

# Filterreinigung mittels Abwärmenutzung in einem metallverarbeitenden Betrieb

P. Enzinger, R. Padinger, R. Stiglbrunner

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**72/2006**

**Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# Filterreinigung mittels Abwärmennutzung in einem metallverarbeitenden Betrieb

Projektleiter:  
Peter Enzinger  
JOANNEUM RESEARCH  
Institut für Energieforschung

Projektpartner:  
Dr. Reinhard Padinger,  
Dr. Rudolf Stiglbrunner  
JOANNEUM RESEARCH  
Institut für Energieforschung

Graz, Mai 2004

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



Institut für  
Energieforschung

---

Koordination: JOANNEUM RESEARCH

## INSTITUT FÜR ENERGIEFORSCHUNG

ELISABETHSTRASSE 5, A-8010 GRAZ  
TEL. (0316) 876/1338  
FAX (0316) 876/1320

*Im Auftrag des  
Forschungsförderungs fonds für die gewerbliche Wirtschaft (FFF) und der  
Joh. Pengg AG*

*Projekt Nr.: IEF.2002.GF.012-01  
Bericht Nr.: IEF-B-13/03*

*60 Seiten*

Projekt Nr.: IEF.2002.GF.012-01  
Bericht Nr.: IEF-B-13/03  
Datum: 31. Mai 2004



---

J. Spitzer  
Institutsleiter

---

P. Enzinger  
Projektleiter

## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT. Sie wurde im Jahr 2000 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT sollen durch Forschung und Technologieentwicklung innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential initiiert und realisiert werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse – seien es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Homepage [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at) und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



## INHALTSVERZEICHNIS

Kurzfassung I.....	5
Summary I .....	6
Kurzfassung II.....	7
Summary II.....	12
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>17</b>
<b>2 Ziele des Projekts .....</b>	<b>19</b>
<b>3 Inhalte und Ergebnisse des Projekts .....</b>	<b>20</b>
3.1 Erhebung der Verfahrensabläufe und Änderung des Konzeptes .....	20
3.2 Detailmessungen und anschließend Konzeption, Bau und Installation der Messanlage .....	21
3.3 Messung des Istzustandes und Optimierungsversuche zum Wasserausblasen .....	28
3.4 Konzeption der Trocknungsvorrichtung mit Tests in bestehender Trockenkammer .....	37
3.5 Konzeption des abwärmebetriebenen Trockners und Wirtschaftlichkeitsüberlegungen .....	39
<b>4 Detailangaben zu den Zielen der "Fabrik der Zukunft" .....</b>	<b>42</b>
4.1 Prinzip der Dienstleistungs-, Service- und Nutzenorientierung .....	42
4.2 Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen .....	42
4.3 Effizienzprinzip .....	43
4.4 Prinzip der Rezyklierungsfähigkeit .....	43
4.5 Prinzip der Einpassung, Flexibilität, Adaptionfähigkeit und Lernfähigkeit .....	43
4.6 Prinzip der Fehlertoleranz und Risikovorsorge .....	43
4.7 Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität .....	43
<b>5 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen .....</b>	<b>44</b>
<b>6 Ausblicke/Empfehlungen .....</b>	<b>44</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>45</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>45</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>45</b>
<b>Diagrammverzeichnis .....</b>	<b>46</b>
<b>Anhangverzeichnis .....</b>	<b>46</b>
<b>Anhänge I bis V</b>	



## **Kurzfassung I**

Die Joh. Pengg AG mit Sitz in Thörl in der Steiermark produziert ölschlussvergütete Drähte für die Automobil-, Elektro- und Maschinenbauindustrie. Die Herstellung dieser Drähte ist energieintensiv mit prozessbedingten Erwärmungs- und Abkühlungsvorgängen sowie Verformungsschritten. Die Abtrennung und Entsorgung von Produktionsrückständen ist von erheblicher wirtschaftlicher und ökologischer Bedeutung.

Ein wichtiges Beispiel dafür ist das Abscheiden von Feststoffen aus dem Abwasser der Neutralisationsanlage, wofür eine Kammerfilterpresse verwendet wird. Der in der Kammerfilterpresse anfallende Filterkuchen wird täglich einmal entleert. Dazu wird der Filterkuchen zuvor in der Kammerfilterpresse mit Druckluft aus dem Betriebsnetz (ca. 7 bar) auf etwa 80 % Wassergehalt entwässert, und anschließend händisch von den Filtertüchern entfernt.

Die Ziele des Projektes waren die Minimierung der Druckluftkosten durch Optimierung des Druckluftverbrauchs und Reduktion der Entsorgungskosten durch Trocknen des Filterkuchens mittels Abwärme. Für die dafür erforderlichen Messungen wurde die Kammerfilterpresse mit Messeinrichtungen ausgestattet mit denen der zeitliche Verlauf von Druckluftverbrauch und Entwässerungsfortschritt ermittelt werden konnte. Außerdem wurden Druck, Drehzahl und Fördermenge der Filterpumpe während der Filter-Beladezyklen kontinuierlich erfasst. Zur Trocknung des von den Filtertüchern abgereinigten Filterkuchens wurden Untersuchungen zum Trocknungsverlauf in einer Trockenkammer mit 150 °C warmer Luft angestellt.

Die Untersuchungen ergaben, dass die Trocknung des Filterkuchens in einer Trockenkammer technisch sinnvoll ist und damit eine Verringerung der Entsorgungskosten um etwa 10.000 € pro Jahr erzielt werden kann. Die Ermittlung der optimalen Dauer der Druckluftbeaufschlagung der Kammerfilterpresse ist mit Hilfe der erstellten Diagramme möglich.

## **Summary I**

Joh. Pengg AG, headquarters at Thörl in Styria, is specialized in the production of oil-tempered spring wires for automobile, electrical, and mechanical engineering industry. Production of such wires is an energy intensive process with several heating, cooling, and shaping production steps. In this process separation and disposal of production residues are of economical and ecological importance.

To separate solid residues from waste water of a neutralization plant a cell filter press is used. The filter residues are removed once a day:

- Dehydration of the filter residues with compressed air (7 bar) down to a water content of some 80 %, and
- manual removal of the residues from the filter mat.

The aim of the project was the minimization of compressed air consumption and the reduction of disposal costs by drying the filter residues using waste heat.

The cell filter press has been equipped with gauges to monitor the compressed air and the dehydration process in different filter cells. Furthermore pressure, speed and delivery rate of the filter pump during filtering cycles are measured continuously. Investigations of drying filter residues in a drying cell (hot air, 150 °C) have been carried out.

Results show, that drying of filter residues in a drying cell is possible and will lead to a saving of some 10.000,-- €a year.

Diagrams to determine optimum duration of treatment of filter cells with compressed air have been provided.

## **Kurzfassung II**

Die Joh. Pengg AG mit Sitz in Thörl in der Steiermark produziert ölschlussvergütete Drähte für die Automobil-, Elektro- und Maschinenbauindustrie. Die Herstellung dieser Drähte ist energieintensiv mit prozessbedingten Erwärmungs- und Abkühlungsvorgängen sowie Verformungsschritten. Die Abtrennung und Entsorgung von Produktionsrückständen ist von erheblicher wirtschaftlicher und ökologischer Bedeutung.

Ein wichtiges Beispiel dafür ist das Abscheiden von Feststoffen aus dem Abwasser der Neutralisationsanlage, wofür eine Kammerfilterpresse verwendet wird (Abbildungen 1 und 2).



Abbildung 1: Kammerfilterpresse



Abbildung 2: Kammerfilterpresse, Filterplatten-Seitenansicht

Der in der Kammerfilterpresse anfallende Filterkuchen wird täglich einmal entleert. Dazu wird der Filterkuchen in der Kammerfilterpresse mit Druckluft aus dem Betriebsnetz (ca. 7 bar) auf etwa 80 % Wassergehalt entwässert und anschließend händisch von den Filtertüchern entfernt (Abbildung 3).



Abbildung 3: Händisches Abreinigen des Filterkuchens durch Schütteln der Filtertücher und gegebenenfalls mittels eines Schabers (Pfeil)

Die Funktionsweise der Filteranlage wird anhand des Anlagenschemas erklärt, das in Abbildung 4 dargestellt ist.

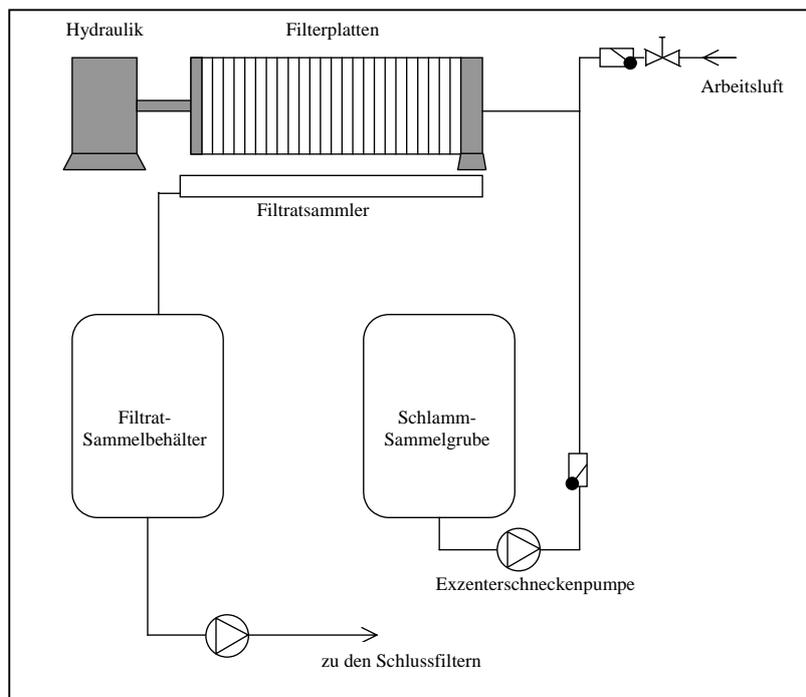


Abbildung 4: Schema der Filteranlage

Zu Beginn des Filterzyklus sind die Filtertücher gereinigt und das Filterplattenpaket wird mit der Hydraulikpresse zusammengespant. Die Exzentrerschneckenpumpe wird dann eingeschaltet und fördert mit ihrer Maximaldrehzahl den dünnflüssigen Schlamm (Feststoffe und Wasser) aus der Schlammsammelgrube in die Filterkammern. Das Wasser wird durch die Filtertücher gedrückt und gelangt durch Bohrungen in die Filterplatten, aus welchen es in den Filtratsammler und weiter in den Filtratsammelbehälter abrinnt. Das Filtrat wird anschließend diskontinuierlich (niveaugesteuert) durch die Schlussfilter in die Kanalisation abgeleitet. Die Feststoffe werden von den Filtertüchern zurückgehalten und bilden den Filterkuchen, der einen kontinuierlich steigenden Gegendruck für die Exzentrerschneckenpumpe verursacht. Wird mit fortschreitender Beladung der Filterkammern der eingestellte Maximaldruck erreicht, wird die Fördermenge mittels der drehzahlgeregelten Pumpe entsprechend reduziert. So kommt es zu keiner unzulässigen Drucküberhöhung. Der Druck bei einer bestimmten Fördermenge ist also ein Maß für die Filterkuchenmenge in den Filterkammern. Am Ende der Filterbeladung (bisher täglich morgens außer sonntags) wird die Exzentrerschneckenpumpe abgeschaltet und die Kammerfilterpresse mit Druckluft (Arbeitsluft) beaufschlagt, um Wasser aus dem Filter auszutreiben. Dies ist notwendig, um nach dem Öffnen der Kammerfilterpresse den Filterkuchen leichter von den Filtertüchern abreinigen zu können. Außerdem ist man bestrebt, den Wassergehalt des Filterkuchens möglichst gering zu halten, da seine Entsorgung nach Gewicht verrechnet wird.

Untersuchungen im Rahmen des FdZ-Projekts „Abwärmenutzung und Einsatz erneuerbarer Energieträger in einem metallverarbeitenden Betrieb“ (Projektnummer 804130) haben gezeigt, dass das Entwässern des Filterkuchens in der Kammerfilterpresse zu einem Spitzenverbrauch an Druckluft führt, der das Druckluftnetz stark belastet. Ein Ziel dieses Projektes war es daher, Kriterien für die Optimierung der Zeitspanne für die Druckluftbeaufschlagung zu erarbeiten und damit den Druckluftverbrauch zu minimieren. Ein weiteres Ziel war die Untersuchung von Möglichkeiten zur Trocknung des Filterkuchens mit betriebsinterner Abwärme um die Entsorgungskosten zu reduzieren.

Für die erforderlichen Analysen wurde die Kammerfilterpresse mit einer Messanlage ausgestattet (Abbildung 5) mit der der zeitliche Verlauf von Druckluftverbrauch und Entwässerungsfortschritt - auch an einzelnen Filterkammern - ermittelt werden konnte. Außerdem wurden Druck, Drehzahl und Fördermenge der Exzentrerschneckenpumpe während der Filter-Beladung kontinuierlich erfasst.

