

# BERICHT

## Energie aus Biomasse in der Gemeinde Bregaglia

### Analysebericht zur Nutzung von alternativer Energie aus Biomasse

für  
Comune di Bregaglia  
Via ai Crott 17  
CH – 7606 Promontogno  
Hr. Ueli Weber

Weitere Empfänger:  
EWZ, ANU Kanton Graubünden, BAFU

Ansprechpartner:  
Stephan Gasser - Project Manager  
Martin Zsifkovits - Senior Consultant

Winterthur, 24. Juni 2022

<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>5</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>6</b>
<b>DOKUMENTEN-HISTORIE</b>	<b>6</b>
<b>1 EXECUTIVE SUMMARY</b>	<b>7</b>
<b>2 AUSGANGSLAGE</b>	<b>9</b>
2.1 Bedürfnis und Ziel der Analyse	9
2.2 Aufbau des Dokuments	10
<b>3 BIOMASSE IM BERGELL</b>	<b>11</b>
3.1 Zusammenfassung Biomasse im Bergell	11
3.2 Biomasse Holz (Hackschnitzel)	12
3.3 Biomasse Grünschnitt	14
3.4 Biomasse Küchenabfälle	15
3.5 Biomasse entwässerter Klärschlamm	16
3.6 Biomasse ungenutztes Biogas	17
3.7 Biomasse Gülle / Mist	18
3.8 Biomasse Kastanienblätter und -schalen	19
3.9 Biomasse Altholz	21
<b>4 TECHNOLOGIEN</b>	<b>22</b>
4.1 Technologie Holzschneitzelheizung	22
4.2 Technologie BHKW	23
4.3 Technologie Pyrolyse	24
4.4 Technologie Hydrolyse	25
4.5 Technologie Umwandlung Biogas	25
<b>5 ANLAGEN</b>	<b>27</b>
5.1 Übersicht	27
5.2 BlueFlux H2	27

5.2.1	Technik und Reifegrad	27
5.2.2	Wirtschaftlichkeit	31
5.3	BHKW Feststoffe	32
5.3.1	Technik	32
5.3.2	Wirtschaftlichkeit	35
5.4	BHKW Softstoffe	36
5.4.1	Technik	36
5.4.2	Wirtschaftlichkeit	39
5.5	Hackschnitzelheizung	40
5.5.1	Technik	40
5.5.2	Wirtschaftlichkeit	40
5.6	Verwendung von Gas	41
5.7	Ausgeschlossene Anlage	42
5.7.1	CeFET GmbH Güssing mit DFB Großanlage	42
5.7.2	BTX Energy Restholzpellets zu Wasserstoff	42
5.7.3	R-Hynoca (Haffner)	42
<b>6</b>	<b>FERNWÄRME</b>	<b>44</b>
6.1	Fernwärme für Haushalte und öffentliche Gebäude	45
6.2	Fernwärme für Gewächshäuser	47
6.3	Fernwärme für ein öffentliches Schwimmbad	47
6.4	Fernwärme für Holz Trocknung	47
<b>7</b>	<b>STANDORT</b>	<b>48</b>
7.1	Bedürfnisse der Anlagen an den Standort	48
7.3	Mögliche Standorte	49
7.4	Standort Maloja - Pra d'Zura	50
7.6	Vicosoprano - Via Albigna	51
7.8	Standort Dangal	52
<b>8</b>	<b>WASSERSTOFF: MÖGLICHE ANWENDUNGEN UND VERTRIEB</b>	<b>53</b>
8.1	Fahrzeuge	53
8.2	Brennstoffzellen	54

8.3	Wasserstoffvertrieb	55
	<b>REFERENZEN</b>	<b>57</b>
	<b>ALLGEMEINE PARAMETER</b>	<b>58</b>
	<b>LIEFERANTENVERZEICHNIS</b>	<b>59</b>
	<b>ANNEX A: ANALYSE DER HOLZENTNAHME</b>	<b>60</b>
	<b>ANNEX B: HOLZ ENERGIEWERTE UND UMRECHNUNG</b>	<b>61</b>
	<b>ANNEX C: KÜCHENABFÄLLE</b>	<b>62</b>
	<b>ANNEX D: KLÄRSCHLAMM</b>	<b>63</b>
	<b>ANNEX E: UNGENUTZTES GAS</b>	<b>64</b>
	<b>ANNEX F: GÜLLE / MIST</b>	<b>66</b>
	<b>ANNEX G: KASTANIENBLÄTTER / - SCHALEN</b>	<b>67</b>
	<b>ANNEX H: BHKW – GLOCK GGV2.7</b>	<b>68</b>
	<b>ANNEX I: HACKSCHNITZELANLAGE - HEIM-ENERGIE HS-F 500</b>	<b>71</b>
	<b>ANNEX J: BHKW – KOSTEN TRANSPORT HACKSCHNITZEL</b>	<b>75</b>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1	Holzentnahme im Bergell im Zeitraum von 2016 - 2021	13
Abbildung 2	Hackschnitzelmengen im Zeitraum von 2016 – 2021, Mittelwert 2019 - 2021	13
Abbildung 3	Bestandteile der Hackschnitzelheizung	22
Abbildung 4	Heizwert von Hackschnitzel	23
Abbildung 5	Wirkprinzip eines BHKW	24
Abbildung 6	Schematische Darstellung Biogasreaktor	26
Abbildung 7	Technologie-Biomasse Matrix	27
Abbildung 8	Schematische Darstellung der Prozesse der Bluefluxanlage	28
Abbildung 9	Pilotanlage BlueFlux Anlage	30
Abbildung 10	Darstellung der Arrangement von GGV2.7	33
Abbildung 11	Darstellung einer BHKW-Anlage mit drei Modulen	34
Abbildung 12	Biogasanlagen in der Schweiz	38
Abbildung 13	Schematische Darstellung der H2bois-Anlage im Jura	43
Abbildung 14	Mögliche Standorte im Bergell	49

**TABELLENVERZEICHNIS**

Tabelle 1	Zusammenfassung der vorhandenen Biomasse	11
Tabelle 2	Vorhandene Biomasse «Hackschnitzel »	13
Tabelle 3	Vorhandene Biomasse «Grünschnitt»	14
Tabelle 4	Vorhandene Biomasse «Küchenabfälle»	15
Tabelle 5	Vorhandene Biomasse «entwässerter Klärschlamm»	16
Tabelle 6	Vorhandene Biomasse «ungenutztes Biogas» aus der Kläranlage	17
Tabelle 7	Vorhandene Biomasse «Gülle und Mist»	19
Tabelle 8	Vorhandene Biomasse «Kastanienblätter und –schalen»	20
Tabelle 9	Vorhandene Biomasse «Altholz»	21
Tabelle 10	Eigenschaften mögliche BHKW Anlage	70

**DOKUMENTEN-HISTORIE**

Datum	Revision	Beschreibung	Freigabe
31.05.2022	--	Erstausgabe	M. Molinari
13.06.2022	A	Korrektur & Ergänzung aus erster Rückmeldung	M. Molinari
24.06.2022	B	Korrektur von Form- und Schreibfehlern Korrektur von Distanzangaben im Kap.7	M. Molinari

## 1 EXECUTIVE SUMMARY

Das Bergell hat sich dazu entschieden zu sondieren, welches Potenzial die energetische Nutzung der örtlich anfallenden Biomasse mit derzeit verfügbaren Technologien hat. Dabei ist die Gemeinde bereit in eine Art Vorreiterrolle zu treten und eine Pilotanlage zu erwägen, sofern ökologisch und ökonomisch sinnvoll. Als Vision wurde die Erzeugung von grünem Treibstoff/Wasserstoff definiert. Über dieses Zielbild hinaus wurden aber auch konventionelle Technologien evaluiert, um das Biomassevorkommen energetisch zu nutzen.

Hier hat sich gezeigt, dass es grundsätzlich 2 Wege gibt um die Biomasse zumindest teilweise zu verwerten:

- Konventioneller Weg: Einsatz konventioneller Technologien wie Hackschnitzelheizung oder Blockheizkraftwerk, um zumindest Teile der Biomasse, vor allem aber die Hackschnitzel zu verwerten. Hierbei würden in erster Linie Wärme und Strom erzeugt.
- Innovativer Weg: Erzeugung von Wasserstoff aus heterogener Biomasse mittels BlueFlux Anlage samt Wärme und Dünger als Bei-produkte.

Obwohl das Thema der alternativen Energie aus Biomasse aktuell sehr präsent ist und auch wieder vermehrt in die Erforschung solcher Technologien investiert wird, so ist das derzeitige Angebot an marktfähigen Anlagen mit relativ geringer Biomasse-Mengen sehr überschaubar. Dies liegt zum einen daran, dass viele Verfahren und Technologien technisch und/oder wirtschaftlich nur in sehr großem Maßstab funktionieren und dass sich vielversprechende Verfahren und Technologien noch im Forschungsstadium befinden.

Eine Ausnahme bildet dabei das Unternehmen BlueFlux Energy, das mit seinen Anlagen auf Pyrolyse/Hydrolyse Basis schon sehr kleine Anlagen zur Marktreife gebracht hat. Diese Anlage ist darüber hinaus in der Lage sehr heterogene Biomasse zu verarbeiten, was die Wirtschaftlichkeit der Anlage stark erhöht. Ein weiterer positiver Effekt dabei ist, dass die heute ungenutzte Biomasse wie Grünzeug, Küchenabfälle und Kastanienlaub und Schalen in der heutigen Abfallwirtschaft bezüglich Entsorgung kritisch beziehungsweise problematisch sind. Die BlueFlux Anlage stellt hier eine attraktive Lösung dar aus diesen Abfällen wertvolle Energie zu erzeugen.

So kann herausgestrichen werden, dass eine Pilotanlage dieser dezentralen, kompakten Anlage ein Best-Case Beispiel für andere ländliche Gegenden in der Schweiz sein kann. So könnte in Zukunft flächendeckend grüne Energie dezentral erzeugt werden und auch ein positiver Effekt für die Abfallwirtschaft und Reduktion von Transportwegen erzielt werden.

Die genaue Auswertung der Ist-Situation hat aber auch gezeigt, dass die Kombination mit konventionellen Anlagen sinnstiftend sein kann, so zum Beispiel mit dem Betrieb eines BHKW aus Klärgas, da dieses derzeit nicht vollständig genutzt wird und auch in der BlueFlux Anlage nicht verwertet werden könnte. Daher stellt der Bericht ausgewählte Anlagen vor, welche die vor

Ort verfügbare Biomasse energetisch verwerten könnten und entsprechend der Größe skaliert werden können. Dabei ist explizit festzuhalten, dass dabei eine Kombination mehrerer Klein(st)anlagen ebenso sinnvoll sein kann.

Für die Vision der Erzeugung von grünem Wasserstoff aus lokaler Biomasse konnte aber nur eine marktreife Anlage identifiziert werden, die in entsprechend geringer Größe umsetzbar wäre.

Hierfür wurden Möglichkeiten des Wasserstoffvertriebs (direkt und indirekt) aufgezeigt, marktreife Fahrzeuge aufgelistet und auch die Nutzung der Systemabwärme aufgezeigt. Konkret wurde ein Kapitel zur Fernwärme ausgearbeitet, sowie die Nutzung dieser Fernwärme außerhalb der Heizsaison eruiert.

Konkret empfehlen wir als Schlussfolgerung aus der Studie:

1. Start der nächsten Projektphase gemäß Projektskizze zur konkreten Anlagenplanung einer BlueFux Pilotanlage im Bergell
2. Die Errichtung einer Fernwärmeleitung zur Nutzung der Prozesswärme samt «Sommernutzungskonzept»
3. Die strategische Entscheidung zum Vertrieb des Wasserstoffs direkt oder indirekt im Bergell
4. Eine Flottenanalyse für öffentliche Fahrzeuge und Kooperationsgespräche mit lokalen Flottenbetreibern und der Post bzgl. Postauto-Verkehren samt Umstiegsplan zur Migration auf H2 Mobilität im Bergell (Umrüstung vs. Neuanschaffung).
5. Die Erhebung mit lokalen Bauern bzgl. der Bereitschaft zur Kooperation für ein BHKW «Soft» kombiniert mit verfügbarem Klärgas



## 2 AUSGANGSLAGE

Im Bergell und in der Region Maloja fallen grössere Mengen Nutzholz, Abfälle aus der Produktion von Edelkastanien, Abfälle aus holzverarbeitenden und landwirtschaftlichen Betrieben, Abwässer und Siedlungsabfälle an. Anstatt solche Stoffe ausschliesslich als problematische Entsorgungsaufgabe zu klassifizieren, wurde die Idee entwickelt, die Verwertung im Kontext der Energiewirtschaft zu untersuchen. Es gibt viele erfolgsversprechende Technologie-Ansätze, um aus Biomasse unterschiedlicher Herkunft über mehrere Stufen Energie zu erzeugen oder sogar eine Kohlenstoff-Senke zu schaffen. Bei der Analyse sollte ein besonderes Augenmerk auf die aktuellen Entwicklungen in der Wasserstoffindustrie gelegt werden.

Die Gemeinde Bergell besteht aus 5 Dörfern und hat im Moment 1'550 Einwohner. Insbesondere im Dorf Vicosoprano muss die Infrastruktur erneuert werden. Eine zentrale Schnitzelheizung wurde hierbei bereits angeschaut. Ein Blockheizkraftwerk erscheint dort gemäss bisheriger Betrachtung als interessante Option. Die Gemeinde Bergell geht grössere Aufgaben im regionalen Verbund mit dem Oberengadin an: Die «Region Maloja» reicht von der italienischen Grenze im Westen des Bergells bis zur Gemeinde S-chanf, die den östlichen Abschluss des Oberengadins bildet.

Dieses Dokument beschreibt die Ergebnisse der Analysephase vor Ort und dient somit als Entscheidungsgrundlage, mit welchen Technologien und Anlagen man sich in der konkreten Umsetzungsplanung beschäftigen soll. Die Betrachtung ist sehr spezifisch auf die Situation im Bergell bezogen, speziell was die Art der Biomasse, die verfügbaren Mengen und damit möglichen Anlagengrößen oder die örtliche Platzierung betrifft.

### 2.1 Bedürfnis und Ziel der Analyse

Die wichtigsten Ziele der Analyse waren die Systemerfassung, die Systemabgrenzung und die Diskussion möglicher Lösungsoptionen. Die zentralen Fragestellungen der Analysephase waren somit:

- Welche Stoff-, Energie- und Wertflüsse sollen in die Betrachtung einfließen?
- Wie sind die genauen Bedürfnisse eines potenziellen Anwenders (Gemeinde Bergell und Region Maloja)?
- Analyse der Ist-Situation:
  - Wieviel Energieholz kann verwendet werden?
  - Wieviel Siedlungs- und Gewerbeabfall, Abwasser, organische Abfälle aus Garten- und Landschaftsunterhalt sind heute vorhanden?
  - Welche Herausforderungen und Entwicklungsoptionen bestehen im Bergell?
  - Wie sieht die Situation bei Energiebedarf, Energieproduktion und Auslastung von Verteilnetzen aus?

- Welche Herausforderungen bestehen zu Treibstoffbedarf im öffentlichen Verkehr, im kommunalen Dienst und Tourismus? Gibt es für die Region Maloja weitere Optionen für einen Ausbau dieses Ansatzes?

## 2.2 Aufbau des Dokuments

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse der Ist-Analyse zum Aufkommen von Biomasse im Bergell in Kapitel 3 vor. Technologien zur energetischen Verwertung von Biomasse werden in Kapitel 4 vorgestellt. Anschließend folgt die Vorstellung konkreter Anlagen, die auf den zuvor diskutierten Technologien basieren in Kapitel 5. Wichtiger Bestandteil von Kapitel 5 ist demnach auch die Vorstellung von Anlagen, die nicht weiter berücksichtigt werden konnten, da sie entweder noch keine Marktreife erlangt haben oder aber nicht auf das Biomassevorkommen im Bergell umgelegt werden können.

Kapitel 6 beschäftigt sich mit der Nutzung von Wärme in einem Fernwärmenetz und legt dabei den Fokus auf entstehende Prozessabwärme, da diese komplexer in der Umlegung auf ein Fernwärmenetz ist als geplante Primär-Wärmeenergie. Dabei werden auch Möglichkeiten der Fernwärmenutzung außerhalb der Heizsaison vorgestellt – konkret in Form einer Freibadheizung, Holz- und Hackschnitzeltrocknung oder einer landwirtschaftlichen Glashausbewirtschaftung.

In Kapitel 7 werden mögliche Standorte entsprechender Anlagen vorgestellt und kurz diskutiert. Abschließend werden in Kapitel 8 grundlegende Überlegungen zur Verwertung und dem Vertrieb von Wasserstoff vorgestellt.

### 3 BIOMASSE IM BERGELL

In diesem Kapitel werden die folgenden Aspekte betrachtet

- Welche Biomasse im Bergell ist «übrig» und somit nutzbar zur Energiegewinnung
- Welche Unsicherheiten und Unschärfe liegen in der Erfassung
- Welche Bedingungen bestehen zu welcher Biomasse
- Wie sieht die aktuelle Nutzung dieses Potential aus

Bei den folgend aufgeführten Energiepotentialen werden jeweils

- A) Die Energiewerte gemittelt (z.B. werden die Holzsorten nicht exakt aufgeschlüsselt)
- B) Die Werte unabhängig von den nachfolgenden Technologieverlusten aufgeführt.
- C) Die Verfügbarkeiten berücksichtigt, z.B. bei Mist/Gülle

#### 3.1 Zusammenfassung Biomasse im Bergell

Die in den folgenden Kapiteln detailliert beschriebene Biomasse ist hier zusammengefasst:

Biomasse	Rohmenge	Potentail kWh	Beurteilung
Holz-Hackschnitzel	4'800Sm <sup>3</sup>	4'416'000	Hohes Potential, Hohe Verfügbarkeit, Alternative Nutzung möglich
Grünschnitt	500Sm <sup>3</sup>	1'200'000	Gutes Potential, Gute Verfügbarkeit, Aktuell ungenutzt
Küchenabfälle	54'000lt	202'080	Gutes Potential, Gute Verfügbarkeit, Aktuell ungenutzt
Entwässerter Klärschlamm	107to	1'177'200	Gutes Potential, Gute Verfügbarkeit, Aktuell ungenutzt
Rest-Gas aus Faulturm	45'000m <sup>3</sup>	72'000 bis 270'000	Gutes Potential, Gute Verfügbarkeit, Aktuell ungenutzt oder nicht optimal genutzt.
Mist / Gülle	6300to	715'512	Hohes Potential, geringe Verfügbarkeit, Alternative Nutzung
Kastanienblätter & -schalen	72to	86'700	Geringes Potential, Verfügbarkeit in Diskussion, teilweise genutzt
Altholz	650m <sup>3</sup>	83'720	Geringes Potential, geringe Verfügbarkeit, Alternative Nutzung

Tabelle 1 Zusammenfassung der vorhandenen Biomasse

### 3.2 Biomasse Holz (Hackschnitzel)

Die folgende Tabelle fasst die Betrachtung der Biomasse Holz zusammen. Die Erarbeitung der nutzbaren Menge ist in *ANNEX A: Analyse der Holzentnahme* und *ANNEX B: Holz Energiewerte* und Umrechnung aufgeführt.

Beschreibung	Wert	Hinweis / Ausführung
Nutzbare Menge		
Vorhandene Menge	4'800Sm <sup>3</sup>	Mittelwert 2019 - 2021
Nutzbarer Anteil	100%	Die Menge kann auch alternativ genutzt werden wenn die Wirtschaftlichkeit dann besser ist.
Sicherheit der Erfassung	Hohe	Entsprechend Annex
Zukünftiges Potential	Gering bis Mittel	Möglich: Schnitzel aus den Privatwäldern, Energiereichere Holzarten, Sägereiabfälle (z.B. Rinde, Verschnitt)
Potential in kWh (ohne Technologieverluste)	4'416'000	Bei 920kWh/Sm <sup>3</sup>
Jahresunterschiede	+/- 25%	Entsprechend den erfassten Daten.
Regelmässigkeit innerhalb des Jahres	Unregelmässig	Je nach Jahreszeit, Zugänglichkeit und Verfügbarkeit von Mensch & Maschine
Prozess-Sicherheit zur Einholung	Bekannt	Bekannter Prozess. Die Waldarbeit an sich ist trotz guter Ausbildung mit einem Risiko verbunden
Nötiger Technisierungsgrad zur Einholung	Vorhanden & hoch	Maschinen zur Einholung im Wald und zur Umwandlung zu Schnitzel
Wetterabhängigkeit bei der Einholung	Mittel	In den entsprechenden Jahreszeiten gut planbar
Transportanforderungen	Bekannt & gut	Optionen: Als Schüttgut nach dem Hacken oder Hacke vor Ort.
Lageranforderung	Bekannt & Langzeit möglich	
Notwendige Qualitätsaufbereitung	Je nach Technologie	Massgebend ist der Feuchtigkeitsgehalt
Emission bei der aktuellen Nutzung	Transporte	Nach Ems, S-chanf, Sils
Wirtschaftlichkeit der aktuellen Nutzung	Genutzt	Marktpreis weniger den Transportkosten

Beschreibung	Wert	Hinweis / Ausführung
Kritik an der aktuellen Nutzung	Teilweise	Transporte, Anlage in EMS

Tabelle 2 Vorhandene Biomasse «Hackschnitzel»

Weitere Kommentare:

- Die hier aufgeführte «vorhandene Menge» berücksichtigt nicht die vor Ort bereits genutzte Hackschnitzelmenge von rund jährlichen 2'000Sm<sup>3</sup>.
- Die Wirtschaftlichkeit der Holznutzung und -verarbeitung ist stark von dem internationalen und teilweise volatilen Preis abhängig. Aktuell sieht die Analyse keine Nutzung von Kleinholz, Langholz oder Restholz im Wald als Hackschnitzel vor. Der Vollständigkeit halber werden diese Mengen noch folgend dargestellt.

Die Grafische Darstellung der Mengen sieht wie folgt aus.

