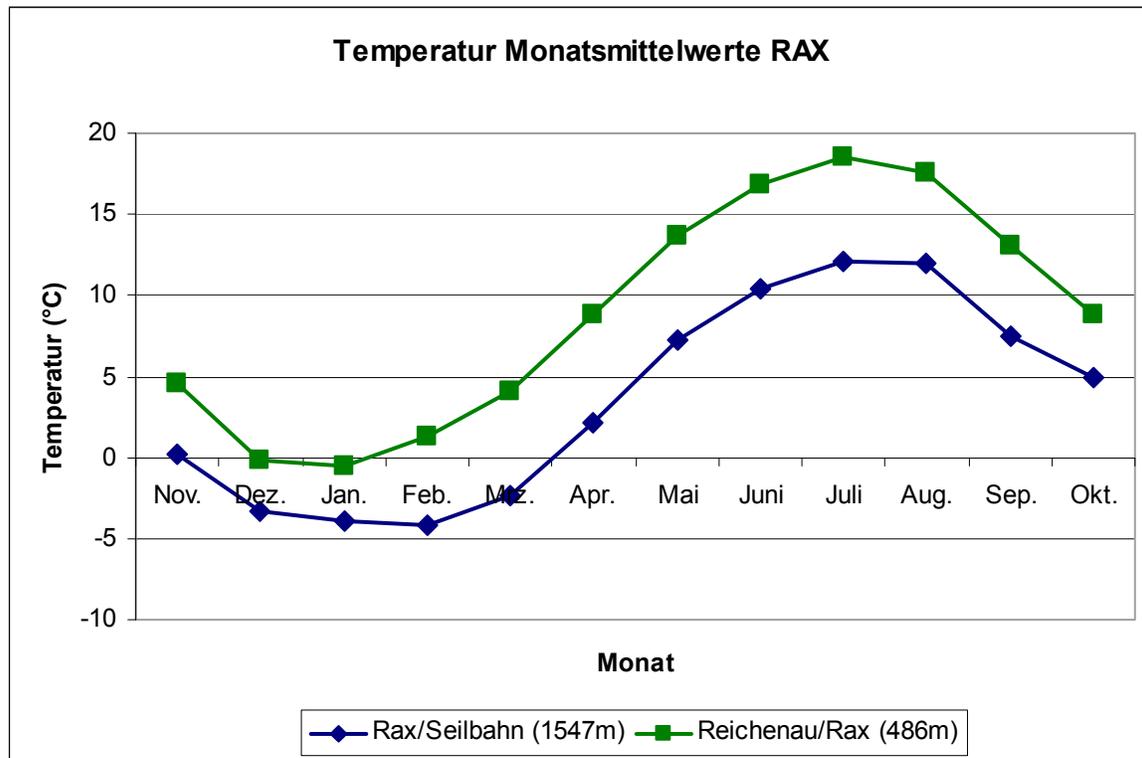


Abbildung 2: Temperatur Monatsmittelwerte Reichenau/Rax und Rax/Seilbahn (Reihe 1994 - 2010), Quelle: ZAMG, 2012

Die Bergstation liegt auf 1.547 Metern über Adria, was ähnlich der Höhenlagen vieler Berghütten auf dem Rax-, Schneeberg- und Hochschwabplateau ist. Es kann daher angenommen werden, dass dort auch ähnliche Temperaturniveaus zu finden sind.

Man kann aus dem zuvor Gesagten deutlich erkennen, dass Hütten in Gebirgslagen ganz anderen Witterungsbedingungen als Gebäude im Tiefland ausgesetzt sind. Zum größten Teil basieren Abwasserreinigung, Schlammbehandlung und Kompostierung auf biologischen Vorgängen, welche bei warmen Temperaturen rascher ablaufen. Daher sollten die Systeme aus dem kommunalen Bereich der tieferen Lagen an die vorherrschenden Witterungsbedingungen im alpinen Bereich angepasst werden. (UNIBW, 2011a)

3.4 Abwasserentsorgung auf Extremstandorten

Die Abwasserentsorgung auf Berg- und Schutzhütten ist notwendig um das Grundwassers vor Verunreinigungen zu schützen. Dabei gibt es zahlreiche Möglichkeiten, wie mit dem Abwasser umgegangen werden kann (siehe Abbildung 3).

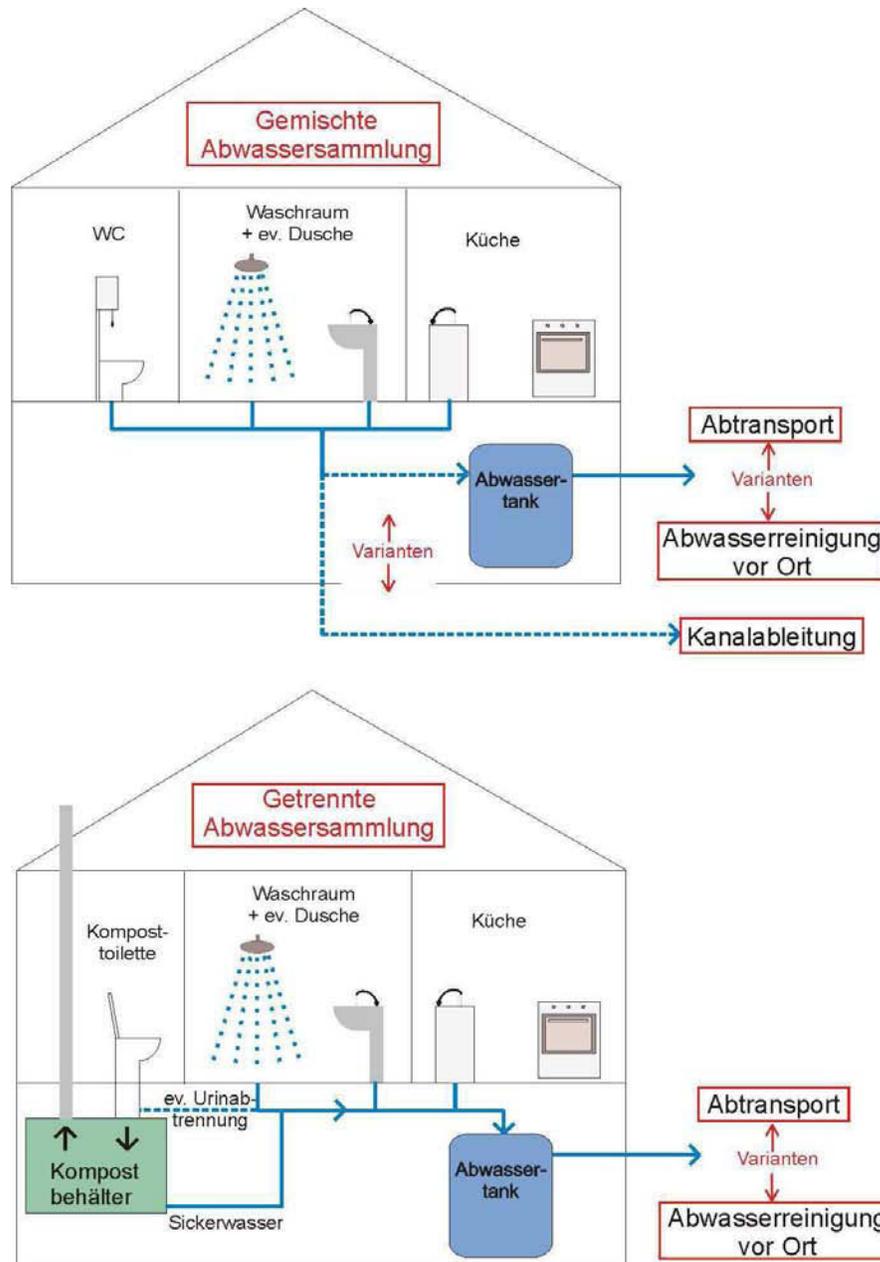


Abbildung 3: Abwasserentsorgung auf Extremstandorten

Bei der gemischten Sammlung aller Abwässer aus Küche, WC, Waschraum und ev. Dusche, kann eine Ableitung in einem Kanal oder eine Sammlung in einem Abwassertank erfolgen. Das dort gespeicherte Abwasser kann in regelmäßigen Abständen abtransportiert und anderswo gereinigt, oder vor Ort in einer Abwasserreinigungsanlage behandelt werden.

Bei Installation einer Trockentoilette werden Fäkalien getrennt vom restlichen Abwasserstrom gesammelt. Dabei verringert sich die Schmutzfracht um knapp 50% sowie die Keimbelastung um nahezu 100% (KASCHKA, 2005). Das im Abwassertank gespeicherte Abwasser kann dann wie bei der gemischten Sammlung entweder abtransportiert und anderswo gereinigt, oder vor Ort in einer Abwasserreinigungsanlage behandelt werden.

Die Kanalableitung ins Tal stellt von allen Varianten – die volle Funktionstüchtigkeit vorausgesetzt (z. B. Gefahr des Gefrierens) – die sicherste Lösung dar. Im Normalfall ist sie aber aufgrund der hohen Investitionskosten auch die teuerste Variante.

Eine weitere Möglichkeit ist es, das in einem dichten Tank gesammelte Abwasser abzutransportieren. Das kann entweder mit einem Tankwagen zur nächsten Abwasserreinigungsanlage oder zum nächsten Kanal, in einigen Fällen aber auch per Seilbahn oder Helikopter erfolgen.

Wenn es keine ökonomisch sinnvolle Möglichkeit zum Abtransport ins Tal gibt, können die anfallenden Abwässer auch in einer Abwasserreinigungsanlage behandelt werden. Der erforderliche Reinigungsgrad wird durch die jeweiligen rechtlichen Vorschriften bestimmt (siehe Kapitel 3.5). Die in Frage kommende Technik richtet sich sehr stark nach den örtlichen Gegebenheiten (Platzangebot, Exposition, Höhenlage, etc.) und muss deshalb den jeweiligen Anforderungen angepasst werden. Das Rohabwasser wird zuerst einem oder mehreren Vorreinigungsverfahren unterzogen. Darunter fallen Absetzanlagen mit einer oder mehreren Kammern, Fettabscheider sowie mechanische Feststoffabtrennungseinrichtungen wie Filtersackanlagen, Feststoffpressen, Rechenanlagen aber auch Trockentoiletten. Die Möglichkeiten der Hauptreinigung reichen von Belebtschlammanlagen über Tauch-, Tropfkörperanlagen bis hin zu bepflanzten oder mechanischen Bodenfiltern und belüfteten oder auch unbelüfteten Abwasserteichen (ARTNER, 2002). Die verbreitetsten Systeme sind dabei das Absetzbecken als Vorreinigung bzw. der Tropfkörper bei den Hauptreinigungsverfahren (IEVEBS, 2010).

Wenn es weder eine Möglichkeit zum Abtransport, noch zur Reinigung des Schwarzwassers (Fäkalien mit oder ohne Spülwasser) gibt, muss das Abwasser örtlich aufgebracht werden. Voraussetzung hierfür ist, dass eine Desinfektion der Abwässer mittels Chlorkalk durchgeführt wird. Die Aufbringung sollte dabei möglichst großflächig und gleichmäßig auf einer Fläche mit einer ausreichenden Vegetations- und Bodenaufgabe erfolgen. In manchen Fällen ist es möglich, anfallendes Grauwasser (Abwasser, welches nicht mit Fäkalien kontaminiert ist) örtlich ohne vorheriger Behandlung zu versickern. Dabei übernehmen die natürlicherweise in der Humusschicht vorhandenen Mikroorganismen die Aufgabe der weiteren Reinigung des relativ wenig verschmutzten Grauwassers. Dies ist allerdings nur bei sehr kleinen Abwassermengen möglich. Im unmittelbaren Einzugsgebiet von Quellen sind diese Varianten nicht empfehlenswert.

Bei der Planung jeglicher Abwasserentsorgungseinrichtung sollte auch noch das Folgende bedacht werden: Die Zusammensetzung des Abwassers von Berg- und Schutzhütten hängt von mehreren Faktoren ab. Die Verfügbarkeit von Wasser, der Verbrauch von Warmwasser und die Art der Bewirtschaftung beeinflussen sie stark. Zusätzlich treten im Verlauf eines Jahres bzw. einer Saison durch die unterschiedliche Frequentierung starke Schwankungen in der Abwassermenge und seiner Zusammensetzung auf. Generell ist die Schmutzstoffkonzentration im Abwasser von Berg- und Schutzhütten deutlich höher und die Temperatur geringer als bei vergleichbaren Objekten im Tal. (IEVEBS, 2010)

3.5 Rechtliche Rahmenbedingungen für Schutzhütten in alpinen Lagen

3.5.1 Abwasserentsorgung

In Österreich werden die Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentlichen Kanalisationen durch die „Allgemeine Abwasseremissionsverordnung“ (AAEV, BGBl. Nr. 186/1996), zwei Spartenverordnungen und zahlreichen branchenspezifischen Verordnungen geregelt. Dabei bildet die AAEV einen umfassenden rechtlichen Rahmen für die Abwasserbehandlung. Sie definiert Fachbegriffe und Grundsätze und legt Emissionsbegrenzungen fest.

Die Spartenverordnungen sind:

- **1. AEV** für kommunales Abwasser (BGBl. Nr. 210/1996) Anlagen mit einem Bemessungswert von größer als 50 EW_{60}
- **3. AEV** für kommunales Abwasser, für Einzelobjekte in Extremlage (BGBl. Nr. 869/1993)

Die „Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus Abwasserreinigungsanlagen für Siedlungsgebiete“ (1. AEV für kommunales Abwasser, BGBl. Nr. 210/1996) gilt für Siedlungsgebiete und Einzelobjekte welche über 50 EW_{60} und nicht in Extremlagen liegen. Der EW_{60} bezeichnet die mittlere Schmutzfracht pro Einwohner und Tag mit 60g BSB_5 (biochemischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen). Es gibt in der 1.AEV Vorschriften über die Nitrifikation, den C-Abbau, die P-Elimination, die Denitrifikation sowie Emissionsbegrenzungen für Abwasserparameter BSB_5 , CSB (chemischer Sauerstoffbedarf) und TOC (Total Organic Carbon, gesamter organischer Kohlenstoff). Die Abwasserreinigungsanlagen werden in Größenklassen (I – IV) eingeteilt. Die Emissionen sind sowohl in einer maximalen Ablaufkonzentration (in mg/l) als auch in einem Mindestwirkungsgrad in Prozent der Zulaufkonzentration gegeben, abhängig von ihrer Größenklasse. Eine Eigen- und Fremdüberwachung mit Abwasserprobenahmen ist vorgeschrieben.

Für die meisten Berg- und Schutzhütten ist die „Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus Abwasserreinigungsanlagen für Einzelobjekte in Extremlage“ (3. AEV für kommunales Abwasser, BGBl. II Nr. 249/2006) relevant. Ob eine Berghütte als ein solches Einzelobjekt in Extremlage anerkannt wird, liegen an folgenden Kriterien:

- Es soll nicht mehr als insgesamt 200 Tage eines Kalenderjahres (durchgehend oder zeitlich unterbrochen) bewohnt oder bewirtschaftet sein.
- Im Wohn- oder Bewirtschaftungszeitraum soll es weder mit einem Fahrzeug noch mit einer Aufstiegshilfe erreichbar sein.
- Es soll keinen Anschluss an das Stromnetz besitzen.
- Der spezifische Wasserverbrauch soll nicht mehr als 75 Liter pro Einwohnerwert und Tag betragen.

Bei der Erstfassung der 3. AEV im Jahr 1993 wurden Emissionsgrenzwerte (Konzentrationen) für CSB und BSB_5 definiert. Seit der Überarbeitung im Jahr 2006 hat der Bemessungswert (BW) (ausgedrückt in Einwohnerwerten EW) zentrale Bedeutung. Er dient nicht nur als Referenzzahl zur Festlegung des Maßes der Wasserbenutzung (§ 3 Abs. 2 der 3. AEV), sondern auch als Bezugsgröße zur Überprüfung der Einhaltung der verordneten Emissionsbegrenzungen (ausgenommen absetzbare Stoffe). Die Grenzwerte sind als spezifische Frachten festgelegt. Zur Überprüfung der Einhaltung der Emissionsbegrenzungen müssen die Tagesabwassermenge (QD) (mittels Wasserzähler oder ähnlichem ermittelt) und die jeweilige Konzentration (ce) im Ablauf bestimmt werden. So kann der aktuelle Emissionswert berechnet werden ($QD \times ce / BW$), der kleiner sein muss als die jeweilige Emissionsbegrenzung nach Anhang A der 3.AEV (Tabelle 1).

Tabelle 1: Emissionsbegrenzungen 3.AEV (BGBl. II Nr. 249/2006)

Nr.	Parameter	Emissionsbegrenzungen
1	Absetzbare Stoffe	0,5 ml/l
2	Ammonium berechnet als N	4,5 g / (EW×Tag) bei >8°C 0,9 g / (EW×Tag) bei >12°C
4	Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff TOC, berechnet als C	12 g / (EW×Tag)
5	Chemischer Sauerstoffbedarf CSB, berechnet als O ₂ Entweder TOC oder CSB	36 g / (EW×Tag)
6	Biochemischer Sauerstoffbedarf BSB ₅ , berechnet als O ₂	12 g / (EW×Tag)

Die Überprüfung der Einhaltung der Emissionsbegrenzungen erfolgt nur durch Fremdüberwachung. Die in der ursprünglichen Fassung der 3.AEV geforderten Messungen der Beschaffenheit des Zulaufs und Ablaufs der Abwasserreinigungsanlage im Rahmen der Eigenüberwachung sind seit der Überarbeitung 2006 nicht mehr notwendig. Sie wurden durch den Nachweis eines ordnungsgemäßen Betriebs der Abwasserableitung und -reinigung ersetzt. Weiters muss auch die sachgerechte Durchführung der notwendigen Wartungsarbeiten nachgewiesen werden (HEFLER, 2008).

Bei der Planung von Abwasserentsorgungsanlagen für Objekte in alpinen Lagen kommt das Regelblatt des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbands ÖWAV-RB 1: „Abwasserentsorgung im Gebirge“ zum Einsatz. Dieses Regelblatt fasst als Richtlinie vordergründig den Stand der Technik zu Fragen der Abwasserentsorgung in Extremlagen zusammen. Damit soll Planern, Auftraggebern und Behördenvertretern eine Darstellung aller zu beachtenden Grundlagen geboten werden, die zur zielführenden Abwicklung eines Abwasserentsorgungsprojektes erforderlich sind, ohne dabei auf technische Detailfragen einzugehen (ÖWAV, 2012).

Zu beachten gilt es zusätzlich zu den oben genannten Punkten, ob für das Gebiet in dem sich die Abwasserbehandlungsanlage, Kompost- oder Trockentoilette befindet, spezielle Bestimmungen gelten, welche den Natur- oder Wasserschutz (z. B. Schutz- oder Schongebiet) betreffen. So haben Schutz- und Schongebiete den Zweck, Wassereinzugsgebiete gegen Verunreinigungen oder gegen eine Beeinträchtigung ihrer Ergiebigkeit zu schützen. Für die Festlegung von Schutz- und Schongebieten und der dort geltenden Beschränkungen gibt es Richtlinien, insbesondere die ÖVGW-Richtlinie W 72 (2005). Es gelten besondere Auflagen, Nutzungseinschränkungen, Verbote und Gebote.

3.5.2 Entsorgung von Feststoffen aus der Abwasserentsorgung

Die getrennte Sammlung und Verwertung von Abwasserteilströmen wurde bisher in Österreich kaum durchgeführt, es existieren keine spezifisch ausgerichteten Gesetze. So ist auch der Umgang mit Reststoffen aus Trocken- oder Komposttoiletten in keinerlei Bundes- oder Landesgesetzen erwähnt. In diesem Abschnitt wird versucht, bestehende Gesetze aus anderen Bereichen sinngemäß zu interpretieren.

Weiters ist der Bodenschutz betreffend seiner gesetzlichen Regelung eine Querschnittsmaterie. Es finden sich daher bodenschutzrelevante Bestimmungen in einer Reihe unterschiedlicher Rechtsnormen sowohl auf Bundes- wie auf Landesebene. (STARKL et al., 2005).

Auf Bundesebene regelt die Kompostverordnung (BGBl. II Nr. 292/2001) die Qualitätsanforderungen für Komposte aus Abfällen, die Art und Herkunft der Ausgangsmaterialien, die Kennzeichnung, das Inverkehrbringen sowie das Ende der Abfalleigenschaft von Komposten aus Abfällen. Im Gegensatz zu festen und flüssigen tierischen Ausscheidungen sind Fäkalien von Menschen nicht in der Positivliste der Kompostverordnung enthalten. Daher dürfen sie, wenn nach Kompostverordnung kompostiert werden soll, nicht als Qualitätskompost bezeichnet werden. In seiner Beschaffenheit ähneln die Reststoffe aus Trockentoiletten jener von Klärschlämmen, abgesehen von einem meist geringeren Schwermetall- und Wassergehalt. Das Endprodukt einer Kompostierung von Trockentoiletten-Reststoffen kann somit als Klärschlammkompost bezeichnet werden (STARKL et al., 2005).

Die Verwertung oder Aufbringung dieser Klärschlammkomposte in der Landwirtschaft wird in dem jeweiligen Landesgesetz, wie der Klärschlamm-Bodenschutzverordnung oder dem Bodenschutzgesetz geregelt. Daher gibt es in Österreich zwar unterschiedliche, aber für jedes Bundesland jeweils klar festgelegte gesetzliche Vorgaben an die Qualität des Komposts sowie den Ort und die Menge der Ausbringung (STARKL et al., 2005).

Für die im Rahmen der gegenständlichen Arbeit direkt betroffenen Bundesländer gelten die folgenden Landesgesetze mit den zugehörigen Verordnungen:

Niederösterreich:

- Niederösterreichisches Bodenschutzgesetz
- Niederösterreichische Klärschlammverordnung

Die Regelungen lassen eine Verwertung von Klärschlamm in Niederösterreich auf landwirtschaftlichen sowie nicht landwirtschaftlichen Böden bei Einhaltung gewisser Kriterien zu. Allerdings ist die Aufbringung von Klärschlamm und Müllkomposten in Naturschutzgebieten, in Naturdenkmälern, in verkarsteten Gebieten und auf Mooren verboten (DBU, 2012).

Steiermark:

- Steiermärkisches landwirtschaftliches Bodenschutzgesetz
- Klärschlammverordnung
- Gülleverordnung

Eine Klärschlammverwertung im Bereich von Hütten in der Steiermark ist unter Berücksichtigung der vorgeschriebenen Untersuchungen zur „Bodenempfindlichkeit“ möglich (DBU, 2012).

Auch in der EU-Gesetzgebung, welche ja in die österreichische Gesetzgebung umgesetzt werden muss, wird auf getrennt anfallende Abwasserfraktionen nicht speziell eingegangen. In der „Richtlinie über den Schutz der Umwelt und insbesondere der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft“ wird die Nutzwirkung von Klärschlamm betont. Vor einer Verwendung müssen diese Schlämme jedoch behandelt werden. Für Schlämme aus kleinen Anlagen, die im Wesentlichen nur Brauchwasser aus Haushalten behandeln, gibt es jedoch reduzierte Verpflichtungen (betreffend Information und Analysen), weil diese nur ein geringes Risiko darstellen. Dies sollte sinngemäß auch für Fäkalien von Berghütten gelten (STARKL et al., 2005).

3.6 Kompostierung

Kompostierung ist ein natürlicher Prozess der Zersetzung von pflanzlichen und tierischen Resten unter Sauerstoffeinfluss. Dabei spielen einzellige Lebewesen wie Bakterien und (einzellige) Pilze eine maßgebliche Rolle. Organische Substanzen werden mit Hilfe von Sauerstoff oxidiert und unter Abgabe von Wärmeenergie und Wasser, teils mineralisiert und teils zu Humussubstanzen aufgebaut (BIDLINGMAIER (1997, zit. bei BERGER, LORENZ-LADENER, 2008)).

Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, bildet sich in der Natur ein Kreislauf, in dem die Kompostierung eine wichtige Rolle bei der Aufbereitung von Pflanzennährstoffen und der Bindung von CO₂ im Boden spielt.

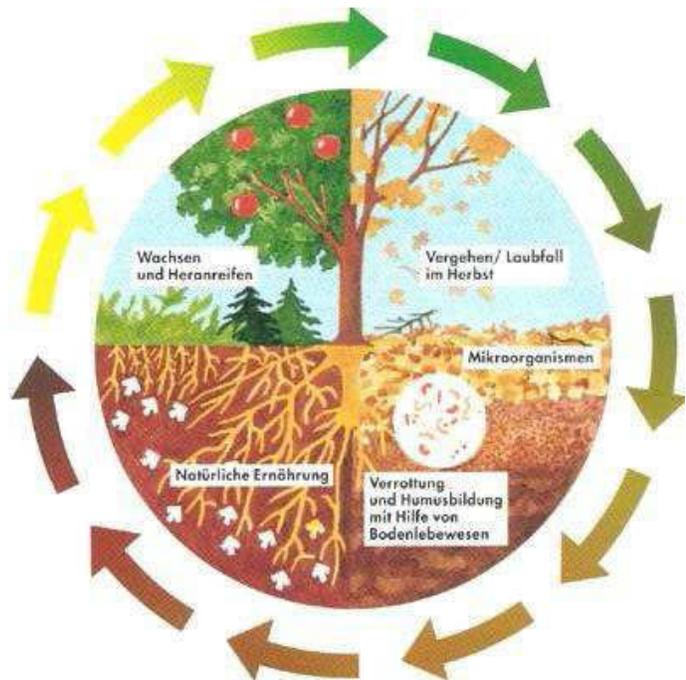


Abbildung 4: Kompostierung (ÖGL, 2008)

3.6.1 Heißrotte

Die in Kompostwerken und in der Landwirtschaft angewendete Heißrotte ist ein gesteuerter und kontrollierter Prozess, der im Wesentlichen in zwei Phasen abläuft, einer Haupt- und einer Nachrotte.

In der Haupt- oder Intensivrotte findet eine starke Temperaturentwicklung verbunden mit einem großen Masseabbau von leicht abbaubaren organischen Substanzen statt. Dabei können Temperaturen von 50 – 70°C erreicht werden. Auch ein Teil der Huminstoffe werden schon in dieser Phase gebildet. Nach ca. 4 Wochen folgt die Nachrotte in welcher die Temperaturen auf ca. 35°C zurückgehen und viele Umbauprozesse ablaufen. Nach weiteren 4 – 6 Wochen pendelt sich die Temperatur auf Außentemperaturwerte ein, verbunden mit einer biologischen Stabilisierung und einer Reifung des Frischkomposts zu nährstoffreicher und pflanzenverträglicher Komposterde (BERGER, LORENZ-LADENER, 2008).

Laut Kompostverordnung (BGBl. II Nr. 292/2001) muss, aus seuchenhygienischen Gründen, um alle pathogenen Keime und Organismen abzutöten, das gesamte Kompostmaterial bei einem Wassergehalt von mindestens 40% drei Tage lang einer Temperatur von mindestens 65°C oder zehn Tage lang 55°C durchgehend ausgesetzt sein (LECHNER, 2004).

3.6.2 Kaltrotte

Die langsame Rotte, oder Kaltrotte, ist ein biologischer Prozess, welcher überall in der Natur vorkommt, z. B. bei der Zersetzung von Laub oder Nadeln am Waldboden (siehe Abbildung 4). Bei Frost ziehen sich die Mikroorganismen in tiefere, frostfreie Bodenschichten zurück, um zu überdauern. Die Kaltrotte ist das am häufigsten vorzufindende Verfahren bei der Kompostierung von Toiletteninhalten. Da das Material nicht auf einmal, sondern chargenweise auf den Kompost gebracht wird, sind Selbsterhitzungsprozesse über den mesophilen Bereich (ca. 20 – 40°C) hinaus eher selten. Erst die Nachkompostierung des entnommenen Materials zusammen mit anderen organischen Abfällen in einem externen Kompostbehälter bietet gute Voraussetzungen,

höhere Temperaturen zur Hygienisierung zu erreichen. Krankheitskeime im Kompost können jedoch nicht nur durch das Erreichen hoher Temperaturgrade abgetötet werden, sondern auch durch antibiotisch wirkende Stoffwechselprodukte von Bodenpilzen und Bakterien, welche sich während der langsamen Rotte entwickeln. Zudem kann die Nahrungskonkurrenz im Kompost zu einer bedeutenden Verringerung der beteiligten Organismen führen. Einzig die Eier des Spulwurms und der Spulwurm selbst werden erst bei Temperaturen über 60°C abgetötet (BERGER, LORENZ-LADENER, 2008).

3.6.3 Kompostparameter

3.6.3.1 Temperatur

Die Temperatur steuert die mikrobielle Aktivität und ist somit einer der wichtigsten Parameter bei der Kompostierung.

Sie nimmt Einfluss auf

- die Art der Mikroorganismenpopulationen.
- die Diffusionsgeschwindigkeit des Sauerstoffs.
- die Löslichkeit des Sauerstoffs in der flüssigen Phase.
- den Stickstoffabbau (Proteinzerersetzung, Ammoniakaustrag, Nitrifikation).

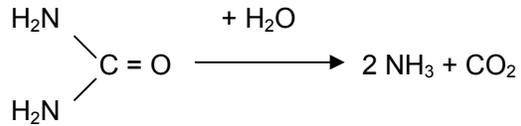
Die maximale Leistung der Umsetzung findet zwischen 40 und 50°C statt. Unter 5°C ist mit so gut wie keiner Rotte zu rechnen. (KRANERT, CORD-LANDWEHR, 2010)

3.6.3.2 Wassergehalt

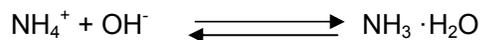
Die Versorgung der Mikroorganismen mit Nährstoffen und der Abtransport von Stoffwechselprodukten aus der Zelle können nur in wässriger Lösung erfolgen, da die Transportvorgänge über eine semipermeable Membran erfolgen. Daher muss bei der Kompostierung Wasser in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. Demnach wäre für einen optimalen Prozess ein hoher Wassergehalt erstrebenswert. Gegenläufig hierzu verhält sich jedoch die Versorgung der Mikroorganismen mit Sauerstoff, der bei hohem Wassergehalt nicht mehr in der notwendigen Quantität herangeführt werden kann. Daher wird die obere Grenze des Wassergehaltes von der Porenstruktur, welche materialabhängig ist, bedingt. Wie bei KRANERT, CORD-LANDWEHR beschrieben, wurden bei Versuchen die Wassergehalte mit den Sauerstoffverbrauchsraten korreliert und dabei gezeigt, dass Stoffe mit einer großen Saugfähigkeit, Festigkeit und Porenraum (z. B. Holzspäne, Stroh) bei gleichem Luftporenvolumen deutlich höhere Wassergehalte ermöglichen als Stoffe ohne ausreichendes Saugvermögen und entsprechender Strukturstabilität (z. B. Holzasche). Das Optimum des Wassergehaltes bei der Bioabfallkompostierung liegt abhängig von der Struktur des Rottegutes zwischen 45 % und 65 %. Bei Wassergehalten unter 25 % wird die mikrobielle Aktivität stark vermindert und unter 10 % zum Stillstand gebracht. Ab einem Wassergehalt von 70% kann bei ungenügendem Luftporenvolumen die Sauerstoffversorgung limitiert sein und die Rotte dadurch in den anaeroben Bereich wechseln. Eine anaerobe Gärung von Trockentoilettenmaterial ist unerwünscht, da sie zu einer deutlichen Verlangsamung der Umsetzung und unangenehmen Gerüchen (Schwefelwasserstoff, Buttersäure oder Ammoniak) führt. Aus den oben genannten Gründen ist die Einstellung eines optimalen Wassergehaltes ein entscheidendes Kriterium für einen ordnungsgemäßen Rotteprozess (BIDLINGMAIER (1999, zit. bei KRANERT, CORD-LANDWEHR, 2010)), (GOLUEK (1977, zit. bei KRANERT, CORD-LANDWEHR, 2010)).

