



## Weintresterverwertung

Energetische Verwertung von  
Weintrester

## VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

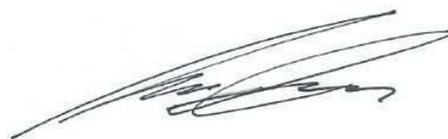
Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage [www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at) zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A handwritten signature in black ink that reads 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel  
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink that reads 'Ingmar Höbarth'.

Ingmar Höbarth  
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

## Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	2
Abstract .....	4
1 Einleitung .....	5
2 Inhaltliche Darstellung .....	6
2.1 Charakterisierung des Weintresters .....	6
2.1.1 Trestersorten .....	6
2.1.2 Frischer Trester .....	7
2.1.3 Tresterpellets .....	10
2.2 Ergebnisse TGA-Analysen.....	13
2.3 Ergebnisse der Lagerungsversuche.....	14
2.4 Ergebnisse der Entwässerungsversuche .....	15
2.4.1 Stempelpresse.....	15
2.4.2 Schneckenpresse .....	17
2.4.3 Presswasseranalyse.....	17
2.5 Ergebnisse der Trocknungsversuche .....	18
2.5.1 Kondenstrocknungssystem (Umluftbetrieb) .....	18
2.5.2 Wälzbettrockner .....	19
2.5.3 Weitere Trockner .....	19
2.6 Verbrennungsversuche .....	19
2.6.1 Ergebnisse der Verbrennungsrechnung .....	19
2.6.2 Versuche im Drehrohrofen .....	22
2.6.3 Versuche im Verbrennungsrohr.....	23
2.6.4 Versuche in einer Rostfeuerungsanlage.....	26
2.6.5 Versuche in einer Wirbelschichtfeuerungsanlage .....	27
2.7 Ergebnisse Asche-Analysen .....	28
2.8 Verwertung in Futtermitteln .....	30
3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....	32
4 Ausblick und Empfehlungen .....	34
5 Literaturverzeichnis.....	35

## Kurzfassung

### Ausgangslage:

Für Rückstände, die bei der Weinherstellung anfallen, existieren zwar Verwertungsmöglichkeiten, jedoch sind diese aus wirtschaftlichen Überlegungen sowie aus Gründen des Klimaschutzes nicht zufriedenstellend. In Österreich werden die so genannten Weintrester (ca. 121.000 t/a) zumeist kompostiert und anschließend wieder in den Weingärten ausgebracht, wobei unter lokal herrschenden anaeroben Bedingungen klimarelevantes Methan entstehen kann. Die anfallenden Trestermengen müssen entweder noch während der Lesekampagne im Weinberg ausgebracht und in den Boden eingearbeitet werden, oder in Weinbergsnähe abgelagert und gründlich kompostiert werden. Speziell für größere Weinbaubetriebe bzw. für Genossenschaften ist die traditionell landbauliche Verwertung arbeitsaufwendig und kostenintensiv.

Im Zuge eines übergeordneten **Eureka Projektes 213935 „utilization of marc for energy generation“** sollen daher zusammen mit Partnern aus Österreich, Kroatien und Deutschland Alternativen zu den bisher üblichen Verwertungskonzepten untersucht und bewertet werden. Im Folgenden wird das Eureka-Projekt kurz inhaltlich und kostenmäßig dargestellt:

Im **kroatischen Projektteil** werden bereits die Pelletierung der Weintrester und die Erzeugung von Biogas näher untersucht. Die laufenden und geplanten Aktivitäten können folgender Tabelle entnommen werden.

ACTIVITIES:	2006.	2007.				2008.				2009.		
	I.*	I.	II.	III.	IV.	I.	II.	III.	IV.	I.	II.	III.
1. Gathering research team	■	■										
2. Completion of laboratory equipment		■	■									
3. Preliminary research			■	■								
4. Collection of grape marc samples				■				■				
5. Chemical analysis of grape marc before treatment				■	■			■	■			
6. Definition and monitoring of grape marc storage conditions						■	■	■	■	■	■	■
7. Anaerobic fermentation of grape marc						■	■	■	■	■	■	■
8. Analysis of biogas						■	■	■	■	■	■	■
9. Analysis of fermented residue						■	■	■	■	■	■	■
10. Microbiological (bacteriological) analysis of fermented residue						■	■	■	■	■	■	■
11. Pelleting of grape marc						■	■	■	■	■	■	■
12. Determination of energy value of pelleted grape marc						■	■	■	■	■	■	■
13. Data processing										■	■	■
14. Drafting three-month reports		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
15. Drafting final report												■

\* First quarter: 1 January – 31 March; Second quarter: 1 April – 30 June; Third quarter: 1 July – 30 September; Forth Quarter: 1 October – 31 December

Die Finanzierung des kroatischen Projektteiles erfolgt zur Hälfte durch das kroatische Ministerium für Wissenschaft, Bildung und Sport, welches das Projekt mit 117.000 € unterstützt. Die restlichen Projektkosten werden durch die kroatische Universität finanziert. Eine Kostenübersicht der vom Ministerium beantragten Förderung findet sich in der folgenden Tabelle (Tab. aus Eureka-Antrag):

Activity	Staff/ quarter	2007	2008	2009	TOTAL
Fees for researchers and associates	8	11.700,00	11.700,00	11.700,00	35.100,00
Material costs	8	6.240,00	6.240,00	6.240,00	18.720,00
Travel expenses	8	5.850,00	5.850,00	5.850,00	17.550,00
Overhead expenses	0	5.070,00	5.070,00	5.070,00	15.210,00
Laboratory equipment	0	23.400,00	-	-	23.400,00
Drafting business plan for Eureka project	5	3.510,00	-	-	3.510,00
Drafting final report	5	-	-	3.510,00	3.510,00
<b>TOTAL</b>		<b>55.770,00</b>	<b>28.860,00</b>	<b>32.370,00</b>	<b>117.000,00</b>

Den **zweiten Teil des Eureka-Projektes bildet das beantragte Projekt** mit Partnern aus Österreich und Deutschland. Konkret soll in diesem Projektteil die mechanische Entwässerung, inklusive nachfolgender Verbrennung untersucht werden. Ziel ist die Übertragung eines bereits erfolgreich angewendeten Verfahrens, welches für Biertreber entwickelt wurde.

## Projekttablauf:

Zu Beginn werden repräsentative Tresterproben ausgewählt und spezifiziert. Neben der Bestimmung von verbrennungstechnisch relevanten Eigenschaften (z.B.: Zündtemperatur, Aschegehalt, Wassergehalt, Heizwert) werden zur Beurteilung des Lagerungsverhaltens Scherzellenversuche und Untersuchungen zur Haltbarkeit durchgeführt. Im Rahmen von Pressversuchen wird die mechanische Entwässerbarkeit der Weintrester mit unterschiedlichen Pressapparaten bestimmt. Anschließend werden Verbrennungsversuche mit unterschiedlich aufbereiteten Traubentrester (mechanisch entwässert/pelletiert) im Labormaßstab sowie im großtechnischen Maßstab durchgeführt. Anhand der praxisnah bestimmten Daten werden Stoff- und Energiebilanzen erstellt, die letztendlich als Grundlage für die Verfahrensentwicklung und -bewertung herangezogen werden sollen.

## Ergebnisse:

Nach dem Projekt liegen die notwendigen Informationen für die Bewertung von neuartigen Verfahrenskonzepten zur energetischen Verwertung von Weintrester vor. Das beinhaltet die Kenntnis von technischen Grundlagen (Haltbarkeit, Entwässerbarkeit, Lagerungs- und Verbrennungseigenschaften der Trester), sowie von wirtschaftlichen Grundlagen (Anlagenkosten, Nebenprodukte, nutzbare Energie). Für einen österreichischen Weinerzeuger soll unter Berücksichtigung der Projektergebnisse und der regionalen Rahmenbedingungen ein geeignetes Verwertungskonzept vorgeschlagen werden. Dadurch soll die Praxistauglichkeit überprüft werden. Bei Erfolg könnten allein in Österreich jährlich rund **335 Mio. kg CO<sub>2</sub> eingespart** werden. Die Ersparnis ergibt sich aus der Einsparung von fossilen Energieträgern und der Vermeidung von Methanemissionen, die bei anaerober Ablagerung der Trester entstehen.

## Abstract

### Starting position:

For residues from the wine industry exist some utilisation possibilities, but the most of them are not marketable and not satisfying with regard of climate protection. In Austria the so-called grape marc (~121.000 t/a) is normally composted and afterwards carried back to the vineyards, whereat under local anaerobic conditions climate-relevant methane can be generated. The accumulated grape marc must be brought back and mixed with the ground floor during vintage or deposited and thoroughly composted in the near of the vineyard. Especially for bigger wine producing estates respectively for cooperative societies this traditional agricultural utilisation is labour- and cost-intensive.

The project is part of the higher-ranking **Eureka-project Σ!3935 „utilization of marc for energy generation“**, in which partners from Croatia and Germany investigate pelleting of grape marc (together with further agricultural residues) and the generation of biogas.

In the applied project, additionally different possibilities for the energetical utilisation of grape marc will be examined. Precisely, different possibilities for pre-treatment of grape marc (mechanical dewatering) and the incineration will be investigated. Principal objective is the transfer of an already successful implemented concept, which was developed for residues of breweries.

### Project-activities:

At the beginning, representative samples of grape marc are chosen and specified. Beside the determination of incineration-related properties (e.g.: ignition temperature, ash and water content, calorific value) storage and durability tests are carried out. Within dewatering experiments, different presses are tested for the grape marc. Afterwards incineration tests are conducted with variably conditioned (mechanical dewatered/pelleted) grape marc in laboratory scale as well as in pilot scale. On the basis of this practical data mass- and energy-balances, different utilisation concepts should be developed.

### Results:

After the project, the fundamentals for the evaluation of new energetical utilisation concepts are available. This includes the acknowledgement of technical (durability, dewatering, storage- and incineration-properties of grape marc) as well as economical basics (investment costs, by-products, energy production). For an Austrian vine producer an appropriate utilisation concept is suggested taking the project results and regional surrounding conditions into consideration. Hence the road capability of different energetical grape marc utilisation concepts can be verified. In case of success in Austria could be **335 Mio. kg CO<sub>2</sub> yearly avoided**. Savings result from a lower demand of fossil fuels and avoidance of methane emissions generated during fouling of grape marc.

## 1 Einleitung

Für Rückstände aus der Weinerzeugung, so genannte Weintrester, existieren zwar bereits einige Verwertungsmöglichkeiten, jedoch treten insbesondere bei größeren Weinerzeugungsbetrieben noch immer Entsorgungsprobleme auf. Eine energetische Nutzung der Weintrester hat sich trotz des hohen Heizwertes der Trockensubstanz bislang in der Praxis nicht durchgesetzt.

Ziel des Projektes war es daher die Grundlagen für mögliche energetische Verwertungskonzepte am Beispiel der Winzer Krems zu erarbeiten und technisch sowie wirtschaftlich zu bewerten. Folgende Verwertungsansätze erschienen geeignet:

1. Verbrennung von mechanisch entwässertem Trester
2. Tresterpelletierung
3. Erzeugung von Biogas

Zu Beginn wurden repräsentative Tresterproben ausgewählt und spezifiziert. Neben der Bestimmung von verbrennungstechnisch relevanten Eigenschaften (z.B.: Zündtemperatur, Aschegehalt, Wassergehalt, Heizwert) wurden zur Beurteilung des Lagerungsverhaltens Scherzellenversuche und Untersuchungen zur Haltbarkeit durchgeführt. Im Rahmen von Pressversuchen wurde die mechanische Entwässerbarkeit der Weintrester mit unterschiedlichen Pressapparaten bestimmt. Anschließend wurden Verbrennungsversuche mit unterschiedlich aufbereitetem Traubentrester (mechanisch entwässert/pelletiert) im Labormaßstab sowie im großtechnischen Maßstab durchgeführt. Anhand der praxisnah bestimmten Daten wurden Stoff- und Energiebilanzen erstellt, die letztendlich als Grundlage für die Verfahrensentwicklung und -bewertung herangezogen wurden.

Durch die energetische Nutzung bisher nicht genutzter Weintrester könnte in Zukunft ein neuer biogener Brennstoff zur Energieerzeugung zur Verfügung stehen. Angestrebt wird ein Zero-waste-Konzept, bei dem anfallende Reststoffe wie Presswasser, Gärrückstand oder Asche einer Verwertung zugeführt werden. Im Rahmen des Projektes wurde daher auch die Verwertbarkeit der anfallenden Reststoffe untersucht.

## 2 Inhaltliche Darstellung

### 2.1 Charakterisierung des Weintresters

Die Zusammensetzung und die Eigenschaften von Weintrester werden hauptsächlich von der Art der Traubenaufbereitung und weniger von der Traubensorte beeinflusst. Aus diesem Grund wurden für die Untersuchungen zwei unterschiedlich aufbereitete Traubensorten ausgewählt, die folgend kurz beschrieben werden.

#### 2.1.1 Trestersorten

##### Grüner Veltliner (GV):



Abbildung 2-1: GV-Trester

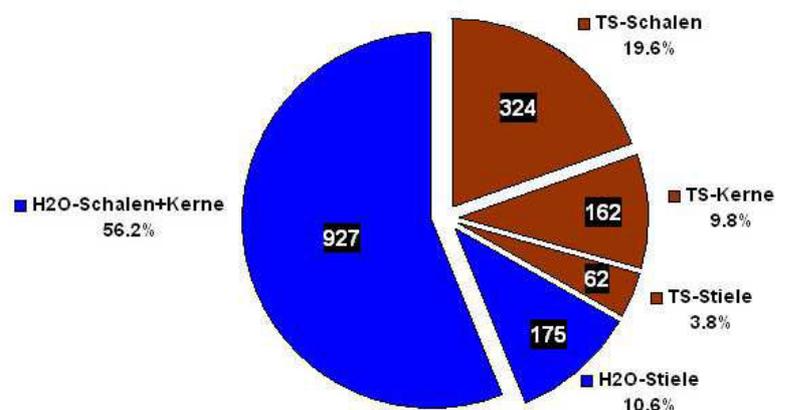


Abbildung 2-2: GV-Tresterbestandteile

Der Grüne Veltliner ist mit 65% die wichtigste Traubensorte der Winzer Krems. Die Mostgewinnung erfolgt durch schonende Ganztraubenpressung bei niedrigem Druck kleiner 2 bar in einer pneumatischen Membranpresse. Der Trester besteht daher aus den Kämmen, Traubenschalen und -kernen. Der TS-Gehalt liegt zwischen 27,6 und 38,0%, der Mittelwert bei 33,2% (Weinlese 2007/2008/2009). Der TS-Gehalt wird vom Stielanteil in der Probe beeinflusst, da die Stiele im Vergleich zu den restlichen Tresterbestandteilen deutlich mehr Wasser enthalten (26,1% TS-Gehalt). Im trockenen GV-Trester wurde ein Kernanteil von 29,6% (vgl. 29% bzw. 30% für Weißweintrester in [1,S46-47]), ein Stielanteil von 11,3% und ein Schalenanteil von 59,1% festgestellt. Die Zusammensetzung des Tresters beeinflusst den Heizwert. Die Bestimmung der Heizwerte der Bestandteile von Riesling-Trester hat folgendes ergeben:

Tabelle 2-1: Heizwerte der Tresterbestandteile (Riesling)

Kerne	Häute	Stiele
21433 kJ/kg TS	15340 kJ/kg TS	16185 kJ/kg TS

Der Heizwert des GV-Tresters beträgt durchschnittlich 18855 kJ/kg TS (vgl. Tabelle 2-2).