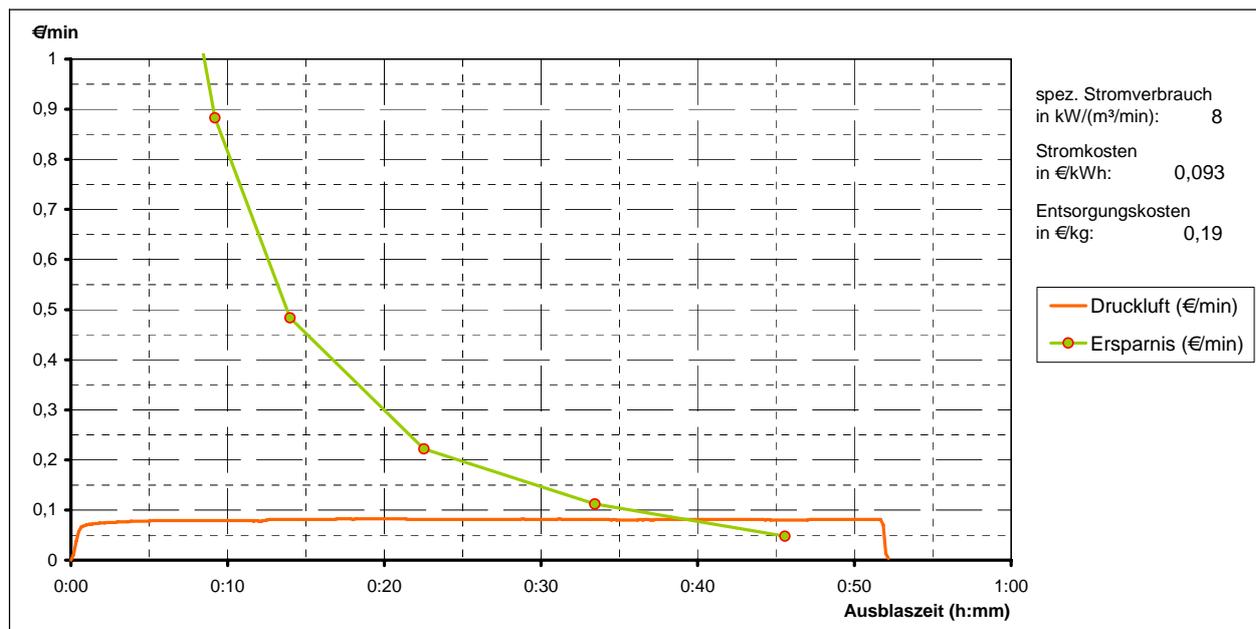


Abbildung 5: Messaufbau zum Erfassen des zeitlichen Verlaufes von Druckluftverbrauch und Entwässerungsfortschritt am Filter

Die Messungen ergaben, dass während einer einstündigen Ausblaszeit (Druckluftbeaufschlagung) mehr als die Hälfte des Wassers in den ersten fünf Minuten ausgeblasen wird. Wenn anschließend keine Trocknung des Filterkuchens mit Abwärme erfolgt, ist nach wirtschaftlichen Kriterien der Ausblasvorgang dann zu beenden, wenn die Einsparung an Entsorgungskosten für den Filterkuchen geringer wird, als die Kosten der dafür benötigten Druckluft. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 6 dargestellt. Darin stellt die grüne Kurve die Entsorgungskosteneinsparung pro Zeit (€/min) zum jeweiligen Zeitpunkt dar (aufgrund des pro Minute ausgeblasenen Wassers) und die rote Kurve die zu diesem Zeitpunkt anfallenden Druckluftkosten (€/min). Wie ersichtlich beträgt die optimale Ausblaszeit, nach der die Druckluftkosten gegenüber der Entsorgungskosteneinsparung überwiegen, etwa 40 Minuten. Bei den Druckluftkosten sind hier nur die Energiekosten mit  $0,0124 \text{ €/m}^3$  berücksichtigt. Dieser Wert ergibt sich mit der neuen Kompressoranlage bei einer spezifischen Leistung von  $8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{min})$  und Stromkosten von  $0,093 \text{ €/kWh}$ . Als Entsorgungskosten für den Filterkuchen sind  $0,19 \text{ €/kg}$  zu Grunde gelegt.

Die Messungen haben gezeigt, dass der maximale Pumpendruck von 11,8 bar nur an wenigen Tagen erreicht wurde. Dies weist darauf hin, dass die Filterkammern meistens nicht ausreichend mit Filterkuchen gefüllt waren. Andererseits ist ein möglichst hoher Druck zum Erzielen eines geringeren Wassergehaltes des Filterkuchens wichtig. Ausreichend lange Filterbeladung führt daher zu Arbeitszeit- und Druckluftkosteneinsparung (weniger Ausblas- und Abreinigungsverfahren pro Jahr) und einer Verringerung der Filterkuchenentsorgungskosten falls anschließend nicht mehr getrocknet wird.

Ressourceneffizienzsteigerung durch Optimierung der Filterreinigung  
mittels Abwärmennutzung in einem metallverarbeitenden Betrieb



**Abbildung 6:** Zeitlicher Verlauf von Druckluftkosten und Entsorgungskostenersparnis durch Entwässerung des Filterkuchens

Werden die jährlich anfallenden 75.000 kg Filterkuchen in einem weiteren Schritt von 80 % Wassergehalt auf 20 % Wassergehalt getrocknet können jährlich etwa 9.000 € Entsorgungskosten eingespart werden. Trocknungsversuche in einer gasbeheizten Trockenkammer (Lufttemperatur 150 °C) haben gezeigt, dass bei einer Schütthöhe von 10 cm eine ausreichende Trockengeschwindigkeit erreicht werden kann. Zur Trocknung war geplant, das Abgas eines Verbrennungsprozesses (z. B. Wärmebehandlungsofen) direkt zu verwenden. Dazu muss die Trockenkammer möglichst nahe bei dieser Wärmequelle aufgestellt werden. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass dieses Konzept aus innerbetrieblichen Gründen nicht realisierbar ist. Es wurde daher ein Konzept zur Trocknung des Filterkuchens direkt im Auffang- und Transportbehälter unterhalb der Kammerfilterpresse vorgeschlagen. Da hier zur Trocknung aber nur warme Luft mit einer Temperatur von etwa 30 °C bis 50 °C zur Verfügung steht, müssten zur Auslegung dieser Trocknungsvorrichtung noch weitere Versuche durchgeführt werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch eine optimale Betriebsführung der Kammerfilterpresse die Anzahl der Filterreinigungszyklen reduziert werden kann was auch mit Arbeitszeiterparnis verbunden ist. Der Druckluftverbrauch (beim Ausblasvorgang) kann mit Hilfe der ermittelten Kurven optimiert werden. Wird der Filterkuchen anschließend noch mit Abwärme getrocknet wird eine Reduktion der Entsorgungskosten von 14.300 € auf 3.600 € erzielt.

## **Summary II**

Joh. Pengg AG, headquarters at Thörl in Styria, is specialized in the production of oil-tempered spring wires for automobile, electrical, and mechanical engineering industry. Production of such wires is an energy intensive process with several heating, cooling, and shaping production steps. In this process separation and disposal of production residues are of economical and ecological importance. To separate solid residues from waste water of a neutralization plant a cell filter press is used. (Fig. 1 and 2)



Fig. 1: Cell filter press



Fig. 2: Cell filter press; side view of the cell plates

Filter residues are removed from the cell filter press once a day:

- Dehydration of the filter residues with compressed air (7 bar) down to a water content of some 80 %, and
- manual removal of the filter residues from the filter mat (Fig. 3).

Fig. 4 shows the operational sequence of the filtering process.



Fig. 3: Manual removal of the filter residues from the filter mat by shaking of the filter mats, or if necessary with a scraper (see arrow)

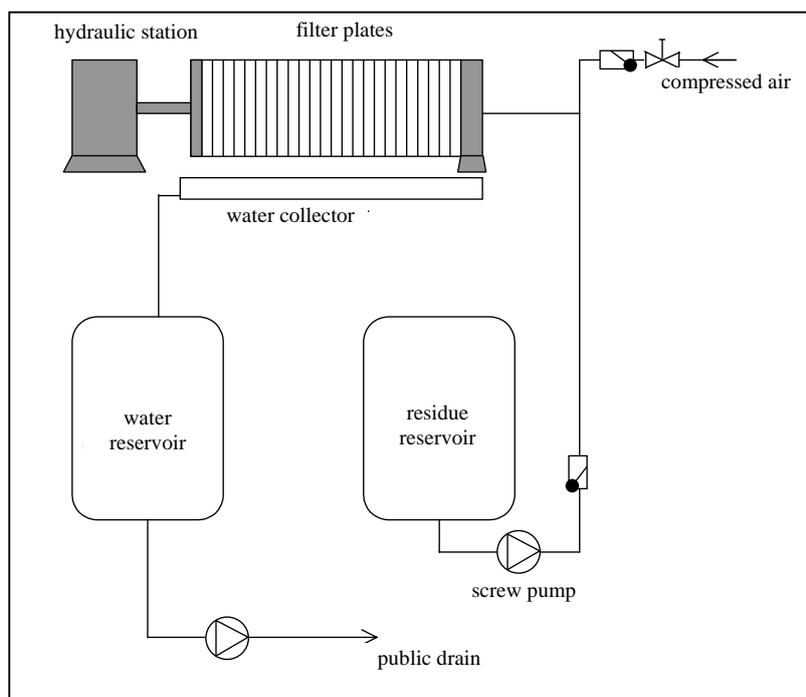


Fig.4: Operational sequence of the filtering process

At the outset, filter mats are cleaned and the filter plates are pressed together with a hydraulic press. Waste water is then fed by a screw pump (operated at maximum speed) into the filter cells. Water is pumped through the filter mats, holes in the filter plates, and afterwards runs into a collector, a reservoir and finally the public drain.

Solid filter residues are held back by the filter mats. A layer is formed and back pressure slowly increases. If maximum pressure is reached, the screw pump reduces its speed automatically by a pressure control system. The back pressure gives a certain information about the layer thickness of the residues.

At the end of a filtering cycle, (up to now daily in the morning, except for Sunday), the screw pump is turned off and compressed air is led through the cell filter press. On the one hand, this is necessary for easy removal of residues from the filter mats. On the other hand, residues should have a low water content, i.e. a low weight, because disposal costs of the residues are related to the weight.

Preliminary investigations (“Factory of tomorrow” project No 804130, “Use of waste heat and renewable energy sources in a metal-processing company”) show, that the dehydration procedure of the filter leads to significant peaks of compressed air of the factory.

Therefore one of the goals of the project was to investigate, how much time really is needed, to dehydrate the residues down to the desired water content. A further goal was to investigate possibilities to use waste heat of the company for drying the filter residues to reduce disposal costs.

To carry out these investigations, the cell filter press has been equipped with devices ([Fig. 5](#)) to determine the time dependent behaviour of compressed air versus dehydration in single filter cells.

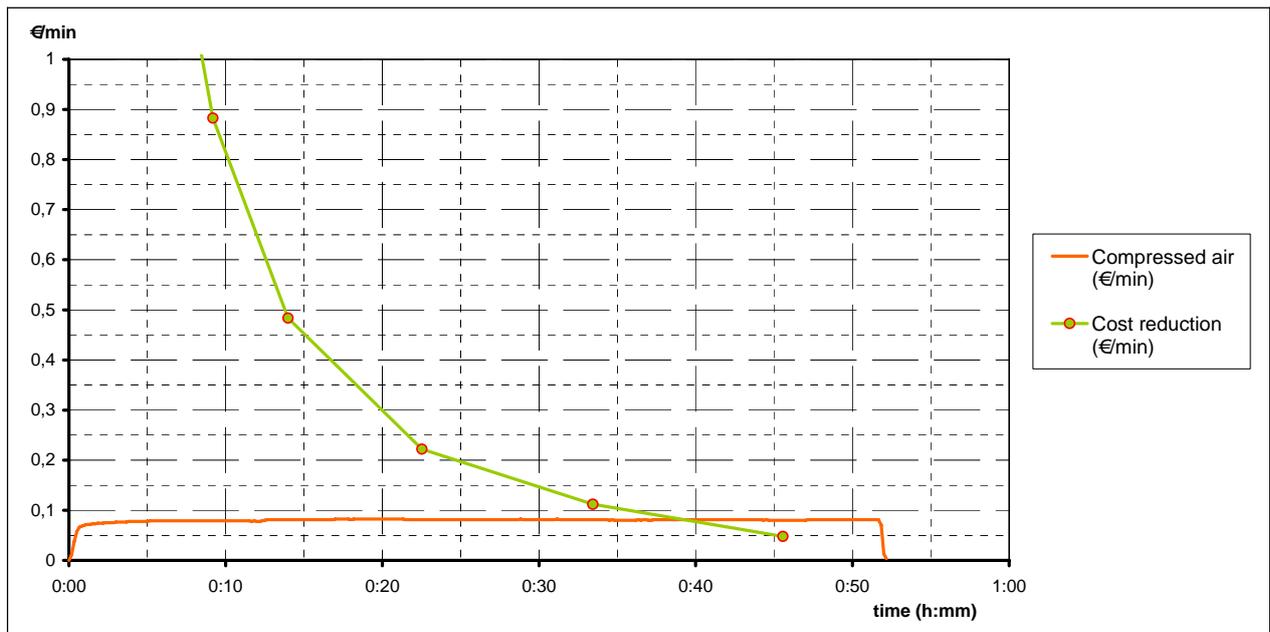


**Fig 5:** Devices to measure the time characteristic of compressed air amount and dehydration process in single filter cells

Pressure, speed and conveyor capacity of the screw pump during the filtering interval are also measured continuously.

Results during a total measurement period of one hour, show that more than 50 % of the total water amount is removed in the first five minutes. If no further drying is planned, the dehydration process should be stopped for economical reasons, if the reduction of the disposal costs of the residues are lower than the costs of the needed compressed air. This relation is shown in Fig. 6. The optimum is reached after 40 minutes. Only energy costs, calculated under the assumption that the requested mechanical power of the compressor is  $8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{min})$  and the electricity price is  $0,093 \text{ €/kWh}$ , are considered in the costs of compressed air. Disposal costs of the filter residues are  $0,19 \text{ €/kg}$ .

Measurements have shown, that the maximum premissible pressure for the cell filter press of 11,8 bar is reached only on a few days. This indicates that in most cases the filter cells are not sufficiently filled with filter residues. On the other hand, high pressure is essential in order to reach a low water content of the residues. Extension of the filter cycles leads to a reduction of the number of the cycles and therefore to a reduction of working hours and of costs of compressed air, as well as disposal costs.



**Fig. 6:** Characteristics of costs of compressed air and reduction of disposal costs by dehydration of the filter residues

The water content of the filter residues before drying is some 80 %. By drying the filter residues to a water content of 20 % some 9.000,-- €a of disposal costs could be saved.

To investigate the possibilities of the use of waste heat, drying experiments in an (external) gas heated drying cell at a temperature of 150 °C have been carried out. In this drying cell, residues have been deposited on plates in layers of different thickness. Time characteristics of the water content of these layers have been measured. The results show, that a thickness of 10 cm is suitable to reach the necessary drying velocity. At first, it was planned to use flue gas of a combustion process (e. g. heat treatment oven) for drying. In this case the drying chamber should have been installed close to this heat source. This concept however could not be realized due to in-plant reasons. Therefore, a concept has been developed to dry the filter residues directly in the collector tank below the filter. In this concept, warm air of some 30 °C to 50 °C is foreseen as heat source. The concept however has not been realized within the project. Further experiments for the dimensioning of such a drier would have to be carried out in future projects.

### Conclusions:

An optimised operation procedure of the cell filter press in terms of operational period of dehydration with compressed air reduces energy demand; the re-use of waste heat leads to a significant reduction of disposal costs from currently 14.300 €a down to 3.600 €a.

