

## Technischer Bericht

Vorstudie zur entwicklung einer Anlage zur  
Erzeugung von WÄrme aus Holzabfällen und  
Biomasse

Durchführung von:  
Dr. Ing. Roman Bodner, Brixen

2014

## Einleitung

Der Weltenergiebedarf ist stetig im Steigen. Die fossilen Energieträger, bestehend aus Kohle, Erdöl und Erdgas sind endlich. Derzeit wird weltweit versucht, dem Boden die letzten Reste der Energie zu entreißen, zum Beispiel durch die Gewinnung von Schieferöl oder Erdölgewinnung mittels Fracking. Alle diese Technologien zur Energiegewinnung sind mit hohen Umweltrisiken verbunden. Die Nachfrage nach nicht erneuerbarer Energie steigt stetig, wenn auch die Preise für die Rohstoffe nur wegen der weltweiten Rezession derzeit in Grenzen gehalten werden.

Die erneuerbaren Energieträger wie Wind, Wasserkraft, Geothermie, Photovoltaik und Biogas wurden in den letzten Jahren durch die staatlichen Beiträge zur Stromerzeugung massiv gefördert. In der Startphase wurde die Subvention der Stromproduktion durch erneuerbare Energieträger als Anschlag für die technologische Entwicklung gesehen. Damit wollte man die Herstellungskosten langfristig senken. In besonderer Weise ist dies bei der Photovoltaiktechnologie gelungen. Lagen die spezifischen Kosten für Photovoltaikanlagen in den 90er Jahren für 1 kW installierte Leistung bei 20.000,00 €, so sind diese in den Jahren von 2000 bis 2004 auf 7.000,00 €/kW und weiter bis heute auf 1.300,00 bis 1.500,00 €/kW gesunken.

Große Anlagen erreichen derzeit schon den *grid parity* Bereich. Bei diesen Anlagen liegen die spezifischen Errichtungskosten für 1 kW bei einer installierten Leistung von 1 bis 5 MW mittlerweile unter 1.000,00 €. Diese großen Solarparks erzielen Renditen aus dem Erlös des Verkaufs des erzeugten Stromes am freien Strommarkt, und zum Teil durch den Erlös aus den sogenannten Grünzertifikaten, ohne dass dabei Steuergelder für die Förderung notwendig sind.

In Deutschland wurden dank der Einspeisevergütung und der günstigen Rahmenbedingungen nach Angaben des DBFZ (Deutsches Biomasse Forschungszentrum)<sup>1</sup> bis zum Jahre 2013 an die 7.800 Biogasanlagen errichtet. Die entsprechende Gesamtleistung beträgt 3.800 kW.

---

<sup>1</sup> DBFZ (2014): Dezentrale flexible Strombereitstellung aus Biogas: Entwicklung, Möglichkeiten und Perspektiven 03. April 2014, Berlin

## Bestand

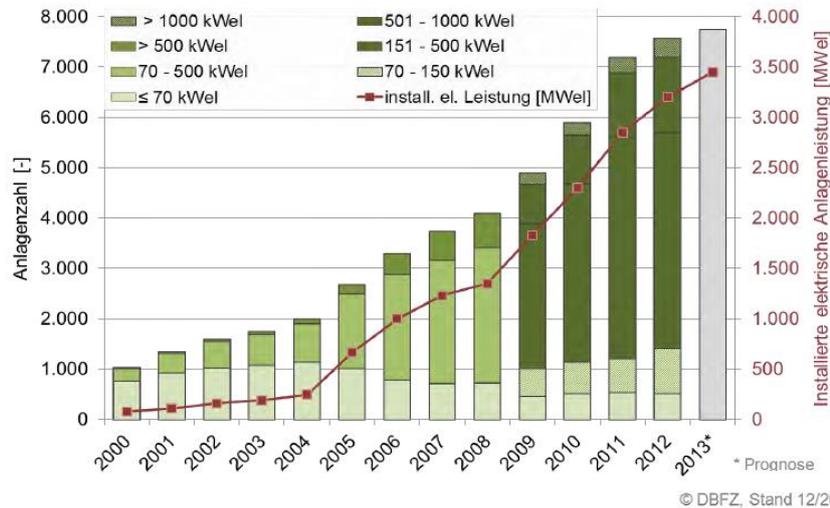


Abbildung 1: Dezentrale flexible Strombereitstellung aus Biogas: Entwicklung, Möglichkeiten und Perspektiven; 03. April 2014, Berlin

Nachdem die deutsche Bundesregierung die Förderung der Stromproduktion EEG gekürzt hat, mussten sehr viele Firmen, die im Sektor Biogas arbeiteten, ihre Tore schließen. In Italien ist die Errichtung von Biogasanlagen trotz guter Stromeinspeisevergütung nie richtig in Schwung gekommen.

Nach Angaben des GSE (gestore servizi energetici)<sup>2</sup> sind von 1999 bis 2009 nur 272 Biogasanlagen errichtet worden, mit einer gesamten installierten Leistung von ca. 378 MW. Die gesamte Anzahl der Biomasseanlagen in Europa bis zum Jahre 2009 beträgt 419, mit einer Gesamtleistung von 2.018 MW. Einige dieser Biomasseanlagen werden mit festen Brennstoffen betrieben, andere mit flüssigen oder gasförmigen. Von den 419 genannten Stromerzeugungsanlagen werden 269 mit Abfallmaterial betrieben, 20 mit Klärschlamm.

<sup>2</sup> GSE, Biomasse 2009 Rapporto statistico

## Numerosità e potenza degli impianti a biomasse in Italia

	2008		2009		Var % 09/08	
	n°	kW	n°	kW	n°	kW
Solidi	110	1.068.485	122	1.255.406	10,9	17,5
– rifiuti solidi urbani	65	619.475	69	781.964	6,2	26,2
– da biomasse solide	45	449.010	53	473.442	17,8	5,4
Biogas	239	365.648	272	378.181	13,8	3,4
– da rifiuti	193	306.980	194	299.254	0,5	-2,5
– da fanghi	11	5.822	20	9.922	81,8	70,4
– da deiezioni animali	19	12.678	28	17.170	47,4	35,4
– da attività agricole e forestali	16	40.168	31	51.835	93,8	29,0
Bioliquidi	12	121.209	42	384.967	250,0	217,6
– oli vegetali grezzi	8	54.509	35	302.543	337,5	455,0
– altri bioliquidi	4	66.700	7	82.424	75,0	23,6
<b>Biomasse</b>	<b>352</b>	<b>1.555.342</b>	<b>419</b>	<b>2.018.554</b>	<b>19,0</b>	<b>29,8</b>

Tabelle 1: Stromerzeugung aus „Biomasse 2009 Rapporto statistico“ GSE Seite 11

Im Verhältnis zur Bundesrepublik Deutschland erreicht Italien nur bescheidene 10% der Leistung, obwohl das Potenzial an Biomasse fast doppelt so hoch ist. Die neuerliche Kürzung der Einspeisevergütung durch die staatliche Vorgabe im Jahr 2012 und die Deckelung der Leistungen für Neuanlagen auf 150 MW bis 160 MW pro Jahr hat insbesondere die Entwicklung von großen Biogasanlagen mit einer Leistung von 1 MW<sub>el</sub> stark eingebremst. Im Bereich der Biogasanlagen unter einer Leistung von 100 kW<sub>el</sub> sind wegen der geringeren bürokratischen Auflagen zurzeit relativ viele Anlagen im Bau.

Die Erzeugung von elektrischer Energie aus der Biomasse Holz zum Beispiel mittels Pyrolyse hat im Bereich bis zur Leistungsklasse von 200 kW<sub>el</sub> eine kontinuierlich steigende Entwicklung erfahren. Zurzeit wird intensiv an der Entwicklung der Technologie gearbeitet, um die Zuverlässigkeit der Anlagen steigern zu können. Die Holzvergaseranlagen, die mit Pellets betrieben werden, können bereits heute mit hohen Arbeitsjahresstunden aufwarten. Die Rentabilität ist wegen der hohen Rohstoffkosten hinter den Erwartungen geblieben. Die Renditen sind wegen der steigenden Pelletspreise im Sinken begriffen.