3.6.3.3 Ammonium- (NH₄) / Nitratstickstoff (NO₃)

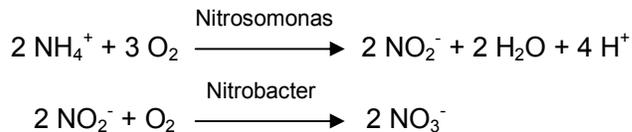
Der Hauptlieferant von Stickstoff bei Kompost aus Trockentoiletten ist der Harnstoff im Urin. Wie in folgender Formel zu sehen ist, wird der Harnstoff durch ein Enzym namens Urease hydrolytisch in Ammoniak (NH₃) und Kohlenstoffdioxid (CO₂) aufgespalten.



Abhängig vom pH-Wert stellt sich aufgrund der Reaktion des Ammoniaks mit Wasser ein Ammoniak-Ammonium Gleichgewicht ein.



Ammonium wird dann direkt von den Mikroorganismen assimiliert oder über Nitrit (NO₂) (Nitrosomonas) zu Nitrat (NO₃) (Nitrobacter) oxidiert. Dieser Vorgang wird Nitrifikation genannt.



Mit fortschreitendem Rottestadium erhöht sich deshalb der Nitratgehalt, während gleichzeitig der Ammoniumgehalt deutlich absinkt. Erst danach tritt in der Regel eine Remineralisierung ein, wobei der Gehalt an Nitrat wieder abnimmt und der Gesamtanteil an Stickstoff nur noch etwa 1,5% der Trockenmasse ausmacht. Bei der Analyse von Kompostmaterial kann deshalb ein hoher Ammoniumstickstoff-Gehalt einen geringen Rottegrad anzeigen (KRANERT, CORDLANDWEHR, 2010, S200). Außerdem wird bei gleichzeitig hohem Gehalt von Ammoniumstickstoff sowie einem hohen pH-Wert (ab 7,5 - 8) Ammoniak freigesetzt, welcher einen charakteristisch stechenden Geruch verströmt (BINNER, 2012).

Das Verhältnis von Nitrat- zu Ammoniumstickstoff kann ebenfalls als Indikator für den Rottefortschritt dienen. Im Verlauf der Kompostierung steigt es an. Verhältnisse, die unterhalb von 2 liegen, zeigen Frischkomposte an. Ausgereifte Komposte hingegen sollten ein Nitrat / Ammoniumverhältnis von mehr als 20 aufweisen. Hier ist der Großteil der organischen Substanz bereits in schwer abbaubare Humusverbindungen umgelagert worden. Das Nitrat- / Ammoniumstickstoff-Verhältnis ist jedoch nur aussagekräftig, wenn verfügbarer Stickstoff vorhanden ist. Aus diesem Grund soll der Nitratstickstoff-Gehalt höher sein als 50 mg / kg TM. (FUCHS, 2005)

3.6.3.4 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit wird durch den Salzgehalt im Kompostmaterial bedingt. Durch steigende Mineralisierung der Ausgangssubstanzen sowie Abnahme des organischen Materials steigt der Salzanteil und somit die Leitfähigkeit. Durch Auswaschungsvorgänge im Rotteverlauf kann die Leitfähigkeit aber auch wieder sinken. Bioabfallkomposte haben meist eine Leitfähigkeit von 2 bis 4 mS/cm, wobei eine leicht höhere Leitfähigkeit keine Störung des Rotterverlaufs bewirkt (BINNER, 2012). Bei einer Ausbringung von salzhaltigem Kompost wird bei feuchten

Witterungsbedingungen der Großteil des Salzes innerhalb kürzester Zeit ausgelaugt und mit dem Sickerwasser in tiefere Schichten transportiert (FUCHS, 2005).

3.6.3.5 pH-Wert

Am Beginn der Rotte ist die Aktivität der Mikroorganismen stark beeinflusst vom pH-Wert des Ausgangssubstrates. Positiv auf die Rotteintensität wirken sich pH-Werte im alkalischen Bereich bis maximal 11 aus, während Werte unter pH 7 im Ausgangssubstrat eine Verlangsamung der mikrobiellen Aktivität bewirken. Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, verläuft bei der Heißrotte die Kompostierung entlang einer charakteristischen pH-Wert-Kurve. Zu Beginn sinkt der pH-Wert in den sauren Bereich ab, da niedermolekulare organische Säuren (niedere Carbonsäuren) als Stoffwechselprodukte der Mikroorganismen gebildet werden. Bei ausreichender Sauerstoffversorgung werden die niederen Carbonsäuren (Ameisen-, Essig-, Butter-, Oxal-, Propionsäure u.a.) wieder abgebaut und der pH-Wert steigt in den alkalischen Bereich auf, um sich mit fortschreitender Rotte einen Wert von pH 7 anzunähern (LECHNER et al., 2005; BERGER und LORENZ-LADENER, 2008).

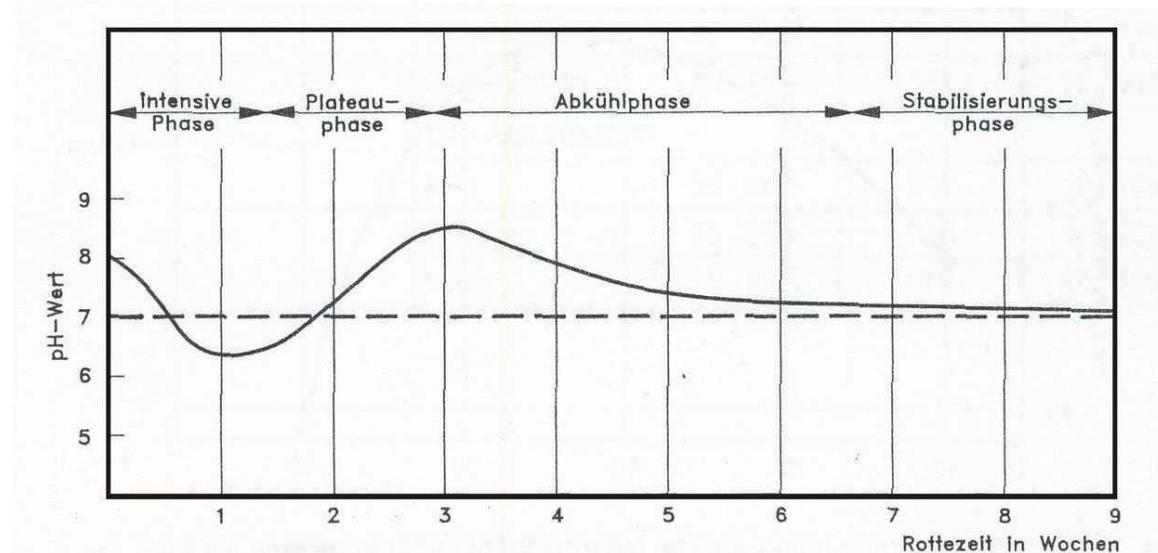


Abbildung 5: Typischer pH-Wert-Verlauf während der Heißrotte (BERGER, LORENZ-LADENER, 2008)

3.6.3.6 Organikgehalt

Im Zuge der Rotte wird die in den Abfallstoffen enthaltene organische Substanz von aeroben Mikroorganismen unter Sauerstoffaufnahme als Energie- und Nährstoffquelle verwertet. Ein Teil des Kohlenstoffs wird in der Zellsubstanz der Mikroorganismen fixiert, ein anderer Teil als Kohlendioxid freigesetzt. Letzteres geschieht unter Abgabe von Wärme. Bereits beim Absterben pflanzlicher und tierischer Gewebe kommt es zu chemischen Reaktionen organismeneigener Stoffe. Dabei werden im Zellinneren durch Hydrolyse- und Oxidationsvorgänge unter dem Einfluss von Gewebezymben hochpolymere Verbindungen in deren Einzelbausteine zerlegt (z. B.: Stärke in Zucker, Eiweiß in Aminosäuren und Lignin in aromatische Abbauprodukte). Der Gesamtgehalt an organischen Substanzen nimmt also im Rotteverlauf ab, welches sich analytisch anhand eines sinkenden Glühverlustes (GV) bzw. sinkenden Gesamtkohlenstoffs (TOC) nachweisen lässt (LECHNER et al. 2005).

3.6.3.7 C/N-Verhältnis

Das Verhältnis von organischen Kohlenstoff- zu Stickstoff (C/N) des Kompost-Ausgangsmaterials hat Einfluss auf die Abbaurate des Rottegemischs. Zu Beginn der Rotte ist ein hohes C/N Verhältnis von 30 bis 40 günstig, welches üblicherweise im Verlauf der Rotte abnimmt. Die höchsten Abbauraten sind bei einem C/N-Verhältnis von ca. 20 bis 25 zu erzielen. Bei einem zu weiten C/N-Verhältnis (> 40) stellt Stickstoff einen limitierenden Wachstumsfaktor dar. Bei einem engen C/N-Verhältnis (< 10) verringert der Mangel an Kohlenstoff die Abbaugeschwindigkeit, wobei überschüssiger Stickstoff teilweise in Form von Ammoniak an die Atmosphäre abgegeben wird (BIDLINGMAIER (1999, zit. bei KRANERT, CORD-LANDWEHR, 2010)), (BINNER, 2012).

3.6.3.8 Huminstoffe

Huminstoffe sind heterogen zusammengesetzte, hochmolekulare Verbindungen, welche ein wichtiges Endprodukt der Kompostierung darstellen. Im Boden tragen Huminstoffe zur Aggregatstabilität und zum Wasser- und Nährstoffhaltevermögen bei (LECHNER et al., 2008). Im Zuge der Umwandlung der primären organischen Ausgangssubstanzen werden vorerst intermediäre Stoffwechselprodukte unter Energiefreisetzung gebildet. Erst wenn der mikrobielle Abbauprozess soweit fortgeschritten ist, dass reaktionsfähige Spaltprodukte vorliegen, können in der Folge unter Energiebindung sekundäre stabile Huminstoffe, also neue organische Verbindungen entstehen. In weiterer Folge bilden sich mit Tonmineralen organomineralische Komplexe - es entsteht ein nur mehr schwer bzw. langfristig mineralisierbarer Humus. Temperaturen über 50°C fördern den Huminstoffaufbau. Geht die Mineralisation aber zu rasch von statten, führt dies zu einer verminderten Huminstoffbildung (LECHNER et al. 2005), (BINNER, 2012).

3.6.4 Eigenschaften kompostierbarer Materialien

Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über das C/N-Verhältnis und den pH-Wert von kompostierbaren Ausgangs- und Zuschlagsstoffen. Weiters sind deren Auswirkungen auf den Kompostierungsprozess mit Plus, für eine günstige, und Minus, für eine ungünstige Beeinflussung, beschrieben. Die Zahlenwerte sind entweder als Mittelwert oder als Bereich gegeben. Eine genauere Erläuterung der Tabelle folgt in den Kapiteln 3.6.4.1 und 3.6.4.2.

Tabelle 2: Eigenschaften von kompostierbaren Materialien (BERGER, LORENZ-LADENER, 2008)

Material	C/N Verhältnis	pH-Wert	Absorptionsvermögen	Geruchsbindung	Struktur- bildung	Rotte- förderung
Ausgangstoffe						
Urin	0,8	5 - 8	-	-	-	+
Fäzes	6 - 10	6 - 7	-	-	-	-
Zuschlagsstoffe						
Toilettenpapier	1000	5 - 9	+	-	+	-
Rindenmulch	100 - 130	4 - 5	+	+	+	-
Holzspäne	100 - 500	4,5 - 6	+	+	+	+
Stroh	50 - 150	5 - 6	+	+	+	+
Heu	30 - 55	7	+	+	+	+
Holzasche	k. A.	11,5	-	+	-	+

- = ungünstig + = günstig

3.6.4.1 Ausgangsstoffe

Pro Tag werden von einem Erwachsenen durchschnittlich 1,4 Liter Urin und 130g Fäzes ausgeschieden. Bei gesunden Menschen ist der Urin frei von Keimen und enthält etwa 90% des ausgeschiedenen Stickstoffs, weshalb auch das C/N-Verhältnis relativ gering ist. Weiters werden Hormone natürlichen oder pharmazeutischen Ursprungs sowie Medikamentenrückstände über den Urin ausgeschieden. Der pH-Wert ist stark abhängig von der Ernährung des einzelnen Menschen und hat eine dementsprechend große Schwankungsbreite zwischen pH 5 und pH 8. Fäzes enthalten neben Ballaststoffen, unverdauten Essensresten und abgestorbener Darmflora aus dem Dickdarm auch den Großteil der ausgeschiedenen Schwermetalle. Weiters werden – falls vorhanden - verschiedene pathogene Bakterien, Viren und Parasiten über den Stuhl ausgeschieden. Escherichia coli Bakterien (E. coli) werden aufgrund ihrer guten Nachweisbarkeit, als Indikator für eine fäkale Verunreinigung herangezogen (BERGER, LORENZ-LADENER, 2008).

3.6.4.2 Zuschlagsstoffe

Ohne strukturgebendes Material würde die Kompostierung von Fäkalien nicht optimal ablaufen, weshalb dem Kompost Zuschlagsstoffe beigemischt werden sollen. Sie dienen der Erhöhung des Porenvolumens, welches für die Sauerstoffversorgung essenziell ist, regulieren den Wassergehalt (siehe Kapitel 3.6.3.2) und liefern den für eine ausgewogene Ernährung der Mikroorganismen notwendigen Kohlenstoff (siehe

Tabelle 2). Die Zugabe von Zuschlagsstoffen kann entweder schichtweise erfolgen, oder nachträglich zu den Ausgangsmaterialien gemischt werden. Dabei sollten sie immer möglichst ausgleichend wirken, beispielsweise bei besonders nassen Ausgangsmaterialien, also bei hohem Urinaufkommen, über ein gutes Absorptionsvermögen verfügen (BERGER, LORENZ-LADENER, 2008).

Toilettenpapier besteht hauptsächlich aus Zellstoff, weshalb das C/N-Verhältnis besonders groß ist. Der pH-Wert ist stark abhängig vom Herstellungsprozess und kann sowohl alkalisch als auch sauer sein. Für die Lieferung von Kohlenstoff und zur Adsorption von Flüssigkeit ist es allerdings für die Kompostierung sehr wichtig.

Rindenmulch besitzt eine sehr hohe Porosität und ist deshalb relativ saugfähig und sehr strukturbildend. Nachteilig für eine rasche Kompostierung ist allerdings der recht hohe Gehalt an Gerbsäuren, welche für die Mikroorganismen nur schwer verdaubar sind (WARNECKE, 2008).

Holzspäne verrotten schneller als Rindenmulch und sind somit als Zuschlagsstoff besser geeignet, wobei allerdings auf eine ausreichende Spangröße zu achten ist. Bei zu kleinen Spänen ist die Strukturbildung nicht mehr gegeben. Große Späne sind für die Kompostierung sehr gut geeignet, allerdings können Probleme bei der Verwendung von Dosiereinrichtungen auftreten, da sie diese leichter verstopfen können.

Stroh kann, ähnlich wie Holzspäne, etwa das drei- bis vierfache seines Gewichts an Wasser aufsaugen und verrottet relativ gut (SONNENBERG, 2004).

Im Gegensatz dazu hat Heu eine geringere Saugfähigkeit, wirkt aber ähnlich strukturverbessernd wie Stroh. Heu hat den Vorteil, dass es direkt vor Ort hergestellt werden kann, sofern eine mähbare Wiese und ausreichend Lagerkapazitäten vorhanden sind. Dies verringert die Kosten für den Kauf und den Transport der Zuschlagsstoffe zur Hütte, setzt aber voraus, dass es Menschen gibt, die sich für die Heuproduktion Zeit nehmen.

Neben den in

Tabelle 2 erwähnten Zuschlagsstoffen können auch biogene Reststoffe aus der Essenszubereitung, Essensreste, Zeitungspapierfetzen, Laub oder Rasenschnitt mitkompostiert werden. Zu bedenken ist, dass der Geruch von Essensresten Fliegen anlocken kann, weshalb Essensreste nach dem Einbringen immer mit Zuschlagsstoffen bedeckt werden sollten.

Um den Zersetzungsprozess zu beschleunigen bzw. zu verbessern, können auch eine Reihe von Hilfsstoffen für die Kompostierung eingesetzt werden. Diese sind z. B. Naturkalk, Ton, Traubentrester oder reifer Fäkalienkompost. Kompoststarter und –beschleuniger, wie sie im Handel besonders für die Schnellkompostierung von Laub angeboten werden, eignen sich für die Kompostierung von Fäkalien nicht, da sie viel Stickstoff enthalten, welcher aber schon über den Urin geliefert wird (BERGER, LORENZ-LADENER, 2008).

3.7 Trockentoiletten

3.7.1 Begriffsbestimmung

Eine Trockentoilette zeichnet aus, dass sie gänzlich ohne Spülwasser auskommt. Trockentoiletten, bei denen die gesammelten Inhalte (Urin, Fäzes, Toilettenpapier und ggf. Zuschlagsstoffe) biologisch abgebaut werden, werden allgemein als Komposttoiletten bezeichnet. Im Gegensatz dazu gibt es Trockentoiletten, wie Chemie-, Verpackungs- und Verbrennungstoiletten, welche keine biologische Verwertung der menschlichen Ausscheidungen vorsehen. Letztgenannte Trockentoilettenarten werden in dieser Arbeit nicht behandelt.

Um eine genauere Abgrenzung verschiedener Lösungen und Verfahren von Trockentoiletten mit Kompostierung herzustellen, wird hier unterschieden nach:

- biologischen Trockentoiletten mit externer Kompostierung
- Komposttoiletten mit interner Kompostierung

Weiters kann zwischen zwei weiteren grundsätzlichen Prinzipien unterschieden werden:

- Trocken-/Komposttoilette ohne Urinseparation
- Separationstoilette

Einen Überblick über die möglichen Systemvarianten gibt Abbildung 6. Die Erläuterungen zu den einzelnen Bestandteilen einer Trocken-/Komposttoilette und zu deren Ausführungsmöglichkeiten folgen in Kapitel 3.7.2.

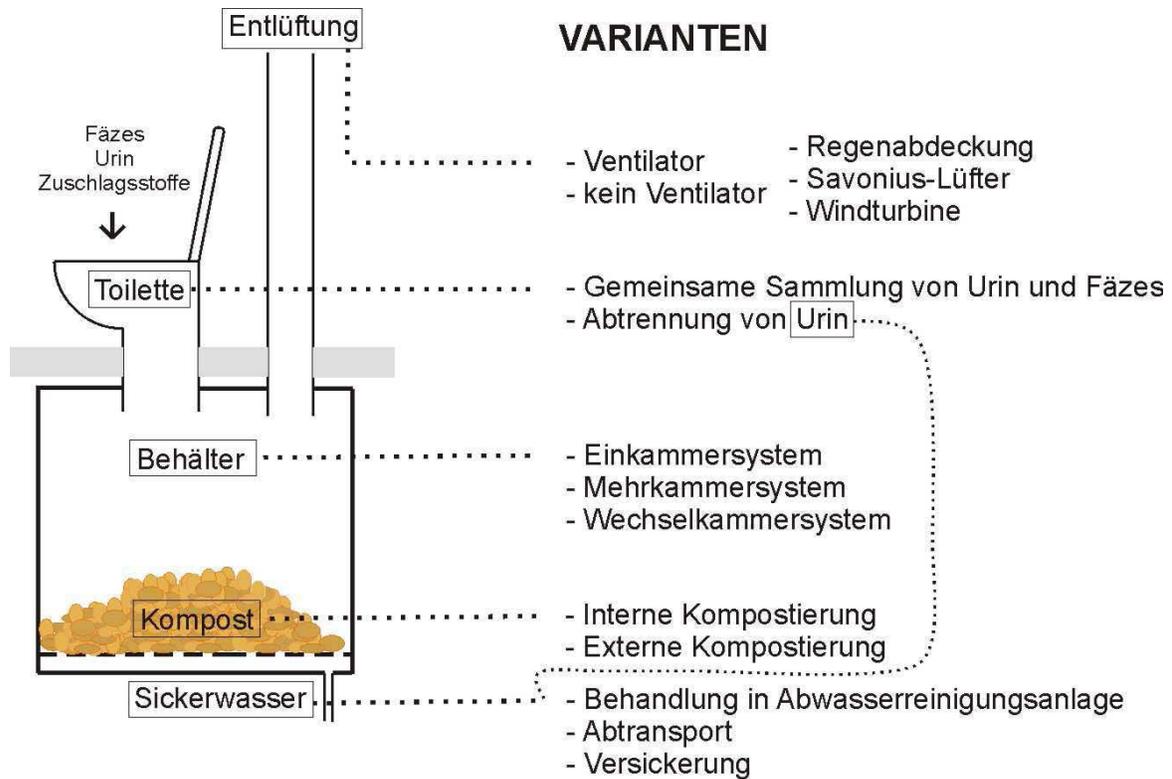


Abbildung 6: Systemvarianten Trockentoilette

3.7.2 Funktionsprinzip

Unterhalb des Toilettensitzes befindet sich ein Fallrohr, welches in einem, meist darunter befindlichen, Sammelbehälter mündet. Bei *Komposttoiletten mit interner Kompostierung* kann der Behälter aus einer oder mehreren Kammern bestehen (Einkammer-, Mehrkammersystem, Abbildung 7) und hat meistens einen Gesamtvolumen von über 1 m³. Die Kompostierung erfolgt direkt im Sammelbehälter.

Bei *biologischen Trockentoiletten mit externer Kompostierung* werden Exkrememente in dem Sammelbehälter zwischengelagert (Wechselkammersystem, Abbildung 7) und anschließend zu einer Kompostmiete oder einem Komposter außerhalb des Gebäudes transportiert und dort kompostiert.

Bei allen Toilettensystemen wird der Behälter durch ein Abluftrohr über das Dach entlüftet, wodurch es zu keiner Geruchsbelästigung bei der Benutzung kommen kann. Dazu muss der Toilettendeckel aber nach jeder Benutzung geschlossen werden (BERGER, LORENZ-LADENER, 2008).

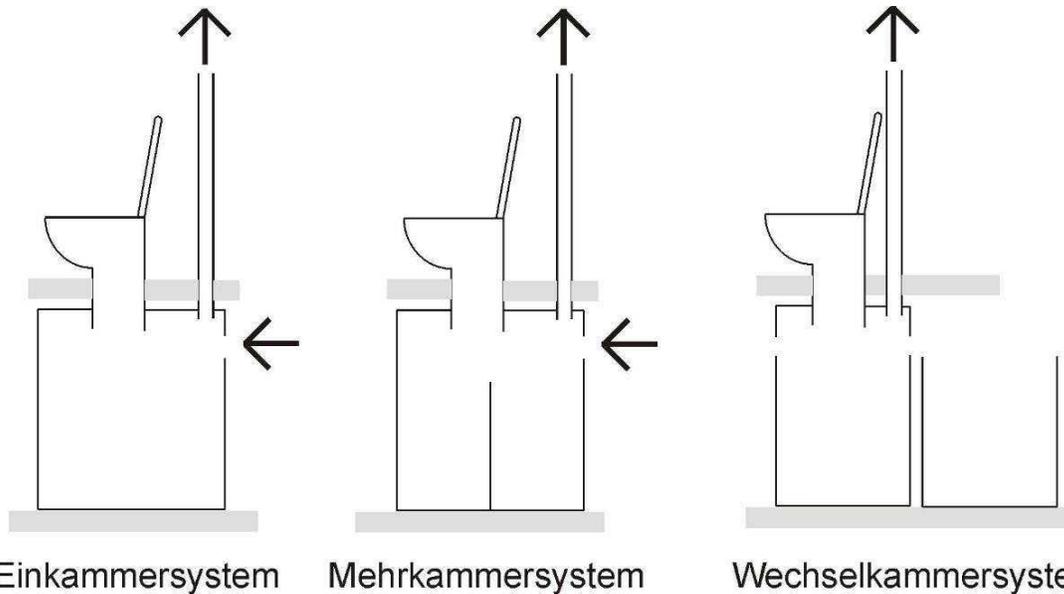


Abbildung 7: Bauarten von Trocken- und Komposttoiletten Quelle: HOLZHAUSEN zit. bei BERGER, LORENZ-LADENER 2008

3.7.2.1 Toilette ohne Urintrennung

Fäzes und Urin werden gemeinsam gesammelt und kompostiert. Bei normaler Nutzung ist die Zugabe von relativ viel Zuschlagstoffen bzw. organischer Einstreu notwendig um den Urin zu binden, welcher 90% des Gewichts der Ausscheidungen ausmacht. Eine Drainage zur Sammlung der Sickerwässer ist notwendig um überschüssigen Urin abzuleiten und ggf. separat zu behandeln.

3.7.2.2 Separationstoilette

Zur Abtrennung des Urins von den Fäkalien gibt es speziell an die Anatomie des Menschen angepasste Vorrichtungen im Toilettensitzbereich. Die Voraussetzung ist allerdings, dass der Benutzer auf der Toilette sitzt. Der Urin wird in einem Trichter aufgefangen und über einen Schlauch in einen von den Fäkalien getrennten Behälter abgeleitet (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9), die Fäzes fallen durch das Fallrohr in den Sammelbehälter. Prinzipiell eignen sich urinseparierende Toiletten für alle Trockentoiletensysteme, der Haupteinsatzbereich liegt aber bei Systemen mit externer Kompostierung oder bei einem Abtransport zur nächstgelegenen Abwasserreinigungsanlage ins Tal. Bei einer internen Kompostierung müssen Zuschlagsstoffe und eventuell Wasser zudosiert werden, um den für den Rotteprozess erforderlichen Feuchtigkeitsgehalt sicherzustellen (STARKL et al, 2005).



Abbildung 8: Trenneinsatz für Separationstoilette
Quelle: separett.de



Abbildung 9: Trenneinsatz für Separationstoilette
Quelle: separett.de



Abbildung 10: Separationstoilette mit externer Kompostierung in Bau, Bettelwurf Hütte
Quelle: AMOR, 2005

Da der Urin nicht mit den Fäkalien in Berührung kommt, ist dessen Keimbelastung wesentlich geringer als bei einer gemeinsamen Sammlung aller Ausscheidungen und Ableitung des Urins über eine Drainage. Die nachfolgende Abwasserreinigungsanlage kann dementsprechend kleiner dimensioniert werden bzw. kann dessen Gesamtreinigungsleistung verbessert werden (AMOR, 2005). Ein weiterer Vorteil ist, dass es zu keinen enzymatischen und biologischen Prozessen zwischen Kot und Urin kommt, welche verstärkt zu unangenehmen Gerüchen führen.

Als Beispiel für Anlagen mit Trenntoiletten sind die Bettelwurf Hütte (2077m Höhe) des Österreichischen Alpenvereins (siehe auch Abbildung 10 bzw. Kapitel 3.7.3.5) und die Britannia Hütte (3030m Höhe) des Schweizer Alpen-Clubs zu nennen.

3.7.2.3 Entlüftung

Die Entlüftung der Kompostbehälter erfolgt in der Regel über das Dach. Sie ist nur dann effizient, wenn der Deckel des Toilettensitzes geschlossen ist und ein genügend großer Unterdruck im Kompostbehälter erzeugt werden kann. Dieser Unterdruck stellt sich entweder durch thermischen Auftrieb oder durch Windsog selbstständig ein. Dieser Windsog kann durch einen elektrisch betriebenen Ventilator verstärkt oder bei Windstille erzeugt werden. Am Ende des Entlüftungsrohrs kann sich optional eine einfache Regenabdeckung (Abbildung 11), ein sogverstärkender Savonius-Lüfter (Abbildung 12) oder eine Windturbine (Abbildung 13) befinden. Der ideale Einsatzbereich des Savonius-Lüfters ist an Orten an, welchen mit großen Windspitzen zu rechnen ist. Die Windturbine eignet sich auch für geringere Windgeschwindigkeiten, allerdings kann sie von Sturmböen leichter zerstört werden. (BERGER, LORENZ-LADENER, 2008).



Abbildung 11: Dachentlüftung Regenabdeckung



Abbildung 12: Dachentlüftung Savonius-Lüfter



Abbildung 13: Dachentlüftung Windturbine Quelle: alibaba.com

3.7.3 Gebräuchliche Systeme bei alpinen Objekten

3.7.3.1 Komposttoilette System Berger

Anwendung: Gloggnitzer Hütte

Rieshütte

Forsthaus auf der Hübelwiese

Bei drei der vier in dieser Arbeit untersuchten Komposttoiletten, wurden Rottebehälter der Firma Berger Biotechnik, mit Sitz in Hamburg, eingebaut. Die Produktbezeichnung der Komposttoilette lautet „TerraNova-PE“. Sie besteht aus einer 1m³ fassenden Polyethylen Kunststoffbox (Abbildung 14), welche sich unterhalb des Toilettensitzes befindet. Die Reststoffe werden darin gesammelt und kompostiert (interne Kompostierung).



Abbildung 14: Komposttoilette Berger Foto: Waidhofer, R.



Abbildung 15: leere Nachrottekammer mit offenem Schieber

Der Kompostbehälter besteht aus zwei Kammern, einer Hauptrottekammer, in welcher die Fallrohre von bis zu zwei Toiletten enden und einer vorgelagerten Nachrottekammer (Abbildung 15). Die Nachrottekammer ist durch einen Schieber von der Hauptrottekammer getrennt. Bei den untersuchten Hütten kommen zwei Versionen der Behälterhöhe zur Anwendung, wobei die

größere Variante etwas mehr als 1m³ fasst. Die Hauptrottekammer der Kompostbehälterversion mit hohem Aufbau (Abbildung 16 und Abbildung 14), wird durch zwei horizontale Eisenstangen getrennt (Abbildung 18), welche das Frische von dem etwas älteren Material separiert. Bei Kompostbehältern mit niedrigem Aufbau (Abbildung 17 und Abbildung 38), welche zum Beispiel bei der Rieshütte und auf der Hübelwiese zum Einsatz kommen, fehlt diese Trennung mittels der Eisenstangen. Durch einen perforierten Zwischenboden kann das Sickerwasser in die Auffangwanne in den untersten Bereich der Rottebox gelangen und entweder einer Abwasserreinigungsanlage zugeführt, oder über einen Schotterkörper im Erdreich versickert werden.