## 1 Einleitung

Die Joh. Pengg AG mit Sitz in Thörl in der Steiermark hat sich auf die Herstellung von Drähten für die Automobil-, Elektro- und Maschinenbauindustrie spezialisiert und ist der einzige österreichische Hersteller von ölschlussvergütetem Draht. Die Herstellung von ölschlussvergütetem Draht ist ein energieintensiver Prozess mit prozessbedingten Erwärmungs- und Abkühlungsvorgängen sowie Verformungsschritten. Bei der Herstellung von ölvergütetem Draht ist neben der eigentlichen Drahtherstellung auch die Abtrennung und Entsorgung von Produktionsrückständen von erheblicher wirtschaftlicher und ökologischer Bedeutung.

Ein wichtiges Beispiel dafür ist das Abscheiden von Feststoffen aus dem Abwasser der Neutralisationsanlage, wofür eine Kammerfilterpresse verwendet wird. (Abbildungen 1-1 und 1-2). Untersuchungen im Rahmen des FdZ-Projekts „Abwärmenutzung und Einsatz erneuerbarer Energieträger in einem metallverarbeitenden Betrieb“ [1] haben gezeigt, dass das Entwässern des Filterkuchens in der Kammerfilterpresse zu einem halbstündigen Spitzenverbrauch an Druckluft führt, der das Druckluftnetz stark belastet. Dieses Entwässern ist notwendig um nach dem Öffnen der Kammerfilterpresse den Filterkuchen leichter von den Filtertüchern abreinigen zu können (Abbildung 1-3). Außerdem ist man bestrebt den Wassergehalt des Filterkuchens möglichst gering zu halten, da seine Entsorgung nach Gewicht verrechnet wird.



Abbildung 1-1: Kammerfilterpresse



Abbildung 1-2: Filterplatten-Seitenansicht



Abbildung 1-3: Händisches Abreinigen des Filterkuchens durch Schütteln der Filtertücher und gegebenenfalls mittels eines Schabers (Pfeil)

Die Funktionsweise der Filteranlage wird anhand des Anlagenschemas erklärt, das in Abbildung 1-4 dargestellt ist.

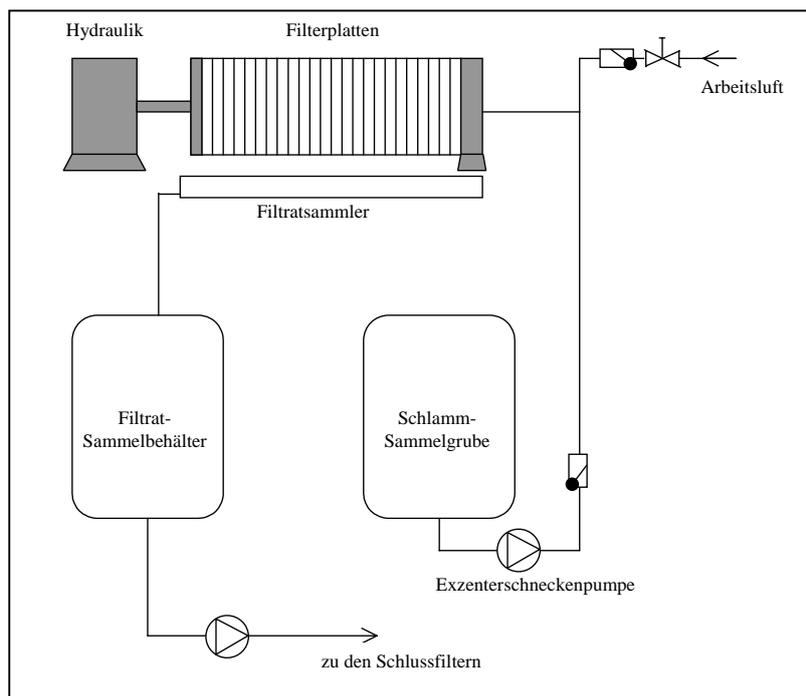


Abbildung 1-4: Anlagenschema der Kammerfilterpresse

Zu Beginn des Zyklus sind die Filtertücher gereinigt und das Filterplattenpaket wird mit der Hydraulikpresse zusammengespant. Die Exzentrerschneckenpumpe wird dann eingeschaltet und fördert mit ihrer Maximaldrehzahl den dünnflüssigen Schlamm (Feststoffe und Wasser)

aus der Schlammammelgrube in die Filterkammern. Das Wasser wird durch die Filtertücher gedrückt und gelangt durch Bohrungen in die Filterplatten aus welchen es in den Filtratsammler und weiter in den Filtratsammelbehälter abrinnt. Das Filtrat wird anschließend diskontinuierlich (niveaugesteuert) durch die Schlussfilter in die Kanalisation abgeleitet. Die Feststoffe werden von den Filtertüchern zurückgehalten und bilden den Filterkuchen, der einen kontinuierlich steigenden Gegendruck für die Exzentrerschneckenpumpe verursacht. Wird mit fortschreitender Beladung der Filterkammern der eingestellte Maximaldruck erreicht, wird die Fördermenge mittels der drehzahlgeregelten Pumpe entsprechend reduziert. So kommt es zu keiner unzulässigen Drucküberhöhung.

Am Ende des Beladezyklus (bisher täglich in der Früh außer sonntags) wird die Exzentrerschneckenpumpe abgeschaltet und die Kammerfilterpresse mit Druckluft (Arbeitsluft) beaufschlagt, um Wasser aus dem Filter auszutreiben.

Kammerfilterpressen werden in vielen Industrie- und Gewerbebetrieben zur Feststoffabscheidung verwendet und daher sind die Ergebnisse dieser Arbeit auf zahlreiche weitere Anwendungen übertragbar.

## **2 Ziele des Projekts**

Ein Projektziel war die Optimierung des Drucklufteinsatzes bei der Reinigung der Kammerfilterpresse. Dazu wurden Messungen durchgeführt, mit welchen Diagramme erstellt werden konnten aus welchen die optimale Ausblasdauer in Abhängigkeit von den Druckluftkosten und den Entsorgungskosten des Filterkuchens abgelesen werden kann (Diagramme 3-10 und 3-11).

Ein weiteres Projektziel war die Entwicklung von Konzepten zur Trocknung des Filterkuchens mittels Abwärme um die Filterkuchen-Entsorgungskosten zu reduzieren. Da geplant war das Abgas eines Verbrennungsprozesses (z. B. Wärmebehandlungsöfen) direkt zur Trocknung des Filterkuchens zu verwenden, wurden hierzu in einer Versuchstrockenkammer Trocknungsversuche mit Luft bei 150 °C durchgeführt. Die Messungen ergaben, dass mit einer einfachen Trocknungsvorrichtung die erforderliche Trockengeschwindigkeit erreicht werden kann. Für diese Art der Trocknung muss aber die Trockenkammer nahe der Wärmequelle aufgestellt werden. Es stellte sich jedoch heraus, dass dies aus innerbetrieblichen Gründen nicht realisierbar ist. Daher wurde ein anderes Konzept entworfen, das die Trock-

nung des Filterkuchens im Transportbehälter unter der Kammerfilterpresse ermöglichen soll. Bei diesem Konzept soll zur Trocknung warme Luft mit einer Temperatur von ca. 30 °C, die als Abwärme zur Verfügung steht, genützt werden. Zur konkreten Auslegung einer solchen Trocknungsvorrichtung müssten in einem weiteren Forschungsprojekt noch weitere Versuche durchgeführt werden.

### 3 Inhalte und Ergebnisse des Projekts

#### 3.1 Erhebung der Verfahrensabläufe und Änderung des Konzeptes

Nach ersten Erhebungen und einer Analyse der Verfahrensabläufe zeigte sich dass eine Änderung des ursprünglichen Arbeitsprogramms (Tabelle 3-1) zweckmäßig war. Ursprünglich war vorgesehen den Filterkuchen in der Kammerfilterpresse - oder in einer eigenen Trockenkammer - zu trocknen und anschließend von den Filtertüchern abzureinigen. Durch Nutzung von Abwärme sollte Druckluft eingespart werden.

Tabelle 3-1: Ursprüngliches Arbeitsprogramm

Projektlaufzeit-Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Jahresmonat      2003   2004	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02
Trocknungsversuche												
Druckluftmengenmessung												
Experimentelle Bestimmung des erforderlichen Druckniveaus												
Rechnerische Ermittlung des Optimums mit dem geringsten Energieaufwand zur Reinigung												
Dimensionierung												

Eine Abschätzung der notwendigen Trockenzeit (siehe Anhang I) ergab, dass der Trocknungseffekt im Istzustand (nicht vorgewärmte Druckluft) primär durch Ausblasen von Wassertröpfchen erfolgt. Auch bei einer Erwärmung der Druckluft auf 90 °C (Maximaltemperatur für das Filtertuch) wäre zur Reduktion des Wassergehaltes von 78 % auf 77 % durch Trocknen eine zusätzliche Druckluftbeaufschlagung von 12 Minuten notwendig (Annahmen: 8 kg Filterkuchen pro Kammer; 20 m<sup>3</sup>/h Druckluftdurchsatz pro Kammer). Zum

Absenken des Wassergehaltes auf 20 % wären sogar mehr als 10 Stunden erforderlich. Dies würde zu einem sehr hohen Druckluftverbrauch und nicht akzeptablen Stillstandszeiten der Kammerfilterpresse führen.

Daher wurde das Konzept entwickelt den Filterkuchen in der Kammerfilterpresse nur soweit zu entwässern bis er von den Filtertüchern leicht abzureinigen ist. Die eigentliche Trocknung soll anschließend in einem separaten, abwärmebetriebenen Trockner erfolgen. Dies hat zusätzlich den Vorteil, dass die Kammerfilterstillstandszeit reduziert werden könnte. Im Einvernehmen mit der Joh. Pengg AG wurde daher ein an dieses Konzept angepasstes Arbeitsprogramm festgelegt (Tabelle 3-2).

Der erste Arbeitsschritt "Erhebungen der Verfahrensabläufe und Änderung des Konzeptes" wurde im gegenständlichen Kapitel bereits beschrieben.

Tabelle 3-2: Angepasstes Arbeitsprogramm

Projektlaufzeit-Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Jahresmonat      2003   2004	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02
Erhebungen der Verfahrensabläufe und Änderung des Konzeptes												
Detailmessungen und anschließend Konzeption, Bau und Installation der Messanlage												
Messung des Istzustandes und Optimierungsversuche zum Wasserausblasen												
Konzeption der Trocknungsvorrichtung mit Tests in bestehender Trockenkammer												
Konzeption des abwärmebetriebenen Trockners und Wirtschaftlichkeitsüberlegungen												

### 3.2 Detailmessungen und anschließend Konzeption, Bau und Installation der Messanlage

Bei diesen Messungen wurden beim Ausblasvorgang mit Handmessgeräten die tatsächliche Wasserablaufmenge und der Druckluftdurchsatz aus einzelnen Filterplatten gemessen. Die Wasserablaufmenge betrug zwischen 4,1 und 4,8 kg pro Kammer. Der Luftdurchsatz war stark unterschiedlich und gegen Ende des Ausblasvorganges zwischen 4 m<sub>N</sub><sup>3</sup>/h und 28 m<sub>N</sub><sup>3</sup>/h (siehe Anhang II). Mit Hilfe dieser Daten wurde eine Messanlage konzipiert und dimensioniert (Abbildung 3-1) um die Filterbeladung und das anschließende Wasserausblasen analysieren zu können.

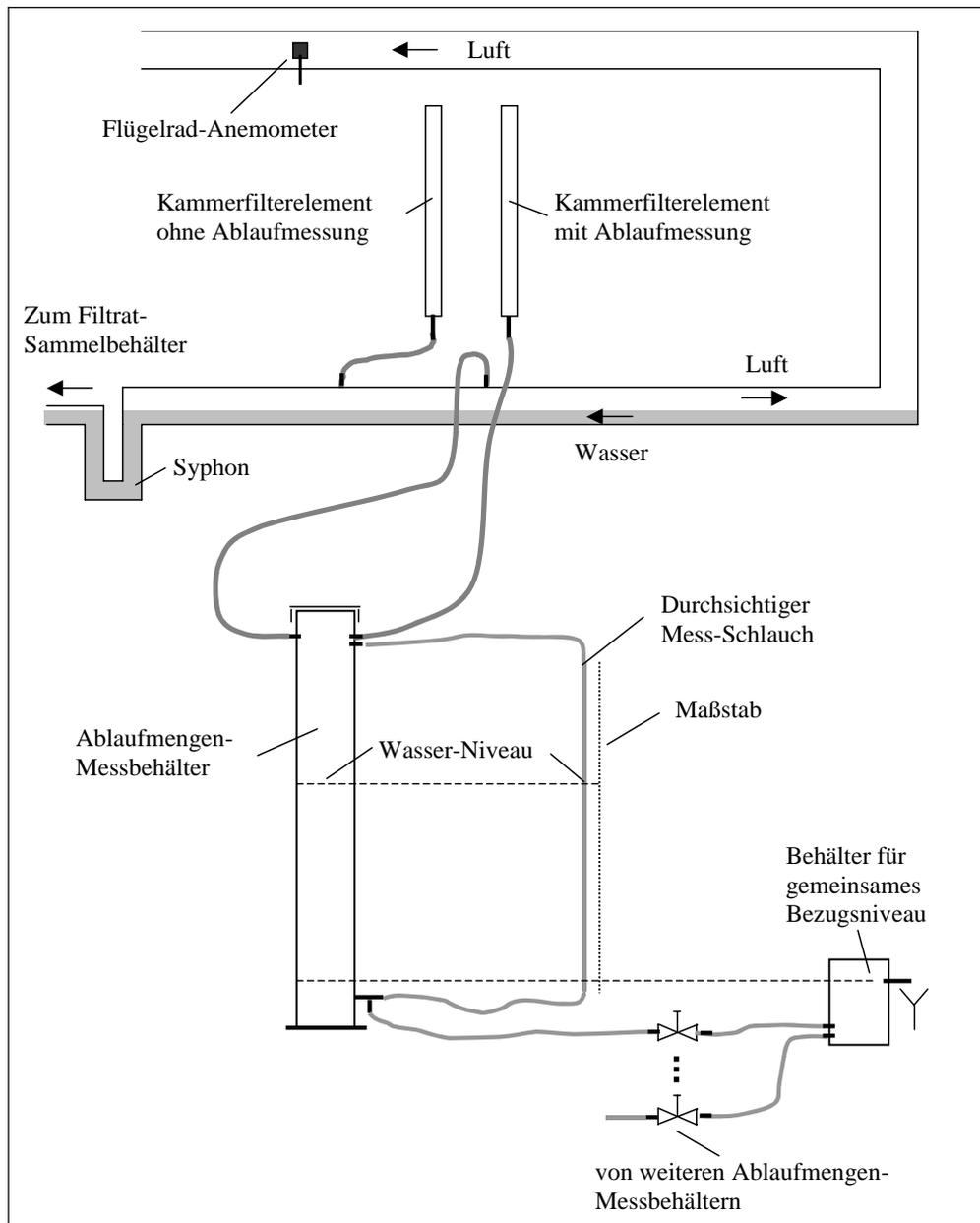


Abbildung 3-1: Schema der Wasser-Ablaufmengenmessung und Luftverbrauchsmessung

Die Kammerfilterpresse besteht aus 41 Filterplatten (Kammerfilterelementen) und aus einer "Halbplatte" am hydraulikseitigen Ende. Von diesen 41 Filterplatten wurden 16 genauer untersucht und dazu mit Ablaufmengenmessbehältern ausgestattet. Die Messungen an jeweils 4 nebeneinanderliegenden Filterkammern - in 4 Blöcken über den Filter gleichmäßig verteilt (siehe auch [Anhang II](#)) - ergeben so ein repräsentatives Ergebnis vom Wasseraustrag über die Länge der Kammerfilterpresse. Die [Abbildungen 3-2 bis 3-7](#) zeigen den Messaufbau.



