

Schlussbericht November 2005

Neue Verfahren zur Effizienzverbesserung in Trocknungsanlagen

Phase 1

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern

Auftragnehmer:

Bürli Trocknungsanlage Willisau, Niederwilwerstr., 6142 Gettnau
vertreten durch:
Energie Treuhand ETL AG
Technopark Luzern
D4 Platz 4
6039 Root Längenbold

Autor:

Stefan Krummenacher

Begleitgruppe:

Martin Stettler, Bundesamt für Energie BFE
Josef Bürli, Bürli Trocknungsanlage, Willisau
Josef Christen, Verband Schweizerischer Trocknungsbetriebe, Alberswil
Dr. Thomas Bürki, Benglen

Impressum

Krummenacher Stefan, Energie Treuhand ETL AG: Neue Verfahren zur Effizienzverbesserung in Trocknungsanlagen, Schlussbericht Phase 1, Root Längenbold 2005

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogramms „Energie und Umwelt“ des Bundesamts für Energie BFE erstellt. Für den Inhalt ist alleine der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE
Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen · Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · office@bfe.admin.ch · www.admin.ch/bfe

Zusammenfassung

Ausgangslage, Zielsetzung: Im vorliegenden Projekt wurden neue technologische Verfahren zur Effizienzsteigerung bei der künstlichen Trocknung identifiziert und überprüft. Im Vordergrund stehen dabei die landwirtschaftlichen Trocknungsbetriebe. Allerdings sind die Erkenntnisse allenfalls auch auf andere Branchen wie die Holzindustrie übertragbar. Die an dieser Stelle beschriebenen Arbeiten umfassen die folgenden Zielsetzungen:

- Identifikation und Bewertung neuer technischer Verfahren zur künstlichen Trocknung in der Landwirtschaft sowie in verwandten Branchen;
- Durchführung von Messungen an bestehenden Anlagen zur Überprüfung und Sicherung der thermodynamischen Zusammenhänge;
- Durchführung von Versuchen mittels neuen Komponenten an Versuchsanlagen, um die Machbarkeit und Wirksamkeit von neuen Verfahren zu überprüfen und zu dokumentieren;
- Auswertung der Ergebnisse, Synthese, Ausblick, Potential der Technologie sowie Dokumentation und Kommunikation der Ergebnisse.

Durchgeführte Arbeiten: Die Grundlagen wurden bereits im Rahmen der Zielvereinbarung des Verbandes Schweizerischer Trocknungsbetriebe (VSTB) mit dem Bund (EnAW Benchmark-Gruppe) erarbeitet. Zusätzlich erfolgte eine umfassende Betrachtung des künstlichen Trocknens in den anderen Branchen, was jedoch keine wesentlichen neuen Erkenntnisse generierte.

Ergebnisse: Im Zentrum der Arbeiten standen verschiedene Feldversuche bei der Trocknungsanlage in Willisau, wo mittels eines Platten-Wärmetauschers verschiedene Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung (WRG) untersucht wurden. Die wichtigsten Resultate sind die folgenden:

Leistung / Temperatur-Änderungsgrad: Grundsätzlich bewegen sich die gemessenen Leistungen und Kennzahlen in einem Bereich, wie sie aufgrund der Datenblätter des Wärmetauschers erwartet wurden. Diese gute Übereinstimmung wird als positives Resultat bewertet.

Verschmutzung: Aufgrund der Ergebnisse und Beobachtungen der verschiedenen Messreihen konnten wir feststellen, dass ein Platten-Wärmetauscher ohne zusätzliche Vorkehrungen aufgrund der zunehmenden Verschmutzung verschleißt. Die Versuche haben jedoch gezeigt, dass mit dem Besprühen der Platten mittels Wasser erste Ansätze gefunden wurden, um diese Probleme zu lösen.

Verwendung der Abwärme: Es wurden 3 verschiedene Möglichkeiten für die Verwendung der zurück gewonnenen Wärme dargestellt und auf die ökonomische Realisierbarkeit überprüft. Dabei hat sich gezeigt, dass keine der untersuchten Varianten eine befriedigende Wirtschaftlichkeit erreicht.

Ausblick: Insgesamt zeigt sich, dass die untersuchten technischen Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz bei fossil betriebenen Trocknungsanlagen kein befriedigendes Bild abgeben. Ein wichtiger Grund liegt in den vergleichsweise tiefen Jahresbetriebsstunden, welche in der Branche selten mehr als 2000 Stunden betragen. Bei allen Varianten liegen die Amortisationszeiten bei mehr als 10 Jahren. Aufgrund dieser unbefriedigenden Resultate wird die Projektidee nicht weiter verfolgt.

Summary

Initial framework and purpose: In this project new technologies for increased energy efficiency in artificial dryers were identified and evaluated. Of primary interest are agricultural dryer plants.

Work done: The fundamentals were already elaborated in the frame of the agreement between the Association of the Swiss Dryer Industry (VSTB) and the Swiss Confederation (EnAW benchmark group). In addition we considered in a large scale processes of artificial drying in other sectors, however without obtaining relevant new information.

Results: The main results are the following:

Performance / Extent of temperature change: Basically the measured performance and the parameters are in the range shown by the data sheets of the heat exchanger.

Contamination: Based on the results and on the observations of a series of measurement we could state that a plate heat exchanger without additional precaution increasingly obstructs due to the continuous contamination. The experiments however gave first indications on how to solve this problem by spraying the plates with water.

Utilisation of waste heat: Three possibilities for the use of recovered heat were taken in consideration and tested for their economic feasibility. It showed that none of the considered solutions achieved a satisfactory economy.

Prospects: Overall it showed that the investigated technical measures for the increased energy efficiency in dryer plants firing fossil fuels gave no satisfactory results. One of the reasons is the relatively short duration of the annual operation which rarely exceeds 2000 hours. All the various options have a payback time longer than 10 years. Based on these unsatisfactory results it was decided to discontinue the project.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	6
1.1	Ausgangslage	6
1.2	Übersicht	6
1.3	Zielsetzungen Phase 1.....	7
1.4	Projektorganisation.....	7
2	Grundlagen und technische Zusammenhänge.....	9
2.1	Die künstliche Trocknung in der Landwirtschaft	9
2.2	Technische Beschreibung einer typischen Trocknungsanlage.....	10
2.3	Thermodynamische Zusammenhänge	11
2.4	Technische Grundlagen.....	11
3	Versuchsaufbau.....	13
3.1	Übersicht	13
3.2	Hydraulisches Schema.....	14
3.3	Symbole und Indizes	15
3.4	Technische Spezifikation Platten-Wärmetauscher.....	15
3.5	Messdatenerfassung	16
4	Versuchsprogramm	16
5	Messresultate.....	17
5.1	Zustandsgrößen Ablufteintritt.....	17
5.2	Leistung Plattenwärmetauscher	18
5.3	Temperatur-Änderungsgrad	19
5.4	Betriebsverhalten / Verschmutzung.....	20
6	Synthese	23
6.1	Diskussion der Messresultate.....	23
6.2	Verwendung der Abwärme Variante 1: Vorwärmung der Prozess-Zuluft	23
6.3	Verwendung der Abwärme Variante 2: Vortrocknung der Zuluft.....	26
6.4	Verwendung der Abwärme Variante 3: WRG kombiniert mit Vorprozess.....	29
7	Schlussfolgerung	33
8	Danksagung.....	34
9	Literatur	35
10	Anhang	35

1 Einführung

1.1 Ausgangslage

In der Schweiz bestehen rund 70 landwirtschaftliche Trocknungsanlagen, welche mit einem beträchtlichen energetischen Aufwand Mais, Gras und Anderes mehr verarbeiten. Durch die künstliche und vom Wetter unabhängige Trocknung helfen diese Betriebe mit, in der Schweiz eine ausreichende und qualitativ hoch stehende Futterversorgung sicherzustellen. Auch in der heutigen Zeit, wo der schweizerische Eigenversorgungsgrad der Proteinversorgung weit unter 100% liegt und aktuelle Themen wie die BSE-Krise und die GVO-Sicherheit die Diskussionen zunehmend prägen, hat die künstliche Trocknung noch immer ihren Stellenwert.

Aufgrund der hohen Energie-Intensität haben rund 60 Trocknungsbetriebe, welche im Verband Schweizerische Trocknungsbetriebe VSTB zusammengeschlossen sind, mit dem Bund eine Zielvereinbarung gemäss CO₂-Gesetz abgeschlossen. Der entsprechende Prozess wurde durch die Energie-Agentur der Wirtschaft EnAW begleitet und generierte die folgenden Erkenntnisse:

Die Einsparpotenziale sind mit der heute eingesetzten Technologie mit weniger als 6% sehr gering. Basis zu dieser Aussage bildet der EnAW-Benchmark-Prozess. Die grössten Potenziale finden sich bei den heute in Betrieb stehenden Anlagen und Technologien hauptsächlich im organisatorischen und betrieblichen Bereich.

Im Rahmen der fortlaufenden EnAW-Begleitung wird dieses Potenzial kontinuierlich ausgeschöpft. Als Arbeitsgrundlage dient dazu ein eigens erstellter Leitfaden [5], mit welchem die Massnahmen im betrieblichen Ablauf initiiert und kontrolliert werden können.

Aufgrund des Margendruckes, der steigenden Energiepreise sowie wegen den Veränderungen in der Landwirtschaft insgesamt reift die Erkenntnis, dass heute zur Sicherung der Zukunft auch der Einsatz neuer technischer Lösungen vorangetrieben werden muss.

1.2 Übersicht

Im vorliegenden Projekt werden zu diesem Zweck Verfahren zur Wärmerückgewinnung bei der künstlichen Trocknung identifiziert und überprüft. Im Vordergrund stehen dabei die landwirtschaftlichen Trocknungsbetriebe. Das Forschungsprogramm gliedert sich in drei Phasen:

Phase 1: Identifikation neuer Verfahren und erste Labor-Versuche zwecks Bestimmung der massgeblichen Grössen und Zusammenhänge;

Phase 2: Planung und Durchführung von Langzeit-Tests zur Sicherstellung der technischen Machbarkeit;

Phase 3: Realisierung einer Pilotanlage, Auswertung der Erfahrungen.