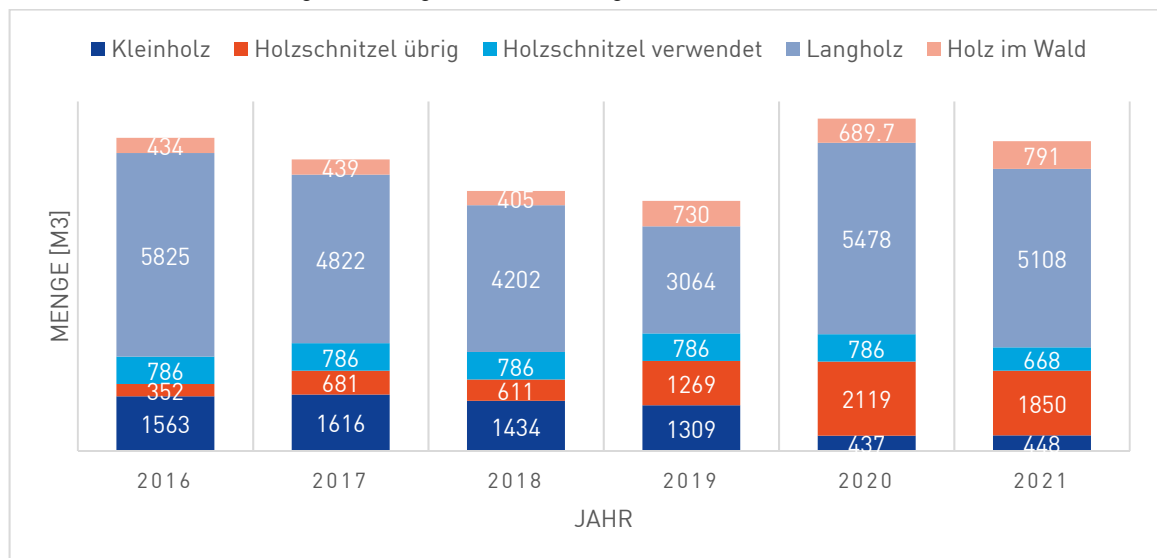


Abbildung 1 Holzentnahme im Bergell im Zeitraum von 2016 - 2021

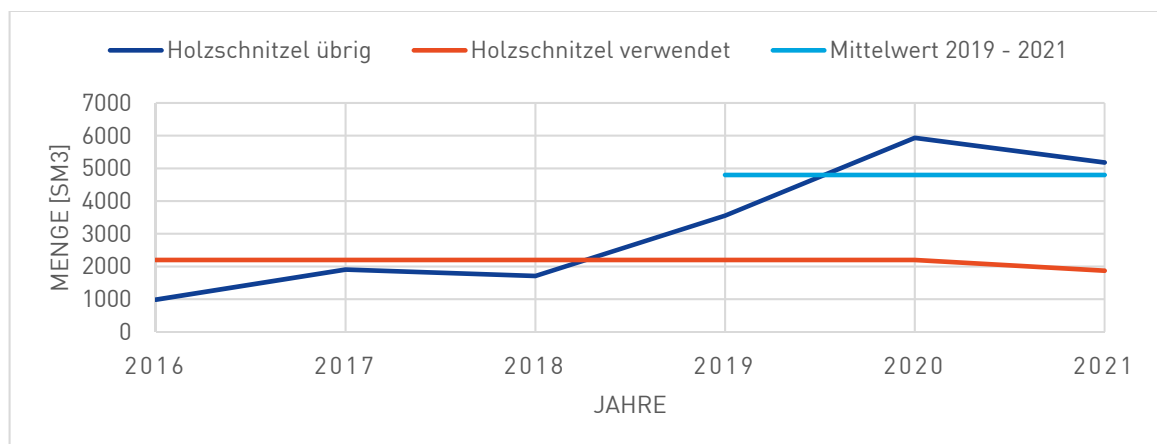


Abbildung 2 Hackschnitzelmengen im Zeitraum von 2016 - 2021, Mittelwert 2019 - 2021

### 3.3 Biomasse Grünschnitt

Die folgende Tabelle fasst die Betrachtung der Biomasse Grünschnitt zusammen.

Beschreibung	Wert	Hinweis / Ausführung
Nutzbare Menge		
Vorhandene Menge	500Sm <sup>3</sup>	Schätzung im Rahmen des ersten Workshops
Nutzbarer Anteil	100%	
Sicherheit der Erfassung	Mittel	Schätzung im Rahmen des ersten Workshops
Zukünftiges Potential	Gering	
Potential in kWh (ohne Technologieverluste)	1'200'000	Bei 2'400kWh/Sm <sup>3</sup>
Jahresunterschiede	< 10%	Schätzung. Grünschnitt fällt je nach Vegetation unterschiedlich an.
Regelmässigkeit innerhalb des Jahres	Unregelmässig	Jahreszeit und Verfügbarkeit von Mensch & Maschine
Prozess-Sicherheit zur Einholung	Bekannt	
Nötiger Technisierungsgrad zur Einholung	Vorhanden & mittel	
Wetterabhängigkeit bei der Einholung	Gering	In den entsprechenden Jahreszeiten gut planbar
Transportanforderungen	Bekannt & gut	
Lageranforderung	Bekannt und Kurzzeit	Die Biomasse beginnt rasch zu gären (Geruch & Gärstoff)
Notwendige Qualitätsaufbereitung	Keine für nutzbare Technologie	Die Zerteilung findet in der Regel bei der Einholung statt.
Emission bei der aktuellen Nutzung	Geruch & Gärstoff Transport	
Wirtschaftlichkeit der aktuellen Nutzung	Ungenutzt	Die Biomasse wird zur Zeit nicht wirtschaftlich genutzt
Kritik an der aktuellen Nutzung	Vorhanden	Die aktuelle Nutzung ist eine Zwischenlösung.

Tabelle 3 Vorhandene Biomasse «Grünschnitt»

Weitere Kommentare: keine

### 3.4 Biomasse Küchenabfälle

Die folgende Tabelle fasst die Betrachtung der Biomasse Küchenabfälle zusammen. Die Erarbeitung der nutzbaren Menge ist in *ANNEX C: Küchenabfälle* aufgeführt.

Beschreibung	Wert	Hinweis / Ausführung
Nutzbare Menge		
Vorhandene Menge	54'000lt	Interpolation aufgrund von Entsorgungsrechnung
Nutzbarer Anteil	100%	
Sicherheit der Erfassung	Mittlere	Interpolation
Zukünftiges Potential	Gering bis Mittel	
Potential in kWh (ohne Technologieverluste)	202'080	Bei 3.75kWh/lt
Jahresunterschiede	+/- 25%	Schätzung
Regelmässigkeit innerhalb des Jahres	Unregelmässig	Anfallende Mengen v.A. aufgrund der Hotellerie
Prozess-Sicherheit zur Einholung	Bekannt	
Nötiger Technisierungsgrad zur Einholung	Vorhanden & tief	
Wetterabhängigkeit bei der Einholung	Nein	Einholung ist unabhängig vom Wetter
Transportanforderungen	Bekannt & gut	
Lageranforderung	Bekannt und Kurzzeit	Die Biomasse beginnt rasch zu gären (Geruch & Gärstoff)
Notwendige Qualitätsaufbereitung	Keine für nutzbare Technologien	Die Zerteilung findet bei der Einholung statt.
Emission bei der aktuellen Nutzung	Geruch & Gärstoff Transport	
Wirtschaftlichkeit der aktuellen Nutzung	Ungenutzt	Die Biomasse wird zur Zeit nicht wirtschaftlich genutzt
Kritik an der aktuellen Nutzung	Kaum	

Tabelle 4 Vorhandene Biomasse «Küchenabfälle»

Weitere Kommentare: keine

### 3.5 Biomasse entwässerter Klärschlamm

Die folgende Tabelle fasst die Betrachtung der Biomasse entwässerter Klärschlamm zusammen. Die Erarbeitung der nutzbaren Menge ist in *ANNEX D: Klärschlamm* aufgeführt.

Beschreibung	Wert	Hinweis / Ausführung
Nutzbare Menge		
Vorhandene Menge	107 to	
Nutzbarer Anteil	100%	
Sicherheit der Erfassung	Hohe	
Zukünftiges Potential	Gering	
Potential in kWh (ohne Technologieverluste)	1'177'200	Bei 1'350kWh/m <sup>3</sup>
Jahresunterschiede	< 5%	
Regelmässigkeit innerhalb des Jahres	Planbar	
Prozess-Sicherheit zur Einholung	Bekannt	
Nötiger Technisierungsgrad zur Einholung	Vorhanden & hoch	Anlage zur Sammlung und Entwässerung
Wetterabhängigkeit bei der Einholung	Gering bis Mittel	Je nach Regenmenge
Transportanforderungen	bekannt	
Lageranforderung	Bekannt und Kurzzeit	Der entwässerte Klärschlamm wird üblicherweise direkt abtransportiert
Notwendige Qualitätsaufbereitung	Keine für nutzbare Technologien	
Emission bei der aktuellen Nutzung	Entsorgung & Transport	
Wirtschaftlichkeit der aktuellen Nutzung	Ungenutzt	Die Biomasse wird zur Zeit nicht wirtschaftlich genutzt
Kritik an der aktuellen Nutzung	Teilweise	

*Tabelle 5 Vorhandene Biomasse «entwässerter Klärschlamm»*

Weitere Kommentare: keine



### 3.6 Biomasse ungenutztes Biogas

Die folgende Tabelle fasst die Betrachtung der Biomasse ungenutztes Biogas zusammen. Die Erarbeitung der nutzbaren Menge hat erst gestartet, da die Mengen "an der Fackel" erst seit August 2021 erfasst werden. Die bei Berichtserstellung aktuellen Zahlen sind in *ANNEX E: Ungenutztes G* aufgeführt.

Beschreibung	Wert	Hinweis / Ausführung
Nutzbare Menge		Erfassung erst seit 08-2021
Vorhandene Menge	12'000 bis 45'000m <sup>3</sup>	6'000m <sup>3</sup> von 08-2021 bis 03- 2022
Nutzbarer Anteil	Unklar	100% von 12'000, Anteil «ungenutzt verheizt» ist nicht dokumentiert.
Sicherheit der Erfassung	Mittel	Interpolation aufgrund der Zeitdauer der Erfassung
Zukünftiges Potential	Gering	Relativ zur Klärschlamm-masse
Potential in kWh (ohne Technologieverluste)	72'000 bis 270'000kWh	Siehe vorhandene Menge bei 6kWh/m <sup>3</sup>
Jahresunterschiede	Unbekannt	Abhängig von Klärschlamm-masse und bestehender Nutzung.
Regelmässigkeit innerhalb des Jahres	Unbekannt	Abhängig von Klärschlamm-masse und bestehender Nutzung
Prozess-Sicherheit zur Einholung	Bekannt	
Nötiger Technisierungsgrad zur Einholung	Vorhanden & hoch	Kläranlage
Wetterabhängigkeit bei der Einholung	Gering bis Mittel	
Transportanforderungen	Nicht vorhanden aber möglich	Sammlung & Kompression des Gases
Lageranforderung	Nicht vorhanden aber möglich	Sammlung & Kompression des Gases
Notwendige Qualitätsaufbereitung	Je nach Technologie	
Emission bei der aktuellen Nutzung	Verbrennung	Umwandlung in Wärme durch Verbrennung
Wirtschaftlichkeit der aktuellen Nutzung	Ungenutzt	Das übrige Gas wird zur Zeit nicht genutzt
Kritik an der aktuellen Nutzung	Ja	Potential liegt brach, CO <sub>2</sub> und Wärme

Tabelle 6 Vorhandene Biomasse «ungenutztes Biogas» aus der Kläranlage

## Weitere Kommentare:

- Die Gasmengen entstehen unabhängig vom Bedarf resp. Endnutzen. Somit wird a) an der Fackel und b) per Heizung und Fensteröffnen die jeweils anfallende Energie in Wärme umgesetzt.
- Die Mengen «Fackel» und «Heizung» wurden bisher nur im Zeitraum 08-2021 bis 03- 2022 gleichzeitig erfasst  
Die Mengen «Frischschlamm» und die Gasmengen «Fackel» und «Heizung» wurden bisher nur im Zeitraum von 08-2021 bis 12-2021 erfasst.
- Wenn zukünftig eine neue Anlage die Heizleistung übernimmt, könnte die komplette Gasmenge genutzt werden.

## 3.7 Biomasse Gülle / Mist

Die folgende Tabelle fasst die Betrachtung der Biomasse Gülle / Mist zusammen. Die Erarbeitung der nutzbaren Menge ist in *ANNEX F: Gülle / Mist* aufgeführt.

Beschreibung	Wert	Hinweis / Ausführung
Nutzbare Menge		
Vorhandene Menge	6'300to	Ohne die anfallende Biomasse im Alpbetrieb
Nutzbarer Anteil	Gering, 5-10%	Schätzung. Nutzbar, wenn der Landwirt die Biomasse nicht ausbringen kann.
Sicherheit der Erfassung	Mittlere	Tieranzahl mit hoher Sicherheit, anfallende Biomasse mit geringer Sicherheit
Zukünftiges Potential	Gering	In den nächsten 10-15 Jahren nicht zu erwarten
Potential in kWh (ohne Technologieverluste)	712'512	Bei einem nutzbaren Anteil von 7.5% und 1'500kWh/to
Jahresunterschiede	Gering	Anteil Stall- vs. Weidebetrieb
Regelmässigkeit innerhalb des Jahres	Unregelmässig	Sowohl bei der anfallenden Menge als auch bei der Ausbringungsmöglichkeit
Prozess-Sicherheit zur Einholung	Bekannt	Einholung der Biomasse inkl. Zwischenlager auf dem Hof.
Nötiger Technisierungsgrad zur Einholung	Vorhanden und mittel	Je nach Technisierungsgrad
Wetterabhängigkeit bei der Einholung	Keine	

Beschreibung	Wert	Hinweis / Ausführung
Transportanforderungen	Teilweise bekannt	Bestehende Zetter können nicht als Transportmittel genutzt werden
Lageranforderung	Bekannt	Anforderung bezüglich Geruch und Wasserschutz verarbeitendem Standort.
Notwendige Qualitätsaufbereitung	Keine für nutzbare Technologie	
Emission bei der aktuellen Nutzung	Vorhanden	Geruch, Wasserschutz
Wirtschaftlichkeit der aktuellen Nutzung	Ja	Alternative zu Düngermittel
Kritik an der aktuellen Nutzung	Teilweise	Gelegentliche Kritik an der Ausbringung aufgrund der Emissionen, sonst allgemein akzeptiert.

Tabelle 7 Vorhandene Biomasse «Gülle und Mist»

Weitere Kommentare :

- Gülle resp. Mist kann nicht jederzeit in beliebiger Menge ausgebracht werden. In Kombination mit beschränkter Lagerkapazität ist die Entsorgung resp. Wegführen der Biomasse vom Hof notwendig.
- Der massgebliche Treiber der Biomasse im Bergell ist das Rindvieh
- Möglicher Handel (Zukauf & Verkauf) über die Plattform Hoduflu

### 3.8 Biomasse Kastanienblätter und -schalen

Die folgende Tabelle fasst die Betrachtung der Biomasse Kastanienblätter und -schalen zusammen. Die Erarbeitung der nutzbaren Menge ist in *ANNEX G: Kastanienblätter / - Schalen* aufgeführt.

Beschreibung	Wert	Hinweis / Ausführung
Nutzbare Menge		
Vorhandene Menge	170'000kg	Schätzung entsprechend Anhang.
Nutzbarer Anteil	40 – 60%	Zugänglichkeit und aktuelle Verwendung als Einstreu
Sicherheit der Erfassung	Tief	Schätzung
Zukünftiges Potential	Gering - mittel	

Beschreibung	Wert	Hinweis / Ausführung
Potential in kWh (ohne Technologieverluste)	86'700	Bei einem nutzbaren Anteil von 50% und 1'700 kWh/kg
Jahresunterschiede	< 15%	Schätzung. Blätter und Kastanienchalen fallen je nach Vegetation an.
Regelmässigkeit innerhalb des Jahres	Unregelmässig	Nur im Herbst anfallend
Prozess-Sicherheit zur Einholung	Teilweise bekannt	Manuelles zusammentragen (bestehend). Möglichkeiten zur Beladung teilweise bekannt.
Nötiger Technisierungsgrad zur Einholung	Mittel	Je nach Technisierungsgrad
Wetterabhängigkeit bei der Einholung	Hoch	Feuchtigkeit und Bodennässe
Transportanforderungen	Teilweise bekannt	
Lageranforderung	Möglich	Je nach Technologie trocken zu lagern.
Notwendige Qualitätsaufbereitung	Je nach Technologie	Massgebend ist der Feuchtigkeitsgehalt
Emission bei der aktuellen Nutzung		Anteil welcher verbrannt wird. Teilweise wird es auch als Einstreu genutzt.
Wirtschaftlichkeit der aktuellen Nutzung	Ungenutzt	Einstreu ist wirtschaftlich nicht massgeblich.
Kritik an der aktuellen Nutzung	Ja	Potential liegt brach, CO <sub>2</sub> und Wärme.

Tabelle 8 Vorhandene Biomasse «Kastanienblätter und –schalen»

Weitere Kommentare :

- Das offene Verbrennen von Kastanienblättern und –schalen wird nicht mehr akzeptiert. Eine Lösung zur a) Einholung und b) Nutzung oder Entsorgung muss unabhängig vom Projekt gefunden werden.
- Die nachhaltige Nutzung der Kastanienwälder hat einen hohen touristischen Wert für die Region. Somit sollte jede mögliche Gelegenheit diese Nachhaltigkeit zu bekräftigen genutzt werden.
- Die zumindest teilweise maschinelle Einholung wird bereits im Tessin und der Lombardei angewendet. Die Bergell-spezifischen Anforderungen (Zugänglichkeit, Steilheit, Bodenbeschaffenheit, ...) sind zu evaluieren. Ggf. muss die Biomasse per Hand zu einer entsprechend tauglichen Ladefläche gebracht werden.

### 3.9 Biomasse Altholz

Die folgende Tabelle fasst die Betrachtung der Biomasse Altholz zusammen.

Beschreibung	Wert	Hinweis / Ausführung
Nutzbare Menge		
Vorhandene Menge	630m <sup>3</sup>	Werte aus dem Bericht R3 und dem Interpretationsgespräch mit dem Verfasser
Nutzbarer Anteil	0 – 10%	Sofern die Abfallrichtlinien das zulassen
Sicherheit der Erfassung	Tiefe	Schätzung
Zukünftiges Potential	Tief bis Rückläufig	Altholz wird vermehrt zur Restauration oder für Möbel verwendet.
Potential in kWh (ohne Technologieverluste)	83'720	Bei einem nutzbaren Anteil von 7.5% und 2'500kWh/m <sup>3</sup>
Jahresunterschiede	+/- 25%	Schätzung
Regelmässigkeit innerhalb des Jahres	Unplanbar	Je nach Bautätigkeit
Prozess-Sicherheit zur Einholung	Bekannt	
Nötiger Technisierungsgrad zur Einholung	Vorhanden & mittel	
Wetterabhängigkeit bei der Einholung	Keine	
Transportanforderungen	Bekannt & gut	
Lageranforderung	Bekannt & Langzeit möglich	
Notwendige Qualitätsaufbereitung	Keine	Sofern es die Abfallrichtlinien zulassen.
Emission bei der aktuellen Nutzung	Kaum, Transport	Recycling zu Spanplatten
Wirtschaftlichkeit der aktuellen Nutzung	Kostendeckend	
Kritik an der aktuellen Nutzung	Kaum	Örtlich entfernte Energienutzung könnte vor Ort genutzt werden.

Tabelle 9 Vorhandene Biomasse «Altholz»

Weitere Kommentare :

- Die Entsorgung von Altholz liegt grundsätzlich in der Verantwortung des Verursachers.
- Das anfallende Altholz wird aktuell nach Bever zur Aufbereitung gebracht und dann in die Lombardei, wo es zur Herstellung von Spanplatten verwendet wird.

## 4 TECHNOLOGIEN

In diesem Kapitel werden die relevantesten Technologien diskutiert, mit deren Hilfe Energie aus Biomasse gewonnen werden kann. Dabei liegt der Fokus auf etablierten, marktreifen Technologien. Diese Technologien werden kurz diskutiert um ein Grundverständnis über die Wirkungsprinzipie zu erzeugen und ein besseres Verständnis über die später vorgestellten Anlagen zu ermöglichen.

### 4.1 Technologie Holzsnitzelheizung

Holzsnitzelheizungen verbrennen kleine Holzstücke und sind folgendermaßen aufgebaut:

Bestandteil der Hackschnitzelheizung	Erläuterung
Heizkessel	Hier wird Wärme aus Hackschnitzeln erzeugt.
Wärmespeicher	Wärme wird für später gespeichert. Pufferspeicher + Warmwasserspeicher oder Kombispeicher.
Hackschnitzelbunker	Hier lagern die Hackschnitzel. Meist gibt es noch ein gesondertes Lager.
Transportsystem	Per Förderschnecke oder Saugsystem gelangen die Hackschnitzel zum Heizkessel.
Aschebehälter	Fängt Asche nach der Verbrennung auf. Muss 1 bis 2 mal pro Woche geleert werden.

Abbildung 3 Bestandteile der Hackschnitzelheizung

Nach der Holzart würden Nadelhölzer einen höheren Heizwert als andere Holzarten bieten, verbrauchen jedoch auch 50% mehr Platz. Daher werden speziell im privaten Bereich in erster Linie Laubhölzer verwendet, da sie das beste Verhältnis von Volumen zu Energiegehalt bieten.

Der Heizwert der Hackschnitzel korreliert mit dem Wassergehalt. Daher ist die Lagerung des Hackguts wichtig. Der Wassergehalt sollte zwischen 20 und 30 % liegen, kann aber auch bis 35% gehen.