Abbildung 3-2: Messaufbau mit Luft/Wasser-Abscheider



Abbildung 3-3: Luftmengenmessung

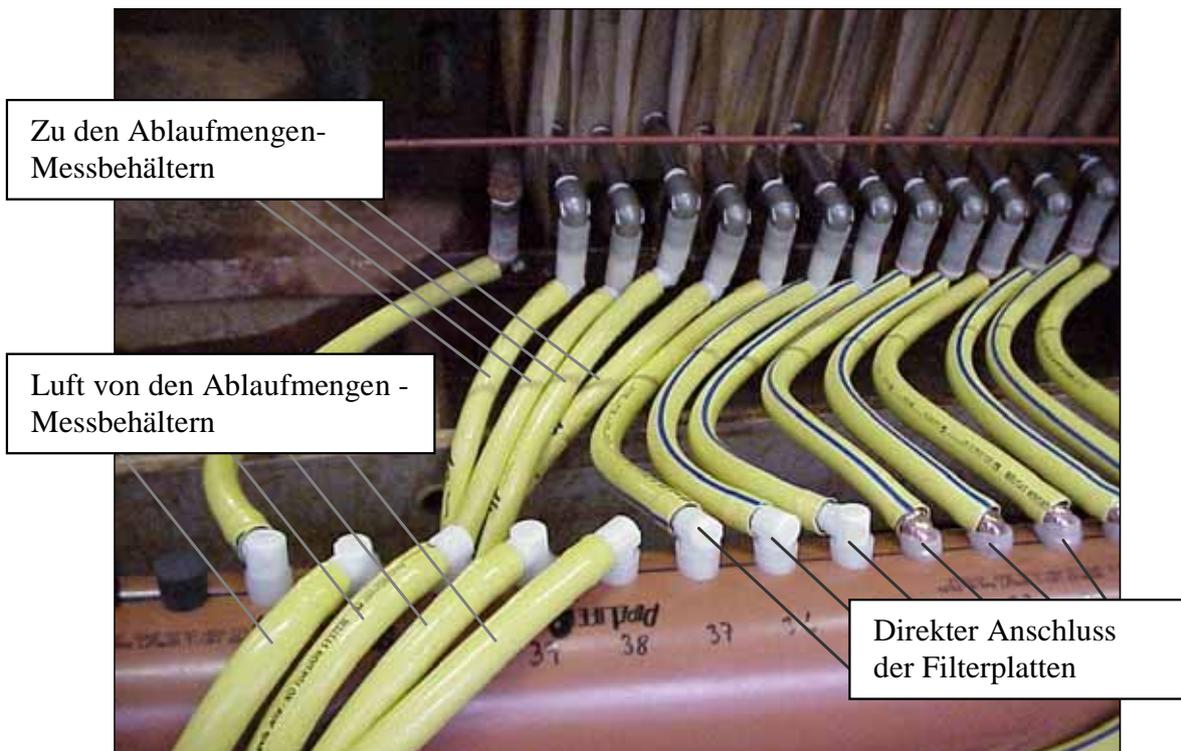


Abbildung 3-4: Anschluss der Filterplatten an das Abscheiderrohr



Abbildung 3-5: Ablaufmengen-Messbehälter



Abbildung 3-6: Niveaumessvorrichtung

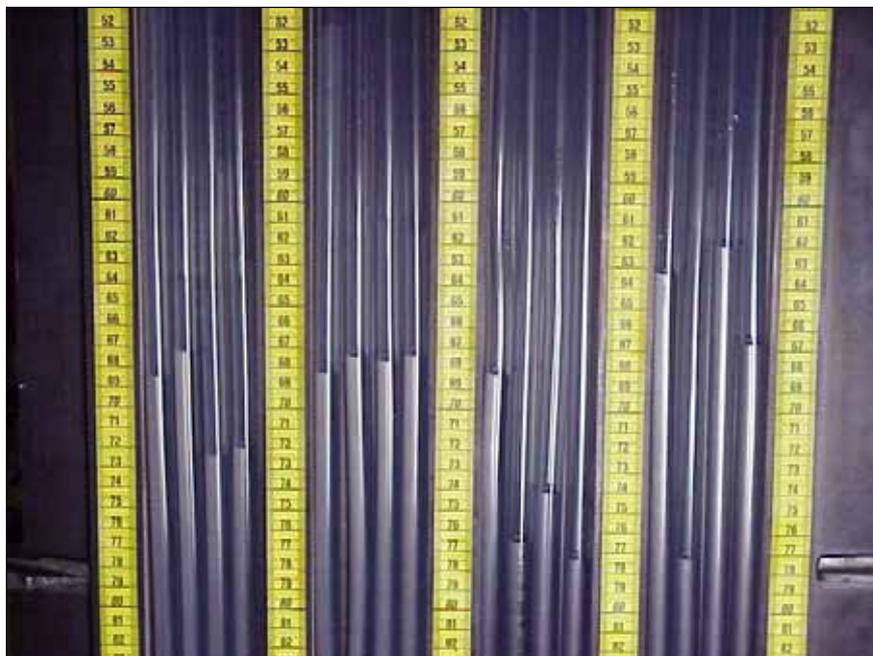


Abbildung 3-7: Niveaustand aller Messbehälter

Aus der automatischen Aufzeichnung des Fotozeitpunktes durch die Kamera kann durch mehrere aufeinanderfolgende Fotos der Niveaustände die Ablaufmenge als Funktion der Zeit für alle Messbehälter ermittelt werden.

Für die Druckmessung am Filtereingang bei Beschickung mit Schlamm und beim Ausblasen mit Druckluft wurden Umbauten nach dem Schema in Abbildung 3-8 durchgeführt. Abbildung 3-9 zeigt die Druckmessstelle.

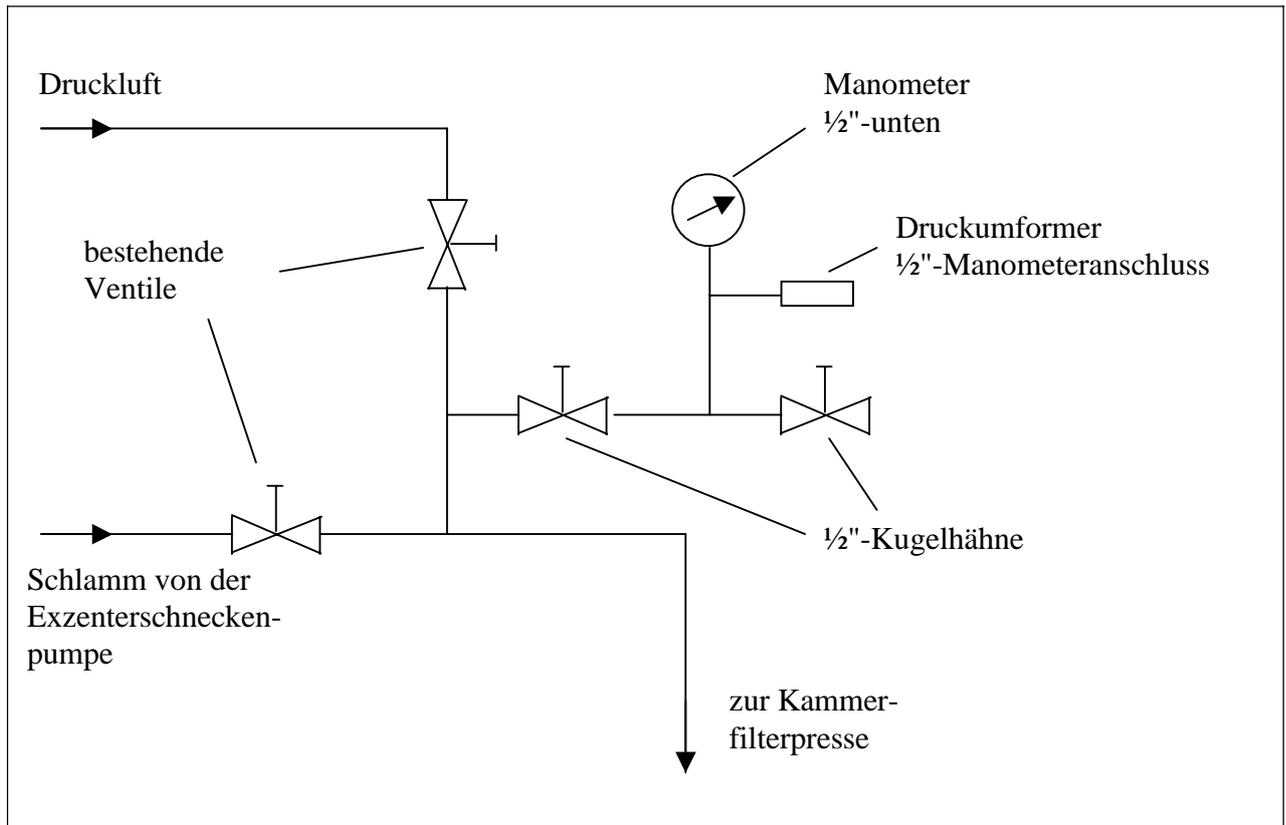


Abbildung 3-8: Schema der Druckmessung



Abbildung 3-9: Druckmessstelle am Eingang der Kammerfilterpresse

Die anfallende Filtratmenge wurde durch Messen der Ein/Aus - Schaltzeiten der Filtrat-Pumpe ermittelt. Die Filtratpumpe wird über eine Min/Max-Niveauregelung im Filtratsammelbehälter geschaltet. Durch Parallelschalten eines Hilfsrelais zu den Pumpenanschlüssen wurde der Schaltzustand netzpotentialfrei an die PC-Messanlage übermittelt. Das Volumen zwischen Niveau-Minimum und Niveau-Maximum wurde ausgelitert.

Als Messwert für die Drehzahl der Exzentrerschneckenpumpe wurde das analoge Ausgangssignal für den Frequenz-Sollwert des Frequenzumrichters verwendet. Dieses Messsignal wurde durch Drehzahlmessungen an der Pumpenwelle mit einem Hand-Drehzahlmesser kalibriert.

Der zeitliche Luftdurchsatz zum Ausblasen der Kammerfilterpresse wurde aus der Messung der Strömungsgeschwindigkeit mit einem Flügelradanemometer im Abluftrohr (siehe [Abbildung 3-3](#)) berechnet.

Zur Messung der pro Filterzyklus angefallenen Filterkuchenmenge wurde eine auf den Container unter der Kammerfilterpresse aufsetzbare Auffang-Plattform gebaut ([Abbildung 3-10](#)). Von dieser Plattform wurde der Filterkuchen zum Verwiegen händisch in Behälter geschaufelt.



[Abbildung 3-10](#): Auffangplattform für den Filterkuchen auf dem Container unter der Kammerfilterpresse

Zur Visualisierung und zum Abspeichern der Messdaten wurde die in Abbildung 3-11 dargestellte PC-Messdatenerfassungsanlage verwendet. Die analogen Messwerte der Sensoren wurden im programmierbaren Messumformer (ISM 110) digitalisiert und über die RS 232 Schnittstelle an den PC übertragen.



Abbildung 3-11: PC-Messanlage; Messintervall 1 Sekunde,  
Abspeichern von 10-Sekunden-Mittelwerten

### Verwendete Messgeräte

- PC mit Messdatenerfassungssoftware DASyLab; Messintervall 1 Sekunde, Abspeichern von 10-Sekunden-Mittelwerten im ASCII-Format
- Programmierbarer Messumformer ISM 110 ( Fa. Gantner); 4 Analog Eingänge und 2 Digital Ein/Ausgänge; mit RS 485/RS 232 Konverter ISK 100
- Druckumformer Type P 40 (Fa. PMA); 0 ... 60 bar = 0 ... 10 V
- Flügelradanemometer Type Mini Air 20 (Fa. Schiltknecht); Messkopf "Mini";  
0 ... 20 m/s = 0 ... 2V
- Elektronische Präzisionswaage PE 6000 (Fa. Mettler); 6000 g / 0,1g
- Laufgewichts Tischwaage LTW 110 ( Fa. Baumann); 110 kg

### 3.3 Messung des Istzustandes und Optimierungsversuche zum Wasserausblasen

Ab 24.11.2003 bis Projektende war die PC-Messanlage in Betrieb, wobei durchgehend die Messwerte für Pumpendrehzahl, Druck vor dem Filter (auch Druckluft) und Filtratabflussmenge aufgezeichnet wurden. Am 2.12.2003 und vom 3.3. bis 8.3.2004 wurden ausführlichere Messungen durchgeführt bei welchen auch der Luftdurchsatz und der Filtratabfluss aus einzelnen Messkammern ermittelt wurde.

Beispielhaft wird der Filterbeladevorgang vom 1. auf 2. 12.2003 und das anschließende Filterausblasen in den Diagrammen 3-1 bis 3-4 dargestellt. Am 1.12.2003 wurde bereits um 7:30 Uhr mit der Filterbeladung begonnen (im Diagramm 3-1 nicht ersichtlich).