Die vorliegende Berichterstattung umfasst die Arbeiten der Phase 1 gemäss den nachfolgenden Zielsetzungen:

1.3 Zielsetzungen Phase 1

1.3.1 Identifikation und Bewertung neuer technischer Verfahren zur künstlichen Trocknung in der Landwirtschaft sowie in verwandten Branchen;

1.3.2 Durchführung von Messungen an bestehenden Anlagen zur Überprüfung und Sicherung der thermodynamischen Zusammenhänge;

1.3.3 Durchführung von Versuchen mittels neuen Komponenten an einer Versuchsanlage, um die Machbarkeit und Wirksamkeit von neuen Verfahren zu überprüfen und zu dokumentieren;

1.3.4 Auswertung der Ergebnisse, Synthese, Ausblick, Potential der Technologie.

1.3.5 Dokumentation und Kommunikation der Ergebnisse.

1.4 Projektorganisation

Auftraggeber	Josef Bürli, Trocknungsanlage Willisau 6130 Willisau vetreten durch: Energie Treuhand ETL AG Technopark Luzern 6039 Root Längenbold
--------------	---

Beauftragte Fachpersonen	Stefan Krummenacher, Energie Treuhand ETL AG, Technopark Luzern 6039 Root Längenbold	Gesamtprojektleitung, technische Bearbeitung, Auswertung, Synthese Administration, Berichtswesen
	Fritz Bachofen Polybloc AG, Winterthur	Berechnung und Konstruktion Platten-Wärmetauscher, Unterstützung Versuche, Koreferat Auswertungen und Synthese
	Beat Frei, Hochschule für Technik und Architektur, Luzern / Horw	Definition und Installation Mess- ausrüstung, Koreferat Auswertungen und Synthese
	Stefan Kollbrunner, ECO- PAC AG, Herrliberg	Beratung und Koreferat ‚Vortrock- nung der Zuluft‘
	Josef Bürli und Mitarbei- ter, Trocknungsanlage Willisau	Begleitung, Mitarbeit bei der Durchführung der Versuche
	Herzog AG, Littau	Installation der Versuchsanlagen

Koreferat	Dr. Thomas Bürki, Benglen
Begleitgruppe	Josef Christen, Sekretär VSTB Martin Stettler, Bundesamt für Energie

2 Grundlagen und technische Zusammenhänge

2.1 Die künstliche Trocknung in der Landwirtschaft

Es waren mutige Schritte der Initianten, welche im Jahr 1943, also mitten in den Kriegswirren, den damaligen Verband der Schweizerischen Grastrocknungsbetriebe aus der Taufe gehoben haben. Bereits damals stand die Absicht im Vordergrund, eine ausreichende Futtermittelversorgung sicherzustellen. Dazu gehörte auch das ‚begehrte Kraftfutter aus dem eigenen Boden‘, welches mittels künstlicher Trocknung wetterunabhängig und verlustarm konserviert werden kann.

Der technische Fortschritt brachte viele Neuerungen und die Trocknungsbetriebe haben wie unsere gesamte Landwirtschaft eine grosse Anpassungsfähigkeit bewiesen. Bei den meisten der über 80 Trocknungsbetriebe in der Schweiz bildet heute der Futtermais das Rückgrat der Produktion.

Der typische Trocknungsbetrieb befindet sich in einem landwirtschaftlich geprägten Umfeld und erwirtschaftet während 3 bis 6 Monaten und ca. 1000 Betriebsstunden einen Umsatz von 300 bis 500 Tausend Franken. Das wichtigste Betriebsmittel einer Trocknungsanlage bildet die thermische Energie. In den meisten Fällen kommt Heizöl EL oder Erdgas zum Einsatz. Zusammen mit der Elektrizität bilden diese Positionen die absolut grössten Kostenanteile in der Betriebsrechnung.

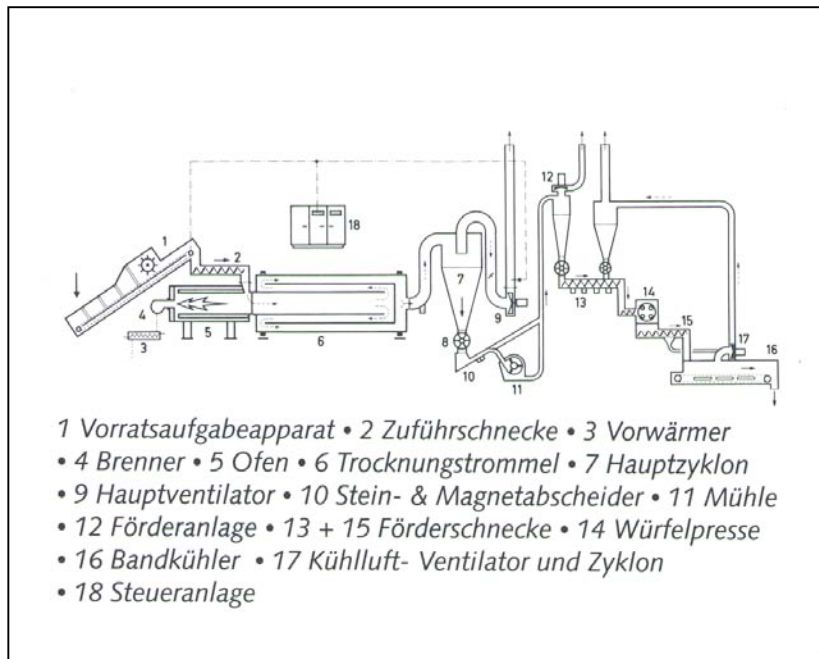
Einige typische Kennwerte der Trocknungsanlagen, welche im VSTB zusammengeschlossen sind, finden sich in der nachfolgenden Tabelle:

		Minimum	Maximum	Durchschnitt
Betriebsstunden	h	212	3'767	1'080
Produktion pro Betriebsstunde	kg/h	1'091	4'056	2'363
Produktion pro Arbeitsstunde	kg/h	459	3234	1423
Jahresproduktion in Normtonnen	1000 kg/a	186	6'960	1'345
Gesamtverbrauch thermischer Energie	MWh/a	595	21'911	4'560

Tabelle 2.1: Kennwerte von Trocknungsanlagen in der Schweiz [1], [2]

2.2 Technische Beschreibung einer typischen Trocknungsanlage

Über 85% der betriebenen Trocknungsanlagen in der Schweiz sind vom baugleichen Typ und vom gleichen Hersteller. Die Trocknungsanlage in Willisau, welche aufgrund der Eigeninitiative des besitzers für die Untersuchungen ausgewählt wurde, entspricht ebenfalls diesem Typus. Das nachfolgende Schema zeigt die wichtigsten Komponenten:

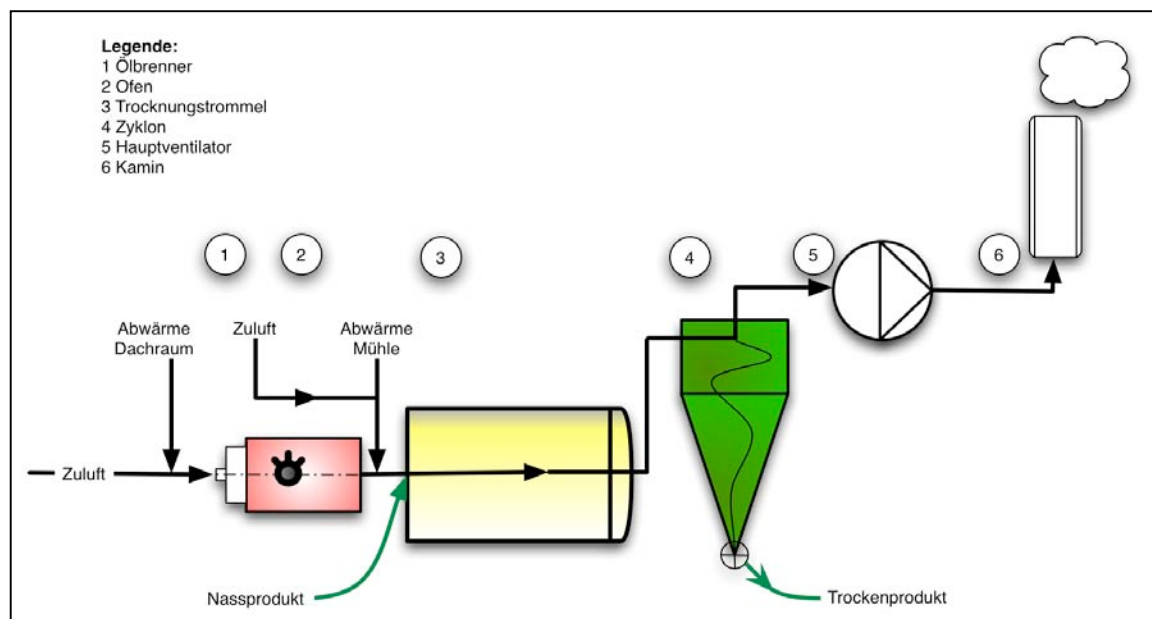


Figur 2.1: Schematische Darstellung einer typischen Trocknungsanlage [3]

Eine Trocknungsanlage steht vielfach ausserhalb der Bauzone in einer unbeheizten Halle und für die Gebäudeheizung wird keine Energie aufgewendet.

2.3 Thermodynamische Zusammenhänge

In der vorliegenden Arbeit werden die thermodynamischen Zusammenhänge zwecks besserer Übersicht vereinfacht und zum Teil idealisiert. Die Trocknungsanlage Willisau funktioniert aus thermischer Sicht nach dem folgenden Prinzip:



Figur 2.2: Schematische Darstellung der Trocknungsanlage Willisau

Die Stoff- und Energieflüsse richten sich nach den Kriterien des zu verarbeitenden Trockenguts und variieren in einem grossen Bereich. Für die Produktgruppen Gras und Mais, welche die wichtigsten verarbeiteten Güter darstellen, rechnen wir mit einer durchschnittlichen Leistung von 3.8 MW.

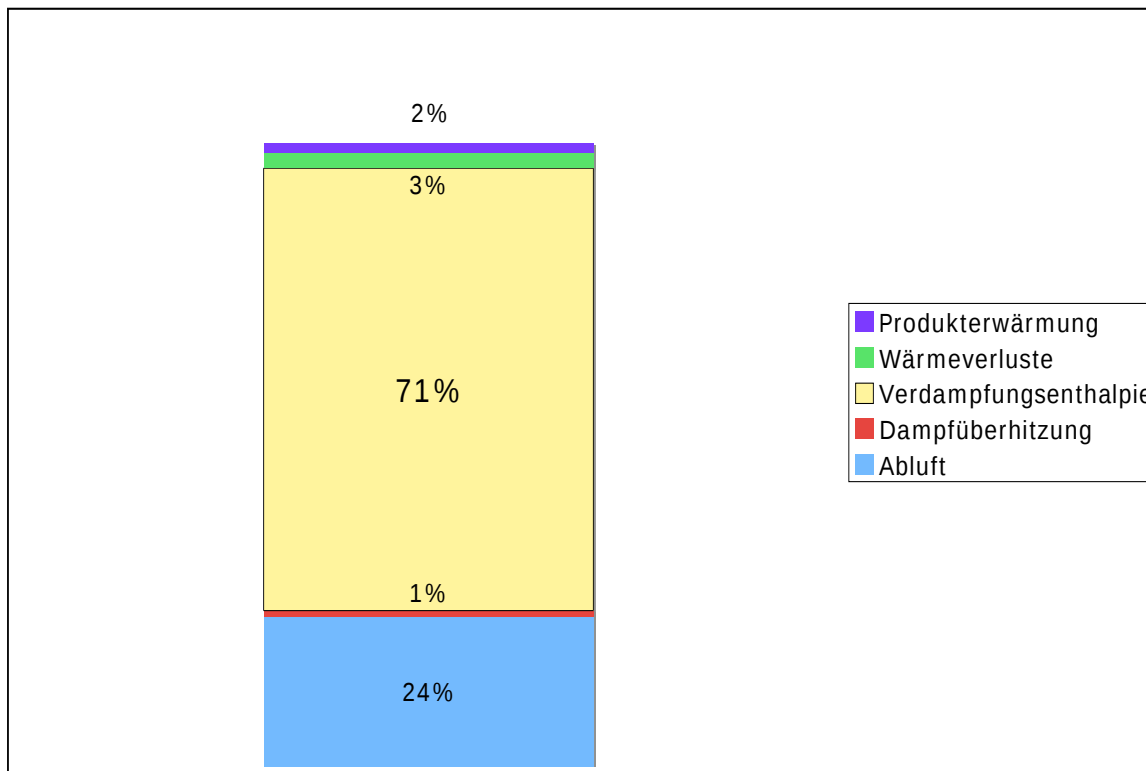
2.4 Technische Grundlagen

Die technischen Grundlagen bezüglich dem Verband Schweizerischer Trocknungsbetriebe (VSTB) wurden bereits im Rahmen der Zielvereinbarung mit dem Bund (EnAW Benchmark-Gruppe) erarbeitet. Zusätzlich erfolgte im Rahmen der vorliegenden Arbeiten eine umfassende Betrachtung des künstlichen Trocknens in den anderen Branchen. Der Vergleich mit anderen, ebenfalls in der EnAW zusammengefassten Firmen, zeigt die folgenden Resultate:

Das künstliche Trocknen steht nur bei ganz wenigen anderen EnAW-Firmen im Zentrum des Interesses. Zu erwähnen sind allenfalls: Holz, Wäsche, Papier / Zellulose und Zucker. Dabei wurde jedoch in keinem Fall der Trocknungsvorgang im physikalischen Kontext als Kernprozess dokumentiert.

Ausgehend von der Grössenordnung und der verwendeten Technologien wurden insgesamt keine Synergien innerhalb der EnAW erkannt. Ebenfalls hat eine umfassendere Literatur-Recherche im nationalen und internationalen Umfeld gezeigt, dass die Verhältnisse des landwirtschaftlichen Trocknens bezüglich den Grössenordnungen und den Randbedingungen einzigartig sind. Ein direkter Technologie-Transfer aus anderen Branchen ist nicht wahrscheinlich.

Die nachfolgende Figur zeigt die prozentualen Wärmeanteile der verschiedenen Kategorien bei der künstlichen Trocknung von landwirtschaftlichen Produkten. Der grösste Anteil ist mit 71% latent als Verdampfungsenthalpie im Dampf der Abgase enthalten.



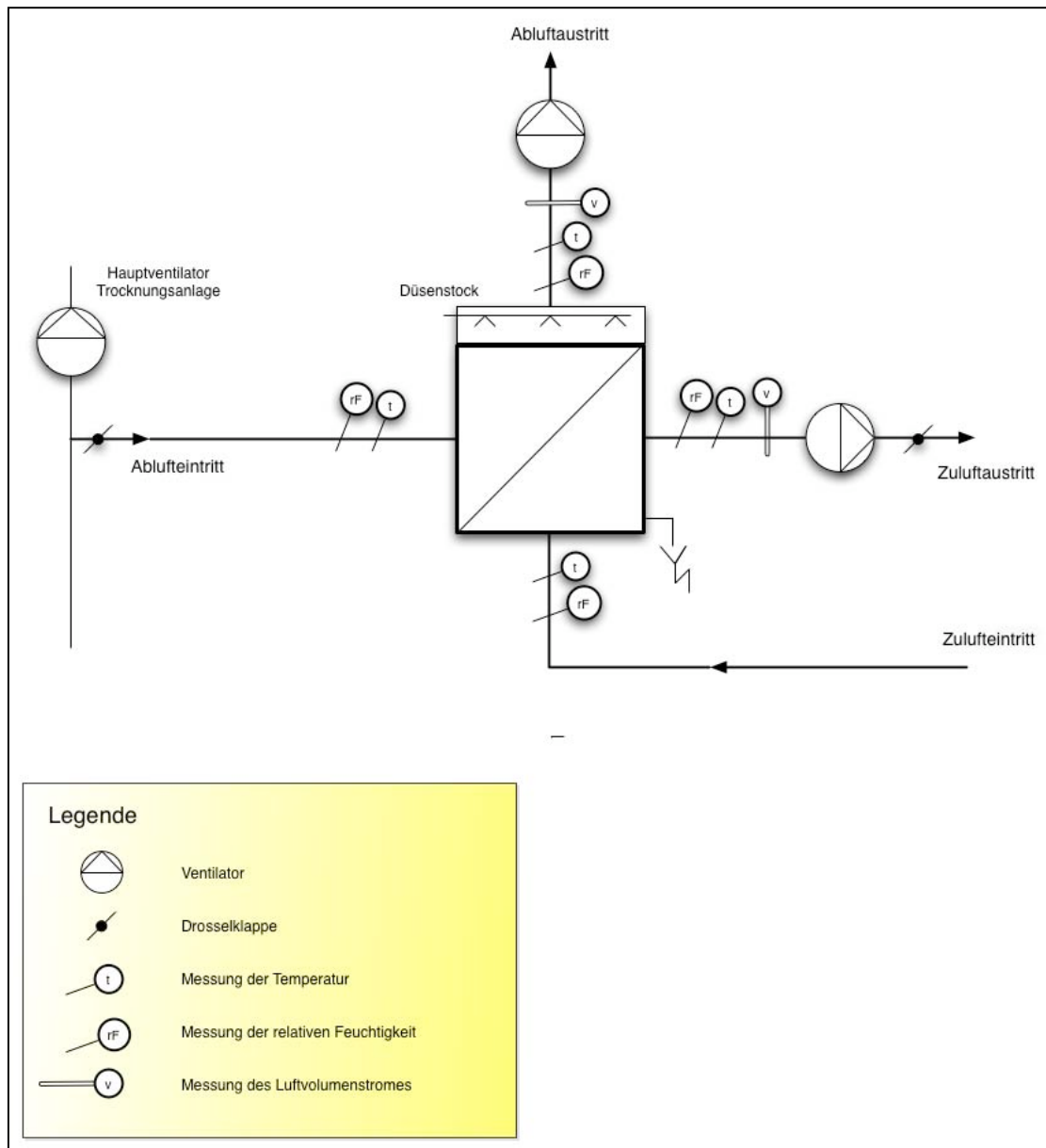
Figur 2.4: Prozentuale Wärmeanteile bei der künstlichen Trocknung von landwirtschaftlichen Produkten [2]

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die These formuliert, dass ein möglichst grosser Teil der Feuchtigkeit in den Abgasen mittels Wärmerückgewinnung kondensiert werden soll, um die Energie-Effizienz massgeblich zu erhöhen. Eine Verbesserung um 12 bis 20% haben wir im Vorfeld als Zielgrösse postuliert.

Die technische Herausforderung besteht in der Konstruktion eines entsprechenden Wärmetauschers für eine Wärmerückgewinnung (WRG) im Abluftstrom. Ausgehend von den schwierigen Einsatzbedingungen wird im vorliegenden Projekt als hauptsächliche Aufgabe eine entsprechende Konstruktion identifiziert und messtechnisch überprüft.

Die Resultate aus dem Teilbereich ‚Technische Grundlagen‘ wurden anlässlich des Workshops vom 4. April 2005 in Luzern detailliert dargestellt und diskutiert.

3.2 Hydraulisches Schema



Figur 3.3: Hydraulisches Schema des Versuchsaufbaus

3.3 Symbole und Indizes

Die Bezeichnungen werden in Anlehnung an die Europäische Norm EN 308 zum Wärmetauscher – Prüfverfahren [4] wie folgt festgelegt:

q_{mn}	Nenn-Luftmassenstrom
q_{m1}	Abluft-Massenstrom in kg/s
q_{m2}	Zuluft-Massenstrom in kg/s
t	Temperatur in °C
$r.F$	relative Feuchte in %
η_t	Temperatur-Änderungsgrad
21	Zuluft Eintritt
22	Zuluft Austritt
11	Abluft Eintritt
12	Abluft Austritt

3.4 Technische Spezifikation Platten-Wärmetauscher

Fabrikat: Polybloc AG, Winterthur
 Ausführung: W8080.0450.1400.0450-AN
 Material Platten: Aluminium

		Abluft		Zuluft	
		Ein	Aus	Ein	Aus
Volumenstrom	m ³ /h	4800		5000	
Dichte	kg/m ³	0.901	0.94	1.133	
Nenn-Luftmassenstrom	kg/s	1.201		1.574	
Spaltgeschwindigkeit	m/s		13.2		4.4
Druckverlust	Pa		142		81
Temperatur trocken / feucht	°C	93	77.7	18	40.2 / 47.5
relative Feuchte	%	55	100	50	
Rückwärmezahl trocken	-				0.296
Rückwärmezahl feucht	-				0.393
Enthalpie	kJ/kg	1476.5	1437.2	35.3	65.3
Leistung trocken / feucht	kW	35.1 / 46.6			
Abmessung	mm	500 / 455 / 1405			
Oberfläche	m ²	70.1			
Heizfläche	m ²	29.2			

3.5 Messdatenerfassung

Die gesamte Messausrüstung wurde durch die HOCHSCHULE FÜR TECHNIK UND ARCHITEKTUR (HTA) LUZERN, Zentrum für integrale Gebäudetechnik – Prüfstelle HLK, konfiguriert, installiert und während der Messkampagne bezüglich Datensicherheit betreut.

Im Anhang 1 ist die Liste mit den eingesetzten Messwertgebern ersichtlich.

4 Versuchsprogramm

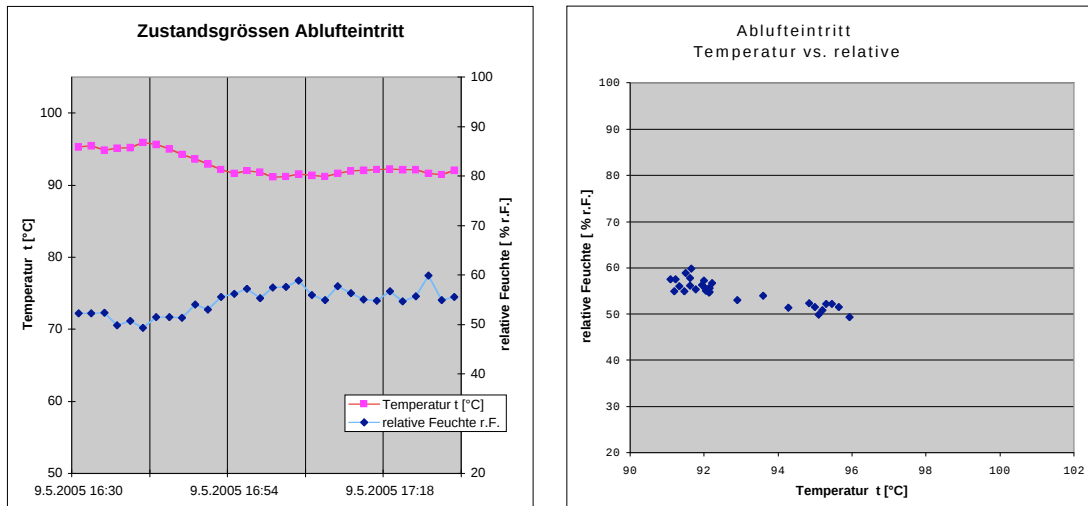
Die Untersuchungen fanden alle im Frühling und Sommer 2005 statt. Bei der Planung der Feldversuche wurde hauptsächlich darauf hingewirkt, dass während einer Hauptproduktionszeit verschiedene Produkte unter unterschiedlichen Bedingungen beobachtet werden konnten.