## Blauer Zweigelt (BZ):



Abbildung 2-3: BZ-Trester

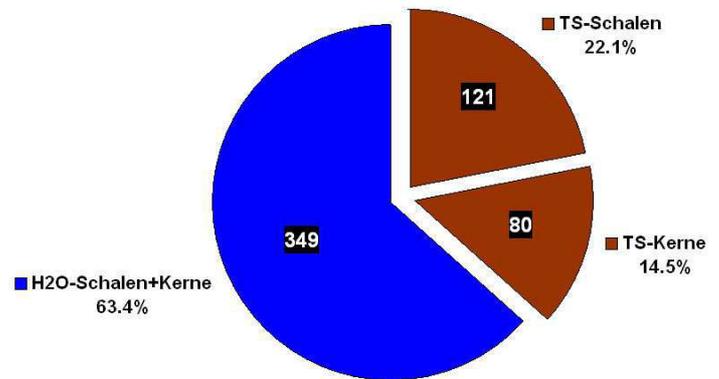


Abbildung 2-4: BZ-Tresterbestandteile

Der Blaue Zweigelt ist die wichtigste Rotweinsorte der Winzer Krems. Im Gegensatz zur Weißweinherstellung werden beim Rotwein zuerst die Rappen abgetrennt. Die Trennung von festen und flüssigen Bestandteilen erfolgt beim Rotwein nach der Maischegärung ebenfalls in einer pneumatischen Membranpresse. BZ-Trester besteht daher nur aus den Traubenschalen und -kernen. Der TS-Gehalt von BZ-Trester liegt zwischen 33,6 und 40,9%, der Mittelwert bei 36,6% (Weinlese 2007/2008/2009). Der Kernanteil im getrockneten BZ-Trester ist mit 39,7% (vgl. 41,2% in [1, S. 47]) wegen der Unterschiede bei der Traubenverarbeitung im Vergleich zum GV-Trester deutlich höher. Dadurch erhöht sich auch der Heizwert auf durchschnittlich 20693 kJ/kg TS (vgl. Tabelle 2-2).

### 2.1.2 Frischer Trester

#### Tresteranalyse:

Mit 47 bis 54% (vgl. Tabelle 2-2) hat Weintrester einen mit Holz/Biertreber vergleichbaren hohen C-Gehalt. Die höchsten Kohlenstoffgehalte wurden bei kernreichen Trestersorten gemessen (Ölanteil). Der Kohlenstoff ist die wichtigste Komponente für die Energiefreisetzung. Daneben liefert auch der Wasserstoffanteil, der ebenfalls vergleichbar mit den gewählten Referenzbrennstoffen ist, Energie bei der Oxidation. Bei den unterschiedlichen Trestersorten konnten im Vergleich zu üblichen Biomasse-Brennstoffen hohe Heizwerte bis ca. 21000 kJ/kg TS festgestellt werden. Da der Heizwert jedoch weniger von der Art der Biomasse und wesentlich stärker vom Wassergehalt beeinflusst wird, wird in Abbildung 2-5 die Abhängigkeit vom Wassergehalt dargestellt. Zusätzlich wurde die mögliche Verringerung des WG-Gehaltes durch mechanische Entwässerung und die dadurch erzielbare Heizwerterhöhung dargestellt, und der Heizwertbereich von Tresterpellets mit einem durchschnittlichen Wassergehalt von 10% gekennzeichnet.

Tabelle 2-2: Analysenergebnisse der frischen Tresterproben

Herkunft	Trestersorte	Probenzustand	Probenbez.	TS <sub>OS</sub> [%]	WG <sub>OS</sub> [%]	C <sub>TS</sub> [%]	H <sub>TS</sub> [%]	N <sub>TS</sub> [%]	S <sub>TS</sub> [%]	A <sub>TS</sub> [%]	hu <sub>TS</sub> [kJ/kg]	hu <sub>OS</sub> [kJ/kg]	ho <sub>TS</sub> [kJ/kg]	ho <sub>OS</sub> [kJ/kg]
Öbf	Referenzbrennstoff Holz/Rinde	frisch	Ho-Öbf-12/09	61,6	38,4	50,0	5,92	0,08	0,04	1,3	18911		20221	
ZE	Referenzbrennstoff Biertreber					49,0	7,5	3,5	0,2	3,5	18500- 20000			
WK	Grüner Veltliner (weiß)	frisch	GV-WK-09/07	35.5	64.5	50.86	5.78	1.73	0.11	3.7	18948	5146	20222	7179
WK	Grüner Veltliner (weiß)	frisch	GV-WK-10/08	32.1	67.9	49.83	5.97	2.28	0.16	5.0	18584	4302	19900	6387.9
WK	Grüner Veltliner (weiß)	getrocknet (frisch)	GV-WK-10/09	98.7 (33.2)	1.29 (66,8)	47.54	5.8	1.54	0.16	5.9	19033	18755	20311	20049
WK	Blauer Zweigelt (rot)	frisch	BZ-WK-09/07	40.9	59.1	54.16	6.25	2.37	0.15	4.3	21021	7150	22399	9161.2
WK	Blauer Zweigelt (rot)	frisch	BZ-WK-10/08	33.6	66.4	53.08	6.30	2.51	0.17	3.8	20314	5199	21703	7292.2
WK	Blauer Zweigelt (rot)	getrocknet (frisch)	BZ-WK-10/09	99.2 (35.3)	0.82 (64.7)	51.54	5.78	1.8	0.13	4.8	20743	20553	22017	21837
D	Riesling (weiß)	getrocknet	Ri-RLP-10/07	100	0.0	47.5	6,0	1.5	0.14	5.2	18192	18192	19430	19430
D	Kerner (weiß)	getrocknet	Ke-RLP-10/07	100	0.0	49.2	6.1	1.8	0.15	5.3	18966	18966	20211	20211
D	Merlot (rot)	getrocknet	Me-RLP-10/07	100	0.0	49.5	6.4	2,0	0.17	2.7	19513	19513	20820	20820
			<b>Min</b>	<b>32,1</b>	<b>59,1</b>	<b>47,5</b>	<b>5,8</b>	<b>1,5</b>	<b>0,11</b>	<b>2,7</b>	<b>18192</b>		<b>19430</b>	
			<b>Max</b>	<b>40,9</b>	<b>67,9</b>	<b>54,2</b>	<b>6,4</b>	<b>2,5</b>	<b>0,17</b>	<b>5,9</b>	<b>21021</b>		<b>22399</b>	
			<b>Mittelwert</b>	<b>35,1</b>	<b>64,9</b>	<b>50,4</b>	<b>6,0</b>	<b>1,9</b>	<b>0,15</b>	<b>4,5</b>	<b>19479</b>		<b>20779</b>	

Öbf...Österreichische Bundesforste; ZE...Ziemann Energy; WK... Winzer Kremis; D...Deutschland; TS...Trockensubstanz; WG...Wassergehalt; OS...Originalsubstanz

Min-, Max-, Mittelwerte beziehen sich auf Tresterproben (TS<sub>OS</sub> und WG<sub>OS</sub> nur auf frische Proben)

Die rot gekennzeichneten Werte wurden mit Hilfe der Elementaranalyse und dem vom untersuchenden Labor angegebenen Heizwert bzw. Brennwert berechnet

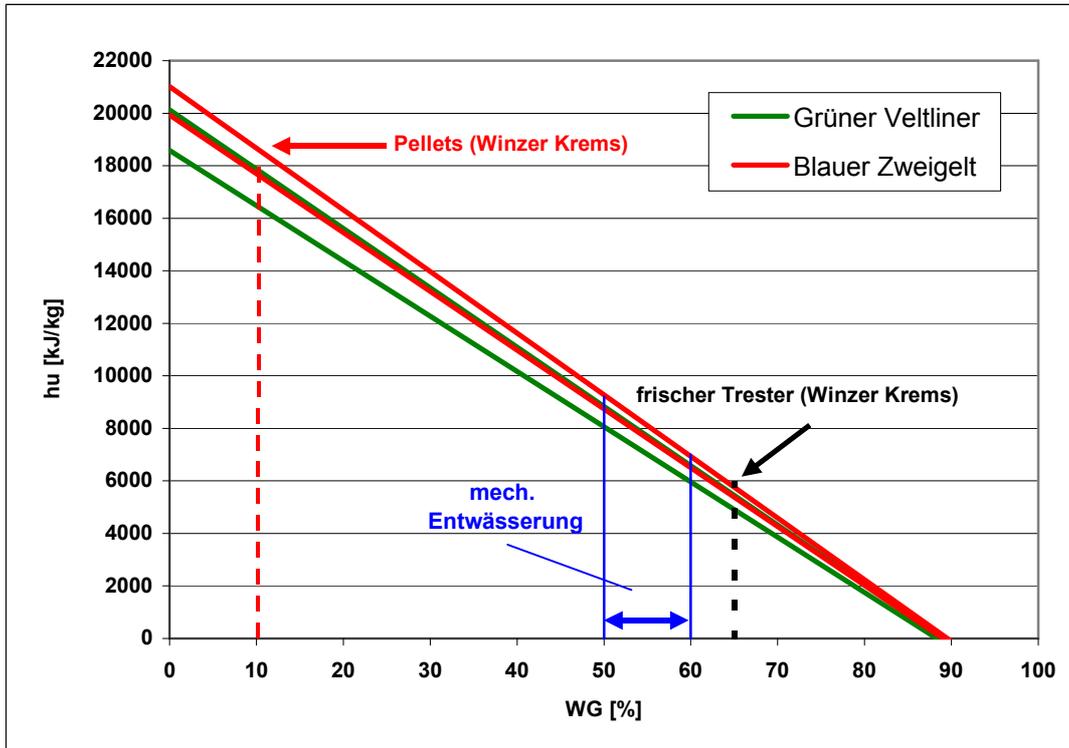


Abbildung 2-5: Heizwert in Abhängigkeit vom Wassergehalt

Neben dem Wassergehalt beeinflusst auch der Aschegehalt den Heizwert. Der Aschegehalt liegt mit durchschnittlich 4,5% deutlich über dem Aschegehalt von Holzbrennstoffen (üblicherweise <1%). Deutlich höher ist auch der Stickstoff- und der Schwefelgehalt des Tresters, weshalb schlechtere Abgaswerte im Vergleich zu Holz zu erwarten sind. Biertreber enthält mit dem Trester vergleichbare Stickstoff- und Schwefelanteile.

Der hohe Stickstoffgehalt kann hauptsächlich auf das Eiweiß im Treber bzw. Trester zurückgeführt werden (15-18% N-Gehalt in Proteinen [2, S. 44]). Biertreber enthalten beispielsweise 273 g/kg TS [3, S. 35] Rohproteine, für Nebenprodukte der Weinerzeugung wird in [4] ein Rohproteingehalt von 44,8-203 g/kg angegeben und für frischen Trester beispielsweise 71-130 g/kg [5, S. 5-9].

Der im Vergleich zu Holz (0,02-0,05% [6, S. 343]) erhöhte Schwefelanteil kann durch schwefelhaltige Bestandteile der Trauben wie Aminosäuren (Cystein, Methionin), Vitamine (Biotin, Thiamin) sowie Eiweiß erklärt werden. Neben den natürlichen Traubenbestandteilen ist eine Erhöhung bei Verwendung von schwefelhaltigen Pflanzenschutzmitteln und Düngemitteln (Bittersalz, schwefelsaures Kali) denkbar. Außerdem werden die Trauben üblicherweise noch vor der Traubenverarbeitung zur Traubenkonservierung (Hemmung von Oxidationsenzymen, wilden Hefen und Bakterien) mit z.B. schwefeliger Säure geschwefelt, wodurch der Schwefelgehalt des Tresters ebenfalls erhöht wird.

Der durchschnittliche Gehalt an flüchtigen Bestandteilen im Trester ist mit 71,8% relativ niedrig (vgl. Öbf Holz 81,4%). Dies bedeutet im Hinblick auf die Gestaltung einer Verbrennungsanlage beispielsweise, dass der Feuerraum kleiner dimensioniert bzw. die Sekundärluftmenge reduziert werden könnte.

## 2.1.3 Tresterpellets

Im Rahmen des Projektes wurden Tresterpellets von sieben verschiedenen Traubensorten hergestellt und untersucht. Im Falle der beiden Trestersorten der Winzer Krems wurde der frische Trester zunächst zur Lagerung in luftdichten Big Bags siliert. Vor der Pelletierung mit einer Flachmatrizenpresse wurde der Trester mit einem Kondenstrocknungssystem getrocknet und anschließend mit einer Hammermühle auf eine Korngröße kleiner 3 mm zerkleinert.

Die restlichen Sorten wurden in einer Trockenkammer getrocknet und anschließend ebenfalls mittels Hammermühle zerkleinert. Vor der Pelletierung in einer Ringmatrizenpresse wurde 5% Glycerin als Bindemittel zugegeben.

In den Pellets wurde ein durchschnittlicher TS-Gehalt von 92,5% festgestellt, wobei die kroatischen Pellets etwas trockener waren. Die Elementaranalyse zeigt erwartungsgemäß eine ähnliche Zusammensetzung wie der frische Trester. Der Schwefelanteil in den kroatischen Pellets ist jedoch etwa doppelt so hoch (vgl. Tabelle 2-3). Dies ist vermutlich auf einen vermehrten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zurück zu führen.

Die Abriebsbestimmung (ÖNORM M7135, Ligno Tester) der Tresterpellets hat im Falle der Sorten Grüner Veltliner und Blauer Zweigelt ein schlechtes Resultat ergeben. Bei den GV-Pellets wurde im Mittel ein Abrieb von 12,4% und bei BZ-Pellets von 30,2% festgestellt. Der höhere Abrieb bei den BZ-Pellets kann durch das Fehlen der Stiele erklärt werden, da diese Lignin welches als Bindemittel wirkt, enthalten. Insgesamt sind jedoch beide Pelletsorten gemäß Norm als mangelhaft einzustufen (Grenzwert 2,3%). Jedenfalls zeigen die deutlich besseren Abriebswerte von 0,72 bis 2,37% bei den restlichen Tresterpellets, dass aus Weintrester auch qualitativ hochwertige Pellets hergestellt werden können. Die Ursache für die unterschiedlichen Ergebnisse konnte im Rahmen des Projektes nicht geklärt werden.