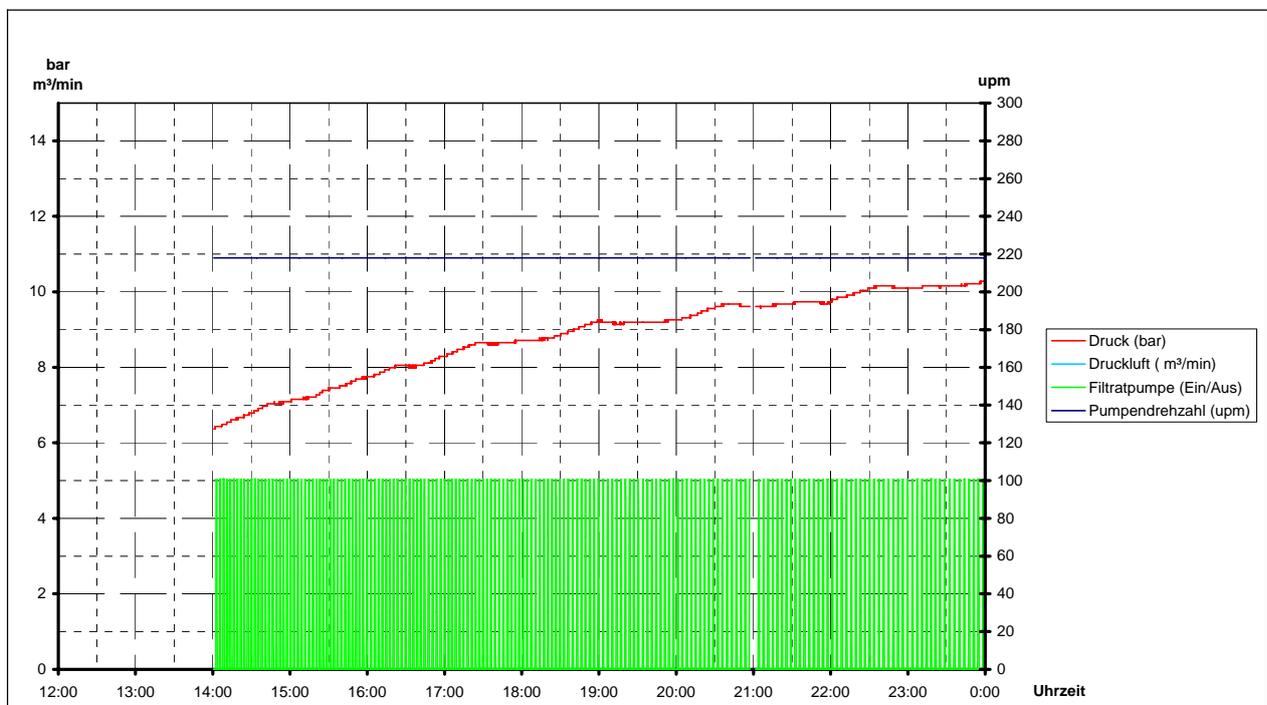


Diagramm 3-1: Filterbeladung am 1.12.2003

In den Diagrammen 3-1 bis 3-4 zeigt die grüne Kurve die Ein/Aus - Schaltzustände der Filtratpumpe beim Filtratsammelbehälter. Kurze Schaltintervalle (z. B. um 15:00 Uhr) bedeuten eine große Durchflussmenge durch den Filter (= Pumpenfördermenge), längere Schaltintervalle (z. B. um 0:00 Uhr) bedeuten weniger Durchflussmenge. Die rote Kurve zeigt den Überdruck am Filtereingang gegenüber dem Umgebungsdruck. Die schwarze Kurve zeigt die Drehzahl der Exzentrerschneckenpumpe in Umdrehungen pro Minute. Die blaue Kurve (nur im Diagramm 3-2) zeigt den Druckluftdurchsatz durch den Filter beim Ausblasvorgang.

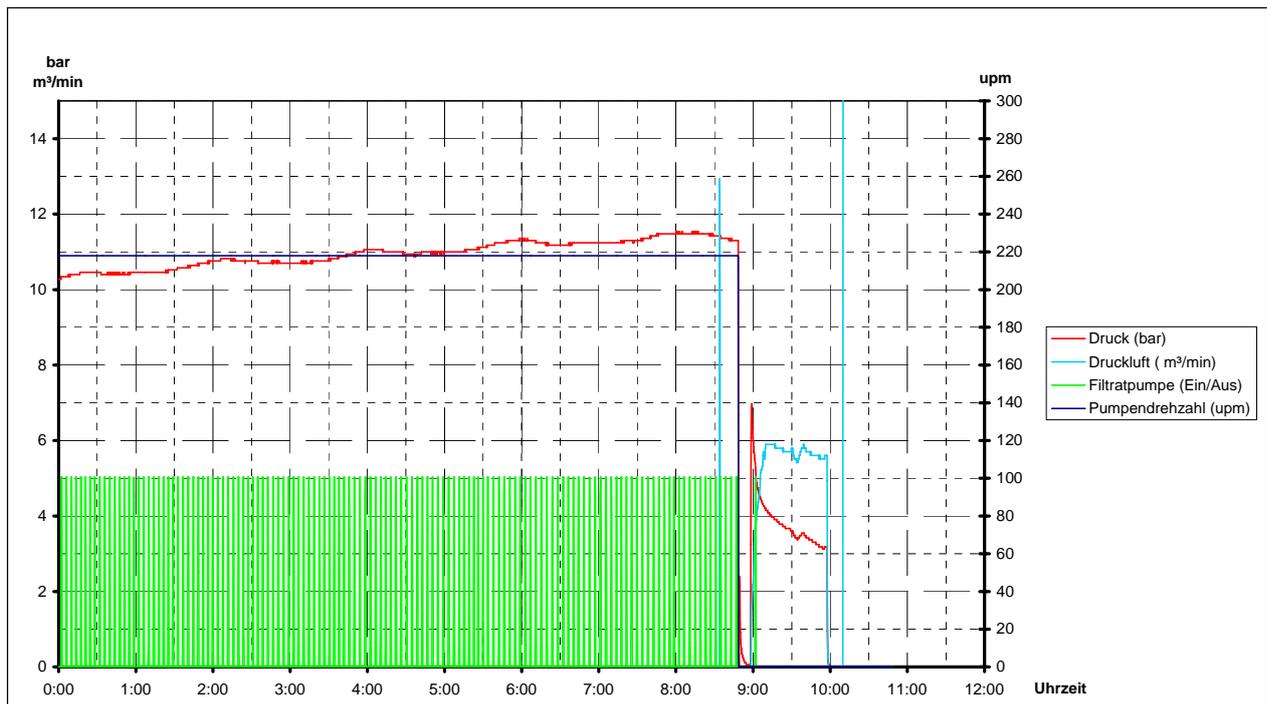


Diagramm 3-2: Filterbeladung-Fortsetzung am 2.12.2003 und Ausblasen ab ca. 9:00 Uhr (Detail siehe Diagramm 3-3)

In den Diagrammen 3-1 und 3-2 ist der Druckaufbau (rote Kurve) im Filter aufgrund der Anlagerung des Filterkuchens an die Filtertüchern erkennbar. In dieser Druckaufbauphase wird die über einen Frequenzumrichter drehzahlregelbare Exzentrerschneckenpumpe mit Maximaldrehzahl betrieben. Sobald der Maximaldruck (etwa 12 bar) erreicht ist wird gegebenenfalls durch eine Druckregelung die Pumpendrehzahl (schwarze Kurve) reduziert, um den Maximaldruck nicht zu überschreiten. Dieser Druck wurde in diesem Beladezyklus aufgrund des geringen Feststoffgehaltes des Schlammes jedoch nicht erreicht. Aus den kürzeren Schaltintervallen der Filtratpumpe um 15:00 Uhr in Diagramm 3-1 gegenüber den längeren um 8:00 Uhr in Diagramm 3-2 kann auf die durch den höheren Gegendruck kleiner werdende Fördermenge der Exzentrerschneckenpumpe geschlossen werden.

Der Ausblasvorgang mit Druckluft ist in Diagramm 3-3 dargestellt. Man erkennt, dass in der Anfangsphase (in der nur wenig Luft durch den Filter geht) der Druck (rote Kurve) ungefähr dem Solldruck (7,0 bis 7,5 bar) entspricht. Durch anfängliche Zunahme des Luftdurchsatzes (blaue Kurve) sinkt der Druck am Filtereingang durch Zunahme des Leitungs-Druckverlustes bei höherer Durchsatzmenge. Außerdem sinkt aufgrund des hohen Luftverbrauches der Druck in der Kompressorstation, da der große Kompressor CS 121 ( $12,4 \text{ m}_N^3/\text{min}$ ) alleine den Luftbedarf nicht decken kann. Dieser Druckabfall verursacht gegen Ende des Ausblasens (9:55 Uhr) den zusätzlichen Start des Kompressors SK 26 ( $2,3 \text{ m}_N^3/\text{min}$ ). Aufgrund des langsamen Druck-Zusammenbruches nimmt mit der Zeit (ab 9:15 Uhr) auch die Luftmenge durch den Filter ab. Die grüne Kurve zeigt die Einschaltdauer der Filtratpumpe.

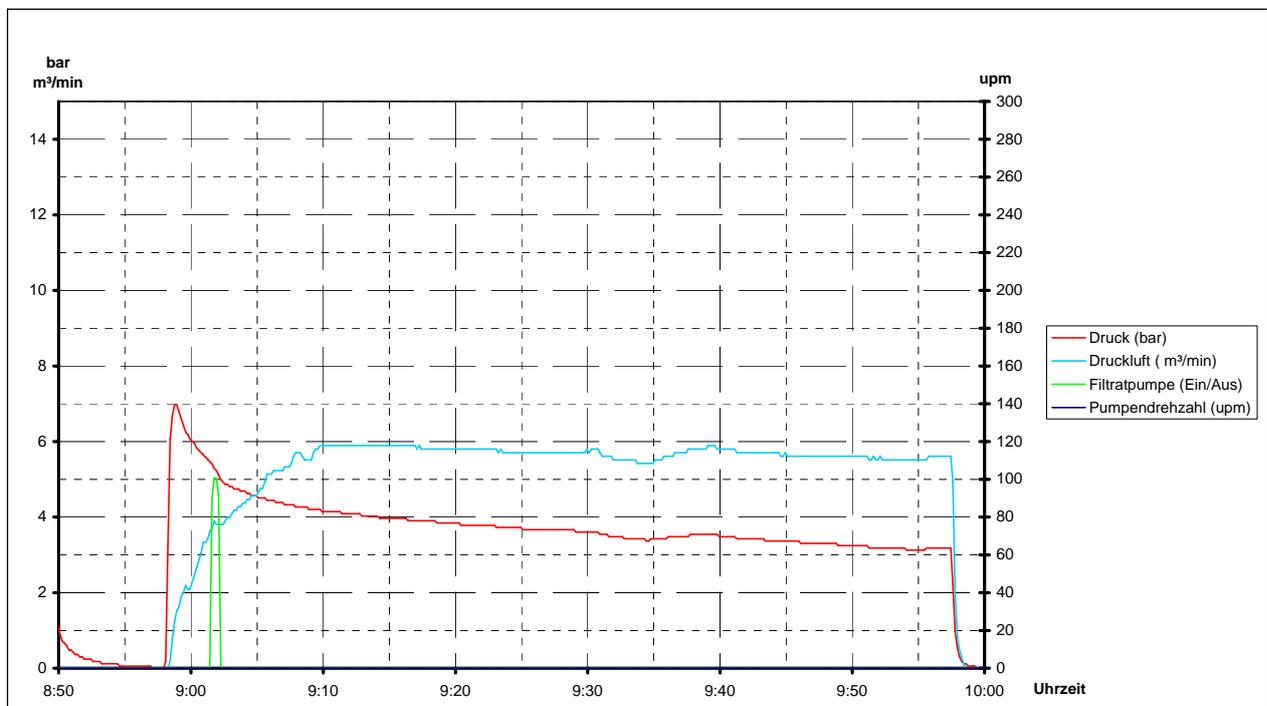


Diagramm 3-3: Ausblasvorgang am 2.12.2003 (8:58 bis 9:57 Uhr)

In Diagramm 3-4 ist die Wasser-Ablaufmenge in die Messbehälter während des Ausblasens dargestellt. MW 1-4 ist der Mittelwert der ersten Vierergruppe von benachbarten Filterplatten. Die Filterplatten sind von der Eingangsseite in den Filter zur Hydraulikseite hin durchnummeriert. MW 38-41 ist somit der Mittelwert der letzten Filterplatten hydraulikseitig.

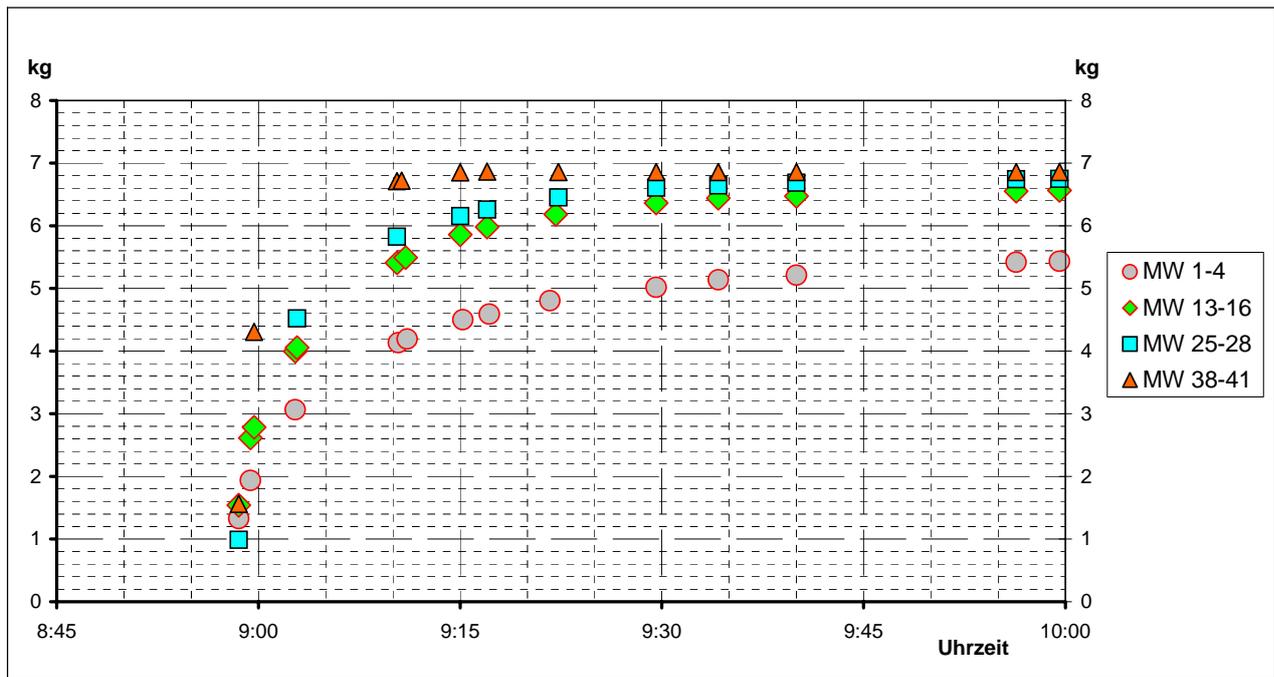


Diagramm 3-4: Wasserablauf in die Messzellen während des Ausblasens, mit Mittelwerten (MW) der Vierergruppen

Die Ergebnisse zeigen, dass mehr als die Hälfte des Wassers in den ersten 5 Minuten (8:58 bis 9:03 Uhr) ausgeblasen wird. Weiters ist die ausgeblasene Wassermenge an der Filtereintrittsseite (MW 1-4) kleiner als an der Hydraulikseite (MW 38-41). Die bei MW 38-41 angefallene Wassermenge war so hoch, dass die Messbehälter überliefen. Dies wurde verursacht da an diesem Tag der Filterkuchenanfall unüblich gering war.