Datum	Versuchsreihe	Trockengut	Bemerkungen
9. Mai 2005	Versuchsreihe 1	Gras	Q: 3.9 MW Besprühung: kontinuierlich ein
10. Mai 2005	Versuchsreihe 2	Gras	Q: 3.8 MW Besprühung: aus
8. Juni 2005	Versuchsreihe 3	Holz-Pellets	Q: < 1 MW Besprühung intermittierend bei fortlaufendem Betrieb
14. Juli 2005	Versuchsreihe 4	Gras	Q: 4.2 MW Besprühung intermittierend bei abgeschaltetem Betrieb

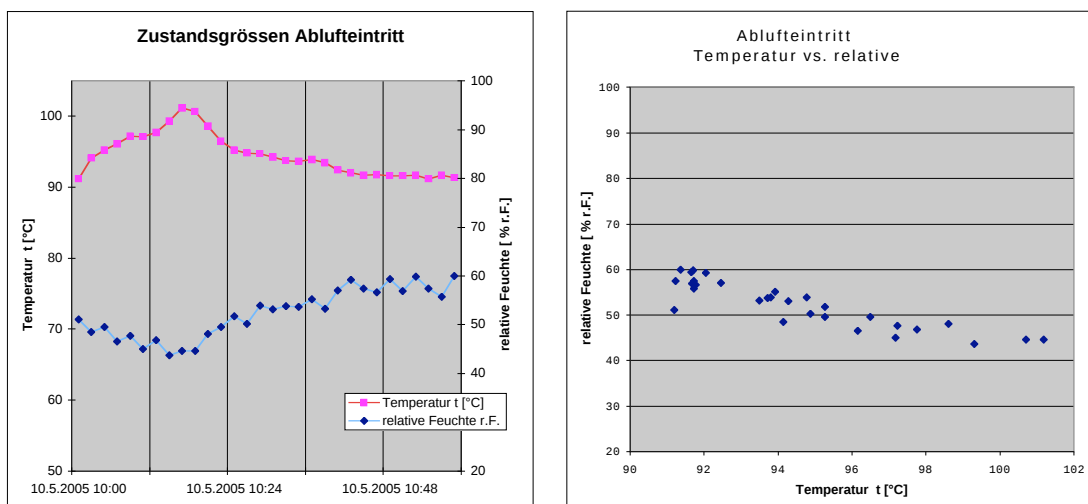
5 Messresultate

5.1 Zustandsgrößen Ablufteintritt

Die gemessenen Zustandsgrößen des Ablufteintritts werden als t_{11} und $r.F._{11}$ beispielhaft für die Versuchsreihen 1 und 2 in den nachfolgenden Figuren dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass die Messwerte nicht unmittelbar nach der Trocknungstrommel abgenommen wurden, sondern vor dem Plattenwärmetauscher. Die Werte widerspiegeln damit die für die Beurteilung der WRG massgeblichen Verhältnisse.



Figur 5.1: Zustandsgrößen Ablufteintritt für die Versuchsreihe 1



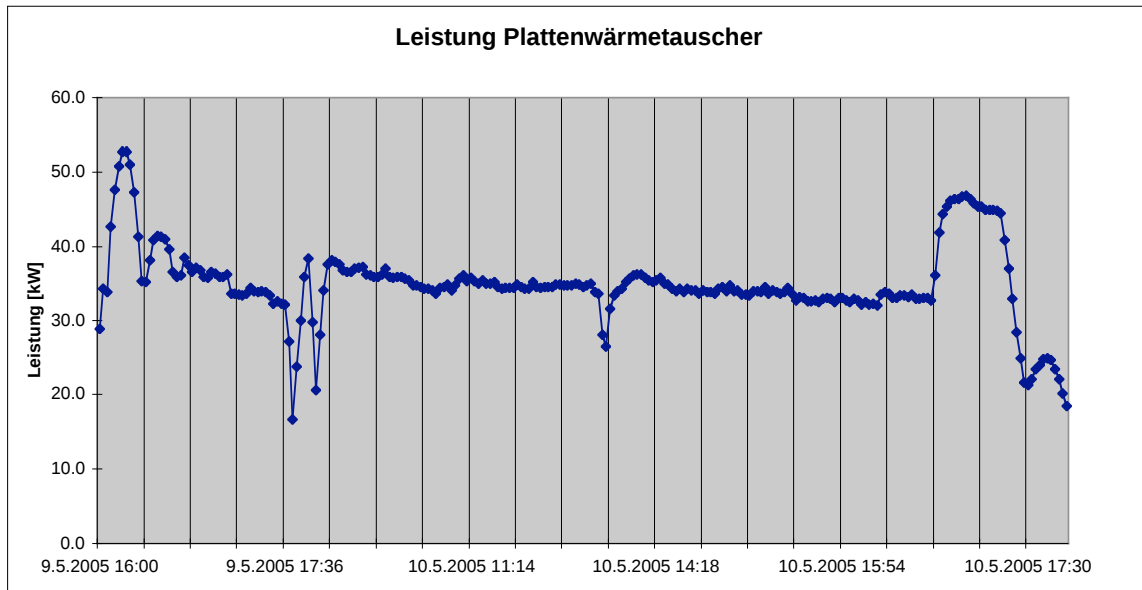
Figur 5.2: Zustandsgrößen Ablufteintritt für die Versuchsreihe 2

Insgesamt entsprechen die gemessenen Größen des Ablufteintritts den erwarteten Größen-ordnungen, wobei die relative Feuchtigkeit sich jedoch eher am unteren Rand der vorhergesagten Werte bewegt. Ebenfalls ist bei beiden Messreihen die erwartete Korrelation zwischen der Temperatur und der relativen Feuchtigkeit eindeutig feststellbar.

5.2 Leistung Plattenwärmetauscher

Für die Bestimmung der Wärmeübertragungsleistungen werden aus messtechnischen Gründen die Zustandsgrößen auf der Zuluft des Wärmetauschers herangezogen. Die Berechnung erfolgt nach der Formel:

$$P_1 = c_p \cdot \dot{q}_{m2} \cdot (t_{22} - t_{21})$$



Figur 5.3: Gemessene Wärmeleistung des Platten-Wärmetauschers am 9. und 10. Mai 2005, Messreihe 1 und 2¹

Die gemessenen Wärmeleistungen des Platten-Wärmetauschers korrespondieren befriedigend mit den berechneten Werten des Wärmetauscher-Herstellers. Die durchschnittliche gemessene Leistung während den Betriebszeiten am 9. und am 10. Mai beträgt 36 kW. Gemäss Auslegung bewegt sich die nominelle Leistung zwischen 35 kW (trocken) respektive 47 kW (feucht).

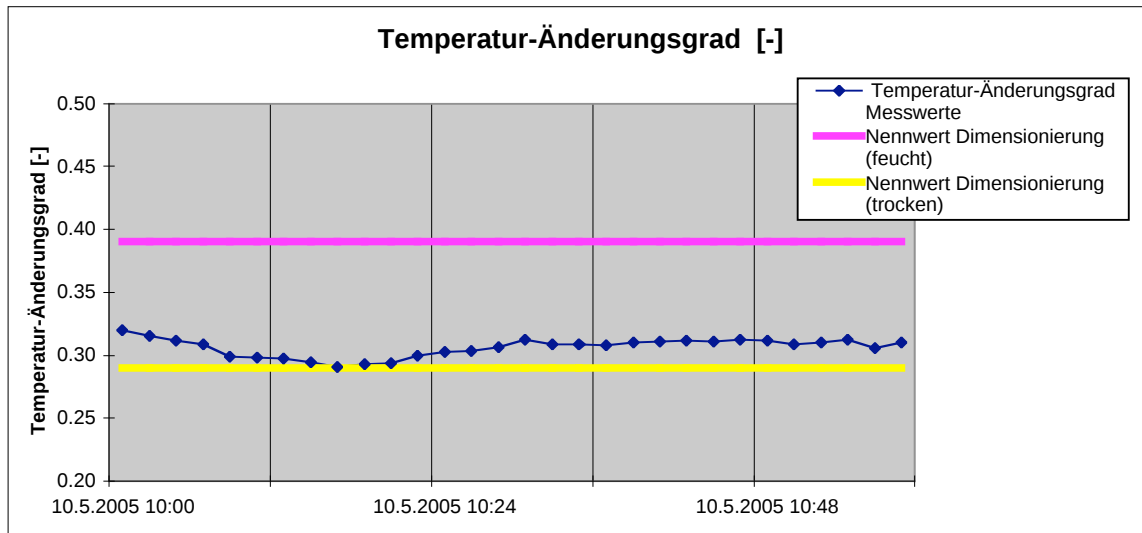
—

¹ Die Betriebsunterbrechungen ohne relevante Datenerfassung wurden herausgefiltert.

5.3 Temperatur-Änderungsgrad

In Anlehnung an die Norm EN 308, Wärmetauscher-Prüfverfahren [4] wird ebenfalls der Änderungsgrad der Temperatur η_t auf der Zuluftseite ausgewertet. Die Bestimmung dieser Grösse erfolgt nach der folgenden Formel:

$$\eta_t = (t_{22} - t_{21}) / (t_{11} - t_{21})$$



Figur 5.4: Temperatur- Änderungsgrad η_t für die Messreihe 2

Wie schon bei der Überprüfung der effektiven Wärmeleistung (Abschnitt 5.2) zeigt die Darstellung des Änderungsgrads als dimensionslose Grösse eine befriedigende Übereinstimmung zwischen den Nennwerten und den tatsächlichen Messdaten. Erwartungsgemäss liegen allerdings die tatsächlich erzielten Werte eher am unteren Rand des plausiblen Bereichs.

5.4 Betriebsverhalten / Verschmutzung

Einen wesentlichen Punkt der Versuchsreihe umfasst die Frage, wie sich der gewählte Platten-Wärmetauscher bezüglich Betriebsverhalten und Verschmutzung darstellt. Eine Filteranlage wurde aus ökonomischen Gründen von den Betrachtungen ausgeschlossen. Stattdessen wurde versucht, mittels Düsenstöcken die Oberfläche des Wärmetauschers zu besprühen und damit eine übermäßige Verschmutzung der Platten zu verhindern.