Tabelle 2-3: Analysenergebnisse der Tresterpellets

Herkunft	Trestersorte	Probenzustand	Probenbez.	TS <sub>OS</sub> [%]	WG <sub>OS</sub> [%]	C <sub>TS</sub> [%]	H <sub>TS</sub> [%]	N <sub>TS</sub> [%]	S <sub>TS</sub> [%]	A <sub>TS</sub> [%]	hu <sub>TS</sub> [kJ/kg]	hu <sub>OS</sub> [kJ/kg]	ho <sub>TS</sub> [kJ/kg]	ho <sub>OS</sub> [kJ/kg]
WK	Grüner Veltliner	Pellets	GV-WK-10/09	89.00	11.00	50.2	5.6	1.97	0.16	6.76	19532	17110	20755	18467
WK	Blauer Zweigelt	Pellets	BZ-WK-10/09	90.90	9.10	52.3	5.9	2.07	0.19	5.4	19935	17898	21236	19303
HR	Zlahtina weiß	Pellets	ZI-FAUZ-09/08	91.38	8.62	50.9	5.5	1.86	0.32	5.58	20684	18690	21886	19999
HR	Debit weiß	Pellets	De-FAUZ-09/08	92.11	7.89	50.0	5.6	1.44	0.23	4.26	20045	18270	21271	19593
HR	Shiraz rot	Pellets	Sh-FAUZ-09/08	91.52	8.48	51.9	5.4	2.26	0.38	5.03	22004	19930	23188	21221
HR	Grasevina	Pellets	Gr-FAUZ-09/08	91.36	8.64	50.4	5.1	1.68	0.25	4.8	19595	17690	20728	18937
HR	Portugizac rot	Pellets	Po-FAUZ-09/08	91.41	8.59	51.3	5.9	2.02	0.31	4.16	21256	19220	22546	20610
HR	Zlahtina weiß	Pellets	ZI-FAUZ-02/09	91.41	8.59	47.8	6.4	1.81	0.45	4.86	20609	18628	22013	20122
HR	Debit weiß	Pellets	De-FAUZ-02/09	95.33	4.67	48.4	6.6	2.28	0.31	4.67	20103	19050	21559	20552
HR	Shiraz rot (Syrah)	Pellets	Sh-FAUZ-02/09	95.82	4.18	50.6	6.9	2.14	0.28	4.18	20875	19900	22390	21454
HR	Grasevina	Pellets	Gr-FAUZ-02/09	95.31	4.69	47.8	6.4	1.84	0.47	4.69	19038	18030	20442	19484
HR	Portugizac rot	Pellets	Po-FAUZ-02/09	94.93	5.07	52.5	6.0	1.99	0.28	5.07	20683	19510	22012	20896
<b>Min</b>				<b>89.0</b>	<b>4.2</b>	<b>47.8</b>	<b>5.1</b>	<b>1.4</b>	<b>0.2</b>	<b>4.2</b>	<b>19038</b>		<b>20442</b>	
<b>Max</b>				<b>95.8</b>	<b>11.0</b>	<b>52.5</b>	<b>6.9</b>	<b>2.3</b>	<b>0.5</b>	<b>6.8</b>	<b>22004</b>		<b>23188</b>	
<b>Mittelwert</b>				<b>92.5</b>	<b>7.5</b>	<b>50.3</b>	<b>5.9</b>	<b>1.9</b>	<b>0.3</b>	<b>5.0</b>	<b>20363</b>		<b>21669</b>	
<b>Vergleichswerte:</b>														
RLP	Trester+10%Holz	Pellets		89.70	10.30	50.2	5.9	1.7	0.15	5.5	19400	17149	20701	18569
RLP	Riesling	Pellets	Ri-RLP-07/08	88.90	11.10	50.2	5.9	1.4	0.15	5.8	19572	17128	20772	18466
RLP	Trester	Pellets		87.10	12.90	53.6	6.43	1.89	0.12	3.47	20800	17801	22218	19352
HR	Kämme	Pellets	Kä-FAUZ-09/08	91.8	8.2	49.5	5.3	1.5	0.2	5.3	18886	17136	20043	18400
HR	Oliven	Pellets	OI-FAUZ-02/09	92.5	7.5	58.1	6.5	0.7	0.2	0.7	22325	20467	23750	21968

HR...Kroatien; RLP...RLP Agrosience GmbH; TS...Trockensubstanz; WG...Wassergehalt; OS...Originalsubstanz

C<sub>TS</sub>, H<sub>TS</sub>, N<sub>TS</sub>, S<sub>TS</sub> wurde bei den kroatischen Pellets vom getrockneten Trester vor der Pelletierung bestimmt

Die rot gekennzeichneten Werte wurden mit Hilfe der Elementaranalyse und dem vom untersuchenden Labor angegebenen Heizwert bzw. Brennwert berechnet

Im Zuge der Pelletanalyse wurden auch die Spurenelemente untersucht. Die Gehalte der Spurenelemente in den Sorten der Winzer Krems sind gemäß Tabelle 2-4 mit den in der Literatur angegebenen Werten vergleichbar.

Die Chlorkonzentration im Weintrester ist niedrig und liegt im Bereich des Chlorgehaltes von Holzbrennstoffen (50-200 mg/kg TS [6, S. 344]). Die Bedeutung des Chlors bei der Verbrennung beruht auf dessen Beteiligung an der Bildung von HCl und Dioxinen/Furanen. Außerdem spielt Chlor vor allem bei der Korrosion an den Oberflächen der Wärmetauscherrohre eine Rolle. Um die Chlor-Korrosion weitgehend zu unterbinden, wird in [7, S. 86] ein maximaler Chlorgehalt des Biomasse-Brennstoffes von 1000 mg/kg TS angegeben. Demnach sind bei der Verbrennung von Weintrester keine Problem durch Korrosion zu erwarten.

Kalium trägt bei der Verbrennung durch die Bildung von gasförmigem KCl ebenfalls indirekt zur Korrosion bei. Außerdem wird der Ascheschmelzpunkt durch Kalium erniedrigt. Der Kaliumgehalt ist im Vergleich zu Holzbrennstoffen (üblicherweise <3500 mg/kg TS [6, S340] deutlich höher, weshalb auch der Erweichungspunkt niedriger ist als bei Holzbrennstoffen (siehe Kap. 2.7).

Die Erdalkalielelemente Calcium und Magnesium sind in mit Holz vergleichbaren Konzentrationen im Trester vorhanden. Der Phosphorgehalt ist höher im Vergleich zu Holz (300-1000 mg/kg TS [6, S. 343]).

Bei den Schwermetallen wurden mit Ausnahme von Kupfer niedrige Gehalte festgestellt. Der Kupfergehalt kann gegenüber anderen Biomassebrennstoffen (üblicherweise <10 mg/kg TS [6, S. 346]) im Trester durch Einsatz von Pflanzenschutzmitteln auf Kupferbasis erhöht sein.

Tabelle 2-4: Spurenelemente in Tresterpellets

Parameter	Einheit	GV-Pellets	BZ-Pellets	Tresterpellets <sup>1</sup>	Tresterpellets <sup>2</sup> [8]
Halogene, Chlor ges.	mg/kgTS	62	67	226	
Calcium	mg/kgTS	4700	4400	4740	1700-6900
Magnesium	mg/kgTS	1200	900	907	542-1150
Kalium	mg/kgTS	23000	15000	17500	5500-29600
Silicium	mg/kgTS	640	500	1300	
Natrium	mg/kgTS	43	25	55	
Phosphor	mg/kgTS	2700	2500		1900-3100
Arsen	mg/kg TS	< 0,8	< 0,8		
Cadmium	mg/kg TS	< 0,2	< 0,2		0,002-0,021
Chrom, ges.	mg/kg TS	< 1	< 1	<5	0,09-0,22
Nickel	mg/kg TS	< 1	< 1		0,18-0,67
Quecksilber	mg/kg TS	< 0,07	< 0,07		0,004-0,049
Blei	mg/kg TS	< 1	< 1		0,07-0,8
Kupfer	mg/kg TS	29	53	20	14-137
Zink	mg/kg TS	18	18	59	7,1-59

<sup>1</sup>...Tresterpellets mit 10% Holzanteil (Analyse RLP)

<sup>2</sup>... gerundete Werte bei Ca, Mg, K, P

## 2.2 Ergebnisse TGA-Analysen

Die thermogravimetrische Analyse wurde mit gemahlenem getrocknetem Trester bei einer Heizrate von 20°C/min unter Luftatmosphäre durchgeführt, wobei parallel das Abgas mittels FTIR und Massenspektrometer analysiert wurde. Zur Beschreibung des Zünd-/Verbrennungsverhaltens wurden zwei charakteristische Temperaturen festgelegt. Der Beginn des Gewichtsverlustes durch thermochemische Reaktionen setzt etwa bei 200°C ein. Der Wendepunkt, der dem Verbrennungshöhepunkt gleichzusetzen ist, lag bei ca. 300°C. Die Kohlendioxidfreisetzung konnte jedenfalls bereits bei 180°C (Zersetzungsbeginn) mit dem Massenspektrometer nachgewiesen werden.

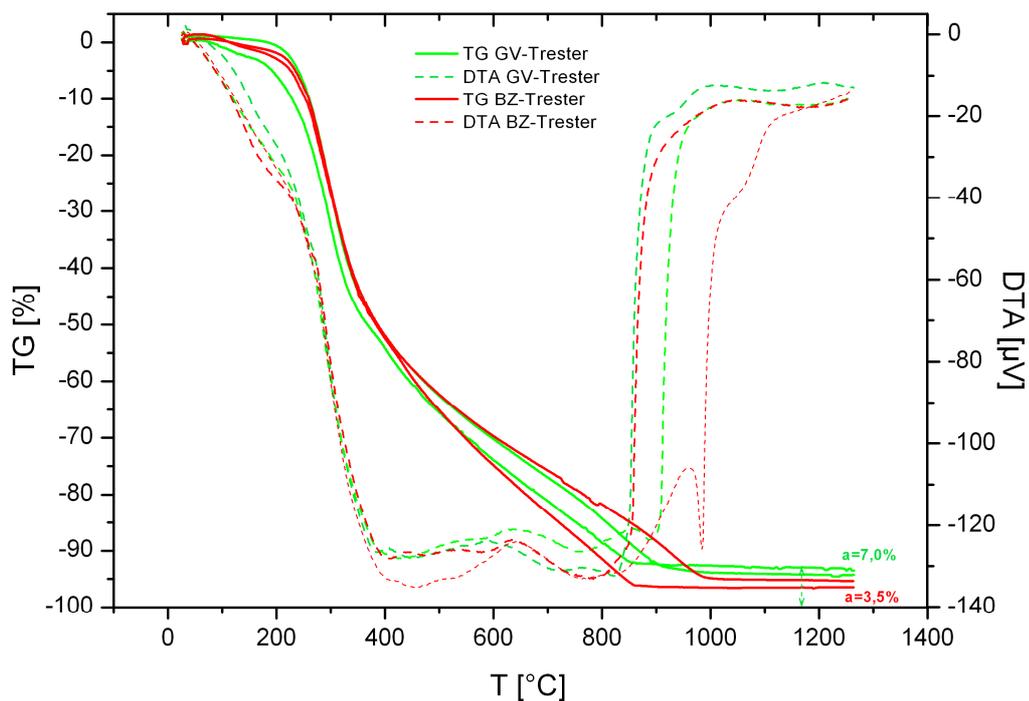


Abbildung 2-6: TG-/DTA von GV- und BZ-Trester

Gemäß Abbildung 2-7 ist ersichtlich, dass der bei etwa 200°C beginnende Gewichtsverlust hauptsächlich durch die Freisetzung von CO<sub>2</sub> und auch H<sub>2</sub>O, welches bei der Verbrennung des Wasserstoffs im Brennstoff gebildet wird, zu erklären ist. Da vor allem bei der Zündung zu wenig Sauerstoff für den Ausbrand der flüchtigen Bestandteile vorhanden ist, entsteht auch Kohlenmonoxid, Methanol und in weiterer Folge Methan. Auch die Bildung von Ammoniak konnte zeitgleich bei höheren CO-Werten nachgewiesen werden. Das Verhalten der Stickoxide konnte wegen der Überlagerung mit H<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub> nicht dargestellt werden. Es ist zu erwarten, dass die Stickoxidkonzentration durch Kohlenmonoxid und Ammoniak deutlich reduziert wurde.

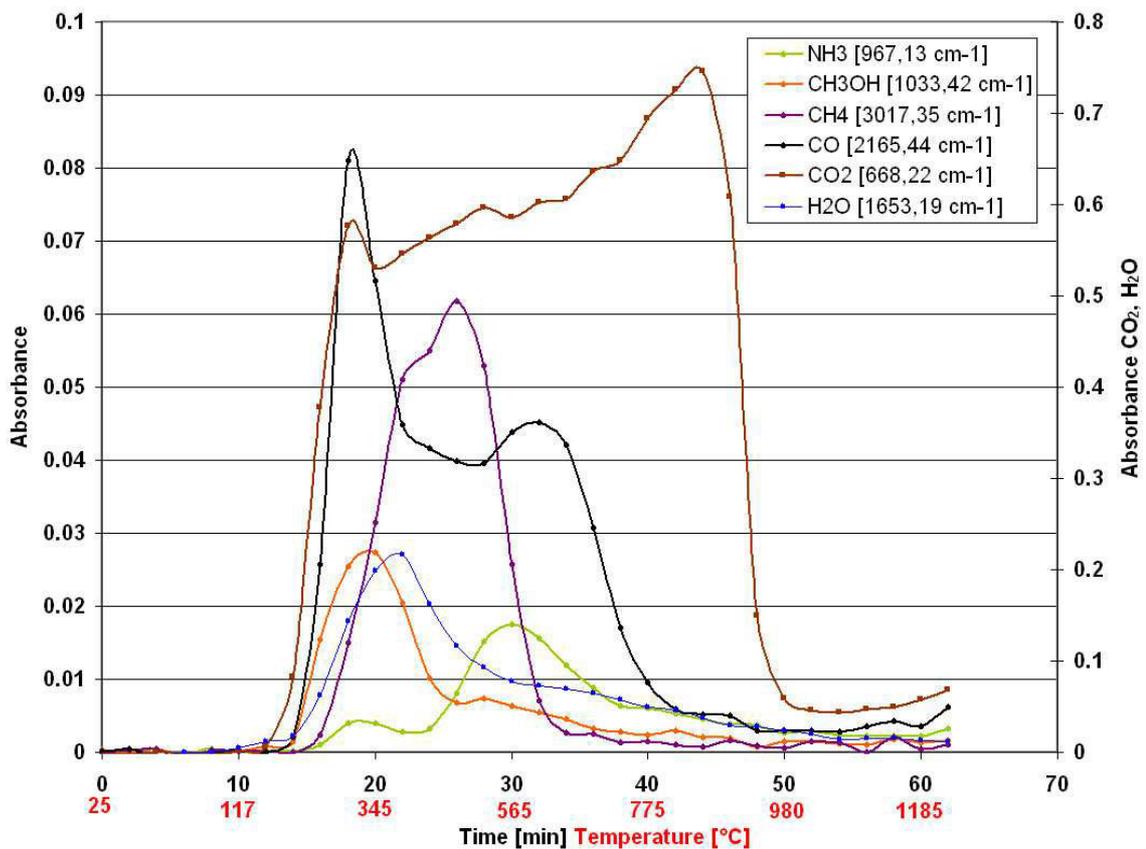


Abbildung 2-7: FTIR-Abgasanalyse (GV-Trester)

## 2.3 Ergebnisse der Lagerungsversuche

Trester wurden versuchsweise im Fahrsilo, im Folienschlauch, in Fässern und in Pressballen gelagert. Während der Lagerung wurden regelmäßig Proben entnommen und bestimmte Parameter (Feuchte, organische Trockensubstanz, Glühverlust) analysiert. Unter Luftabschluss wurde eine geringe Zunahme der Trockensubstanz (30% TS -> 35%TS) festgestellt. Ein Abbau der organischen Trockensubstanz hat nicht stattgefunden. Die Versuche haben ergeben, dass alle getesteten Lagerungsmethoden prinzipiell geeignet sind, solange Luftabschluss garantiert werden kann. Für die Konservierung der Probenmengen für die großtechnischen Entwässerungs- und Verbrennungsversuche stellte sich die Lagerung in luftdichten Big Bags als praktikable Lagerungsmöglichkeit heraus. Eine freie Lagerung der frischen Trester führt unter anderem wegen des hohen Wassergehaltes zur sofortigen Verpilzung des Tresters und ist daher ungeeignet. Bei thermischer Trocknung des Materiales auf >82% TS wäre auch eine freie Lagerung möglich.

Die Fließigenschaften von BZ-Tresterproben wurden mit einem Ringschergerät bestimmt. Gemäß Abbildung 2-8 sind keine Probleme mit trockenem Trester bzw. Tresterpellets bei der Entnahme aus Silos zu erwarten, da diese Materialien sehr rieselfähig sind. Auch die feuchte BZ-Silage ist gemäß Diagramm als leicht fließend einzustufen. Allerdings müsste bei der feuchten Probe auch die Langzeitfestigkeit untersucht werden, da sich bei den großtechnischen Versuchen gezeigt hat, dass die Festigkeit des Materiales mit längerer Lagerungsdauer stark zunimmt. Aus Sicht der Fließigenschaften ist demnach eine Trocknung bzw. Pelletierung sinnvoll.