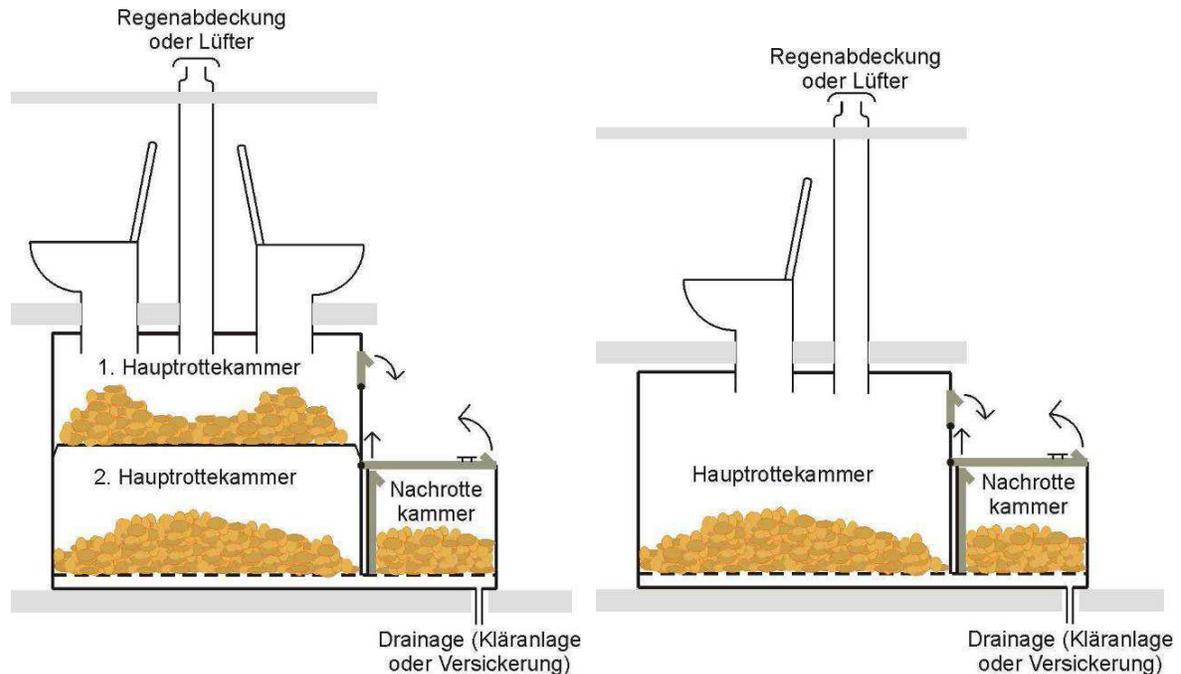


Abbildung 16: Schemaskizze Komposttoilette System Berger, hohe Ausführung

Abbildung 17: Schemaskizze Komposttoilette System Berger, niedrige Ausführung

In einem Zyklus von etwa einem Jahr kann das angerottete Material vom Boden der Hauptrottekammer mit Hilfe eines Belüftungsstabs (Abbildung 19) oder Ähnlichem in die Nachrottekammer gezogen werden, um dort weiter zu kompostieren. Im Anschluss daran kann das frischere Material oberhalb der horizontalen Eisenstangen, wenn vorhanden, in den unteren Bereich der Hauptrottekammer befördert werden. Nachdem das Material die zwei bis dreistufige Rottebox (oberhalb der Sperre, unterhalb der Sperre und Nachrottekammer) durchlaufen hat, kann es entnommen werden und je nach Zustand im Freien ausgebracht oder einer weiteren Nachrotte in einem Gartenkomposter, einer offenen Miete oder Ähnlichem zugeführt werden.



Abbildung 18: Sperre zwischen oberen und unteren Bereich der Haupttrottekammer
Abbildung 19: Belüftungsstab Foto: Berger, W.

Um den Toilettenraum zu erwärmen, wird bei den drei untersuchten Komposttoiletten des Systems Berger ein Solarluftkollektor (Abbildung 20) eingesetzt. Die Funktion basiert auf einer Kombination aus Fotovoltaikzellen und einer thermischen Solaranlage (Abbildung 21). Immer wenn Sonnenstrahlen auf die Fotovoltaikzellen treffen, wird ein Ventilator angetrieben, welcher Luft durch den Rippenabsorber bläst. Die dadurch erwärmte Luft kann über einen Auslassstutzen mit einem Rohr weitergeführt werden und so die Temperatur um den Kompostbehälter erhöhen.

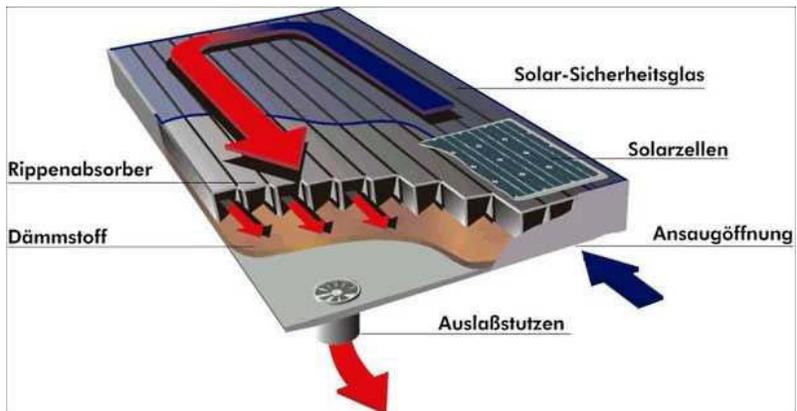
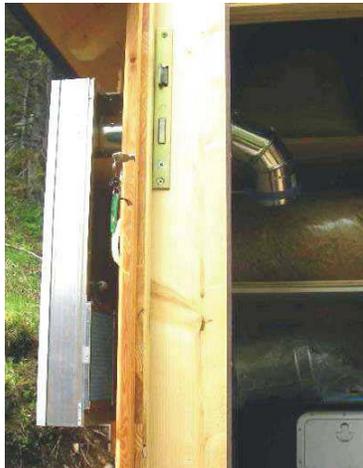


Abbildung 20: Solarluftkollektor Rieshütte, Seitenansicht mit Auslassrohr
Abbildung 21: Solarluftkollektor Schemaskizze Quelle: Grammer-Solar

3.7.3.2 Trockentoilette System Radlspöck

Anwendung: Voisthaler Hütte

Bei einer der vier in dieser Arbeit untersuchten Hütten werden seit 1999 mehrere Trockentoiletten der Firma Radlspöck, welche ihren Sitz in Garsten, Oberösterreich hat, betrieben.

Direkt unterhalb des Toilettensitzes befindet sich ein beweglicher, 200 Liter fassender Fäkalienbehälter (Fotos siehe Kapitel 4.5). Der Auffangbehälter besteht aus zwei ineinander stapelbaren Kunststofftonnen, wobei der innere Tonne am Boden perforiert ist und die äußere Tonne einen Schlauchanschluss besitzt, über den das Sickerwasser zur Bodenkörperfilteranlage der Voisthaler Hütte geleitet wird. Die Toilettenbenutzer werden aufgefordert nach jedem Gebrauch an einem Hebel zu drehen, wodurch eine definierte Menge an Sägespänen von der Dosiereinrichtung in den Fäkalienbehälter fällt. Wenn die Behälter einigermaßen gefüllt sind, werden sie durch leere Behälter ersetzt und zur Vorrotte in einem kleinen Holzverschlag, welcher an die Hütte angeschlossen ist, gelagert. Die Aufzeichnungen des Pächters Hans Winkler über die Kübelentleerungen reichen 13 Jahre zurück. Daraus kann berechnet werden, dass durchschnittlich alle sieben Wochen sieben Kübel entleert werden. Die Entleerung erfolgt über einen Seilzug zu einer Holzplattform, von welcher die Behälter einen Steilhang hinuntergeschüttet werden. Dort findet, ähnlich wie bei einer offenen Miete, die weitere Rotte statt.

3.7.3.3 Trockentoilette System Scherr/Mader

Anwendung: Adamekhütte

Simonyhütte

Riederhütte

Dieses von Martin Scherr, dem Hüttenwirt der Adamekhütte am Dachstein und DI Mader vom ÖAV, Sektion Austria, entwickelte Toilettensystem ist ähnlich dem System Radlspöck aufgebaut. Unterhalb des Toilettensitzes befindet sich entweder ein rollbarer Lochblechkontainer mit Tropfwanne zum Abtransport der Reststoffe zu einer externen Kompostierung (Simonyhütte, Dachstein) oder ein Komposter mit einschiebbaren Holzbretterwänden zur internen Kompostierung (Riederhütte, Feuerkogel OÖ). Für die Einstreu von Holzspänen sorgt eine Dosiereinrichtung mit Hebel zur manuellen Bedienung. Der Fäkalienraum wird mittels Ventilator entlüftet (STEINBACHER, 2009).

3.7.3.4 Komposttoilette System Otto Kandler Haus

Anwendung : Otto Kandler Haus

Die Mehrkammersystem-Komposttoilette in dem auf 1195 Meter Höhe gelegenen Otto Kandler Haus in den Türnitzer Alpen existiert schon seit 1989. Der 1.500 Liter fassende runde Behälter besteht aus 4 Kammern, welche im Jahresrhythmus gefüllt werden und mit einer Thermoisolierung ummantelt sind. Als Streugut werden ca. 150 Liter Traubentrester pro Jahr zugegeben. Die Geruchsbelästigung ist minimal, das Endprodukt ist sehr gut und der Wartungsaufwand beschränkt sich auf das Ausschaufeln des fertigen Komposts (STEINBACHER, 2009).

3.7.3.5 Separations-/Trenntoilette System Amor

Anwendung: Bettelwurf Hütte
Kaunergrat Hütte

Die Bettelwurf Hütte, welche sich 2077 Meter Höhe im Karwendl befindet, (siehe Abbildung 10) wird in der viermonatigen Saison von maximal 2.000 Nächtigungsgästen und ca. 3.000 Tagesgästen besucht. Die Abwasserentsorgung basiert auf sechs Separationstoiletten und vier Pissoirs. Die Waschabwässer werden gemeinsam mit dem Urin gesammelt, gefiltert, mittels UV Anlage entkeimt und anschließend vor Ort versickert. Die Feststoffe werden in dichten 60 Liter Behältern gesammelt und mit der Materialseilbahn ins Tal befördert. Die Küchenabwässer werden über einen Fettabscheider geführt und anschließend ebenfalls versickert. Die sanitären Anlagen sind in einem Hüttenzubau untergebracht, unter welchen sich der von außen zugängliche Raum mit den Feststoffbehältern befindet. Dieser Raum wird mit einem Ventilator entlüftet und der vorherrschende Unterdruck verhindert erfolgreich, dass der Geruch in die Hütte gelangt. Nach mehreren Jahren Betrieb sind die Erfahrungen positiv, die Benutzerakzeptanz und die Wartung durch den Hüttenwirt sind gut (KASCHKA, 2005).

Auf der Kaunergrat Hütte, im Pitztal, werden die von der Trenntoilette stammenden Fäkalien in mehreren Solarkompostern (siehe auch Kapitel 3.7.4.2) behandelt, welche im Rahmen des Projekts „Klärschlammproblematik im Hochgebirge“ zu Testzwecken aufgestellt wurden. Trotz der tiefen Temperaturen aufgrund der Lage in 2817 Metern Höhe werden damit gute Ergebnisse bei der Kompostierung erzielt (UNIBW, 2011b).

3.7.4 Externe Weiterbehandlung von Reststoffen aus Trockentoiletten

3.7.4.1 Konventionelle Kompostiersysteme

Offene Kompostmieten und Kompostsilos sind für die Fäkalienkompostierung ungeeignet, da sie keinen ausreichenden Schutz vor Vernässung und Austrocknung bieten. Es kommen daher nur geschlossene Kompostbehälter in Frage, auch, damit nicht Inhalte aus dem Komposter durch Vögel, Kleintiere, Verwehungen und Niederschläge in die Umgebung gelangen. Empfehlungen und Kriterien für die Auswahl eines Komposters sind laut BERGER, LORENZ-LADENER (2008):

- Chemikalienbeständiges und frostfreies Material
- Ausreichende Lüftungsöffnungen unten wie oben
- Große Öffnung zur leichten Entnahme des gesamten Inhalts
- Nagesicheres Bodengitter
- Ggf. Kombinierbarkeit mit weiteren Kompostern für Wechselbetrieb

3.7.4.2 Solarkomposter

Im Rahmen eines Forschungsprojektes der Universität der Bundeswehr München und der Universität Innsbruck über die „Klärschlammproblematik im Hochgebirge“ wurde ein Solarkomposter entwickelt. Er dient der thermischen Unterstützung und Beschleunigung biologischer Umsätze von Trockentoiletten-Kompostmaterial in Gebirgslagen. Dabei handelt es sich um einen, in ein wärmegeprägtes Gehäuse eingepackten, handelsüblichen Thermokomposter (Abbildung 22). Auf dem Gehäuse befindet sich ein Solarluftkollektor (siehe auch Kapitel 3.7.3.1) welcher warme Luft über eine perforierte Rohrleitung direkt in den Kompost bläst (Abbildung 23 und Abbildung 25) und somit das Kompostgut zusätzlich zur eventuell entstehenden biogenen Wärme erwärmt. Abbildung 24 zeigt eine weitere Möglichkeit der Warmluftverteilung, welche in dem Solarkomposter bei der Kaunergradhütte realisiert wurde.



Abbildung 22: Solarkomposter Außenansicht, Klostersaler Umwelthütte, Quelle: UNIBW, 2011b



Abbildung 23: Solarkomposter mit Warmluftrohrführung im Inneren, Klostersaler Umwelthütte, Quelle: SCHÖN, 2007



Abbildung 24: Solarkomposter Innenansicht gelochtes Zentralrohr mit Verzweigungen zur Warmluftverteilung, Kaunergradhütte, Quelle: SCHÖN, 2007



Abbildung 25: Solarkomposter mit gelochtem Zentralrohr zur Warmluftverteilung, Klostersaler Umwelthütte, Quelle: SCHÖN, 2007

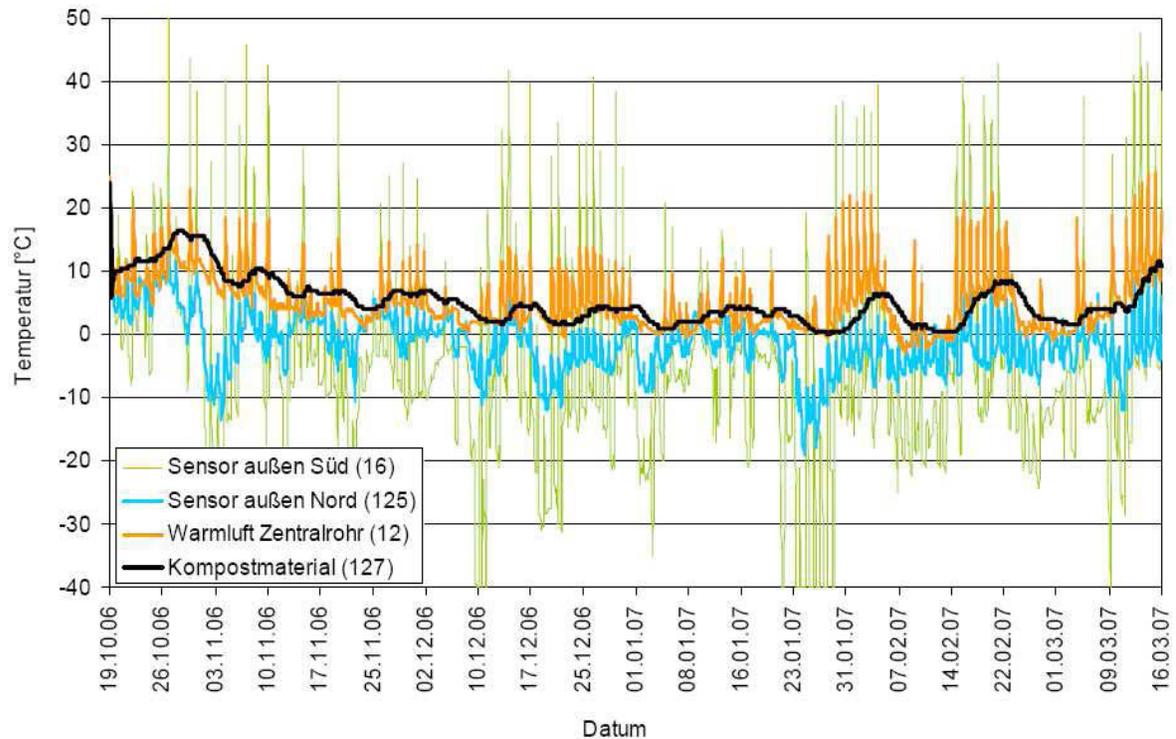


Abbildung 26: Temperaturkurven der Wintermonate des Solarkomposters auf der Klostertaler Umwelthütte, Quelle: SCHÖN, 2007

Abbildung 26 zeigt die Temperaturkurven diverser Temperatursensoren eines Solarkomposters auf der Klostertaler Umwelthütte, welche auf 2366 Höhenmeter liegt. Die Messergebnisse sind von Mitte Oktober 2006 bis Mitte März 2007 dargestellt. Bemerkenswert dabei ist, dass der Kompost, trotz Außentemperaturen von teilweise unter -40°C , den ganzen Winter durchgefroren ist. Dies ist auf die Dämmwirkung des Solarkompostergehäuses und der guten Verteilung der Warmluft im Kompost mittels gelochtem Zentralrohr zurückzuführen. Die Kompostierung funktioniert dadurch über einen längeren Zeitraum im Jahr. Der Solarkomposter, welcher im Rahmen des zuvor genannten Projekts entwickelt wurde, fasst ein Volumen von $0,6\text{ m}^3$ und kostete in seiner Anschaffung etwa 5000 Euro (SCHÖN, 2007), (UNIBW, 2011b).

3.7.4.3 Stufenkomposter

Ein Stufenkomposter oder auch Treppenvererder besteht aus mehreren Kompostierkammern, welche kaskadenartig untereinander angeordnet sind (siehe Abbildung 28). Die einzelnen Kammern sind mit Schiebern voneinander getrennt und mit Regenabdeckungen vor der Witterung geschützt (siehe Abbildung 27). Vor Beginn jeder Saison wird der fertige Kompost aus der untersten Kammer ausgeräumt und die Inhalte der oberen Kammern jeweils um eine Stufe heruntergeräumt. Die oberste Kammer ist somit leer und bereit die frischen Reststoffe der Saison aufzunehmen. Der zu Saisonbeginn entnommene Kompost der untersten Stufe kann ins Tal transportiert oder auf einer Fläche im Hüttenumfeld ausgebracht und mit standortgerechten Pflanzensamen eingesät werden.

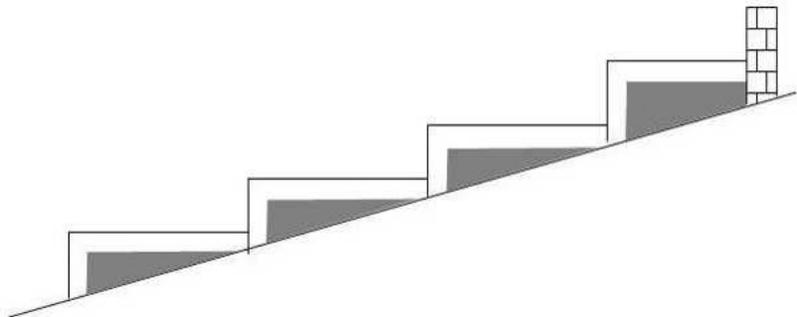


Abbildung 27: Stufenkomposter, Ettl, 2004 zit. bei SCHÖNHERR und CYRIS, 2007
Abbildung 28: Stufenkomposter Schemaskizze, SCHÖNHERR und CYRIS, 2007

In einem von der Universität der Bundeswehr München betreuten Projekt wurde ein Stufenkomposter auf dem Kaiserjochhaus (2310m Höhe) untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchung können damit zusammengefasst werden, dass die Behandlung von Reststoffen im Stufenkomposter unproblematisch und störungsunanfällig ist. Der Aufwand zur Umsetzung der Reststoffe zu Saisonanfang wird durch die Terrassenstufen wesentlich erleichtert. Über die gesamte Behandlungsdauer betrachtet kann sich das Volumen der Reststoffe auf bis zu 20% des Ausgangsvolumens reduzieren. Ammonium wird fast vollständig, andere organische Substanzen werden nur teilweise abgebaut. Als Nachteil kann genannt werden, dass der Transport der Reststoffe der Komposttoilette in die oberste Stufe abhängig von der Größe des Transportbehälters anstrengend ist und eventuell der Mithilfe einer weiteren Person bedarf. Ebenfalls nachteilig für den Betrieb sind die großen sauerstoffarmen und wassergesättigten Bereiche in den einzelnen Komposterstufen. Um diese zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass die maximale Stapelhöhe auf 30 cm begrenzt wird. Aus der anfallenden Reststoffmenge kann dann die erforderliche Oberfläche für den Bau eines Stufenkomposters berechnet werden. Bei einer mittleren Stapelhöhe von 30 Zentimetern würde für jährlich 0,5 m³ anfallende Reststoffe eine Stufenkomposteroberfläche von 1,5 m² je Komposterstufe benötigt (SCHÖNHERR und CYRIS, 2007). Da die Volumenreduktion des Komposts in den ersten Wochen am größten ist (siehe Abbildung 30), kann vor der Einbringung der Reststoffe in die oberste Treppe des Stufenkomposters eine Vorrotte in einem handelsüblichen Thermokomposter (siehe Abbildung 29) vorgenommen werden. Dadurch kann der Bauaufwand für den Stufenkomposter verringert werden



Abbildung 29: Thermokomposter von Fa. Neudorf

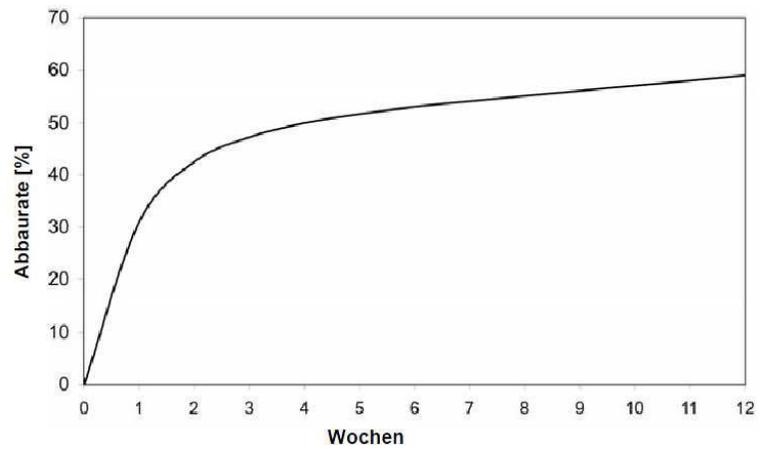


Abbildung 30: Kompostabbaurrate nach der Zeit, KRANERT und CORD-LANDWEHR, 2010

4. Beschreibung der untersuchten Objekte

4.1 Übersicht und Lage

Auf nachfolgender Übersichtskarte (Abbildung 31) ist die jeweilige Lage der vier untersuchten alpinen Objekte mit Trockentoiletten auf einer Karte von Wiener Wasser eingezeichnet. Die Karte zeigt die Wasserschutzgebiete und den Verlauf der dazugehörigen Wasserleitungen, welche das Trinkwasser nach Wien bringen, wo es zwischengespeichert, behandelt und verteilt wird.

Die Voisthaler Hütte befindet sich am Hochschwab im Einzugsgebiet der II. Wiener Hochquellenleitung. Die drei anderen Objekte liegen im Einzugsgebiet der I. Wiener Hochquellenleitung, wobei sich die Gloggnitzer Hütte auf der Rax und die Rieshütte und die Hübelwiese am Schneeberg befinden.



Beschreibung der untersuchten Objekte

In Tabelle 3 sind die wichtigsten Eckdaten der vier untersuchten Objekte zusammengefasst. Eine genauere Beschreibung geben dann die nachfolgenden Kapitel 4.2 bis 4.5.

Tabelle 3: Übersicht der untersuchten Objekte

	Gloggnitzer H.	Hübelwiese	Rieshütte	Voisthaler H.
Höhenlage	1550	1140	1360	1660
Größe	mittel	klein	klein	mittel
Materialtransport	Helikopter / Wanderweg	Forststraße	Wanderweg	Materialseilbahn
Bewirtschaftung	ja, nur Getränke und Suppen	nein	nein	ja
Nutzungszeitraum	Wochenende, ganzes Jahr	Wochentags, ganzes Jahr	~1 mal/Woche, ganzes Jahr	täglich, nur im Sommer
Typ/Betreiber	Alpenverein (Gebirgsverein)	Forsthaus, MA49	Selbstversorger- hütte, Alpenverein	Alpenverein
Komposttoilette	Berger, in Hütte integriert	Berger, einzelstehend	Berger, einzelstehend	Radspöck, in Hütte integriert
Zuschlagsstoffe	Heu, Asche	Rindenmulch	Stroh	Holzspäne

4.2 Gloggnitzer Hütte



Abbildung 32: Gloggnitzer Hütte

Die Gloggnitzer Hütte ist Eigentum der Gemeinde Wien, die Ortsgruppe Gloggnitz des Österreichischen Gebirgsvereins (ÖGV), welche eine Sektion des Österreichischen Alpenvereins (ÖAV) ist, hat das Nutzungsrecht. Sie wird von den Mitgliedern der Ortsgruppe Gloggnitz des ÖGV alternierend bewirtschaftet. Der Wochenendbetrieb ist ganzjährig, ausgenommen an 3 Wochenenden von Mitte November bis Anfang Dezember, an welchen die Raxseilbahn außer Betrieb ist. Mit 1548 Höhenmetern ist sie die zweithöchst gelegene Hütte der vier untersuchten Objekte. Es stehen 22 Schlafplätze in einem Matratzenlager sowie ein Winterraum zur Verfügung. Die Versorgung der jährlich etwa 1000 Tages- und 200 Übernachtungsgäste beschränkt sich auf Getränke und Suppen. Die Hütte ist nur zu Fuß erreichbar. Der Materialtransport erfolgt großteils über eine Forststraße mit anschließendem halbstündigen Fußmarsch, teilweise aber auch per Helikopter. Abfälle werden, sofern nicht brennbar, zur Fuß und anschließend über die Forststraße ins Tal gebracht. Die Komposttoilette wurde im Zuge der Hüttenrenovierung und Erweiterung errichtet und ist seit Anfang Juni 2011 im Einsatz. Über das Dach wird Regenwasser gefasst und mittels Kohlefilter aufbereitet. Bei Bedarf kann auch Wasser in Kanistern aus der nahegelegenen Quelle händisch zur Hütte gebracht werden. Im Zuge der Umbauarbeiten wurde ein bepflanzter Bodenfilter mit anschließender Verdunstung errichtet,

Beschreibung der untersuchten Objekte

welcher das anfallende Grauwasser, den Urin aus dem Trockenurinal und das Sickerwasser aus der Komposttoilette reinigt. Die Energie, die für die Beleuchtung und die Steuerung der Kläranlage benötigt wird, wird von einer Solaranlage erzeugt. Für den Notfall steht auch ein Stromaggregat zur Verfügung.



Abbildung 33: Kompostbehälter



Abbildung 34: Toilettensitz

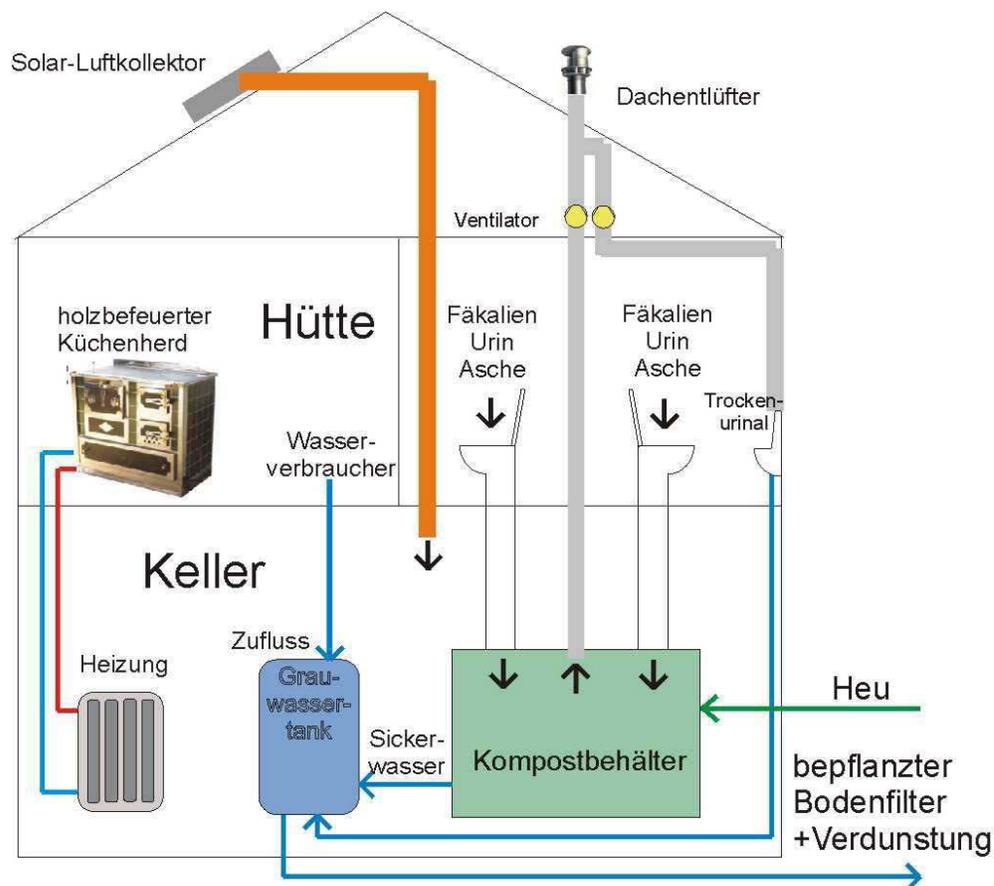


Abbildung 35: Schemaskizze Gloggnitzer Hütte

Wie in der Schemaskizze (Abbildung 35) zu sehen ist, verfügt die Gloggnitzer Hütte über zwei in die Hütte integrierte Toiletten, deren Fallrohre in einer gemeinsamen Kunststoffkompostbox des

Beschreibung der untersuchten Objekte

Systems Berger (siehe Kapitel 3.7.3.1) münden. Weiters gibt es ein wasserloses Urinal mit einer direkten Verbindung zum Grauwassertank. Das Sickerwasser der Kompostbox wird durch eine manuell gesteuerte Pumpe periodisch in den Grauwassertank gepumpt. Als Streumaterial dient Holzasche, welche von den Benutzern direkt eingestreut wird. Am Ende jedes Wochenendes wird vom aktuellen Hüttendienst Heu (siehe Kapitel 3.6.4.2) durch eine Klappe im oberen Bereich des Behälters in die Kompostbox gestreut.

Die Kompostbox befindet sich im beheizbaren Keller der Hütte. Beheizt wird der Keller einerseits durch einen Solar-Luftkollektor (Funktionsweise siehe Seite 24), welcher warme Luft in den Keller bläst und andererseits durch einen Heizkörper, welcher mit dem holzbefeuerten Küchenherd verbunden ist, der primär zum Kochen und Heizen des Gastraumes benutzt wird. Der Kompostbehälter wird durch ein Rohr mit einem Durchmesser von 100 mm über das Dach entlüftet am dessen Ende sich ein Savonius-Lüfter (siehe Abbildung 12) befindet. Zusätzlich wurde ein 12 V Ventilator in das Abluftrohr eingebaut, um auch bei Windstille oder Inversionswetterlage eine ausreichende Entlüftung sicherzustellen.

4.3 Hübelwiese



Abbildung 36: Forsthaus auf der Hübelwiese

Das Forsthaus auf der Hübelwiese ist Eigentum der Stadt Wien und wird vom Wiener Forstamt (MA 49) verwaltet. Mit 1201 Höhenmetern ist es das am niedrigsten gelegene untersuchte Objekt. Das Forsthaus wird ganzjährig wochentags benutzt. Es steht den etwa acht ständigen und einigen zeitweise angestellten Forstmitarbeitern des Wiener Forstamts als Lagerraum für Material, als Aufenthaltsraum für Pausen, zum Essen und im Winter zum Aufwärmen zur Verfügung. Eine Forststraße führt direkt am Gebäude vorbei, über die Material an- und abtransportiert werden kann. Wasser kann aus dem Brunnen, welcher hinter dem Haus liegt, geschöpft werden. Es fällt sehr wenig Abwasser an, das im Humus versickert wird. Die Komposttoilette wurde im Herbst 2010 errichtet.