Bei der Produktion von thermischer Energie für die Heizung und für die Produktion ist zu beobachten, dass sehr viele Heizanlagen von Erdgas oder Heizöl auf Biomasse wie Hackschnitzel oder Holzpellets umgestiegen sind, ohne dass Fördermaßnahmen für die Wärmeerzeugung getroffen worden sind. Diese Umrüstung kann als Erfolg verbucht werden, zumal die Förderungen nur in Form einer Steuerrückführung (Irpéf zu 50% bzw. 65%) gewährt werden.

In Südtirol beschränkt sich die Förderung auf Verlustbeiträge für die Umrüstung auf Biomasseanlagen. Die Nachfrage ist besonders bei den Pellets erheblich gestiegen. Die

Preissteigerungen der Pellets liegen bei rund 2% pro Jahr, die Preise pro kWh liegen deutlich unter den Preisen für Erdgas oder Heizöl. Vergleichsweise liegen die Kosten für 1 kWh bei den Pellets mit ca. 0,05 €/kWh um rund 50% günstiger als beim Heizöl. Die Nachfrage an Pellets ist in Europa so groß, dass 50% des Bedarfes importiert werden muss. Die Waldbewirtschaftung ist in weiten Teilen Europas und besonders in Italien hinter dieser Entwicklung stark zurückgeblieben.

Die Holzmengen, die aus den bestehenden Wäldern aufgebracht werden könnten, sind erheblich. Als Grund für die geringe Holzernte können genannt werden:

- zum Teil fehlende bzw. nicht zeitgemäße Waldbewirtschaftungsorganisation
- hohe Bringungskosten
- nicht organisierte Waldbewirtschaftung und -arbeit

Um die Rentabilität der Waldbewirtschaftung zu steigern, könnte die Verwertung von bisher ungenutzter Biomasse einen Beitrag leisten, den Energiebedarf zu decken und fossile Energieträger teilweise zu ersetzen.

Secondo tipologia di impianto

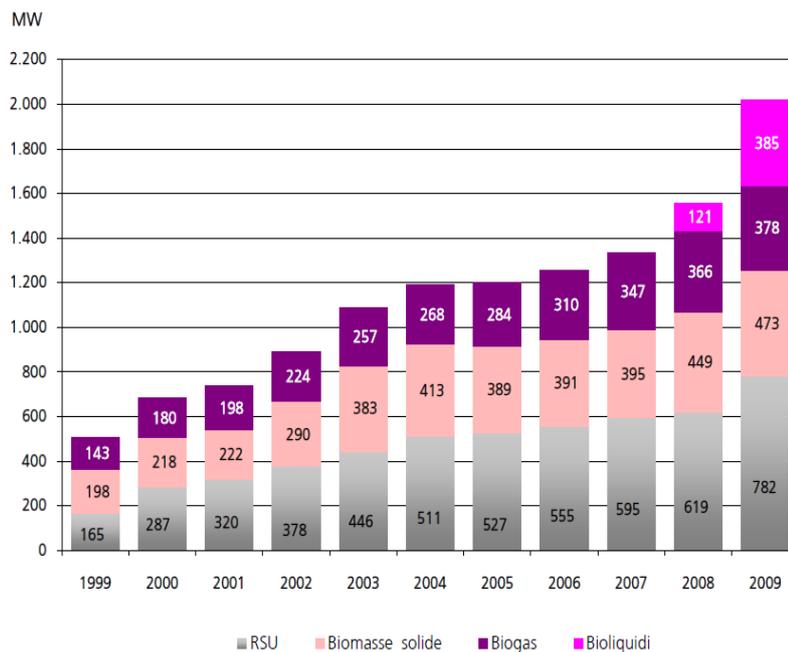


Tabelle 2: Stromerzeugung aus „Biomasse 2009 Rapporto statistico“ GSE Seite 9

## Allgemeine Beschreibung der Studie

### Ziel des Projektes

Ziel dieser Studie ist es, die Verfahren und Grundlagen zu ermitteln, damit derzeit nicht nutzbare und verwertbare Holzreste einer Wärmeproduktion zugeführt werden können.

Die Holzreststoffe und Holzabfallstoffe haben folgenden Ursprung:

- Wald
- landwirtschaftliche Kulturen (z.B. Obstbau)
- Sägewerke
- Holzverarbeitung (z.B. Tischlereien, Industrie)
- Gärtnereien

Es sollen die Voraussetzungen für eine Pilotanlage zur Erzeugung von Wärme aus Holzabfällen bzw.-Holzresten für Kleinstbetriebe geschaffen werden. Grundsätzlich sollen derzeit thermisch nicht nutzbare Reststoffe wie Äste, Rinde, Strauchwerk usw. einem Kompostierungsprozess so unterworfen werden, dass die daraus resultierende Abwärme abgezogen und einer Nutzung zugeführt werden kann. Nach Ablauf der Lagerung und des Kompostvorganges der Biomasse soll der gewonnene Kompost den Stoffkreislauf wieder schließen und wieder auf die Böden aufgebracht werden.

### Projektträger

Die Studie wurde vom TIS Techno Innovation South Tyrol KAG – Bereich Cluster Holz & Technik in Auftrag gegeben. Für die konstruktive Zusammenarbeit bei der Entwicklung und Begleitung der Studie möchte ich mich beim zuständigen Leiter des Clusters Holz & Technik, Dr. Paolo Bertoni recht herzlich bedanken.

### Grundidee – Entwicklungen und Arbeiten von Jean Pain

Bereits in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts hat sich Jean Pain (1928 – 1981), ein französischer Agronom in der Provence, intensiv mit der Verwertung von Waldabfällen, Waldreststoffen und mit der Herstellung von Komposterde beschäftigt. Zu seiner Tätigkeit gehörten neben der Betreuung der Waldflächen auch die Brandbekämpfung und die Durchführung von Maßnahmen zur Brandvermeidung und Schadensminderung. Bei der Brandvermeidung wurden die Äste der Bäume im Wald auf 1 bis 2 m Höhe abgeschnitten und das darunterliegende Strauchwerk niedrig gehalten. Die anfallenden Sträucher, Äste etc. wurden entfernt, um bei einem eventuellen Waldbrand dem Feuer die Nahrung zu nehmen. Es fielen große Mengen an Ästen, Baumlaub, Baumnadeln und Strauchwerk an. Eine nennenswerte wirtschaftliche Verwertung dieser Typologie von Biomasse war damals nicht

gegeben. Einerseits fehlten die entsprechenden Transportwege und andererseits waren die Transportkosten zu möglichen Abnehmern der Biomasse zu hoch. Es fehlte einfach die Nachfrage für diese Art von Biomasse. Zu der damaligen Zeit gab es noch keine Heizanlagen, die generell Biomasse in großen Mengen, wie Hackschnitzel oder Pellets, verbrennen konnten. Wenn Gebäude mit Holz beheizt wurden, dann in aller Regel mit Einzelöfen und/oder mit Küchenherden. Zu jener Zeit wurden die Heizsysteme von Biomasse auf „moderne komfortable Zentralheizungen“, die mit Heizöl oder Erdgas betrieben wurden, umgestellt.

Andererseits vertrat Jean Pain die Meinung, dass dem Humusschwund durch den Abtransport der Biomasse aus den Wäldern und von den Äckern vor allem durch die Verbrennung der Biomasse entgegengetreten werden musste. Es war üblich, dass die entfernten Äste und Sträucher vor Ort einfach verbrannt wurden. So reifte bei Jean Pain die Idee, aus den Waldreststoffen einen Kompost herzustellen und dann den Kreislauf zu schließen.

Jean Pain verwendete folgende Waldreststoffe:

- Baumschnitt
- Äste
- Laub
- Baumnadeln
- Strauchschnitt
- Gräser

Die Waldreststoffe wurden geschreddert und zu Mieten zusammengeschüttet. Je nach Witterung, Abmessung der Miete, Feuchtigkeit, Sonneneinstrahlung und Temperatur konnte Jean Pain in wenigen Monaten einen Kompost heranziehen. Sein Grundsatz war, keine teuren Maschinen einzusetzen und den Arbeitsaufwand so gering wie möglich zu halten.