Die Fließeigenschaften von GV-Trester konnten wegen der für die Ringscherzelle zu großen Stiele nicht untersucht werden. Bei den großtechnischen Verbrennungsversuchen hat sich gezeigt, dass das Förderverhalten von GV-Trester wesentlich problematischer ist.

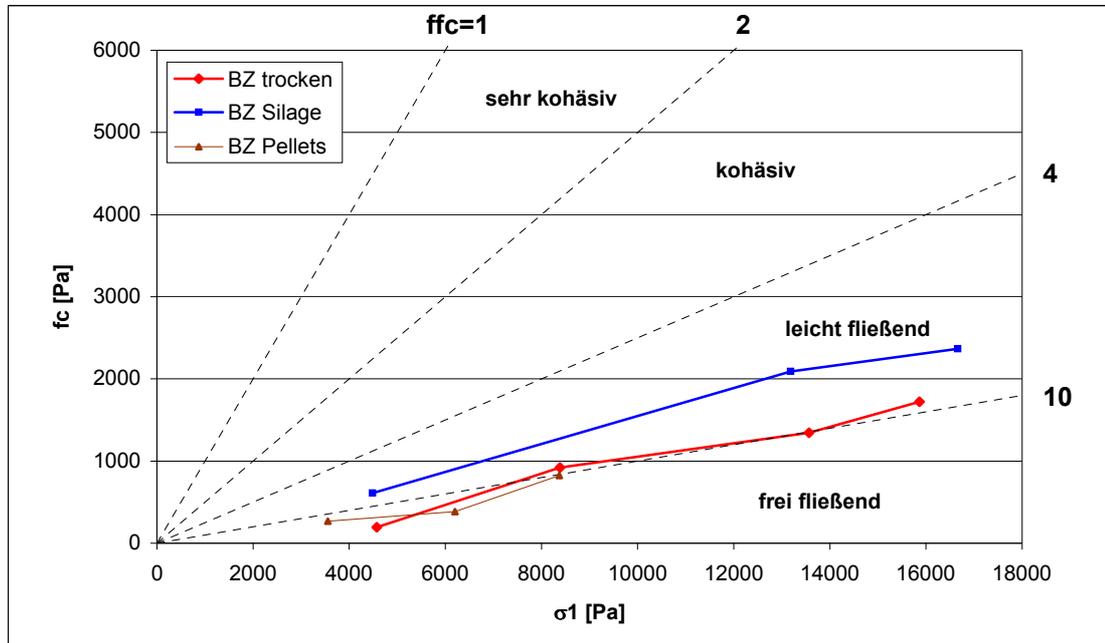


Abbildung 2-8: Fließfunktionen BZ-Trester

## 2.4 Ergebnisse der Entwässerungsversuche

### 2.4.1 Stempelpresse

Zunächst wurde das Entwässerungsverhalten von unterschiedlich aufbereiteten Tresterproben mit einer Stempelpresse (vgl. Abbildung 2-10) untersucht. Bei jedem Versuch wurden 4 Lagen mit Trester gepresst. Die Ergebnisse sind zusammengefasst in Abbildung 2-9 dargestellt.

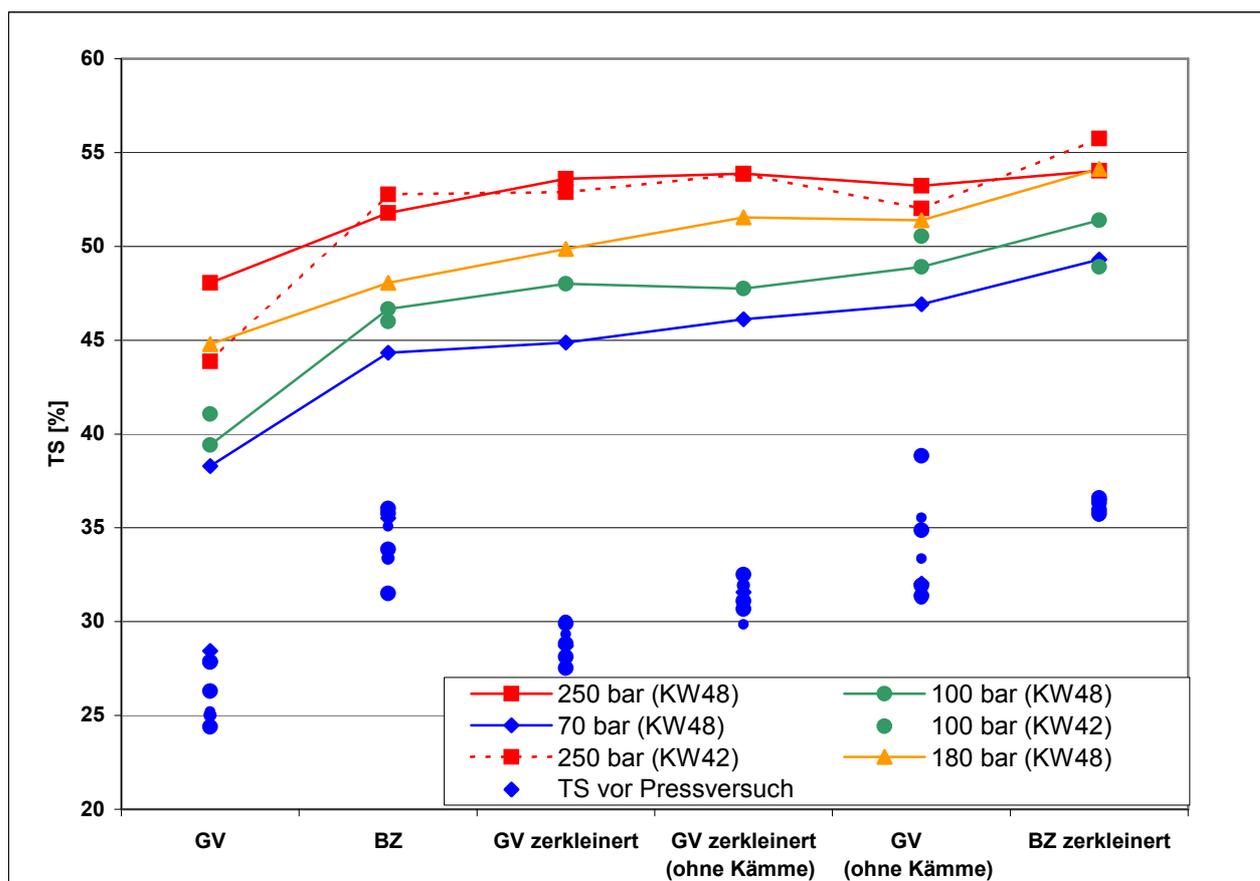


Abbildung 2-9: Ergebnisse der Entwässerungsversuche mittels Stempelpresse

Mit der Stempelpresse konnten in Abhängigkeit vom Pressdruck Trockensubstanzgehalte bis etwa 55% erreicht werden. Es ist erkennbar, dass unbehandelter Trester am schlechtesten zu entwässern ist, wobei GV-Trester wegen des Stielanteiles schlechter abschneidet als BZ-Trester. Das in den Stielen gebundene Wasser lässt sich erwartungsgemäß kaum durch mechanische Entwässerung abtrennen. Die Abtrennung der Kämme bewirkt daher beim GV-Trester eine Verbesserung des erreichbaren TS-Gehaltes, ebenso wie die Zerkleinerung. Auch beim BZ-Trester kann durch die Zerkleinerung eine eindeutige Verbesserung der Entwässerungseigenschaften festgestellt werden.

Die Ergebnisse wurden im größeren Maßstab mit einer gängigen Obstpresse (vgl. Abbildung 2-11) bei einem Pressdruck von 300 bar überprüft. Trotz des höheren Pressdruckes wurden geringere TS-Gehalte erreicht. Dies ist durch die dickeren Tresterlagen, durch welche das Presswasser schlechter abgeleitet werden kann, erklärbar. Auch bei diesen Versuchen zeigte sich, dass die Entwässerbarkeit von BZ-Trester besser ist. Der Entwässerungsgrad in Tabelle 2-5 gibt an, welcher Anteil des ursprünglich vorhandenen Wassers abgetrennt werden konnte.

Tabelle 2-5: Ergebnisse der Entwässerungsversuche mittels Obstpresse

	TS [%] Silage	TS [%] gepresst	η [%]
<b>Versuch 1 (Grüner Veltliner)</b>	35,0	42,5	27,1
<b>Versuch 2 (Grüner Veltliner)</b>	36,4	44,6	28,9
<b>Versuch 3 (Grüner Veltliner)</b>	36,9	42,3	20,2
<b>Versuch 4 (Blauer Zweigelt)</b>	32,1	47,1	46,9



Abbildung 2-10: Stempelpresse



Abbildung 2-11: Obstpresse (Fa. Voran)

## 2.4.2 Schneckenpresse

Tabelle 2-6 zeigt, dass mittels kontinuierlich arbeitender Schneckenpresse prinzipiell hohe TS-Gehalte bis zu 55% und gute Entwässerungsgrade erreichbar sind. Die Entwässerungsleistung hängt jedoch stark von der Größe der Schneckenpresse und dem einstellbaren Maximaldruck ab. Die Versuche mit der Wottle Feldpresse mussten abgebrochen werden, da die Presse während des Versuches beschädigt wurde. Die TS-Gehalte des gepressten Tresters konnten wegen der kurzen Versuchsdauer nicht gemittelt werden. Bei diesem Versuch wurden lediglich Proben aus unterschiedlichen Zonen des Presstockes entnommen.

Tabelle 2-6: Zusammenfassung der Schneckenpressversuche

Presse	Trestersorte	TS [%]		$\eta$ [%]
		ungepresst	gepresst	
Wottle Feldpresse	Grüner Veltliner	34.1	42.2 - 49.1	28.7-46.0
Wottle Enopress 250	Blauer Zweigelt	35.3	38.9	14.3
Wottle Enopress 250	Grüner Veltliner	33.2	36.5	13.5
Diemme Lugo ODM325	Grüner Veltliner	29.7	41.2	39.7
Diemme Lugo ODM326	Blauer Zweigelt	34.4	41.4	25.8
COQ s.a.r.l.	Spätburgunder	41.5	52.8	36.6
COQ s.a.r.l.	Merlot	47.8	53.3	19.8
COQ s.a.r.l.	Chardonnay	33.6	48.4	46.1
COQ s.a.r.l.	Riesling	37.2	50.0	40.8
COQ s.a.r.l.	Kerner	44.4	54.9	34.4

## 2.4.3 Presswasseranalyse

Während der Entwässerungsversuche mit der Wottle Enopress 250 wurde parallel eine Presswasseranalyse durchgeführt.

Tabelle 2-7: Presswasseranalyse

	Presswasser		Most [9, S. 36]
	BZ	GV	
<b>Feststoffanteil [%]</b>	14	17	
<b>Alkoholgehalt [vol%]</b>	10,5	0	0
<b>Zuckergehalt [g/l]</b>	1	155	120-250
<b>Säuregehalt [g/l]</b>	4	5	6-15
<b>pH-Wert</b>	3,8	3,7	

Außerdem wurde das Presswasser eingedampft und der Rückstand anschließend mittels RFA auf anorganische Bestandteile untersucht. Die Hauptelemente der anorganischen Inhaltsstoffe (~20%) sind gemäß Tabelle 2-8 Kalium und Phosphor. Der Rückstand beträgt durchschnittlich 20% der ursprünglichen Presswassermenge.

Tabelle 2-8: Ergebnis der RFA-Analyse

Element	Blauer Zweigelt [%]	Grüner Veltliner [%]
K	9,0	11,1
P	2,3	1,1
Ca	1,7	1,0
Mg	1,1	0,4
S	0,5	0,2
Si	0,08	0,02
Cl	0,13	0,08
Fe	0,04	0,01
Mn	0,03	0,02
Zn	0,02	0,01

Durch den Alkohol- bzw. Zuckergehalt ist das Presswasser prinzipiell für die Ethanolherzeugung geeignet. Raffinerien haben bereits Interesse bekundet, dass Presswasser für die Ethanolherstellung nutzen zu wollen. Alternativ wäre das Presswasser auch für die Essigsäureherstellung oder zur Biogasherstellung geeignet.

## 2.5 Ergebnisse der Trocknungsversuche

### 2.5.1 Kondentrocknungssystem (Umluftbetrieb)

Dieser Trockner basiert auf dem Prinzip der Kondensationstrocknung und kann daher laut Angabe des Herstellers (RTS Trocknungstechnik GmbH) bis zu einer Ansauglufttemperatur von 3°C betrieben werden. Die Abkühlung und die damit verbundene Entfeuchtung bzw. die anschließende Erwärmung der Luft erfolgt an einer Wärmepumpe. Für die Trocknung wird nur elektrische Energie für den Betrieb des Gebläses und die Wärmepumpe benötigt. Der Trockner zeichnet sich durch einen niedrigen Energiebedarf aus (vgl. Tabelle 2-9). Nachteilig sind die diskontinuierliche Betriebsweise, die lange Trocknungsdauer bzw. der Umstand, dass das zu trocknende Gut manuell umgeschichtet werden muss, um ein gleichmäßiges Trocknungsergebnis zu erhalten.

Tabelle 2-9: Ergebnisse Kondenstrockner RTS-C40

Nr.	Sorte Aufbereitung	Input	TS <sub>IN</sub>	Output	TS <sub>OUT</sub>	Dauer	Verluste	Wasser <sub>verd.</sub>	Strom- verbrauch	spezif. Verbrauch
		[kg]	[%]	[kg]	[%]					
1	GV gepresst, zerkl.	1010	32.8	402	87.6	41.3	-24.2	608	275.9	454
2	BZ gepresst, zerkl.	530	36.6	238	81.4	19.5	0.6	291.4	139.9	480
3	BZ gepresst, zerkl.	500	37.9	285	60.0	10.1	31.2	183.8	74.6	406
4	GV gepresst, zerkl.	606	36.0	343	51.3	11.4	82.7	180.3	81.3	451
5	BZ gepresst, zerkl.	560	38.0	238	82.0	16.0	21.4	300.6	137.4	457
6	GV gepresst, zerkl.	320	35.0	187	57.1	6.1	9.2	123.8	49.8	402
7	BZ gepresst, zerkl.	480	36.9	295	55.5	8.0	23.6	161.4	69.5	431

## 2.5.2 Wälzbettrockner

Der Wälzbettrockner (Allgaier Process technology GmbH) wird im Gegensatz zum Kondensationstrockner thermisch beheizt.

Tabelle 2-10: Ergebnis Wälzbettrockner

Sorte	Input	TS <sub>IN</sub>	Output	TS <sub>OUT</sub>	Dauer	Verluste	Wasser <sub>verd.</sub>	Wärme- verbrauch	spezif. Verbrauch
	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[h]	[kg]	[kg]	[kWh]	[kWh/t H <sub>2</sub> O]
	400	41.4	147	88.8	1.3	39.5	213.5	265.75	1245

## 2.5.3 Weitere Trockner

Außerdem wurden noch folgende Trockner getestet:

Trocknungstechnik	Menge	TS <sub>OUT</sub>
<b>Laborbandtrockner</b> mit indirekter Warmlufterzeugung mittels Propangas (Bandbreite: 30cm; Leistung:40-60 kg/h) Firma: Stela Laxhuber GmbH, 84320 Massing	1000 kg	84,4%
<b>Versuchsbandtrockner</b> Typ VBT 3/2 mit elektrischer Warmlufterzeugung (Bandbreite: 30cm; Leistung:40-60 kg/h) Firma: EL-A Verfahrenstechnik GmbH, 69123 Heidelberg	3000 kg	83,7%
<b>Röhrenbündeltrockner</b> Firma: Pondorff Maschinenfabrik GmbH, 34123 Kassel	4500 kg	83,0%
<b>Kontaktrockner-Schlamm-trocknungsanlage</b> Firma: Süd-Müll GmbH, 67258 Hessheim	1200 kg	65,9%

Der spezifische Energiebedarf wurde für den Laborbandtrockner mit 2650 kWh pro Tonne entzogenem Wasser bestimmt.