Brennstoff	Holzart	Heizwert	Heizwert
		50 % Wassergehalt (frisch geschlagen)	20 % Wassergehalt (luftgetrocknet)
Hackschnitzel	Buche	2,16 kWh pro kg	3,86 kWh pro kg
		964 kWh pro Srm HS	<b>1.077 kWh pro Srm HS</b>
	Eiche	2,16 kWh pro kg	3,86 kWh pro kg
		987 kWh pro Srm HS	<b>1.102 kWh pro Srm HS</b>
	Fichte	2,26 kWh pro kg	4,02 kWh pro kg
		685 kWh pro Srm HS	<b>762 kWh pro Srm HS</b>

Abbildung 4 Heizwert von Hackschnitzel

Hackschnitzelheizungen sind eine etablierte Technologie und am Markt in beliebigen Größen und Ausführungen verfügbar. Das technische Projektrisiko bei der Implementierung der Technologie ist als sehr gering anzusehen.<sup>1 2</sup>

#### 4.2 Technologie BHKW

BHKWs erzeugen nach dem Prinzip der Kraft-Wärmekopplung sowohl elektrische Energie als auch Wärme. Durch die Nutzung der Wärme, die durch den Verbrennungsmotor mithilfe eines Wärmetauschers erzeugt wird, kann ein BHKW 80 bis 90 Prozent der Energie, die ihnen zugeführt wird, nutzen.<sup>3</sup>

Generell wird der Heizstoff verbrannt um einen Generator anzutreiben, welcher dann Strom und Wärme erzeugt.

Generatoren die zum Einsatz kommen:

- Verbrennungsmotor
- Stirling-Motor
- Gasturbinen
- Dampfmotoren
- Brennstoffzellen-Anlagen (erst in der Markteinführung, hoher Wirkungsgrad)

Der Feuchtegehalt des Brennstoffs kann 10 bis 57% betragen

<sup>1</sup> [Die Hackschnitzelheizung - Vorteile, Nachteile & Kosten \(energieheld.de\)](http://energieheld.de)

<sup>2</sup> [Hackschnitzelheizung: Einsatz und Kosten | heizung.de](http://heizung.de)

<sup>3</sup> [Blockheizkraftwerk: Funktionsweise & Wirkungsgrad | co2online](http://co2online.de)

Mögliche Brennstoffe:

- Erdgas (vor allem in Kleinanlagen, brennt sauber und erzeugt weniger CO<sub>2</sub> als Benzin)
- Flüssiggas (teurer als Erdgas, eigener Tank benötigt)
- Heizöl (Verbrennen unsauber, Wartungsaufwand daher höher, Tank erforderlich)
- Pflanzenöl und Biodiesel (Motor braucht viel Wartung)
- Holzpellets (Noch nichts Zuverlässiges, gibt schon eigene Lösung)
- Biogas (Wie Erdgas)<sup>4</sup>

Die folgende Grafik veranschaulicht das Wirkprinzip eines BHKW.

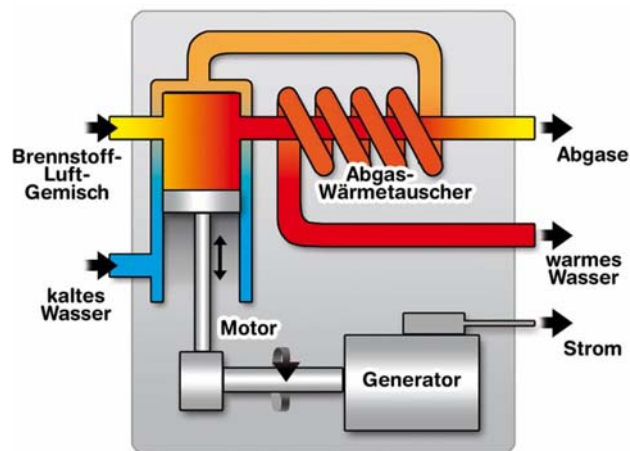


Abbildung 5 Wirkprinzip eines BHKW

Blockheizkraftwerke sind eine etablierte Technologie und am Markt in unterschiedlichen Ausführungen verfügbar. Das technische Projektrisiko bei der Implementierung der Technologie ist als gering anzusehen.<sup>5</sup>

#### 4.3 Technologie Pyrolyse

Pyrolyse bezeichnet verschiedene thermochemische Umwandlungsprozesse, in denen organische Verbindungen bei hohen Temperaturen und weitgehend unter Ausschluss von Sauerstoff gespalten werden. Ziel der Pyrolyse ist es, lange Kohlenwasserstoffe in der Biomasse in Kürzere aufzubrechen. Durch die hohen Temperaturen werden einige chemische Bindungen in den Startmaterialien gespalten, wobei durch den Sauerstoffmangel eine vollständige Verbrennung verhindert wird. Die entstehenden Produkte sind vielfältig.<sup>6</sup>

<sup>4</sup> [Wissen und Informationen | BHKW-Infothek](#)

<sup>5</sup> [Blockheizkraftwerk / BHKW - eine Produktübersicht | Viessmann](#)

<sup>6</sup> [Steckbrief der Pyrolyse \(Holzvergasung\) \(biomasse-nutzung.de\)](#)



So kann Biomasse gezielt in höherwertige Produkte wie Brennstoffe oder Chemikalien umgewandelt werden, aber auch beim klassischen Verkoken von Kohle und bei der Herstellung von Holzkohle finden Pyrolysevorgänge statt.<sup>7</sup>

In den vergangenen Jahren wurde die Technologie mehrfach in marktreifen Produkten umgesetzt, jedoch primär in sehr groß skalierten Anlagen (> 7.000 to Biomasse p.a.). Die Technologie gilt inzwischen als gut erprobt und industriereif. Bzgl. der jeweiligen Ausführungen und technischen Spezifikationen von Anlagen bedarf es jedoch genauer Analysen, speziell was die Dimensionierung und verwertbare Biomasse (Homogenität vs. Heterogenität) betrifft.

#### 4.4 Technologie Hydrolyse

Hydrolyse wird im Gegensatz zur Pyrolyse mit Wasser umgesetzt. Die chemische Verbindung in der Biomasse wird durch die Einbindung von Wasser gespalten. Wasser und Biomasse spalten sich jeweils auf. So wird Biomasse zu Glucose, welches vor allem in der Herstellung von Bioethanol gebraucht wird.

Bei der Hydrolyse werden grundsätzlich 2 Arten unterschieden:

1. Enzymatisch katalysiert

Hier wird die Biomasse durch Enzyme in Glucose umgewandelt. Davor muss die Biomasse möglicherweise noch zerkleinert werden um besseren Zugang zu den Molekülen herzustellen.

2. Säurekatalysiert

Die Biomasse wird mit Säure zersetzt. Mit konzentrierter Säure kann man auf Umgebungstemperatur arbeiten, bei verdünnter braucht man 200°C. Konzentrierte Säure ist durch die höhere Zuckerausbeute und geringe Reaktionszeit vorteilhaft, jedoch muss bei verdünnter Säure weniger Säure eingesetzt werden.

Durch die Verbrennung des daraus entstehenden Bioethanols kann mithilfe einer Brennstoffzelle Strom gewonnen werden. Durch Zugabe von Diesel kann es auch in Fahrzeugen verwendet werden, welche dafür ausgelegt sind.

In den vergangenen Jahren wurde die Technologie mehrfach in marktreifen Produkten umgesetzt und gilt inzwischen als gut erprobt und industriereif.

#### 4.5 Technologie Umwandlung Biogas

Biogas wird in der Regel aus organischen Abfällen oder nachwachsenden Rohstoffen – den sogenannten Substraten – hergestellt. Die Substrate werden in einer anaeroben Umgebung

---

<sup>7</sup> [Flash-Pyrolyse-Technik: Herstellung eines flüssigen Energieträgers aus Biomasse \(cleaner-production.de\)](https://www.cleaner-production.de)

(ohne Sauerstoff) durch Bakterien biologisch abgebaut, wodurch Gas entsteht. Dieser Prozess wird in Biogasanlagen kontrolliert und gesteuert.

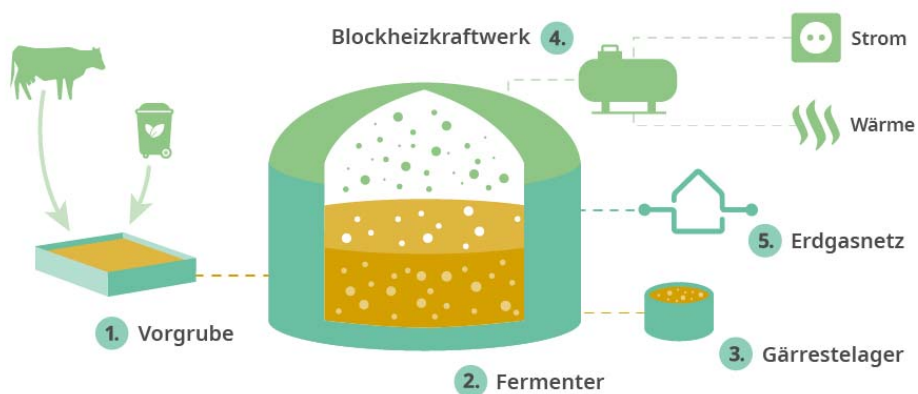


Abbildung 6 Schematische Darstellung Biogasreaktor

Biogasreaktoren sind inzwischen eine etablierte Technologie und am Markt in unterschiedlichen Ausführungen verfügbar. Eine Anschaffung lohnt sich oft auch schon bei geringerer Anlagengröße, etwa auf einzelnen, größeren landwirtschaftlichen Betrieben. Das technische Projektrisiko bei der Implementierung der Technologie ist als gering anzusehen.

## 5 ANLAGEN

In diesem Kapitel werden konkrete Anlagen vorgestellt, welche für das Bergell in Frage kommen. Konkret soll auf am Markt verfügbare Anlagen samt Preisindikation eingegangen werden.

### 5.1 Übersicht

Die folgende Darstellung zeigt als Übersicht welche im Bergell vorhandene Biomasse bei welchen Anlagen resp. Technologien verwendet werden können.



Abbildung 7 Technologie-Biomasse Matrix

### 5.2 BlueFlux H2

BlueFLUX H2 ist ein hochinnovativer neuer Anlagentyp, entwickelt und hergestellt von blueFLUX Energy AG. Die Anlagen wandeln innerhalb weniger Stunden biologisch abbaubare Reststoffe aus Landwirtschaft, Kommune und Industrie in die hochwertigen Energieträger grüner Wasserstoff, Bio-Kohle, Bio-Methanol und/oder Bio-Methan um.

#### 5.2.1 Technik und Reifegrad

Technologisch basiert die Anlage auf den Prozessen der Pyrolyse und Hydrolyse und ist auch auf geringe Anlagengrößen umlegbar. Die kleinste Anlage verbraucht 560 Tonnen Biomasse pro Jahr, das entspricht in etwa der Hälfte an Biomasse die im Bergell zur Verfügung steht. Die für das Bergell ideale Anlagengröße hat ein Kesselvolumen von 600 Litern und verarbeitet etwa 1.100 Tonnen Biomasse pro Jahr.

Eine schematische Darstellung der technischen Prozesse der Anlage ist in folgender Abbildung ersichtlich.

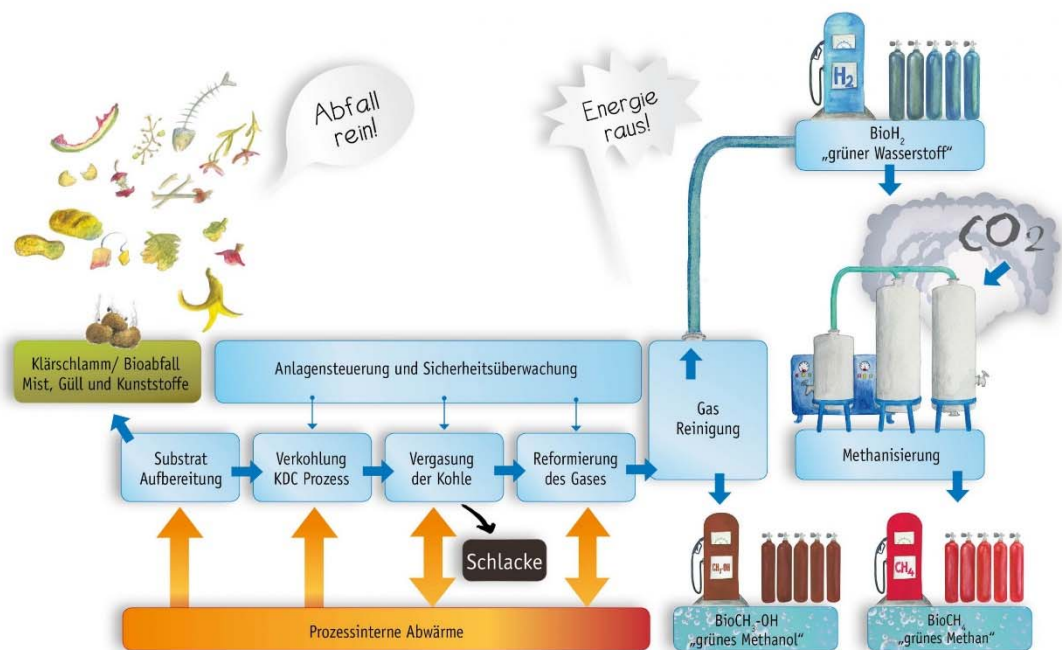


Abbildung 8 Schematische Darstellung der Prozesse der Bluefluxanlage

Die Anlage besteht aus:

- Vorbereitungsbehälter, Rührwerk und Dosiereinrichtung für Säuren
- Dampferzeuger zur Erzeugung des benötigten Prozessdampfes (elektrisch, alternativ: biogasbetrieben)
- 2 Prozessbehälter mit Heizung und Rührwerk zur Erzeugung von Biokohle in Braunkohlequalität
- Vakuumeinrichtung zur Trocknung der Kohle
- Filtereinrichtung zur Filterung der abgesaugten Flüssigkeiten
- Austrageinrichtung zum Austrag der Kohle
- Vorbereitung zur Abtrennung (S, Ph, N2, ...), Filtration optional
- Steuer- und Regeleinrichtung zur Prozesssteuerung des Verkohlungsprozesses
- Sensorik für die Prozessgrößen (Druck, Temperatur, Ventilposition, pH-Wert, Gewicht)
- Mahlwerk zum Mahlen der Kohle
- Fördereinrichtung zum Transport der Kohle in den Flugstromvergaser

- Flugstromvergaser zum Vergasen der Kohle mit Heizung, Mengenmessung, Druck- und Temperaturmessung, Austrag des Synthesegases und Austrag der Schlacke
- Vergasungsbehälter (Druck 10 – 16 bar)
- Heizung des zugeführten Dampfs zur O<sub>2</sub>-Einsparung
- Steuer- und Regeleinrichtung zur Prozesssteuerung des Vergasungsprozesses
- Gasreinigung zur Reinigung des Synthesegases
- Gasmesseinrichtung zur Bestimmung der im Prozess erzeugten Stoffe
- O<sub>2</sub>-Generator zur Herstellung von Sauerstoff
- CO-Shift-Anlage zur Reformierung des Synthesegases
- Abscheideeinrichtung zur Abtrennung von CO<sub>2</sub>
- Reinigung Wasserstoff auf Qualität 4.0
- Wärmetauscher für Abwärme
- Verrohrung im Container
- Steuer- und Regeleinrichtung für die Gesamtanlage mit Fernwartungszugang
- Container, wo nötig mit Zwangsbelüftung und Gaswarneinrichtung
- Dokumentation der Anlage, Bedienungsanleitung, Ersatzteilempfehlung mit Lieferzeiten,
- Wartungsplan, CE-Abnahme, TÜV-Abnahme
- Elektrischer Anschluss ab bF6000 auch gasbetrieben möglich
- H<sub>2</sub>-Übergabestation inkl. H<sub>2</sub>-Behälter (Druckbehälter 40bar)
- inkl. Kompressor für Verdichtung auf 40bar

Die ersten beiden Anlagen stehen in Peißenberg. Der Testbetrieb lief über 2 Jahre mit den Kernprozessen im Dauerbetrieb stabil.

Die Blue Flux Energy AG befindet sich derzeit in der Demonstrationsphase und baut gefördert vom Bayerischen Wirtschaftsministerium und dem Bund 3 weitere Anlagen auf.

Anlage 1: Almwirtschaft Windkreut zur Einbindung der blueFLUX H<sub>2</sub> Technologie in die Landwirtschaft. Hier zeigt man den kompletten Verwertungspfad von der Kuh bis zum Betanken von H<sub>2</sub>-Fahrzeugen.

Anlage 2: blueFLUX eingebunden in den Ziegelherstellungsprozess. Ein Ziegelhersteller in Dachau ersetzt mit dem durch blueFLUX produzierten wasserstoffhaltigen Synthesegas 80% seines Erdgasbedarfs und senkt so seinen CO<sub>2</sub>-Ausstoß um 80%

Anlage 3: Einbindung der blueFLUX-Technologie an der Kläranlage zur H<sub>2</sub>-Erzeugung für die Mobilität.



Abbildung 9 Pilotanlage BlueFlux Anlage

Die Anlage ist grundsätzlich in der Lage als Output-Material Methanol, Methan, Pflanzenkohle oder Wasserstoff zu produzieren. Der Wasserstoff erreicht dabei eine Reinheit von 3.0, was für die Verbrennung von Wasserstoff in Verbrennungskraftmaschinen zwar ausreichend wäre, jedoch nicht für den Betrieb in Brennstoffzellen. Eine weitere Aufbereitung ist jedoch möglich und auch vorgesehen. Dafür bietet BlueFlux die Anbindung an ein Produkt eines Partnerunternehmens an, welches den Wasserstoff reinigt und entsprechend der Normen Vorgaben aufbereitet.

Zur Energiebilanz sei Folgendes festgehalten: Die Anlage bedarf direkter Energie in Form von Strom von 370'000 kWh und produziert aus ungenutzter Biomasse 48 Tonnen Wasserstoff zu einem Energiegehalt von etwa 33 kWh pro Kilogramm. Das entspricht einem Gesamtwert von 1'584'000 kWh oder 1'584 MWh produzierter Energie. Zusätzlich dazu entstehen 750'000 kWh nutzbarer Wärmeenergie (Prozessrestwärme, ca. 100-120°C bei 9 bar). Somit produziert die Anlage 2'334'000 kWh Energie bei direktem Energiebedarf von 370'000 kWh Strom und weist somit eine Netto-Bilanz von 1'964'000 kWh aus. Diesem Vergleich ist natürlich das Energiepotenzial von eventuell nutzbarer Biomasse gegenzurechnen, wie etwa von Hackschnitzeln, die auch anderweitig verwendet werden könnten.

Betrachten wir nun die zur Verfügung stehende Biomasse Grünschnitt, Küchenabfälle, entwässerter Klärschlamm, Kastanienlaub und –Schalen und Altholz wie in Kapitel 3 aufbereitet, so ergeben die ermittelten Mengen ein Potenzial von etwas mehr als 400 Tonnen Biomasse pro Jahr, welche heute nicht energetisch genutzt wird. Die 4'800 Sm<sup>3</sup> Hackschnitzel haben ein Gewicht von etwa 1'150 Tonnen. In dieser Konstellation würden also lediglich 60%, also 700 Tonnen oder 2'880 Sm<sup>3</sup> der Hackschnitzel benötigt werden. Hier ist unbedingt darauf zu achten, dass die minderwertigste Qualität genutzt wird, da es bei der Pyrolyse lediglich um die Masse

selbst geht. Darüber hinaus ermutigt diese Modellrechnung dazu, auch Mist und Gülle in den Biomasse-Mix aufzunehmen, um den Anteil an Hackschnitzel noch weiter zu reduzieren.

Zurückkommend auf die Energiebilanz ergibt sich also die Nutzung von 60% der Hackschnitzel (2'649'600 kWh (das sind 60% von 4'416'000 kWh, siehe Kapitel 3) ohne Technologieverlust bzw. bspw. 1'860'000 kWh thermische Energie (das sind 60% von 3'100'000, siehe Kapitel 5.5.1) bei einer Hackschnitzelheizung und einer Energienettobilanz von (1'964'000-1'860'000=) 104'000 kWh p.a..

Dadurch wird klar ersichtlich, dass zunächst jegliche ungenutzte Biomasse zum Einsatz kommen sollte, bevor Hackschnitzel in die Anlage gehen (zumindest bei entsprechender Substratmischung zur Erlangung des gewünschten Substratfeuchtegehalts). Hierbei gilt es zu erwähnen, dass die Biomasse im Pyrolyse als verbrannt gilt, somit eine Verwertung von Klärschlamm als zulässig scheint. Einer der ersten Schritte in der Umsetzungsphase muss aber die konkrete Zulassung der Klärschlammnutzung bei den örtlichen Behörden sein.

## 5.2.2 Wirtschaftlichkeit

Die Anlage mit 600 Liter Kessel führt zu Anschaffungskosten in der Höhe von 3.5 Mio CHF. Die Wasserstoffaufbereitung auf erwünschte Reinheit 5.0 verursacht weitere Kosten in Höhe von etwa 300'000 CHF. Für den Transport und die Inbetriebnahme werden 10% der Anlagenkosten erwartet. Die Anlage bedarf einer jährlichen Servicierung, die in die laufenden Kosten miteingerechnet werden muss und verbraucht 370'000 kWh Strom.

### CAPEX

Anlagenkosten	CHF 3'500'000.-
H2 Aufbereiter	CHF 300'000.-
<u>Installation der Anlage</u>	<u>CHF 380'000.-</u>
<b>Total</b>	<b>CHF 4'180'000.-</b>

### OPEX/a

Jährliche Stromkosten (bei 0,12 CHF/kWh)	CHF 25'000.-
Wartung	CHF 17'500.-
Entsorgung Schlacke	CHF 8'000.-
<u>Personalaufwand</u>	<u>CHF 5'000.-</u>
<b>Total</b>	<b>CHF 55'500.-</b>

Diesen Aufwänden stehen Einsparungen bei der Entsorgung von Biomasse (Klärschlamm, grüne Tonne, etc.) gegenüber, ebenso wie Einnahmen für Wasserstoff und Ammoniumsulfat als Dünger. Außerdem produziert die Anlage 750'000 kWh Prozessrestwärme (ca. 100-120°C bei

9bar), die eine Fernwärme speisen könnten. Konkrete Details zur Fernwärme werden in Kapitel 5 diskutiert, hier seien jedoch die daraus erzielbaren Einnahmen erwähnt. Durch die Einsparung von 480 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr verglichen mit Wasserstoffproduktion aus Gas werden diese als Zertifikate verfügbar und somit handelbar, was eine weitere Einnahmequelle ermöglicht.