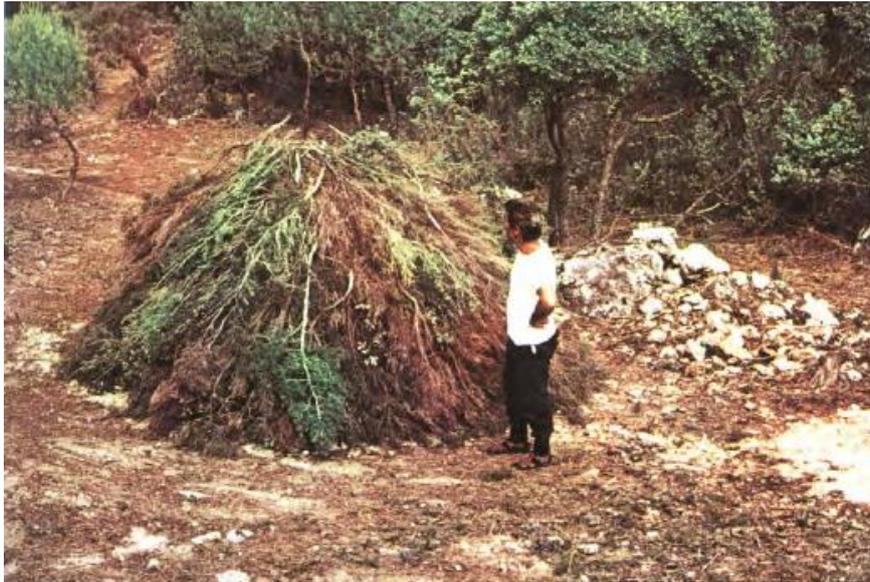


Abbildung 2: Kompostmiete aus Waldreststoffen aus „Ein anderer Garten“ Ida und Jean Pain

Besondere Sorgfalt hat Jean Pain auf den Schutz der Miete gegen Witterungseinflüsse wie Regen, Schnee, Sonne und Wind gelegt. Wie in Abbildung 2 ersichtlich, bildet das zusammenhängende Astwerk bestehend aus Ästen, Zweigen und Nadeln einen guten Schutz gegen die Witterungseinflüsse. Vor allem hat das Dach aus den Ästen entscheidend dazu beigetragen, dass das Regenwasser die darunterliegende Miete nicht zu stark durchnässt und dass sich der Kompostierungsabbau im richtigen Gleichgewicht zwischen dem aeroben und anaeroben Zustand befindet.



Abbildung 3: Temperaturanzeige in Kompostmiete

Da die Kompostierung ein endothermer Prozess ist, konnte beobachtet werden, dass sich die Temperaturen innerhalb der Mieten bis zu 75 °C erhöhen wie in Abbildung 3 ersichtlich. Die Temperaturen und der Luftsauerstoff geben den Bakterien, welche sich innerhalb der Kompostierungsmiete befinden, die notwendigen Rahmenbedingungen für die Abbauarbeit.



Abbildung 4: Nach 3 Monate: Grober Kompost aus „Ein anderer Garten“, Ida und Jean Pain

Abbildung 4 zeigt die Kompostmiete mit den bereits stark abgebauten Waldreststoffen nach nur 3 Monaten. In seinem Buch „Ein anderer Garten“ gibt Jain Pain einen Zeitraum von 9 Monaten an, damit der gereifte Kompost genutzt werden kann. Jain Pain hat in der Folge versucht, die Wärme aus dem Kompostiervorgang zu nutzen, indem er in den Mietkörper einen Wasserschlauch eingeführt hat. Dabei übernimmt der Wasserschlauch mit der entsprechenden Länge die Funktion eines Wärmetauschers. Bei den anfänglich bescheidenen Versuchen glaubte man, dass der Kühleffekt durch den Wärmetauscher die Fermentationsprozesse in der Kompostmiete beeinträchtigen würde und die Temperaturen in Folge sinken würden. Dies konnte Jean Pain nicht feststellen. Er konnte die Leistungsfähigkeit der Wärmeproduktion mit einfachen Mitteln nachweisen.

Für eine Buschwerkkompostmiete, so nannte Jean Pain den Kompostfermenter mit einem Gewicht von 50 Tonnen, konnte eine Wärmeenergie gewonnen werden, die in der Lage war, 4 Liter Wasser pro Minute bei einer Eingangstemperatur von 10 Grad Celsius auf eine Ausgangstemperatur von 60 Grad Celsius zu bringen und das für einen Zeitraum von 6 Monaten.

Die Energieproduktion pro Tag beträgt demnach:

$E = \text{Masse} * \text{Wärmekapazität} * \text{Temperaturdifferenz}$

$= 4 \text{ [kg/min]} * 60 \text{ [min]} * 24 \text{ [h]} * 4,18 \text{ [kJ/kg } ^\circ\text{C]} * 50 \text{ [} ^\circ\text{C]} / 3.600 \text{ [s]}$

Die gesamte produzierte Wärme des Buschwerkkomposters beträgt:

$E = 334,4 \text{ kWh pro Tag}$

Die Leistung des Komposters beträgt:

$P = 334,4 \text{ [kWh]} / 24 \text{ [h]}$

$P = 13,9 \text{ kW}$



Abbildung 5: Kompostmiete mit Wärmetauscher aus "Ein anderer Garten", Ida und Jean Pain

Bei den weiteren Arbeiten stellte Jean Pain in der Mitte der Buschwerkkompostmiete einen luftdicht abgeschlossenen Behälter auf und beschickte diesen mit flüssigen Bioabfällen. Der Überlauf wurde dann entsprechend abgeleitet. Die Wärme der Miete erwärmte den mit flüssiger Biomasse gefüllten Behälter so, dass die Masse zum Gären gebracht wurde. Das so gewonnene Biogas nannte Jean Pain, in Analogie zur Buschwerkmiete, Buschwerkgas. Als Gasspeicher verwendete er alte Autoschläuche, die untereinander mit Schläuchen verbunden wurden. Mit Hilfe eines Kompressors komprimierte er das so gewonnene Gas und füllte es in alten Sauerstoffgasflaschen ab. Die mit Buschwerkgas gefüllten Gasflaschen wurden auf das Dach eines Citroen des Typs 2 CV „Ente“ montiert und an den Motor

angeschlossen. Für die damalige Zeit war dies eine unglaubliche Leistung und ein Beweis für die enorme kreative Schaffenskraft von Jean Pain.

## Weiterentwicklung – Biomeiler

In der Folge wurden dann in Deutschland vor 15 – 20 Jahren einige bescheidene Versuche unternommen, die Kompostwärme für Heizzwecke zu nutzen. Seit einigen Jahren werden Kompostmieten auch „Biomeiler“ genannt. Laut Heiner Cuhls<sup>3</sup> sind in Mitteleuropa an die 30 Biomeiler errichtet worden. Die Organisationen wie Native Power in Deutschland und Biomeiler in Österreich bieten Workshops zum Bau von Biomeilern an. Die Kurse haben das Ziel, dass die Teilnehmer in Selbstbau Biomeiler errichten können. Die erforderlichen Baumaterialien werden im Baumarkt eingekauft und vor Ort zu einem Biomeiler zusammengefügt.



Abbildung 6: Biomeiler im Aufbau, [www.biomeiler.at](http://www.biomeiler.at)

<sup>3</sup> Heiner Cuhls, Der Biomeiler, Bau, Optimierung und Erfahrungen



Abbildung 7: Fertig gestellter Biomeiler aus [www.biomeiler.at](http://www.biomeiler.at)

Die Buschwerkkompostmiete hat als Biomasse nur Holz und Waldreste verwertet. Den Biomeilern können neben den Holzabfällen auch Grünabfälle und Festmist beigemischt werden. Vor der Errichtung eines Biomeilers muss zuerst die erforderliche oder gewünschte Größe des Wärmereizers definiert werden. Der Flächenbedarf hängt von der Größe des zu errichtenden Biomeilers ab.