Bei konstantem Ventilator-Druck kann der Grad der Verschmutzung als zunehmender Druckverlust über den Wärmetauscher und damit über den sich vermindernenden Volumenstrom dargestellt werden. Die folgende Abbildung zeigt den Volumenstrom am 9. und 10. Mai 2005. Dabei wurde bei der Produktion von Trockengras der Platten-Wärmetauscher mit dem Düsenstock fortwährend besprüht. Die eingebrachte Wassermenge beträgt ca. 5 Liter pro Minute oder 300 Liter pro Stunde.

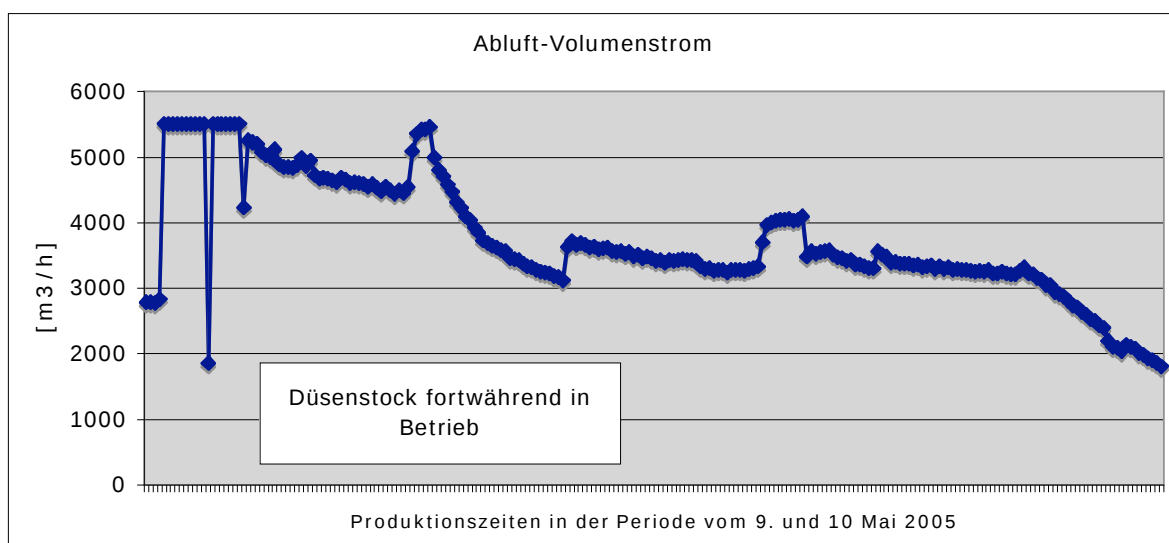


Bild 5.5: Abluft-Volumenstrom am 9. und 10. Mai 2005 (Messreihen 1 und 2, Trockengras)²

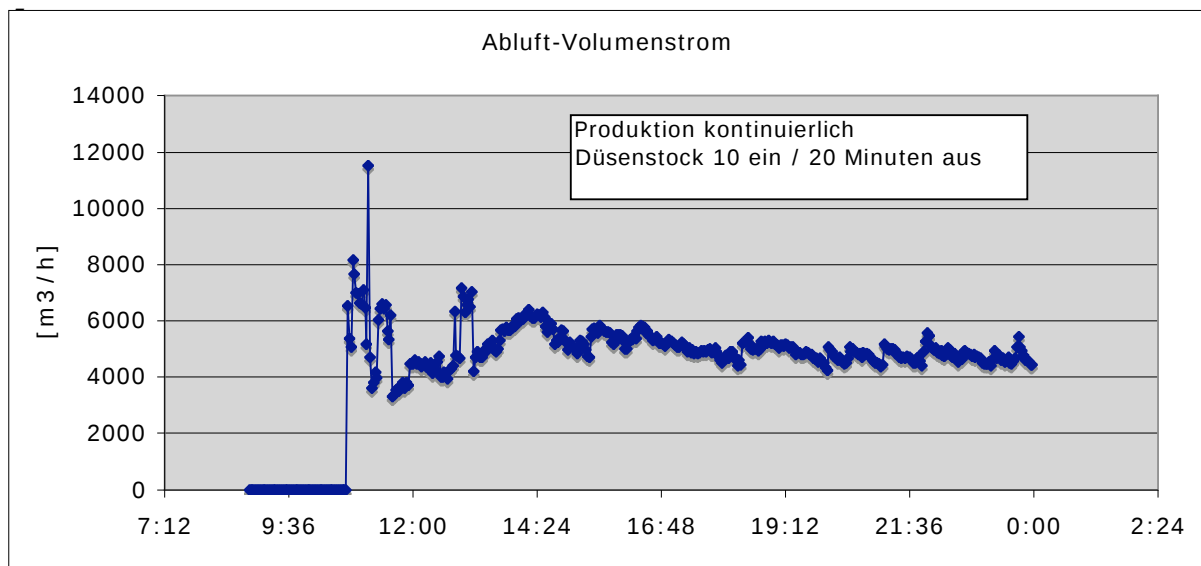
Wie die oben dargestellten Resultate zeigen, führte bei dieser Versuchsreihe die zunehmende Verschmutzung zu einem stetig abnehmenden Volumenstrom. Die Betriebsweise, bei welcher der Platten-Wärmetauscher mittels dem Düsenstock fortwährend besprüht wird, führt bei der Produktion damit eindeutig zu unbefriedigenden Resultaten.

Die Reinigung des Platten-Wärmetauschers konnte mit einem Hochdruck-Reiniger bewerkstelligt werden, ohne dass die Platten demontiert werden mussten.

Bei einer weiteren Messreihe wurde getestet, wie sich der Schmutzeintrag verhält, wenn bei einer kontinuierlichen Produktion die Platten nur periodisch besprüht werden. Dazu wurde eine Rhythmus gewählt, bei dem die Düsenstöcke während 10 Minuten in Betrieb waren, um danach den Prozess während 20 Minuten ohne Besprühung zu betreiben.

—

² Während der Dauer der Messungen waren produktionsbedingt mehrere Betriebsunterbrüche zu bezeichnen. Diese wurden für die Darstellung herausgefiltert, weswegen die Zeitskala nur allgemein angegeben werden.



s

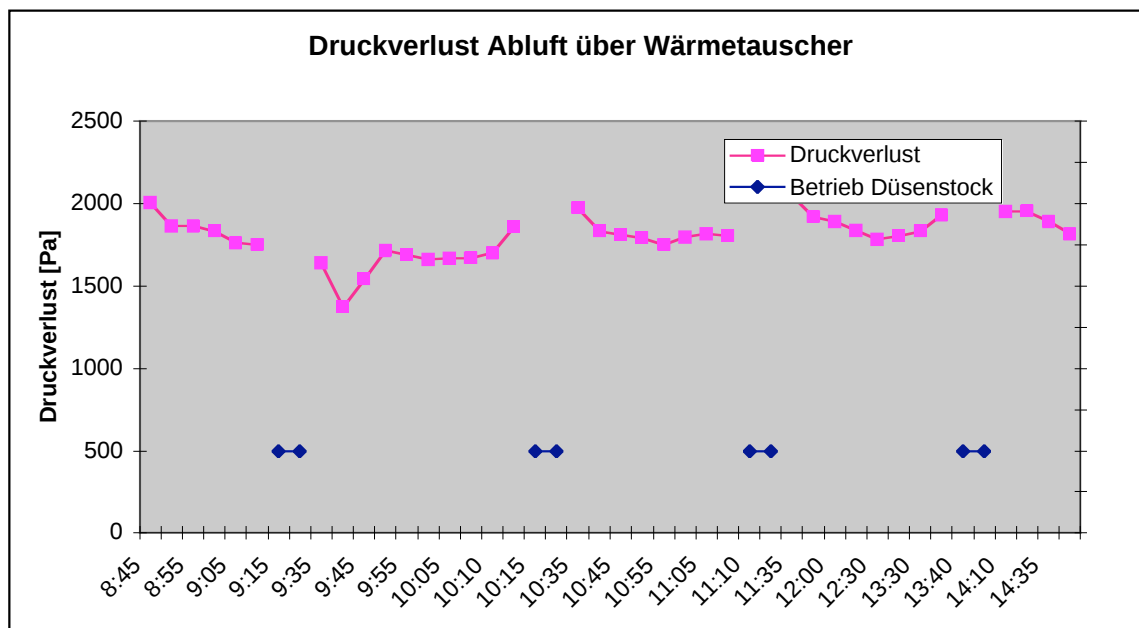
Figur 5.6: Volumenstrom Fortluft am 8. Juni 2005 (Messreihe 3, Produktion von Holzpellets)

Nach einer unruhigen Phase während dem Aufstarten des Prozesses stellt sich nach einigen Minuten ein Betriebsverhalten ein, bei welchem der Staub- und Schmutz relativ zufällig ein- und ausgetragen wird und dadurch der gemessene Volumenstrom innerhalb eines Bandes von 4000 bis 6000 m³/h konstant bleibt. Wir erklären uns dieses Verhalten dadurch, dass sich durch die periodische Besprühung auf den Platten instabile Zustände aufbauen und dadurch der Verschmutzungsgrad positiv beeinflusst wird. Diese zwar interessante Beobachtung muss jedoch relativiert werden, da sich die Messreihe 3 auf die Produktion von Holz-Pellets bezieht.

Um diese Zusammenhänge weiter zu vertiefen, haben wir bei der Messreihe 4 diese Betriebsweise nochmals näher betrachtet. Dabei haben wir während der Produktion von Trockengras verschiedene Einstellungen bezüglich Besprühung geprüft. Leider stand uns dabei aus organisatorischen Gründen nicht mehr die gesamte Messdatenerfassung zur Verfügung. Aus diesem Grund wird die Verschmutzung lediglich durch den Druckverlust über den Plattenwärmetauscher kontrolliert³.

—

³ Da die Kennlinie des Abluft-Ventilators nicht bekannt ist, wird auf eine rechnerische Darstellung des Volumenstroms verzichtet.



Figur 5.7: Druckverlust Abluft über den Platten-Wärmetauscher am 14. Juli 2005 (Messreihe 4)

Mit dieser Betriebsweise haben wir festgestellt, dass die Ablagerung von Staub und Schmutz auf den Platten sowie deren Ablösung mehrheitlich zufällig geschieht. Wie schon bei der Messreihe 3, bei welcher der Düsenstock ebenfalls periodisch in Betrieb gesetzt wurde, stellt sich auch hier keine kontinuierlich zunehmende Verschmutzung ein.

6 Synthese

6.1 Diskussion der Messresultate

Leistung / Temperatur-Änderungsgrad: Grundsätzlich bewegen sich die gemessenen Leistungen und Kennzahlen in einem Bereich, wie sie aufgrund der Datenblätter des Wärmetauschers erwartet werden können.

Verschmutzung: Aufgrund der Ergebnisse und Beobachtungen der verschiedenen Messreihen können wir feststellen, dass ein Platten-Wärmetauscher ohne zusätzliche Vorkehrungen aufgrund der zunehmende Verschmutzung verschliesst⁴. Die Versuche haben jedoch gezeigt, dass mit dem intermittierenden Besprühen der Platten erste Ansätze gefunden wurden, um ein bezüglich Verschmutzung stabiler Zustand zu erreichen. In einer allfälligen zweiten Phase (Planung und Durchführung von Langzeit-tests zur Sicherstellung der technischen Machbarkeit) ist dieser Punkt auf jeden Fall zu vertiefen und zu bestätigen.