Abbildung 37: Toilettengebäude



Abbildung 38: Kompostbehälter



Abbildung 39: Toilettensitz

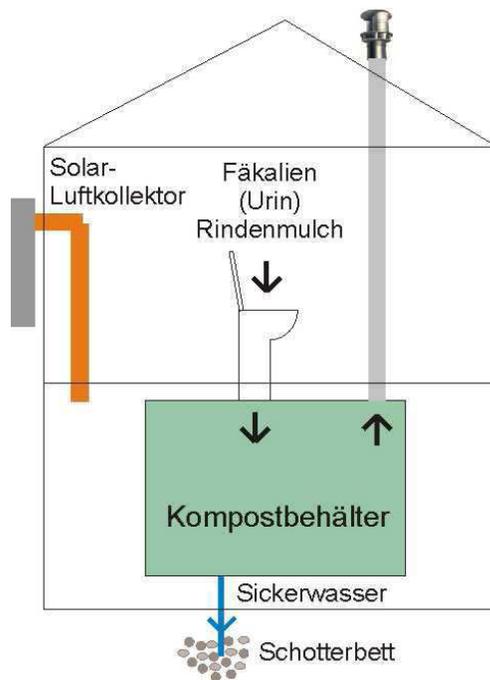


Abbildung 40: Schemaskizze Hübelsee

Die Komposttoilette auf der Hübelsee ist im Gegensatz zur Toilette auf der Gloggnitzer Hütte nicht in das Hüttengebäude integriert, sondern befindet sich in einem eigenen Toilettenhäuschen einige Meter neben der Hütte. Der Kompostbehälter des Systems Berger (siehe Kapitel 3.7.3.1) unterscheidet sich zu dem auf der Gloggnitzer Hütte nur durch einen niedrigeren Aufbau (Abbildung 38). Bei Sonnenschein erfolgt eine Beheizung des Innenraums durch den Solar-Luftkollektor (Funktion siehe Seite 24). Von den Benutzern wird nach jedem Gebrauch eine kleine Schaufel Rindenmulch in die Toilette geworfen. Die Nutzung der Komposttoilette unterscheidet sich auch wesentlich von der auf der Gloggnitzer Hütte. Da die Forstmitarbeiter die meiste Zeit unterwegs sind, gibt es einen vergleichsweise geringen Urineintrag. Das Sickerwasser kann über eine Schlauchverbindung frei in das sich unter der Hütte befindliche Schotterbett fließen und von dort in das Erdreich versickern. Der Kompostbehälter wird durch ein Rohr über das Dach entlüftet, an dessen Ende sich ein Savonius-Lüfter befindet.

4.4 Rieshütte



Abbildung 41: Rieshütte

Fotovoltaikanlage, welche die Energie für die Beleuchtung liefert. Regenwasser wird ebenfalls über das Dach gefasst und mittels Aktivkohlefilter aufbereitet. Das wenige anfallende Abwasser aus dem Küchenbereich wird hinter dem Haus im Humus versickert. Die Toilettenanlage wurde im Oktober 2011 in Betrieb genommen.

Die Rieshütte ist Eigentum des Österreichischen Alpenvereins (ÖAV) und wird von der Sektion Burgenland betreut. Als Selbstversorgerhütte steht sie ganzjährig nur Mitgliedern des ÖAV der Sektion Burgenland zur Verfügung. Sie wird laut Aussage des Vereinsobmanns Gerhard Paul durchschnittlich ein Mal pro Woche besucht. Im Obergeschoss steht ein Matratzenlager für 8 Personen zur Verfügung. Die Hütte liegt am Fuß der Breiten Ries am Schneeberg auf 1360 Meter Höhe. Erreichbar ist die Rieshütte nur zu Fuß. Für den Transport größerer Mengen an Lebensmitteln oder Materialien kann eine nahe gelegene Forststraße benutzt werden, wodurch sich die Gehzeit zur Hütte von ca. 90 auf 45 Minuten halbiert. Nicht brennbarer Abfall wird ins Tal getragen. Am Dach befindet sich eine



Abbildung 42: Toilettengebäude Seitenansicht



Abbildung 43: Sickerwasserableitung in den Untergrund

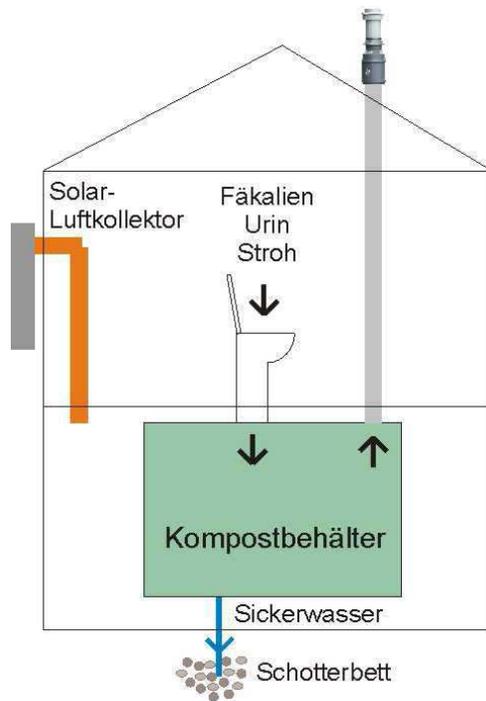


Abbildung 44: Schemaskizze Rieshütte

Die Komposttoilette befindet sich, wie bei der Hübelwiese in einem Toilettenhäuschen einige Meter neben der Hütte. Auch der konstruktive Aufbau der Toilettenanlage ist ident mit jenem auf der Hübelwiese. Der große Unterschied zur Hübelwiese besteht in der Nutzungsart der Toilette. Da die Rieshütte touristisch genutzt wird, also von Menschen, die zur Hütte wandern und dort ev. auch übernachten, ist das Urinaufkommen relativ hoch. Als Streumittel wird von den Benutzern nach jedem Gebrauch eine Hand voll Stroh in die Toilette geworfen. Der Kompostbehälter wird durch ein Rohr über das Dach entlüftet, an dessen Ende sich eine Regenabdeckung befindet.

4.5 Voisthaler Hütte



Abbildung 45: Voisthaler Hütte

Fotovoltaikanlage erzeugt, welche sich auf dem Dach befindet. Für den Notfall ist ein Dieselaggregat verfügbar. Die aktuelle Toilettenanlage besteht seit 1999.

Die Voisthaler Hütte ist Eigentum des Österreichischen Alpenvereins (ÖAV) und wird von der Sektion Voisthaler betreut. Von Anfang Mai bis Ende Oktober ist sie durchgehend bewirtschaftet, in der restlichen Zeit steht ein Winterraum bereit. Insgesamt gibt es 60 Schlafplätze. Für den Materialtransport steht eine Materialseilbahn mit einer höchstzulässigen Last von 340kg zur Verfügung. Mit einer Höhe von 1659 Metern ist sie das höchstgelegene der vier untersuchten Objekte. Trinkwasser wird aus einer Quelle unterhalb der Hütte entnommen und hinaufgepumpt. Für Grauwasser, Urin und Sickerwasser aus den Trockentoiletten steht eine Bodenkörperfilteranlage zur Verfügung. Die benötigte Energie wird mit einer



Abbildung 46: Schütthang hinter der Hütte



Abbildung 47: Fäkalienbehälter

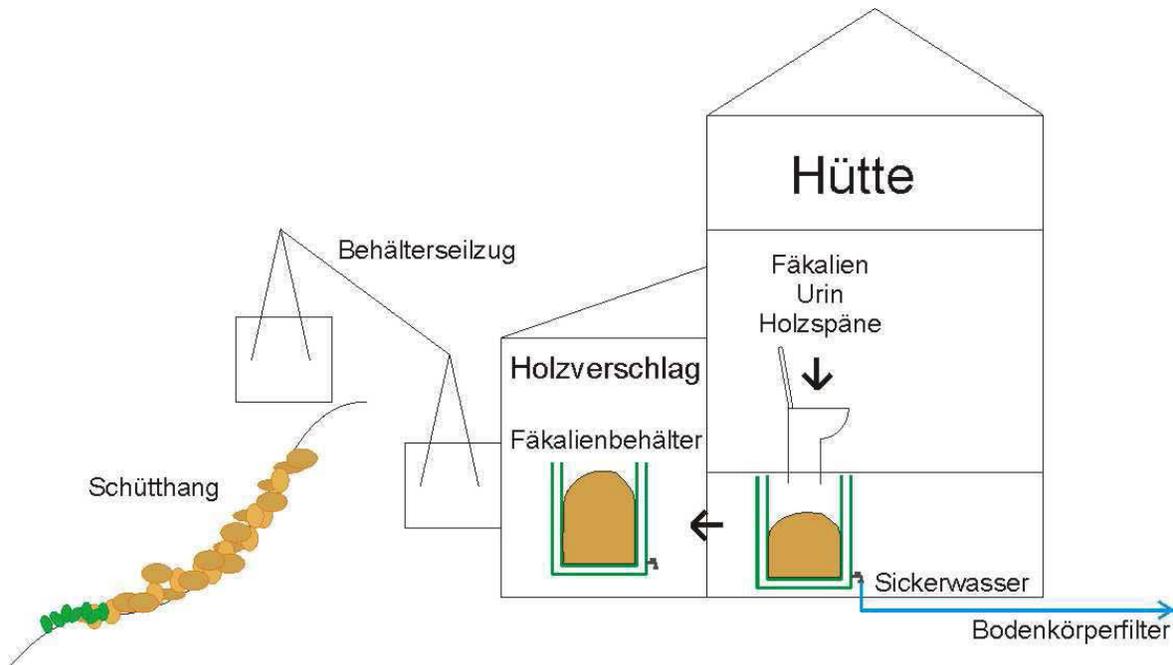


Abbildung 48: Schemaskizze Voisthaler Hütte

Im Gegensatz zu den vorigen drei beschriebenen Hütten handelt es sich bei der Toilettenanlage auf der Voisthaler Hütte um biologische Trockentoiletten mit teils interner teils externer Kompostierung (siehe Kapitel 3.7.1). Drei dieser Trockentoiletten der Firma Radlspöck (siehe auch Kapitel 3.7.3.2), sowie ein wasserloses Urinal befinden sich im unbeheizten Keller der Hütte. Direkt unterhalb des Toilettensitzes steht ein beweglicher, 200 Liter fassender Fäkalienbehälter (siehe Abbildung 47). Der Behälter ist zweiteilig, wobei der innere Teil am Boden perforiert ist und der äußere Teil einen Schlauchanschluss besitzt, über den das Sickerwasser zur Bodenkörperfilteranlage geleitet wird. Die beiden Teile sind auseinandernehmbar und somit leicht zu reinigen. Die Toilettenbenutzer werden aufgefordert nach jedem Gebrauch an einem Hebel zu drehen, wodurch eine definierte Menge an Sägespänen von der Dosiereinrichtung in den Fäkalienbehälter fällt. Wenn die Behälter einigermaßen gefüllt sind, werden sie durch leere Behälter ersetzt und zur Vorrotte in einem kleinen Holzverschlag, welcher an die Hütte angeschlossen ist, gelagert. Die Aufzeichnungen des Pächters Hans Winkler über die Kübelentleerungen reichen 13 Jahre zurück. Daraus kann berechnet werden, dass durchschnittlich alle sieben Wochen sieben Kübel entleert werden. Durchschnittlich können dabei etwa 4 m^3 Frischkompost anfallen. Die Entleerung erfolgt über einen Seilzug zu einer Holzplattform, von welcher die Behälter einen Steilhang hinuntergeschüttet werden (siehe Abbildung 46). Dort findet, ähnlich wie bei einer offenen Miete, die weitere Rotte statt.

5. Material und Methoden

Im Oktober 2011 wurde damit begonnen, die Toiletten mit Temperatursensoren auszustatten, welche halbstündlich einen Messwert speichern. Dazu wurden jeweils ein Sensor im Außenbereich der Hütte, einer im Kompostraum und einer direkt im Kompost (Voisthalerhütte kein Sensor im Kompost) angebracht. Bis Dezember 2012 wurden die Komposttoiletten in Intervallen von 2-3 Monaten aufgesucht (siehe Tabelle 4), die Temperaturdaten ausgelesen und Kompostproben gezogen, welche im Labor auf die kompostierungsrelevanten chemischen und physikalischen Parameter analysiert wurden. Zu jeder Hütte wurde ein Ergebningsbogen erstellt, welcher die Basisdaten der Hütte und der dazugehörigen Trockentoilette, die Betriebserfahrungen der verantwortlichen Personen, sowie die Umstände jeder einzelnen Probenahme dokumentiert. Der Großteil der Daten wurde selbstständig erhoben, ein kleinerer Teil stammt aus Unterlagen der Magistratsabteilung 31 „Wiener Wasser“.

Tabelle 4 gibt Auskunft über die Begehungstage, wobei die Umrandung des Datums bedeutet, dass an diesem Tag eine Kompostprobenahme erfolgt ist.

Tabelle 4: Übersicht Begehungstage

Jahr	2011			2012											
Monat	Okt	Nov	Dez	Jän	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dez
Gloggnitzer H.	09.	12.		22.			09. ¹	26.				9.		3.	
Voisthalerhütte	18.							31.							
Hübel Wiese		08.			05.			29.			14.			08.	
Rieshütte			21.			30.		24.			15.				13.

Tag mit Kompostprobenahme

¹ Begehung und Probenahme durch Dr. Weissenbacher

5.1 Temperaturmessung

Die Temperatur stellt für die Aktivität der Mikroorganismen im Kompost einen wichtigen Faktor dar. Zu geringe Temperaturen ($<5^{\circ}\text{C}$) können den Prozess wesentlich verlangsamen oder komplett zum Erliegen bringen. Um die vorherrschenden Temperaturverläufe im Kompost und seiner Umgebung zu dokumentieren, wurden Sensoren angebracht, welche halbstündlich die Temperaturwerte speichern. Mithilfe eines Laptops mit USB-Anschluss wurden die Daten bei jeder Begehung ausgelesen und die Temperaturoaufzeichnung wieder neu gestartet.

Sensoren wurden im

- Außenbereich der Hütte (Abbildung 49 und Abbildung 50),
- im Bereich außerhalb des Kompostbehälters (Abbildung 51) und
- direkt im Kompost (Abbildung 52) angebracht.

Bei der Voisthalerhütte wurde im Kompost kein Temperatursensor angebracht, da am Tag der Begehung der bestellte Sensor noch nicht eingelangt und danach die Hütte über den Winter geschlossen war.



Abbildung 49: Sensor Außenbereich Gloggnitzer Hütte, neben dem Eingang zum Winterraum



Abbildung 50: Sensormontage unterhalb des Dachvorsprungs im Außenbereich der Komposttoilette bei der Rieshütte



Abbildung 51: Sensor Innenbereich Gloggnitzer Hütte



Abbildung 52: Sensor im Kompost Rieshütte

Beim Temperatursensor (Abbildung 53), welche im Außen- und Innenbereich der Hütten eingesetzt wurde, handelt es sich um einen Datenlogger der Firma Lascar Electronics. Der eingesetzte Sensor mit der Typenbezeichnung EL-USB-2 kann Temperaturen zwischen -35°C und $+80^{\circ}\text{C}$ sowie die Luftfeuchtigkeit und den Taupunkt messen.



Abbildung 53: Temperaturdatenlogger EL-USB-2

Der im Kompost eingesetzte Temperatursensor (Abbildung 54) der Firma Wachendorff mit der Typenbezeichnung DCMT100SS ist wasserdicht verschraubbar und hat einen Temperaturmessbereich von -40°C bis $+80^{\circ}\text{C}$. Mittels eines Kabels mit zwischengeschaltetem Datenlogger-Interface können die Daten per USB ausgelesen werden.



Abbildung 54: Wasserdichter Temperaturdatenlogger DCMT100SS

5.2 Probenahme



Abbildung 55: Probenahme

Zu Beginn war für die Probenahme ein 40mm starkes und 1m langes Kunststoffrohr zum Herausstechen und ein Holzstab zum wieder Herausdrücken der Probe vorgesehen. Diese Methode hat sich als nicht praktikabel erwiesen. Das kompostierende Material der Rieshütte war zum Zeitpunkt der Probenahme zu grob und das der Hübelwiese zu trocken und ist somit aus dem Probenahmerohr hinausgerieselt. Sämtliche Proben wurden somit mittels über die Hand gestülpten umgedrehten Probensäckchen von der hervorgezogenen, homogenisierten Kompostmasse gezogen (Abbildung 55). Es handelt sich somit bei allen Proben um Mischproben, wobei sich das Probenvolumen zwischen 1,5 und 3 Liter bewegt hat, welches

für eine Kompostprobe vergleichsweise gering ist. Die Beschränkung auf dieses relativ kleine Probenvolumen resultierte aus der geringen Menge an vorhandenem Kompostmaterial und dem Versuch, die Beeinflussung des Komposts durch die Probenahme möglichst gering zu halten.

5.3 Chemische und physikalische Analysen

Die Untersuchungen der Kompostproben wurden im abfalltechnischen Versuchslabor des Institutes für Abfallwirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien, unter Anleitung von Ing. Thomas Ebner, selbstständig vorgenommen. Die Analysen wurden nach den institutsinternen Analysevorschriften durchgeführt, die sich an der ÖNORM S 2023 „Untersuchungsmethoden und Güteüberwachung von Komposten“ orientieren.

5.3.1 Probenarten

5.3.1.1 Eluat



Abbildung 56: Überkopfschüttler

Ein Eluat ist eine Lösung, welche aus einem Stoffgemisch ausgewaschen ist. Um ein Eluat herzustellen, wird die Probe in einem bestimmten Verhältnis mit deionisiertem Wasser (z. B.: 100 g Probe mit einem Liter Wasser) in einer ausreichend großen Kunststoffflasche eine definierte Anzahl von Stunden mittels Überkopfschüttler (siehe Abbildung 56) eluiert und anschließend durch einen Faltenfilter filtriert. Die Probe ist möglichst rasch zu untersuchen, um etwaige Veränderungen durch Lagerung an der Luft auszuschließen. Ist eine sofortige Analyse nicht möglich, so muss die Probe eingefroren werden.

5.3.1.2 Frische Laborprobe

Als frische Laborprobe bezeichnet man die naturfeuchte Probe direkt nach der Entnahme. Aus dieser frischen Laborprobe werden alle Parameter bestimmt, die durch die Trocknung verfälscht würden; diese sind der pH-Wert sowie Ammonium- und Nitratstickstoff. Für diese Analysen wird das Eluat der frischen Laborprobe benötigt.

5.3.1.3 Luftgetrocknete Laborprobe

Eine luftgetrocknete Laborprobe erhält man nach ca. zweiwöchiger Lagerung der frischen Laborprobe, bei Raumtemperatur, in einem großen und flachen Behältnis. Für die weitere Analyse ist eine Zerkleinerung und Homogenisierung der getrockneten Laborprobe erforderlich. Um eine Kontamination der Probe mit Metallabrieb zu vermeiden, sollte eine Scheibenschwingmühle aus Achat benutzt werden. Anschließend wird die gemahlene Probe mit einem Sieb mit einer Lochgröße von 0,63 mm abgesiebt und der Überstand nochmals gemahlen. Die luftgetrocknete Laborprobe wird für die Bestimmung der Leitfähigkeit (aus dem Eluat), des Glühverlustes, der Huminstoffe, des gesamten organischen Kohlenstoffs und des Gesamtstickstoffs benötigt.

5.3.1.4 Ofentrockene Laborprobe

Als ofentrockene Laborprobe bezeichnet man die bei 105°C im Trockenschrank, bis zur Gewichtskonstanz getrocknete Probe (nach ca 24h erreicht). Sie wird für die Bestimmung des Wassergehaltes benötigt.

5.3.2 Wassergehalt (WG)

Für die Bestimmung des Wassergehaltes werden 500 – 1000 g der frischen Laborprobe in eine zuvor abgewogene Aluminiumtasse mit einer maximalen Schichtstärke von 3 cm gefüllt und bis zum Erreichen der Gewichtskonstanz im Trockenschrank bei 105°C getrocknet. Man erhält dadurch die ofentrockene Laborprobe. Durch das Auswiegen der Masse vor und nach der Trocknung kann mithilfe folgender Formel der Wassergehalt berechnet werden:

$$\text{WG}[\%] = \frac{(\text{Einwaage}_{\text{feucht}} - \text{Einwaage}_{\text{trocken}}) \times 100}{\text{Einwaage}_{\text{feucht}}}$$

5.3.3 Ammoniumstickstoff (NH₄-N)

Für die Ermittlung des Stickstoffs, der als Ammonium vorliegt, wird das Eluat der frischen Laborprobe benötigt. Die Analyse erfolgt photometrisch (DEV 38406 Teil 5).

5.3.3.1 Prinzip

Durch die Reaktion von Ammonium, Natriumsalicylat, Natriumnitroprussiat und Natriumdichlorsocyanurat im alkalischen Bereich entsteht ein smaragdgrüner Farbstoff. Die Extinktion des Ammoniumsalicylatkomplexes wird bei einer Wellenlänge von 655 nm bestimmt. Der Messbereich liegt bei 0,01-1,0 mg/L.

5.3.3.2 Durchführung

25 mL Probe (eluierte Festprobe oder Sickerwasserprobe) + 2 mL Salicylat-Citrat-Lösung in einem 25 mL Erlenmeyerkolben kurz mischen.

2 mL Reagenzlösung dazugeben.

Nach 1-3h bei $\lambda=655$ nm gegen Deionat als Blindwert die Extinktion messen.

Konzentrierte Proben sind zu verdünnen.

Auswertung erfolgt über eine Eichkurve.

5.3.3.3 Reagenzien

Salicylat-Citrat-Lösung

130 g Na-Salicylat (C₇H₅O₃Na) + 130 g Trinatriumcitrat (C₆H₅O₇Na₃ · 2H₂O) + 800 mL Deionat + 0,97 g Dinatriumpentacyanonitrosylferrat (Na₂Fe(CN)₅NO · 2H₂O) auflösen - mit Deionat auf 1000 mL auffüllen (2 Wochen haltbar).

Reagenzlösung

3,2 g NaOH + 50 mL Deionat, abkühlen lassen, + 0,2 g Na-dichlorsocyanurat (C₃N₃Cl₂O₃Na), auf 100 mL auffüllen (täglich frisch)

Ammoniumstammlösung (100 mg NH₄-N/L)

0,4717 g (NH₄)₂SO₄ (bei 104°C getrocknet) auf 1000 mL mit Deionat aufgefüllt. (1 Woche haltbar)

Ammoniumstandardlösung (1 mg NH₄-N/L)

10 mL Stammlösung auf 1000 mL mit Deionat auffüllen. (täglich frisch)

5.3.3.4 Auswertung

Zur Auswertung wird eine Kalibrationskurve erstellt, indem von verschiedenen Konzentrationen einer NH_4 -Standardlösung die Extinktionen gemessen werden. Aus der Extinktion der Probelösung wird anschließend durch Vergleich mit der Eichkurve die Konzentration bestimmt.

Die Angabe des Ergebnisses erfolgt in %TS auf 3 Dezimalstellen unter Berücksichtigung des Wassergehaltes der Probe. Da der Ammoniumgehalt in der Regel sehr gering ist, ist es auch üblich, die Konzentration in ppm TS anzugeben. Dazu sind die %-Werte mit 10.000 zu multiplizieren.

5.3.4 Nitratstickstoff ($\text{NO}_3\text{-N}$)

Zur Ermittlung des Stickstoffs, der als Nitrat vorliegt, wird das Eluat der frischen Laborprobe benötigt (siehe „Frische Laborprobe“). Die Analyse erfolgt photometrisch (DEV D9 DIN 38405 Teil 9).

5.3.4.1 Prinzip

Durch die Reaktion von Nitrat mit 2,6-Dimethylphenol in stark saurer Lösung entsteht eine Rotfärbung. Die Extinktion wird bei einer Wellenlänge von 324nm (UV-Bereich) bestimmt.

5.3.4.2 Durchführung

1 mL Probe (eluierte Festprobe oder Sickerwasserprobe) in einen 25 mL Erlenmeyerkolben pipetieren.

Sehr kleine Spatelspitze Amidosulfonsäure zugeben (Nitrit wird zerstört).

8 mL Säuremischung zugeben und gut vermischen + 1 mL Dimethylphenollösung.

Probe 10 Minuten lang abkühlen lassen.

Bei $\lambda=324\text{nm}$ (Photometer mind. eine Stunde vor Messung einschalten) gegen Säuremischung als Blindwert Extinktion messen.

5.3.4.3 Reagenzien

Säuremischung

Einen Volumenteil H_2SO_4 p.A. 95-97%-ig mit einem Volumenteil H_3PO_4 p.A. mischen.

Dimethylphenollösung

1,2 g 2,6-Dimethylphenol p.A. in einem Liter wasserfreien Eisessig p.A. lösen.

Standardlösung (50 mg $\text{NO}_3\text{-N/L}$)

0,181 g KNO_3 p.A. (bei 105°C getrocknet) mit Deionat auf 500 mL auffüllen.

5.3.4.4 Auswertung

Zur Auswertung wird eine Kalibrationskurve mit einem NO_3 -Standard (KNO_3) analog zur Ammoniumbestimmung erstellt.

Die Angabe des Ergebnisses erfolgt in %TS auf 3 Dezimalstellen genau. Da die Ammonium- und Nitratgehalte in Komposten sehr gering sind, werden bei Reihenuntersuchungen (zwecks Aussage über den Rottefortschritt) die Ergebnisse in mg/kg TS oder ppm TS angegeben.

5.3.5 Leitfähigkeitsmessung

Die elektrische Leitfähigkeit wird aus dem Eluat der luftgetrockneten Laborprobe bestimmt.

10 g der getrockneten, gemahlene Probe werden in eine 250 mL fassende Kunststoffflasche eingewogen und mit 100 mL deionisiertem Wasser aufgefüllt. Die Flasche wird 3 Stunden im Überkopfschüttler eluiert und anschließend filtriert. Dann kann das Eluat mittels Konduktometer (WTW LF 95) auf seine Leitfähigkeit untersucht werden, wobei auf eine Temperaturkompensation von 20°C umgerechnet werden muss. Die Angabe des Ergebnisses erfolgt in mS/cm auf eine Dezimale genau.

5.3.6 pH-Wert



Der pH-Wert wird aus dem Eluat der frischen Laborprobe bestimmt.

Nach jeder Inbetriebnahme des pH-Meters (WTW pH 531) muss eine Kalibration mithilfe der entsprechenden Standardlösungen durchgeführt werden. Die Messung erfolgt durch Eintauchen der Elektrode und des Temperaturmessfühlers in die Probe. Nach wenigen Minuten zeigt sich ein annähernd konstant bleibender Wert, welcher dem pH-Wert des Eluats bei 20°C entspricht. Angabe auf eine Dezimale genau.

Abbildung 57: Abfiltrierung des Eluats und pH-Wert Messung

5.3.7 Glühverlust (GV)

5.3.7.1 Durchführung

Etwa 10 g der getrockneten, gemahlene Analyseprobe werden auf 0,01 g genau in trockene, ausgewogene Porzellantiegel eingebracht. Für die genaue Berechnung aller von der trockenen Probe zu bestimmenden Analysedaten wird der Restwassergehalt durch dreistündiges Trocknen bei 105°C bestimmt.

Die trockenen Proben werden mindestens 5 Stunden bei einer Temperatur knapp unter 550°C im Muffelofen (Nabertherm) verglüht. Um ein Überschreiten der Proben temperatur von 550°C zu vermeiden, werden die Proben 5 Stunden bei etwa 350°C vorverbrannt, um ihren Heizwert zu verbrauchen. Dadurch ist sichergestellt, dass keine Karbonate zerfallen und somit ein höherer Glühverlust vorgetäuscht würde. Das Auswägen der Tiegel erfolgt immer nach Abkühlen im Exsikkator.

5.3.7.2 Auswertung

Der Glühverlust errechnet sich nach der folgenden Formel:

$$GV[\%TS] = \frac{(\text{Einwaage}_{\text{trocken}} - \text{Einwaage}_{\text{verglüht}}) \times 100}{\text{Einwaage}_{\text{trocken}}}$$

Die Angabe des Ergebnisses erfolgt in %TM, unter Berücksichtigung des Restwassergehaltes, auf eine Dezimalstelle genau als Mittelwert aus zwei Wiederholungen. Differieren die beiden Einzelergebnisse um mehr als 2,5% vom Mittelwert, so ist eine dritte Wiederholung erforderlich.

5.3.8 Gesamtorganischer Kohlenstoff (TOC), Gesamtstickstoff (TN) und C/N Verhältnis

Die TOC und TN Bestimmung durch den vollautomatischen C/N Analysator "Vario-Max" setzt eine abgeschlossene Glühverlustbestimmung voraus. Zur Analyse werden die Ausgangsprobe und der Glührückstand benötigt. Der Analysator bestimmt durch einen mehrstufigen Verbrennungsprozess die prozentuellen Anteile von Gesamtkohlenstoff (TC), Gesamtstickstoff (TN) und gesamtanorganische Kohlenstoff (TIC) in den eingewogenen Proben. Setzt man den Gesamtkohlenstoff (TC) und den gesamtanorganischen Kohlenstoff (TIC) in Differenz und bezieht dies auf die Trockensubstanz (TS) so ergibt sich der Gesamtorganische Kohlenstoff (TOC).

$$\text{TOC [\% TS]} = \text{TC} - \text{TIC}$$

Des Weiteren kann der gesamtorganische Kohlenstoff mit dem Gesamtstickstoff in Relation gesetzt werden, man erhält dadurch das C/N Verhältnis (siehe auch Kapitel 3.6.3.7).

5.3.9 Huminstoffe

Für die Extraktion und Fraktionierung von Humin- und Fulvosäuren (modifizierte Methode nach Danneberg) wird die getrocknete und mit einer Scheibenschwingmühle (mit Achateinsatz) gemahlene Probe benötigt.

Die Huminstoffe werden mit einer alkalischen Lösung extrahiert und nach ihrem unterschiedlichen Lösungsverhalten im sauren oder alkalischen Milieu fraktioniert. Das Material wird vier Mal an vier aufeinander folgenden Tagen extrahiert, um eine möglichst vollständige Extraktion der Huminstoffe zu gewährleisten. Die Humin- und Fulvosäurefraktionen werden photometrisch durch Messung der optischen Dichte bei 400 nm bestimmt. Aufgrund der besseren Vergleichbarkeit wird die optische Dichte auf 1 g organische Trockenmasse bezogen. Es ist daher notwendig, den Restwasser- und Organikgehalt der luftgetrockneten Probe zu bestimmen.

6. Ergebnisse und Diskussion

6.1 Temperatur

Bei der Auswertung der gemessenen Temperaturen sind folgende Punkte besonders relevant:

- Zusammenhänge zwischen Außen-, Innen (Kompostrum)- und Komposttemperaturen
- Differenz zwischen Kompost- und Außentemperatur, Einfluss baulicher und betrieblicher Gegebenheiten

6.1.1 Wetterbedingungen im Untersuchungszeitraum

Da es sich bei der Aufzeichnung der Temperaturdaten um Momentaufnahmen eines bestimmten Zeitraumes handelt, ist es sinnvoll diese mit einer langjährigen Temperaturmessreihe zu vergleichen. Da es bei der Bergstation der Raxseilbahn, in ähnlicher Höhenlage wie bei der Gloggnitzer Hütte, etwa fünf Kilometer entfernt, eine Wetterstation der Zentralanstalt für Metrologie und Geodynamik (ZAMG) gibt, können die dort gemessenen Temperatur-Monatsmittelwerte mit den Außentemperaturdaten bei der Gloggnitzer Hütte verglichen werden (siehe Abbildung 58). Die Temperaturmessreihe der ZAMG besteht aus Werten von 1994 bis 2010. Die Temperaturdaten der Gloggnitzer Hütte wurden im Rahmen dieser Masterarbeit von Mitte Oktober 2011 bis Mitte September 2012 gemessen.