#### **Szenario Einnahmen/a**

Wasserstoff (48 t/a bei 6'000 CHF/t)	CHF	288'000.-
Prozessrestwärme (750'000 kWh bei 0,06 CHF/kWh)	CHF	45'000.-
Ammoniumsulfat (Dünger) (20t/a)	CHF	1'200.-
<u>Entfall Entsorgungskosten</u>	CHF	<u>41'070.-</u>
<b>Total</b>	<b>CHF</b>	<b>375'270.-</b>

Bei den Einnahmen für den Wasserstoff ist noch kein konkretes Vertriebskonzept hinterlegt, dieses wird weiter in Kapitel 8 diskutiert. Daher ist der erwartete Verkaufspreis signifikant unter dem derzeitigen Marktpreis.

Gemäß obiger Modellrechnung wäre eine Finanzierung des Projektes ohne jegliche externe Förderung innerhalb von 13 Jahren möglich. Diese Rechnung berücksichtigt jedoch keine zusätzlichen Infrastrukturkosten oder Kosten für die Einbringung und Aufbereitung von Biomasse.

### 5.3 BHKW Feststoffe

#### 5.3.1 Technik

Eine BHKW ist mittlerweile eine bekannte und bewährte Methode um die Holzenergie resp. verholzte Biomasse in Wärme umzuwandeln. Der Stoff-Fluss dabei ist im Generellen:

- Input: Holz-Hackschnitzel, Kastanienlaub und Kastanienschalen bei einer maximalen Feuchtigkeit von 30% (somit üblicherweise eine Trocknung nötig)
- Output (Menge je nach Betriebsdauer und Inputmenge)
  - o Elektrische Leistung
  - o Thermische Leistung
  - o Kohle welche in der Landwirtschaft genutzt werden kann
  - o Asche (Abfall)

Als Beispielanlage führen wir eine Anlage von Glock, welche auch mehrfach ausgebaut werden kann. Dabei handelt es sich um die GGV2.7 welche folgend Hauptparametern (Details im Anhang ANNEX H: BHKW – Glock GGV2.7) hat:

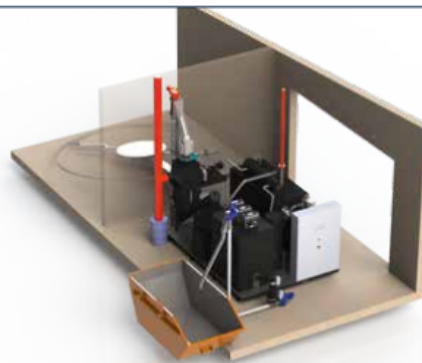
- Elektrische Nennleistung: 50 kW
- Thermische Nennleistung: 110 kW
- Hackschnitzelverbrauch Hackschnitzel 60 kg/h



- Alternative: Holzpellets 40 kg/h
- Elektrischer Ausgang 400 V / 50 Hz
- Thermischer Ausgang max. 90 °C
- Abmessungen 5'209 x 3'400 x 2'620 mm

### Variante I

1 Stück GGV 2.7 / 50 kW<sub>e</sub> / 110 kW<sub>th</sub>



### Variante II

3 Stück GGV 2.7 / 150 kW<sub>e</sub> / 330 kW<sub>th</sub>

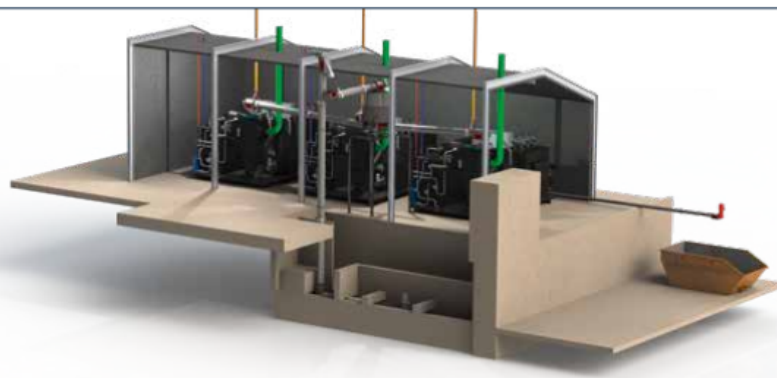


Abbildung 10 Darstellung der Arrangement von GGV2.7

Neben den eigentlichen BHKW sind weitere Infrastruktur-Einrichtungen nötig welche im Prinzip gleich sind, folgend jedoch für das Bergell überdimensioniert wären.

Dazu gehören:

- Trocknungsanlage und Silo mit der entsprechenden Befüllung und Austragung
- Blockheizkraftwerk(e)
- Der Aschebehälter und deren Zuführung
- Die Logistik (Raum, Wege) für die Zuführung und Entsorgung

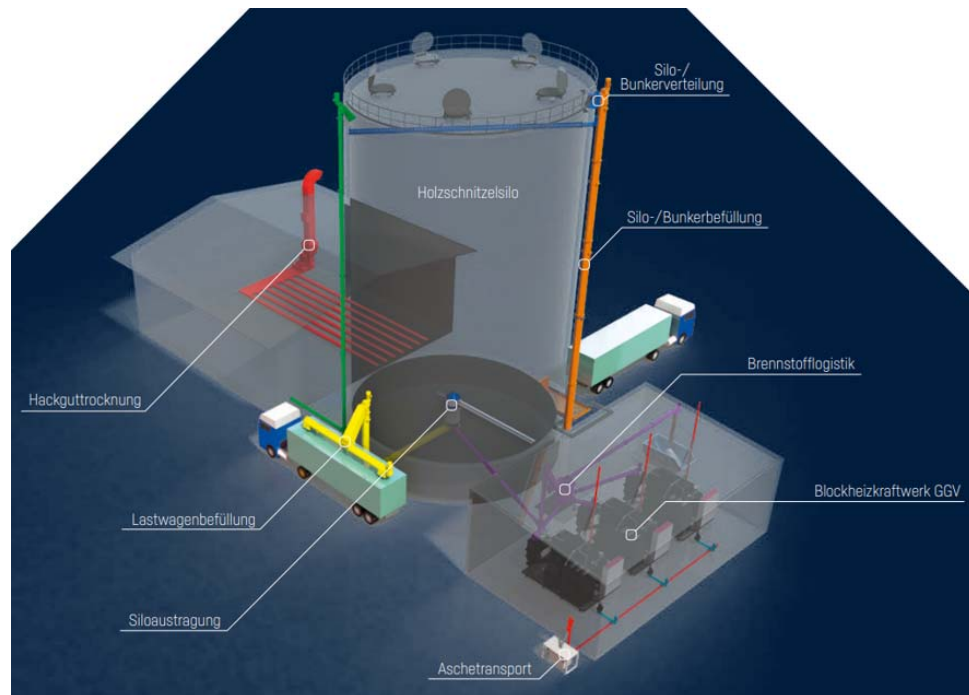


Abbildung 11 Darstellung einer BHKW-Anlage mit drei Modulen

Zu den gesetzlichen Bestimmungen gehören entsprechend der Homepage (LUFT – Stationäre Motoren) des Kanton Graubündens die folgenden Anforderungen:

- Die Einhaltung der Luftreinhalte-Verordnung
- Die Meldepflicht für neue Anlagen
- Die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte
- Die Einhaltung der Bauvorschriften
- Die Abnahmemessung welche Voraussetzung für die Abnahme der Anlage ist
- Die periodisch stattzufindenden Messungen und Kontrollen

Mit den vorhandenen Mengen an Holz-Hackschnitzel, Kastanienlaub und –schalen sind folgende Energiemengen produzierbar:

- Auslastung von 80% (Werte bei 90%) von 24/365:
  - Elektrische Jahresleistung: 350'400kWh (394'200kWh)
  - Thermische Jahrseistung: 770'880kWh oder 30-40Einfamilienhäuser (867'240kWh oder 35-45Einfamilienhäuser)
  - Kohle: 470 – 560m<sup>3</sup>, für die weitere Rechnung werden 490m<sup>3</sup> verwendet.

Zu den gesetzlichen Bestimmungen gehören entsprechend der Homepage (LUFT – Stationäre Motoren) des Kanton Graubündens die folgenden Anforderungen:

- Die Einhaltung der Luftreinhalte-Verordnung
- Die Meldepflicht für neue Anlagen
- Die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte

- Die Einhaltung der Bauvorschriften
- Die Abnahmemessung welche Voraussetzung für die Abnahme der Anlage ist
- Die periodisch stattzufindenden Messungen und Kontrollen

### 5.3.2 Wirtschaftlichkeit

Die Kosten einer oben ausgeführten Anlage (1x GGV2.7) liegen bei CHF 470'000.- Inkl. BHKW-Modul, Siloaustragung, Peripherie und der Absackung der Kohle. Die Wirtschaftlichkeit wurde durch die Heim AG Heizsysteme gerechnet und unter folgenden Annahmen bestätigt:

- Betriebsstunden pro Jahr: 7'000h (292Tage pro Jahr 24/7)
- Die Abwärme wird genutzt
- Strompreis von CHF 0.15 (unten wird zur Vergleichbarkeit mit den anderen Anlagen mit CHF 0.12 gerechnet)
- Kohle als Nebenprodukt kann für CHF 150/m<sup>3</sup> verkauft werden

Die Rechnung berücksichtigt wie in allen anderen Fällen keine grundsätzlichen Infrastrukturkosten für den Standort, die Fernwärmeleitung oder Logistikkosten.

#### CAPEX [CHF]

Anlage GGV2.7	330'000.-	
Siloaustragung	50'000.-	
Peripherie	75'000.-	
Absackung Kohle	25'000.-	
Transport der Geräte	5'000.-	
Montage und Inbetriebnahme	15'000.-	
Erstmalige Abnahme, Gebühren und Messungen	33'000.-	(Annahme: 10% der Anlagenkosten)
<b>Total</b>	<b>533'000.-</b>	

#### OPEX/a [CHF]

Trocknung der Biomasse	72'000.-	Bei CHF 15.-/m <sup>3</sup>
Entsorgung der Asche	5'000.-	Annahme
Periodische Messungen und Kontrollen.	3'000.-	Annahme
<b>Total</b>	<b>80'000.-</b>	

### Einnahmen/a [CHF]

Einnahmen aus der Heizung	46'200.-	Bei 0,06 CHF/kWh
Einnahmen Strom	42'000.-	Bei 0,12 CHF/kWh
Verkauf von Kohle	73'500.-	CHF 150.-/m <sup>3</sup> , je nach Qualität
Reduzierung der aktuellen Transportkosten der Hackschnitzel	[65'800.-*]	ANNEX J: BHKW – Kosten Transport Hackschnitzel

---

**Total** **161'700.-**

\*Relevante Kenngröße, der Wirtschaftlichkeitsrechnung jedoch nicht direkt zurechenbar.

### Bemerkungen:

- Die Heizleistung ist in etwa doppelt so hoch wie die elektrische Leistung. Da der Preis/kWh im umgekehrten Verhältnis steht, sind die Einnahmen Heizung und Strom in etwa gleich.
- Die Angaben zu den Kosten berücksichtigt die Jahresleistung von 7008h resp. 80% Auslastung. Bei einer Auslastung von 90% würde der Totalbetrag auf CHF 172'800.- resp. 7% steigen.
- Ca. 25% bis 30% der Eingangsmasse wird als Holzkohle ausgeworfen, rund 490m<sup>3</sup>. Die hier gezeigten Einnahmen sind erheblich, der Absatz vor Ort zu dem Preis ist die Frage. Eine Entsorgung oder Abtransport der Restkohle würde bereits die Wirtschaftlichkeit einschränken.

Gemäß obiger Modellrechnung wäre eine Finanzierung des Projektes ohne jegliche externe Förderung innerhalb von 7 Jahren möglich. Diese Rechnung berücksichtigt jedoch keine zusätzlichen Infrastrukturkosten oder Kosten für die Einbringung und Aufbereitung von Biomasse oder Kosten für die Hackschnitzel. Sofern die Hackschnitzel alternativ verkauft werden könnten, müsste dieser Verkaufspreis unbedingt mitberücksichtigt bzw. gegengerechnet werden.

## 5.4 BHKW Softstoffe

### 5.4.1 Technik

Eine BHKW ist mittlerweile eine bekannte und bewährte Methode um weiche Biomasse wie Gras, Hausabfälle, Öle, Laub, Mist oder Gülle in Wärme umzuwandeln. Der Stoff-Fluss dabei ist im Allgemeinen:

- Input: Grünschnitt (wobei der holzige Anteil hier nicht nutzbar ist), Küchenabfälle, Mist. Eine konstante Zuführung ist zu empfehlen.
- Output (Menge je nach Betriebsdauer und Inputmenge)
  - Elektrische Leistung: ca. 30%
  - Thermische Leistung: ca. 60%

- Verlustleistung: ca. 10%
- Substrat als Pflanzendünger (Abfall)
- Unerwünschte Gase Inhaltsstoffe wie z.B. Schwefelwasserstoff, Ammoniak (Abfall)

Zunächst wird die Biomasse zerkleinert und erhitzt, damit eventuell enthaltene Bakterien und Viren abgetötet werden. Durch bakterielle Prozesse in einer sauerstofffreien Umgebung wird die zerkleinerte Biomasse anschließend in Biogas und Substrat aufgespalten.

Biogas besteht aus Methan (50% – 75%), Kohlendioxid und geringen Anteilen von Sauerstoff, Stickstoff und weiteren Gasen. Je höher der Anteil an Methan im BHKW-Brennstoff Biogas ist, umso höher ist die Energielieferung für das BHKW.

Wenn das Biogas nicht direkt am Entstehungsort in einem BHKW genutzt wird, kann es in das Erdgasnetz geleitet werden. In diesem Fall ist vorher eine Bearbeitung nötig, da das Biogas an den Heizwert des jeweiligen Erdgases angepasst werden muss.

Es kann aber auch in Tanks abgefüllt werden und separat für den Einsatz in Biogas BHKW zur Verfügung stehen.

Zur Auslegung – und Klärung der Wirtschaftlichkeit- eines solchen BHKWs ist die schlussendlich verfügbare Menge massgeblich. Folgende Stufen sind dabei zu berücksichtigen:

- Menge an Grünschnitt und Küchenabfälle ergeben schätzungsweise 35'000 bis 40'000m<sup>3</sup> Biogas. Bei einem 365/24 Betrieb ist das eine Gasleistung von rund 25kW
- In der ähnlichen Größenordnung liegen die ebenfalls nutzbaren übrigen Gasmengen von 12'000 bis 45'000m<sup>3</sup>. Bei diesem Gas handelt es sich allerdings um Klärgas welches zusätzlich gereinigt werden muss.
- Die Nutzung der komplett vorhanden Menge Mist (6'300t/Jahr) ergibt eine Menge an Methan – welches einen höheren Energiegehalt als Biomasse hat - von 220'000m<sup>3</sup>

Der Wirkungsgrad bei der Kombination aus Wärme- und Stromerzeugung liegt zwischen 80 und 95 Prozent. Je kleiner die Anlage ist, desto besser ist sie ausgelastet und umso höher ist ihre Wirtschaftlichkeit.

Die richtige Dimensionierung des BHKWs ist deshalb entscheidend und wird üblicherweise aufgrund des möglichen Verbrauchs (u.a. Kontinuität) und der wirklich vorhandenen Gasmenge vom Hersteller ausgelegt. Aus dem BHKW-Lieferprogramm sollte in Zweifelsfällen das BHKW mit der niedrigeren Leistung ausgewählt werden, um möglichst hohe Laufzeiten zu erreichen.

Um Schwankungen in der Brennstoffverfügbarkeit auszugleichen, wird häufig ein Gasspeicher eingesetzt oder / und die BHKW-Anlage mit einer Leistungs- / Auslegungsreserve versehen.

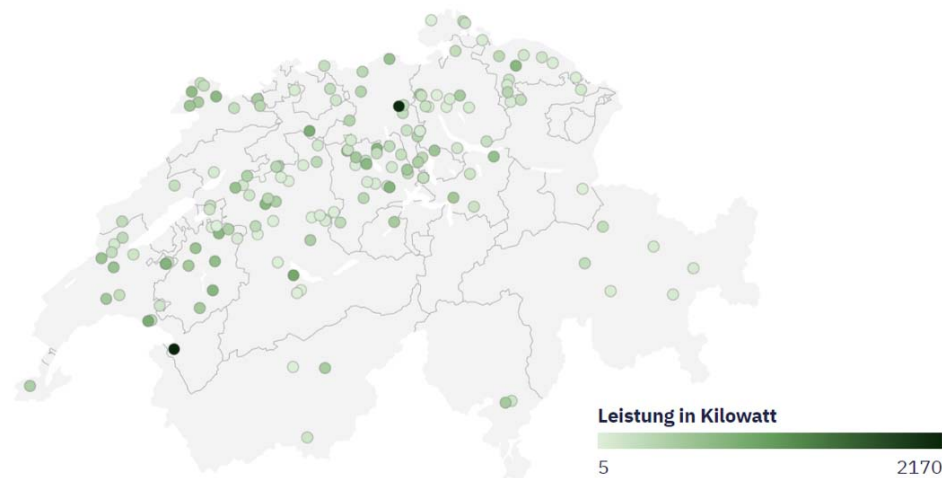


Abbildung 12 Biogasanlagen in der Schweiz<sup>8</sup>

Neben Herstellern wie 2G Energietechnik oder Sokratherm mit Anlagen in allen Größen und Varianten gibt es weitere Anbieter wie MWM, upb, wolf power systems, zeppelin power systems und mehr.

Je nach Leistung unterteilen sich kleine BHKWs in 3 Gruppen:

- Ein Nano-Blockheizkraftwerk hat eine Leistung von bis zu 2,5 kW (Kilowatt) und ist für die Versorgung eines Einfamilienhauses geeignet.
- Ein Mikro-Blockheizkraftwerk leistet bis zu 10 kW, was für Mehrfamilienhäuser oder kleine Betriebe ausreicht.
- Die größte Ausführung eines privat betriebenen BHKWs ist ein Mini-Blockheizkraftwerk mit einer Leistung von bis zu 50 kW. Mit so einer Anlage lassen sich ganze Siedlungen, größere Betriebe, Krankenhäuser und Hotelkomplexe versorgen.

Zu den gesetzlichen Bestimmungen gehören entsprechend der Homepage (LUFT – Stationäre Motoren) des Kanton Graubündens die folgenden Anforderungen:

- Die Einhaltung der Luftreinhalte-Verordnung
- Die Meldepflicht für neue Anlagen
- Die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte
- Die Einhaltung der Bauvorschriften
- Die Abnahmemessung welche Voraussetzung für die Abnahme der Anlage ist
- Die periodisch stattzufindenden Messungen und Kontrollen

---

<sup>8</sup> Auszug aus Tagesanzeiger vom 25.04.2022, Quelle: Bundesamt für Energie

#### 5.4.2 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit hängt stark von den verfügbaren Gasen (Klärgas und Methan aus Mist) ab. Zudem ob diese Gase gleichzeitig oder separat verwendet werden. Folgende Angaben können dennoch zur Schätzung genommen werden:

- Die Investitionskosten einer grösseren Anlage liegen bei ca. 1.3Mio CHF.
- Faustregel: Ein BHKW kostet zwischen 2'200 – 2'500CHF/kW
- Mini-Blockheizkraftwerk mit einer Leistung von 15 bis 50 kW ab ca. CHF 40'000.-
- Mikro-Blockheizkraftwerk mit einer Leistung von 2,5 bis 15 kW ab ca. CHF 20'000.-
- Nano-Blockheizkraftwerk mit einer Leistung bis zu 2,5 kW ab ca. CHF 10'000.-
- Indikativ liegen die Wartungskosten liegen bei ca. 2 - 3 Rappen pro kWh erzeugtem Strom. Bei einem Vollwartungsvertrag bei 5 - 10 Rappen pro kWh erzeugtem Strom. Die hängt natürlich stark vom Typ und Hersteller, Standort und Laufzeit ab.
- Rund CHF 40'000.- kann jährlich für die Entsorgung von Küchenabfällen eingespart werden (ANNEX C: Küchenabfälle)

Laut dem Ansprechpartner IWK liegt die Wirtschaftlichkeitsgrenze einer Industrieanlage bei 80kW elektrischer Leistung, was einer Gasleistung von 200kW entspricht.

Das vorhandene Potential (übriges Gas aus der Kläranlage, Grünschnitt, Küchenabfälle) wird bei 365/24 Betrieb auf eine Gasleistung von 30-40kW geschätzt, somit Faktor 5 zu tief für eine industrielle Grossanlage.

Allgemein gilt:

- Grünschnitt und Küchenabfälle ohne das übrige Gas aus der Kläranlage:  
ca. 30kW Gasleistung
- Grünschnitt, Küchenabfälle und die kompletten Jahresmenge Gas aus der Kläranlage:  
zwischen 52 – 63kW Gasleistung (je nach Methangehalt)
- Für die Wirtschaftlichkeit wäre somit die komplette Jahresmenge Gas aus der Kläranlage, die Küchenabfälle, der Grünschnitt und rund 60% der potentiellen Masse an Mist nötig.

Fazit: Ohne die Nutzung eines erheblichen Anteils von Mist (Produktion von Energiehaltigem Methan) im Bergell wird eine solche industrielle Anlage nicht wirtschaftlich. Eine Nano-, Mikro- oder Mini-Anlage kann in Kombination mit einer sonstigen Biomasseverwertung sinnvoll sein.

## 5.5 Hackschnitzelheizung

### 5.5.1 Technik

Eine Hackschnitzelheizung ist eine langjährig bekannte und bewährte Methode um die Holzenergie in Wärme umzuwandeln. Üblicherweise geht man bei der Auslegung vom Bedarf der Heizleistung aus und nicht von der vorhandenen oder sogar «übrigen» Hackschnitzelmenge. So sind auch die Anlagen resp. deren Steuerungen aufgebaut.