Dabei sollte auch der Ort der Verschmutzung nochmals gezielt überprüft werden, um damit die Mechanik des Eintrags genauer zu untersuchen. Es ist zu erwarten, dass durch eine verbesserte Geometrie der Luftführung im Tauscher eine laminare Anströmung erreicht werden kann. Damit würde sich auch die Verschmutzung merklich verringern.

6.2 Verwendung der Abwärme Variante 1: Vorwärmung der Prozess-Zuluft

Sowohl bei der Trocknungsanlage Willisau wie auch bei den meisten anderen Trocknungsanlagen in der Schweiz muss davon ausgegangen werden, dass die verfügbare Abwärme einer Trocknungsanlage weder einer benachbarten noch einer externen Senke zugeführt werden kann:

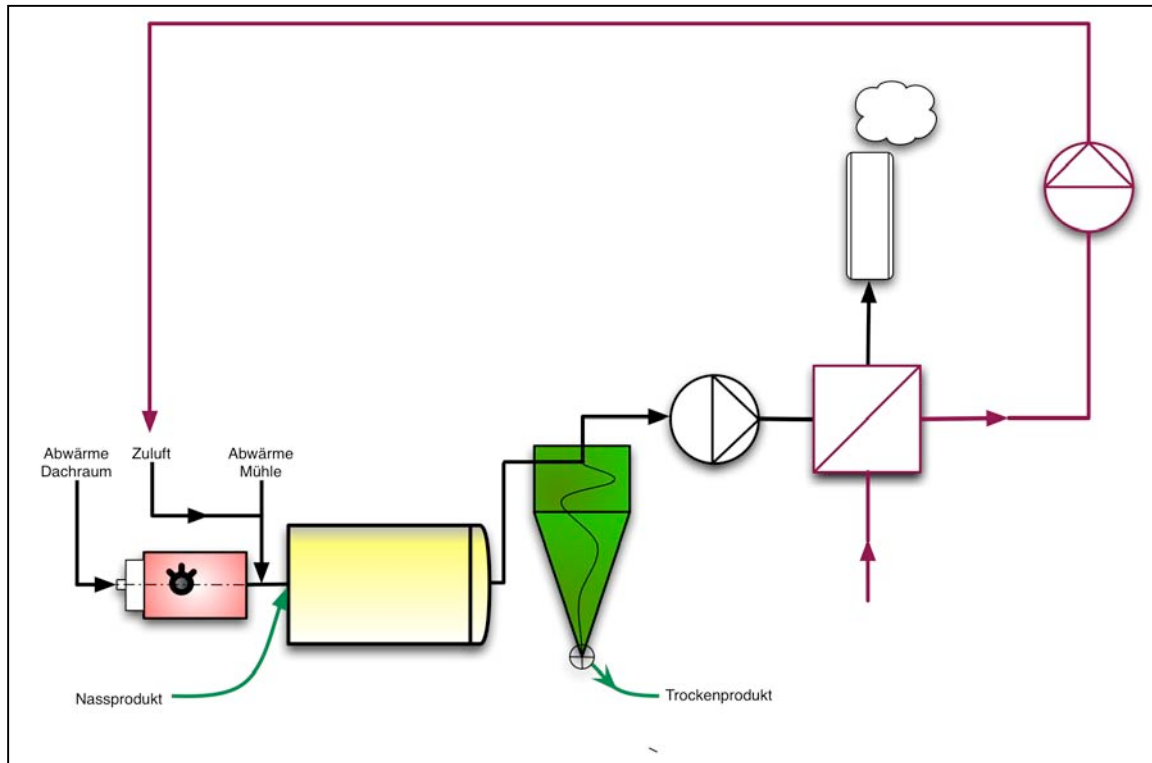
Die meisten Trocknungsanlagen befinden sich in einem ländlichen Gebiet, und in der Nachbarschaft befinden sich keine geeigneten Wärmeabnehmer;

Zudem produzieren die Trocknungsanlagen hauptsächlich ausserhalb der Heizsaison, was die sinnvolle Verwendung der Abwärme zusätzlich erschwert.

Damit stellt sich die Aufgabe, die verfügbare Abwärme direkt wieder in den Trocknungsprozess einzuspeisen. Nachfolgend werden verschiedene Varianten dargestellt und auf die ökonomische Realisierbarkeit überprüft.

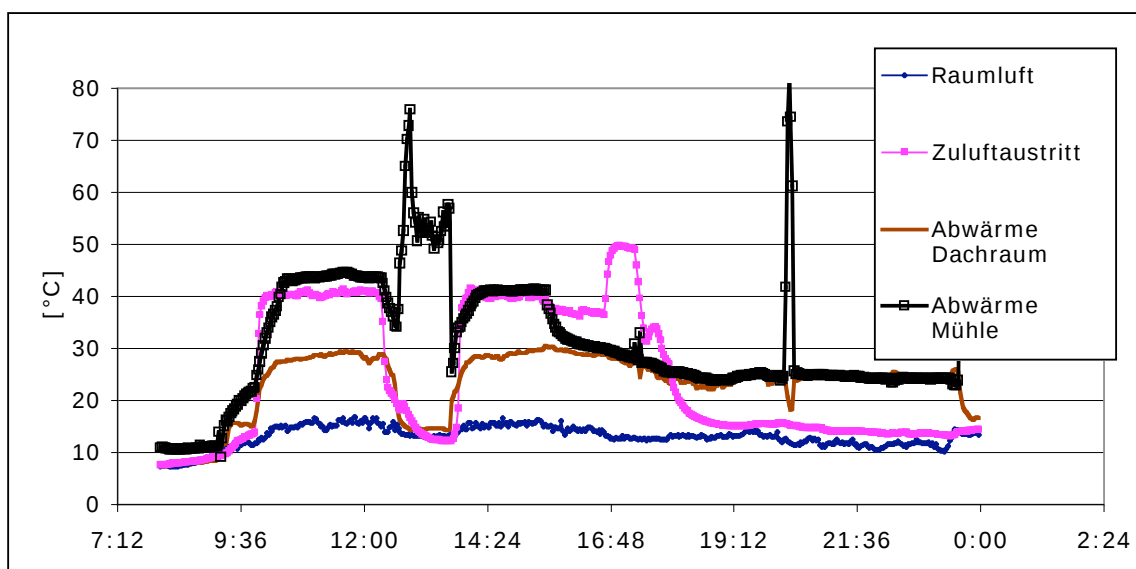
⁴ Eine Filteranlage kann aus ökonomischen und produktionstechnischen Überlegungen nicht realisiert werden.

Als Variante 1 wird die Möglichkeit untersucht, die durch die Wärmerückgewinnung vorgewärmte Zuluft direkt dem Trocknungsprozess zuzuführen. Die entsprechende Anordnung ist in der folgenden Figur schematisch dargestellt.



Figur 6.1: Schematische Darstellung Variante 1

Wie aus diesem Schema hervorgeht, steht bei dieser Variante die ausgekoppelte Abwärme aus dem Abluftstrom in direkter ‚Konkurrenz‘ zu anderen Abwärmequellen. Im Fall der Trocknungsanlage Willisau werden sowohl die Abwärme der Mühle wie auch die Abwärme, welche im Dachraum der Produktionshalle gefasst wird, dem Prozess zugeführt. Beide Abwärmequellen können durch einfache und kostengünstige Installationen erschlossen und nutzbar gemacht werden.



Figur 6.2: Verlauf der Temperaturen Raumluft, Zuluftaustritt, Abwärme Dachraum und Abwärme Mühle am 10. Mai 2005 (Messreihe 2)

Die gemessenen Grössen zeigen eindeutig, dass die Abwärmequelle aus der WRG (gemessen als Temperatur Zuluftaustritt) keine wesentliche Verbesserung der thermodynamischen Verhältnisse bewirkt. Die Temperaturen der Abwärmen ‚Dachraum‘ und ‚Mühle‘ weisen ähnliche Temperaturen auf wie die vorgewärmte Zuluft nach der Wärmerückgewinnung⁵.

Die Installationen für die Nutzung der Abwärmen ‚Dachraum‘ und ‚Mühle‘ sind im Normalfall sehr kostengünstig zu realisieren respektive bei der Anlage in Willisau bereits vorhanden. Damit ist eine Wärmerückgewinnung mittels Wärmetauscher mit dieser Variante aus ökonomischer Sicht eindeutig uninteressant.

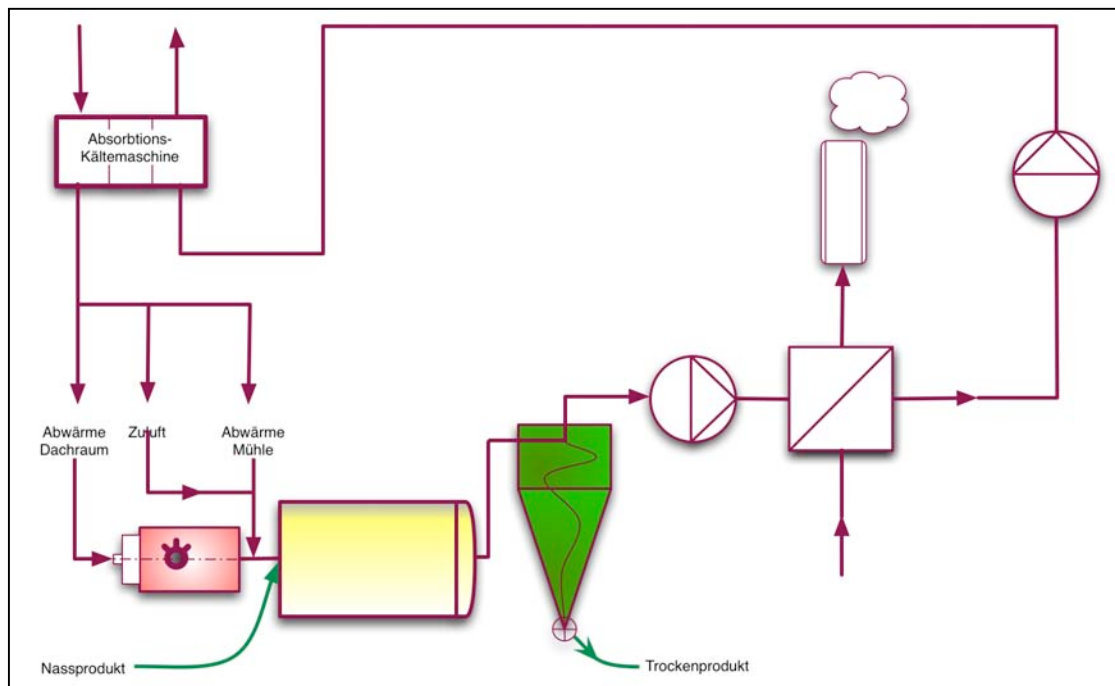
—

⁵ Diese Aussage würde sich allenfalls relativieren, wenn die Menge des verfügbaren Abwärmestroms aus der Mühle limitiert wäre. Bereits heute kann jedoch je nach Betriebszustand und Auslastung der Trocknungstrommel nicht die gesamte Abwärme aus der Mühle verwendet werden.