<b>Biomeiler nach Native Power</b>				
Leistung	Volumen	Gewicht	Durchmesser	Höhe
[kW]	[m <sup>3</sup> ]	[t]	[m]	[m]
1	10	3,5	2,50	2,00
3	30	10,5	4,40	2,00
5	50	17,5	5,00	3,00
7	70	24,5	6,00	3,00
10	100	35	6,50	3,00
12	120	42	7,20	3,00
15	150	52,5	8,00	3,00

Tabelle 3: Auszug aus „Der Biomeiler“ von Native Power, Biomeiler, Naturbauten

Der Abstand zu den künftigen Wärmenutzern darf nicht zu groß sein, um die Wärmeverluste der Heizleitungen zu minimieren. Der Platz sollte nahezu eben sein. Zum Schutz des Grundwassers vor Sickerwasser sollte eine Folie ausgelegt werden. Zu Beginn wird der Platz geebnet und die Oberfläche muss frei von spitzen Steinen und Gegenständen sein, damit die Schutzfolie nicht beschädigt wird. Die Schutzfolie leitet das Sickerwasser in einen kleinen Schacht. Von dort kann das anfallende Sickerwasser mittels Pumpen und entsprechenden Rohrleitungssystemen wieder auf die Kompostmiete aufgebracht werden.

Als erste Schicht wird in aller Regel eine Hackschnitzelage auf die Schutzfolie aufgebracht. Bei manchen Bauarten wird zugleich auch ein Drainageschlauch mitverlegt der dazu dient, die Luft besser in das Innere der Miete zu bringen. Danach folgt eine Lage mit einer Schichtstärke von ca. 50 bis 70 cm aus einem Gemisch aus Holzresten, Waldresten, Festmist und Gartenabfällen jeder Art. Die Masse soll dann mit reichlich Wasser einen Trockensubstanzgehalt von 40 bis 50 % aufweisen. Dann folgt der Einbau des Wärmetauschers. Je nach thermischem Ausbaugrad und Bauart werden 20 m bis 40 m Polyethylenrohre mit einem Durchmesser von 1 Zoll spiralförmig verlegt. Es folgen dann die weiteren Schichten bis zur Erreichung der geplanten Höhe. Aufgrund der Biomasseeigenschaften kann der Biomeiler keine senkrechten Wandungen bilden. Die Neigung der Außenwand der Kompostmiete sollte zwischen 70 und 80° liegen. Wird die Biomasse in Baustahlgitter eingefasst, dann kann die Wand auch senkrecht errichtet werden.

Die Wärmetauscher werden an das Wärmenetz angeschlossen. Je nach Art der vorhandenen Installation ist ein direkter oder indirekter Anschluss an das Heizsystem erforderlich. Als Alternative können zudem die Wasserwärmetauscher auch mit einem flexiblen Luftrohrtauscher ersetzt werden. Die Durchmesser betragen dann 80 bis 100 mm. Mit diesen Luftrohrleitungen kann dann die erwärmte Luft zu den Gebäuden, Ställen oder Glashäusern geleitet werden.

Diese Bauart der Kompostmiete ist den Witterungsverhältnissen schutzlos ausgeliefert. Jean Pain<sup>4</sup> deckte in seinen Versuchen die Buschwerkkompostmiete mit Ästen samt den Nadeln oder Blättern so ab, dass der Regen abfließen konnte und die Miete nicht zu stark durchnässt wurde. Bei einer Durchnässung der Miete besteht die Gefahr, dass die anaeroben Abbauprozesse die Überhand gewinnen und es zu Faulprozessen und zu unangenehmen Geruchsbildungen kommt.

---

<sup>4</sup> Ida und Jean Pain „Ein anderer Garten“

## Grundlage der Studie

### Allgemeine Beschreibung

Um die Kompostwärme im größeren Stil nutzen zu können, sind mehr Maßnahmen erforderlich. Es sollen die Voraussetzungen geschaffen werden, dass diese Technologie allgemein eine Verbreitung und entsprechende Anwendung findet. Die Anlagen müssen so gestaltet sein, dass die Bildung von Gerüchen so weit wie möglich unterbunden wird. Sollten dennoch Gerüche auftreten, ist die Dauer und Intensität der Geruchsemission so gering wie möglich zu halten.

### Biologische Vorgänge bei der Kompostierung

Bei der Lagerung von Hackschnitzel laufen bei entsprechender Feuchtigkeit unterschiedliche biologische Auf- und Abbauprozesse statt. Pilze und Bakterien<sup>5</sup> können innerhalb der Biomasse eine Temperatur von bis zu 80 °C erzeugen. Der Temperaturanstieg und die Geschwindigkeit der Temperaturentwicklung hängen von verschiedenen Faktoren ab:

- Biomassemenge
- Art der Lagerung
- Lagerungsdichte
- Fremdmaterial wie Erde oder biologische Abfallstoffe
- Sauerstoffgehalt
- Feuchtigkeitsgehalt
- Homogenisierungsgrad
- Oberflächenstruktur (rau, glatt)
- spezifische Oberfläche
- spezifisches Gewicht der Biomasse
- Temperatur der Biomasse
- Art der Lagerung (offen, abgedeckt, innen/außen)

---

<sup>5</sup> Martin Kaltschmitt, Hermann Hofbauer (Hrsg.), 2009, Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren, 2. Auflage

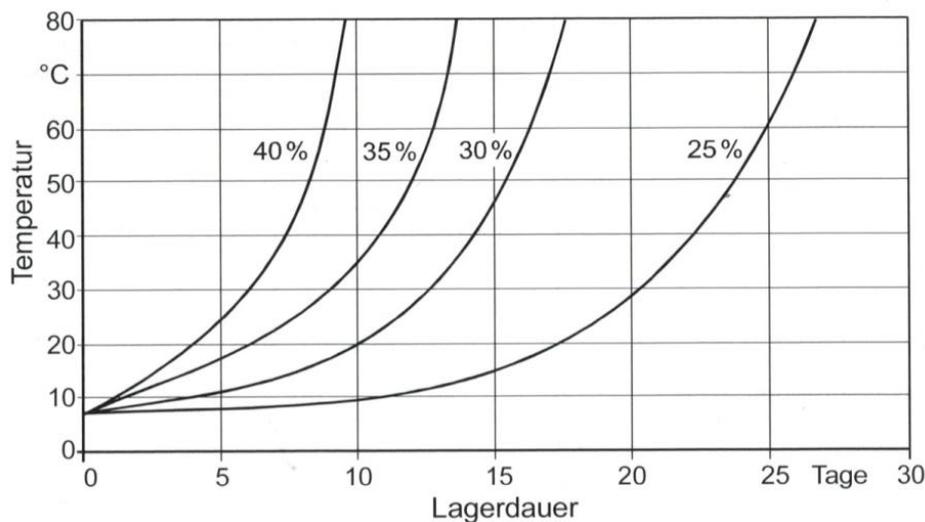


Abbildung 8: Aus "Energie aus Biomasse", Typischer Verlauf des Temperaturanstiegs bei Hackgutlagerung in Abhängigkeit vom Wassergehalt

## Hiebsatz des Südtiroler Waldes und der landwirtschaftlichen Kulturen

Um das Potenzial der Holzreste und der Waldrestmengen ermitteln zu können, muss vom Hiebsatz in Südtirol ausgegangen werden. Dr. Josef Schmiedhofer, Vorsitzender des Südtiroler Forstvereins, hat in der Webseite des gleichnamigen Vereines einen Artikel mit dem Titel „Hat Südtirol genügend Energieholz?“ veröffentlicht. Der Artikel gibt einen guten Überblick über die Holzmengen in Südtirol und beschreibt die Situation im Jahre 2009. Der Holzzuwachs in Südtirol betrug im Jahr 2009 demnach ca. 953.000 Vfm (Vorratsfestmeter). Nur ein bisschen mehr als die Hälfte des Zuwachses beträgt der Hiebsatz, der mit ca. 543.000 Vfm beziffert wird.

Die Biomasse aus den landwirtschaftlichen Kulturen betrug laut Schmiedhofer im Jahr 2009 ca. 40.000 Vfm. Die Sägewerke haben im Jahre 2008 ca. 570.000 Srm (Schüttraummeter) Sägenebenprodukte erzeugt. In der Zweitverarbeitung vielen laut Schmiedhofer im Jahr 2009 ca. 290.000 Srm Biomasse als Nebenprodukte an.

## Grünmüllanfall in Südtirol

Im Situationsbericht 2013 „Verwertung von biogenen Abfällen in Südtirol“ der Umweltagentur der Autonomen Provinz Bozen beschreibt Geom. Andreas Marri vom Amt für Abfallwirtschaft die biogenen Abfallmengen für das Jahr 2012:

- Bioabfälle 31.000 t/Jahr
- Grünabfälle 18.400 t/Jahr

Für uns interessant sind die Grünabfälle. Von den 18.400 Jahrestonnen werden 12.450 Jahrestonnen (67%) in Südtirol kompostiert, der Rest, 5.950 Jahrestonnen (33%), werden in Gebiete außerhalb von Südtirol gebracht und dort verwertet.