Die Energieleistung, welche mit den aktuell vorhandenen Hackschnitzeln, Kastanienblätter und -schalen erreichen kann:

- Energieleistung: 3'100'000 bis 3'360'000kWh pro Jahr (bei 2000 – 2500 Vollastbetriebsstunden).  
Das entspricht dem Jahresbedarf von 135 bis 150 Einfamilienhäusern
- Kesselleistung: ca. 1'500kW

Von Herstellern (siehe Kapitel «Lieferantenverzeichnis») sind aufgrund der Angaben wie Mengen, jährliche Unterschiede, Zusammensetzung der Biomasse,.. folgende verschiedene Konzepte vorgeschlagen worden:

1. 3 x 500kW Kessel, modularer Aufbau welcher je nach Bedarf in Betrieb ist
2. 1 Kessel mit 1000kW und ein Kessel mit 500kW, etwas weniger Betriebsanpassungsmöglichkeiten
3. 1 Kessel mit 1500kW

Das Prinzip solcher Hackschnitzelanlagen und weitere Ausführungen werden hier – aufgrund der generellen Bekanntheit solcher Anlagen – nicht gemacht. Ein mögliche Anlage ist in ANNEX I: Hackschnitzelanlage - HEIM-Energie HS-F 500 aufgeführt.

### 5.5.2 Wirtschaftlichkeit

Zur Beispielrechnung wird die im Anhang ANNEX I: Hackschnitzelanlage - HEIM-Energie HS-F 500 aufgeführte Anlage gezeigt.

#### CAPEX [CHF]

Kessel (3x500kW)	336'300.-	
Zubehör zum Kessel	132'945.-	Regler, Sensoren, Wächter, Ventile
Entaschung	38'540.-	System und Behälter
Brennstofflagerung	144'480.-	
Kesselzuführung	60'553.-	Rührwerk, Schaltschrank, Verlängerungen
Zubehör Wärmeabgabe	65'200.-	Pufferspeicher mit Anschlüssen
Regulierung	4'883.-	Fernwartung, Kaskadenschaltung



Transport der Geräte	5'000.-	Annahme
Montage und Inbetriebnahme	30'690.-	Inkl. Zweitbesuch für Einschulung
<b>Total</b>	<b>818'591.-</b>	

**OPEX/a [CHF]**

Trocknung der Biomasse	72'000.-	Bei CHF 15.-/m <sup>3</sup>
Entsorgung der Asche	5'000.-	Annahme
Periodische Messungen und Kontrollen.	3'000.-	Annahme
<b>Total</b>	<b>80'000.-</b>	

**Einnahmen/a [CHF]**

Einnahmen aus der Heizung	193'800.-	Bei 0,06 CHF/kWh
Reduzierung der aktuellen Transportkosten der Hackschnitzel	[65'800.-*]	Schätzung, siehe: ANNEX J: BHKW – Kosten Transport Hackschnitzel
<b>Total</b>	<b>193'800.-</b>	

\*Relevante Kenngröße, der Wirtschaftlichkeitsrechnung jedoch nicht direkt zurechenbar.

## Bemerkungen:

- Der Bereich der abgeschätzten Energieleistung gibt den Einnahmewert von CHF 193'800.- mit einer Toleranz von +/- 4% resp. CHF 7'800.-
- Die Einnahmen gehen von der Nutzung der komplett "übrigen" Menge Hackschnitzel aus. In Wirklichkeit kann der Bedarf an Heizwärme jedoch weit geringer sein. Dadurch würden sich
  - o die Transportkosten der Hackschnitzel wieder verringern resp. wieder anfallen
  - o die direkten Einnahmen verringern.
- Bei einem aktuellen Preis von rund CHF 30.-/Sm<sup>3</sup> Hackschnitzel ergibt sich ein Erlös von CHF 144'000.- abzüglich der Transportkosten.  
Solange der Hackschnitzelpreis nicht über 259'600.-/4'800Sm<sup>3</sup> = CHF 54.-/Sm<sup>3</sup> steigt, lohnt sich die vor Ort-Umsetzung.

Gemäß obiger Modellrechnung wäre eine Finanzierung des Projektes ohne jegliche externe Förderung innerhalb von 7 Jahren möglich. Diese Rechnung berücksichtigt jedoch keine zusätzlichen Infrastrukturkosten oder Kosten für die Einbringung und Aufbereitung von Biomasse oder Kosten für die Hackschnitzel. Sofern die Hackschnitzel alternativ verkauft werden könnten, müsste dieser Verkaufspreis unbedingt mitberücksichtigt bzw. gegengerechnet werden.

## 5.6 Verwendung von Gas

Die Verwendung von Gas wird im Kapitel «BHKW Softstoffe» diskutiert.

## 5.7 Ausgeschlossene Anlage

Die Anzahl an evaluierten Anlagen übertrifft die hier Präsentierten bei weitem. Die Mehrzahl der Anlagen musste jedoch frühzeitig aus der Evaluierung ausgeklammert werden, da sie entweder noch über keine Marktreife verfügten, oder technisch bzw. betriebswirtschaftlich nur in sehr großem Format funktionierten/sinnvoll sind. In diesem Unterkapitel wird eine Auswahl dieser Anlagen präsentiert, speziell jene die während der Projektmeetings diskutiert bzw. aktiv in den Projektmeetings angefragt wurden.

### 5.7.1 CeFET GmbH Güssing mit DFB Großanlage

CENTER FOR FUTURE ENERGIE TECHNOLOGIES – CeFET baut auf jahrzehntelanger Piloterfahrung in der Energiemodellregion Güssing in Österreich auf und errichtet derzeit eine neue Pilot- und Forschungsanlage. Darin soll aus in der Umgebung im großen Ausmaß vorhandener Biomasse Grüner Wasserstoff (700 m<sup>3</sup> pro Stunde) und Synthetisches Methan (300 m<sup>3</sup> pro Stunde) erzeugt werden. Dabei wird das „Zweibett-Wirbelschicht-Vergasung“, kurz DFB-Verfahren (DFB steht für Dual Fluidised Bed) eingesetzt, das der Pyrolyse zuzurechnen ist. Die Dimension der Anlage ist technisch optimiert und aufgrund physikalischer und chemischer Vorgaben nicht kleiner skalierbar. Außerdem ist die Anlage die erste ihrer Art und soll weiteres Wissen generieren für die Serienumsetzung an anderen Standorten.

Da die benötigte Biomasse jene im Bergell um ein Vielfaches übersteigt, wurde die Anlage nicht weiter betrachtet.

### 5.7.2 BTX Energy Restholzpellets zu Wasserstoff

Die BtX Energy ist das Produkt eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes der WS Wärmeprozessestechnik GmbH und war in den vergangenen Monaten vermehrt in den Medien für ihren Ansatz Wasserstoff aus Holzpellets zu produzieren. Mehrere Abstimmungstermine mit dem Unternehmen haben ergeben, dass das Unternehmen Technologien am Markt hat um etwa Wasserstoff aus Gas zu produzieren und auch Holvergaser. Die Technologie um Wasserstoff aus Holzpellets zu generieren ist jedoch ein Forschungsprojekt mit Förderzusage im Januar dieses Jahres. Es kann noch keinerlei Aussage zum Funktionieren der Technologie getroffen werden, da die Forschungsdauer auf 3 Jahre angesetzt wurde. Somit stellt diese Option keine aktuelle Marktverfügbarkeit dar und es können keinerlei Aussagen zu Technologie und Effizienz getroffen werden.

### 5.7.3 R-Hynoca (Haffner)

Durch die Hynoca Technologie wird erneuerbarer Wasserstoff produziert, der durch Thermolyse und Dampfspaltung verschiedener Biomassen (unabhängig von Elektrizität) gewonnen wird. Die R-Hynoca-Station in Straßburg ist die erste kommerzielle Umsetzung der Technologie und soll sauberen Wasserstoff aus lokal gewonnener Biomasse erzeugen. Das Projekt ist ein Joint

Venture zwischen R-ENS und Haffner Energy und soll die lokale Verkehrsindustrie bei der Umstellung von fossilen Brennstoffen auf saubere Energie versorgen. Inbetriebnahme ist für Ende 2023 vorgesehen.

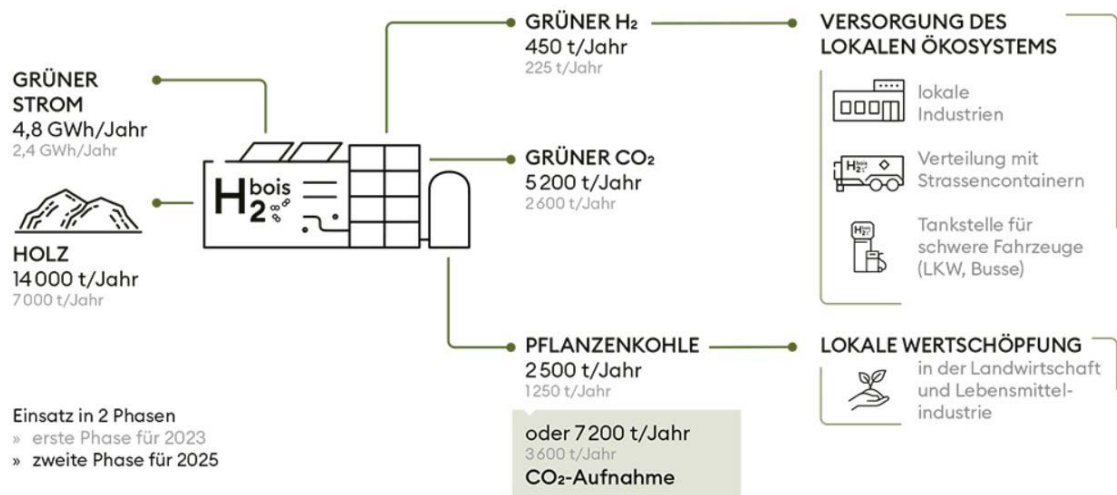


Abbildung 13 Schematische Darstellung der H2bois-Anlage im Jura

Nach persönlichen Gesprächen mit R-ENS konnte festgestellt werden, dass das kleinste Modul 7000 Tonnen Biomasse im Jahr benötigt. Aus betriebswirtschaftlichen Gründen wird jedoch eine Kopplung zweier Module empfohlen, wodurch 14 Tonnen an Biomasse jährlich benötigt würde. Eine kleinere Anlagengröße ist derzeit nicht vorgesehen, der Fokus liegt aktuell auf der Zulassung der 7000 Tonnen Anlage.

## 6 FERNWÄRME

Die zuvor betrachteten Technologien produzieren als Primär- oder Sekundärenergie Wärme. Diese Wärme soll in jedem Fall genutzt werden. Dazu wurden in den entsprechenden Workshops diverse Möglichkeiten diskutiert. Fernwärme als eigens konzipierte Anlage ist in der Auslegung weniger komplex, da ihre Dimensionierung frei gewählt werden kann. Der Sachverhalt wird komplexer, wenn die Wärme als Nebenprodukt, etwa durch entstehende Prozesswärme, entsteht. Hier ist die Dimensionierung vorgegeben und eine Integration in ein Gesamtkonzept erforderlich. Daher konzentriert sich dieses Kapitel auf eben diesen Fall, am Beispiel der Wasserstoffherzeugung mittels BlueFlux Anlage und dabei entstehender Prozessabwärme.

Als Hauptliteratur wurde für diese Analyse das Planungshandbuch Fernwärme V1.3a (QM Fernwärme; Verenum) herangezogen.<sup>9</sup>

Bei der Verwendung von Wasser als Prozessmedium wird zwischen Warmwasser (Kreislaufwasser mit einer Temperatur von  $\leq 110^{\circ}\text{C}$ ) und Heißwasser (Kreislaufwasser mit einer Temperatur von  $> 110^{\circ}\text{C}$ ) unterschieden. Heißwasser unterliegt höheren Sicherheitsanforderungen und wird heutzutage nur in seltenen Fällen bei Neuanlagen als Prozessmedium verwendet.

Die wichtigsten Einflüsse zur wirtschaftlichen Auslegung des Fernwärmenetzes sind dabei:

- Rohrdurchmesser (maßgeblich für die Dimensionierung des Netzes)
- Rohrtyp (Material/Ausführung)
- Wärmedämmstärke

welche die Investitionskosten, die Netzverluste und den Energieverbrauch für Pumpen etc. bestimmen und

- Temperaturspreizung (Differenz zwischen Vor- und Rücklauftemperatur)
- Temperaturniveau der Vor- und Rücklauftemperatur

welche die Effizienz der Wärmeerzeugung beeinflussen.

Grundsätzlich gilt, je höher die Netztemperatur und je größer der Rohrdurchmesser ist, desto höher sind die Wärmeverluste und die damit verbundenen Kosten. Zusammengefasst beeinflusst die Wahl der Vorlauftemperatur den Betriebsdruck, die Rohrdurchmesser, die Förderleistung der Pumpe und die Wärmeverluste. Zusätzlich beeinflusst die Topologie (falls ein Verbraucher z.B. höher liegt als die Pumpstation) ebenfalls die Auslegung.

Grundsätzlich sollte eine Vorstudie durchgeführt werden, welche und wie viele Wärmeverbraucher (z.B. Industrie/Gewerbe, Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser, öffentliche Gebäude etc.) an das Netz angeschlossen werden sollen, da diese die Wahl der Vorlauftemperatur ebenfalls beeinflussen. Bei einem Industriebetrieb mit sekundärem Warmwassernetz kann dabei eine

---

<sup>9</sup> Arbeitsgemeinschaft QM Fernwärme, Planungshandbuch Fernwärme, 2018.

Vorlauftemperatur von >85°C notwendig sein. Soll auch Brauchwarmwasser damit erhitzt werden, wird meist eine Vorlauftemperatur von mindestens 70°C vorausgesetzt, damit die Bildung von Legionellen unterbunden wird.

Ein Maß für die Eignung einer Zone an das Fernwärmenetz ist die Wärmebezugsdichte:

$$\text{Wärmebezugsdichte} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{a} \cdot \text{m}^2} \right] = \frac{\text{Wärmebezug Wärmekunden} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right]}{\text{Zonenfläche} [\text{m}^2]}$$

### 6.1 Fernwärme für Haushalte und öffentliche Gebäude

Mehrere Siedlungen in der Gemeinde haben Bedarf an Fernwärme. Zum einen ergibt sich dieser Bedarf aus öffentlichen Gebäuden, wie etwa einer Schule, oder aber derzeit unbeheizten Gebäuden oder fossil beheizten Gebäuden.

Bei dem Anwendungsfall wo Prozesswärme als Nebenprodukt vorliegt und als gegeben angenommen wird, kann mit oben angeführter Formel eine erste Abschätzung zur Standortfindung durchgeführt werden. Als Eignungskriterium können dabei folgende Anhaltswerte herangezogen werden:

Eignung für Wärmeverbund	Wärmebezugsdichte in kWh/(a m <sup>2</sup> )
Nicht geeignet	< 50
Bedingt geeignet	50 – 70
Geeignet	> 70

Situationsbezogen können auch Gebiete mit Werten weniger als 70 kWh/ (a m<sup>2</sup>) als wirtschaftlich geeignet gelten, was aber einer genaueren Analyse/Berechnung bedarf.

Folgende Website <https://map.geo.admin.ch/> kann unter Geokatalog → Bevölkerung und Wirtschaft → Energie → Wärme-/Kältenachfrage Industrie bzw. Wohnen und DL erste Erkenntnisse liefern, wo Gebiete mit größeren Wärmebezugsdichten liegen.

Als weiterer Parameter für die Auslegung des Netzes kann der spezifische Wärmeverlust pro Trassenmeter Rohrleitung herangezogen werden. In der folgenden Betrachtung wird von Erdverlegten Rohrleitungen ausgegangen. Da noch keine konkreten Werte für die Inputparameter vorliegen, sind für die diese Annahmen getroffen worden:

Bezeichnung	Kürzel	Wert	Einheit	Kommentar
Temperatur Vorlauf	TVL	90	°C	
Temperatur Rücklauf	TRL	45	°C	
Temperatur Boden	TBO	10	°C	
Wärmeleitfähigkeit Dämmung	$\lambda_D$	0,024	W/(m*K)	isoplus-Einzelrohr <sup>10</sup>
Radius Mantelrohr	rM	0,063	M	Nennweite DN32, Dämmstärke DS2
Radius Mediumrohr	rR	0,019	M	Nennweite DN32
Wärmeleitfähigkeit Boden	$\lambda_{Bo}$	1,2	W/(m*K)	
Höhe Überdeckung	hÜ	0,6	m	
Lichter Rohrabstand	a	0,2	m	
<b>Spezifischer Wärmeverlust</b>	<b>qVL</b>	<b>13,3</b>	<b>W/m</b>	

Die Berechnung basiert auf der Formel im Planungshandbuch Fernwärme<sup>11</sup>, S126, spezifischer Wärmeverlust pro Trassenmeter in W/m. Weitere Werte, auch auf die Höhe der Temperaturdifferenz bezogen, finden sich in Kapitel 13.4.

Da die zur Verfügung stehende Wärmeenergie schon vorgegeben ist, kann mit Hilfe dieses Wertes eine grobe Abschätzung der Länge des Netzes durchgeführt werden. In der Literatur wird von einem Wärmeverlust der Wärmeverteilung von 10% (theoretische Berechnung) bzw. von 16,5% (aus realem Beispiel), S122 ausgegangen. Bezugsgröße ist dabei die nutzbare Wärme aus der Wärmeerzeugung.

Da noch keine konkreten Werte für die Inputparameter vorliegen (wie bereits erwähnt), können hier nur Größenordnungen abgeschätzt werden. Bei einer durchschnittlichen Heizleistung von 77 kW (Wirkungsgrad eines möglichen Wärmetauschers mit 90% berücksichtigt), kann man von einer Netzlänge von ca. 800 m - 1 km ausgehen.

Bei den folgenden Betrachtungen wurde ebenfalls ein Wärmeverlust von 16,5% durch die Wärmeverteilung und 10% Verlust durch einen Wärmetauscher berücksichtigt.

Je nach Wahl des Raumwärmebedarfs (Anhaltswerte in Heizung.de<sup>12</sup>) können damit ca. 20-50 Wohnungen beheizt werden. Zu berücksichtigen gilt es auf jeden Fall auch einen Gleichzeitigkeitsfaktor, Spitzenwerte (z.B. im Winter) und die Verfügbarkeit der Prozesswärme über das Jahr.

<sup>10</sup> Isoplus, „Isoplus,“ 2016. [Online]. Available:

[https://www.isoplus.at/fileadmin/user\\_upload/downloads/documents/germany/products/Energierohrtechnik-8-Seiten\\_DEUTSCH\\_Web.pdf](https://www.isoplus.at/fileadmin/user_upload/downloads/documents/germany/products/Energierohrtechnik-8-Seiten_DEUTSCH_Web.pdf). [Zugriff am 2022].

<sup>11</sup> Arbeitsgemeinschaft QM Fernwärme, Planungshandbuch Fernwärme, 2018.

<sup>12</sup> Heizung.de, „Heizung.de,“ 2020. [Online]. Available: <https://heizung.de/heizung/tipps/der-durchschnittliche-energiebedarf-im-haus/>. [Zugriff am 2020]

Wird der Januar als Bezugsmonat gewählt (kältester Monat des Jahres<sup>13</sup>), könnten mit einem Raumwärmebedarf von 150 kWh/(a m<sup>2</sup>) und der Annahme, dass 17% des jährlichen Heizbedarfs auf den Monat Januar fallen, 22 Wohnungen mit einer Grundfläche von 80 m<sup>2</sup> beheizt werden.

#### 6.2 Fernwärme für Gewächshäuser

Perspektivisch ist es eine spannende Option, Wärme für die Beheizung von Gewächshäusern zu nutzen. Da sich in der Gemeinde mehrere landwirtschaftliche Betriebe befinden, wäre die Option durchaus praktikabel und würde lokale Wertschöpfung weiter stärken. So könnte die Ernte-Saison speziell im Herbst und Frühling signifikant erweitert werden – also in jenen Zeiten wo die Auslastung der Fernwärme für die Objektheizung ohnehin nicht gegeben wäre.

Zusätzlich zur Beheizung von Wohnraum aus obigem Rechenbeispiel ergibt sich speziell im Frühling und Herbst entsprechendes Wärmepotenzial. Ab dem Monat Mai bzw. bis inklusive September könnte mit dem Wärmeüberschuss ein Gewächshaus mit einer Grundfläche von ca. 300 m<sup>2</sup> und 5 m Höhe auf eine Temperatur von 10°C geheizt werden (unter Annahme einer Außentemperatur von -5°C).

#### 6.3 Fernwärme für ein öffentliches Schwimmbad

Während die Fernwärme für Haushalte primär im Winter und anteilig im Herbst und Frühling benötigt wird, und eine optionale Nutzung von Wärme für Gewächshäuser auf den Herbst und Frühling abzielt, gilt es für eine optimale Wirtschaftlichkeit der Anlage (speziell bei ganzjährigem Betrieb wie bei der H<sub>2</sub> Produktion) die Wärme auch im Sommer zu nutzen. Neben einer Trocknungsanlage für Holz(Schnitzel) wäre dies durch ein öffentliches Schwimmbad möglich. Diese Option könnte ein weiterer Baustein in der Tourismus-Strategie der Gemeinde sein und der ökologischen End-to-End Verwertung aller Energien dienen.

Führt man das obige Rechenbeispiel der Fernwärme als Nebenprodukt der BlueFlux-Anlage weiter, könnte ein Freibad mit einem Volumen von 400 m<sup>3</sup> von Mai-September im Schnitt auf eine Temperatur von 26°C geheizt werden (ohne Wohnungen).

#### 6.4 Fernwärme für Holz Trocknung

Alternativ zum Schwimmbad könnte die entstehende Abwärme im Sommer zur Holz(Schnitzel-) Trocknung genutzt werden. Für eine detailliertere Betrachtung der Holz Trocknung benötigt man Angaben zum Feuchtegehalt vor Trocknung, über den gewünschten Zielzustand, die gewünschte Trocknungsdauer, etc. Diese Option müsste somit separat evaluiert werden, sofern sie relevant werden würde.