Im Vergleich zu der Temperaturmessreihe der ZAMG sind die Monatsmittelwerte bei der Gloggnitzer Hütte etwas ausgeprägter. So war der Februar 2012 um 5°C kälter und der April 2012 um 7°C wärmer als der Durchschnitt der letzten 17 Jahre. Auch die bei der Gloggnitzer Hütte gemessenen Sommertemperaturen lagen um durchschnittlich 2°C höher. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass im beobachteten Zeitraum die Frostperiode um etwa ein Monat kürzer aber dafür kälter und der Sommer um einige Grad wärmer war als in den letzten Jahren. Dies sollte bei allen weiteren Betrachtungen im Hinterkopf behalten werden.

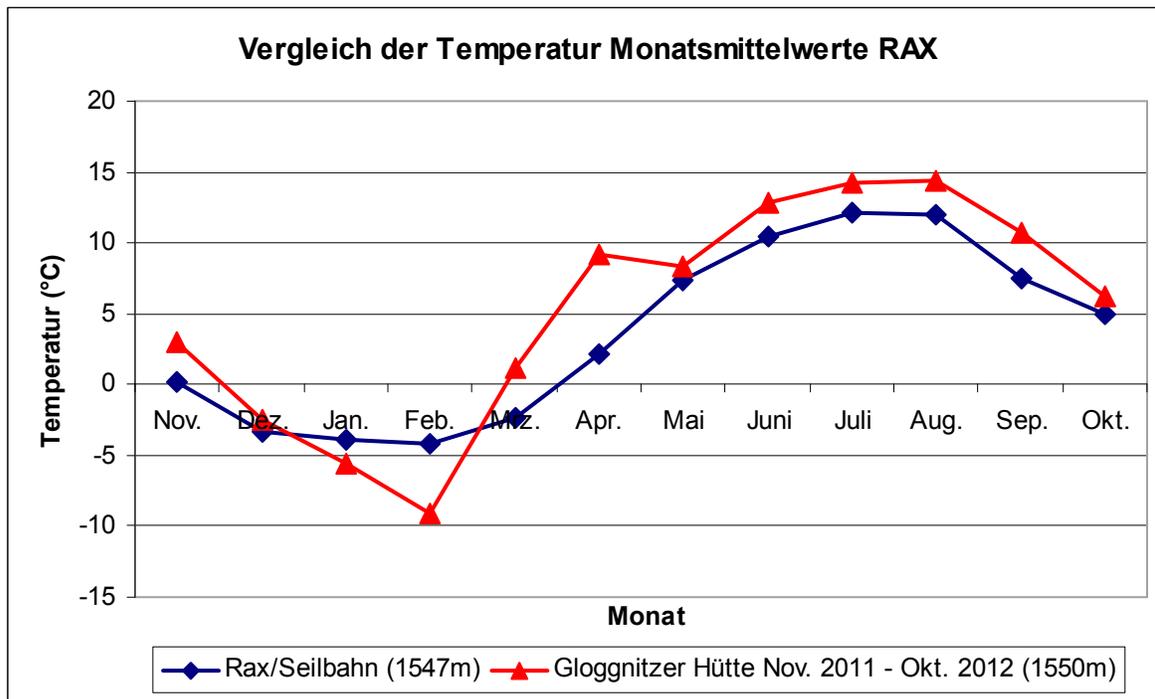


Abbildung 58: Vergleich der Temperatur Monatsmittelwerte der Rax/Seilbahn (Reihe 1994 - 2010), Quelle: ZAMG, 2012 mit eigener Messung auf der Gloggnitzer Hütte, November 2011 - Oktober 2012

6.1.2 Gloggnitzer Hütte

In nachfolgender Grafik (Abbildung 59) sind die halbstündlich gemessenen Werte der Außen-, Innenraum- und Komposttemperatur dargestellt. Die Aufzeichnungen der Außen- und Innenraumtemperatur beginnen am 9. Oktober 2011, die des Kompostsensors am 12. November 2011. Am 3. November 2012 wurden die Temperatursensoren das letzte Mal ausgelesen. Die Zeiträume, welche in den darauf folgenden Abbildungen als typische Sommer- bzw. Winterwoche gezeigt werden, sind mit roten Rechtecken auf der X-Achse des Diagramms markiert.

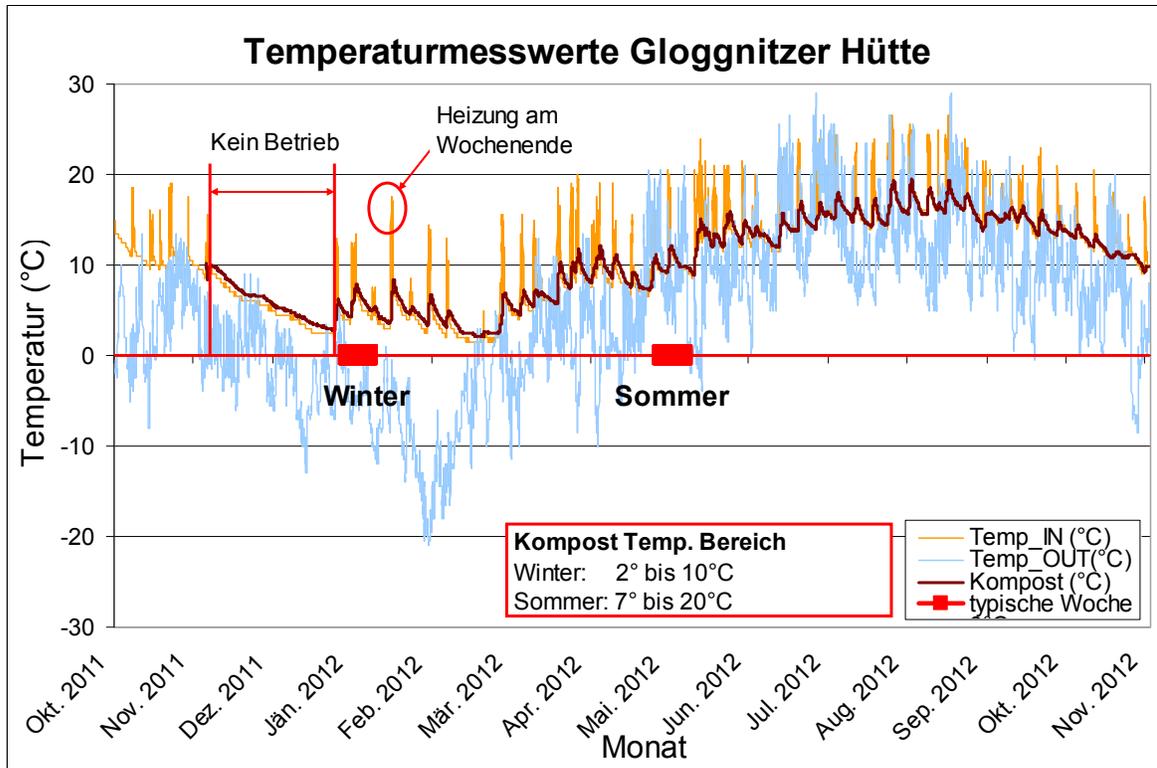


Abbildung 59: Temperaturmesswerte Gloggnitzer Hütte

Die Temperaturverläufe in Abbildung 59 zeigen deutlich, dass die Innenraum- und Komposttemperaturen der Außenlufttemperatur zwar tendenziell folgen, aber besonders im Winter kein starker Zusammenhang besteht. So besteht zum Beispiel im Februar eine Temperaturdifferenz von bis zu 25°C zwischen der Außen- und der Komposttemperatur. Dies ist vor allem durch bauliche Gegebenheiten bedingt. Der erste Faktor ist, dass die Komposttoilette der Gloggnitzer Hütte im 2011 errichteten Hüttenzubau und die Rottebox in dessen Keller untergebracht sind, wodurch die Innenraumwärme länger gespeichert wird. Der zweite für die Temperatur entscheidende Faktor ist der im Keller eingebaute Heizkörper, der durch den holzbeheizten Küchenherd betrieben wird (siehe Schemaskizze Abbildung 35). Der Betrieb des Herds erfolgt jedes Wochenende, wodurch die Spitzen der Innenraum- und in gedämpfter Form die der Komposttemperatur erklärbar sind. Auch die dreiwöchige Betriebspause von Mitte November bis Anfang Dezember 2011, die eine Abkühlung des Komposts von 10°C auf 3°C nach sich zieht, ist deutlich in Abbildung 59 zu erkennen. Zu erwähnen ist auch, dass die Komposttemperatur nie unter 0°C fällt, der Kompost also während des Winters nicht durchfriert. Das ist wichtig, da die Mikroorganismen in einem geschlossenen Rottesystem keine Möglichkeit haben, sich in tiefere, frostfreie Bodenschichten zurückzuziehen, wie sie das in der Natur machen würden, um bei Kälte zu überdauern. Deshalb ist ein frostfreier Winterbetrieb für eine

störungsfreie Rotte und somit für die Umsetzungsgeschwindigkeit der Kompostierung sehr bedeutend.

In einem Zeitraum von fünf Monaten, zwischen 22.12.2011 und 22.05.2012, war bei der Gloggnitzer Hütte an 66% der Tage die Komposttemperatur über 5°C. Dies entspricht in etwa dem Prozentsatz an Tagen, an welchen die Mikroorganismen aktiv waren.

Um die täglichen Temperaturschwankungen bei verschiedenen Jahreszeiten deutlicher erkennen zu können, sind in den folgenden zwei Abbildungen (Abbildung 60 und Abbildung 61) die Verläufe einer typische Woche im Winter und einer typische Woche im Sommer dargestellt. Die beiden Wochen sind in Abbildung 59 rot markiert.

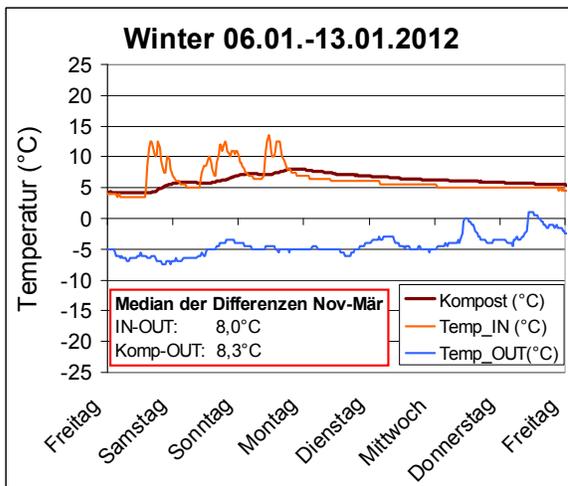


Abbildung 60: Temperaturverlauf Gloggnitzer Hütte in einer typischen Winterwoche.

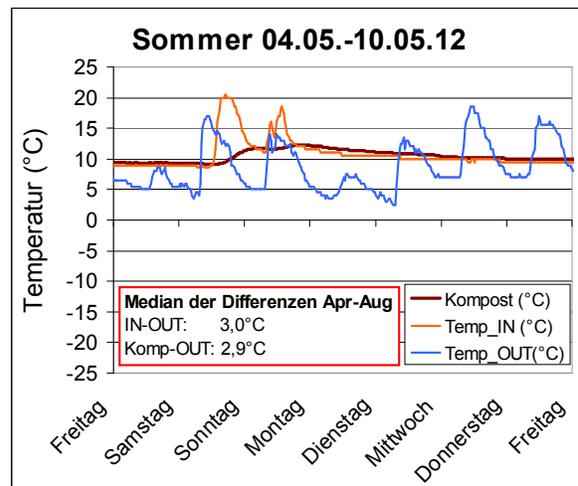


Abbildung 61: Temperaturverlauf Gloggnitzer Hütte in einer typischen Sommerwoche.

In der betrachteten Woche im Winter sind die drei Temperaturspitzen der Innenraumtemperatur am Freitag, Samstag und Sonntag durch den holzbefeuerten Küchenherd bedingt. Die Komposttemperatur steigt deshalb innerhalb des Wochenendes um 3,7°C an und sinkt im weiteren Wochenverlauf wieder langsam um 2,4°C ab. Der Einfluss der Außenlufttemperatur oder des Solarluftkollektors, der bei Sonnenschein warme Luft in den Innenraum bläst, ist nicht eindeutig zu erkennen.

In der typischen Woche im Sommer (Abbildung 61) ist das Temperaturniveau des Komposts um 5°C und das der Außenlufttemperatur um 15°C höher als in der typischen Woche im Winter (Abbildung 60). In dieser Woche im Sommer wurde die Hütte nur Samstag und Sonntag beheizt, welches an den beiden Innenraumtemperaturspitzen ersichtlich ist und für den Anstieg der Komposttemperatur um 3°C verantwortlich ist. Die Schwankungen im Tagesgang der Außentemperatur betragen an manchen Tagen bis zu 12°C, welches darauf schließen lässt, dass es sich dabei um Tagen mit Sonnenschein gehandelt hat. Bei Sonnenschein ist der Solarluftkollektor aktiv und bläst warme Luft in den Innenraum. Der Effekt des Solarluftkollektors auf die Innenraumtemperatur und in weiterer Folge auf die Komposttemperatur ist in der Grafik allerdings nicht zu erkennen. Das große Raumvolumen und die Entfernung des Solarluftkollektorauslassstutzens von etwa einem Meter zur Kompostbox sind mögliche Gründe dafür.

6.1.3 Hübelwiese

Nachfolgende Grafik (Abbildung 62) zeigt die halbstündlich gemessenen Werte der Außen-, Innenraum- und Komposttemperatur. Die dargestellten Aufzeichnungen beginnen am 8. November 2011 und enden am 8. November 2012. Zu beachten gilt, dass auch hier auf der X-Achse des Diagramms die Zeiträume einer typische Woche in Winter und einer im Sommer, welche in den darauf folgenden Abbildungen gezeigt werden, mit einem roten Rechteck markiert sind.

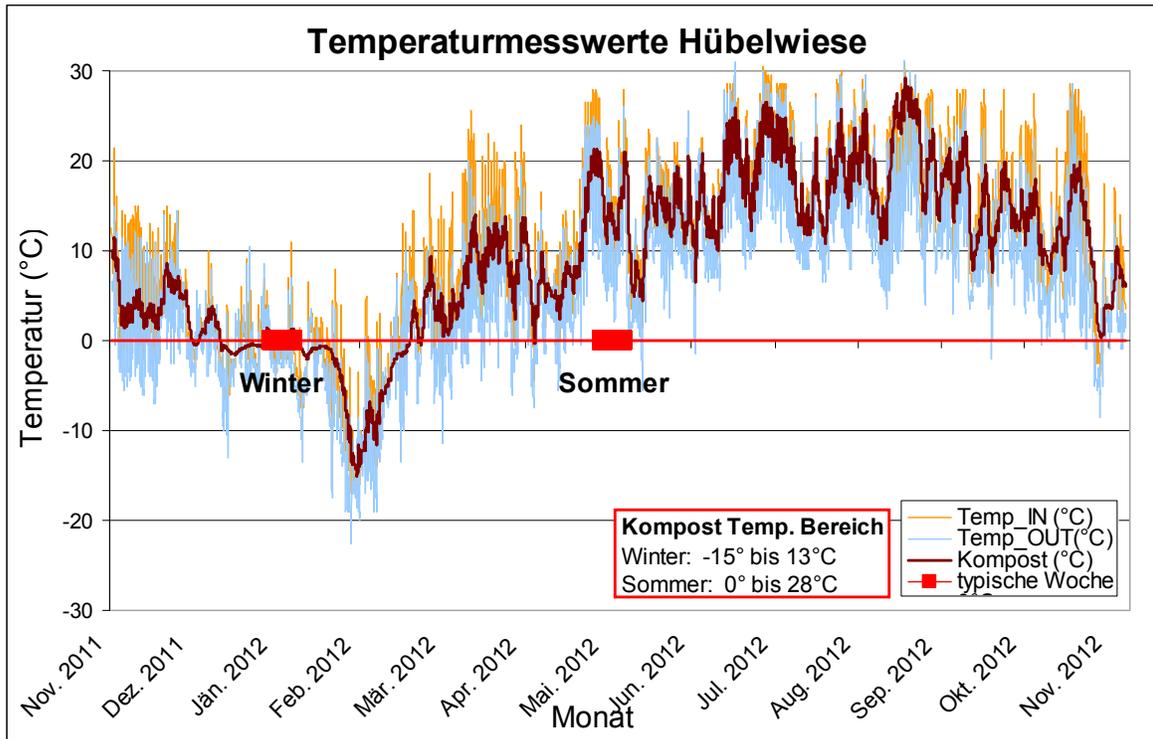


Abbildung 62: Temperaturmesswerte Hübelwiese

Im Gegensatz zur Gloggnitzer Hütte sind die Unterschiede zwischen Innen-, Außen- und Komposttemperatur bei der Hübelwiese sehr klein. So folgen die Innenraum- und auch die Komposttemperatur, in abgedämpfter Form, ziemlich genau dem Verlauf der Außentemperatur. Der Grund dafür ist, dass die Komposttoilette in einem einzelstehenden Toilettengebäude untergebracht ist, das nur durch einen Solarluftkollektor beheizt ist. Trotz der Wärmedämmung des Gebäudes kommt es zu einem raschen Energieverlust durch die Wände und die Lüftung. Wie in Abbildung 62 zu sehen ist, bleibt der Kompost bis auf kurze Ausnahmen von Mitte Dezember bis Ende Februar gefroren. In diesem Zeitraum wird kein Material umgesetzt. Erst bei etwa + 5°C Komposttemperatur kommt der Prozess langsam wieder in Gang, sofern alle weiteren Parameter für die Kompostierung gegeben sind. Zwischen 22.12.2011 und 22.05.2012 liegen 44% aller Tage oberhalb dieser 5°C Grenze. Im Sommer erreicht der Kompost an heißen Tagen Temperaturen von bis zu 28°C.

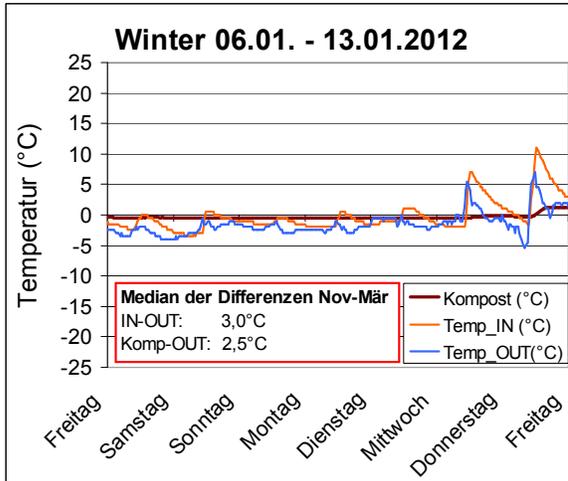


Abbildung 63: Temperaturverlauf Hübelwiese in einer typischen Winterwoche.

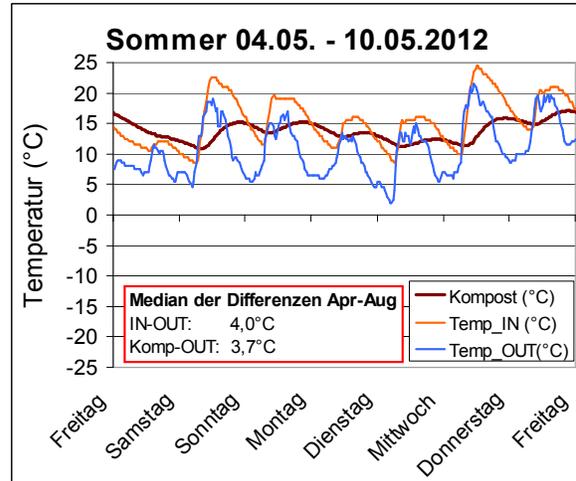


Abbildung 64: Temperaturverlauf Hübelwiese in einer typischen Sommerwoche.

Wie in Abbildung 63 zu sehen ist, bleibt die Komposttemperatur in einer typischen Winterwoche bis Ende der Woche konstant. Nachdem es in dieser Woche im Innenraum am Donnerstag eine Temperaturspitze von 7°C und am Freitag von 11°C gab, reagierte die Komposttemperatur mit einem Tag Verzögerung mit einer Erhöhung um 1,8°C. Die Erwärmung ist auf einen Anstieg der Außentemperatur und den Einfluss des Solarluftkollektors zurückzuführen. Der Solarkollektor bläst Warmluft etwa einen Meter oberhalb der Kompostbox in den Raum. Aufgrund der Dämmwirkung der Kunststoff-Kompostbox wird die Wärmeenergie nur langsam und in gedämpfter Form an den Kompost weitergeleitet. So ist die mittlere Differenz zwischen der Außen- und der Komposttemperatur im Winter 2,5°C (Abbildung 63) und im Sommer 3,7°C (Abbildung 64).

Der Kompost schwankt in der ausgewählten Woche im Sommer zwischen 11°C und 17°C, wobei die Spitze der Komposttemperatur der Innenraumtemperaturspitze um etwa 7 Stunden verzögert auftritt.

Vergleicht man nun die Temperaturkurven der Hübelwiese mit denen des Solarkomposters bei der Klostertaler Umwelthütte (Abbildung 26 auf Seite 28) kann festgestellt werden, dass die Komposttemperaturen trotz vergleichbarer Außentemperaturen bei der Hübelwiese deutlich tiefer liegen als bei der Klostertaler Umwelthütte. Da bei beiden Kompostiereinrichtungen ein Solarluftkollektor eingesetzt wird, kann dieser erhebliche Temperaturunterschied zum größten Teil auf bauliche Unterschiede zurückgeführt werden. So wird der Rotteraum im Solarkomposter direkt beheizt, indem ein perforiertes Rohr durch den Kompost führt. Im Gegensatz dazu wird bei der Hübelwiese die Umgebung der Rottebox erwärmt, wodurch nur einer kleiner Teil der Energie tatsächlich beim Kompost ankommt. Daraus lässt sich schließen, dass die Warmluft des Solarkollektors bei der Komposttoilette auf der Hübelwiese weniger effizient als beim Solarkomposter auf der Klostertaler Umwelthütte eingesetzt wird.

6.1.4 Rieshütte

Bei der Rieshütte beginnen die Aufzeichnungen der halbstündlich gemessenen Außen-, Innenraum- und Komposttemperaturendaten aus terminlichen Gründen erst am 21. Dezember 2011 und enden am 13. Dezember 2012 (Abbildung 65). Jeweils eine typische Sommer-/ bzw. Winterwoche, ist mit einem roten Rechteck auf der X-Achse des Diagramms markiert.

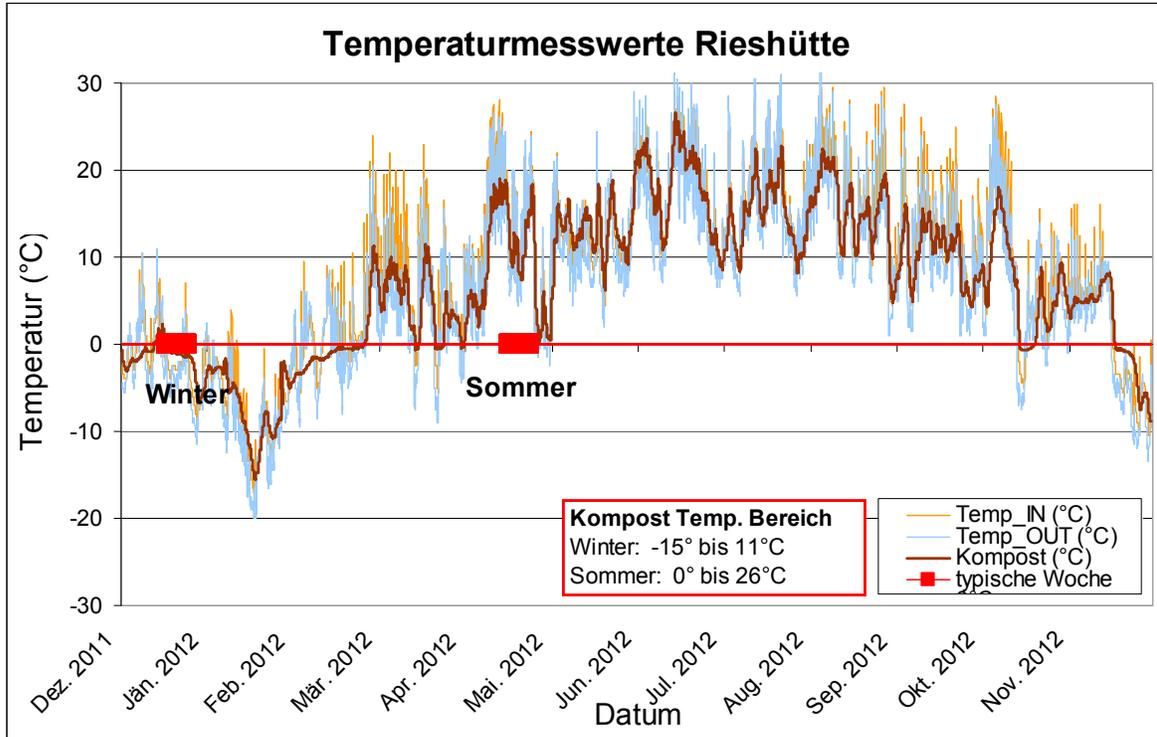


Abbildung 65: Temperaturmesswerte Rieshütte

Die Temperaturverläufe sind insgesamt etwas niedriger als die der Hübelwiese, ähneln ihnen aber in ihrer Ausprägung sehr stark. Das tiefere Temperaturniveau der Außentemperatur von etwa 0,5°C ist durch die etwa 200 Meter höhere Lage der Rieshütte bedingt. Die um durchschnittlich 2,3°C tieferen Innenraum- und Komposttemperaturen lassen sich topografisch erklären. Die Rieshütte liegt auf einen Kamm, welcher sehr windexponiert ist und das Toilettengebäude dadurch zusätzlich abgekühlt wird. Außerdem ist die Sonnenexposition des Solarluftkollektors durch die Lage auf dem Richtung Osten abfallenden Kamm und der Abschattung durch andere Gebirgstteile am Nachmittag etwas kürzer als bei der Hübelwiese. So liegt der Anteil an Tagen, zwischen 22.12.2011 und 22.05.2012, an denen die Komposttemperatur über +5°C gelegen hat nur bei 28%.

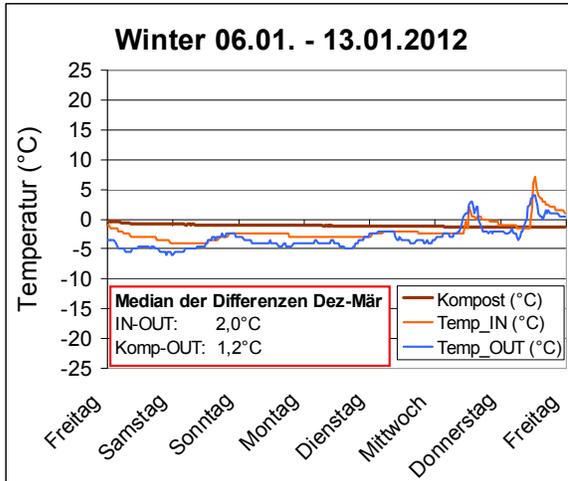


Abbildung 66: Temperaturverlauf Rieshütte in einer typischen Winterwoche.

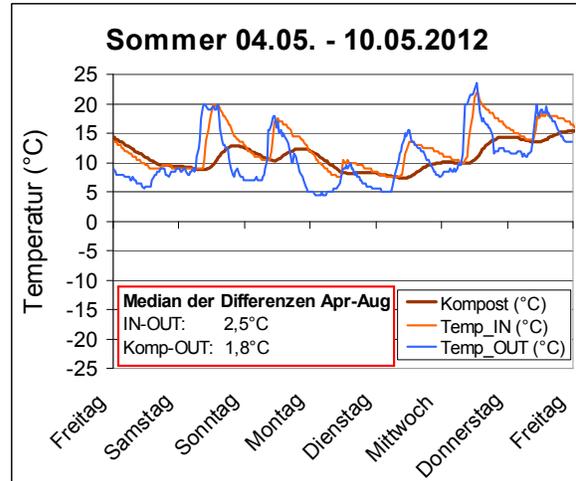


Abbildung 67: Temperaturverlauf Rieshütte in einer typischen Sommerwoche.

Die mittleren Differenzen zwischen der Kompost- und der Außenlufttemperatur sind mit 1,2°C im Winter (Abbildung 66) und 1,8°C im Sommer (Abbildung 67) gering. So ist in der typischen Winterwoche selbst am zweiten Tag an dem eine Erhöhung der Innenraumtemperatur in den Plusbereich stattgefunden hat, keine Auswirkung auf die Komposttemperatur feststellbar (Abbildung 66). In der ausgewählten Woche im Sommer schwankt die Temperatur des Komposts zwischen 7°C und 15°C, wobei gleich wie bei der Hübelwiese die Spitze der Komposttemperatur der Innenraumtemperaturspitze um etwa 7 Stunden hinterherläuft.

Aufgrund der baugleichen Ausführung der beiden Komposttoiletten bei der Hübelwiese und der Rieshütte gelten dieselben Überlegungen, welche auch in Punkt 6.1.3 aufgeführt sind. Die optimale Nutzung der Solarluftkollektorwärme ist auch hier nicht gegeben.

6.1.5 Voisthaler Hütte

Die Aufzeichnungen der Außenlufttemperatur und der Temperatur innerhalb des Hüttenzubaus in dem die Kompostkübel gelagert werden beginnt mit 18. Oktober 2011 und enden mit 12. September bzw. 24. Oktober 2012 (siehe Abbildung 68). Die Komposttemperatur wurde nicht aufgezeichnet, da zum Zeitpunkt der ersten Begehung der Kompostsensor noch nicht verfügbar war und im Anschluss daran die Hütte über den Winter geschlossen war. Aufgrund der Funktionsweise der Trockentoilette bei der die Behälter nur zur Sammlung der Fäkalien dienen, bevor sie den Hüttenhang hinunter geschüttet werden, ist eine Messung der Komposttemperatur auch nicht aussagekräftig. Wie bei den vorherigen Temperaturmessdaten ist jeweils eine typische Sommer-/ bzw. Winterwoche mit einem roten Rechteck auf der X-Achse des Diagramms markiert.