## Abschätzung der Holzreste- und Waldrestmengen in Südtirol

Um die Biomassemenge für die Erzeugung von Kompostwärme ermitteln zu können, werden nur jene Mengen betrachtet, die derzeit keiner Nutzung zugeführt werden. Ausgehend vom veröffentlichten Artikel von Dr. Josef Schmiedhofer<sup>6</sup> wird der Hiebsatz aus dem Jahre 2009 zugrunde gelegt. In dieser Studie werden nur die Holzmengen aus den Südtiroler Wäldern und aus den landwirtschaftlichen Kulturen betrachtet. Aus dem Südtiroler Wald wurden im Jahr 2009 ca. 543.000 Vfm entnommen. Für die Erzeugung von Brettern, Balken und Ähnliches werden schätzungsweise 60% des Rohmaterials gebraucht, das sind 325.800Vfm. Schätzungsweise 20%, das sind 108.600 Vfm, gehen als Grundstoff in die Industrie zur Erzeugung von Platten, Pellets und werden als Brennstoff wie z.B. als Scheitholz oder Hackschnitzel genutzt.

Die derzeit nicht genutzten Mengen haben einen Anteil von ca. 20%. Es handelt sich um Derbholz, Rinde, Sägemehl, Späne usw. Es werden etwa 108.600 Vfm geschätzt. Die Holzmengen aus den landwirtschaftlichen Kulturen werden mit 40.000 Vfm angegeben. Davon werden 22,5%, das sind 9.000 Vfm, als Nutzholz verkauft. Weitere 17,5 %, das sind 7.000 Vfm, werden als Brennstoff genutzt. Der Rest wird gemulcht und bleibt in den Kulturen liegen. In Analogie zu den Waldresten könnte beim Hiebsatz der landwirtschaftlichen Kulturen auch ein Anteil von 10%, das sind 4.000 Vfm, genommen werden und einer thermischen Nutzung durch Kompostierung zugeführt werden.

Zusammenfassung der Biomassemenge:

- Wald-Holzreste 108.600 Vfm
- Grünabfälle 5.950 Jahrestonnen
- Holzreste aus landwirtschaftlichen Kulturen 4.000 Vfm

## Grobabschätzung des Energiepotentials der Holzreste, Waldreste und der nicht genutzten Grünabfälle in Südtirol

Um das Potential der Energiemenge pro Jahr abschätzen zu können, müssen die Biomassemengen, die beim Holz in Vfm dargestellt werden, und die Grünabfallmengen, die in Jahrestonnen angegeben werden, in Volumeneinheiten Srm umgerechnet werden. Die Holz- bzw. Waldreste müssen mit einer Maschine zu Hackschnitzeln mit einer Größe von 30

---

<sup>6</sup> Josef Schmiedhofer, „Hat Südtirol genügend Energieholz?“

bis 50 mm verarbeitet werden, damit die Bakterien genügend Angriffsfläche vorfinden, um die Biomasse kompostieren zu können. Auch die Grünabfälle müssen aufbereitet werden, damit diese mit den Holzhackschnitzeln vermischt und in die Kompostmiete eingearbeitet werden können. Aus 1 Vfm Holzresten werden 2,5 Srm Hackschnitzel erzeugt. Es wird angenommen, dass der Grünabfall ein spezifisches Gewicht von  $400 \text{ kg/m}^3$  und einen Feuchtigkeitsgehalt von 40% bis 50% besitzt.

Berechnung des theoretischen Biomassegesamtvolumens:

- Wald- und Holzreste  $108.600 \text{ Vfm} + 4.000 \text{ Vfm} = 112.600 \text{ m}^3$
- Grünabfälle  $5.950 \text{ t/a} / 0,4 \text{ t/m}^3 = 14.875 \text{ m}^3$
- Gesamtbiomasse  $G_b = 127.475 \text{ m}^3$

Aus dem Buch von Ida und Jean Pain und aus den Workshop-Unterlagen von Heiner Cuhls können die empirisch gewonnenen Bemessungsdaten für die Kompostierungsmiete genommen werden. Damit eine Buschwerkkompostmiete bzw. ein Biomeiler mit einer Wärmeleistung von 10 kW erstellt werden kann, geben beide Autoren ein Volumen von  $100 \text{ m}^3$  an. Die Biomasse besteht aus Holz-, Waldreste und Holzhackschnitzeln. Der Feuchtigkeitsgehalt soll zwischen 40% und 50% liegen. Die Leistung kann zwischen 9 und 15 Monaten gefahren werden.

Die spezifische Leistung  $P_{Gb}$  pro  $\text{m}^3$  errechnet sich aus:

$$P_{Gb} = 10 \text{ kW}/100 \text{ m}^3 = 0,1 \text{ kW/m}^3$$

Das energetische Potenzial der Kompostbiomasse in Südtirol errechnet sich aus:

$$50 \text{ Tonnen} \Rightarrow 334,4 \text{ kWh/Tag} * 365 \text{ Tage} = 122.056 \text{ kWh} \Rightarrow 122.056 \text{ kWh}/50 \text{ t} = 2.441,12 \text{ kWh/t}$$

$$\text{Rohdichte von Holz bei } W = 20 \%: 0,540 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Gesamtbiomasse } G_b: 112.600 \text{ m}^3 * 0,540 \text{ t/m}^3 + 5.950 \text{ t} = 66.472,5 \text{ t}$$

Gesamtenergiepotential  $E_{\text{pot}}$  berechnet über das Gewicht

$$E_{\text{pot}}: 2.441,12 \text{ kWh/t} * 66.472,5 \text{ t} = 162.267.349 \text{ kWh} = 162.267 \text{ MWh}$$

Die gewinnbare Energie pro Kilogramm Biomasse errechnet sich aus:

$$E = (2.441,12 \text{ kWh/t}) / 1.000 = 2,44 \text{ kWh/kg}$$

Da die spezifische Leistung der Buschwerkkompostmiete bei  $0,1 \text{ kW/m}^3$  liegt, kann die gewinnbare Energie aus der gesamten in Südtirol anfallenden Biomasse auch über das Volumen berechnet werden. Die Biomasse liegt in der Buschwerkkompostmiete in der Regel nicht dicht übereinander. Für die Berechnung der gewinnbaren Energie aus der gesamten in

Südtirol anfallenden Biomasse wurden daher drei unterschiedlichen Auflockerungsgrade A, B, und C angenommen:

- A)  $112.600\text{m}^3 * 1,5 + 5.950/0,4 = 183.775\text{m}^3 \Rightarrow 183.775/10 = 18.377\text{kW} \Rightarrow * 8.760\text{h} = 160.982.520\text{ kWh}$
- B)  $112.600\text{m}^3 * 2,0 + 5.950/0,4 = 240.075\text{m}^3 \Rightarrow 240.075/10 = 24.007\text{kW} \Rightarrow * 8.760\text{h} = 210.301.320\text{ kWh}$
- C)  $112.600\text{m}^3 * 2,5 + 5.950/0,4 = 296.375\text{m}^3 \Rightarrow 296.375/10 = 29.637\text{kW} \Rightarrow * 8.760\text{h} = 259.620.120\text{ kWh}$

Die gewinnbare Energie pro Jahr einer Buschwerkkompostmiete mit einer Leistung von 10 kW, welche ca. 100 m<sup>3</sup> Biomasse benötigt, errechnet sich aus:

$$10\text{ kW}/100\text{ m}^3 * 8.760\text{ h} = 87.600\text{ kWh}/100\text{ m}^3/\text{Jahr}$$

## Grundkonzept für eine neue Bauart einer Wärmeerzeugung mit einer Kompostmiete

Um die Kompostwärme im größeren Stil nutzen zu können, sind mehrere Maßnahmen erforderlich. Die Anlagen müssen eine bestimmte Baugröße haben, damit ein wirtschaftlicher Einsatz möglich ist. Es sind Vorkehrungen zu treffen, um ein Durchnässen eines Biomeilers zu verhindern. Das Durchnässen ist eine der Hauptursachen von anaeroben Prozessen im Inneren des Komposters. Da ein Wenden der Miete im Fall einer Durchnässung nicht möglich ist, muss die Befeuchtung dosiert und gezielt erfolgen. Der Feuchtigkeitsgehalt sollte mittels einer Sonde gemessen werden, ebenso ist die Temperatur des Komposts mit einer Temperatursonde zu messen. Andererseits ist der Meiler auch der Sonneneinstrahlung ausgesetzt. Je nach Lage, Besonnung, Wind und niederschlagsfreien Tagen kann es zum Austrocknen der Biomasse kommen. Die biochemischen Abbauprozesse und auch die Wärmeproduktion könnte dadurch gemindert werden. Auch können Tiere in den Biomeiler eindringen und sich einnisten.