---

<sup>13</sup> „Minol,“ [Online]. Available: <https://www.minol.de/gradtagzahlen.html>.

## 7 STANDORT

In diesem Kapitel werden die folgenden Aspekte betrachtet

- Geographische Position im Bergell und somit die Distanzen zur Biomasse und Verbrauchern von Wärme (welche bei allen Technologien anfällt) oder anderen Energieträgern
- Logistik
- Emissionen wie Lärm, Geruch, Gärgülle...
- Bedürfnisse der Technologien an den Standort

### 7.1 Bedürfnisse der Anlagen an den Standort

Bei jeder der folgenden Technologie fällt Wärme an und somit die Möglichkeit oder Bedarf einer Fernwärmeleitung in die jeweils nahe Ortschaft. Zusätzlich fallen anlagenspezifische Bedürfnisse an:

Anlage	Infrastruktur	Fahrzeuge
Hackschnitzelheizung	Raum für Hackschnitzel-Silo, Trocknungsanlage, Kessel und Logistik	Lastwagen und/oder landwirtschaftliche Wagen, Muldentransporter (Asche). Anlage in ANNEX I: Hackschnitzelanlage - HEIM-Energie HS-F 500 konzipiert
BHKW harte Stoffe	Raum für Hackschnitzel-Silo, Trocknungsanlage, Kessel und Logistik.	Lastwagen und/oder landwirtschaftliche Wagen, Muldentransporter (Asche), Kleintransporter für Kohle
BHKW weiche Stoffe	Raum für die Anlage und die Logistik. Sonstiges: Auffangen der Gärgülle, ggf. Distanz aufgrund von Gerüchen	Lastwagen und/oder landwirtschaftliche Wagen, Muldentransporter (Asche)
Blueflux (Pyrolyse)	Raum für Masseumschlagplatz, zwei 40-zoll Container und Logistik. Sonstiges: Auffangen der Gärgülle, Schlackenbereich, ggf. Distanz aufgrund von Gerüchen	Masseumschlagplatz
Umwandlung Biogas	Wie BHKW weiche Stoffe, zusätzlich Raum für die Aufbereitung und Komprimierung des Gases.	Lastwagen und/oder landwirtschaftliche Wagen, Muldentransporter (Asche)



### 7.3 Mögliche Standorte

Die folgenden Standorte wurden im Laufe des Workshops II im Bergell diskutiert. Die Reihenfolge berücksichtigt keine Bewertung.

Standort	Name	Beschreibung
1	Maloja Pra d'Zura, 1815m ü.M.	Direkte Distanz: 600 bis 700m zur Dorfmitte, Standort in der Nähe des Maloja Palace Distanz zur bestehenden Kläranlage: 17km
2	Vicosoprano Via Albigna, 1067m ü.M.	Direkte Distanz: 100 bis 200m nach Vicosoprano Mitte Aktueller Standort der Holzschnitzel Distanz zur bestehenden Kläranlage: 3.5km
3	Dangal, 764m ü.M.	Direkte Distanz: 1.3km nach Castasegna, 710m ü.M. Direkte Distanz: 1.8km nach Bondo, 822m ü.M. Distanz zur bestehenden Kläranlage: 3.7km

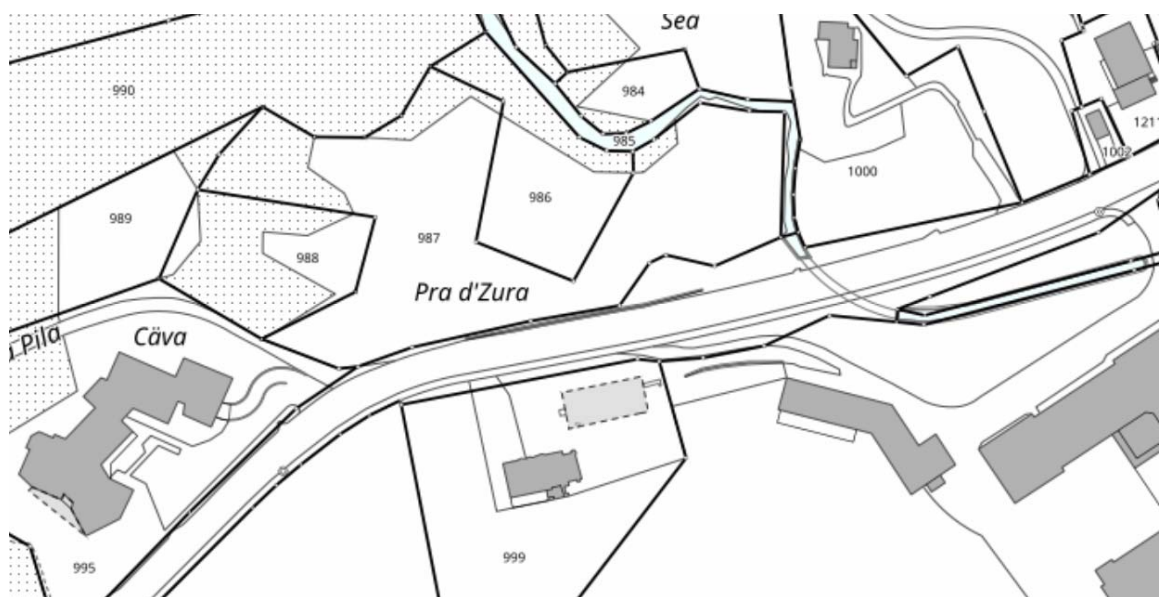


Abbildung 14 Mögliche Standorte im Bergell

#### 7.4 Standort Maloja - Pra d'Zura

Der Standort liegt am Ortseingang von Maloja (von St. Moritz herkommend).

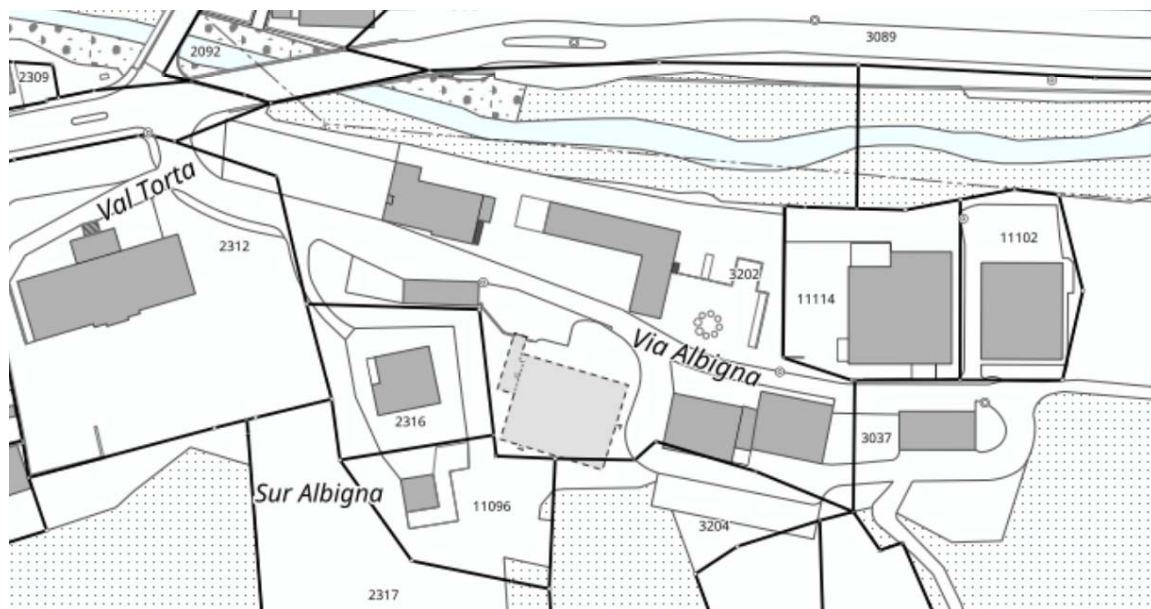
Thema	Betrachtung
Geographische Position	--
Distanz zu Biomassen	Tendenziell eine grössere Distanz zu den Biomassen (am einen Ende des Bergells). Grosse Distanz und erhebliche Höhenmeter zur bestehenden Kläranlage.
Distanz zu Verbrauchern	Wärme: Diverse Möglichkeiten in der Nähe H2: Synergie mit Tankstelle in Samedan (23km) sinnvoll
Logistik	Einfach zugänglich, erhöhte Anforderung an die Wintertauglichkeit von Fahrzeugen.
Emission	Die Nähe zum Maloja Palace und anderen touristischen Orten kann ein Risiko sein.
Raumbedarf	Die verfügbare Fläche ist: 3'820m <sup>2</sup> (gemessen wurde der nicht-schattierte Bereich der Grundbuch-Nr. 987)



7.6 Vicosoprano – Via Albigna

Der Standort liegt bei der bestehenden Hackschnitzelanlage.

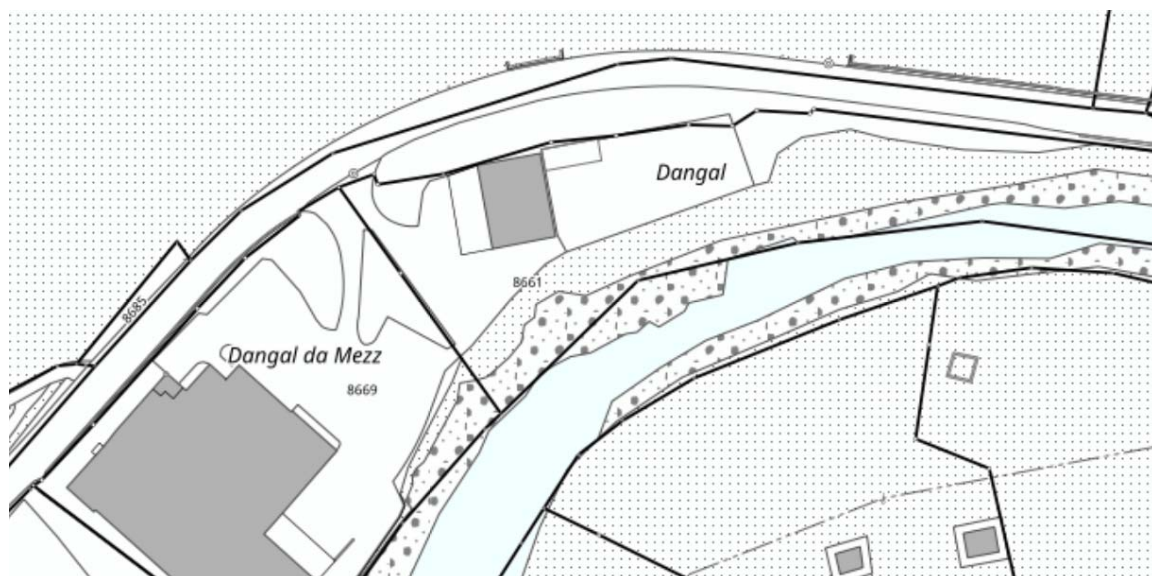
Thema	Betrachtung
Geographische Position	--
Distanz zu Biomassen	Mehr oder weniger im Zentrum des Bergells. Nähe zu Hackschnitzeln und zur bestehenden Kläranlage.
Distanz zu Verbrauchern	Wärme: Diverse Möglichkeiten in der Nähe H2: Synergie mit Tankstelle in Samedan (36km) möglich
Logistik	Bestehende Logistik könnte teilweise übernommen werden. Gut Zugänglich.
Emission	Trennung durch den Fluss, je nach Wind und Technologie könnten Gerüche oder Lärm störend sein.
Raumbedarf	Die verfügbare Fläche gilt es in Bezug auf die derzeitige Nutzung abzustimmen.



### 7.8 Standort Dangal

Der Standort liegt zwischen Castasegna und Bondo

Thema	Betrachtung
Geographische Position	--
Distanz zu Biomassen	Tendenziell eine grössere Distanz zu den Biomassen (am einen Ende des Bergells). Nähe zur bestehenden Kläranlage
Distanz zu Verbrauchern	Wärme: Diverse Möglichkeiten in etwas Entfernung H2: Synergie mit Tankstelle in Samedan (44km) möglich
Logistik	Zur Zeit via den Vorplatz der angliedenden Liegenschaft möglich. Alternativ wäre ein Zugang direkt ab der Strasse zu prüfen.
Emission	Bereich liegt in der Talsenke mit wenig Wohnraum in der Nähe. Somit ist der Standort bezüglich Geruch und Lärm eher unbedenklich. Die Nähe zum Fluss fordert eine besonders sorgfältige Berücksichtigung von möglicher Gärgülle.
Raumbedarf	Die verfügbare Fläche ist: 1'046m <sup>2</sup> (gemessen wurde der Bereich mit «Dangal» bezeichnet)





## 8 WASSERSTOFF: MÖGLICHE ANWENDUNGEN UND VERTRIEB

Sofern sich die Gemeinde entscheidet Wasserstoff aus Biomasse zu produzieren, wird es zentral sein die Nachfrage nach dem Wasserstoff sicherzustellen. Hierbei werden öffentliche Fahrzeuge, Kooperationen mit örtlichen Flottenbetreibern und Kooperationen mit der Post und seinen Postverkehren eine Schlüsselrolle einnehmen. Dafür werden in diesem Kapitel aktuell am Markt verfügbare Fahrzeuge (oder unmittelbar vor der Markteinführung stehende) vorgestellt. Darüber hinaus wird die Stromerzeugung mittels Brennstoffzelle kurz vorgestellt. Diese könnte speziell bei Überkapazität relevant sein, da Speicherung von Wasserstoff signifikante Kosten verursacht. Abschließend diskutiert dieses Kapitel die Absatzmöglichkeiten des Wasserstoff mittels Direktvertrieb oder entsprechender Partnerschaft.

### 8.1 Fahrzeuge

Die folgende Liste gibt einen Überblick über Fahrzeuge, die schon jetzt mit Wasserstoff betrieben werden können bzw. noch im Jahr 2022 auf den Markt kommen sollen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

Typ	Beschreibung
Opel Vivaro-e HYDROGEN <sup>14</sup> Transporter	Reichweite: 400 km Ladezeit der Wasserstofftanks: 3 min Leistung Brennstoffzelle: 45 kW 10,5 kWh LI-Akku zur Deckung von Lastspitzen Rekuperation der Bremsenergie: Ja Rein elektrische Fahrt: Ja, 50 km Nutzlast: 1,1 t
Peugeot e-Expert Hydrogen <sup>15</sup> Transporter	Reichweite: 400 km Ladezeit der Wasserstofftanks: 3 min Leistung Brennstoffzelle: 45 kW 10,5 kWh LI-Akku zur Deckung von Lastspitzen Nutzlast 1 t
Citroën ë-Jumpy Hydrogen <sup>16</sup> Transporter	Reichweite: 400 km Ladezeit der Wasserstofftanks: 3 min Leistung Brennstoffzelle: 45 kW 10,5 kWh LI-Akku zur Deckung von Lastspitzen Rein elektrische Fahrt: Ja, 50 km

<sup>14</sup> AutoBild, „AutoBild,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.autobild.de/artikel/wasserstoff-nutzfahrzeuge-brennstoffzelle-h2-transporter-20700959.html>. [Zugriff am 2022].

<sup>15</sup> AutoBild, „AutoBild,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.autobild.de/artikel/wasserstoff-nutzfahrzeuge-brennstoffzelle-h2-transporter-20700959.html>. [Zugriff am 2022].

<sup>16</sup> AutoBild, „AutoBild,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.autobild.de/artikel/wasserstoff-nutzfahrzeuge-brennstoffzelle-h2-transporter-20700959.html>. [Zugriff am 2022].

Typ	Beschreibung
	Nutzlast 1 t
Renault Hyvia <sup>17</sup> Transporter	Prototyp, erste Fahrzeuge ab 2022; Auf Basis von Renault Master (Transport) Reichweite (kombiniert): 500 km Leistung Brennstoffzelle: 30 kW 33 kWh Batterie Rein elektrische Fahrt: Ja, 100 km
Renault Master City Bus H2 Tech Renault H2 Tech Kastenwagen <sup>18</sup>	Marktstart im laufenden Jahr [6] Kapazität City Bus: bis zu 15 Passagiere
Hyundai Nexa <sup>19 20</sup> SUV	Reichweite: 756 km
Hyundai Xcient Fuel Cell <sup>21 22</sup> LKW	Reichweite: 400 km Leistung Brennstoffzelle: 190 kW 73,2 kWh Batterie Marktstart der nächsten Generation: 2024
Toyota MIRAI II <sup>23</sup> PKW	Reichweite: 650 km

## 8.2 Brennstoffzellen

Wird mehr Wasserstoff produziert als gelagert werden kann bzw. in Fahrzeuge getankt wird, kann der Überschuss mit einer Brennstoffzelle in elektrischen Strom umgewandelt werden. Folgende Hersteller bieten hierzu Lösungen an:

<sup>17</sup> AutoBild, „AutoBild,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.autobild.de/artikel/wasserstoff-nutzfahrzeuge-brennstoffzelle-h2-transporter-20700959.html>. [Zugriff am 2022].

<sup>18</sup> AutoBild, „AutoBild,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.autobild.de/artikel/wasserstoff-nutzfahrzeuge-brennstoffzelle-h2-transporter-20700959.html>. [Zugriff am 2022].

<sup>19</sup> AutoBild, „AutoBild,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.autobild.de/artikel/wasserstoff-nutzfahrzeuge-brennstoffzelle-h2-transporter-20700959.html>. [Zugriff am 2022].

<sup>20</sup> „H2,“ [Online]. Available: <https://h2.live/>.

<sup>21</sup> AutoBild, „AutoBild,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.autobild.de/artikel/wasserstoff-nutzfahrzeuge-brennstoffzelle-h2-transporter-20700959.html>. [Zugriff am 2022].

<sup>22</sup> „Hyundai,“ 2020. [Online]. Available: [https://www.hyundai.news/eu/articles/press-releases/hyundai-xcient-fuel-cell-heads-to-europe-for-commercial-use.html#:~:text=XCIENT%20is%20powered%20by%20a,km\\*%20on%20a%20single%20refuelling..](https://www.hyundai.news/eu/articles/press-releases/hyundai-xcient-fuel-cell-heads-to-europe-for-commercial-use.html#:~:text=XCIENT%20is%20powered%20by%20a,km*%20on%20a%20single%20refuelling..) [Zugriff am 2022].

<sup>23</sup> „Handelsblatt,“ [Online]. Available: <https://www.handelsblatt.com/mobilitaet/elektromobilitaet/wasserstoff-die-flotte-alternative-diese-transporter-fahren-mit-brennstoffzelle/28307566.html>.

Hersteller und Typ	Spezifikationen
SFC Energy AG <sup>24</sup> EFOY H2 Cabinets	Nennleistung bis zu 50 kW (2,5 kW Module) Ausgangsspannung: 41-57 V DC Wechselrichter für AC-Leistungsausgang möglich Modularer Aufbau
Ballard <sup>25</sup> FCgen-H2PM	Nennleistung bis zu 60 kW (1,7 kW oder 5 kW Module) Ausgangsspannung: 48 V DC Wechselrichter für AC-Leistungsausgang möglich Modularer Aufbau Ausgelegt für kurze Laufzeiten und seltenem Einsatz [11]
Ballard <sup>26</sup> ClearGen II	Nennleistung bis zu 1,5 MW (500 kW Module) AC Leistungsausgang 380 – 480 V AC (50-60 Hz) [11]
Gaussin <sup>27</sup> Fuel Cell M, L, XL	Nennleistung: 15 kW, 60 kW, 125 kW Komplette Einheiten; für abgelegene Gebiete/Einsätze
Quintech <sup>28</sup> Jupiter	Nennleistung bis zu 40 kW (500 W Module) Ausgangsspannung: 40,5-57 V Wechselrichter für AC-Leistungsausgang möglich

Weitere Produkte sind unter <http://www.brennstoffzelle-energie.de/> aufgelistet.

### 8.3 Wasserstoffvertrieb

Bei der lokalen Produktion und dem lokalen Verbrauch von Wasserstoff spielt natürlich auch der Vertrieb eine zentrale Rolle. Dazu muss die Grundsatzentscheidung getroffen werden, ob man als Betreiber bzw. Erzeuger direkt in den Vertrieb mittels kleiner Tankstelle einsteigen möchte, oder aber mit Partnern kooperiert. Beim direkten Vertrieb bedarf es nicht nur einer Zapfanlage und entsprechender Software für Abgabe und Verrechnung, sondern auch ein entsprechendes Speicherkonzept inklusive Verdichter und Tankcontainer. Für diese Option wurden kommerzielle Angebote zweier Hersteller angefordert. Während eine Rückmeldung von MAHYTEC bisher ausgeblieben ist, wurde mit AIR LIQUIDE Advanced Technologies GmbH ein kommerzielles

<sup>24</sup> „EFOY,“ [Online]. Available: <https://www.efoy-pro.com/energieloesungen/efoy-h2cabinets/>.

<sup>25</sup> „Ballard,“ [Online]. Available: <https://www.ballard.com/fuel-cell-solutions/fuel-cell-power-products/backup-power-systems>.

<sup>26</sup> „Ballard,“ [Online]. Available: <https://www.ballard.com/fuel-cell-solutions/fuel-cell-power-products/backup-power-systems>.

<sup>27</sup> „Gaussin,“ [Online]. Available: <https://www.gaussin.com/h2-powered-generator>.

<sup>28</sup> „Quintech,“ [Online]. Available: <http://www.brennstoffzelle-energie.de/index.php/jupiter/>.

Angebot für einen Verdichter, ein Tankmodul in Containerform und eine Standardlösung für eine Container-Tankstelle vereinbart. Das Unternehmen benötigt aber für dieses Angebot mehr Zeit, weshalb das Angebot nach Abgabe des vorliegenden Berichts nachgereicht werden muss.