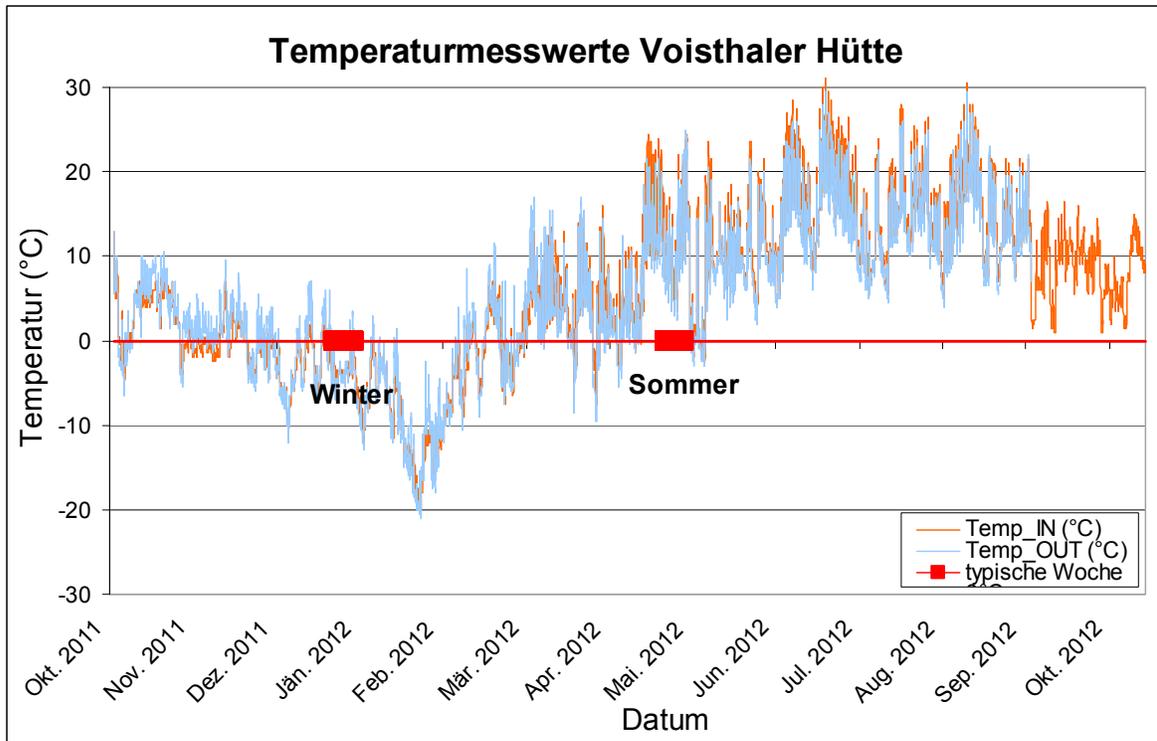


Abbildung 68: Temperaturmesswerte Voisthaler Hütte

Die ersten Frostperioden treten aufgrund der Höhenlage von 1660 Metern über Adria schon ab Beginn der Aufzeichnung gegen Ende Oktober 2011 auf. Danach bewegen sich die Temperaturen den Winter durchgehend um den Gefrierpunkt herum. Im Februar 2012 sinken sowohl die Außentemperaturen als auch die Temperaturen im Hüttenzubau auf -20°C . Ab März 2012 steigt zwar das Temperaturniveau etwas an, es kommt aber immer noch häufig zu kurzen Frostperioden.

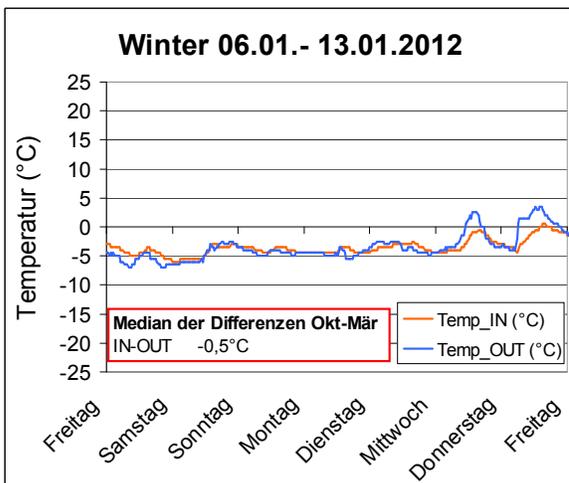


Abbildung 69: Temperaturverlauf Voisthaler Hütte in einer typischen Winterwoche..

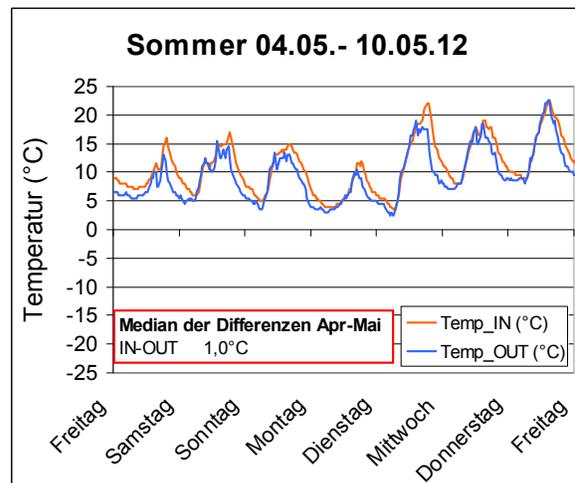


Abbildung 70: Temperaturverlauf Voisthaler Hütte in einer typischen Sommerwoche.

Da die Wände des Hüttenzubaus aus einfachen Brettern bestehen und keine zusätzliche Dämmung oder Heizung vorhanden sind, besteht kaum Unterschied zwischen der Innenraum- und der Außenlufttemperatur. Im Mittel ist die Differenz der Innen- zur Außentemperatur im Winter $-0,5^{\circ}\text{C}$ (Abbildung 69) und im Sommer 1°C (Abbildung 70). Die Komposttemperatur

wurde nicht gemessen, aber aufgrund der kleinen Kompostgesamtmenge, welche im Winter anfällt, ist anzunehmen, dass es zumindest in diesem Zeitraum zu keiner biogenen Erwärmung kommt. Vermutlich wird sich die Komposttemperatur in gedämpfter Form und etwas zeitverzögert nahezu ident der Innenraumtemperatur verhalten. Im Sommer könnte es zu einer geringfügigen biogenen Erwärmung des Komposts kommen. Aufgrund der im Sommer gemessenen geringen durchschnittlichen Innenraumtemperatur von 8°C würde diese aber kaum messbar sein. Die wichtigste Funktion des Hüttenzubaus besteht also in der Lagerung und dem Schutz der Kompostkübel vor Wind und Regen. Die Reststoffe aus den geleerten Kompostbehältern, welche teilweise einer Vorrotte unterzogen wurden, werden einen steilen Hang hinter der Hütte hinuntergekippt. Dieses Material ist somit der Witterung frei ausgesetzt. Es ist anzunehmen, dass die Kompostierung aufgrund der lang anhaltenden Kälteperioden und der häufigen Frost-Tau-Wechsel, nur sehr langsam abläuft. Eine Fassung von möglicherweise entstehenden Kompostsickerwassers ist nicht vorhanden.

6.2 Kompostanalysen

Im Abstand von zwei bis drei Monaten wurden von den Komposttoiletten der Gloggnitzer Hütte, Hübelwiese und Rieshütte Proben entnommen und analysiert. Insgesamt waren es sechs Proben bei der Gloggnitzer Hütte und jeweils vier bei der Hübelwiese und der Rieshütte (Probenahmeplan siehe Kapitel 5.2).

Da es bei der Trockentoilette auf der Voisthaler Hütte kein geordnetes Kompostiersystem gibt, wurden dort keine Kompostproben entnommen.

6.2.1 Struktur

Die Struktur des Komposts wird wesentlich durch die Zuschlagsstoffe (siehe auch Kapitel 3.6.4.2) den Wassergehalt und sein Rottestadium bestimmt. Durch das Eigengewicht und das allmählich nach unten sickende Wasser weist der Kompost in den unteren Bereichen meist eine höhere Lagerungsdichte verbunden mit einem höheren Wassergehalt auf. Besonders bei einem hohen Wassergehalt ist deshalb ein Auflockern (Belüftungssystem Berger, siehe Abbildung 19) und das Einbringen von zusätzlichem Strukturmaterial sinnvoll.

Die folgenden Fotos zeigen Kompostproben derselben Toilette von Ende Mai und Mitte August. Der Rottefortschritt nach diesem Zeitraum lässt sich auch optisch gut erkennen.



Abbildung 71: Kompostprobe 036/1-4, Gloggnitzer Hütte 26.05.2012



Abbildung 72: Kompostprobe 036/1-5, Gloggnitzer Hütte 09.09.2012

Bei beiden Kompostproben aus der Nachrottekammer der Gloggnitzer Hütte (Abbildung 71 und Abbildung 72) sind keine Reste von Fäzes oder Toilettenpapier zu erkennen. Da von den wechselnden Hüttenbewirtschaftern ab und zu Heu in die Nachrotte gemischt wird, sind einzelne Grashalme auf beiden Bildern zu sehen. Die Oberflächen der Probe vom 26. Mai (Abbildung 71) glänzen und die Konsistenz ist breiig. Das lässt auf einen hohen Wassergehalt schließen.

Dagegen wirkt die Oberfläche der Probe vom 15. August (Abbildung 72) matt und der Kompost erinnert in seiner Erscheinung an erdiges Material.



Abbildung 73: Kompostprobe 036/2-2, Hübelwiese
29.05.2012



Abbildung 74: Kompostprobe 036/2-3, Hübelwiese
14.08.2012

In der Probe vom 29. März (Abbildung 73) der Hübelwiese sind deutlich mit Pilzhyphen überzogene Fäzes, Toilettenpapier und unzersetzte Rindenteile zu erkennen. Im Gegensatz dazu sind Fäzes und Toilettenpapier bei der Probe vom 14. August (Abbildung 74) nicht mehr sichtbar, grobe Teile des Rindenmulchs allerdings schon. Die Konsistenz beider Proben ist krümelig welches auf einen geringen Wassergehalt schließen lässt.



Abbildung 75: Kompostprobe 036/3-2, Rieshütte
24.05.2012



Abbildung 76: Kompostprobe 0/363-3, Rieshütte
15.08.2012

Optisch ist zwischen den beiden Proben der Rieshütte vom 24. Mai und 15. August ein eindeutiger Unterschied zu erkennen. Im Mai (Abbildung 75) ist noch deutlich mit Fäkalien verklebtes Stroh in einem nur sehr leicht angerotteten Zustand zu erkennen. Dahingegen ist in der Kompostprobe vom August (Abbildung 76) schon eine gänzlich andere Zusammensetzung und eine schwarze Färbung des Materials, die von Humusstoffen verursacht wird, sichtbar. Die Konsistenz der Probe vom August ist allerdings sehr breiig welches auf einen hohen Wassergehalt schließen lässt.

6.2.2 Wassergehalt, Anorganik- und Organikgehalt, Glühverlust

In Tabelle 5 sind die Analyseergebnisse des Wassergehalts und des Glühverlusts sowie die daraus berechneten Anorganik- und Organikgehalte aufgelistet. Die sich darunter befindlichen Grafiken (Abbildung 77) illustrieren die zeitlichen Verläufe der Feststoffverteilungen in den Kompostproben.

Tabelle 5: Wasser-, Anorganik-, Organikgehalt und Glühverlust der einzelnen Kompostproben.

	Probenr.	Datum	Wasser- %	Anorganik- %	Organikgehalt %	GV %
Gloggnitzer Hütte	036/1-1	12.11.11	72,7	6,8	20,4	74,9
	036/1-2	22.01.12	74,0	7,0	19,0	73
	036/1-3	09.04.12	69,8	9,0	21,2	70,2
	036/1-4	26.05.12	72,0	7,0	21,0	74,9
	036/1-5	09.09.12	68,1	10,2	21,7	68,1
	036/1-6	03.11.12	71,1	7,3	21,6	74,7
Hübelwiese	036/2-1	05.02.12	19,2	8,6	72,2	89,3
	036/2-2	29.05.12	13,2	9,3	77,5	89,3
	036/2-3	14.08.12	65,1	3,3	31,6	90,6
	036/2-4	08.11.12	59,6	3,4	37	91,6
Rieshütte	036/3-1	30.03.12	70,9	2,8	26,2	90,4
	036/3-2	24.05.12	75,8	3,3	20,9	86,5
	036/3-3	15.08.12	74,8	4,8	20,4	81,1
	036/3-4	13.12.12	35,8	9,2	54,9	85,6

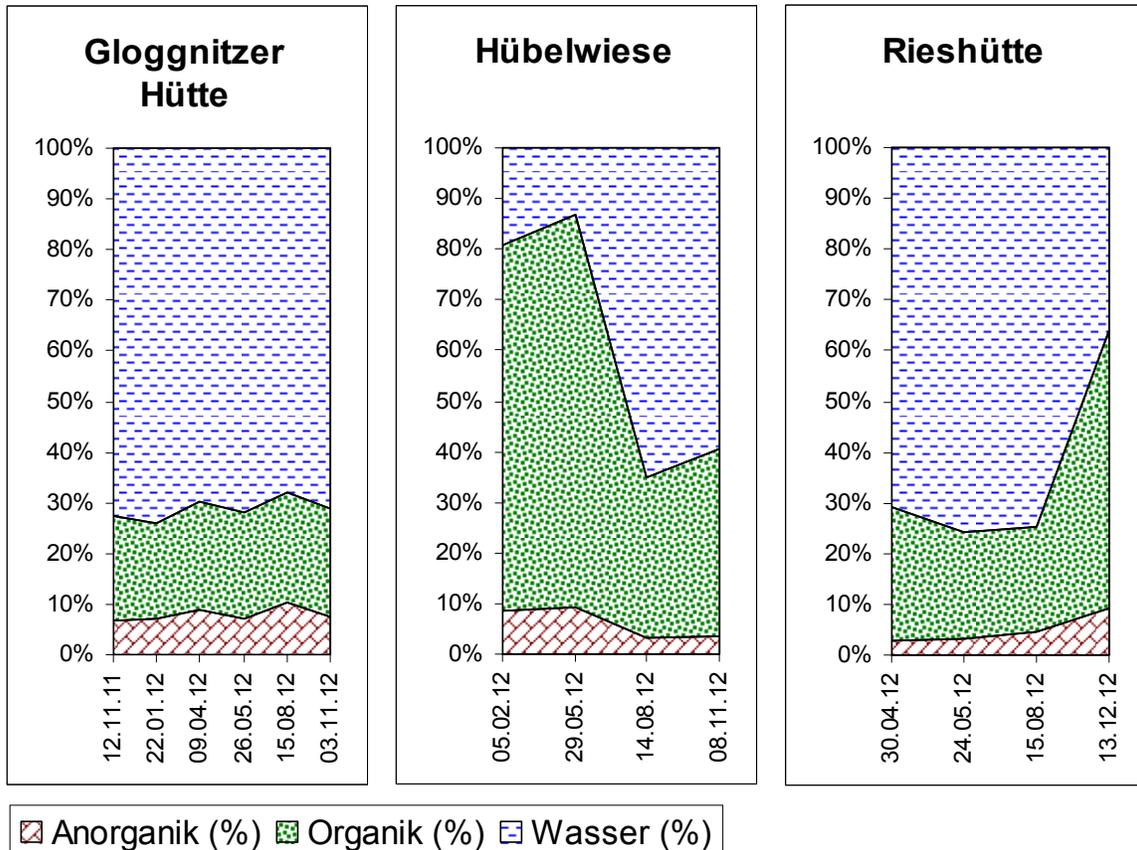


Abbildung 77: Anorganik, Organik und Wassergehalt

Bei einem Wassergehalt über 70% kann es zu Sauerstoffmangel im Rottematerial und somit zur anaeroben Gärung kommen, unter 10% gilt der Kompost als trockenstabilisiert.

Die bei der Gloggnitzer Hütte entnommenen Proben stammen aus der Nachrottekammer. Während des gesamten Probenzyklus ist somit von außen keine Flüssigkeit hinzugekommen. Lediglich durch den Zersetzungsprozess entstehendes Wasser kann zu einer geringfügigen Erhöhung des Wassergehaltes geführt haben. Nachdem im Oktober 2012 der Inhalt der Nachrottebox in einen Jutesack überführt wurde, welcher direkt neben die Komposttoilette im Keller platziert wurde, stammt die letzte Probe aus diesem. Wie in Tabelle 5 und Abbildung 77 zu sehen ist, schwankt der Wassergehalt der Kompostproben der Gloggnitzer Hütte zwischen 68% und 75%. Es ist ein kein wirklicher Trend zu einer Abnahme des Wassergehalts im Rotteverlauf zu erkennen. Generell ist zu beobachten, dass das Kompostmaterial in der Nachrottekammer in den obersten 10-15cm wesentlich trockener ist als in der darunter liegenden Schicht. Aufgrund der guten Nitrifikation (siehe nachfolgendes Kapitel) ist laut BINNER (2012) die Sauerstoffversorgung trotz des hohen Wassergehaltes beim Nachrottekompostmaterial der Gloggnitzer Hütte ausreichend gegeben. Eine anaerobe Gärung kann aber in gewissen Bereichen dennoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Die Kompostproben der Hübelwiese stammen aus der Hauptrottekammer. Das Kompostmaterial der Hübelwiese war aufgrund von mangelndem Urineintrag bei den Begehungen im Februar und Mai 2012 mit 19,2% und 13,2% Wassergehalt nahezu trockenstabilisiert. Ab Juni 2012 wurde von Herrn Brettenthaler¹ im Abstand von etwa zwei Wochen ein Kübel Wasser im Bereich des Fallrohres über den Kompost geleert. Danach wurde im August und November 2012 jeweils eine Kompostprobe aus einer tieferen Schicht direkt unterhalb der Toilettenöffnung gezogen. Es war eine deutlich verbesserte Struktur (siehe Kapitel 6.2.1) und humoser Geruch feststellbar, was vor allem auf den dann im Optimalbereich liegenden Wassergehalts von 60 - 65% zurückzuführen ist. Das umliegende Material war noch in einem sehr unverrotteten Zustand mit einer vergleichbaren Struktur wie in Abbildung 73. Der Grund dafür ist, dass das Wasser aus dem Kübel nur das Material unterhalb der Toilettenöffnung befeuchten konnte, nicht aber das umliegende Material. Um ein homogeneres Rotteergebnis zu erzielen, muss die Verteilung der zugefügten Flüssigkeit verbessert werden.

Wie bei der Hübelwiese stammen die Kompostproben der Rieshütte aus der Hauptrottekammer der Berger-Komposttoilette. Abgesehen von der letztgenommenen Probe schwankt der Wassergehalt zwischen 71% und 76%, was knapp oberhalb der aeroben Grenze von 70% liegt. Der Kompost kann deshalb in gewissen Bereichen anaerob gären, was vermutlich auch zu dem von Herrn Gerhard Paul² im Juli und August beobachteten Massenaufreten der kleinen Stubenfliege (*Fannia canicularis*) im Toilettenraum geführt hat. Da im beobachteten Zeitraum eher ein Anstieg des Feuchtigkeitsgehalts im Kompostmaterial festzustellen ist, kann angenommen werden, dass ohne entsprechenden Maßnahmen, wie ein verringerter Urineintrag oder eine vermehrte Zugabe von Zuschlagsstoffen, keine raschere Rotte eintreten wird. Der geringe Wassergehalt von 36% in der Probe vom 13.12.12 ist vor allem auf den Entnahmeort zurückzuführen. So konnte die Probe, aufgrund des gefrorenen Zustands der Kompostmasse, nur im Bereich nahe der Nachrottekammer gezogen werden. Dieses Material wird erstens schlecht durchfeuchtet weil es sich nicht direkt unter der Toilettenöffnung befindet und zweitens aufgrund von Gefrietrocknung zusätzlich entwässert.

Der Glühverlust (GV) ist der organische Anteil der ofentrockenen Probe, welcher bei 550°C verglüht (siehe Kapitel 5.3.7). Er ist ein Indikator für den Mineralisierungsgrad des Komposts und sollte im Verlauf der Rotte sinken. Der bei der Verglühung übrig gebliebene Rest ist der anorganische Anteil der Kompostprobe. So können aus den Kenntnissen des Wassergehalts und des Glühverlusts der organische und der anorganische Anteil an der Gesamtprobe ausgewiesen werden (Abbildung 77).

¹ Mitarbeiter der MA 49: Forstamt und Landwirtschaftsbetrieb der Stadt Wien

² Vorsitzender der Sektion Burgenland des Österreichischen Alpenvereins

Bei der Gloggnitzer Hütte ist der Glühverlust mit 68% zwar noch recht hoch, es ist aber im beobachteten Zeitraum ein leichter Abwärtstrend erkennbar. Innerhalb von 9 Monaten ist der Glühverlust um knapp 7% gesunken. Die Probe vom 3.11.12 stammt von dem Material welches aus der Nachrottekammer in einen Jutesack geräumt wurde. Dabei wurde Heu untergemischt, wodurch der Glühverlust wieder angestiegen ist. Bei der Rieshütte lässt sich sogar ein Absinken des Glühverlusts von knapp 9% in einem Zeitraum von viereinhalb Monaten feststellen, wobei er am 15.08.12 absolut gesehen mit 81% noch sehr hoch gelegen ist. Der sprunghafte Anstieg des Glühverlustes bei der letzten Probe vom 13.12.12 ist, wie schon beim Wassergehalt erwähnt, auf den Entnahmeort zurückzuführen. So war der Anteil an unverrotteten Zuschlagstoffen größer welche zu der Erhöhung des Glühverlusts geführt haben. Bei der Hübelwiese ist der Glühverlust konstant auf hohem Niveau von etwa 90%, was trotz der augenscheinlich verbesserten Kompoststruktur auf einen geringen Mineralisierungsgrad schließen lässt.

6.2.3 Ammonium- / Nitratstickstoff

Tabelle 6 zeigt die Analyseergebnisse für Ammonium- und Nitratstickstoff, das daraus berechnete Verhältnis und den Gesamtstickstoff. Die sich darunter befindlichen Grafiken (Abbildung 78) stellen die zeitlichen Verläufe des Ammonium- und Nitratstickstoffs dar.

Tabelle 6: Ammonium- (NH₄-N) und Nitratstickstoff (NO₃-N) der einzelnen Kompostproben.

Probenr.	Datum	Ammonium-	Nitrat-	NO ₃ -/	Gesamt-	
		stickstoff	stickstoff	NH ₄ -N-		stickstoff
		NH ₄ -N	NO ₃ -N	Verhältnis	N	
		mg/l bzw. mg/kg TM	mg/l bzw. mg/kg TM	-	% TM	
Gloggnitzer Hütte	036/1-1	12.11.11	1475,9	616,3	0,4	2,2
	036/1-2	22.01.12	562,0	423,2	0,8	1,9
	036/1-3	09.04.12	625,0	2195,6	3,5	2,3
	036/1-4	26.05.12	196,3	2370,5	12,1	2,0
	036/1-5	09.09.12	41,7	2556,5	61,3	-
	036/1-6	03.11.12	46,1	2237,7	48,6	-
Hübelwiese	036/2-1	05.02.12	1513,5	13,9	0,009	3,0
	036/2-2	29.05.12	1449,9	91,8	0,063	3,2
	036/2-3	14.08.12	2489,0	272,9	0,110	-
	036/2-4	08.11.12	1943,9	728,6	0,375	-
Rieshütte	036/3-1	30.03.12	6634,6	563,2	0,085	3,0
	036/3-2	24.05.12	5494,6	318,7	0,058	3,3
	036/3-3	15.08.12	3674,0	116,8	0,032	-
	036/3-4	13.12.12	2017,0	223,8	0,111	-

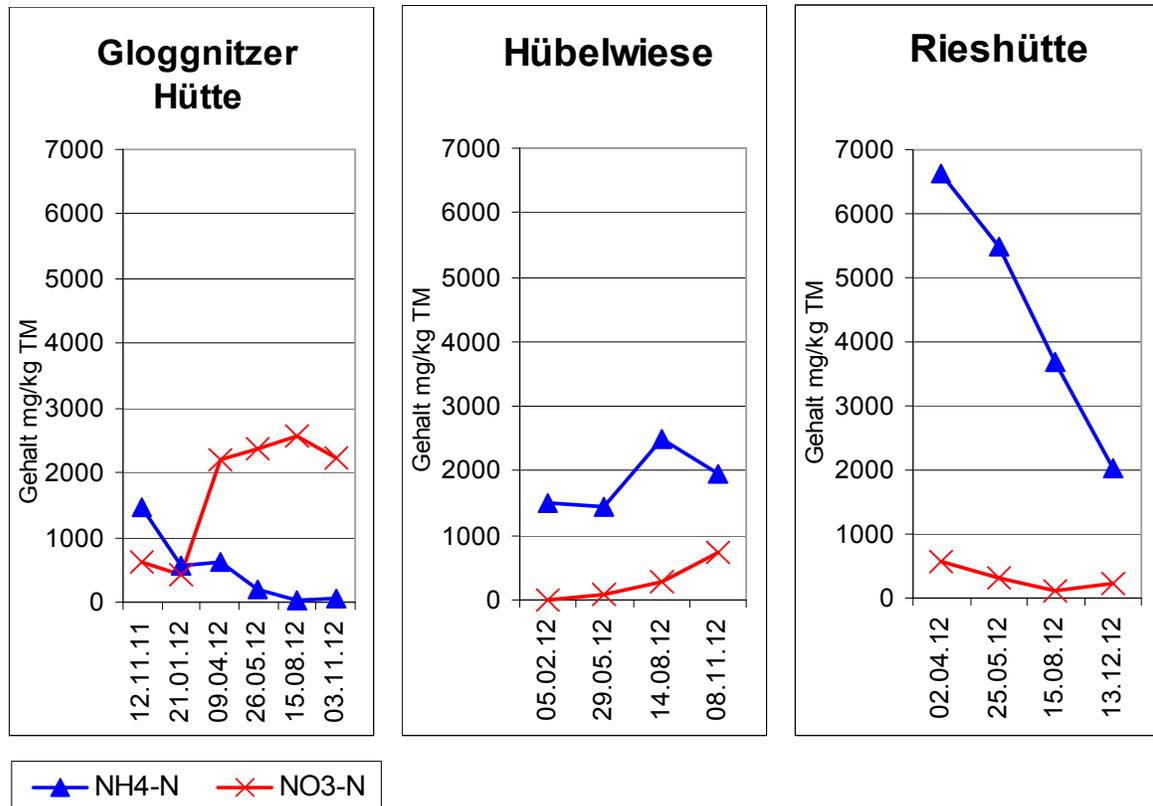


Abbildung 78: Ammonium- (NH₄-N) und Nitratstickstoff (NO₃-N) im Laufe der Kompostierung.

Bei den grafischen Darstellungen (Abbildung 78) des Ammonium- und Nitratstickstoffgehalts aller drei beprobten Komposttoiletten ist nur bei der Gloggnitzer Hütte ein charakteristischer Verlauf feststellbar. So ist der Ammoniumgehalt, welcher bei den ersten Probenahmen auf der Gloggnitzer Hütte im November 2011 schon vergleichsweise gering war, nach etwa einem Jahr nur noch minimal. Der gleichzeitige Umbau in Nitratstickstoff ist ein Beweis dafür, dass nitrifizierende und somit aerob arbeitende Bakterien aktiv sind. Um als reifer Kompost zu gelten, müsste der Nitratgehalt allerdings auf etwa 250-500 mg/kg TM sinken, wobei das gewünschte NO₃-N/ NH₄-N-Verhältnis von >20 schon erfüllt wäre (FUCHS, 2005). Außerdem sollte ein Gesamtstickstoffgehalt von 1,5% TM angepeilt werden, was auch noch nicht ganz erreicht wurde. Von den letzten beiden Proben stehen die Ergebnisse der Gesamtstickstoffanalyse noch aus.

Bei der Hübelwiese ist bei den ersten drei Proben eine Zunahme von sowohl Ammonium- als auch Nitratstickstoff feststellbar. Das lässt sich auf das inhomogene Kompostmaterial zurückführen, wodurch es aufgrund der kleinen Probegröße zu Unregelmäßigkeiten bei den Analyseergebnissen kommt. Bei der letzten Probe vom 8.11.12 ist allerdings schon ein leichter Anstieg des Nitratstickstoffs und eine Abnahme des Ammoniumstickstoffs feststellbar was auf eine leicht vorangeschrittene Rotte hindeutet.

Bei der Rieshütte ist eine Abnahme des Ammoniumstickstoffs auf etwa ein Drittel des bei der ersten Probe ermittelten Werts festzustellen. Absolut betrachtet ist der letztgemessene Wert mit 2.017 mg/kg TM allerdings noch sehr hoch, was auf eine noch nicht sehr weit fortgeschrittene Rotte schließen lässt. Das könnte eine Auswirkung des zu hohen Wassergehalts sein, welcher eine ausreichende Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen unterbindet. Auch der Nitratgehalt hat sich deutlich verringert, was für das frühe Rottestadium anormal ist und auf eine Ausgasung in Form von Ammoniak schließen lässt.

Sowohl bei der Hübelwiese als auch bei der Rieshütte sind die Verhältnisse von Nitrat- zu Ammoniumstickstoff viel zu gering (Sollwert >20) und der Gesamtstickstoff zu hoch (Sollwert <1,5% TM).

6.2.4 Leitfähigkeit und pH-Wert

In nachfolgende Tabelle sind die mit dem pH-Meter ermittelten pH-Werte und die mit dem Konduktometer gemessenen Leitfähigkeiten der Eluate der Kompostproben aufgelistet.

Tabelle 7: Elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert

	Probenr.	Datum	pH-Wert	Leitfähigkeit
			-	mS/cm
Gloggnitzer Hütte	036/1-1	12.11.11	7,86	6,18
	036/1-2	22.01.12	7,46	5,97
	036/1-3	09.04.12	8,27	5,43
	036/1-4	26.05.12	7,08	5,88
	036/1-5	09.09.12	6,82	8,81
	036/1-6	03.11.12	6,28	- ¹
Hübelwiese	036/2-1	05.02.12	7,26	4,02
	036/2-2	29.05.12	7,23	3,71
	036/2-3	14.08.12	8,54	4,76
	036/2-4	08.11.12	6,54	4,36
Rieshütte	036/3-1	30.03.12	7,79	6,57
	036/3-2	24.05.12	8,02	6,69
	036/3-3	15.08.12	8,22	7,95
	036/3-4	13.12.12	7,25	7,30

Der pH-Wert befindet sich bei fast allen Proben der drei untersuchten Komposttoiletten im alkalischen Bereich. Weil es sich bei der Kompostierungsart um eine Kaltrotte handelt (siehe auch Kapitel 3.6.2), kann der pH-Wert Verlauf nicht unmittelbar mit der charakteristischen pH-Wert-Kurve (Abbildung 5), die bei einer Heißrotte eintritt, verglichen werden. Bakterien sind sehr wichtig bei der Kompostierung, sie leisten 80% - 90% des Abbaus. Ihr pH-Wert-Optimum liegt im neutralen bis leicht alkalischen Bereich (KRANERT, CORD-LANDWEHR, 2010). Daraus kann geschlossen werden, dass die Milieubedingungen bei den analysierten Kompostproben aus Sicht des pH-Werts gut sind.

Bei einem pH-Wert über 7,5 und hohen Ammonium- bzw. Nitratgehalten wird Stickstoff in Form von Ammoniak an die Umgebung abgegeben. Diese Bedingungen waren bei der Gloggnitzer Hütte bei den ersten drei, bei der Hübelwiese bei der vorletzten und bei der Rieshütte bei den ersten drei Proben gegeben.

Mittels der elektrischen Leitfähigkeit kann eine Aussage über den Salzgehalt im Kompost getroffen werden. Bei Reifekomposten liegt sie zwischen 2 und 4 mS/cm. Da der Großteil des vom Menschen aufgenommenen Salzes über den Urin ausgeschieden wird, ist die elektrische Leitfähigkeit bei der Hübelwiese, welche nur einen geringen Urineintrag hat, mit durchschnittlich 4,2 mS/cm etwas niedriger als bei den beiden anderen Hütten. Bei den Komposttoiletten der Gloggnitzer und der Rieshütte fallen viel mehr Urin an, wodurch die Leitfähigkeit annähernd 9 mS/cm erreicht. Auf den Kompostierungsprozess selbst hat ein leicht erhöhter Salzgehalt keine hemmende Wirkung. Sofern das Salz nicht durch das Sickerwasser ausgewaschen wird, ist eine steigende Leitfähigkeit ein Indiz für den erfolgreichen Abbau organischer Substanz. Bei allen drei Hütten ist ein leicht ansteigender Trend der elektrischen Leitfähigkeit feststellbar.