6.3 Verwendung der Abwärme Variante 2: Vortrocknung der Zuluft

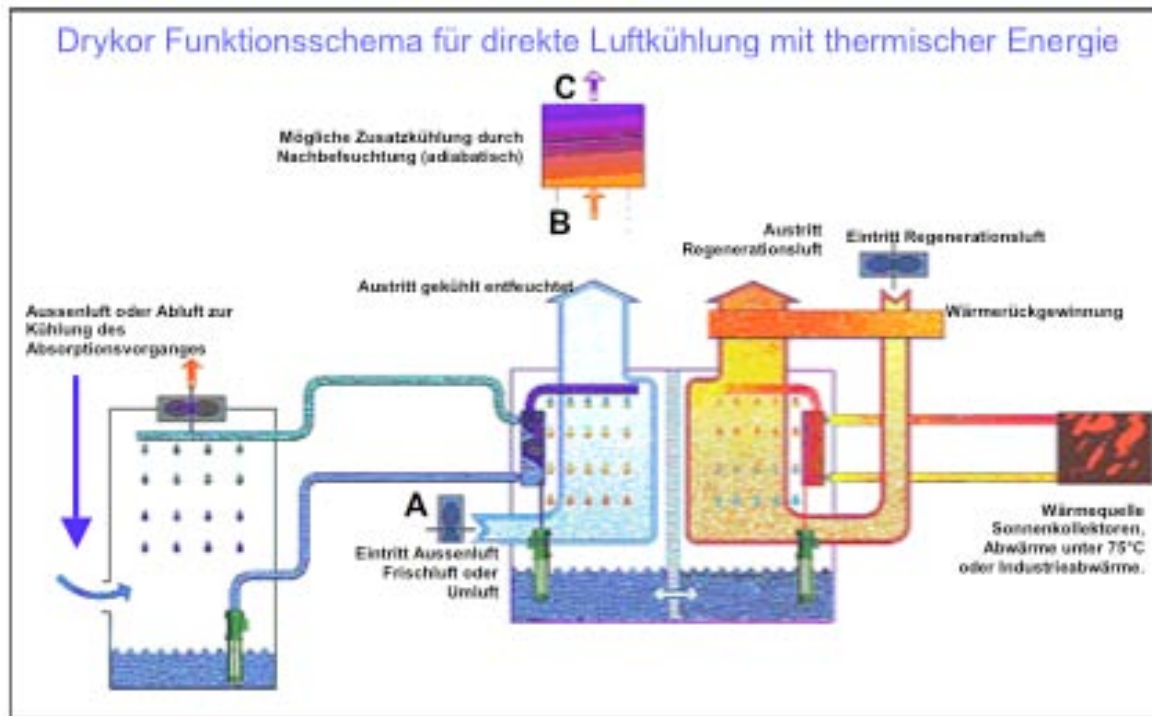
Eine weitere Variante zur Verwendung der Abwärme besteht darin, die Zuluft mittels einer Absorptions-Kältemaschine vorzutrocknen. Die prinzipielle Idee besteht darin, dem gesamten Prozess insgesamt weniger Feuchtigkeit zuzuführen und damit eine Effizienzverbesserung zu erreichen.

In der nachfolgenden Abbildung ist eine vereinfachte Darstellung des entsprechenden Prozesses dargestellt.



Figur 6.3: Schematische Darstellung der Variante 2

Für die Vortrocknung der Zuluft kann grundsätzlich ein Absorptionsprozess mittels LiCl-Lösung angedacht werden. In der nachfolgenden Figur ist das entsprechende Funktionsschema einer DryKor-Anlage (Vertrieb Firma ECOPAC, Herliberg) dargestellt.



Figur 6.4: Funktionsschema für direkte Luftkühlung / Trocknung mit thermischer Energie (Quelle DryKor / ECOPAC Herrliberg)

Für die Vortrocknung der Zuluft stellen sich mit diesem relativ komplexen Prozess einige grundsätzliche Schwierigkeiten wie Regulierbarkeit, Anfahrverhalten und Betriebs-Stabilität. Aus heutiger Sicht kann noch nicht beurteilt werden, ob sich diese Hürden überwinden lassen. Trotzdem erfolgt an dieser Stelle eine Abschätzung des Potenzials hinsichtlich Verbesserung der Energie-Effizienz.

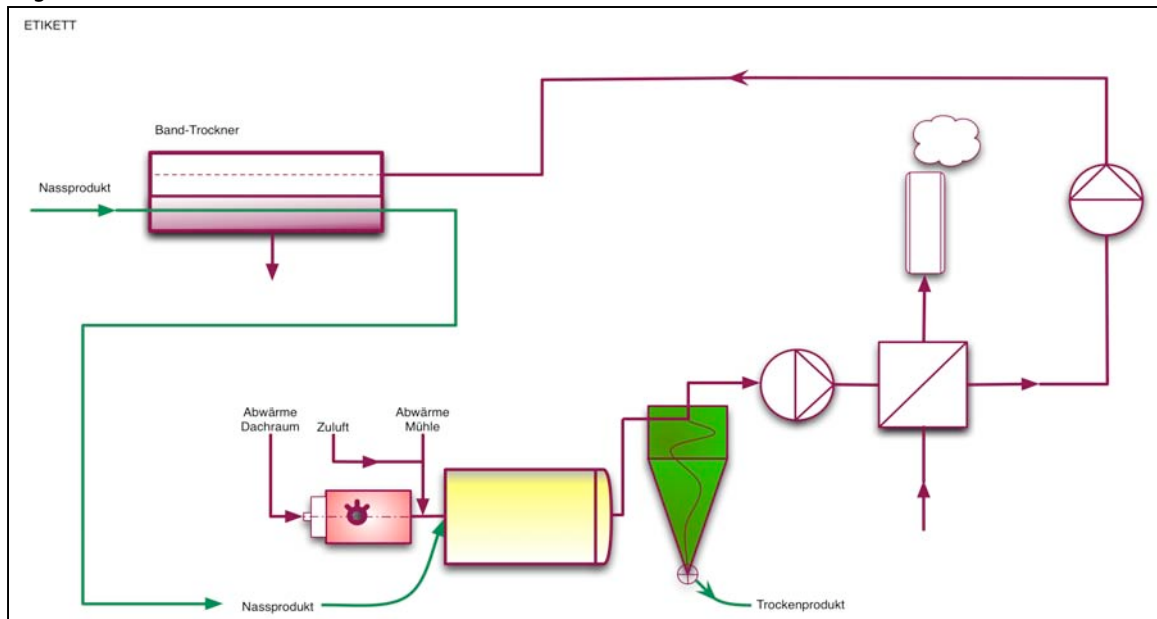
Bezeichnung	Einheit	Wert
Luftstrom trocken	kg/h	14000
thermische Leistung Trocknungsanlage	kW	3900
Verdampferleistung Trocknungsanlage	kg/h	4200
Luftfeuchtigkeit vor dem Vortrockner	g/kg	10
Luftfeuchtigkeit nach dem Vortrockner	g/kg	5
Trocknungsleistung Vortrockner	kg/h	70
Verbesserung Energie-Effizienz		2%

Tabelle 6.1: Abschätzung der Verbesserung der Energie-Effizienz durch Vortrocknung ohne Berücksichtigung der Hilfsenergien.

Die Abschätzung des Potenzials hinsichtlich Verbesserung der Energie-Effizienz ergibt lediglich ca. 2 Prozent. Damit ist auch die Variante 2 eindeutig nicht ökonomisch darstellbar. Auch aus technischer Sicht wäre es problematisch, die sich abzeichnenden technischen Schwierigkeiten mit dem bescheidenen Potenzial von lediglich 2% zu rechtfertigen.

6.4 Verwendung der Abwärme Variante 3: WRG kombiniert mit Vorprozess

Als Variante 3 wird untersucht, wie die verfügbare Abwärme aus dem Trocknungsprozess einem vorgelagerten Prozess zugeführt werden kann. Zu diesem Zweck wird vor der Trocknungstrommel ein Bandtrockner vorgeschaltet⁶. Solche Bandtrockner sind in der Branche bereits bekannt, werden jedoch bis heute direkt mit der Brüde beschickt. Bei unserer Variante kommt trockene Luft zum Einsatz, welche über den Plattenwärmetauscher aufgewärmt wird.



Figur 6.5: Schematische Darstellung Variante 3

Bei dieser Variante kann der Luftvolumenstrom über den Plattenwärmetauscher bedeutend grösser gewählt werden, da der Luftbedarf des Vorprozesses frei gewählt werden kann. Nach Berücksichtigung verschiedener technischer Überlegungen und sowie einer ersten Optimierung bei der Auslegung des Plattenwärmetauschers schlagen wir vor, die Abluft (Brüde) mit normaler Raumluft ungefähr im Verhältnis 4:1 zu mischen, um damit für die Geometrie des Wärmetauschers optimale Voraussetzungen zu erzielen.

Für die weiteren Betrachtungen berücksichtigen wir damit den folgenden Platten-Wärmetauscher:

⁶ Als weitere Möglichkeit könnte auch eine Trocknungstrommel Verwendung finden.

Fabrikat: Polybloc AG, Winterthur
 Ausführung: WBY-2020.24259CA
 Material Platten: Aluminium

		Abluft		Zuluft	
		Ein	Aus	Ein	Aus
Volumenstrom	m ³ /h	15827		21784	
Dichte	kg/m ³	0.948	0.954	1.157	0.955
Massenstrom	kg/s	4.167		7000	
Spaltgeschwindigkeit	m/s		1.4		1.9
Druckverlust	Pa		103		183
Temperatur trocken / feucht	°C	75	72.5	12	49 / 72.3
relative Feuchte	%	96.3	100	50	
Rückwärmezahl trocken	-				0.59
Rückwärmezahl feucht	-				0.96
Enthalpie	kJ/kg	1115	1013	23.7	84.7
Leistung trocken / feucht	kW	263 / 423			
Abmessung	mm	2400 / 2400 / 2800			
Oberfläche	m ²	10231			
Heizfläche	m ²	4263			

Tabelle 6.2: Dimensionierung Plattenwärmetauscher Variante 3⁷

Der eigentliche Vorprozess, bei dem das zu verarbeitende Produkt mittels der Abwärme aus der WRG vorgetrocknet wird, kann grundsätzlich auf verschiedene Arten gestaltet werden. Wir sehen im vorliegenden Fall von einem Band-Vortrockner vor. Diese Technologie hat sich bei Trocknungsanlagen in anderen Zusammenhängen bereits bewährt und bewirkt neben den energietechnischen Vorteilen auch eine Reduktion der Staubemissionen. Zur Illustration ist in der nachfolgenden Figur ein entsprechendes Fabrikat abgebildet.