## 2.6 Verbrennungsversuche

### 2.6.1 Ergebnisse der Verbrennungsrechnung

In den folgenden Tabellen werden die Ergebnisse der Verbrennungsrechnung für Trester, Tresterpellets, Tresterbestandteile (Kerne, Stiele, Beerenhaut) sowie Holz zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 2-11: Ergebnisse Verbrennungsrechnung Trester (frisch/trocken/pelletiert)

	Sorte Jahr Probe	Grüner Veltliner 2007/09 frisch	Grüner Veltliner 2007/09 trocken	Blauer Zweigelt 2007/09 frisch	Blauer Zweigelt 2007/09 trocken	Zlah/Deb/Gras (HR) 2008/09 pelletiert	Syr/Port (HR) 2008/09 pelletiert	Holz Öbf Ebensee frisch	Holz Öbf Ebensee trocken
Brennstoff	hu <sub>OS</sub> [kJ/kg]	4623	18855	6020	20693	18392	19640	10708	18911
	TS [%]	33.2	100	36.6	100	92.82	92.92	61.6	100
	WG [%]	66.8	0	63.4	0	7.18	7.08	38.4	0
	A [%]	1.63	4.9	1.57	4.3	4.46	4.18	0.8	1.3
	C [%]	16.4	49.4	19.37	52.93	45.69	47.64	30.8	50.0
	H [%]	1.94	5.85	2.24	6.11	5.5	5.64	3.63	5.92
	N [%]	0.61	1.85	0.82	2.23	1.69	1.99	0.05	0.08
	S [%]	0.046	0.14	0.055	0.15	0.316	0.297	0.025	0.04
	O (Rest) [%]	12.57	37.85	12.55	34.28	35.17	33.17	26.29	42.68
<b>Summe:</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	
Verbrennungs- luft (λ=1)	O <sub>2</sub> -Bedarf [Nm <sup>3</sup> /h]	0.33	0.99	0.40	1.09	0.92	0.97	0.59	0.96
	N <sub>2</sub> (Luft) [Nm <sup>3</sup> /h]	1.23	3.71	1.50	4.10	3.45	3.66	2.23	3.63
	Luftbedarf [Nm <sup>3</sup> /h]	1.56	4.69	1.90	5.19	4.36	4.64	2.83	4.59
	Luftbedarf [kg/h]	2.01	6.06	2.46	6.71	5.64	6.00	3.66	5.94
Abgas		[Nm <sup>3</sup> /kg] [%]	[Nm <sup>3</sup> /kg] [%]	[Nm <sup>3</sup> /kg] [%]	[Nm <sup>3</sup> /kg] [%]	[Nm <sup>3</sup> /kg] [%]	[Nm <sup>3</sup> /kg] [%]	[Nm <sup>3</sup> /kg] [%]	[Nm <sup>3</sup> /kg] [%]
	CO <sub>2</sub>	0.30 11.7	0.92 17.3	0.36 12.4	0.98 17.0	0.85 16.9	0.88 16.7	0.57 15.5	0.93 17.8
	H <sub>2</sub> O	1.05 40.5	0.66 12.4	1.04 35.8	0.68 11.8	0.71 14.1	0.72 13.6	0.88 24.0	0.66 12.7
	SO <sub>2</sub>	0.0003 0.01	0.001 0.02	0.000 0.01	0.001 0.02	0.002 0.04	0.002 0.04	0.000 0.01	0.000 0.01
	N <sub>2</sub>	1.23 47.7	3.72 70.3	1.51 51.9	4.12 71.2	3.46 69.0	3.68 69.6	2.23 60.5	3.63 69.5
<b>Summe:</b>	<b>2.59 100</b>	<b>5.29 100</b>	<b>2.91 100</b>	<b>5.78 100</b>	<b>5.01 100</b>	<b>5.28 100</b>	<b>3.69 100</b>	<b>5.21 100</b>	
Tad [°C]	(bei λ=1)	1068	2078	1232	2094	2130	2162	1697	2113
	(λ=1.9 ~10%O <sub>2</sub> )	768	1291	861	1293	1333	1346	1118	1315

HR...Kroatien; Zlah...Zlahtina; Deb...Debit; Syr...Syrah; Port...Portugizac

**Tabelle 2-12:** Ergebnisse Verbrennungsrechnung (Tresterbestandteile)

	Sorte	Riesling Kerne		Riesling Häute		Riesling Rappen	
Brennstoff	hu <sub>OS</sub> [kJ/kg]	21433		15340		16185	
	TS [%]	100		100		100	
	WG [%]	0		0		0	
	A [%]	3.0		8.6		8.2	
	C [%]	54.4		44.7		44.0	
	H [%]	6.5		6.0		5.6	
	N [%]	1.6		1.5		1.1	
	S [%]	0.12		0.14		0.09	
	O (Rest) [%]	34.4		39.1		41.0	
	<b>Summe:</b>	<b>100</b>		<b>100</b>		<b>100</b>	
Verbrennungs- luft (λ=1)	O <sub>2</sub> -Bedarf [Nm <sup>3</sup> /h]	1.14		0.90		0.85	
	N <sub>2</sub> (Luft) [Nm <sup>3</sup> /h]	4.28		3.37		3.19	
	Luftbedarf [Nm <sup>3</sup> /h]	5.42		4.27		4.03	
	Luftbedarf [kg/h]	7.01		5.52		5.22	
Abgas		<b>Nm<sup>3</sup>/kg</b>	<b>[%]</b>	<b>Nm<sup>3</sup>/kg</b>	<b>[%]</b>	<b>Nm<sup>3</sup>/kg</b>	<b>[%]</b>
	CO <sub>2</sub>	1.01	16.7	0.83	17.0	0.82	17.6
	H <sub>2</sub> O	0.73	12.1	0.67	13.7	0.63	13.5
	SO <sub>2</sub>	0.001	0.01	0.001	0.02	0.001	0.01
	N <sub>2</sub>	4.29	71.2	3.39	69.3	3.20	68.9
	<b>Summe:</b>	<b>6.03</b>	<b>100</b>	<b>4.89</b>	<b>100</b>	<b>4.64</b>	<b>100</b>
	Tad [°C] (bei λ=1)	2085		1841		2021	
	Tad [°C] (λ=1.9 ~10%O <sub>2</sub> )	1286		1154		1269	

Der Mindestluftbedarf ist indirekt vom Heizwert abhängig. Für die Berechnungsergebnisse ergibt sich gemäß Abbildung 2-12 ein linearer Zusammenhang. Bei der Berechnung der Abgaszusammensetzung wurde von vollkommener und vollständiger Verbrennung ausgegangen. Weiter wurde angenommen, dass der Stickstoff vollständig zu N<sub>2</sub> und Schwefel zu SO<sub>2</sub> umgesetzt wird. Demnach kann bei stöchiometrischer Verbrennung eine SO<sub>2</sub>-Konzentration von maximal 400 ppm auftreten (kroatische Pellets). Da davon ausgegangen werden kann, dass der Großteil des Schwefels in die Asche eingebunden wird, sind niedrige SO<sub>2</sub>-Konzentrationen unter realistischen Verbrennungsbedingungen zu erwarten.

Die adiabate Verbrennungstemperatur gibt die maximal mögliche Temperatur im Feuerraum an. Je nach Verlusten im jeweiligen Feuerraum wird sich eine niedrigere Feuerraumtemperatur einstellen (pyrometrischer Wirkungsgrad). Die adiabate Verbrennungstemperatur sinkt auch mit steigendem Luftüberschuss, da die Menge an zu erwärmenden Ballastgasen (vor allem N<sub>2</sub>) zunimmt. Mit Hilfe der adiabaten Verbrennungstemperatur können Brennstoffe verglichen werden. Außerdem kann abgeschätzt werden, ob eine autarke Verbrennung möglich ist. Für die eigenständige Verbrennung sollte die adiabatische Verbrennungstemperatur über 800°C sein [10,S. 83]. Daraus folgt, dass die autarke Verbrennung von frischem Trester erst nach weitergehender mechanischer Entwässerung möglich ist.

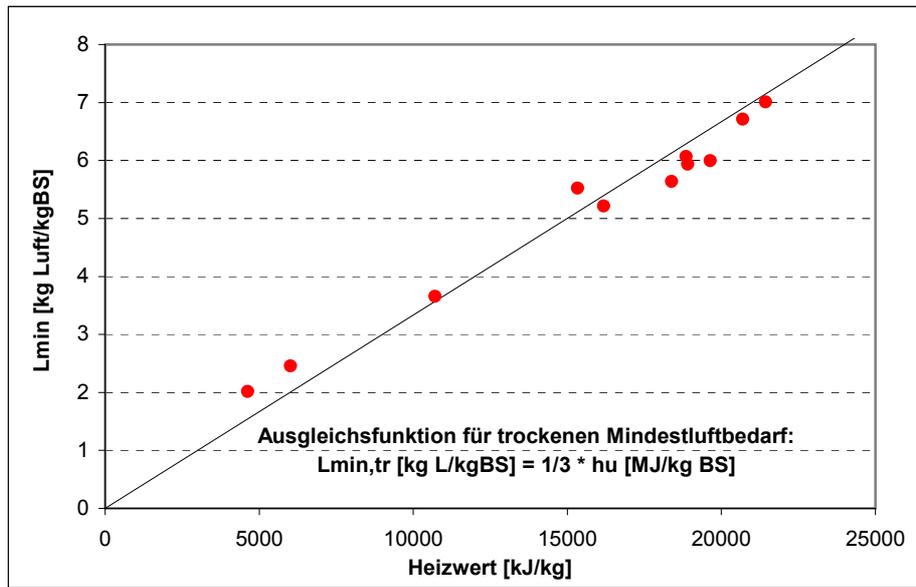


Abbildung 2-12: trockener Mindestluftbedarf in Abhängigkeit vom Heizwert [10,S81]

## 2.6.2 Versuche im Drehrohrofen

Im Drehrohrofen wurden bei 1000°C (elektrische Begleitheizung) insgesamt 10 Proben verbrannt. Im Verbrennungsabgas wurde O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und TOC gemessen. Bei keinem der Versuche konnte SO<sub>2</sub> im Abgas nachgewiesen werden. Nachteilig war, dass nur eine geringe Probenmenge aufgegeben werden konnte. Bereits eine Probenmenge von wenigen Gramm führte zu einem Absinken des Sauerstoffgehaltes im Drehrohrofen unter 3 Vol%. Zeitgleich wurden TOC-, CO- und CH<sub>4</sub>-Spitzen gemessen, welche auf den Sauerstoffmangel im Ofen zurückgeführt werden konnten (vgl. Abbildung 2-13).

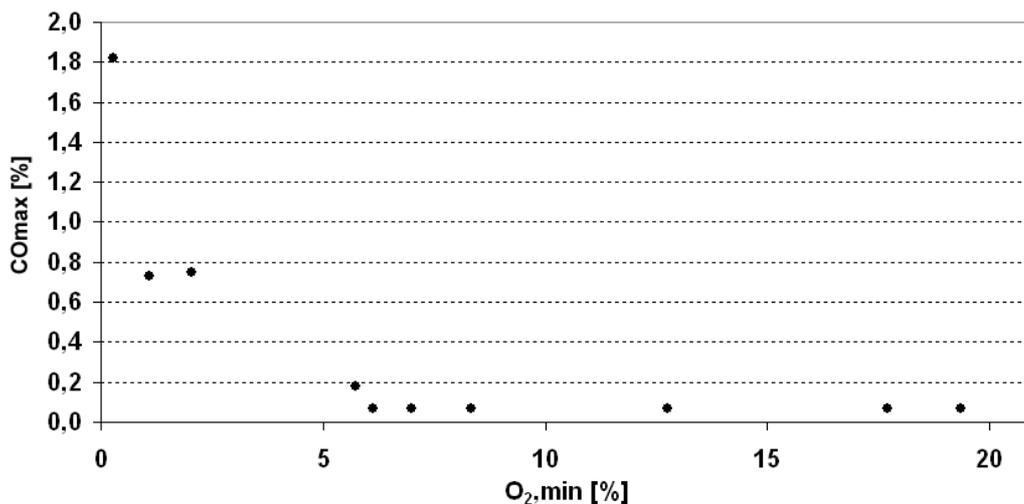


Abbildung 2-13: Abhängigkeit der maximalen CO-Konzentration vom Restsauerstoffgehalt

Wegen der Nachteile hinsichtlich der schlechten Brennstoff-Luft-Vermischung im Drehrohrofen wurde im Rahmen des Projektes ein rostähnliches Verbrennungsaggregat geplant und umgesetzt.

## 2.6.3 Versuche im Verbrennungsrohr

Die Anlage besteht aus einem vertikalen zylindrischen Rohr, in das von unten ein Lochboden eingeführt werden kann. Die Proben wurden von oben in das Rohr gefüllt. Die Luftzufuhr erfolgte primärseitig von unten über den Lochboden bzw. sekundärseitig über eine höhenverstellbare Luftleitung. Das Rohr wurde von außen elektrisch beheizt ( $\sim 800^{\circ}\text{C}$ ). Gemessen wurde die Abgaszusammensetzung ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) sowie die Temperatur an zwei definierten Punkten im Verbrennungsraum (vgl. Abbildung 2-14, Abbildung 2-15).

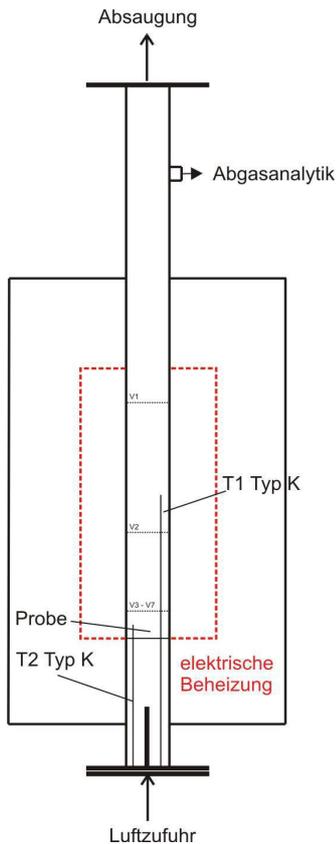


Abbildung 2-14: Verbrennungsrohr

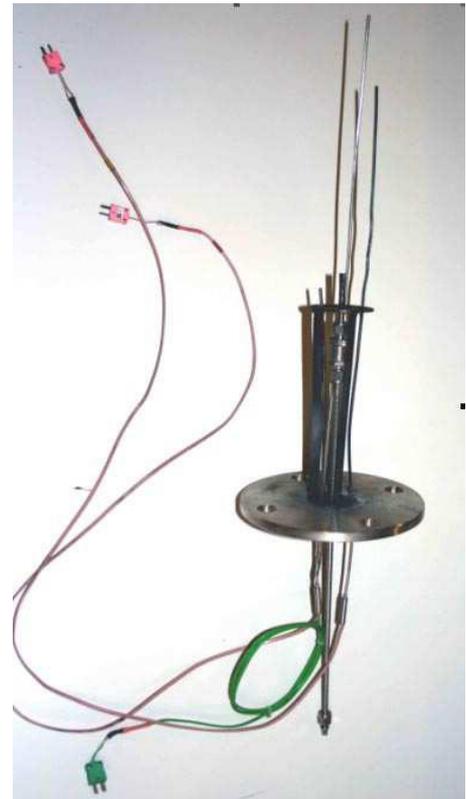


Abbildung 2-15: Lochboden, Thermoelemente, Verbrennungsluftzufuhr

Im Verbrennungsrohr konnte gezeigt werden, dass die Verbrennung von Trester hinsichtlich der Kohlenmonoxid- und auch Stickoxidwerte problematisch ist. Die  $\text{CO}$ -Konzentration bei der Verbrennung von frischem Trester war im Vergleich zu getrocknetem Trester wesentlich niedriger, weil das Wasser im frischen Trester die Verbrennung verzögerte und damit mehr Sauerstoff für die Verbrennung zur Verfügung stand (konstante Verbrennungsluftzufuhr). Außerdem kann die Anwesenheit von Wasser gemäß Literaturangaben [6, S. 412] einen positiven Effekt auf den  $\text{CO}$ -Abbau haben.