Da die Speicherung von Wasserstoff natürlich Kosten verursacht, stellt die Dimensionierung des Speicherkonzeptes eine große Herausforderung dar. Bei Überproduktion würde etwa ein Vertriebspartner andere Tankstellen beliefern können, beim Eigenvertrieb wäre neben der längeren Speicherung die Brennstoffzelle als Stromerzeuger eine mögliche Lösung.

In der Schweiz bietet sich für diese Frage eine Kooperation mit dem Förderverein H2 Mobilität Schweiz an, der auf den Bau und Betrieb von Tankstellen spezialisiert ist. Ein weiterer Kooperationspartner ist die Hydrospider AG, die ihren Fokus auf der Produktion und dem Vertrieb von Wasserstoff hat.

Die Auswahl des Vertriebsweges hat eine starke strategische Komponente und bedarf genauer Analyse in der Gemeinde. Welche Risiken sollen selbst getragen werden, welche Allianzen geschmiedet werden? Grundsätzlich sind aber alle oben beschriebenen Wege denkbar.



## REFERENZEN

Ref.	ID	Ausgabe	Bezeichnung
R1	---	---	Utilizzo legname in m3
R2	---	13.09.07	Umrechnungsfaktoren Waldholz und Restholz der Schweizerischen Interessengemeinschaft Industrieholz
R3	---	09.04.2015	Energieholzpotenzial GR von GEO Partner AG
R4	Merkblatt 12	Juli 2014	Der Energiegehalt von Holz
R5	---	2010-2021	Tierzahlen Kleinvieh ( <a href="http://www.gr.ch">www.gr.ch</a> )
R6	---	2010-2021	Tierzahlen Rindvieh ( <a href="http://www.gr.ch">www.gr.ch</a> )
R7	Kapitel 11	2009	Argrarforschung 16 (2) «Hofdünger»
R8	---	25.11.2021	Statistik Kläranlage Stampa
R9	---	03-2022	Gas Abfackelung
R10	---	2021	Schlammbehandlung ARA Bregaglia
R11	ANU-409-20d	14.03.2022	Anlagen zur Vergasung und Verkohlung von Holz und anderer fester Biomasse – Teil 1
R12	ANU-409-21d	14.04.2022	Anlagen zur Vergasung und Verkohlung von Holz und anderer fester Biomasse – Teil 2
R13	ANU-409-50d	August 2021	Vollzug der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) stationärer Verbrennungsmotoren

## ALLGEMEINE PARAMETER

Verbrauch	Wert	Bemerkung
Heizung Einfamilienhaus	22'500 kWh/Jahr	Durchschnittlich rund 20'000 bis 25'000kWh pro Jahr. Annahme zur Rechnung ist somit der Mittelwert.
Energie pro Einfamilienhaus	2P: 3'100kWh 3P: 3'700kWh 4P: 4'000kWh 5P: 4'800kWh	Ohne Wasser
Energie pro Einfamilienhaus	2P: 3'750kWh 3P: 4'600kWh 4P: 5'100kWh 5P: 6'000kWh	Mit Wasser
Energie Auto	15kWh/100km	Kleinwagen liegen darunter, schnellere und grössere Autos (Tesla S, BMWi7) liegen bei 19kWh/100km
H2 Auto	0.9 - 1.1kg/100km	
H2 Lastwagen	8kg/100km	

## LIEFERANTENVERZEICHNIS

Zur Transparenz und möglicher Umsetzung einer Anlage im Bergell werden folgende Firmen – welche Molinari bei der Analyse unterstützt haben – gelistet.

<b>Anlage</b>	<b>Firma und Adress</b>	<b>Kontakt</b>
BluFlux	blueFLUX Energy AG Bergwerkstraße 14 82380 Peißenberg	Dr.-Ing. Ulrich Mach
H2Energy	H2Energy Hohlstrasse 186/188 8004 Zürich	Hr. Hansjörg Vock
Hynoca	Haffner Energy 2 Pl. de la Gare, FR - 51300 Vitry-le-François	--
BHKW Softstoffe	IWK Integrierte Wärme und Kraft AG Aspsstrasse 11 CH-8472 Oberohringen	Hr. Stefan Schaffner
BHKW Feststoffe	Heim AG Heizsysteme Wittenwilerstrasse 31 CH-8355 Aadorf	Hr. Joël Heggli
Hackschnitzelheizung	Heim AG Heizsysteme Wittenwilerstrasse 31 CH-8355 Aadorf	Hr. Joël Heggli
Hackschnitzelheizung	Iseli Energie AG Kreuzmatt 8 CH-6242 Wauwil	Hr. Marvin Iseli
Hackschnitzelheizung	Schmid AG – energy solutions Hörnlistrasse 12 CH-8360 Eschlikon	Hr. Dominique Nafzger

## ANNEX A: ANALYSE DER HOLZENTNAHME

Die folgenden Daten wurden von der Gemeinde Bergell zur Verfügung gestellt:

Jahr anno	Kleinholz legna		Holzschnitzel trucioli		Langholz legname		Holz im Wald Legna nel bosco		Total Totale
2016	1563	17%	1138	13%	5825	65%	434	5%	8960
2017	1616	19%	1467	18%	4822	58%	439	5%	8344
2018	1434	19%	1397	19%	4202	56%	405	5%	7438
2019	1309	18%	2055	29%	3064	43%	730	10%	7158
2020	437	5%	2905	31%	5478	58%	689.7	7%	9509.7
2021	448	5%	2518	28%	5108	58%	791	9%	8865
<b>media</b>	<b>1135</b>	<b>14%</b>	<b>1913</b>	<b>23%</b>	<b>4750</b>	<b>57%</b>	<b>581</b>	<b>7%</b>	<b>8379</b>

Daraus errechnet:

Holzschnitzelverfügbarkeit	ME	Gesamt	2019-2021	2021
Gesamtmenge Holzschnitzel Totale trucioli	Sm <sup>3</sup>	5357	6979	7050
Holzschnitzel vor Ort <sup>1)</sup> Trucioli riscaldamenti	Sm <sup>3</sup>	2200	2200	1871
Holzschnitzel übrig / verfügbar <sup>2)</sup> Disponibili	Sm <sup>3</sup>	3157	4779	5179

### Bemerkungen:

- Bemerkung: 1m<sup>3</sup> = 2.8Sm<sup>3</sup>
- <sup>1)</sup> 30 % Feuchtigkeit nur Stammholz (Baumarten ca. Fichte 60%, Tanne 30 %, Lärche 10%)
- <sup>2)</sup> Waldfrisch, 50 % Stammholz, ca. 40 % Ganzbaum, 10% Astmaterial (teilweise zusätzlich ausserhalb Forststatistikzuschlag von max. 5 %).  
Baumarten: Fi/ Ta /Lä 80%, Pappel, Erle, Linde 10 %, Kastanien Eschen, Bergahorn 10 %
- Wenn die Energieholzsammlung rationell und wirtschaftlich ist, kann das Volumen von ca. 800m<sup>3</sup> aus den Privatwäldern (Bregaglia) genutzt werden.
- Eine mögliche Zusammenarbeit mit Sägewerken zur Sammlung von Hackschnitzeln aus der Anlage von Betriebsholzabfällen (SDF, Uffer,...) kann zusätzlich das Volumen erhöhen.
- Je nach Forststrategie kann das Holzsortiment variieren (Anbau von Laubhölzern)

## ANNEX B: HOLZ ENERGIEWERTE UND UMRECHNUNG

### Umrechnungsfaktoren Waldholz und Restholz

Von	zu
Rundholz (ohne Rinde) Fichte/Tanne	1 m <sup>3</sup> = 0.9 t Gewicht (mit Rinde)
Rundholz (ohne Rinde) Buche	1 m <sup>3</sup> = 1.1 t Gewicht (mit Rinde)
Waldholz (mit Rinde)	1 ster = 0.75 m <sup>3</sup> Volumen mit Rinde
Waldholz (mit Rinde)	1 ster = 0.67 m <sup>3</sup> Volumen ohne Rinde
Waldholz Fichte / Tanne (mit Rinde)	1 m <sup>3</sup> = 0.89 m <sup>3</sup> Waldholz Fichte / Tanne (ohne Rinde)
Waldholz Laubholz (mit Rinde)	1 m <sup>3</sup> = 0.93 m <sup>3</sup> Waldholz Laubholz (ohne Rinde)
Hackschnitzel Nadelholz (ohne Rinde)	1 m <sup>3</sup> = 2.8 Sm <sup>3</sup> Schüttkubikmeter (ohne Rinde)
Nadelholz (ohne Rinde)	1 Ato = 7 Sm <sup>3</sup> Schüttkubikmeter (ohne Rinde)
Schwarten/Spreissel (ohne Rinde)	1 Rm = 0.6 m <sup>3</sup> Schwarten/Spreissel (ohne Rinde)
Schwarten/Spreissel (ohne Rinde)	1 Zrm = 0.71 Nrm Schwarten/Spreissel (ohne Rinde)
Sägespäne/Sägemehl	1 Sm <sup>3</sup> = 0.33 m <sup>3</sup> Sägespäne/Sägemehl
Hobelspäne	1 Sm <sup>3</sup> = 0.2 m <sup>3</sup> Hobelspäne
Buche	1 m <sup>3</sup> /Ato = 0.75 ster/Ato Buche
Hartlaubholz (Bu, Habu, Es, Ah, Ei, Ul, Bi)	1 m <sup>3</sup> /Ato = 0.74 ster/Ato Hartlaubholz (Bu, Habu, Es, Ah, Ei, Ul, Bi)
Weichlaubholz (Er, Wie, Li, As, Pa)	1 m <sup>3</sup> /Ato = 0.75 ster/Ato Weichlaubholz (Er, Wie, Li, As, Pa)
Nadelholz (Fi, At, Fö, Lä, Dou)	1 m <sup>3</sup> /Ato = 0.75 ster/Ato Nadelholz (Fi, At, Fö, Lä, Dou)

Legende:

- Sm<sup>3</sup> Schüttkubikmeter
- m<sup>3</sup> Kubikmeter
- Ato Altro-tonne
- Rm Raummeter
- Nrm Normraummeter
- Zrm Zustandsraummeter

Quelle: Aufarbeitung von R2

### Energiewerte Holz:

Biomasse	ME	Dichte	Energiedichte pro Masse	Energiedichte pro Volumen	Brennwert aus Biokohle	Potenzial Biogas	Bemerkung
		[kg/m <sup>3</sup> ]	[kWh/kg]	[kWh/Sm <sup>3</sup> ]	[kWh/m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /to]*	
Hackschnitzel Mittelwert	kg	230	4.00	920	1403	200	Richtwerte bei 20% Wassergehalt
Buche	kg	283	3.86	1092	1726	193	20% Wassergehalt; 4,15 kWh bei 15%
Pappel	kg	145	3.86	560	885	193	20% Wassergehalt; 4,15 kWh bei 15%
Fichte	kg	154	4.02	619	939	201	20% Wassergehalt; 4,32 kWh bei 15%
Kiefer	kg	181	4.02	728	1104	201	20% Wassergehalt; 4,32 kWh bei 15%
Eiche	kg	239	3.86	923	1458	193	20% Wassergehalt; 4,15 kWh bei 15%

Quelle: Aufarbeitung von R4

## ANNEX C: KÜCHENABFÄLLE

Küchenabfallentsorgung Sommer 2021 **Gemeinde Bregaglia**  
Woche 25 - 44

**Fässer** / grosse 240l / kleine 140l

117	grosse Fässer à 50.00	5'850.00
	Oelfässer	
40	kleine Fässer à 30.00	1'200.00
19	Fahrten nach Maloja à 160.00	3'040.00
2	Fahrten nach Maloja-Isola à 190.00	380.00
Total		10'470.00
MWST 7.7 % CHE- 112.338.185		806.20
<b>Total inkl. MWST</b>		<b><u>11'276.20</u></b>

Berücksichtigung:

- Rechnung der Woche 25 (Mitte Juni) bis Woche 44 (Ende Oktober), somit für 21 Wochen
- Ausgehend von einer kompletten Zeit von März bis Ende Oktober, somit 36 Wochen
- Befüllung der grossen und kleinen Fässer von 95%

Somit:  $0.95 \times (117 \times 240l + 40 \times 140l)$  im Verhältnis von 36/21 = 54'850;

Festlegung: 54'000 Liter Biomasse pro Jahr

## ANNEX D: KLÄRSCHLAMM

Schlammbehandlung ARA Bregaglia 2021

Frischschlamm zum Faulturm 2823m<sup>3</sup> TS 11.12 g/l

Stabilisierter Schlamm Statisch eingedickt für die Mobile Entwässerung  
872m<sup>3</sup> TS 5.39g/l Preis pro m<sup>3</sup> 16.20sFr inkl. Mwst 14` 132.35sFr

Transport Entwässerter Schlamm nach ARA Chur mit LKW

107 t TS 34g/Kg Preis pro t 112.-sFr inkl. Mwst 11` 984.-sFr

Entwässerter Schlamm Trocknung auf die ARA Chur und anschliessend zur Verbrennung

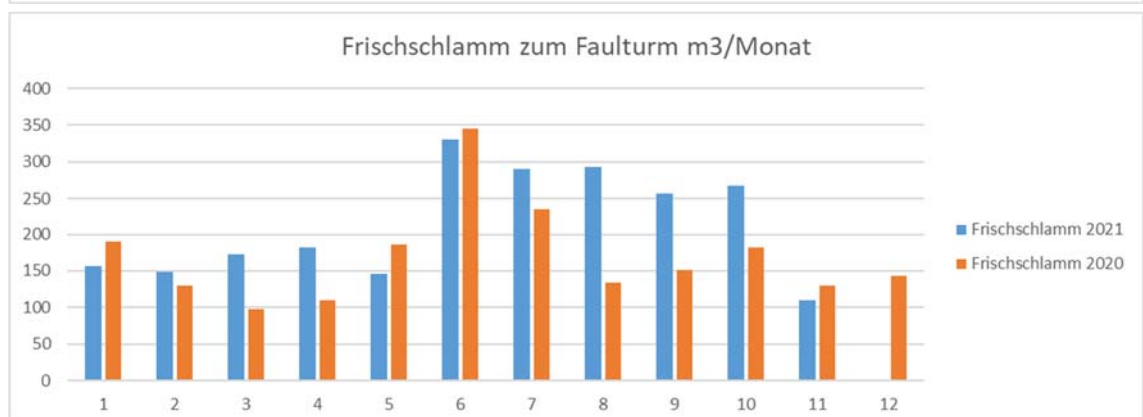
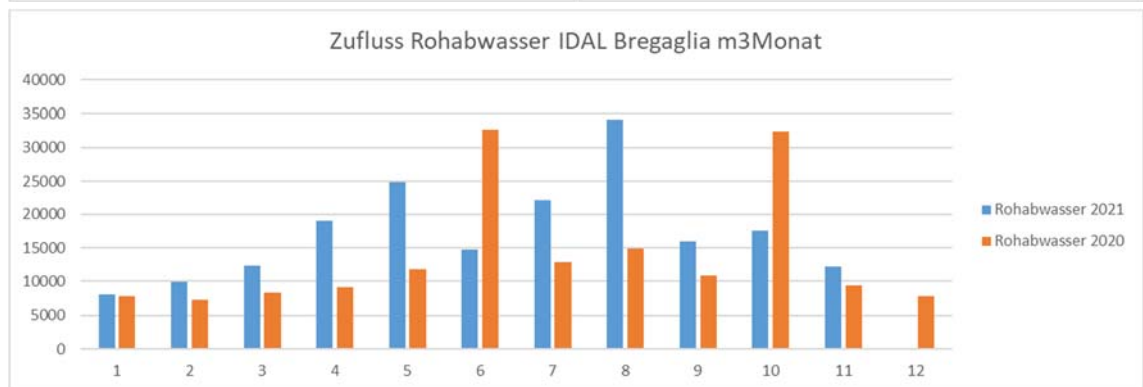
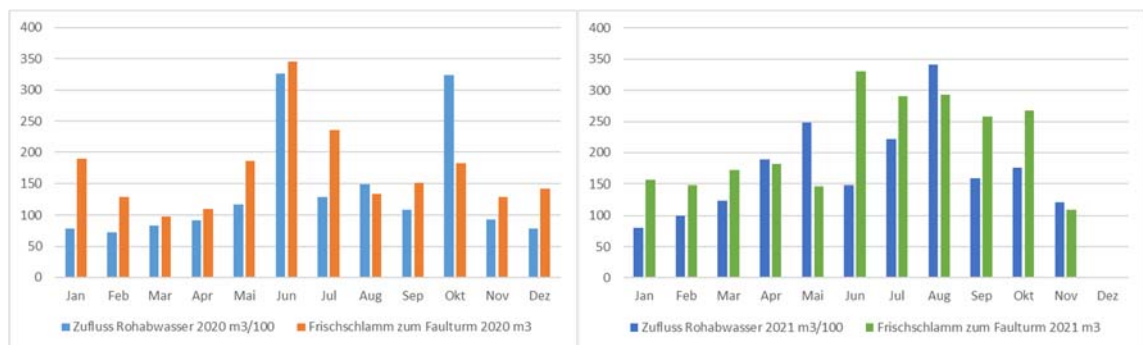
107 t TS 34g/Kg Preis pro t 114.30sFr inkl. Mwst 12` 228.-sFr

Total Kosten 38'344.-sFr.  
Pro m<sup>3</sup> Frischschlamm 13.60

### ANNEX E: UNGENUTZTES GAS

Die monatliche Erfassung der Schlamm- und Gasmengen ist in den Kinderschuhen. Um die erfassten Daten und deren Korrelation zu interpretieren können folgende Fragen gestellt und beantwortet werden:

Ref	Fragestellung	Antwort
1	Wie ist die Korrelation zwischen dem Rohabwasser und dem Frischschlamm?	Eine direkte Korrelation ist nicht sinnvoll ermittelbar. Ein Tendenz kann nur vermutet werden (Grafik unten)
2	Wie ist die Ähnlichkeit von Rohabwasser und Frischschlamm über die Jahre?	Tendenz: Im Sommer höhere Mengen (Grafik unten)
3	Wie ist die Korrelation zwischen der Gasmenge und dem Frischschlamm?	Eine direkte Korrelation ist nicht sinnvoll ermittelbar. Im Zeitraum 08-21 bis 12-21: Durchschnittlicher Faktor = 24
4	Wie ist die Ähnlichkeit der Gasmenge über die Jahre?	Keine Daten um diese Frage zu beantworten



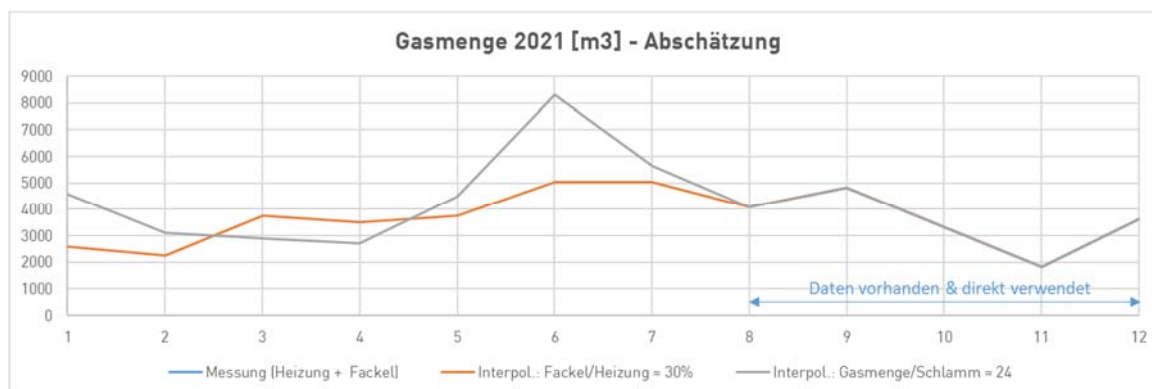


### Gasmenge pro Jahr

Die Messwerte des Frischschlammes und der Mengen, welche an der Fackel und an der Heizung anfallen, sind nur im Zeitraum von vier Monaten verfügbar, nämlich 08-21 bis 12-21.

Um die Jahresmenge abzuschätzen, werden diese Zahlen für die fehlenden acht Monate wie folgt interpoliert:

Ref	Firma und Adresse	Menge [m3]	Fackel [m3]
1	Gemessene Menge aufs Jahr hochgerechnet (Gemessene Menge x 3)	42'206	12'180
2	Das Verhältnis von Gas an der Fackel zum Gas an der Heizung	43'629	10'012
3	Das Verhältnis von Gasmenge zur Menge Frischschlamm	49'430	15'813

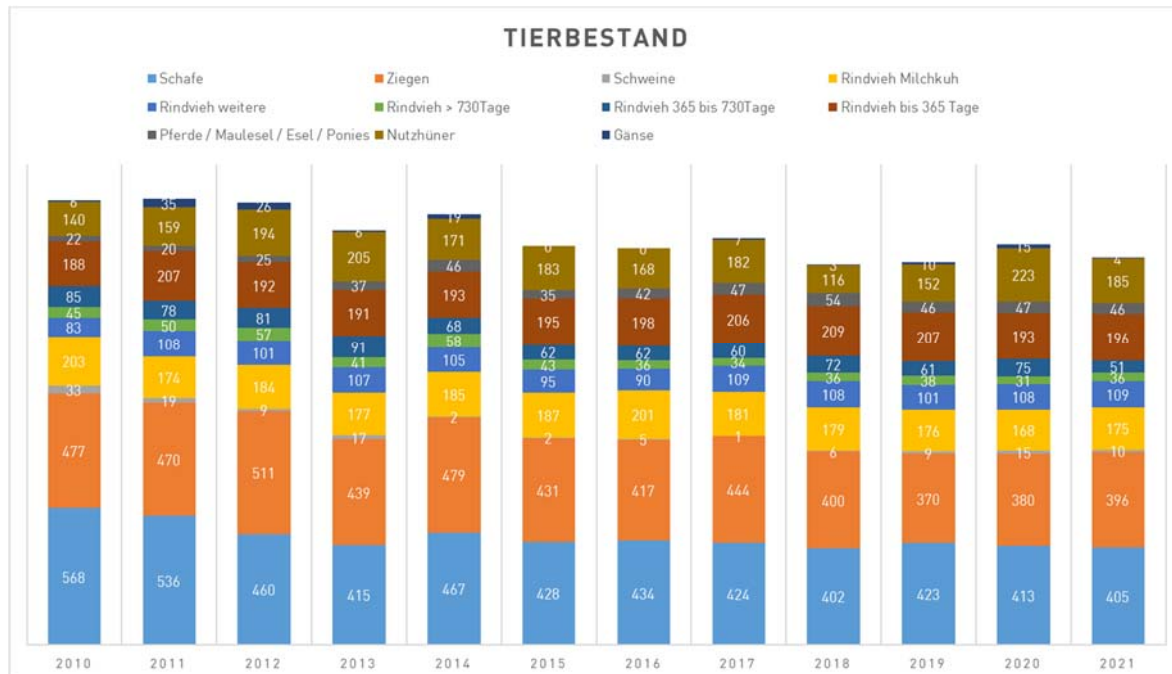


### Festlegung:

- Gesamtmenge: 45'000m<sup>3</sup> Gas pro Jahr
- Restmenge (Fackel): 12'000m<sup>3</sup> Gas pro Jahr, somit ca. 27%
- 1m<sup>3</sup> Biogas = 5-7.5kWh (ca. 50-75% Methangehalt) - Festlegung: 6kWh
- 1m<sup>3</sup> Methan = 10kWh resp. 36MJ/1m<sup>3</sup> resp. 50MJ/kg

## ANNEX F: GÜLLE / MIST

Der Bestand der Tiere der Gemeinde Bergell hat sich seit 2010 wie folgt entwickelt.