¹ Probenumfang zu gering um Leitfähigkeit zu ermitteln

6.2.5 Kohlenstoff und C/N-Verhältnis

Tabelle 8 zeigt die mit dem vollautomatischen C/N Analysator "Vario-Max" ermittelten Gehalte des Gesamtorganischen- (TOC) und des Gesamtanorganischen Kohlenstoffs (TIC). Der prozentuelle Anteil des Gesamtkohlenstoffs (TC) an der Trockenmasse (TM) der Kompostprobe wird aus der Summe des TOC und des TIC gebildet. Weiters wird noch das aus dem Gesamtkohlenstoff und dem Gesamtstickstoff (Tabelle 6) berechnete C/N-Verhältnis angegeben, sowie der Anteil an Kalziumcarbonat (CaCO₃) in den Kompostproben.

Tabelle 8: Kohlenstoff und C/N-Verhältnis

	Probenr.	Datum	TOC % TM	TIC % TM	TC % TM	CaCO ₃ % TM	C/N -
Gloggnitzer Hütte	036/1-1	12.11.11	40,3	0,2	40,5	1,7	19
	036/1-2	22.01.12	40,6	0,2	40,8	1,4	21
	036/1-3	09.04.12	37,5	0,2	37,7	2,0	16
	036/1-4	26.05.12	40,3	0,2	40,5	1,5	20
Hübelwiese	036/2-1	05.02.12	51,6	0,1	51,7	0,7	17
	036/2-2	29.05.12	52,1	0,1	52,2	0,8	16
Rieshütte	036/3-1	30.03.12	52,3	0,0	52,4	0,3	18
	036/3-2	24.05.12	50,6	0,0	50,6	0,2	15

Die Ermittlung des Kohlenstoffgehaltes der letzten beiden Probenahmerunden ist noch nicht erfolgt.

Mit zunehmender Rotte sollte der organische Anteil sinken, da neben Umbau auch Abbauprozesse stattfinden (Mineralisierung). Der anorganische Anteil, sowie der Anteil von Kalziumcarbonat (CaCO₃) sollten mit der Zeit ansteigen. Bei den Proben der drei Komposttoiletten (Tabelle 8) sind diese charakteristischen Zu- und Abnahmen nicht ersichtlich. Dies ist vermutlich auf eine sehr kleine Probengröße und Inhomogenitäten im beprobten Material zurückzuführen.

Ein günstiges C/N (Kohlenstoff/Stickstoff) -Verhältnis ist zu Beginn zwischen 30 und 40 und nimmt im Verlauf der Rotte ab. Das Optimum liegt zwischen 20 und 25 (BINNER, 2012). Bei der Hübelwiese und der Rieshütte ist dieser abnehmende Trend erkennbar, die Optimalwerte des C/N-Verhältnisses werden aber mit 16 bzw. 15 unterschritten. Da es aber erst unterhalb von etwa 10 zu einer Prozessverlangsamung kommt, sind die Werte nicht dramatisch. Eine vermehrte Zugabe oder eine nachträgliche Untermischung von Zuschlagsstoffen könnte diese Problematik entschärfen und zu einem besseren C/N Verhältnis beitragen.

Bei der Gloggnitzer Hütte wurde jeweils nach den Probenamen aus der Nachrottebox Heu mit der Kompostmasse vermengt. Dies hat vermutlich dazu beigetragen, dass sich das C/N Verhältnis nicht verringert hat und ein gutes Nährstoffverhältnis für die vorhandenen Mikroorganismen vorhanden war.

6.2.6 Huminstoffe

In Tabelle 9 sind die bei der Analyse ermittelten Werte der Fulvosäure (FS) und Huminsäure (HS) dargestellt. Die Spalte FS + HS gibt die Summe der beiden Säuren an. Abbildung 79 zeigt den zeitlichen Verlauf beider Säuren und ihrer Summe. Die Huminstoffanalyse wurde nur von Proben der Gloggnitzer Hütte durchgeführt da es sich um Material aus der Nachrottekammer handelt, welches üblicherweise um einiges höhere Huminstoffgehalte zeigt als Frischmaterial.

Tabelle 9: Huminstoffanteile in den Kompostproben.

	Probenr.	Datum	Huminsäuren optische Dichten (OD 400)/g oTM		
			FS + HS	FS (Fulvosäure)	HS (Huminsäure)
Gloggnitzer Hütte	036/1-1	12.11.11	309,5	90,4	219,1
	036/1-2	22.01.12	365,8	94,8	271,1
	036/1-3	09.04.12	434,1	100,7	333,5
	036/1-4	26.05.12	327,4	83,2	244,3

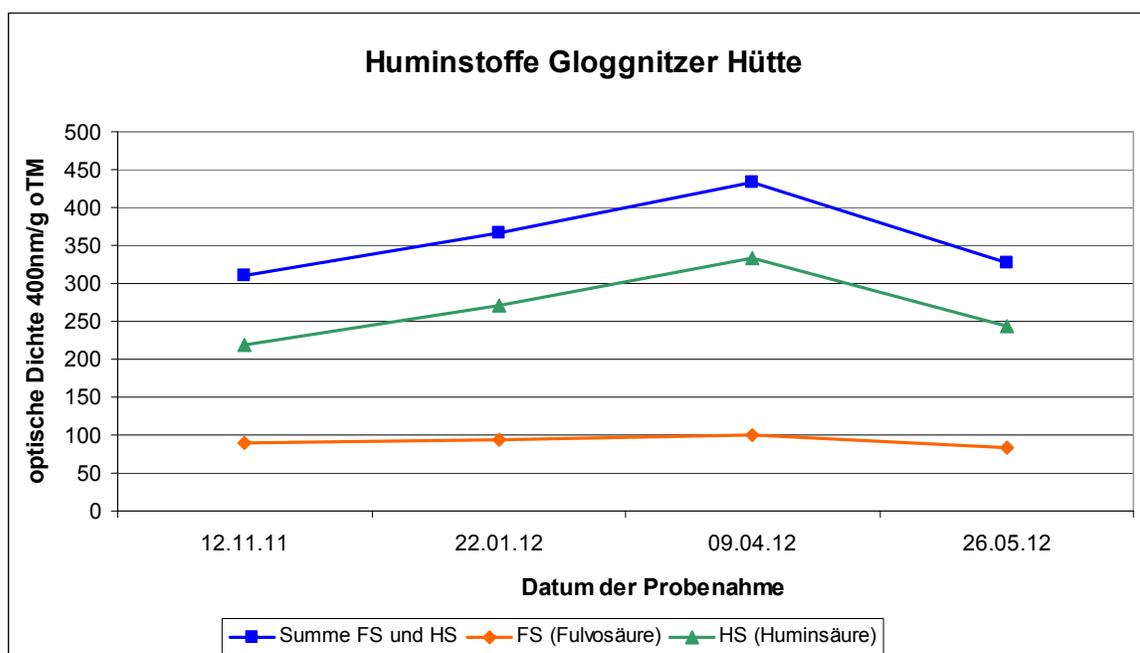


Abbildung 79: Huminstoffe Gloggnitzer Hütte

Die Proben vom 15.08.12 und 3.11.12 wurden aufgrund des sehr aufwendigen Analyseverfahrens und der geringen Aussagekraft nicht auf ihren Huminstoffgehalt analysiert.

Eine Umrechnung der optischen Dichte auf % TM ist schwierig, da hierzu eine sehr langwierige Kalibrierung notwendig ist, welche den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde.

Wie aus Tabelle 9 und Abbildung 79 hervorgeht, ist es im Zeitraum zwischen 12.11.11 und 26.05.12 kaum zu Huminstoffaufbau gekommen. Dies resultiert hauptsächlich daraus, dass sich Huminstoffe erst ab 50°C gut aufbauen aber die Komposttemperatur nicht über 20°C gestiegen ist. Daraus kann geschlossen werden, dass bei der Kompostierung im Gebirge nicht mit einem relevanten Abbau von Huminstoffen gerechnet werden kann.

6.3 Zusammenfassende Betrachtung

Bei der Analyse der Temperaturdaten hat sich gezeigt, dass der Kompost innerhalb des Gebäudes (bestenfalls auch beheizt wie bei Gloggnitzer Hütte) im Winter ein deutlich höheres Temperaturniveau erreicht als bei einzeln stehenden Toilettengebäuden (Rieshütte und Hübelwiese) oder bei einem unbeheizten Hüttenzubau (Voisthaler Hütte) (siehe Abbildung 80). Dadurch kann das Material im Winter weiter umgesetzt werden, da es nicht durchfriert und der Zeitraum mit einer Komposttemperatur über 5°C (Mindesttemperatur der Umsetzung) wesentlich länger ist.

Wie auch in Abbildung 80 zu sehen ist, kann sich im Sommer der Vorteil umkehren, welcher die Lage der Kompostbox im Keller eines Gebäudes (Gloggnitzer Hütte) bringt. Trotz Heizung geht viel Wärme über die Raumluft an die Wände verloren, was zu einer relativ konstanten aber gedämpften Komposttemperatur führt.

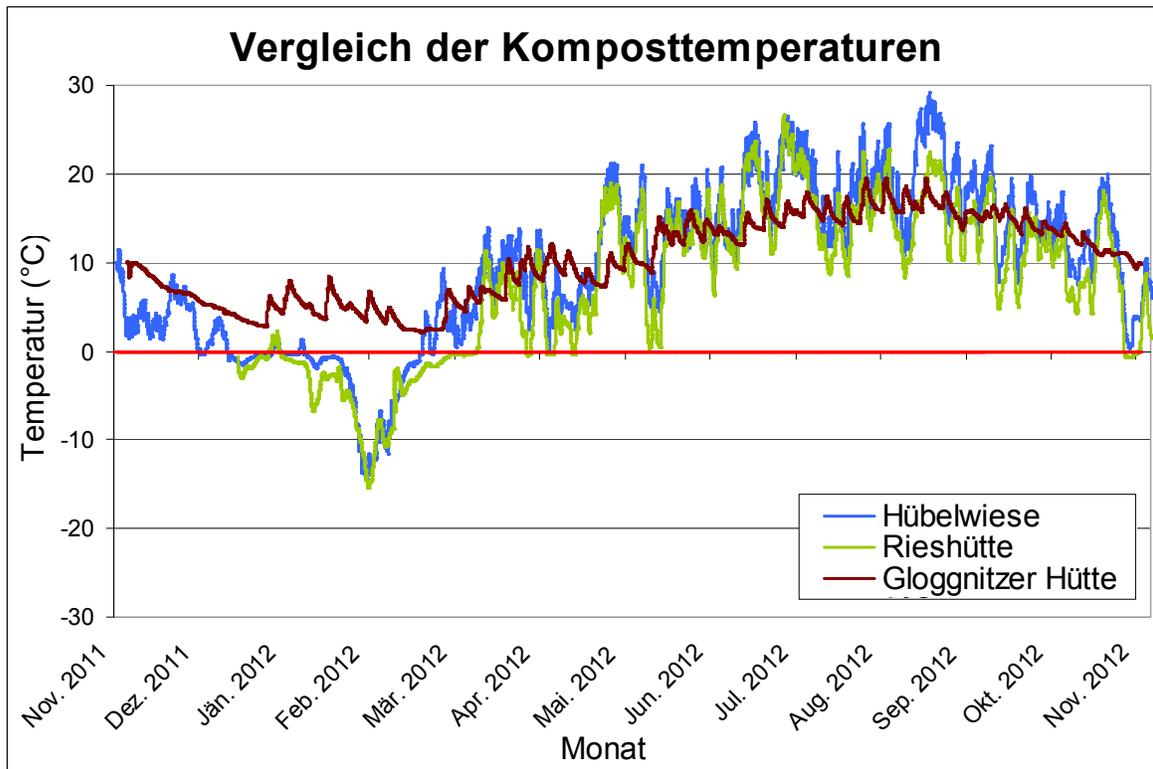


Abbildung 80: Vergleich der Komposttemperaturen von Gloggnitzer Hütte, Rieshütte und Hübelwiese

Weiters hat sich gezeigt, dass die maximale Komposttemperatur bei keiner der untersuchten Hütten auch nur annähernd 55°C bzw. 65°C erreicht hat, so wie es in der Kompostverordnung für eine ausreichende Hygienisierung gefordert wird. Da die Kompostierungszeit bei den Komposttoiletten mit dem System Berger (Gloggnitzer, Rieshütte und Hübelwiese) aber mindestens drei Jahre beträgt, ist von einer Hygienisierung durch Nahrungskonkurrenz und der antibiotischen Wirkung von Pilzen auszugehen (vergleiche dazu Kapitel 3.6.2). Eine bakteriologische Untersuchung vor der Ausbringung des Komposts im Freiland ist aber auf jeden Fall im Zuge weiterer Untersuchungen zu empfehlen, um diese Annahme zu bestätigen. Bei der Voisthaler Hütte ist davon auszugehen, dass es vor der Ausbringung des Komposts im Freiland zu keiner Hygienisierung weder im Sinne der Kompostverordnung noch aufgrund Nahrungskonkurrenz und antibiotischen Wirkung von Pilzen kommt, da das Rottematerial dafür viel zu kurz gelagert wird (durchschnittlich 7 Wochen) und keine geordnete Kompostierung erfolgt.

In einem Zeitraum von fünf Monaten, zwischen 22.12.2011 und 22.05.2012, kann die Anzahl der Tage mit Komposttemperaturen über 5°C, bei der Gloggnitzer Hütte, der Hübelwiese und der

Ergebnisse und Diskussion

Rieshütte, miteinander verglichen werden. Aufgrund der Heizung schneidet die Gloggnitzer Hütte mit 66% der Tage über 5°C am besten ab. Im Mittelfeld liegt die Hübelwiese mit 44%, worauf dann die Rieshütte mit 28% folgt. Der Unterschied zwischen den baugleichen Komposttoiletten der beiden letztgenannten Hütten resultiert aus einer etwa 200 Meter höheren Lage der Rieshütte und einer etwas kürzeren Besonnungsdauer des Solarluftkollektors.

Der Solarluftkollektor zeigt mit einer Temperaturerhöhung des Komposts von etwa 1,2°C bis 3,7°C gegenüber der Außentemperatur einen geringen Einfluss auf die Kompostierung. Dies ist vor allem auf bauliche Gegebenheiten zurückzuführen. Der Warmluftstrom des Solarluftkollektors wird in das Toilettengebäude eingeblasen, dabei kann die Wärme entweder rasch durch die Außenwände der Toilette entweichen (Hübelwiese und Rieshütte) oder ist bei großem Raumvolumen (Gloggnitzer Hütte) unwirksam. Bei der Hübelwiese und der Rieshütte kommt es aufgrund des Solarluftkollektors zu einer Erhöhung der Innenraumtemperatur zwischen 2°C und 4°C gegenüber der Außentemperatur. Eine Beheizung des Toilettenraums ist vor allem im Winter interessant. Gerade dann ist aber die Erwärmung mit 2°C bis 2,5°C am geringsten und somit für den Benutzer kaum wahrnehmbar.

Die folgende Tabelle zeigt Durchschnittswerte der Ergebnisse der Kompostanalysen nach dem Ampelsystem farblich gekennzeichnet, wobei Grün dem Normalbereich entspricht. Die Werte für den angegebenen Normalbereich stammen von Experten bzw. aus der Literatur. Bei der Voisthaler Hütte wurden keine Kompostproben entnommen, da es sich um kein kontinuierliches, geordnetes Kompostiersystem handelt.

Tabelle 10: Durchschnittliche Laborergebnisse. Markierungen: Grün: innerhalb des Normalbereichs; Gelb: leicht von Normalbereich abweichend; Rot: Stark von Normalbereich abweichend.

	Normalbereich			Gloggnitzer	Hübelwiese	Rieshütte
	von	bis	Quelle			
Wassergehalt [%]	30	70	¹	71	39	73
pH-Wert	6	8	¹	7,5	7,7	8
Leitfähigkeit [mS/cm]	2	4	²	6,5	4,2	7
TOC [% TM]	12	30	³	40	52	51,5
ges. Stickstoff [% TM]	1	2	²	2,1	3,1	3,1
C/N	20	30	¹	19	16,5	16,5
Nitrat-N/Ammonium-N	1	20	⁴	16	0,06	0,06

Bei der Gloggnitzer Hütte ist an den relativ guten Ergebnissen und besonders deutlich am Verhältnis des Nitrats zum Ammonium ersichtlich, dass die Rotte gut verläuft und somit keine Änderungen im Bezug auf Feuchtigkeit und Zuschlagsstoffe erforderlich sind (Wassergehalt und Sauerstoffversorgung ausgeglichen).

Die Hübelwiese zeigte zu Beginn der Untersuchung einen deutlich zu niedrigen Wassergehalt, bei dem keine Kompostierung mehr möglich war. Durch regelmäßige, geringe Wasserzugaben haben sich die Rottebedingungen in manchen Bereichen deutlich verbessert, wobei die Verteilung des Wassers noch auf den gesamten Kompost erweitert werden sollte.

Bei der Rieshütte sind die Voraussetzungen für eine funktionierende Kompostierung aus chemisch/physikalischer Sicht gegeben. Aufgrund des sehr niedrigen Temperaturniveaus und des etwas zu hohen Wassergehalts ist die Rotte noch nicht sehr weit fortgeschritten, deutlich sichtbar am Verhältnis des Nitrats zum Ammonium.

¹ BERGER, LORENZ-LADENER, 2008

² BINNER, 2012

³ ÖNORM S2200 und BINNER, 2012

⁴ FUCHS, 2005

6.4 Optimierungsmöglichkeiten

Die entscheidenden Faktoren für eine funktionierende Kompostierung in kalten Klimaten sind die Temperatur und der Wassergehalt. Diese gilt es zu optimieren.

6.4.1 Empfehlungen für die untersuchten Objekte

6.4.1.1 Gloggnitzer Hütte

Das Einstreuen von Heu in die Hauptrottekammer durch die Betriebsklappe nach jedem Wochenenddienst sollte beibehalten werden. Ein zusätzliches Untermischen von Heu in den Kompost der Nachrottekammer führt zu einem größeren Porenvolumen und einer Nachlieferung von Kohlenstoff, welcher von den Mikroorganismen benötigt wird. Dies sollte immer dann passieren, wenn kaum mehr Grashalme zu erkennen sind und der Kompost sehr kompakt ist, etwa alle ein bis zwei Monate.

Der Einfluss der Warmluft aus dem Solarluftkollektor auf die Komposttemperatur ist anhand der Temperaturkurven nicht sichtbar (siehe Kapitel 6.1.2). Um die Temperatur im Kompost anzuheben, sollte der Warmluftstrom in die Kompostbox geleitet werden. Diese könnte entweder mittels gelochten Rohren ähnlich wie bei den Solarkompostern erfolgen (siehe Abbildung 24 und Abbildung 25 auf Seite 27) oder zwischen Sickerwasserauffangwanne und gelochtem Kompostboxboden eingeblasen werden. Ein direktes Einblasen in die Hauptrottekammer ist weniger sinnvoll da die Erwärmung nur oberflächlich stattfinden würde und der Unterdruck in der Kompostkammer, welcher die ordnungsgemäße Entlüftung gewährleistet, nicht gesichert wäre.

6.4.1.2 Hübelwiese

Aufgrund der geringen Menge des eingebrachten Urins ist der Wassergehalt im Kompostmaterial viel zu niedrig. Um den Wassergehalt des Kompostmaterials zu erhöhen bedarf es einer regelmäßigen Zugabe von Wasser. Damit das Wasser vom Kompost aufgesaugt wird und nicht sofort in die Drainage rinnt sollte das Wasser sehr langsam über das Rottematerial geleert werden. Eine gute Verteilung des Wassers, auch auf Material welches sich nicht direkt unterhalb der Toilettenöffnung befindet, ist sehr wichtig und deshalb besser mittels Gießkanne durchzuführen. Da zu viel Feuchtigkeit im Kompostmaterial aber kontraproduktiv ist, sollte bei Wahrnehmung eines unangenehmen Geruchs durch anaerobe Gärung die Wassergabe verringert bzw. für eine gewisse Zeit ausgesetzt werden.

Außerdem können zur Anregung der Rotte von trockenstabilisiertem Kompostmaterial neben der Zugabe von Flüssigkeit auch z. B. ein paar Handvoll frischer Rasenschnitt beigemischt werden.

Als Zuschlagsstoffe eignet sich grober Rindenmulch aufgrund einer sehr langen Rottezeit nur bedingt. Besser wäre es, die Rinde feiner zu schreddern oder gleich auf grobe Holzspäne umzusteuern, die sowohl gute Struktur als auch gute Rotteeigenschaften besitzen. Die beiden Zuschlagstoffe könnten aber auch als Mischung oder abwechselnd verwendet werden.

Der Einfluss des Solarluftkollektors ist bei den Temperaturkurven der Hübelwiese zwar sichtbar, mit einer durchschnittlichen Temperaturerhöhung des Komposts von 3°C gegenüber der Außentemperatur aber eher gering. Aus diesem Grund sollte auch hier eine Umleitung des Warmluftstroms erfolgen, so wie schon bei der Gloggnitzer Hütte in Kapitel 6.4.1.1 empfohlen.

6.4.1.3 Rieshütte

Im beobachteten Zeitraum ist es bei dem beprobten Kompostmaterial zu einer Erhöhung des Wassergehalts gekommen. Da ein Wassergehalt von 75% Prozent für eine ordnungsgemäße Kompostierung aber zu hoch ist, sollte die der Flüssigkeitsgehalt durch Zugabe von saugfähigen Zuschlagstoffen, wieder gesenkt werden. Dies würde auch eine Verringerung der fäkalen Kontamination des möglichen Kompostsickerwassers bedeuten, das unterhalb des Toilettengebäudes versickert wird.

Im Bezug auf die Nutzung der Wärme aus dem Solarluftkollektor gilt Ähnliches wie auch schon bei der Gloggnitzer Hütte in Kapitel 6.4.1.1 genannt. Die Temperaturdaten zeigen eine durchschnittliche Temperaturdifferenz von nur 1,5°C zwischen dem Kompost und der Außenluft. Die Erhöhung der Komposttemperatur durch die Einleitung von Warmluft in die Rottebox würde zu einer deutlich rascheren Umsetzung führen.

6.4.1.4 Voisthaler Hütte

Laut Hüttenwirt wird pro Kompostkübel etwa ein Sack Holzspäne benötigt, welcher mittels Materialseilbahn zur Hütte transportiert werden muss. Durchschnittlich sind das 26 Stück pro Jahr. Eine Möglichkeit die anfallende Kompostmenge und den Transportaufwand für die Zuschlagstoffe zu verringern wäre, die Trockentoiletten in Separationstoiletten umzurüsten. Dazu würde lediglich ein Trenneinsatz benötigt um den Urin abzuleiten und permanent mit dem Grauwassertank zu verbinden. Die Fäkalien könnten wie bisher mit den vorhandenen Kompostbehältern gesammelt werden. Zur Behandlung der Reststoffe wären folgende Möglichkeiten denkbar:

- Eine Kompostierung in einem Stufenkomposter (siehe Kapitel 3.7.4.3) welcher unterhalb der Plattform anstelle des Schütthangs errichtet wird.
- Eine Kompostierung in einem bzw. mehreren Solarkompostern (siehe Kapitel 3.7.4.2)
- Ein Abtransport der Fäkalien ins Tal mittels Materialseilbahn

Vorteilhaft wäre in diesem Fall die geringere Keimbelastung der Bodenkörperfilteranlage, welche dann nur noch Grauwasser mit Urin und nicht mehr das kontaminierte Kompostsickerwasser reinigen müsste. Ein Nachteil wäre der etwas höhere Reinigungsaufwand der Toiletten, da Separationstoiletten nur funktionieren, wenn darauf gesessen wird und es dadurch leichter zu Fehlbenutzungen kommen kann. Letztlich müsste eine Variantenstudie durchgeführt werden um die beste und günstigste Lösung zur Nachbehandlung der Reststoffe zu finden.

Wenn die Umrüstung in eine Separationstoilette nicht in Frage kommt, gibt es trotzdem einige Möglichkeiten zur Optimierung des vorhandenen Systems. Zur Verbesserung des Entwässerungsergebnisses sollten die Kompostkübel erst nach den Wintermonaten zu Beginn der Sommersaison entleert werden, um den Effekt einer stattfindenden Gefrierkonditionierung zu nutzen. (UNIBW, 2011b)

Generell ist eine längere Lagerung des Komposts in den Sammelbehältern anzustreben, bevor sie den Hang hinter der Hütte hinuntergeschüttet werden. Aufgrund der beengten Platzverhältnisse im Hüttenzubau könnte die Lagerung einiger Behälter auch unterhalb des auf Pfeilern stehenden Zubaus geschehen. Um diese Behälter besser vor Wind und Wetter zu schützen könnten sie mit luftdurchlässigen aber wasserabweisenden Kompostplanen abgedeckt werden.

6.4.2 Generelle Empfehlungen

6.4.2.1 Wassergehalt

Um anaerobe Bereiche zu vermeiden, sollte der Kompost einmal im Monat mit dem Belüftungsstab oder Ähnlichem aufgelockert werden. Die Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen kann damit erheblich verbessert werden.

Eine Vermischung des meist sehr trockenen Materials aus den Ecken der Kompostbox mit feuchtem Material aus zentraleren unteren Schichten kann sich günstig auf die Kompostierung auswirken. Dabei soll aber darauf geachtet werden, dass frisches Material nicht ganz nach unten befördert wird, da sich dort der Kompost befindet welcher nach einjährigem Aufenthalt in die Nachrottekammer vorgezogen wird. Dadurch könnte unreifes Material in die Nachrotte gelangen

Wie am Wassergehalt des Komposts der Rieshütte zu sehen ist, kann es zu Problemen bei der Bewältigung großer Urinmengen kommen. Wenn möglich ist für Männer ein Trockenurinal vorzusehen. Dieses könnte direkt in das einzelstehende Toilettengebäude eingebaut und zusammen mit dem Kompostsickerwasser versickert oder wenn vorhanden zu einer Abwasserreinigungsanlage geleitet werden.

6.4.2.2 Temperatur

Die Rotteintensität nimmt bis zu einem gewissen Grad mit der Temperatur des Komposts zu. Aus diesem Grund ist eine möglichst hohe Komposttemperatur anzustreben. Um das Temperaturniveau zu erhöhen, könnte die Warmluft aus dem Solar-Luftkollektor durch die Sickerwasserauffangwanne direkt in den Kompost eingeblasen werden. Dies würde auch zu einer erhöhten Verdunstung der überschüssigen Feuchtigkeit im Kompost führen, was besonders bei Toiletten mit hohem Urineintrag wünschenswert wäre. Zusätzlich kann eine Dämmung des Kompostbehälters sinnvoll sein um die in den Kompost eingebrachte Energie länger zu speichern und die Anzahl der Tage mit einer Komposttemperatur unterhalb der kritischen 5°C Grenze zu minimieren.

Bei der Neuerrichtung einer Komposttoilette sollte wenn möglich immer an eine Nutzung der Abwärme der Hütte zur Erhöhung der Komposttemperatur gedacht werden. Anstelle des Solarluftkollektors könnten auch solarbetriebene Heizstäbe eingesetzt werden welche die Wärmeenergie direkt in den Kompost einbringen. Welche der Methoden die Energie am effizientesten an den Kompost weiter gibt, müsste noch ermittelt werden.

6.4.2.3 Zuschlagsstoffe

Um die richtige Art und Menge an Zuschlagsstoffen für eine Komposttoilette zu wählen muss vorher über die Art der Nutzung nachgedacht werden. Bei Berghütten die von Wanderern genutzt werden ist der Anfall von Urin in der Regel groß, welches zu einem hohen Wassergehalt im Kompostmaterial führt, speziell, wenn es keine Urinale gibt. Die Verwendung von besonders saugfähigen Materialien wie Rindenmulch, Holzspäne oder Stroh (vergleiche Kapitel 3.6.4.2) ist dann empfehlenswert. Auch die Menge an benötigten Zuschlagsstoffen steigt damit an. Bei Forst- oder Jagdhütten, welche nur für kurze Aufenthalte genutzt werden und das großteils von Männern, ist der Eintrag von Urin in die Komposttoilette relativ gering. In diesem Fall werden weniger Zuschlagsstoffe benötigt.

In die Hauptrottekammer sollten Zuschlagsstoffe kontinuierlich nach jeder Benutzung in die Toilette geworfen werden. Wenn notwendig sollten vom Hüttenwart zusätzlich strukturreiche Zuschlagsstoffe durch die Manipulationsklappe eingebracht werden. Das ist dann notwendig wenn dem Benutzer Zuschlagsstoffe wie Holzasche oder feine Holzspäne, welche wenig Struktur geben, zur Verfügung stehen.

Ein Untermischen von Zuschlagsstoffen in die Nachrottebox ist für die Rotte förderlich, da die Struktur gelockert und das Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis angehoben wird. Es sollte immer dann erfolgen sobald die strukturgebenden Zuschlagsstoffe kaum noch sichtbar sind und eine Verdichtung der Kompostmasse ersichtlich ist.

6.4.2.4 Sonstiges

Um die Funktionalität der Entlüftung zu gewährleisten muss der Toilettendeckel geschlossen sein. Ein Hinweisschild, ähnlich dem rechts abgebildeten (Abbildung 81), welches auf der Wand hinter der Toilette angebracht wird, könnte helfen den Benutzer daran zu erinnern.

Es ist sinnvoll, einmal im Monat den Kegel unterhalb des Fallrohres mit einem Belüftungsstab zu verteilen und anschließend die Oberfläche zu mulchen. Dabei wird das Kompostmaterial gleichzeitig gelockert belüftet.

**Deckel immer
schließen**

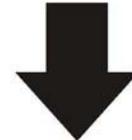


Abbildung 81: Hinweisschild für den Toilettenbenutzer

Der Kompostierungsprozess darf nicht durch aggressive Reinigungs- oder Desinfektionsmittel gestört werden. Zur Reinigung der Toilette sollten deshalb nur Schmierseife und verdünnte Essig- oder Zitronensäure verwendet werden (BERGER, LORENZ-LADENER, 2008).

7. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Ziel dieser Arbeit war es, anhand von vier ausgewählten Komposttoiletten eine Aussage über die Funktion der Fäkalienkompostierung in Extremlagen zu treffen. Weiters sollten Schwachstellen der betrachteten Systeme dokumentiert und Optimierungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

Bei den untersuchten Objekten im Einzugsgebiet der I. und II. Wiener Hochquellenleitung sind drei unterschiedliche Systemanordnungen der Toilettenanlagen zu unterscheiden.

Die Gloggnitzer Hütte hat eine in das Gebäude integrierte Komposttoilette (System Berger). Diese wird beim Wochenendbetrieb durch einen Holzofen mit beheizt. Die Rieshütte und das Objekt Hübelwiese sind mit einzeln stehenden Toilettengebäuden (Komposttoiletten System Berger) ausgestattet. Die Komposttoiletten aller drei genannten Hütten besitzen Solar-Luftkollektoren, welche bei Sonnenschein warme Luft in die Räume blasen in welche sich die Kompostbehälter befinden. Die Voisthaler Hütte hat auswechselbare Kompostkübel (System Radspöck), welche im Abstand von durchschnittlich 7 Wochen über einem Steilhang hinter der Hütte entleert werden und dort frei der Witterung ausgesetzt verrotten.

In der Nutzungsart hebt sich die nur durch Forstmitarbeiter genutzte Komposttoilette auf der Hübelwiese von den anderen ab. So gibt es bei der Hübelwiese kaum Urineintrag, da eine Frequentierung betriebsbedingt nur zu bestimmten Zeiten möglich ist. Anders die Alpenvereinshütten: Die Gloggnitzer Hütte wird ganzjährig am Wochenende bewirtschaftet, die Rieshütte ist eine Selbstversorgerhütte, die Voisthaler Hütte ist nur im Sommer (durchgehend) bewirtschaftet.