Die  $\text{SO}_2$ -Messung wurde wegen der Querempfindlichkeit zu Methan bzw. einigen Kohlenwasserstoffen, deren Auftreten bei hohen  $\text{CO}$ -Werten zu erwarten ist, beeinflusst und war daher nur bei niedrigen Kohlenmonoxidwerten brauchbar. Bei niedrigen  $\text{CO}$ -Werten konnte jedenfalls keine Erhöhung der Schwefeldioxidkonzentration festgestellt werden.

Für die Erstellung der C/N/S-Bilanz wurden je Trestersorte 23 Proben verbrannt.

Tabelle 2-13: verwendete Proben

Trestersorte	Probenzustand	Probenbez.	TS <sub>OS</sub> [%]	Probemenge [g]
Blauer Zweigelt	frisch	BZ-WK-10/09	40.1	50.2
Grüner Veltliner	frisch	GV-WK-10/09	35.2	50.4

In Abbildung 2-16 ist das Ergebnis eines Verbrennungsversuches dargestellt. Erkennbar sind die hohen CO-Werte und die reduzierende Wirkung auf die Stickoxidkonzentration. Anhand der Abgas-, Brennstoff- und Ascheanalyse wurde die Bilanz erstellt.

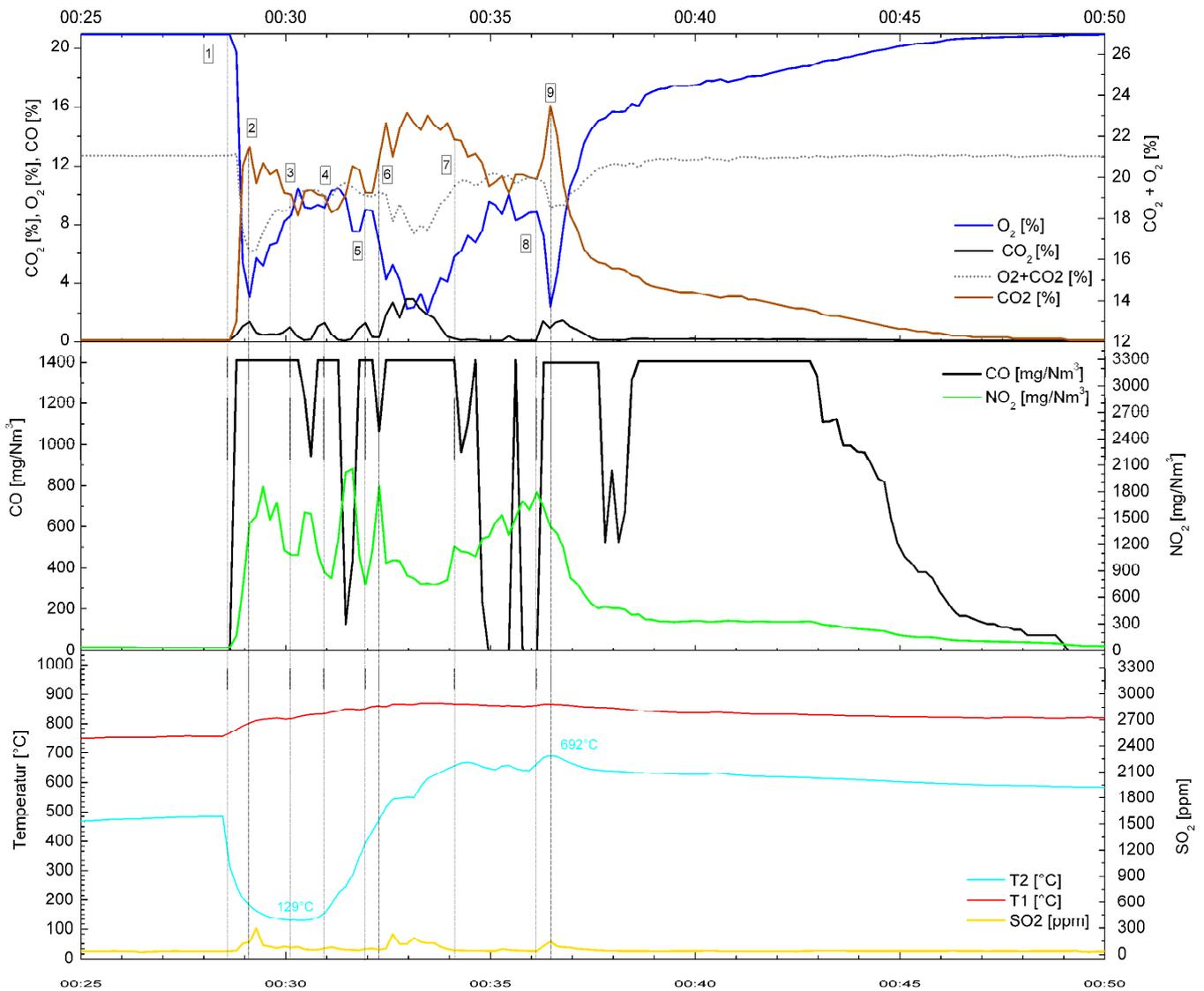


Abbildung 2-16: Verbrennungsversuch V9.1 BZ (12.11.2009)

Die gemittelten Bilanzergebnisse sind in Tabelle 2-14 und Tabelle 2-16 zusammengefasst dargestellt. Der Kohlenstoff verbrannte hauptsächlich zu Kohlendioxid. Da jedoch auch im Verbrennungsrohr hinsichtlich CO-Abbau ungünstige Verhältnisse vorgeherrscht haben und der Trester im Vergleich zu Holz zu unvollkommener Verbrennung neigt, wurde ein erheblicher Kohlenmonoxidanteil berechnet. Weniger als 1% des ursprünglichen Brennstoffkohlenstoffes

verbleibt in der Asche. Die Differenz von 10% bzw. 15% ist durch nicht gemessene kohlenstoffhaltige Verbindungen erklärbar (Methan, KWST).

Auch Stickstoff wurde nur zu einem geringen Anteil (<0,5%) in die Asche eingebunden. Je nach Trestersorte wurden 11% bzw. 15% des im Brennstoff enthaltenen Stickstoffes zu Stickstoffmonoxid verbrannt. Der größte Anteil (Differenz) wurde reduziert bzw. zu nicht gemessenen gasförmigen Verbindungen umgesetzt (z.B. N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O).

Schwefel wurde etwa zur Hälfte in die Asche eingebunden. Der restliche Anteil (Differenz) muss daher das Verbrennungsrohr gasförmig vermutlich in Form von SO<sub>2</sub> oder H<sub>2</sub>S verlassen haben.

Die Spurenelemente K, Ca, P, Mg, Si, Cu und Zn wurden größtenteils in die Asche eingebunden.

Tabelle 2-14: Bilanz BZ-Trester

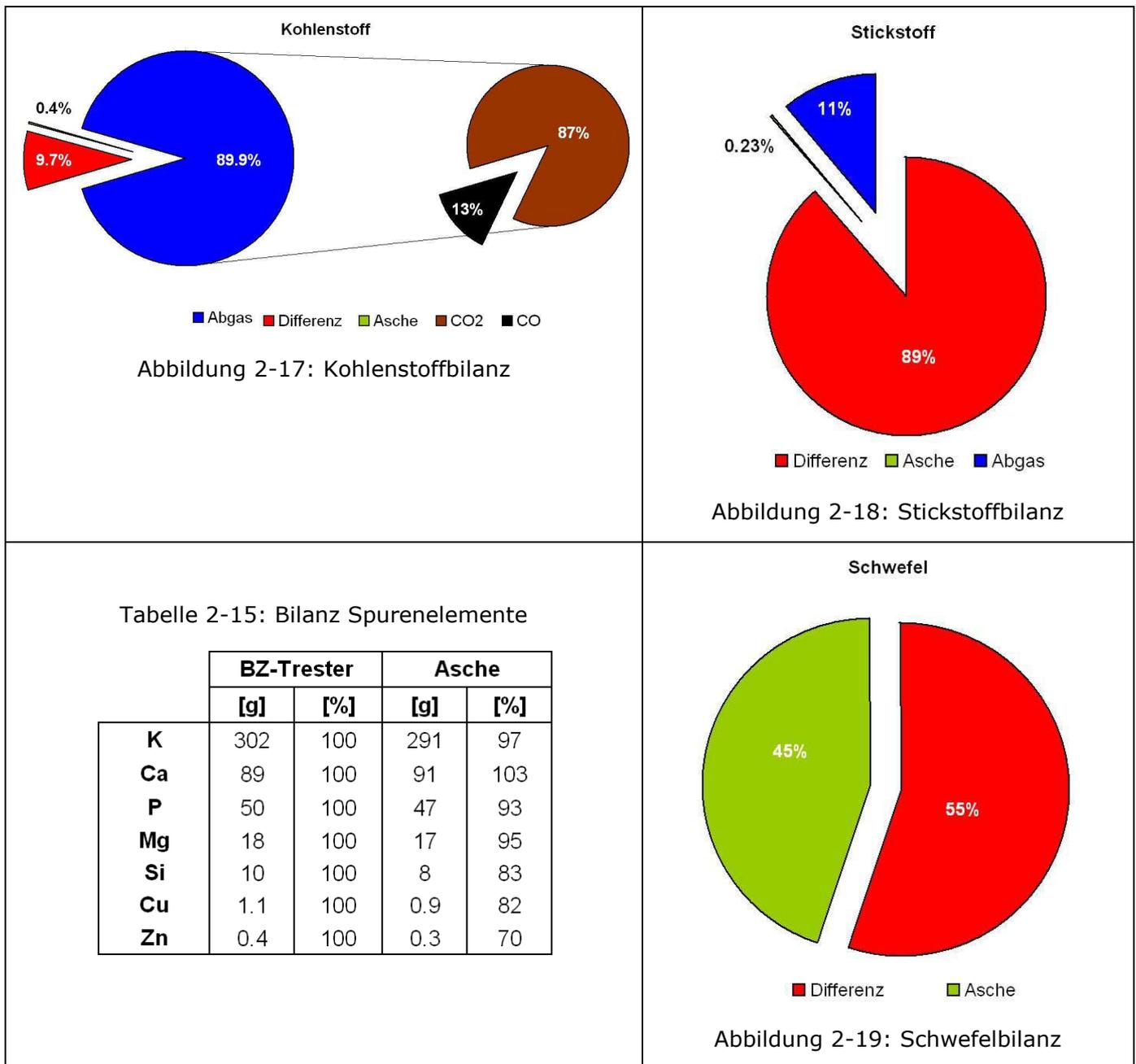
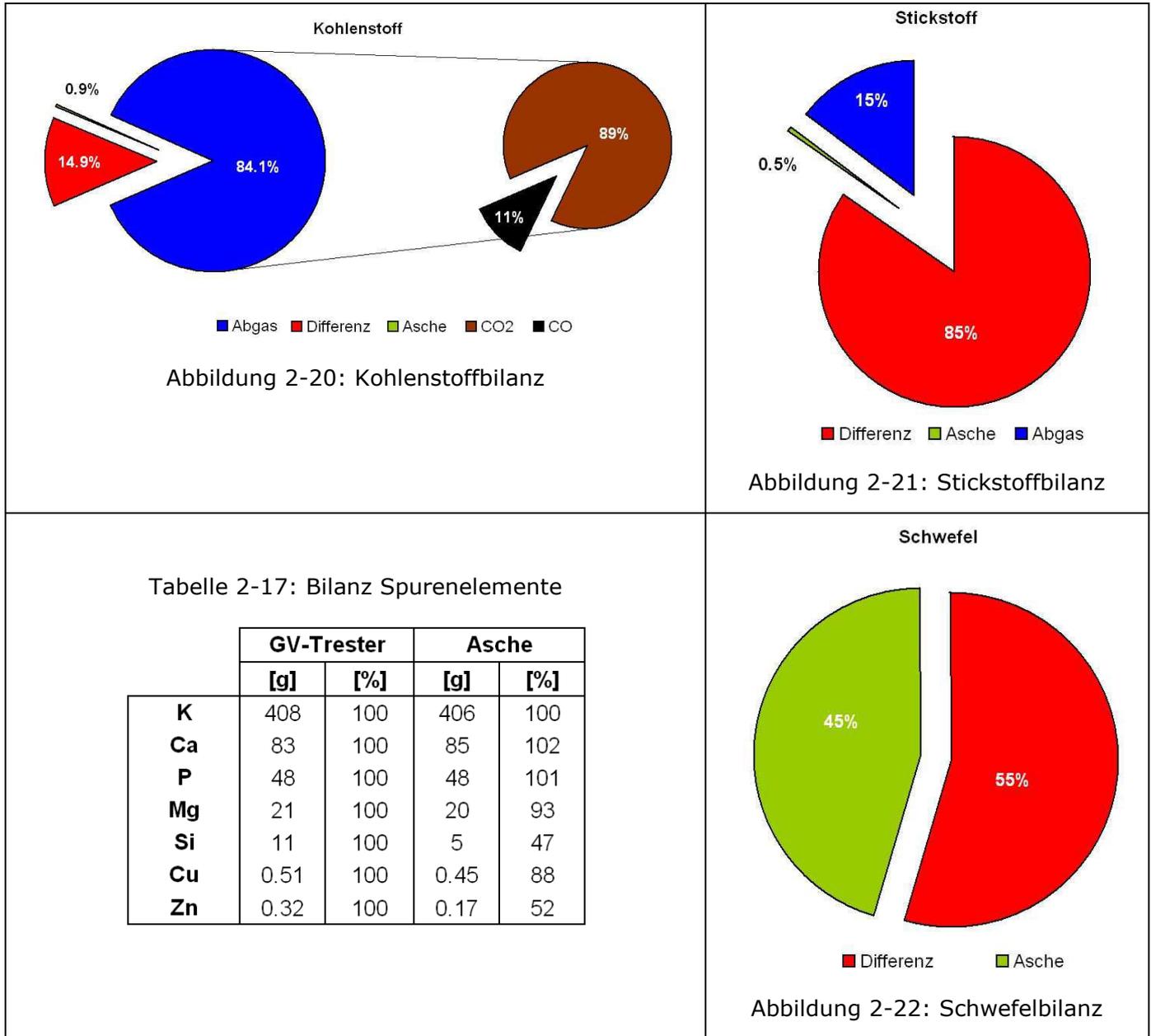


Tabelle 2-16: Bilanz GV-Trester



## 2.6.4 Versuche in einer Rostfeuerungsanlage

Trester wurde in siliertem und pelletierter Form in einer 400 kW Rostfeuerungsanlage (Öbf Ebensee), die normalerweise mit Holz und Rinde befeuert wird, an insgesamt 3 Versuchstagen verbrannt.