Als erste Maßnahme ist die Miete vor den Witterungseinflüssen zu schützen. Der Biomeiler oder die Buschwerkkompostmiete müssen mit einer Wetterschutzfolie abgedeckt werden. Diese Folie schützt die Biomasse der Miete vor zu hoher Besonnung und vor Austrocknung, gleichzeitig wird das Regenwasser gezielt von der Miete abgeleitet. Die Abdeckfolien müssen nicht gasdicht sein. Der erforderliche Sauerstoff soll mit der Luft gezielt über eine Luftdrainageleitung, die über der Grundwasserschutzfolie verlegt wird, in das Innere der Miete eingeleitet werden. Die Luft soll über den Boden - über Öffnungslappen in der Abdeckfolie - geregelt angesaugt werden. An der Spitze des Abdeckzeltes soll eine Öffnung den Luftabzug über das Dach gewährleisten. Um die Luftmengen zu regulieren, kann auch ein Luftventilator eingebaut werden, der mittels Photovoltaikplatten mit Strom versorgt

wird. Um das Abdeckzelt zu halten, wird eine Metallstruktur aus verzinkten Stahlprofilen errichtet. Die vertikalen Steher werden miteinander durch horizontale Stahlstäbe in ihrer Lage gehalten, gleichzeitig geben sie dem Maschengewebe aus Kunststoff die Form, um die Biomasse zu halten. Das Kunststoffmaschengewebe verhindert, dass Tiere sich in der Biomasse einnisten und die Nützlinge in der Kompostmiete vertilgen.

Anforderungen an die neue Bauart der Kompostmiete:

- Schutz vor Regen
- Schutz vor intensiver Besonnung
- Schutz vor Wind
- Schutz gegen Geruchsbildung
- Schutz und Abweisen der Tiere von außen
- Kontrollierte Befeuchtung der Biomasse
- Messung der Temperatur
- Messung der Feuchtigkeit
- Einfache Luftregulierung
- Einfache Gestaltung der Komponenten
- Einfacher und rascher Aufbau der Bauteile
- Einfacher Abbau und Gewinnung des Kompostes

## **Beschreibung des Aufbaues des Kompostbausystems “Compoterm“**

Das Bausystem soll in der Herstellung einfach sein und vor allem den Kunden und Anwender ohne Fachkenntnisse in die Lage versetzen, eine solche Anlage mit einfachen Mitteln aufbauen zu können.

Der Bausatz besteht aus folgenden Materialien und Bauteilen:

- Grundwasserschutzfolie und Sickerwasserschacht
- Luftdurchlässige Drainageleitung D 120 mm
- Zeltragstruktur aus verzinkten Metallrohren:
  - Steher
  - Dachträger
  - Zugstangen
  - Windverband
  - Befestigungsmittel
- Auflagenplatte für die Zeltstruktur
- Kunststoffgitterfolie
- Abdeckfolien aus PVC mit Erdanker
- Kunststoffrohre PE 1“ als Wärmetauscher

- Kunststoffrohre PE ½“ für die Bewässerung der Biomasse
- wärmegeämmte Heizungsleitungen
- Temperatursonden
- Feuchtigkeitssonden
- Tauchpumpe für das Abpumpen des Sickerwassers
- Heizungspumpe

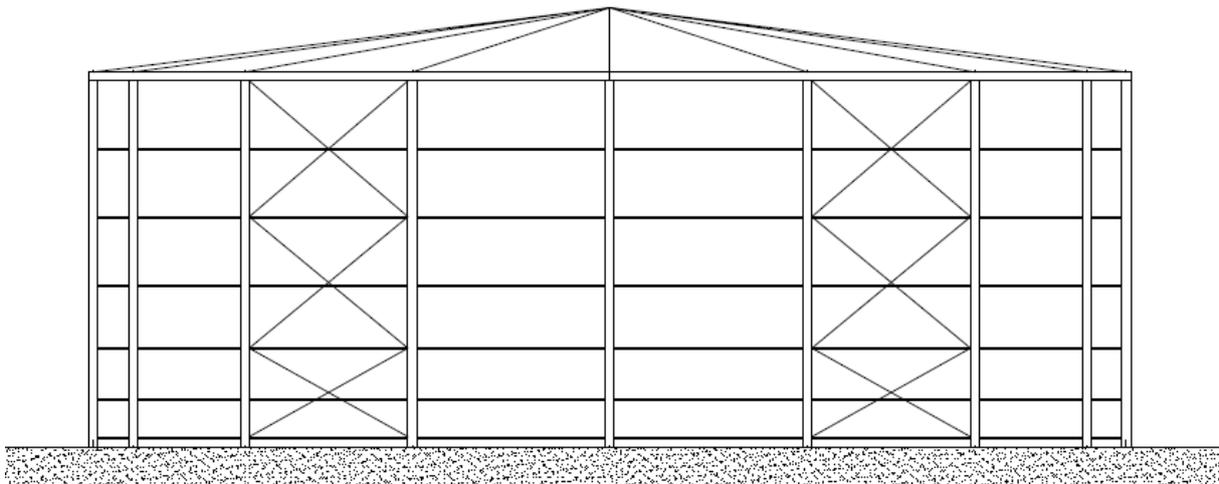


Abbildung 9: Schnitt Tragstruktur Composterm Durchmesser 7 m - Seitenhöhe 2,5 m

## Beschreibung zum Aufbau der „Composterm“- Anlage

- Vorbereiten der Biomasse. Mischen der Biomasse, wenn mehrere unterschiedliche Fraktionen vorhanden sind. Die Korngröße sollte zwischen 0 und 50 mm liegen. Einzelne größere Kornteile schaden dem Kompostierungsvorgang nicht, können aber beim Abbau der Miete nach Abschluss der Abbauprozesse hinderlich sein.
- Vorbereitung des Bauplatzes. Beseitigen der Humusschicht. Ebenen des Untergrundes. Entfernen von Steinen und spitzen Gegenständen, die eine Beschädigung der Grundwasserschutzmatte hervorrufen könnten. Ausbildung einer Neigung, damit das Sickerwasser gesammelt und abgeleitet werden kann.
- Aushub des Bodens für die Aufnahme des Sickerwasserschachtes. Versetzen des Sickerwasserschachtes.
- Verlegung der Grundwasserschutzmatte. Auslegung der Schutzfolie, eventuell Verschweißen der Folien untereinander. Ausbilden der Einmündung in den Sickerwasserschacht.
- Einbringen einer ca. 10 cm starken Lage aus Hackschnitzel zum Schutz der Folie gegen Beschädigungen.
- Verlegung der Zeltstruktur. Auslegen der Auflagerplatten mit den Stehern. Sicherung der Steher mit den Zugstangen. Ein Bereich zwischen 2 Stehern bleibt offen, damit

der Komposter mit Biomasse befüllt werden kann. Aus statischen Gründen müssen die unterste Zugstange und jene auf einer Höhe von 2,5 m montiert werden. Montage der Dachträger und der Windverbände.