Aus Gründen der Versorgungssicherheit der Druckluftanlage für den Produktionsbetrieb und zur Senkung der Betriebskosten wurde in den Betriebsferien Ende Dezember 2003 der kleinere der beiden Kompressoren (SK 26; 2,3 m<sub>N</sub><sup>3</sup>/min) durch 2 neue (CSD 82 mit 8,25 m<sub>N</sub><sup>3</sup>/min und CSD 102 SFC mit 9,4 m<sub>N</sub><sup>3</sup>/min; ) ersetzt. Der CSD 102 SFC ist drehzahlregelbar und regelt den Solldruck kontinuierlich ein. Reicht seine Fördermenge nicht aus wird der CSD 82 (Last/Leerlauf-Regelung) zugeschaltet. Der CS 121 (12,4 m<sub>N</sub><sup>3</sup>/min) wird nun als Ausfallreserve verwendet. Durch diese Schaltungsänderung wird der Druckluft-Systemdruck durch den Kammerfilter-Ausblasvorgang nicht mehr beeinflusst. Laut Angaben der Joh. Pengg AG wird außerdem der Stromverbrauch zur Druckluftherzeugung nahezu halbiert.

Um das Verhalten des Filters unter den verschiedenen Bedingungen einer Betriebswoche zu untersuchen wurden alle Belade- und Ausblasvorgänge in der Zeit vom 3.3. bis 8.3.2004 gemessen und analysiert. Die wichtigsten Ergebnisse dazu sind im Anhang V zusammengestellt. Anhand der Ausblasvorgänge am 3.3.2004 (Diagramm 3-5) bei dem viel Filterkuchen

und am 6.3.2004 (Diagramm 3-6) bei dem wenig Filterkuchen auf den Filtertüchern aufgebaut wurde wird das Verhalten bei unterschiedlicher Filterkuchenmenge analysiert.

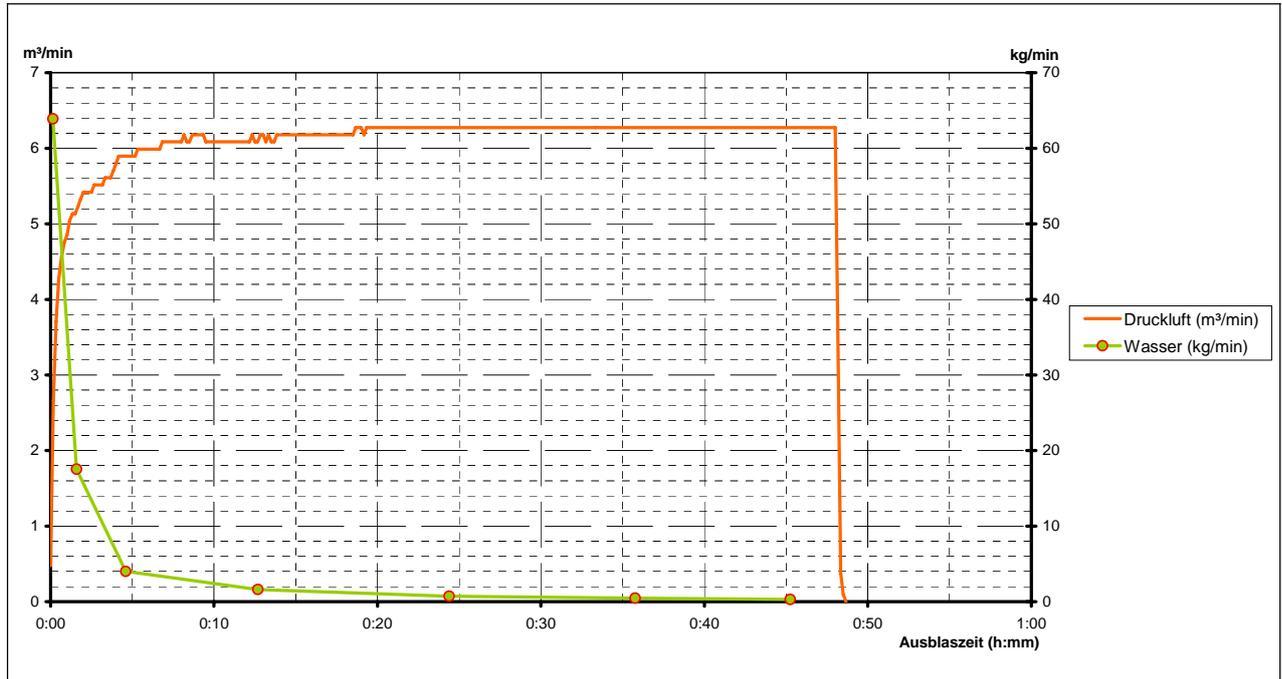


Diagramm 3-5: Druckluftverbrauch und ausgeblasene Wassermenge am 3.3.2004 bei viel Filterkuchen. (Mit 265 m³ Luft wurden 113 kg Wasser ausgeblasen; der erzielte Filterkuchenwassergehalt beträgt 79,1 %)

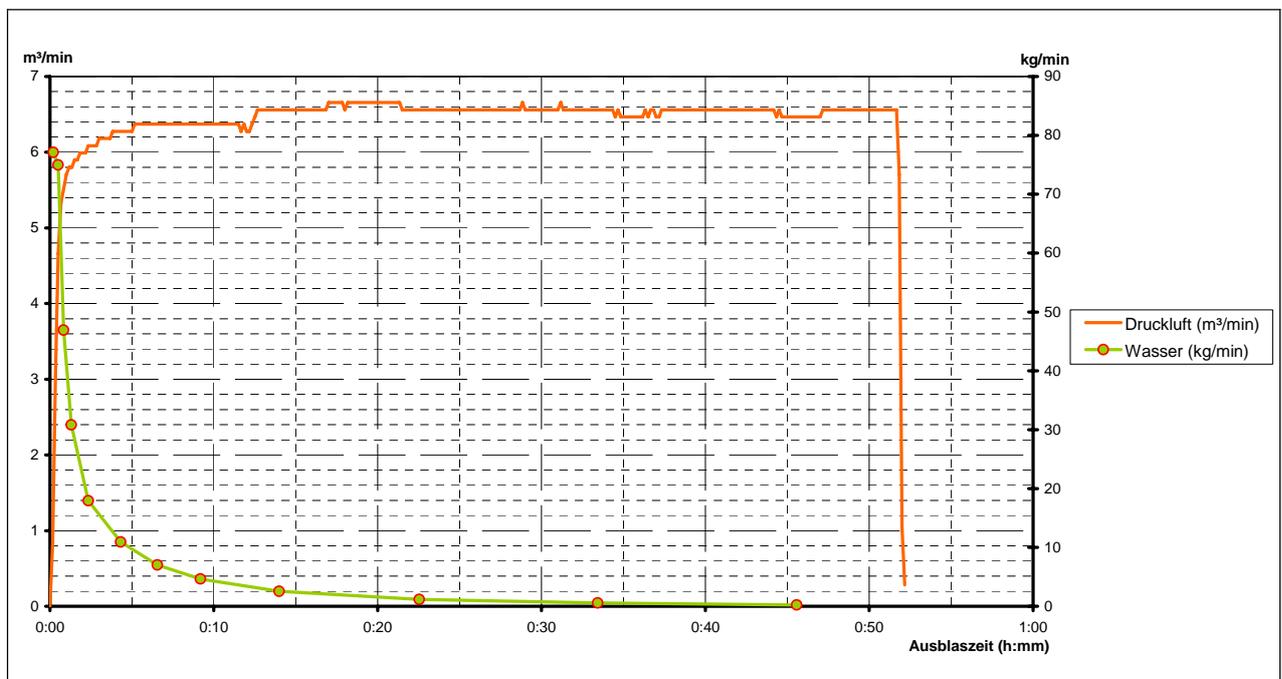


Diagramm 3-6: Druckluftverbrauch und ausgeblasene Wassermenge am 6.3.2004 bei wenig Filterkuchen. (Mit 334 m³ Luft wurden 205 kg Wasser ausgeblasen; der erzielte Filterkuchenwassergehalt beträgt 83,6 %)

Man sieht dass bei weniger Filterkuchen einerseits viel mehr Wasser ausgeblasen werden muss, aber andererseits nur eine schlechtere Schlammentwässerung (höherer Wassergehalt) erzielbar ist. Diese Ergebnisse der Messtage vom 2.3. bis 8.3.2004 sind in Diagramm 3-7 dargestellt.

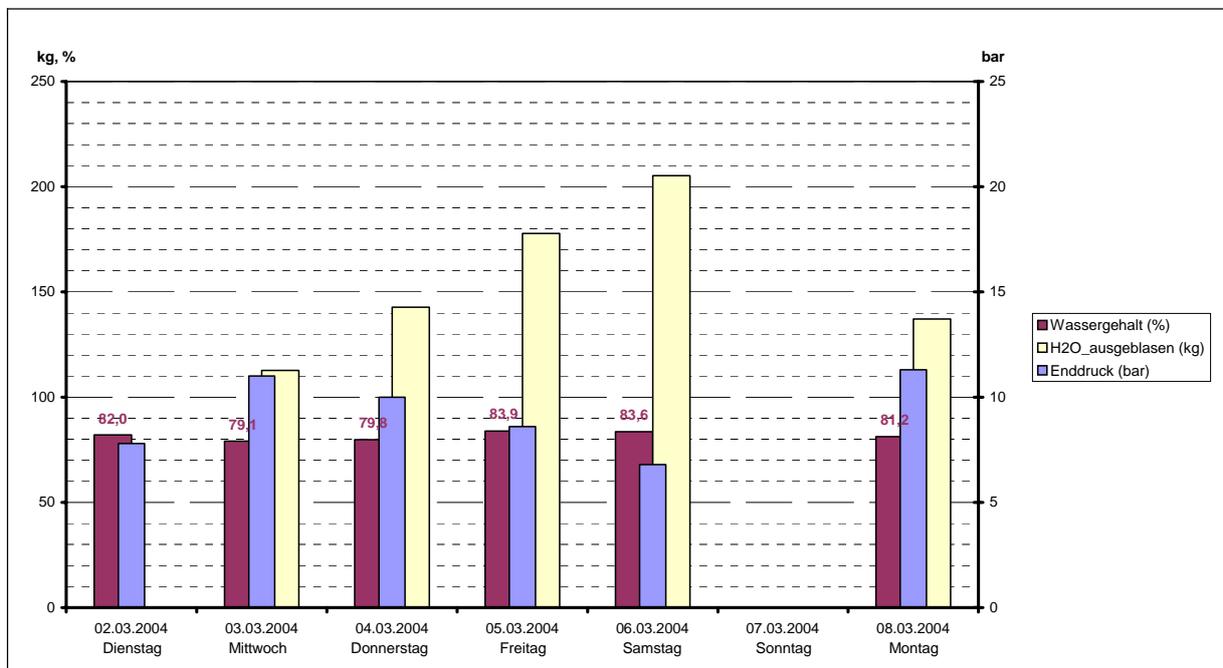


Diagramm 3-7: Wassergehalt, ausgeblasener Wassermenge und Pumpenenddruck vom 2.3. bis 8.3.04

Die Abhängigkeit des erzielten Wassergehaltes bei den obigen Messungen vom Pumpendruck am Ende der Filterbeladung ist in Diagramm 3-8 dargestellt.

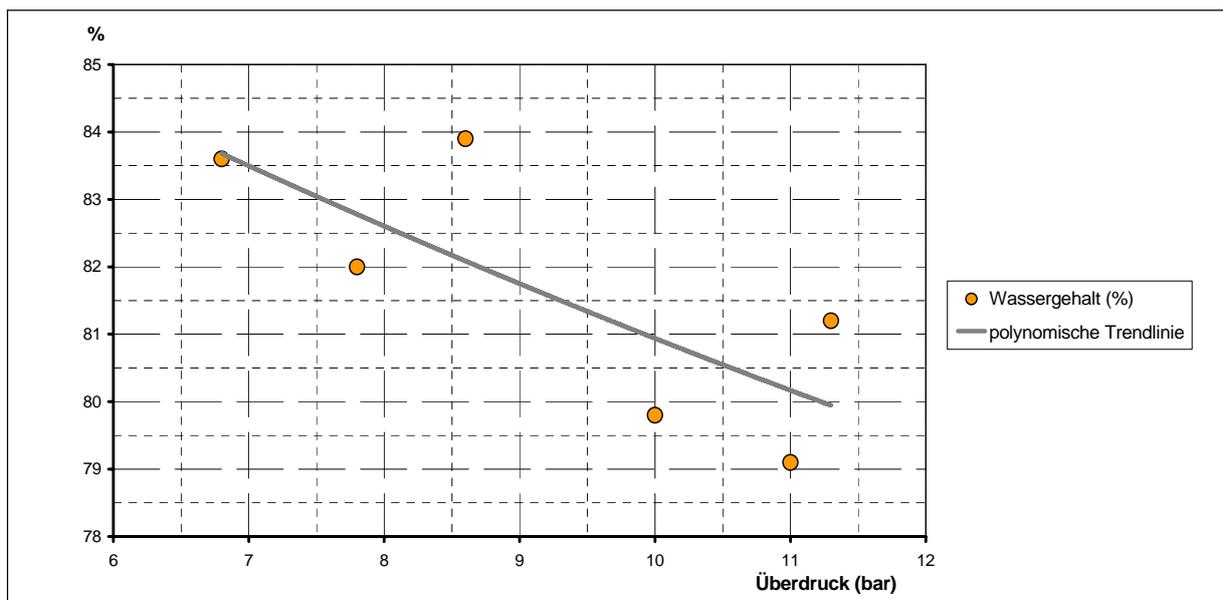


Diagramm 3-8: Abhängigkeit des erzielten Wassergehaltes vom Pumpendruck

Um einen ausreichenden Enddruck zu erreichen ist unter anderem auch eine ausreichend hohe Fördermenge der Pumpe bei höheren Drücken (steife Pumpenkennlinie) erforderlich. Dies ist bei der in diesem Fall verwendeten Exzentrerschneckenpumpe normalerweise der Fall. Die Messungen ergaben jedoch dass die Pumpenfördermenge stark druckabhängig ist, was auf einen Defekt der Pumpe (Verschleiß) hinweist. Die Pumpenkennlinie in Diagramm 3-9 wurde aus Messungen am 2.3.2004 im Zeitraum von 11:00 bis 24:00 Uhr ermittelt.