Aus den Versuchen kann abgeleitet werden, dass die alleinige Verfeuerung von siliertem Trester bei einem TS-Gehalt von 40% bei Teillastbetrieb nicht möglich ist. Obwohl die Verbrennung von Holz mit 40% TS in dieser Anlage möglich ist, konnte die Feuerraumtemperatur mit Trester nicht aufrecht erhalten werden.

Mit einer Mischung von Holz und GV-Trester im Verhältnis 2,8:1 konnte die Feuerraumtemperatur zwar gehalten werden, jedoch haben sich die Abgaswerte im Vergleich zum Holz verschlechtert. Der NO<sub>x</sub>- (250 mg/Nm<sup>3</sup>, 13% O<sub>2</sub>-Bezug) und der CO-Grenzwert (250 mg/Nm<sup>3</sup>, 13% O<sub>2</sub>-Bezug) der Anlage wurde mit durchschnittlich 280 mg NO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup> bzw. 3800 mg CO/Nm<sup>3</sup> überschritten.

Bei den Tresterpellets ergaben sich Probleme durch den hohen Energieeintrag, der bedingt durch den relativ geringen Energiebedarf zur Zeit der Versuche zu einem zeitweisen Abschalten der Ventilatoren geführt hat. Die Betriebsweise der Ventilatoren sowie der Chargierungszeitpunkt hatten maßgeblichen Einfluss auf die Abgaswerte. Auch bei den Pellets konnte daher der CO- und NOx-Grenzwert nicht eingehalten werden.

Unter Berücksichtigung der nicht auf Trester optimierten Anlagenregelung, kann davon ausgegangen werden, dass die Rostfeuerungsanlage zwar prinzipiell für die Verfeuerung von Trester geeignet ist, jedoch muss berücksichtigt werden, dass zur Einhaltung der abgasseitigen Grenzwerte noch erheblicher Optimierungsbedarf besteht.

## 2.6.5 Versuche in einer Wirbelschichtfeuerungsanlage

Die Versuche in der 400 kW Wirbelschichtanlage (Kleinheubach/Deutschland) haben gezeigt, dass BZ-Trester mit einem TS-Gehalt von 53,3% und GV-Trester mit einem durchschnittlichen TS-Gehalt von 55% autark verbrannt werden kann. Im Vergleich zu Biertreber, der normalerweise in der Wirbelschichtanlage verbrannt wird, waren die Abgaswerte beim Weintrester (Heizwert und elementarer Zusammensetzung sehr ähnlich) deutlich schlechter.

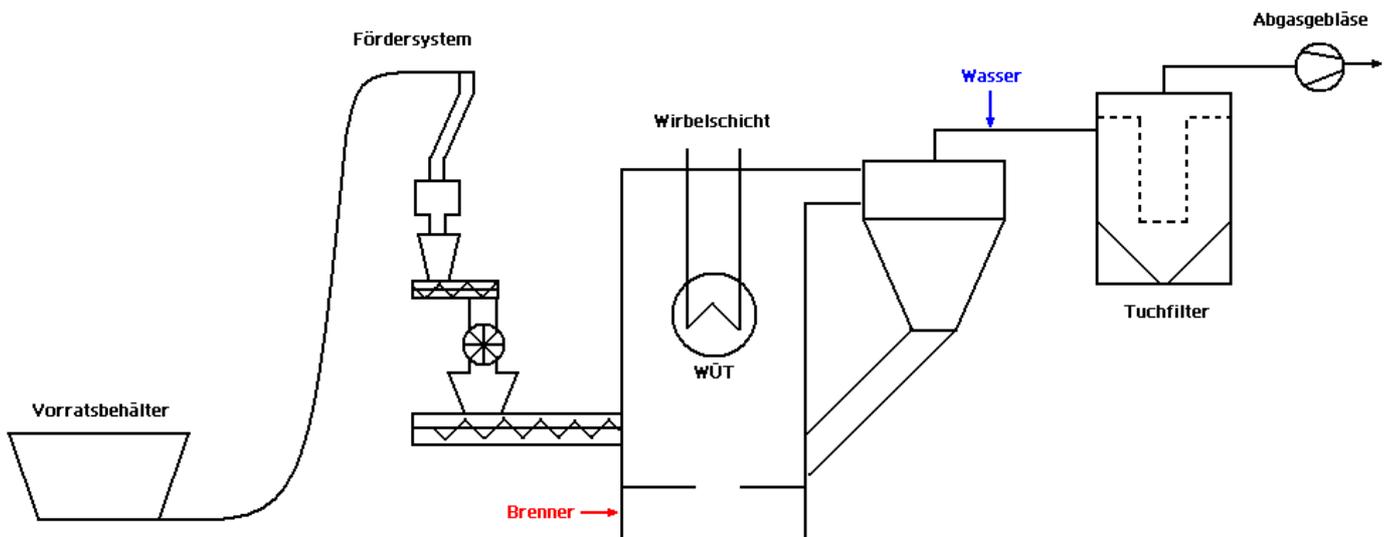


Abbildung 2-23: Fließschema der stationären Wirbelschichtanlage

Mit Hilfe der Abgasanalyse konnten zwei Ursachen für die hohen CO-Werte (>1Vol%) beim Trester festgestellt werden. Normalerweise wird zur Senkung der NOx-Konzentration ein Wärmetauscher (WÜT, vgl. Abbildung 2-23) in das Wirbelbett abgesenkt. Durch die damit verbundene Temperatursenkung wurde beim Trester zwar ebenso eine NOx-Reduktion, aber auch ein Anstieg der CO-Konzentration beobachtet. Der zweite Grund für die Erhöhung der CO-Werte war die Kühlwirkung bei erhöhtem Luftüberschuss. So konnte mehrmals beobachtet werden, wie die CO-Werte bei steigendem Restsauerstoffgehalt ebenfalls gestiegen sind. Zur Überprüfung der Theorie der CO-Bildung bei zu niedrigen Temperaturen wurde die Wirbelbetttemperatur mit einem Erdgasbrenner erhöht. Die steigende Wirbelbetttemperatur führte zur Absenkung der CO-Werte. Gemäß den Versuchsergebnissen ist zumindest eine Wirbelbetttemperatur von 720°C erforderlich, um die CO-Werte unter 1 Vol% zu drücken.

Die NO<sub>x</sub>-Konzentration konnte durch Absenkung der Wirbelschichttemperatur und den damit verbundenen CO-Anstieg gesenkt werden. Außerdem wurde eine Stickoxidreduktion bei Erhöhung der Trestermenge und zeitgleicher Abnahme des Restsauerstoffgehaltes beobachtet. Die CO-Konzentration wurde durch den resultierenden Temperaturanstieg trotz geringerem Sauerstoffangebot ebenfalls verringert. Die NO<sub>x</sub>-Reduktion muss demnach auf das geringere Sauerstoffangebot zurückzuführen sein.

Schwefeldioxid konnte wegen der Querempfindlichkeit bei hohen CO-Konzentrationen nicht gemessen werden. Bei niedrigen CO-Werten (100 mg/Nm<sup>3</sup>, 11% O<sub>2</sub>-Bezug), die kurze Zeit erreicht wurden, wurde jedenfalls mit zwei unterschiedlichen Messsystemen kein SO<sub>2</sub> im Abgas gemessen. Auffallend war der hohe Schwefelanteil in der Asche (vgl. Tabelle 2-18).

Fazit: Im Gegensatz zur Rostfeuerung war die autarke Verbrennung von siliertem Trester allerdings bei höherem TS-Gehalt in der Wirbelschichtanlage möglich. Die Abgaswerte waren beim Trester zwar generell schlechter im Vergleich zum üblicherweise eingesetzten Biotreber, jedoch konnten anhand der Versuche die wichtigsten Einflussgrößen ermittelt werden, sodass eine Einhaltung des CO- (250 mg CO/Nm<sup>3</sup>, 11% O<sub>2</sub>-Bezug) und NO<sub>x</sub>-Anlagengrenzwertes (400 mg CO/Nm<sup>3</sup>, 11% O<sub>2</sub>-Bezug) realistisch erscheint.

## 2.7 Ergebnisse Asche-Analysen

Im Vergleich zu Holzasche enthält die Asche, die bei der Tresterverbrennung anfällt deutlich weniger Calcium dafür aber wesentlich mehr Kalium und Phosphor (vgl. Tabelle 2-18). Der höhere Calciumgehalt der Tresterasche aus den Verbrennungsversuchen in der Rostfeuerung (RF) Ebensee ergibt sich durch Verunreinigungen, welche über den Regelbrennstoff Holz auf den Rost gelangten. Speziell der hohe Kaliumgehalt lässt die Tresterasche für eine Verwertung als Düngemittel geeignet erscheinen. In Österreich wird bislang nur die Verwertung von Holzaschen in der Kompostverordnung gesetzlich geregelt. Demnach ist die Zuschlagsmenge jedoch auf 2 Gew.% Holzasche beschränkt. Die Rückführung von Feinstflugasche auf Böden ist wegen der Aufkonzentrierung der flüchtigen Schwermetalle generell untersagt. Bei den Untersuchungen wurde je nach Flüchtigkeit eine Aufkonzentrierung der Schwermetalle (z.B. As, Cd, Zn,) in den feineren Flugaschen (vgl. FA Holz Ebensee) festgestellt.

Aus Sicht der österreichischen Kompostverordnung spricht der hohe Kupfergehalt in allen untersuchten Aschen (speziell beim BZ-Trester) gegen eine Verwertung als Düngemittel. Da Kupfer durch die Verwendung bestimmter Pflanzenschutzmittel in den Trester gelangt, könnte eine Umstellung den Einsatz der Tresterasche als Düngemittel prinzipiell ermöglichen. Dabei sollte aber berücksichtigt werden, dass auch bei der bisher üblichen Verwertung von Trester als Düngemittel die gleiche Kupferfracht, allerdings in niedrigeren Konzentrationen, in den Boden zurückgeführt wird, wodurch eine Anreicherung ebenso wahrscheinlich ist.

Die erhöhten Gehalte an Chrom, Nickel und Molybdän der Aschen aus den durchgeführten Verbrennungsversuchen im VTIU-Technikum ergeben sich durch den Abtrag des Stahlrohres bzw. Rostwerkstoffes und sind daher nicht auf den Trester zurück zu führen.

Es konnte gezeigt werden, dass bei der Rostfeuerung ein guter Ausbrand der Tresterpellets möglich ist. Da zwischen dem Restkohlenstoffgehalt und der Konzentration an organischen Schadstoffen (wie PAK) ein statistisch signifikanter Zusammenhang besteht, kann auf eine geringe organische Schadstoffbelastung in der Tresterasche geschlossen werden. Die Asche wäre gemäß Deponieverordnung daher auch ohne thermische Nachbehandlung deponierbar. Der hohe TOC-Wert

bei der Verbrennung von GV-Pellets (Verbrennungsversuch Ebensee) ist auf eine nicht optimale Gebläseregelung zurückzuführen. In der Asche aus der Wirbelschichtfeuerung (WS) wurde ebenfalls ein erhöhter TOC-Wert gemessen. Grund dafür war die zu niedrige Feuerungstemperatur und ein damit verbundener schlechter Ausbrand. Auffallend hoch sind auch die Gehalte an Silizium (Quarzsand), Schwefel, Eisen und Stickstoff bei der Wirbelschichtasche.

Tabelle 2-18: Ergebnis der Ascheanalysen

Parameter	Einheit	Verbrennungsversuch (Technikum VTIU)		Verbrennungsversuch (RF-Ebensee)				Verbrennungsversuch (WS-Kleinheubach)	Grenzwerte (Österreich)
		GV-Trester	BZ-Trester	GV-Pellets	BZ-Pellets	Holz	Holz	GV-Pellets	KompostVO
		RA	RA	RA	RA	RA	FA	FA	
Trockensubstanz	%	99.2	97.3	99.5	99.9	100	99.9	99.2	
pH	-	13.3	13.4	13.8	13.7	13.9	14	11.2	
EC	mS/cm	123	106	76	64	26	49	83	
TOC	%	1.3	0.9	5.9	0.2	<0.1	0.2	6.2	
TIC	%	3.7	3.7	2.4	4.2	2	1.9	0.6	
<b>Hauptelemente</b>									
C	%	7.24	4.98	8.04	4.73	2.16	2.38	6.88	
K	%	38.1	34.3	24.2	21.8	4.1	4.08	24.1	
Ca	%	7.96	10.8	17.2	23.1	37.7	33.2	6.12	
P	%	4.55	5.54	6.67	7.29	0.83	0.72	4.98	
Mg	%	1.86	2.03	3.38	5.34	9.23	6.41	2.59	
Si	%	0.496	0.981	1.39	1.48	5.69	6.71	<b>3.54</b>	
<b>Summe</b>	<b>%</b>	<b>60.2</b>	<b>58.6</b>	<b>60.9</b>	<b>63.7</b>	<b>59.7</b>	<b>53.5</b>	<b>48.2</b>	
<b>Spurenelemente</b>									
S	mg/kgTS	12100	13900	4320	5610	700	7560	<b>4.85%</b>	
Fe	mg/kgTS	3400	12800	2990	5690	16300	12300	<b>6.41%</b>	
Al	mg/kgTS	641	1880	1800	3660	15200	17500	3120	
N	mg/kgTS	1300	<1000	1620	<1000	<1000	<1000	<b>1.32%</b>	
Mn	mg/kgTS	469	880	760	857	2330	1740	789	
Cu	mg/kgTS	<b>425</b>	<b>1030</b>	<b>565</b>	<b>1070</b>	87	95	<b>469</b>	250
Sr	mg/kgTS	282	328	449	525	559	527	223	
Na	mg/kgTS	568	479	452	268	3190	2070	1980	
Ti	mg/kgTS	51	178	199	281	1160	1450	214	
Ba	mg/kgTS	98	81	271	171	536	688	184	
As	mg/kgTS	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5	4	11	4	20
Tl	mg/kgTS	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.3	0.5	
Zn	mg/kgTS	155	298	56	20	97	1230	704	1500
Pb	mg/kgTS	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	100
Hg	mg/kgTS	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	
Cr	mg/kgTS	<b>437</b>	<b>1980</b>	15	15	52	47	163	250
Ni	mg/kgTS	<b>378</b>	<b>1260</b>	6	11	24	21	<b>121</b>	100
V	mg/kgTS	<15	<15	<15	<15	35	49	<15	100
Co	mg/kgTS	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	100
Mo	mg/kgTS	<b>53</b>	<b>237</b>	<15	<15	<15	<15	<15	20
Cd	mg/kgTS	<3	<3	<3	<2	<2	7	<3	8

RF...Rostfeuerung; WS...Wirbelschichtfeuerung; RA...Rostasche; FA...Flugasche

Die Schüttdichte der Rost- und Flugasche aus der Tresterverbrennung beträgt etwa 350 kg/m<sup>3</sup> und ist damit mit der niedrigen Dichte von Rostasche aus Strohfeuerungen vergleichbar. Größere Dichteunterschiede, die normalerweise zwischen Rost- und Flugasche auftreten, konnten nicht festgestellt werden.

Der Ascheerweichungspunkt (DT) der Tresterasche ist mit 880°C sehr niedrig (vgl. Holzasche >1200°C), weshalb bei der Verbrennung ein erhöhtes Anpackungs- und Ablagerungsrisiko am Rost bzw. den Wärmeübertragungsflächen besteht. Gegenüber hinsichtlich Ascheschmelzverhalten kritischem Getreidestroh, welches ebenso niedrige Erweichungstemperaturen aufweisen kann, sind die Halbkugeltemperatur (HT) und auch die Fließtemperatur (FT) jedoch höher. Mit TG-/DTA konnte bis 1340°C kein Ascheschmelzpunkt festgestellt werden. Die Probe lag am Ende des Versuches pulverförmig vor. Bei den Verbrennungsversuchen in der Rostfeuerung wie auch in der Wirbelschicht sind keine Probleme durch das Ascheschmelzverhalten aufgetreten.