- Fixierung der Grundwasserschutzfolie an die vertikalen Steher, damit eine 20 cm starke vertikale Folienwand ausgebildet wird.
- Einbringen und Montage der Kunststoffgitterfolien an den Seitenwänden.
- Aufbringen der gelochten Belüftungsrohre und Überdecken der Rohre mit Hackschnitzel bis zu einer Schichtstärke von 20 cm.
- Einbringen der 1. Lage Biomasse bis zu einer Schichtstärke von 60 bis 65 cm. Die Masse soll einen Feuchtigkeitsgehalt haben, damit der Einbau und die Verdichtung nicht behindert werden.
- Einbau eines Kunststoffrohres aus PE 1“ zur Ausbildung des 1. Wärmetauschers. Der Randabstand von außen soll ca. 50 cm betragen, die Rohre sollen spiralförmig nach innen verlegt werden. Der Rohrabstand soll ca. 30 cm betragen.
- Einbringen der 2. Biomasselage bis zu einer Schütthöhe von 120 bis 130 cm. Die Schichthöhe der 2. Lage beträgt 60 bis 65 cm.
- Einbau eines Kunststoffrohres aus PE 1“ zur Ausbildung des 2. Wärmetauschers. Der Randabstand von außen soll ca. 50 cm betragen die Rohre sollen spiralförmig nach innen verlegt werden. Der Rohrabstand soll ca. 30 cm betragen.
- Einbringen der 3. Biomasselage bis zu einer Schütthöhe von 180 bis 200 cm. Die Schichthöhe der 3. Lage beträgt 60 bis 65 cm.
- Einbau eines Kunststoffrohres aus PE 1“ zur Ausbildung des 3. Wärmetauschers. Der Randabstand von außen soll ca. 50 cm betragen, die Rohre sollen spiralförmig nach innen verlegt werden. Der Rohrabstand soll ca. 30 cm betragen.
- Einbringen der 4. Biomasselage bis zu einer Schütthöhe von 250 cm. Die Schichthöhe der 4. Lage beträgt 60 bis 65 cm.
- Bewässern der Biomasse.
- Montage der Temperatursonden und Feuchtigkeitssonden.
- Montage der Heizung, Einbau der Regelung und Steuerung.
- Montage des Bewässerungssystems über der Biomasse.
- Montage des Abdeckzeltes mit Fixierung der Folien durch die Erdankernägel.

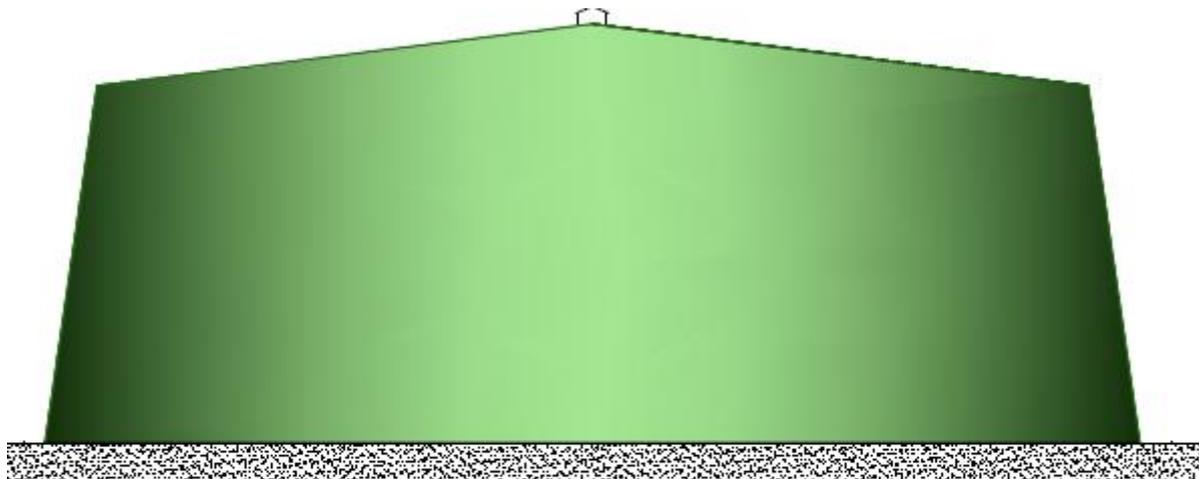


Abbildung 10: Ansicht Compoterm, Durchmesser 7 m - Seitenhöhe 2,5 m

### **Überschlägige Ermittlung der Materialien und der Kosten des Kompostbausystems "Compoterm"**

Für die Ermittlung der Kosten für die Bauteile wurden Richtangebote von verschiedenen Unternehmen eingeholt. Dazu wurden für die Erzeugnisse der einfachen Bauteile wie Drainagerohre, Bodenabdichtungsfolien, Halterungen und Kunststoffgitter etc. die regionalen Baumaterialhändler befragt. Die Kosten für die erforderlichen Bauteile für die Bewässerung und Ableitung der Abwärme wurden aus dem Landespreisverzeichnis 2013 für Tiefbauarbeiten der Autonomen Provinz Bozen entnommen. Hersteller von Planen und Planabdeckungen haben Angebote für die Zeltabdeckung vorgelegt. Die Kosten für die Sonden zur Messung von Temperatur und Feuchtigkeit wurden von Firmen genannt, die im Installationsgewerbe tätig sind. Die Kosten für die Tragstruktur wurden von einer Glasbaufirma ermittelt.

Zusammenstellung des Bausets "Compoterm"			
Pos	Bauteile	Einheit	Mengen
1	Bodenabdeckungsfolie	m <sup>2</sup>	40
2	Luftdrainagerohre D = 100 mm	m	30
3	Bodenauflegerplatten 20 x 20 cm	St	16
4	Vertikale Steher L = 2,5 m	St	16
5	Geneigte Dachrohre L = 3,55 m	St	16
6	Horizontale Zugstangen a 1,4 m	St	42
7	Windverbände	St	24
8	Kunststoffgitterfolien	m <sup>2</sup>	55
9	Zeltabdeckfolie	m <sup>2</sup>	100
10	Bodenerdanker - Heringe	St	75
11	Wärmetauscher PE 1"	m	200
12	Stecktemperatursonden	St	2
13	Steckfeuchtigkeitsfühler	St	2
14	Heizungswasserpumpe	St	1
15	Steuerung, Regelung	St	2

Tabelle 4: Zusammenstellung des Bausets "Compoterm"

Die Kosten für den beschriebenen Aufbau mit einem Fassungsvermögen von 100 m<sup>3</sup> und einer geschätzten thermischen Leistung von 10 kW können zwischen 7.000,00 und 9.000,00 € beziffert werden. Dabei handelt es sich um eine Pilotanlage, die Industrialisierung zu einer Kleinserie könnte zur Senkung dieser Kosten führen.

#### Überschlägige Ermittlung der Wirtschaftlichkeit des Kompostbausystems "Compoterm"

Bei einer Ausbaugröße von 10 kW ergibt die Jahresenergieproduktion eine Jahresenergiemenge von 87.600 kWh/Jahr. Bei einem angenommenen Nutzungsgrad von ca. 50 % werden immerhin 43.800 kWh pro Jahr genutzt. Das entspricht ca. 4.300 Liter Heizöl.

Die spezifischen Kosten für die verschiedenen Brennstoffe in Tabelle 5 wurden von der Internetseite der Verbraucherzentrale Südtirol entnommen. Die Vergleichstabelle stellt den Stand vom 31.03.2014 der verschiedenen Brennstoffkosten dar. In dieser Vergleichstabelle sind die Kosten für die Abschreibung, Verzinsung und Reparatur bzw. Wartung nicht enthalten.

Brennstoff	Durchschnittlicher Preis pro Einheit	Durchschnittlicher Preis pro kWh	Kosten für 43.000 kWh/a
Heizöl	1,290 €/l	0,129 €	5.547,00 €/Jahr
Flüssiggas (im Tank)	2,351 €/kg	0,184 €	8.059,20 €/Jahr
Erdgas	0,888 €/m <sup>3</sup>	0,091 €	3.985,80 €/Jahr
Pellets	0,291 €/kg	0,061 €	2.671,80 €/Jahr
Hackschnitzel	0,139 €/kg	0,032 €	1.401,60 €/Jahr
Stückholz gemischt	0,151 €/kg	0,035 €	1.533,00 €/Jahr
Fernwärme	0,098 €/kWh	0,098 €	4.292,40 €/Jahr

*Tabelle 5: Brennstoffkosten im Vergleich inklusiv eventueller jährlicher Fixgebühren, Verbraucherzentrale Südtirol, Stand: 31 März 2014*

Die Brennstoffkosten für die 100 m<sup>3</sup> Biomasse werden mit 200,00 € angesetzt. Im Wesentlichen sind das die Kosten für den Transport der Biomasse. Der Wert der Biomasse selbst wird mit Null angenommen, da diese bereits im landwirtschaftlichen Betrieb zur Verfügung steht.