Quelle: Aufarbeitung von den Referenzen R5 & R6.

Zur Ermittlung der vorhandenen Menge wurden folgende Punkte berücksichtigt:

- Anrechenbare Zeit pro Jahr (aufgrund von Weide / Alp) ist in der Tabelle unten aufgeführt.
- Vernachlässigbar sind aufgrund der Anzahl und der anfallenden Biomasse die Schweine, Nutzhühner und Gänse. Nicht berücksichtigt resp. offiziell vorhanden sind Lamas, Alpakas und Dammhirsche
- Drei Szenarien (1. Nur Gülle fällt an, 2. Nur Mist fällt an, 3. Gülle und Mist fallen an) wurden gerechnet um die Energiewerte (Ref. R7) zu vergleichen. Die Unterschiede dabei sind gering, die Werte in to Mist werden verwendet.
- Das Rindvieh macht dabei rund 87% der Mist- resp. Energiemenge aus.

Ref.	Tierart	Schnitt 2017-2021	Unschärfe +/-	Unschärfe %	Monate anrechenb	m3 Mist 2	S2 nur Mist
						[to]	[kWh]
1	Schafe	413	11	2.8%	3	176	263'543
2	Ziegen	398	28	7.0%	1	53	79'600
3	Schweine	8	7	87.8%	12	28	41'820
4	Rindvieh Milchkuh	176	8	4.4%	9	2769	4'153'275
5	Rindvieh weitere	107	6	5.6%	9	1124	1'685'250
6	Rindvieh > 730Tage	35	4	11.4%	9	263	393'750
7	Rindvieh 365 bis 730Tage	64	13	20.1%	9	335	502'425
8	Rindvieh bis 365 Tage	202	9	4.5%	12	1011	1'516'500
9	Pferde / Maulesel / Esel / Ponies	48	2	4.2%	12	576	864'000
10	Nutzhühner	172	56	32.4%	12	-	-
11	Gänse	8	5	61.5%	1	-	-

## ANNEX G: KASTANIENBLÄTTER / - SCHALEN

Die Masse der Kastanienblätter und -schalen (auch «Igel» genannt) wurde unabhängig von Molinari und der Gemeinde Bergell abgeschätzt. Folgend werden beide Abschätzungen aufgezeigt.

### 1. Berechnung Bergell

Annahmen:

- Fläche der bewirtschafteten Kastanienwälder im Bergell: 54ha resp. 540'000m<sup>2</sup>
- Masse: 100kg pro Baum, bei 10-20% Feuchtigkeit
- Verwendbare Menge (Zugang und Art der Bewirtschaftung wie z.B. Einstreu) von 40%
- Vier Szenarien mit Abhängigkeit von Abständen der Bäume, wobei das Szenario 2 als «am Realitätsnahesten» beurteilt wurde.

Szen.	Durchschn. Abstand zwischen den Bäumen [m]	Durschn. Fläche pro Baum [m <sup>2</sup> ]	Anzahl Bäume [ ]	masse Blätter und Igel total [kg]	Gesamtmaterial nutzbar [kg]
1	20	400	1350	135'000	54'000
2	18	324	1667	<b>166'700</b>	<b>66'680</b>
3	16	256	2109	210'900	84'360
4	14	196	2755	275'500	110'200

### 2. Berechnung Molinari

Annahmen:

- Fläche der bewirtschafteten Kastanienwälder im Bergell: 50ha resp. 500'000m<sup>2</sup>
- Anzahl Bäume: 2000 – 2500 (Workshop 1)
- Gemäss «Kastanien-Forum» ergeben 4 Bäume 2 Haufen à 8Sm<sup>3</sup>, somit 1 Baum = 4Sm<sup>3</sup>
- Stadt Berlin: ca. 440'000 Bäume und 1'000'000Sm<sup>3</sup> = 2.3 Sm<sup>3</sup> pro Baum
- Weitere Internet-Recherche: 70kg +/-10kg / Baum

Berechnung 1: 2250 Bäume x 4Sm<sup>3</sup> x 20kg/Sm<sup>3</sup> = 180'000kg

Berechnung 2: 2250 Bäume x 70kg = 157'500kg

#### Festlegung:

Aufgerundeter Mittelwert der Zahlen aus dem Bergell und den beiden Berechnungen ergeben eine Masse von 170'000kg.

## ANNEX H: BHKW – GLOCK GGV2.7

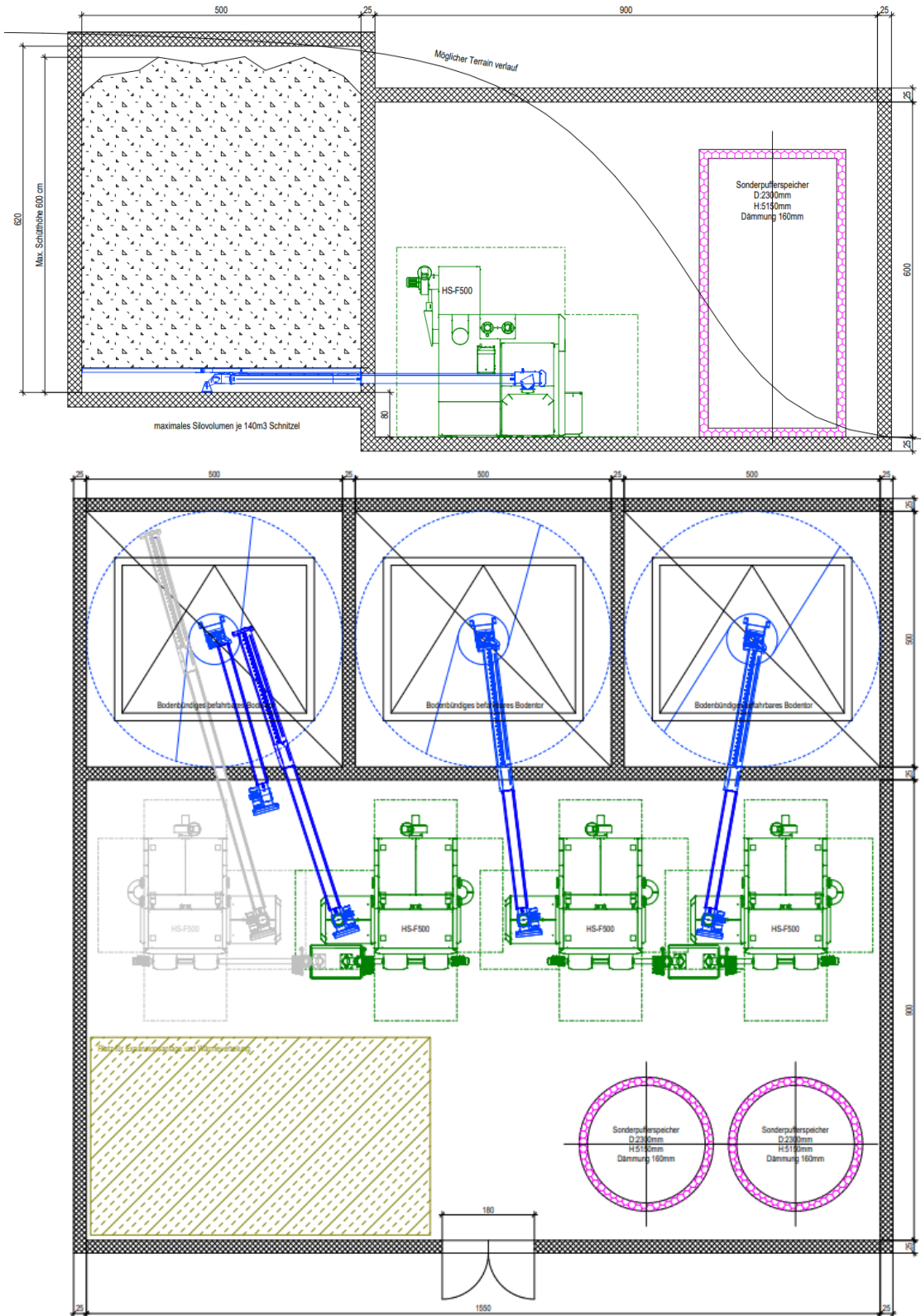
Eigenschaft	Werte und Ausführung
<b>VERGASUNGSEINHEIT</b>	
Brennstoff	Hackschnitzel lt. EN ISO 17225-4:2014 Klasse A1, P16S-P31S oder Holzpellets lt. EN ISO 17225-2, Klassifizierung ENplus-A1
Brennstoffverbrauch	Hackschnitzel: Je nach Qualität zwischen 50-60 kg/h / Holzpellets: 40-50 kg/h
Beschickung	Förderschnecke, konstante Befüllung (ca. 60 kg/h)
Sicherheitseinrichtung	automatische Löscheinrichtung
Auskleidung Vergasereinheit	feuerfest
Zündung	automatisch über Heißluftgebläse
Oxidationsluftzuführung	konstant über Klappe; Absicherung mittels Rückschlagklappe
Füllstandsmessung	konstant
Rost	Abreinigung automatisch
<b>GASFILTEREINHEIT</b>	
Heißgasfilter	6 Filterkerzen mit einer Maschenweite in µm
Sicherheitsfilter	Ölbadfilter
<b>VORRATS- UND TROCKNUNGSEINHEIT</b>	
Schleusen	dichte Ausführung, pneumatisch betätigt, in 2-facher Ausführung
Trocknung	Trocknungseinheit mit Ventilator und Wärmetauscher
Vorrat	dicht ausgeführter Behälter
Sicherheitseinrichtung	automatische Löscheinrichtung
<b>VERBRENNUNGSKRAFTMASCHINE</b>	
Motor	GLOCK GGV 2.7
Bauart	Reihenmotor
Hubraum	11300 ccm
Zylinderanzahl	6
Verdichtungsverhältnis	10,5 : 1
Umdrehungen	1500 U/min
Zündung	vollelektronisch
Ölvolumen	38 l
Abgaskrümmter	wassergekühlt
Plattenwärmetauscher	Motorkreislauf auf Primärkreislauf max. 35 kW
Abgaswärmetauscher	Wärmetauscher max. 35 kW

Eigenschaft	Werte und Ausführung
Abgasschalldämpfer	Mehrfachkammerschalldämpfer
Abgasnachbehandlung	3-Wege-Katalysator
<b>HEIZUNG ABGANG</b>	
Vorlauftemperatur	max. 90 °C
Rücklauftemperatur	max. 60 °C
Anschlussmaße	Gewindeanschluss 2 Zoll
Rücklaufanhebung	automatisch über Mischer
Druck	max. 6,5 bar
Pumpe	elektrisch regelbar
<b>GENERATOR</b>	
Bauart	asynchron, Käfigläufer
Kühlung	Luft oder Wasser
Nennleistung	75 kW
Spannung	400/660 V
Drehzahl	1500 U/min
Frequenz	50 Hz
Anlassstrom	1020/592 A
Lastmoment	481 Nm
Effizienz	ca. 96 %
Nennstrom	131/75,9 A
<b>NENNDATEN</b>	
Leistung	elektrisch Mittelwert 50 kW   max. 60 kW (abhängig von Hackgutqualität)
Leistung	thermisch max. 110 kW (abhängig von Hackgutqualität)
Cos phi	0,78
Gesamtwirkungsgrad	90 %
Brennstoffwärmeleistung	Mittelwert 202 kW
<b>KUNDENVORAUSSETZUNGEN</b>	
Maximaler Druck	8 bar
Druckluft effektive Liefermenge	100l/min
Wasseranschluss für Löschanlage	1 Zoll
Wasserdruck für Löschanlage	min. 2 bar
Wasseranschluss für Heizung	2 Zoll
Wasserdruck für Heizung	max. 4,5 bar

Eigenschaft	Werte und Ausführung
Elektrischer Anschluss Versorgung – Absicherung	380–400 VAC – 40 A
Elektrischer Anschluss Einspeisung – Absicherung	380–400 VAC – 170 A
Höhe Gesamtanlage	3 m
Breite Gesamtanlage	3,6 m
Länge Gesamtanlage	6 m
Gewicht mit Trocknung	ca. 7,5 t
Mindestabstand um gesamte Anlage	1,5 m
Raumlüftung	min. 3-facher Luftwechsel
Anschlüsse für Abgas- und Startleitung	DN 65
Anschluss für Trocknung	DN 250

*Tabelle 10 Eigenschaften mögliche BHKW Anlage*

**ANNEX I: HACKSCHNITZELANLAGE - HEIM-ENERGIE HS-F 500**



### Kessel HS-F 500

- Schnitzelkessel mit Einschub links zur Verfeuerung von Hackschnitzel u. Pellets
- Hackschnitzelbetrieb: Leistungsbereich 103,9 - 540 kW, Nennleistung bei Wassergehalt max. W25 & Heizwert > 3,5kWh/kg für Holz hackschnitzel M40 (Wassergehalt max. 40%) gemäß
  - o EN ISO 17225-4: Eigenschaftsklasse A1, A2, B1 und Partikelgröße P16S, P31S
  - o Vorgängernorm: ÖNORM M7133: G30-G50
- Pelletbetrieb: Leistungsbereich 104 - 540 kW, für Holzpellets DM6mm gemäß
  - o EN ISO 17225-2: Eigenschaftsklasse A1, A2
  - o ENplus, ÖNORM M7135, DINplus oder Swisspellet
- Bestehend aus:
  - o KESSEL inkl. STUFENROST-Brennsystem: Kessel aus Stahlblech geschweißt und druckgeprüft, Verkleidung mit Wärmedämmung 80 mm, Saugzugventilator drehzahl geregelt und überwacht, stehende Rohrwärmetauscher, Kesselthermometer u. Temperaturregler, Sicherheitswärmetauscher eingebaut, Stufenrost mit hochwertigen Gusssegmenten, automatische Brennkammerreinigung mittels Kipprost.
  - o AUTOMATISCHE WÄRMETAUSCHERREINIGUNG: mittels beweglicher Turbulatoren
  - o BRENNSTOFF-EINSCHUBMODUL: Seitliche DOPPEL-Einschubschnecke mit robuster Antriebseinheit, Niveauüberwachung des Zwischenbehälters mittels Infrarotlichtschranken, Rückbrandschutzeinrichtung (RSE) mit Federrücklaufmotor sowie selbstständiger Löscheinrichtung (SLE)
  - o AUTOMATISCHE ASCHENAUSTRAGUNG: der Verbrennungs- und Flugasche in die frontseitige Aschenbox.
  - o AUTOMATISCHE ZÜNDUNG
  - o REGELUNG: 5,7" Farb-Touch Display, zentrale Regeleinheit serienmäßig für:
    - Feuerungsregelung
    - Witterungsgeführte Regelung für 1 Mischkreis (Pumpe und Mischventil)
    - Puffermanagementmodul
    - Regelung für Boilerladung (Warmwasseraufbereitung)
    - Ansteuerung für Rücklaufanhebung (Motormischventil und Pumpe)
    - Ansteuerung für Motorventil zur Schnellaufheizung der Heizkreise bei Pufferbetrieb
    - Lambdasondenregelung (steuert Verbrennungsluft und Brennstoffzufuhr)
    - Frostschutzüberwachung inklusive Fühler PT1000 u. Außenfühler.
- Option der Fernvisualisierung und Fernwartung via Smartphone oder PC. Durch entsprechende Module (Option) kann die Regelung anlagenspezifisch erweitert werden.
- Technische Daten:
  - o Nennwärmeleistung Hackgut: 540 kW



- Nennwärmeleistung Pellets: 540 kW
- Zulässiger Betriebsüberdruck: 5,0 bar
- Zulässige Vorlauftemperatur: 95 GradC
- Minimale Rücklauftemperatur: 60 GradC
- Kesselgewicht: 4.171 kg
- Länge: 3.015 mm, Höhe: 2.180 mm Breite mit Einschub: 2.655 mm
- Mind. Einbringbreite: 1.700 mm
- Rauchrohrdurchmesser: 250 mm
- Vor- Rücklaufanschluss: DN100 / PN6
- Elektrischer Anschluss: 3x400V/50Hz/16A
- Heizwasserqualität entsprechend ÖNORM H 5195 bzw. EN 12828 bzw. VDI 2035 für geschlossene Warmwasseranlagen.
- Sämtliche Vorschriften der EN 12828 sind Installationsseitig einzuhalten.
- Weiteres:
  - Zubehör zum Kessel
  - Entaschung
  - Brennstofflagerung
  - Kesselzuführung
  - Zubehör Wärmeabgabe
  - Regulierung

#### Dienstleistungen:

- Komplette Aufstellarbeiten der oben erwähnten Anlageteile exkl. Elektro-, Heizungs- & Kaminbauarbeiten.
- Inbetriebnahme und Einschulung durch die Firma Heim AG
- Zweitbesuch für Einschulung, Anlagekontrolle und eventuelle Nachjustierung

#### Bauseitige Leistungen

- Beistellung von bauseitigen Zeichnungsunterlagen in der Planungsphase
- Abladung mit Kran oder Stapler
- Ausreichend großer, befestigter Lager/Vormontageplatz und Kranstandbereich
- Baugerüste oder Hebefahrzeuge für die Montage aller zu liefernden Teile
- Elektrischer Baustrom und Wasser, wenn notwendig Beheizung und Beleuchtung
- Helfer für die komplette Zeit der Montage und Inbetriebnahme
  - bis 100 kW: 1 Helfer
  - bis 300 kW: 2 Helfer
  - ab 300 kW: 3 Helfer
- Bauplan und Baustatik
- Bauliche Maßnahmen, Herstellung von Wand- und Dachdurchbrüchen sowie Öffnungen in bestehende Kamine
- Bedien- & Wartungsbühnen, Podeste und Aufstiege

- Schalldämm-Maßnahmen
- Heizwasserinstallationsarbeiten komplett ab Vor- und Rücklauf inkl. Material
- Trinkwasserinstallationsarbeiten für Thermische Ablaufsicherungen etc.
- Elektrische Zuleitung inkl. Anklemmarbeiten
- Erstellen des Potentialausgleichs aller Komponenten
- Netzwerk-, bzw. Telefonanschluss für Modem, etc.
- Wasserqualität (gemäss Ö-Norm H 5195-1)
- Be- und Entlüftungen des Brennstofflagerraums (Gärgasabsaugung) und Heizraumes
- Baustelle in gesäubertem und wetterfesten Zustand
- Der Zeitablauf der Montage muss so eingeteilt sein, dass unser Monteur nicht durch andere beschäftigte Firmen behindert wird
- Der gesamte Arbeitsbereich ist brandschutzgerecht herzurichten. Für gegebenenfalls erforderliche Brandkontrollen ist zu sorgen
- Einholung von behördlichen und sonstigen Genehmigungen und deren Kosten
- Durchführung von Abnahmemessungen zur Behördenvorlage
- Vereinbarter Brennstoff für die Inbetriebsetzung
- Sicherheit für IT Systeme und Netzwerke

## ANNEX J: BHKW – KOSTEN TRANSPORT HACKSCHNITZEL

Beschreibung	ME	Durchschnitt	min	max	Hilfswert	Bemerkung
Menge	Sm3	4'800	3600.0	6000.0	25%	
	to	1'714	1'286	2'143	2.8	
Menge pro Lastwagen	to	12	7	25		
<b>Anzahl Fahrten</b>	<b>[ ]</b>	<b>143</b>	<b>51</b>	<b>306</b>		
- nach EMS	[ ]	48	17	102	33%	a)
- nach Sils	[ ]	48	17	102	33%	a)
- nach S-chanf	[ ]	48	17	102	33%	a)
<b>Transport-Km</b>	<b>km</b>	<b>16'512</b>	<b>5'848</b>	<b>35'088</b>		
- nach EMS	km	9'504	3'366	20'196	198	hin & Zurück, Val Torta 116, 7603 Vicosoprano
- nach Sils	km	2'112	748	4'488	44	hin & Zurück, Val Torta 116, 7603 Vicosoprano
- nach S-chanf	km	4'896	1'734	10'404	102	hin & Zurück, Val Torta 116, 7603 Vicosoprano
Transport-Kosten	CHF/km	3.0	2.7	3.3	10%	Annahme
<b>Transport-Kosten tot.</b>	<b>CHF</b>	<b>49'536</b>	<b>15'790</b>	<b>115'790</b>		<b>Mittelwert von «min» und «max» = 65'800</b>
- nach EMS	CHF	28'512	9'088	66'647		
- nach Sils	CHF	6'336	2'020	14'810		
- nach S-chanf	CHF	14'688	4'682	34'333		

- a) Die Annahme der Verteilung zu je 1/3 ist eher konservativ, da die grösste Menge nach EMS (Standort mit der grössten Distanz) gefahren wird.