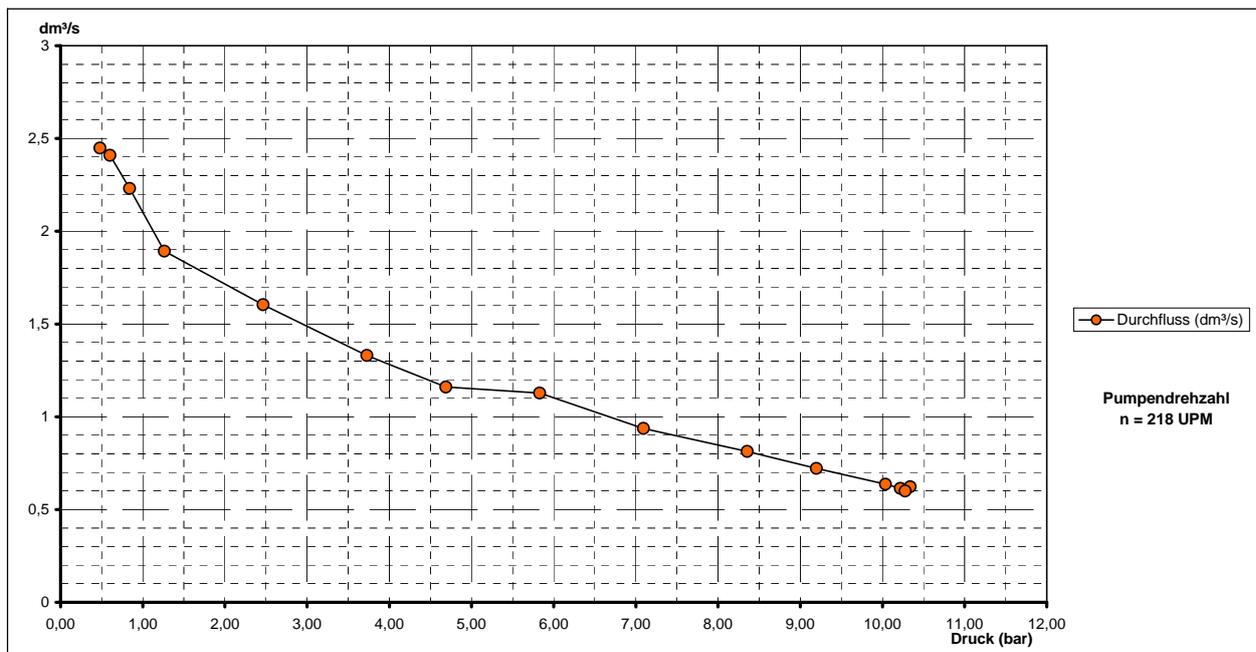


Diagramm 3-9: Kennlinie der Exzentrerschneckenpumpe KSB N 100-60.4 aus Messungen vom 2.3.2004 von 11:00 bis 24:00 Uhr

Ein hoher Pumpenenddruck ist wichtig da der Einfluss der Filterkuchen-Endfeuchte auf die Entsorgungskosten relativ hoch ist. Durch Reduktion des Wassergehaltes von 84 % auf 79 % beträgt die Gewichtsreduktion beim durchschnittlich anfallenden Filterkuchen 108 kg (Basis: täglich 330 kg Filterkuchen mit Wassergehalt 80 %) wodurch die Entsorgungskosten um etwa 25 % sinken (siehe dazu auch Diagramm 3-14 und Anhang III). Wenn eine ausreichende Fördermenge auch bei hohen Drücken erreicht wird kann außerdem die Zahl der Filterentleerungen reduziert werden wodurch Arbeitszeit und Ausblaskosten vermindert werden und somit eine Ressourceneffizienzsteigerung eintritt.

Die Abhängigkeit der Pumpenfördermenge vom Druck wird durch Rückströmungen innerhalb der Pumpe aufgrund von Leckagen (Verschleiß) verursacht. Dies führt auch zu einem unnötig hohen Stromverbrauch.

Wenn der Filterkuchen nach der Entnahme aus der Kammerfilterpresse nicht mehr weiter getrocknet wird (z. B. mit Abwärme) ist nach wirtschaftlichen Kriterien der Ausblasvorgang zu beenden, wenn die Einsparung an Entsorgungskosten für den Filterkuchen geringer wird, als die Kosten der dafür benötigten Druckluft. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 3-9 und 3-10 dargestellt.

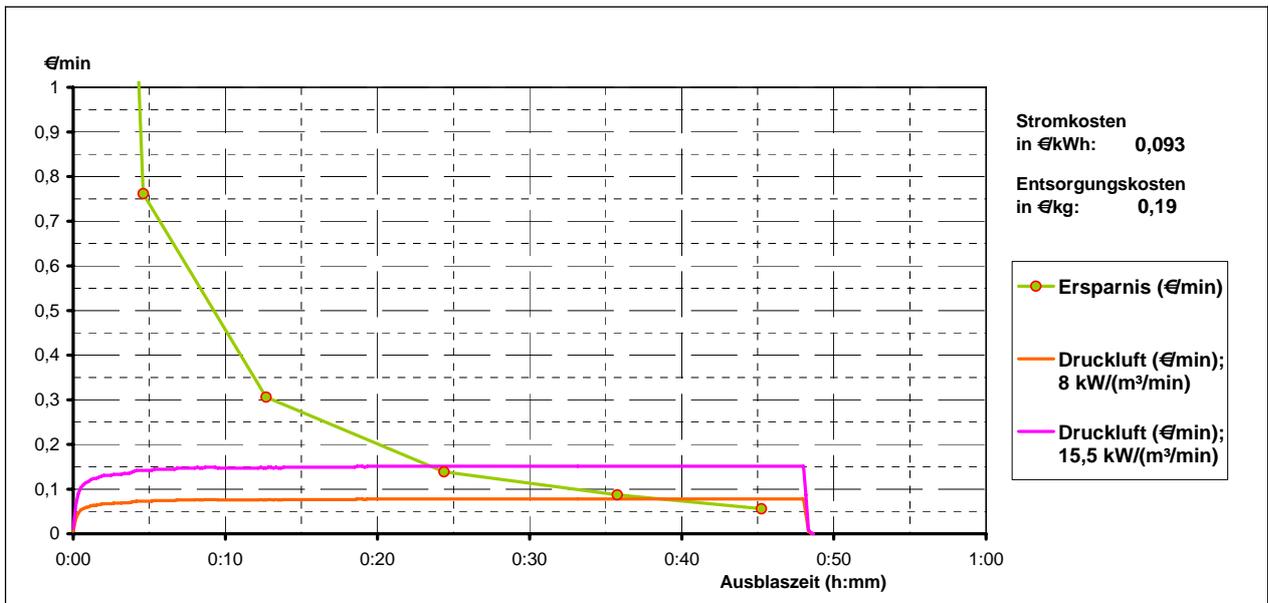


Diagramm 3-10: Druckluftkosten und Entsorgungskostensparnis am 3.3.2004 (Messung bei viel Filterkuchen)

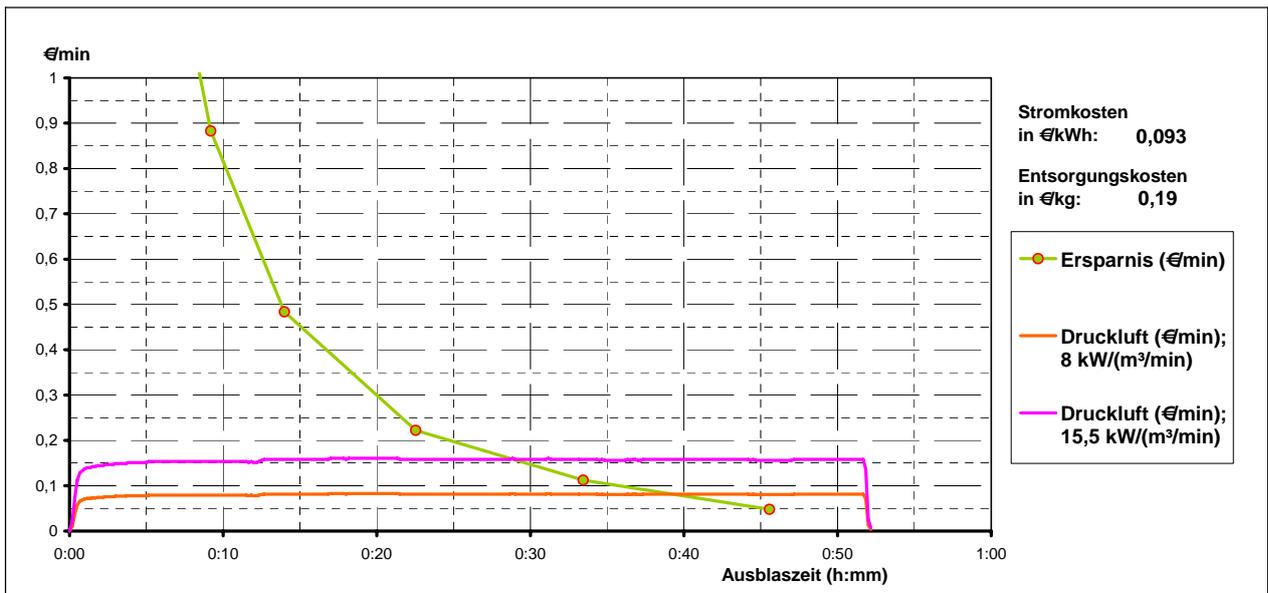


Diagramm 3-11: Druckluftkosten und Entsorgungskostensparnis am 6.3.2004 (Messung bei wenig Filterkuchen)

In den Diagrammen 3-10 und 3-11 stellt die grüne Kurve die Entsorgungskosteneinsparung pro Zeit (€/min) zum jeweiligen Zeitpunkt dar (aufgrund des pro Minute ausgeblasenen Wassers) und die rote Kurve die zu diesem Zeitpunkt anfallenden Druckluftkosten (€/min). Aus Gründen der Übersicht werden hier auf der Ordinate nur Werte bis 1 €/min dargestellt. Während der ersten halben Minute beträgt die Entsorgungskosteneinsparung etwa 14 €/min. Bei den Druckluftkosten sind hier nur die Energiekosten mit 0,0124 €/m<sup>3</sup> berücksichtigt. Dieser Wert ergibt sich mit der neuen Kompressoranlage bei einer spezifischen Leistung von 8 kW/(m<sup>3</sup>/min) und Stromkosten von 0,093 €/kWh. Als Entsorgungskosten für den Filterkuchen sind 0,19 €/kg zu Grunde gelegt.

Sowohl bei viel Filterkuchen (Diagramm 3-10) als auch bei wenig Filterkuchen (Diagramm 3-11) liegt der Schnittpunkt der grünen Kurve (Entsorgungskosteneinsparung) mit der roten Kurve (Druckluftkosten des neuen Kompressors) im Bereich von 40 Minuten Ausblaszeit. Daraus folgt, dass die ideale Ausblaszeit weitgehend unabhängig von der Filterkuchenausbildung ist. Der Druckluftverbrauch in den ersten 40 Minuten ist auch nur wenig von der Filterkuchenumenge abhängig und beträgt am 3.3.2004 243 m<sup>3</sup> und am 6.3.2004 256 m<sup>3</sup>. Außerdem verläuft der Schnitt ziemlich flach, woraus sich schließen lässt dass eine Variation der Ausblaszeit von +/- 5 Minuten keine wirtschaftliche Bedeutung hat. Das Optimum der Ausblaszeit bei den etwa doppelt so hohen Druckluftkosten mit den alten Kompressoren (15,5 kW/(m<sup>3</sup>/min), violette Kurve) liegt bei etwa 26 Minuten und der Schnitt ist etwas steiler.

Dass bei diesen Betrachtungen als Druckluftkosten nur die Energiekosten zur Druckluft-erzeugung berücksichtigt wurden, wird damit begründet, dass bei einem drehzahlregulierten Schraubenkompressor der Serviceaufwand unabhängig von der Auslastung des Kompressors ist. Auch die Investition ist nur vom maximal benötigten Druckluftbedarf und nicht von der Auslastung abhängig. Es wird dabei vernachlässigt, dass der 2. Kompressor (CSD 82) zeitweise nur wegen des Ausblasens anfahren muss. Bei anderen Druckluftanlagen bei welchen der Serviceaufwand stärker von der erzeugten Druckluftmenge abhängt kann es jedoch erforderlich sein dies bei den Druckluftkosten zu berücksichtigen.

Prinzipiell kann festgestellt werden, dass zum Filterausblasen ein als Redundanz vorgesehener Kompressor verwendet werden kann, da bei Ausfall eines Kompressors das Ausblasen bei zu geringem Druck im Druckluftsystem jederzeit z. B. mit einem Magnetventil unterbrochen und, nachdem sich der Druckspeicher wieder erholt hat, wieder fortgesetzt werden kann.

### 3.4 Konzeption der Trocknungsvorrichtung mit Tests in bestehender Trockenkammer

Als Trockner war eine abwärmebetriebene Trockenkammer vorgesehen, in die der täglich anfallende Filterkuchen z. B. mit einem Stapler eingebracht wird.

Diese Situation konnte gut mit der im Betrieb vorhandenen, erdgasbeheizten Trockenkammer simuliert werden. Nach Trocknungsversuchen im Labor-Trockner wurde ein erster Trocknungstest in dieser Trockenkammer mit dem gesamten Filterkuchen (181 kg; Wassergehalt 84,3 %) vom 2.12.2003 in der Zeit vom 2.12. bis 11.12.2003 vorgenommen. Dazu wurden jene Zeiträume genutzt, in denen die erdgasbeheizte Trockenkammer nicht für den Produktionsprozess benötigt wurde.