Der Preis für das Baukastensystem der „Compoterm“-Anlage wird mit 8.000,00 € angenommen. Für die Ermittlung der Jahreskosten der „Compoterm“-Anlage, wird ein mittlerer Jahreszinssatz von 3% und weitere 2% für eventuelle Reparaturen und Wartungsarbeiten angenommen. Es wird eine Amortisation von 10 Jahren zugrunde gelegt.

## Berechnung der Jahreskosten

Neupreis „Compoterm“		P...8.000,00 €	
Amortisation		n...10 Jahre	
Zinssatz		p...3%/Jahr	
Reparatursatz		r...2%/Jahr	
Abschreibung	$A = P/n$	$= 8.000/10$	$= 800,00 \text{ €/Jahr}$
Jahreszinsen	$Z = P * p/2$	$= 8.000 * 3\%/2$	$= 120,00 \text{ €/Jahr}$
Reparaturkosten	$R = P * r$	$= 8.000 * 2\%$	$= 160,00 \text{ €/Jahr}$

Arbeitsstunden pro Kompostierperiode:

2 Mann * 8 Stunden * 25 €/h	$= 400,00 \text{ €/Jahr}$
Transportkosten Rohstoff	$= 200,00 \text{ €/Jahr}$

Wert des gewonnenen Kompostes:

50 t * 10 €/t	$= - 500,00 \text{ €/Jahr}$
---------------	-----------------------------

## Berechnungsbeispiel 1

In diesem Teil der Berechnung werden nur die Jahreskosten berechnet, ohne die Verzinsung, die Amortisation und die Reparaturen zu berücksichtigen. In der Betrachtung der Jahreskosten werden nur die Transportkosten der Biomasse vom Entstehungsort bis zur Compoterm-Anlage berechnet. Da diese Art von Biomasse keinen Marktwert besitzt wird dieser mit Null angesetzt. Die Arbeitsstunden werden mit den in der Landwirtschaft üblichen Stundensätzen von 25 € die Stunde in Rechnung gestellt. Für das Befüllen des Komposters werden 2 Personen und 2 Arbeitstage kalkuliert. Die gewonnene Biomasse als Kompost nach ca. 12 Monaten wird mit 10 €/t bewertet. Die betrachtete Compoterm-Anlage, mit einem Volumen von 100 m<sup>3</sup>, erzeugt zirka 40 t bis 50 t Kompost.

Berechnung der Jahreskosten:

- Transportkosten der Biomasse
- Arbeitsaufwand für die Befüllung und den Abbau der Compotermanlage
- Gegenwert für den gewonnen Kompost

$$\text{Jahreskosten } (400,00 \text{ €} + 200,00 \text{ €} - 500,00 \text{ €}) = 100,00 \text{ €/Jahr}$$

Berechnung der spezifischen Energiekosten:

$$E_{sp} = \text{Jahreskosten} / \text{genutzte Jahresenergiemenge}$$

$$E_{sp} = (400,00 \text{ €} + 200,00 \text{ €} - 500,00 \text{ €}) / 43.800 \text{ kWh} = 0,00228 \text{ €/kWh} = 0,228 \text{ c€/kWh}$$

## Berechnungsbeispiel 2

Im Gegensatz zum ersten Berechnungsbeispiel werden in diesem Teil der Berechnung die Jahreskosten aus der Verzinsung, aus der Amortisation und der Reparaturen mit berücksichtigt.

Berechnung der Jahreskosten:

- Abschreibung
- Verzinsung
- Reparaturkosten
- Transportkosten der Biomasse
- Arbeitsaufwand für die Befüllung und den Abbau der Compoterm-Anlage
- Gegenwert für den gewonnenen Kompost

Jahreskosten = 1.180,00 €/Jahr

Berechnung der spezifischen Energiekosten:

$E_{sp} = \text{Jahreskosten} / \text{genutzte Jahresenergiemenge}$

$E_{sp} = (800,00 \text{ €} + 120,00 \text{ €} + 160,00 \text{ €} + 400,00 \text{ €} + 200,00 \text{ €} - 500,00 \text{ €}) / 43.800 \text{ kWh} = 0,027 \text{ €/kWh} = 2,7 \text{ c€/kWh}$

Bei Betrachtung der Brennstoffkosten in Tabelle 5, herausgegeben von der Verbraucherzentrale Südtirol, werden die Kostenvorteile der Compoterm-Anlage ersichtlich. In dieser Tabelle sind die reinen Kosten des Brennstoffes, bezogen auf den Energieinhalt, dargestellt. Die Kosten, resultierend aus Investition, Verzinsung, Abschreibung und Wartung sind nicht enthalten.

## Schlussfolgerungen

Die vorliegende Vorstudie zur Entwicklung einer Anlage zur Erzeugung von Wärme aus Holzabfällen und Biomasse zeigt das Potenzial der Holzreststoffe in Südtirol auf. Die gesamte Biomasse bestehend aus derzeit nicht verwertbaren und nicht verwerteten Holzreststoffen und Grünabfällen, die außer Landes gebracht werden, betragen ca. 127.475 m<sup>3</sup>. Durch die Verwertung der Biomasse über Nutzung der Fermentationswärme könnte ein thermisches Energiepotential von nahezu 162.267 MWh genutzt werden. Die berechnete Energie könnte den Wärmebedarf von 12.000 Wohnungen mit einer Fläche von 100 m<sup>2</sup> decken. Bei Betrachtung der Ökologie könnte die Einsparung an schädlichen Treibhausemissionen bei 50.000 t CO<sub>2</sub> liegen. Berücksichtigt man die topografischen Verhältnisse und den erforderlichen Platzbedarf der Composterm-Anlagen könnten theoretisch etwa 10% bis maximal 20% der Leistung erzeugt werden.

Die ursprüngliche Biomasse wird nicht verbrannt, sondern biologisch abgebaut und nach dem Kompostierungsprozess wieder auf die Böden ausgebracht und somit der Stoffkreislauf wieder geschlossen. Die Produktion von Wärme durch den Kompostierungsprozess ist wesentlich wirtschaftlicher als die Bereitstellung der Wärme mit herkömmlichen Methoden. Entscheidende ökologische Vorteile hat diese Art der Wärmeproduktion, weil keine Verbrennung im herkömmlichen Sinne stattfindet.

## Einheiten und Abkürzungen

kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
%	Prozent
°C	Grad Celsius
kg	Kilogramm
t	Tonnen
E	Energie
P	Leistung
h	Stunde
a	Jahr
mm	Millimeter
cm	Zentimeter
m	Meter
"	Zoll
D	Durchmesser
L	Länge
l	Liter
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
Vfm	Vorratsfestmeter
Srm	Schüttraummeter
PVC	Polyvinylchlorid
PE	Polyethylen
St	Stück
€	Euro

## Literaturverzeichnis

1. Ida und Jean Pain (1980), Die Methoden Jean Pain oder Ein anderer Garten. 8. Auflage
2. Martin Kaltschmitt, Hermann Hofbauer (Hrsg.), Energie aus Biomasse
3. Heiner Cuhls (2009), Der Biomeiler, Bau, Optimierung und Erfahrungen
4. GSE, Biomasse 2009, Rapporto statistico
5. H. Fabian Jacobi, Marcus Trommler, Vortrag: Technische Möglichkeiten und Potenziale der flexiblen Strombereitstellung aus Biogas; Veranstaltung des DBFZ (03. April 2014 Berlin): Dezentrale flexible Strombereitstellung aus Biogas: Entwicklung, Möglichkeiten und Perspektiven
6. Josef Schmiedhofer (2009), Hat Südtirol genügend Energieholz?
7. Andreas Marri, Situationsbericht 2013 „Verwertung von biogenen Abfällen in Südtirol“
8. Andrea Gutjahr, Constanze Rau (2013), Bioenergienutzung von Campinggrünschnitt
9. Andreas Morgenroth (2012), Die Energiewende auf dem Friedhof - Erzeugung und Nutzung regenerativer Energien auf den Friedhofsfreiflächen
10. Südtiroler Landesregierung - Landwirtschaftsamt, Agrar- und Forstbericht 2012