Im Oktober 2011 wurde damit begonnen, die Toiletten mit Temperatursensoren auszustatten, welche halbstündlich einen Wert speichern. Dazu wurden jeweils ein Sensor im Außenbereich der Hütte, einer im Kompostraum und einer direkt im Kompost (Voisthalerhütte nur Außen und Innen) angebracht. Bis September 2012 wurden die Komposttoiletten in Intervallen von 2-3 Monaten aufgesucht, die Temperaturdaten ausgelesen und Kompostproben gezogen, die im Labor des Abfallwirtschaftsinstituts selbstständig auf die kompostierungsrelevanten chemischen und physikalischen Parameter analysiert wurden.

Bei der Analyse der Temperaturdaten hat sich gezeigt, dass die Kompostierung innerhalb des Gebäudes (bestenfalls auch beheizt wie bei Gloggnitzer Hütte) im Winter ein deutlich höheres Temperaturniveau erreicht als bei einzeln stehenden Toilettengebäuden (Rieshütte und Hübelwiese) oder bei einem unbeheizten Hüttenzubau (Voisthaler Hütte). Dadurch kann das Material im Winter weiter umgesetzt werden, da es nicht durchfriert und der Zeitraum mit einer Komposttemperatur über 5°C (Mindesttemperatur der Umsetzung) wesentlich länger ist.

Weiters hat sich gezeigt, dass die maximale Komposttemperatur bei keiner der untersuchten Hütten auch nur annähernd 55°C bzw. 65°C erreicht hat, so wie es in der Kompostverordnung für eine ausreichende Hygienisierung gefordert wird.

Der Solarluftkollektors zeigt mit einer Temperaturerhöhung des Komposts von etwa 2°C bis 4°C einen geringen Einfluss auf die Kompostierung. Dies ist vor allem auf bauliche Gegebenheiten zurückzuführen. Der Warmluftstrom des Solar-Luftkollektors wird in das Toilettengebäude eingeblasen, dabei kann die Wärme entweder rasch durch die Außenwände der Toilette entweichen (Hübelwiese und Rieshütte) oder ist bei großem Raumvolumen (Gloggnitzer Hütte) unwirksam.

Die Analyse der Kompostproben im Labor zeigt bei der Gloggnitzer Hütte relativ gute Ergebnisse. Das ist besonders deutlich am Verhältnis des Nitrat- zum Ammoniumstickstoff ersichtlich. Es sind deshalb keine Änderungen im Bezug auf Feuchtigkeit und Zuschlagsstoffe erforderlich (Wassergehalt und Sauerstoffversorgung ausgeglichen).

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Hübelwiese zeigte zu Beginn der Untersuchung einen deutlich zu niedrigen Wassergehalt, bei dem keine Kompostierung mehr möglich war. Durch regelmäßige, geringe Wasserzugaben haben sich die Rottebedingungen in manchen Bereichen deutlich verbessert, wobei die Verteilung des Wassers noch auf den gesamten Kompost erweitert werden sollte.

Bei der Rieshütte sind die Voraussetzungen für eine funktionierende Kompostierung aus chemisch/physikalischer Sicht gegeben. Aufgrund des sehr niedrigen Temperaturniveaus und des etwas zu hohen Wassergehalts ist die Rotte noch nicht sehr weit fortgeschritten, deutlich sichtbar am Verhältnis des Nitrat- zum Ammoniumstickstoff.

Generell ist zu sagen, dass die Struktur des Komposts beobachtet werden sollte, um Maßnahmen zur Verbesserung des Wassergehalts ergreifen zu können (Gießen, Auflockern, Zuschlagsstoffe anpassen). Es ist empfehlenswert den Kompost in der Hauptrottekammer zumindest einmal im Monat mit dem Belüftungsstab aufzulockern und zur Verbesserung der Nachrotte gelegentlich Zuschlagsstoffe unter den Kompost in der Nachrottekammer zu mischen. Die Nutzungsart der Toilette beeinflusst die Funktion stark, bei hohem Urinaufkommen ist der Einsatz von saugfähigen Zuschlagsstoffen sinnvoll. Um das Temperaturniveau zu erhöhen, könnte die Warmluft aus dem Solar-Luftkollektor durch die Sickerwasserauffangwanne direkt in den Kompost eingeblasen werden. Dies würde auch zu einer erhöhten Verdunstung der überschüssigen Feuchtigkeit im Kompost führen, was besonders bei der Gloggnitzer und der Rieshütte wünschenswert wäre. Bei der Neuerrichtung einer Komposttoilette könnten anstelle des Solarluftkollektors auch solarbetriebene Heizstäbe eingesetzt werden. Zusätzlich wäre eine Dämmung des Kompostbehälters sinnvoll um die in den Kompost eingebrachte Energie länger zu speichern.

Die Komposttoilette als Möglichkeit der Fäkalienbehandlung am Berg hat sich durchaus bewährt. Mit einigen zuvor genannten Adaptionen bei der Planung und im Betrieb kann sie bei kleinen und mittelgroßen Objekten und bei entsprechender Auslegung auch bei großen Objekten in Gebirgslagen eingesetzt werden.

8. Verzeichnisse

8.1 Literaturverzeichnis

AMAP, Austrian Map Online, BEV Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Online im Internet: URL: <http://www.austrianmap.at/amap/index.php?SKN=1&XPX=637&YPX=492> [Abruf 08.08.1012]

ARTNER, R. (2002): Diplomarbeit: Gefährdungspotenziale von Quell-Schutzgebiete infolge touristischer Nutzung, Dargestellt am Beispiel der Rax, Universität Wien

BERGER, W., LORENZ-LADENER C. (2008): Kompost-Toiletten Sanitärtechnik ohne Wasser, Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg

BINNER, E. (2012): Persönliche Mitteilung

CASTELL-EXNER, C., MEYER, V. (2010): Das Multi-Barrieren-Prinzip: Basis für eine sichere und nachhaltige Trinkwasserversorgung, Deutsch Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, Online im Internet: URL: http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/wasser/organisation/1110castell_mbs.pdf [Abruf 08.08.2012]

DBU (2012): Umweltgerechte Ver- und Entsorgung ausgewählter Berg- und Schutzhütten im Alpenraum, Online im Internet: URL: <http://www.dbu.de/1753.html> [Abruf 2.12.2012]

FUCHS, J. (2005): Qualitätsansprüche von Komposten, Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Schweiz, Online im Internet: URL: http://www.kompost.ch/beratung/xfachartikel/qualitaet_fibl.pdf [Abruf 25.05.2012]

GRAMMER-SOLAR, Online im Internet: URL: <http://www.grammer-solar.com/cms/de/twinsolar.html> [Abruf 06.08.2012]

HEFLER, F. (2008): Vademecum Betriebsanlagenrecht für Schutzhütten in Extremlage, 1. Auflage, Österreichischer und Deutscher Alpenverein, Innsbruck

IEVEBS (2010): Projekt Integrale Evaluierung der Ver- und Entsorgungssysteme bei Berg- und Schutzhütten, Endbericht, Online im Internet: URL: <http://ievebs.boku.ac.at/> [Abruf am 29.11.2012]

KASCHKA, E. (2005): Online im Internet: URL: <http://www.tb-amor.at/start.htm> [Abruf 07.08.2012]

KISS, R. (2008): Vademecum Betriebsanlagenrecht für Schutzhütten in Extremlage, 1. Auflage, Österreichischer und Deutscher Alpenverein, Innsbruck

KRANERT, M., CORD-LANDWEHR, K. (Hg.) (2010): Einführung in die Abfallwirtschaft, Vieweg+Teubner, Wiesbaden

LECHNER, P. (Hg.) (2004): Kommunale Abfallentsorgung, Facultas Verlags- und Buchhandels AG, Wien

LECHNER, P., LINZNER, R., MOSTBAUER P., BINNER E., SMIDT E. (2005): Klimarelevanz der Kompostierung unter Berücksichtigung der Verfahrenstechnik und Kompostanwendung (KliKo), Endbericht, Universität für Bodenkultur, Wien, Online im Internet: URL: www.boku.ac.at/TCG/rol/KliKo_Endbericht.pdf [Abruf 12.03.2012]

- LECHNER, P., SMIDT, E., BINNER, E. EBNER, T. (2008): Huminstoffe als Qualitätsparameter für Komposte und zur verfahrenstechnischen Optimierung von Kompostanlagen, Universität für Bodenkultur, Online im Internet: http://www.wau.boku.ac.at/fileadmin/_/H81/H813/IKS_Files/AktuelleForschungsthemen/Kompostqualitaet/FFF-Gesamtbericht.pdf [Abruf 23.04.2012]
- ÖGL (2008): Informationen der ÖGL – Oktober 2008, Österreichische Vereinigung für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen, Wien, Online im Internet: URL: http://www.oegl.at/uploads/news/56/56_NL_10.pdf [Abruf: 01.10.12]
- ÖÖ WASSER (2012): Genossenschaftsverband eGen, Linz (Online im Internet: <http://www.oewasser.at/de/wasserversorgung/technik/wasserschongebiet-und-wasserschutzgebiet.html> [Abruf 01.10.12]
- ÖVGW (2005): Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach, Richtlinie W 72 „Schutz- und Schongebiete“, Wien
- ÖWAV (2012): Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien, Online im Internet: URL: <http://www.oewav.at/Page.aspx?target=65710&mode=form&app=134598&edit=0¤t=67380&view=134599&predefQuery=-1> [Abruf 01.10.12]
- RIEDL, H. (1977): Die Problematik der Altflächen am Ostsporn der Alpen, ein Beitrag zur Frage der Reliefgenerationen, Erschienen in "Würzburger Geographische Arbeiten – Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft Würzburg", Würzburg
- SCHÖN, M., BECKER, W., WETT, B. (2007): Solar-Komposter, Universität Innsbruck, Online im Internet: URL: <http://www.unibw.de/ifw/swa/Forschungsvorhaben/reststoffbehandlung/downloads> [Abruf 22.12.2011]
- SCHÖNHERR, F., CYRIS T. (2007): Stufenkomposter, Universität der Bundeswehr München, Online im Internet: URL: <http://www.unibw.de/ifw/swa/Forschungsvorhaben/reststoffbehandlung/downloads> [Abruf 22.12.2011]
- SONNENBERG, H. (2004): Mechanische Aufbereitung von Einstreu-Material für die Tierhaltung zur Verbesserung der Qualität, Online im Internet: URL: <http://www.unikassel.de/fb11/agrartechnik/Fachgebiet/pdf/SONNENBERG-DEUTSCH.PDF> [Abruf 23.08.2012]
- STARKL, M., BINNER, E., FÜRHACKER, M., HOLUBAR, P., KOECK, S., LENZ, K., MASCHER, F., ORNETZEDER, M., POLLAK, M., HABERL, R. (2005): Nachhaltige Strategien der Abwasserentsorgung im ländlichen Raum - SUS-SAN, Endbericht, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien
- STEINBACHER, G. (2009): Unterlagen von MA 31 Wiener Wasser, Bericht über die möglichen Maßnahmen und Module zur Abwasserentsorgung auf alpinen Objekten, von DI Harald Kromp am 5.10.2012 erhalten
- UNIBW (2011a): Klärschlammproblematik im Hochgebirge, „Untersuchung und Optimierung der Verwertung bzw. Beseitigung von Abfällen aus der Abwasserbehandlung im Bereich alpiner Hütten des Deutschen Alpenvereins“, Schlussbericht Phase 1, Seite 21- 23, Universität der Bundeswehr München, Online im Internet: URL: <http://www.unibw.de/ifw/swa/Forschungsvorhaben/reststoffbehandlung/downloads> [Abruf 22.12.2011]

Verzeichnisse

- UNIBW (2011b): Klärschlammproblematik im Hochgebirge, „Untersuchung und Optimierung der Verwertung bzw. Beseitigung von Abfällen aus der Abwasserbehandlung im Bereich alpiner Hütten des Deutschen Alpenvereins“, Schlussbericht Phase 3, Seite 22 - 35, Seite 85 Universität der Bundeswehr München, Online im Internet: URL: <http://www.unibw.de/ifw/swa/Forschungsvorhaben/reststoffbehandlung/downloads> [Abruf 22.12.2011]
- WARNECKE, C. (2008): Stoffliche Nutzung von Baumrinde, Seite 1-2, Vdm Verlag Dr. Müller
- WELTATLAS (1995): Diercke Weltatlas Österreich, Georg Westermann Verlagsges. m. b. H., Wien
- Wiener Wasser (2006), Online im Internet: URL: <http://www.wien.gv.at/wienwasser/> [Abruf 3.7.2012]
- WKO (2006): Wirtschaftskammer Österreich, Einleitung von häuslichem Abwasser aus Abwasserreinigungsanlagen in Extremlage in ein Fließgewässer, Online im Internet: URL: http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?AngID=1&DocID=543644&StID=262099 [Abruf: 01.10.12]
- ZAMG (2012): Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Jahrbücher 1994 – 2010, Online im Internet: URL: <http://www.zamg.ac.at/klima/jahrbuch/> [Abruf 24.07.2012]

8.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geografische Lage der Untersuchungsgebiete Maßstab 1:1.000.000 Quelle: AMAP	4
Abbildung 2: Temperatur Monatsmittelwerte Reichenau/Rax und Rax/Seilbahn (Reihe 1994 - 2010), Quelle: ZAMG, 2012.....	6
Abbildung 3: Abwasserentsorgung auf Extremstandorten	7
Abbildung 4: Kompostierung (ÖGL, 2008).....	12
Abbildung 5: Typischer pH-Wert-Verlauf während der Heißrotte (BERGER, LORENZ-LADENER, 2008).....	15
Abbildung 6: Systemvarianten Trockentoilette.....	19
Abbildung 7: Bauarten von Trocken- und Komposttoiletten Quelle: HOLZHAUSEN zit. bei BERGER, LORENZ-LADENER 2008	20
Abbildung 8: Trenneinsatz für Separationstoilette Quelle: separett.de.....	21
Abbildung 9: Trenneinsatz für Separationstoilette Quelle: separett.de.....	21
Abbildung 10: Separationstoilette mit externer Kompostierung in Bau, Bettelwurf Hütte Quelle: AMOR, 2005	21
Abbildung 11: Dachentlüftung Regenabdeckung.....	22
Abbildung 12: Dachentlüftung Savonius-Lüfter.....	22
Abbildung 13: Dachentlüftung Windturbine Quelle: alibaba.com.....	22
Abbildung 14: Komposttoilette Berger Foto: Waidhofer, R.....	22
Abbildung 15: leere Nachrottekammer mit offenem Schieber	22
Abbildung 16: Schemaskizze Komposttoilette System Berger, hohe Ausführung	23
Abbildung 17: Schemaskizze Komposttoilette System Berger, niedrige Ausführung	23
Abbildung 18: Sperre zwischen oberen und unteren Bereich der Hauptrottekammer	24
Abbildung 19: Belüftungsstab Foto: Berger, W.	24
Abbildung 20: Solarluftkollektor Rieshütte, Seitenansicht mit Auslassrohr	24
Abbildung 21: Solarluftkollektor Schemaskizze Quelle: Grammer-Solar	24
Abbildung 22: Solarkomposter Außenansicht, Klosterstaler Umwelthütte, Quelle: UNIBW, 2011b	27
Abbildung 23: Solarkomposter mit Warmluftrohrführung im Inneren, Klosterstaler Umwelthütte, Quelle: SCHÖN, 2007	27
Abbildung 24: Solarkomposter Innenansicht gelochtes Zentralrohr mit Verzweigungen zur Warmluftverteilung, Kaunergradhütte, Quelle: SCHÖN, 2007.....	27
Abbildung 25: Solarkomposter mit gelochtem Zentralrohr zur Warmluftverteilung, Klosterstaler Umwelthütte, Quelle: SCHÖN, 2007.....	27
Abbildung 26: Temperaturkurven der Wintermonate des Solarkomposters auf der Klosterstaler Umwelthütte, Quelle: SCHÖN, 2007.....	28
Abbildung 27: Stufenkomposter, Ettl, 2004 zit. bei: SCHÖNHERR und CYRIS, 2007	29
Abbildung 28: Stufenkomposter Schemaskizze, SCHÖNHERR und CYRIS, 2007.....	29
Abbildung 29: Thermokomposter von Fa. Neudorf	30

Verzeichnisse

Abbildung 30: Kompostabbaurate nach der Zeit, KRANERT und CORD-LANDWEHR, 2010....	30
Abbildung 31: Übersichtskarte des Systems der Wiener Hochquellenleitungen mit eingezeichneten Standorten der untersuchten Objekte, Wiener Wasser (2006)	31
Abbildung 32: Gloggnitzer Hütte	32
Abbildung 33: Kompostbehälter	33
Abbildung 34: Toilettensitz	33
Abbildung 35: Schemaskizze Gloggnitzer Hütte	33
Abbildung 36: Forsthaus auf der Hübelwiese	34
Abbildung 37: Toilettengebäude	34
Abbildung 38: Kompostbehälter	34
Abbildung 39: Toilettensitz	34
Abbildung 40: Schemaskizze Hübelwiese	35
Abbildung 41: Rieshütte	35
Abbildung 42: Toilettengebäude Seitenansicht	36
Abbildung 43: Sickerwasserableitung in den Untergrund	36
Abbildung 44: Schemaskizze Rieshütte	36
Abbildung 45: Voisthaler Hütte	37
Abbildung 46: Schütthang hinter der Hütte	37
Abbildung 47: Fäkalienbehälter	37
Abbildung 48: Schemaskizze Voisthaler Hütte	38
Abbildung 49: Sensor Außenbereich Gloggnitzer Hütte, neben dem Eingang zum Winterraum	40
Abbildung 50: Sensormontage unterhalb des Dachvorsprungs im Außenbereich der Komposttoilette bei der Rieshütte	40
Abbildung 51: Sensor Innenbereich Gloggnitzer Hütte	40
Abbildung 52: Sensor im Kompost Rieshütte	40
Abbildung 53: Temperaturdatenlogger EL-USB-2	41
Abbildung 54: Wasserdichter Temperaturdatenlogger DCMT100SS	41
Abbildung 55: Probenahme	41
Abbildung 56: Überkopfschüttler	42
Abbildung 57: Abfiltrierung des Eluats und pH-Wert Messung	45
Abbildung 58: Vergleich der Temperatur Monatsmittelwerte der Rax/Seilbahn (Reihe 1994 - 2010), Quelle: ZAMG, 2012 mit eigener Messung auf der Gloggnitzer Hütte, November 2011 - Oktober 2012	47
Abbildung 59: Temperaturmesswerte Gloggnitzer Hütte	48
Abbildung 60: Temperaturverlauf Gloggnitzer Hütte in einer typischen Winterwoche.	49
Abbildung 61: Temperaturverlauf Gloggnitzer Hütte in einer typischen Sommerwoche.	49
Abbildung 62: Temperaturmesswerte Hübelwiese	50
Abbildung 63: Temperaturverlauf Hübelwiese in einer typischen Winterwoche	51
Abbildung 64: Temperaturverlauf Hübelwiese in einer typischen Sommerwoche.	51

Verzeichnisse

Abbildung 65: Temperaturmesswerte Rieshütte	52
Abbildung 66: Temperaturverlauf Rieshütte in einer typischen Winterwoche.....	53
Abbildung 67: Temperaturverlauf Rieshütte in einer typischen Sommerwoche.....	53
Abbildung 68: Temperaturmesswerte Voisthaler Hütte	54
Abbildung 69: Temperaturverlauf Voisthaler Hütte in einer typischen Winterwoche.....	54
Abbildung 70: Temperaturverlauf Voisthaler Hütte in einer typischen Sommerwoche.....	54
Abbildung 71: Kompostprobe 036/1-4, Gloggnitzer Hütte 26.05.2012	55
Abbildung 72: Kompostprobe 036/1-5, Gloggnitzer Hütte 09.09.2012	55
Abbildung 73: Kompostprobe 036/2-2, Hübelwiese 29.05.2012.....	56
Abbildung 74: Kompostprobe 036/2-3, Hübelwiese 14.08.2012.....	56
Abbildung 75: Kompostprobe 036/3-2, Rieshütte 24.05.2012.....	56
Abbildung 76: Kompostprobe 0/363-3, Rieshütte 15.08.2012.....	56
Abbildung 77: Anorganik, Organik und Wassergehalt.....	57
Abbildung 78: Ammonium- (NH ₄ -N) und Nitratstickstoff (NO ₃ -N) im Laufe der Kompostierung. .	60
Abbildung 79: Huminstoffe Gloggnitzer Hütte	63
Abbildung 80: Vergleich der Komposttemperaturen von Gloggnitzer Hütte, Rieshütte und Hübelwiese.....	64
Abbildung 81: Hinweisschild für den Toilettenbenutzer.....	69

8.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Emissionsbegrenzungen 3.AEV (BGBl. II Nr. 249/2006).....	10
Tabelle 2: Eigenschaften von kompostierbaren Materialien (BERGER, LORENZ-LADENER, 2008).....	16
Tabelle 3: Übersicht der untersuchten Objekte.....	32
Tabelle 4: Übersicht Begehungstage.....	39
Tabelle 5: Wasser-, Anorganik-, Organikgehalt und Glühverlust der einzelnen Kompostproben.	57
Tabelle 6: Ammonium- (NH ₄ -N) und Nitratstickstoff (NO ₃ -N) der einzelnen Kompostproben.	59
Tabelle 7: Elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert	61
Tabelle 8: Kohlenstoff und C/N-Verhältnis	62
Tabelle 9: Huminstoffanteile in den Kompostproben.....	63
Tabelle 10: Durchschnittliche Laborergebnisse. Markierungen: Grün: innerhalb des Normalbereichs; Gelb: leicht von Normalbereich abweichend; Rot: Stark von Normalbereich abweichend.	65
Tabelle 11: Laborergebnisse Gloggnitzer Hütte.....	80
Tabelle 12: Laborergebnisse Hübelwiese	81
Tabelle 13: Laborergebnisse Rieshütte	81

9. Anhang

9.1 Erhebungsbogen Vorlage

Basisdaten

Gebiet:

Schutzgebiet:

Grundeigentum:

Eigentümer:

Pächter:

Lage/Erreichbarkeit

GPS-Koordinaten:

Höhenlage:

Zufahrtsmöglichkeit:

Materialtransport:

Wegbeschreibung:

Nutzung

Bewirtschaftung:

Nutzungszeitraum:

Schlafstellen:

Frequenz:

Tagesgäste:

Übernachtungsgäste:

Notlager:

Hüttenpersonal:

Ver-/Entsorgung

Wasserversorgung:

Energieversorgung:

Entsorgung:

Beschreibung der Komposttoilette

System:

Lage und Zugänglichkeit der Toilette:

Betriebsbeschreibung (zeitlich/örtlicher Verlauf, Eingriffe, ...):

Einstreumenge, Zusammensetzung:

Endprodukt:

Bewertung durch den Betreiber:

Anhang

Begehungen

Begehung

Uhrzeit:

Wetterbedingungen:

Beschreibung der Probenahme:

Entnahmeort: (mit Foto, Geruch?, Fliegen? Andere Auffälligkeiten?)

Entnahmemenge:

Verbale Beschreibung der entnommenen Probe:

9.2 Laborergebnisse

Tabelle 11: Laborergebnisse Gloggnitzer Hütte

Probenr.	Datum	WG 105° %	WG Lutro %	NH ₄ -N mg/l bzw. mg/kg TM	NO ₃ -N mg/l bzw. mg/kg TM	pH-Wert	Leitfähigkeit (20°C) mS/cm
036/1-1	12.11.11	72,7	70,4	1475,9	616,3	7,86	6,18
036/1-2	22.01.12	74,0	72,1	562,0	423,2	7,46	5,97
036/1-3	09.04.12	69,8	68,5	625,0	2195,6	8,27	5,43
036/1-4	26.05.12	72,0	68,4	196,3	2370,5	7,08	5,88
036/1-5	09.09.12	68,1	64,1	41,7	2556,5	6,82	8,81
036/1-6	03.11.12	71,1	69,0	46,1	2237,7	6,28	-

Probenr.	Datum	GV %	TOC % TM	TC % TM	TIC % TM	CaCO ₃ % TM	N % TM
036/1-1	12.11.11	74,9	40,3	40,5	0,2	1,7	2,17
036/1-2	22.01.12	73,0	40,6	40,8	0,2	1,4	1,95
036/1-3	09.04.12	70,2	37,5	37,7	0,2	2,0	2,32
036/1-4	26.05.12	74,9	40,3	40,5	0,2	1,5	2,00
036/1-5	09.09.12	68,1	-	-	-	-	-
036/1-6	03.11.12	74,7	-	-	-	-	-

Probenr.	Datum	C/N Verhältnis	Huminstoffe		
			optische Dichten(OD 400)/g oTM unfr. Extr.	FS	HS
036/1-1	12.11.11	19	309,5	90,4	219,1
036/1-2	22.01.12	21	365,8	94,8	271,1
036/1-3	09.04.12	16	434,1	100,7	333,5
036/1-4	26.05.12	20	327,4	83,2	244,3

Anhang

Tabelle 12: Laborergebnisse Hübelwiese

Probenr.	Datum	WG 105° %	WG Lutro %	NH ₄ -N mg/l bzw. mg/kg TM	NO ₃ -N	pH-Wert	Leitfähigkeit (20°C) mS/cm	
036/2-1	05.02.12	19,2	9,1	1513,5	13,9	7,26	4,02	
036/2-2	29.05.12	13,2	2,6	1449,9	91,8	7,23	3,71	
036/2-3	14.08.12	65,1	57,5	2489,0	272,9	8,54	4,76	
036/2-4	08.11.12	59,6	53,5	1943,9	728,6	6,54	4,36	
Probenr.	Datum	GV %	TOC % TM	TC % TM	TIC % TM	CaCO ₃ % TM	N % TM	C/N -
036/2-1	05.02.12	89,3	51,6	51,7	0,1	0,7	3,03	17
036/2-2	29.05.12	89,3	52,1	52,2	0,1	0,8	3,17	16
036/2-3	14.08.12	90,6	-	-	-	-	-	-
036/2-4	08.11.12	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 13: Laborergebnisse Rieshütte

Probenr.	Datum	WG 105° %	WG Lutro %	NH ₄ -N mg/l bzw. mg/kg TM	NO ₃ -N	pH	Leitf (20°C) mS/cm	
036/3-1	30.03.12	70,9	66,4	6634,6	563,2	7,79	6,57	
036/3-2	24.05.12	75,8	68,9	5494,6	318,7	8,02	6,69	
036/3-3	15.08.12	74,8	68,9	3674,0	116,8	8,22	7,95	
036/3-4	13.12.12	35,8	34,1	2017,0	223,8	7,25	7,30	
Probenr.	Datum	GV %	TOC % TM	TC % TM	TIC % TM	CaCO ₃ % TM	N % TM	C/N -
036/3-1	30.03.12	90,4	52,3	52,4	0,0	0,3	2,96	18
036/3-2	24.05.12	86,5	50,6	50,6	0,0	0,2	3,29	15
036/3-3	15.08.12	81,1	-	-	-	-	-	-
036/3-4	13.12.12	-	-	-	-	-	-	-

9.3 Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst habe. Es wurden keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt. Die wörtlichen oder sinngemäß übernommenen Zitate habe ich als solche kenntlich gemacht.

Wien, 1.3.2012

Unterschrift

10. Lebenslauf



Agnes LEHNER

agnes_lehner@gmx.at

Ausbildung

Masterstudium Kulturtechnik und Wasserwirtschaft Universität für Bodenkultur (Wien, Österreich) Masterarbeit: Optimierung von Trockentoiletten für den Einsatz bei alpinen Objekten	04/2010 – heute
Bachelorstudium Kulturtechnik und Wasserwirtschaft Universität für Bodenkultur (Wien, Österreich)	10/2005 – 04/2010
Matura (mit ausgezeichnetem Erfolg) HTBLA Donaustadt (Wien, Österreich) Nachrichten-/ Telekommunikationstechnik	9/1999 – 6/2004
Sporthauptschule (mit ausgezeichnetem Erfolg) Georg Bilgeri Straße (Wien, Österreich)	9/1995 – 6/1999
Volksschule Maria Frieden (Wien, Österreich)	9/1991 – 6/1995

Berufliche Erfahrung

Praktika

AIT- Austrian Institute Of Technology, Tulln Health & Environment Department Aufbereiten und publizieren von österreichweiten Trinkwasserdaten mittels R und GIS	1/2013 – 6/2013
Maharakham University, Thailand Faculty of Engineering, Water resource management Aufgabe: Adaptieren eines Simulationsmodells zur Optimierung von Regelkurven eines Staubeckens mittels genetischen Algorithmen; Verfassen der Bachelorarbeit	11/2009 – 2/2010
Wiener Wasser MA31, Wien Betriebsabteilung 6 – Wasserverteilung Mitarbeit bei Leckortungen, Druckprüfungen, Gebrechensbehebungen, Rohrleitungsbaustellen Aufgaben: Assistenz, Datenaufbereitung für Kostenkalkulationen, Archivrecherchen	7/2009

Lebenslauf

- TERRA Umwelttechnik Ges.m.b.H., Wien** 8/2008
Mitarbeit bei div. Projekten zur Sanierung von Altlasten
Aufgaben: Techn. Berichte verfassen, Luftbilddauswertung, AutoCad Pläne erstellen
- TERRA Umwelttechnik Ges.m.b.H., Wien** 7/2007 – 8/2007
Mitarbeit bei div. Projekten zur Sanierung von Altlasten
Aufgaben: Instandsetzung von Brunnen zu In-situ Methanol-Sanierung, Arbeiten mit AutoCad
- Siemens AG, Wien** 7/2003
Abteilung für Information Organisation
- Siemens AG, Wien** 7/2002
Abteilung für Service Int. Technical Support Center

Weitere Anstellungen

- Universität für Bodenkultur (BOKU), Wien** 3/2009 – 7/2012
Tutorin für Übung „Einführung in die Fernerkundung“
Aufgaben: Assistenz in den Übungseinheiten, Korrektur der Übungsaufgaben
- ZIB – Zentrum für internationale Beziehungen, BOKU, Wien** 9/2010 – 6/2011
Buddy- und Tandem-Netzwerk Koordinatorin
Aufgaben: Administration und Zuteilung von Buddies für int. Studierende, Organisation von Events, verfassen von Newslettern
- T-Mobile Austria Ges.m.b.H., Wien** 4/2006 – 7/2007
Promotion
- Competence Call Center, Wien** 7/2005 – 2/2006
Inbound Agent für die Telering Serviceline
- Wesser Ges.m.b.H, Stuttgart** 8/2004 – 10/2004
Mitgliederwerbung für Johanniter Deutschland

Auslandsaufenthalte

- Marial-Lou, Südsudan** 11/2012
Kurzaufenthalt zur Vermessung und planlichen Darstellung eines Spitalgeländes im Auftrag der Fa. EcoSan Club Consulting KG.
- Lodwar, Kenia** 2/2011
Intensive Auseinandersetzung und zweiwöchige Feldforschung zum Thema „Erneuerbare Energien“, im Rahmen einer einjährigen Lehrveranstaltung der TU Wien
- Maharakham University, Thailand** 11/2009 – 2/2010
Praktika, siehe oben
- Universidad Politécnica de Valencia, Spanien** 9/2007 – 7/2008
Studienjahr durch das Erasmus/Sokrates Programm in der Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos Fakultät der Ingenieure der Wege, Kanäle und Häfen
- Individualreise durch Südamerika** 1/2005 – 6/2005

Weitere Kenntnisse

PC Anwendungen

Microsoft Office
AutoCAD
Geosi
RFEM
ArcGIS
R
MatLab
HEC-RAS

Sprachkenntnisse

Deutsch	Muttersprache
Englisch	Verhandlungssicher in Wort und Schrift
Spanisch	Fließend gesprochen
Französisch	Basiswissen

Interessen

Sport – Klettern, Bergsteigen, Radfahren
Heimwerken
Literatur
Sprachen