Tabelle 2-19: Ascheerweichungsverhalten

	Pellet		Asche aus Verbrennungsrohrversuchen	
	GV-Asche	BZ-Asche	GV-Asche	BZ-Asche
Analyse	Eurofins	Eurofins	ECV GesmbH	ECV GesmbH
Norm	DIN CEN/TS 15370-1		DIN 51730	
SST [°C]	820			
DT [°C]	880	880	885	1290
HT [°C]	1470			
FT [°C]	1480		>1540	>1540

Optisch fällt die Tresterasche durch türkis gefärbte Teilchen auf.



Abbildung 2-24: BZ-Asche

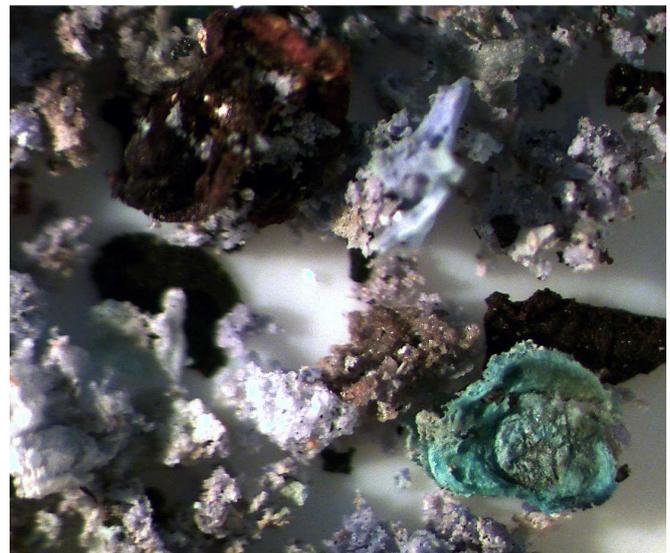


Abbildung 2-25: BZ-Asche (Mikroskopaufnahme)

## 2.8 Verwertung in Futtermitteln

Wegen des hohen Gehaltes an Polyphenolen im Weintrester wäre neben der energetischen Verwertung alternativ die Verwendung in Futtermitteln als Ersatz für Vitamin E möglich, speziell dann wenn der Marktpreis für Vitamin E hoch ist. Grund für die Zugabe zum Futtermittel ist die antioxidative Wirkung. In belastenden Situationen wie Stress, Krankheit oder unter negativen Umwelteinflüssen werden bei den Tieren freie Radikale freigesetzt, welche eine zellschädigende

Wirkung besitzen. Vitamin E wie auch Polyphenole dienen als Radikalfänger und verhindern eine Zerstörung der Zellen durch die Radikale.

Im Zuge des Projektes wurde Kontakt zu einem Futtermittelhersteller aufgenommen, der aus den genannten Gründen Trester zum Futtermittel beimengt. Der Trester muss gemäß Angaben des Futtermittelproduzenten einen Trockensubstanzgehalt von mindestens 88% aufweisen und in einer entsprechenden Reinheit vorliegen. Außerdem müssen für die Futtermittelberechnung mehrere Parameter wie beispielsweise die Gehalte an Rohasche, Rohfaser, Rohproteinen oder Rohfett bestimmt werden. Hinsichtlich dieser Parameter existieren jedoch keine speziellen Anforderungen. Entscheidend ist viel mehr ein möglichst hoher Gehalt an Polyphenolen. Der Polyphenolgehalt bestimmt letztendlich auch den Preis.

Im Zuge des Projektes wurde daher untersucht in wie weit der Trester der Winzer Krems für eine Verwendung in Futtermitteln geeignet ist. Dazu wurden die Polyphenolgehalte mittels Phenolindex-Bestimmung miteinander verglichen. Bei der Analyse wurden unterschiedliche Eluationsverfahren verwendet, um das für Weintrester am besten geeignete Eluationsverfahren zu finden.

Tabelle 2-20: Ergebnisse der Phenolindexbestimmung (Aminoantipyrin-Methode)

Eluationsverfahren	Phenolindex [mg/kgTS)		
	BZ-Trester	GV-Trester	Referenz-trester
Wasser	674	437	843
Puffer pH10	724	816	1103
Wasser-Dampfdest.	15	26	-
Lösemittel	360	588	-

Für die Phenolindexbestimmung wurden bei der GV-Probe die Stängel aus den Proben aussortiert. In Tabelle 2-20 ist ersichtlich, dass mit der pH-gesteuerten Eluation die höchsten Werte bestimmt werden konnten. Es konnte gezeigt werden, dass der Referenz-Trester, der bereits in Futtermitteln verwendet wird, im Vergleich zu den Trestersorten der Winzer Krems einen ähnlichen Phenolindex aufweist. Eine Verwertung als Futtermittel wäre demnach möglich. Nachteilig ist, dass nur ein Teil des Tresters der Winzer Krems über diese Schiene verwertet werden könnte (ca. 100 Tonnen/Jahr).

## 3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Auf Basis der oben beschriebenen Untersuchungen wurden für die Winzer Krems die folgenden vier Verwertungskonzepte vorgeschlagen und technisch sowie wirtschaftlich miteinander verglichen:

1. Verbrennung von mechanisch entwässertem Trester in einer Rostfeuerung
2. Herstellung von Futtermittel
3. Tresterpelletierung
4. Biogaserzeugung

Die Ausarbeitung der Konzepte erfolgte unter Berücksichtigung der örtlichen Rahmenbedingungen. Die Ergebnisse werden folgend tabellarisch zusammengefasst dargestellt:

	Rostfeuerung	Futtermittel	Pelletierung	Biogas
<b>Investition</b>	1 132 149 €	505 897 €	698 269 €	1 118 680 €
<b>Kosten p.a.</b>	185 471 €	146 680 €	180 196 €	311 666 €
<b>Einnahmen/Ausgaben p.a.</b>	-51 849 €	-	-10 017 €	92 441 €
<b>Energiebedarf</b>	-13 kWh/t Trester	-480 kWh/t Trester	-520 kWh/t Trester	-160 kWh/t Trester
<b>erzeugbare Energie</b>	1204 kWh/t Trester <sup>1</sup>	-	1440 kWh/t Trester <sup>2</sup>	800 kWh/t Trester
<b>Nettoenergie<sup>3</sup></b>	1191 kWh/t Trester	-	920 kWh/t Trester	640 kWh/t Trester
<b>Wirkungsgrad<sup>4</sup></b>	65 %	-	50 %	35 %
<b>technisches Risiko</b>	erhöht (F&E-Bedarf: Anlagenoptimierung, Abgasqualität )	gering (Referenzfall/ Qualität entscheidend)	niedrig (Pelletstabilität/ Abgasqualität)	niedrig (Substrate)
<b>Aufbereitungsaufwand</b>	niedrig	hoch	sehr hoch	niedrig
<b>Lagerung</b>	Fahrsilo bei allen Varianten notwendig			
<b>Rückstände</b>	Asche ca.20 t/a	kein Rückstand	kein Rückstand	Gärrest ca. 2200 t/a

Abbildung 3-1: Gegenüberstellung der Verwertungsvarianten

Unter den getroffenen Annahmen ist nur die Biogasvariante aus wirtschaftlicher Sicht positiv zu bewerten, wobei davon ausgegangen wurde, dass neben dem Trester eine ausreichende Menge an landwirtschaftlichen Reststoffen für die Vergärung zur Verfügung steht. Generell ist jedoch zu berücksichtigen, dass die gelisteten Geldbeträge nur die Größenordnung zeigen sollen. Durch Veränderung der Annahmen kann die wirtschaftliche Betrachtung relativ schnell ein anderes Bild ergeben. Als Diskussions- und Entscheidungsgrundlage für die Winzer Krems erscheint diese Genauigkeit im ersten Schritt jedoch ausreichend.

Zur Abschätzung des energetischen Wirkungsgrades der unterschiedlichen Varianten wurde zunächst der Eigenbedarf in Form von Strom- und Wärmebedarf, wobei Strom und Wärme als gleichwertige Energie betrachtet wurden, sowie die erzeugbare Energie je Tonne Frischtrester berechnet. Das Verhältnis der Nettoenergie zur Energie, die in 1t Frischtrester in Form des Heizwertes der Trockensubstanz (ca. 19.000 kJ/kg, 35% TS) steckt, zeigt welcher Anteil der maximal verfügbaren Energie im Trester genutzt werden kann. Demnach schneidet die Biogasvariante trotz moderatem

Eigenenergiebedarf am schlechtesten ab. Das kann durch die nur teilweise Umsetzung der Organik zu Methan begründet werden. Im Falle einer Pelletierung ist zwar die erzeugbare Energie infolge eines hohen Kesselwirkungsgrades am höchsten, jedoch ist auch der Energiebedarf wegen der notwendigen Trocknung und Aufbereitung hoch. Aus energetischer Sicht wäre die Variante der Verfeuerung von mechanisch entwässertem Trester zu bevorzugen. Die Verbrennungsversuche haben jedoch gezeigt, dass diese Variante derzeit noch nicht umgesetzt werden kann, da noch Optimierungsbedarf im Bereich der Feuerungstechnik zur Erreichung einer entsprechenden Abgasqualität besteht.

Das geringste technische Risiko besteht bei der Futtermittelvariante, da bereits Trester aus Deutschland in getrockneter und gemahlener Form erfolgreich als Futtermittelzusatz eingesetzt wurde. Die Untersuchungen im Rahmen des Projektes haben gezeigt, dass der Trester der Winzer Krems ebenfalls geeignet wäre (siehe Kapitel 2.8). Der erzielbare Preis für Trester wurde vom Futtermittelhersteller nicht bekannt gegeben, weshalb eine wirtschaftliche Bewertung nicht durchgeführt werden konnte. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass sich die Wirtschaftlichkeit im Vergleich zum Trester aus Deutschland durch die Reduzierung der Transportkosten verbessert, da sich der Futtermittelhersteller in unmittelbarer Nähe zur Winzer Krems befindet. Außerdem ist bei dieser Variante vorteilhaft, dass ein Ausbau zur Pelletierungsvariante möglich wäre. Damit wären je nach Bedarf Futtermittel oder Tresterpellets erzeugbar. Aus den genannten Gründen erscheint diese Variante für die Winzer Krems vielversprechend.

Die einfachste Lösung des Tresterproblems wäre ein Einsatz des Tresters in den bereits existierenden Biogasanlagen rund um Krems. Bei dieser Variante wäre nur ein Fahrsilo erforderlich.

## 4 Ausblick und Empfehlungen

Durch die Untersuchungen im Rahmen des Projektes konnten drei Varianten zur energetischen Verwertung für die Winzer Krems entwickelt und bewertet werden. Am einfachsten wäre der Tresterersatz in bereits bestehenden Biogasanlagen. Außerdem erscheint die Futtermittel-/Pelletierungsvariante interessant. In weiterer Folge werden daher Gespräche mit dem Futtermittelhersteller bzw. mit Biogasanlagenbetreibern zur Klärung der noch offenen Fragestellungen aufgenommen.

Mittelfristig sollte auch die Verbrennung von mechanisch entwässertem Trester weiter verfolgt werden, da bei dieser Variante energetisch gesehen der größte Nutzen erzielt werden kann. Für die Winzer Krems wäre beispielsweise die Erzeugung von Dampf, welcher ganzjährig zur Flaschenreinigung benötigt wird, mit Trester denkbar.

Bei den Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass sowohl die Wirbelschichtfeuerung wie auch die Rostfeuerung für die Tresterverbrennung geeignet ist. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die Abgasqualität bei den Verbrennungsversuchen mit mechanisch entwässertem Trester und auch Tresterpellets im Vergleich zu den gewählten Referenzbrennstoffen (Holz, Biertreber) hinsichtlich NOx und vor allem CO schlechter war. Aus den großtechnischen Verbrennungsversuchen, die in einer 400 kW Rost- sowie Wirbelschichtfeuerung durchgeführt wurden, lassen sich jedoch bereits Verbesserungsmaßnahmen zur Erreichung einer besseren Abgasqualität ableiten. In wie weit diese Verbesserungen zur Einhaltung der Grenzwerte ausreichen, lässt sich nur in weiteren Untersuchungen feststellen. Außerdem wäre noch zu klären in wie weit die Neigung zur CO-Bildung mit den im Trester enthaltenen Kernen zusammenhängt. Da der Kernanteil der Hauptunterschied zu anderen Biomassebrennstoffen ist, liegt ein Zusammenhang nahe. Hinsichtlich der Qualität der Tresterpellets besteht ebenfalls Verbesserungspotential, da teilweise hohe Abriebswerte festgestellt wurden.

## 5 Literaturverzeichnis

---

- [1] H. Böchzelt: Abschlussbericht „Wertstoffgenerierung aus dem „Abfallprodukt“ Traubentrester (2003)
- [2] U. Schubert: „Gewinnung sekundärer Pflanzenwirkstoffe mittels Membranverfahren und Chromatographie“ Dissertation Boku Wien (Feb. 2008)
- [3] K. Buchgrabner, R. Resch: „Konservierung von Preßtreber sowie deren Einsatz in der Rinderfütterung“ Zeitschrift: Die Bodenkultur 48 (1) 1997
- [4] E. Molina-Alcaide; A. Moumen; A. Martin-Garcia: “Byproducts from viticulture and the wine industry: potential as sources of nutrients for ruminants” Journal of the science of food and agriculture, Vol. 88, number 4, (March 2008), pp. 597-604
- [5] R.B. Lo Curto; M.M. Tripodo: “yeast production from virgin grape marc” Bioresource Technology 78 (2001)
- [6] M. Kaltschmitt, H. Hartmann, H. Hofbauer: „Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren“, 2.Auflage, Springer-Verlag (2009)
- [7] I. Obernberger: „Nutzung fester Biomasse in Verbrennungsanlagen“ Schriftenreihe Thermische Biomassenutzung Band1, dbv-Verlag (1998)
- [8] Kluge R., Riedel M.: „Übersichtsuntersuchung von Traubentrestern auf maßgebende Inhaltsstoffe – Ergebnisbericht Sept. 2006“
- [9] R. Steidl: Kellerwirtschaft; österreichischer Agrarverlag, 6.Auflage (2001)
- [10] Scholz/Beckmann/Schulenburg:“Abfallbehandlung in thermischen Verfahren – Verbrennung, Vergasung, Pyrolyse, Verfahrens- und Anlagenkonzepte, B.G. Teubner (2001)

## IMPRESSUM

### **Verfasser**

Montanuniversität Leoben –  
Institut für Verfahrenstechnik des  
industriellen Umweltschutzes

Franz-Josef-Str. 18, 8700 Leoben  
Tel: +43-3842-402-5001  
Fax: +43-3842-402-5002  
E-Mail: [vtiu@unileoben.ac.at](mailto:vtiu@unileoben.ac.at)  
Web: [vtiu.unileoben.ac.at](http://vtiu.unileoben.ac.at)

### **Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber**

Klima- und Energiefonds  
Gumpendorfer Straße 5/22  
1060 Wien  
[office@klimafonds.gv.at](mailto:office@klimafonds.gv.at)  
[www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at)

### **Disclaimer**

Die Autoren tragen die alleinige  
Verantwortung für den Inhalt dieses  
Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise  
die Meinung des Klima- und Energiefonds  
wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die  
Weiternutzung der hier enthaltenen  
Informationen verantwortlich.

### **Gestaltung des Deckblattes**

ZS communication + art GmbH