—

⁷ Die gewählte Grösse des Plattenwärmetauschers orientiert sich an Überlegungen, welche die Optimierung der Investitionsgrössen zum Ziel hat. Als zweite Möglichkeit könnte auch eine energietechnische Optimierung ins Auge gefasst werden. Diese Variante wird durch die Firma Kunz dryTec unter der Bezeichnung EcoTwin bereits heute am Markt angeboten. Aus wirtschaftlichen Gründen konnte sich diese jedoch erst bei den ganz grossen Trocknungsanlagen etablieren, welche neben den landwirtschaftlichen Produkten auch noch andere Güter verarbeiten und damit bedeutend mehr Betriebsstunden generieren.

Eine approximative Berechnung der Verbesserung der Energie-Effizienz durch einen Vor-Prozess mittels WRG ergibt die folgenden Grössen:

Bezeichnung	Einheit	Wert	
		max.	min.
Luftstrom trocken	kg/h	14000	
thermische Leistung Trocknungsanlage	kW	3900	
Verdampferleistung Trocknungsanlage	kg/h	4200	
Effizienz-Verbesserung durch Bandrockner		9%	
Thermische Leistung WRG	kW	423	263
Verbesserung Energie-Effizienz durch WRG	-	10%	7%
Verbesserung Energie-Effizienz total	-	19%	16%

Tabelle 6.3: approximative Berechnung der Verbesserung der Energie-Effizienz durch einen Vor-Prozess mittels Bandrockner, kombiniert mit WRG. Die energetische Wirkung des Bandrockners von 9% entspricht den Erfahrungswerten von realisierten Anlagen [5].

Die Basis für die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit bildet der Median des Energieverbrauchs der 20 grössten Trocknungsanlagen in der Schweiz. Für die Energiepreise werden verschiedene Referenzgrössen angenommen: Die gewählte Preisspanne bewegt sich von CHF 0.50 bis CHF 0.80 pro Liter Heizöl Extraleicht (HEL).

Bezeichnung	Einheit	Wert	
		max.	min.
Investitionskosten WRG kombiniert mit Band-Vortrockner	CHF	720'000	720'000
Jahres-Energieverbrauch Heizöl Extra leicht	Liter HEL/a	650'000	650'000
Effizienz-Verbesserung durch Band-Vortrockner mit WRG	-	19%	16%
Jährliche Energie-Einsparung	Liter HEL/a	123'964	102'333
Preisbasis A			
Heizöl Extra leicht	CHF/Liter HEL	0.50	0.50
Jährliche Kosteneinsparung Heizöl Extra leicht	CHF/a	61'982	51'167
Hilfsenergien	CHF/a	-12'600	-12'600
Jährliche Kosteneinsparung total	CHF/a	49'382	38'567
Rückzahldauer der Investition	Jahre	15	19
Preisbasis B			
Heizöl Extra leicht	CHF/Liter HEL	0.65	0.65
Jährliche Kosteneinsparung Heizöl Extra leicht	CHF/a	80'577	66'517
Hilfsenergien	CHF/a	-12'600	-12'600
Jährliche Kosteneinsparung total	CHF/a	67'977	53'917
Rückzahldauer der Investition	Jahre	11	13
Preisbasis C			
Heizöl Extra leicht	CHF/Liter HEL	0.80	0.80
Jährliche Kosteneinsparung Heizöl Extra leicht	CHF/a	99'171	81'867
Hilfsenergien	CHF/a	-12'600	-12'600
Jährliche Kosteneinsparung total	CHF/a	86'571	69'267
Rückzahldauer der Investition	Jahre	8	10
Anmerkungen:			
ohne Berücksichtigung der Ertragssteigerung durch höhere Stundenleistung			
ohne Reparatur und Unterhalt			

Tabelle 6.4: Abschätzung der Wirtschaftlichkeit Variante 3:

Bei einer geschätzten Investitionsgrösse von CHF 720'000.- beträgt die abgeschätzte Rückzahldauer der Investition im besten Fall 8 Jahre. Für die weiteren Betrachtungen muss man jedoch realistischer Weise von einer Rückzahldauer von 10 bis 15 Jahren ausgehen.

7 Schlussfolgerung

Leistung / Temperatur-Änderungsgrad: Grundsätzlich bewegen sich die gemessenen Leistungen und Kennzahlen in einem Bereich, wie sie aufgrund der Datenblätter des Wärmetauschers erwartet wurden. Diese gute Übereinstimmung darf als positives Resultat bewertet werden. Einschränkungen ergeben sich allenfalls durch den Umstand, dass durch die Verschmutzung auf einem Teil der Platten die physikalischen Verhältnisse nicht mehr den gerechneten Zuständen entsprechen. Offensichtlich bewirkt aber dieser Effekt lediglich eine untergeordnete Rolle bezüglich der übertragenen Wärmeleistung.

Verschmutzung: Aufgrund der Ergebnisse und Beobachtungen der verschiedenen Messreihen können wir feststellen, dass ein Platten-Wärmetauscher ohne zusätzliche Vorkehrungen aufgrund der zunehmende Verschmutzung verschleißt. Die Versuche haben jedoch gezeigt, dass mit dem intermittierenden Besprühen der Platten erste Ansätze gefunden wurden, um ein bezüglich Verschmutzung stabiler Zustand zu erreichen. In einer allfälligen zweiten Phase (Planung und Durchführung von Langzeit-Tests zur Sicherstellung der technischen Machbarkeit) ist dieser Punkt auf jeden Fall zu vertiefen und zu bestätigen.

Verwendung der Abwärme: Sowohl bei der Trocknungsanlage Willisau wie auch bei den meisten anderen Trocknungsanlagen in der Schweiz muss davon ausgegangen werden, dass die verfügbare Abwärme einer Trocknungsanlage weder einer benachbarten noch einer externen Senke zugeführt werden kann. Damit stellt sich die Aufgabe, die verfügbare Abwärme direkt wieder in den Trocknungsprozess einzuspeisen. Es wurden 3 verschiedene Varianten dargestellt und auf die ökonomische Realisierbarkeit überprüft. Dabei hat sich gezeigt, dass keine der untersuchten Varianten eine befriedigende Wirtschaftlichkeit erreicht.

Ausblick: Insgesamt zeigt sich, dass die untersuchten technischen Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz bei fossil betriebenen Trocknungsanlagen kein befriedigendes Bild abgeben. Ein wichtiger Grund liegt in den vergleichsweise tiefen Jahresbetriebsstunden, welche in der Branche selten mehr als 2000 Stunden betragen. Bei allen Varianten liegen die Amortisationszeiten bei mehr als 10 Jahren. Aufgrund dieser unbefriedigenden Resultate wird die Projektidee nicht weiter verfolgt.

8 Danksagung

Die vorliegenden Untersuchungen wurden durch das Bundesamt für Energie (BFE) gefördert und begleitet. Für die Unterstützung und kooperative Zusammenarbeit bedanken wir uns bestens.

Ein herzliches Dankeschön geht an die Familie Bürli, Willisau / Gettnau, die mit einem grossen persönlichen und finanziellen Engagement die Arbeiten mitgetragen hat.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei den Mitgliedern der Begleitgruppe, welche bei massgeblichen Fragen kompetente und verlässliche Ansprechpartner waren.

9 Literatur

- [1] Verband Schweizerischer Trocknungsbetriebe VSTB, Jahresbericht 2003, Alberswil, März 2004.
- [2] Stefan Krummenacher, Energie Treuhand ETL AG; Erläuterungen zur Zielvereinbarung VSTB, September 2003, (unveröffentlicht).
- [3] W. Kunz dryTec AG, Dintikon, Verkaufsunterlagen, undatiert (ca. 1980).
- [4] Europäische Norm EN 308; Wärmeaustauscher-Prüfverfahren zur Bestimmung der Leistungskriterien von Luft/Luft- und Luft/Abgas-Wärmerückgewinnungsanlagen, Europäisches Komitee für Normung, Brüssel, 1997.
- [5] Thomas Lang et al.; Optimierung Trocknungsanlagen, Vorgehenswerkzeug für Geschäftsführer und Trocknungsmeister, Verband Schweizerischer Trocknungs-Betriebe VSTB, Alberswil, 2004.
- [6] H. Recknagel Sprenger Schramek; Taschenbuch für Heizung+Klimatechnik, 72. Auflage, Oldenburg Industrieverlag, München, 2004.
- [7] V. Gnielski A. Mersmann F. Thurner; Verdampfung, Kristallisation, Trocknung, 1. Auflage, Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden, 1993.

10 Anhang

A1: Messdatenerfassung

Messdaten erfassen: Neutro-WRG Willisau							
Standort:		Bytes total:		Bytes / Mess.	Mess.- Beginn	Mess.- Ende	
Logger: Datataker Typ 605 / 1.16 HP 001		169'243		9955	2. Mai 05	15. Mai 05	
K - Nr	Messstelle	Schema	Fühl. Typ	Fühl. Nr	Fühl. Rohwerte	Logg.- Messber.	Messinterv.
1	Temperatur Fortluft Eintritt	TR211	Rotr.	1.09 HP 049	V		
2	Rel.- Feuchte Fortluft Eintritt	MR411	Rotr.	1.09 HP 049	V		
3	Temperatur Aussenluft Eintritt	TR221	Rotr.	1.09 HP 036	V		
4	Rel.- Feuchte Aussenluft Eintritt	MR421	Rotr.	1.09 HP 036	V		
5	Temperatur Fortluft Austritt	TR212	Rotr.		V		
6	Rel.- Feuchte Fortluft Austritt	MR412	Rotr.		V		
7	Temperatur Aussenluft Austritt	TR222	Rotr.		V		
8	Rel.- Feuchte Aussenluft Austritt	MR422	Rotr.		V		
9	Diff.- Druck über Varycontrol Fortluft	PDR310	E+H	1.07 HP 118	V	0...500 Pa -> 2...10V	
10	Diff.- Druck über Varycontrol Aussenluft	PDR320	E+H	1.07 HP 087	V	0...500 Pa -> 2...10V	
C1							
C2							
C3							
D1							
D2							
D3							
D4							
Logger: Datataker 1.- Erweit. / 1.16 HP 004							
1:1	Barometer	PR300	Haenni	1.07 HP 003	V	0...2.5V-> 850...1100 mbar	
1:2	Temperatur Raumluft	TR201	Pt-100	1.03 HP 135	PT100-4W		
1:3	Temperatur Zuluft Brenner	TR202	Pt-100	1.03 HP 168	PT100-4W		
1:4	Temperatur Zuluft Sekundär	TR203	Pt-100	1.03 HP 170	PT100-4W		
1:5							
1:6							
1:7							
1:8							
1:9							
1:10							
Logger: Datataker 2.- Erweit. / 1.16 HP ...							
K - Nr	Messstelle	Schema	Fühl. Typ	Fühl. Nr	Fühl. Rohwerte	Logg.- Messber.	Messinterv.
2:1							
2:2							
2:3							
2:4							
2:5							
2:6							
2:7							
2:8							
2:9							
2:10							