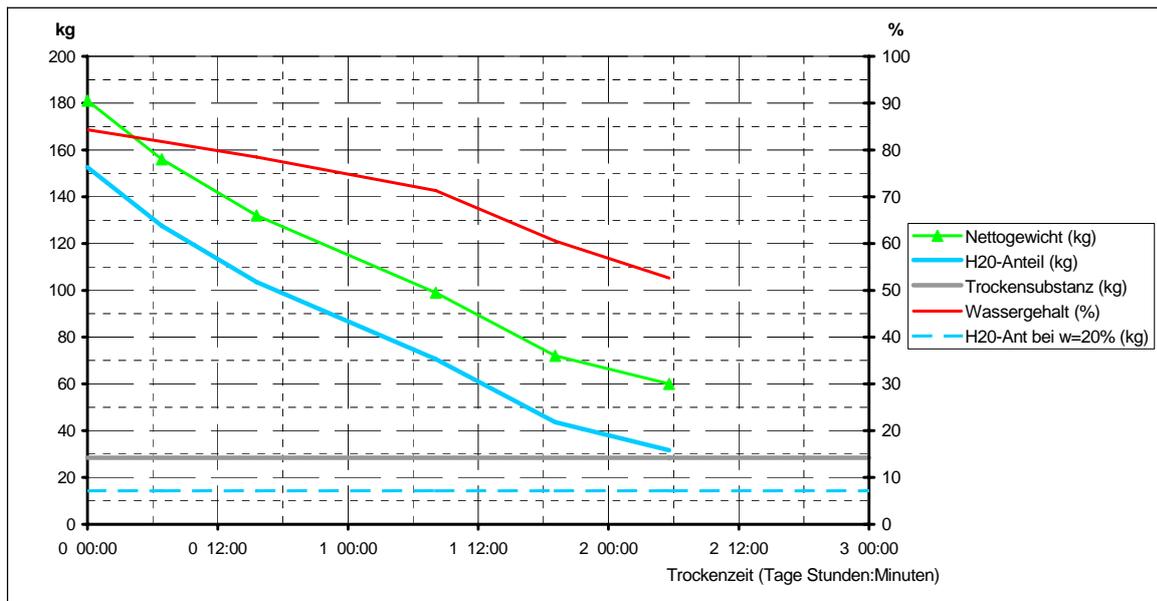
Der Filterkuchen wurde in eine Drahtgitterbox (Grundfläche einer Europalette) die mit einem Baumwolltuch ausgekleidet worden war (Abbildung 3-12) eingebracht, wobei sich eine Schütthöhe von etwa 30 cm ergab.



Abbildung 3-12: Gitterbox zum Trocknen des Filterkuchens

Vor dem Trocknungsbeginn und nach jeder Entnahme aus dem Trockner wurde die Gitterbox gewogen und so der Trocknungsfortschritt ermittelt (Diagramm 3-12). Die Trockensubstanz wurde aufgrund einer Wassergehaltsbestimmung rechnerisch ermittelt.

Ressourceneffizienzsteigerung durch Optimierung der Filterreinigung  
mittels Abwärmenutzung in einem metallverarbeitenden Betrieb



**Diagramm 3-12:** Trocknungsverlauf des gesamten Filterkuchens vom 2.12.2003 im Trockenofen bei 150 °C; Schütthöhe etwa 30 cm.

Wie aus Diagramm 3-12 ersichtlich, ist die Trockengeschwindigkeit unter diesen Bedingungen zu gering da maximal 24 Stunden als Trockenzeit zur Verfügung stehen. Als Endergebnis wurde ein Wassergehalt von 20 % angestrebt. Durch Verringern der Schütthöhe oder durch Wenden der Schüttung kann die Trockengeschwindigkeit erhöht werden.

Mit Filterkuchen vom 8.3.2004 wurde in der Zeit vom 8.3. bis 10.3.2004 ein weiterer Trocknungsversuch durchgeführt, wobei diesmal die Schütthöhe in der Gitterbox nur 10 cm betrug. Wie in Diagramm 3-13 ersichtlich, kann mit dieser geringere Schütthöhe die angestrebte Trockenzeit erreicht werden.

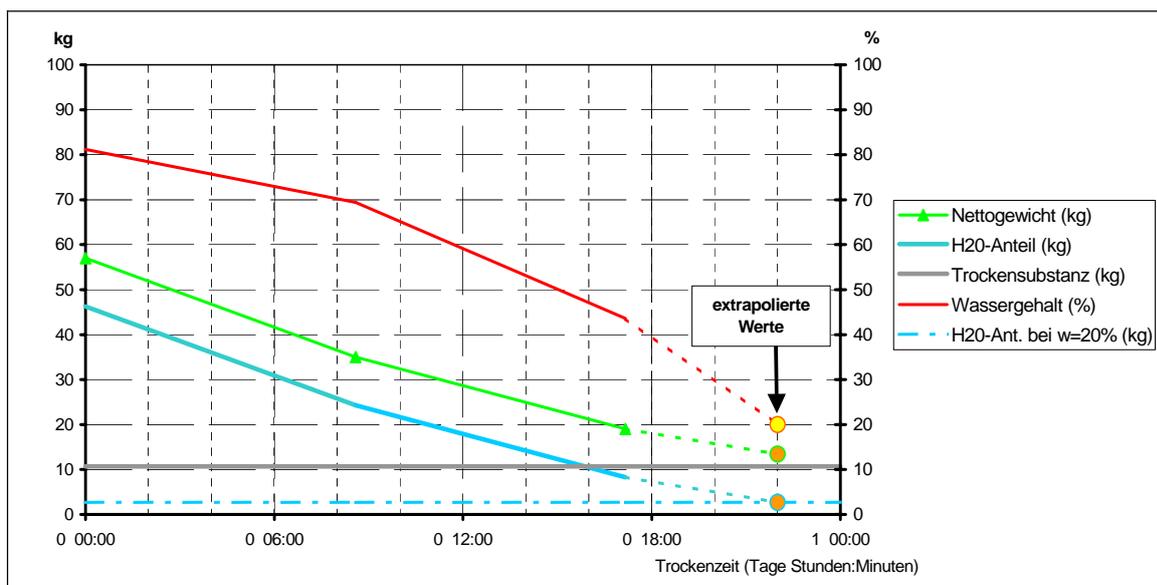


Diagramm 3-13: Trocknungsverlauf des Filterkuchens vom 8.3.2004 im Trockenofen bei 150 °C; Schütthöhe etwa 10 cm.

### 3.5 Konzeption des abwärmebetriebenen Trockners und Wirtschaftlichkeitsüberlegungen

Ursprünglich war geplant das Abgas eines Verbrennungsprozesses (z.B. Wärmebehandlungs-  
ofen) direkt zur Trocknung zu verwenden und dafür die Trockenkammer möglichst nahe  
dieser Wärmequelle aufzustellen. Der täglich anfallende Filterkuchen sollte z. B. mit einem  
Stapler eingebracht werden. Das diesbezügliche Schaltbild ist in Abbildung 3-13 dargestellt.

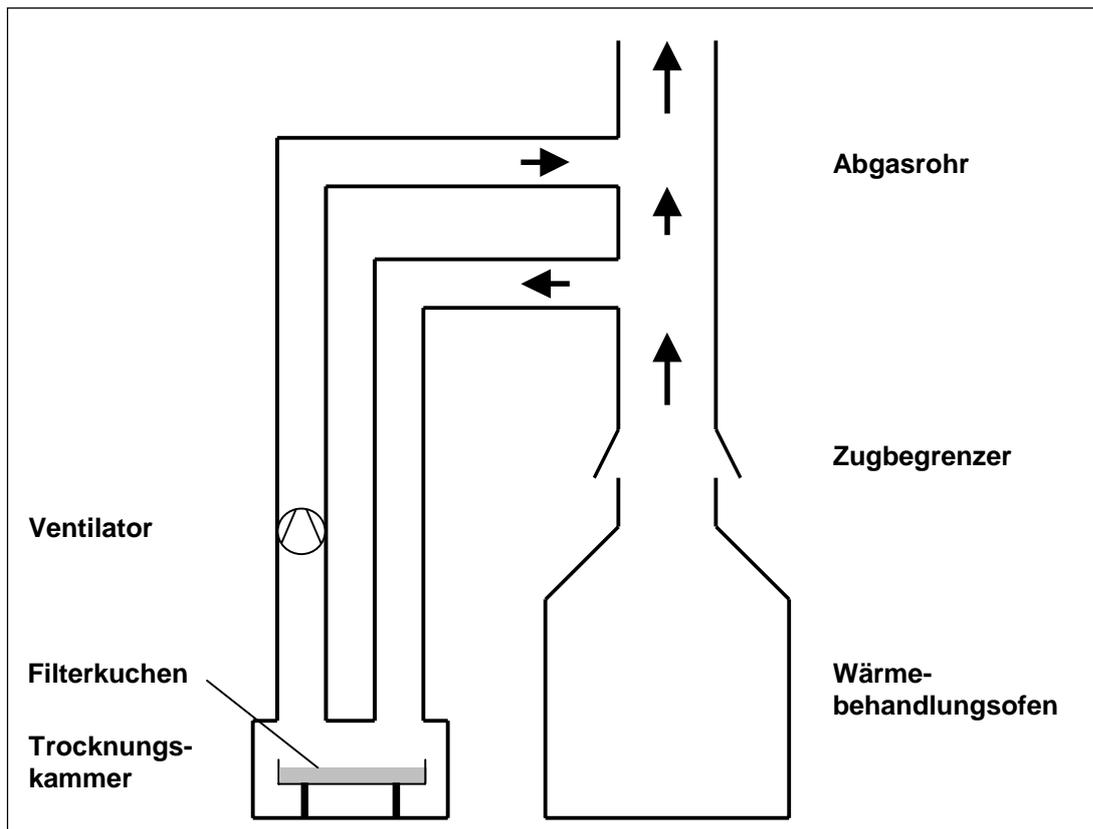


Abbildung 3-13: Schema des abgasbetriebenen Trockners.

Erst spät stellte sich heraus dass dieses Konzept aus innerbetrieblichen Gründen nicht  
realisierbar ist. Es wurde daher ein neues Konzept zur Trocknung des Filterkuchens direkt im  
Auffang- und Transportbehälter unterhalb der Kammerfilterpresse erarbeitet (Abbildung 3-  
14). Dabei wird vorgewärmte Luft, die in diesem Bereich verfügbar ist, (z. B. Abluft von den  
Kompressoren oder Hallenabluft) über den Zuluftstutzen dem Container zugeführt und über  
die Filterkuchenschüttung geleitet. Ein Ventilator im Abluftrohr erzeugt die notwendige Luft-  
zirkulation (durch Unterdruck im Container tritt daher bei Undichtigkeiten der Container-  
abdeckung keine Trocknungsluft in den Arbeitsraum aus). Wenn eine bessere Wasserdampf-

sättigung der Abluft erreicht werden soll, kann über einen Bypass ein Teil der Abluft der Zuluft beigemischt werden. Das Abluftrohr wird ins Freie geführt.

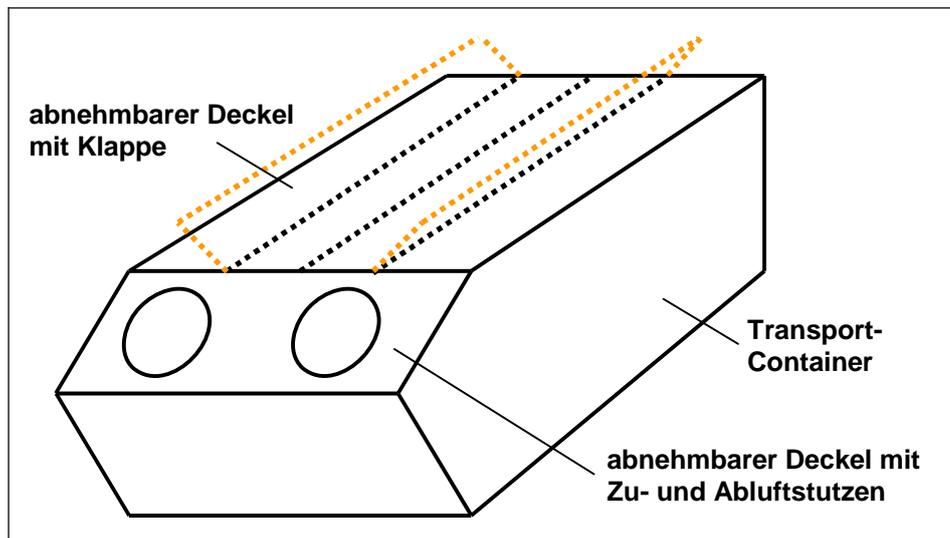


Abbildung 3-14: Konzept für die Trocknung unter der Kammerfilterpresse

Wenn der Container mit Filterkuchen voll ist, werden die Deckel angehoben und der volle Container gegen einen leeren ausgetauscht. Ein weiterer Vorteil des Trocknens ist eine Volumsreduktion auf etwa 30 % (bei Trocknung von 80 % auf 20 %) wobei sich die Container-Entleerungsintervalle dementsprechend verlängern.

Da hier zur Trocknung aber nur warme Luft im Bereich von etwa 25 °C bis 50 °C zur Verfügung steht, müssten zur genaueren Auslegung dieser Trockenkammer noch weitere Versuche durchgeführt werden.

### **Wirtschaftlichkeitsüberlegungen**

Die Entsorgung des Filterkuchens wird nach Gewicht verrechnet. Im Jahr 2002 wurden 75.000 kg Filterkuchen mit einem Wassergehalt von 80 % entsorgt, wobei die Entsorgungskosten 0,19 €/kg betragen. Durch Trocknen des Filterkuchens verringert sich dessen Gewicht, wodurch sich die Entsorgungskosten reduzieren. Dieser Zusammenhang ist in Diagramm 3-14 dargestellt. Die rote Kurve stellt das Gewicht des Filterkuchens dar. Werte für höheren Wassergehalt als 80 % wurden mit gleicher Trockensubstanz hochgerechnet. Die

schwarze Kurve zeigt die Entsorgungskosten dieses Filterkuchens bei unterschiedlichem Wassergehalt. Die graue Kurve zeigt die Entsorgungskosteneinsparung, wenn der Filterkuchen vom Ausgangszustand (80 % Wassergehalt) auf den jeweiligen Wassergehalt getrocknet wird.

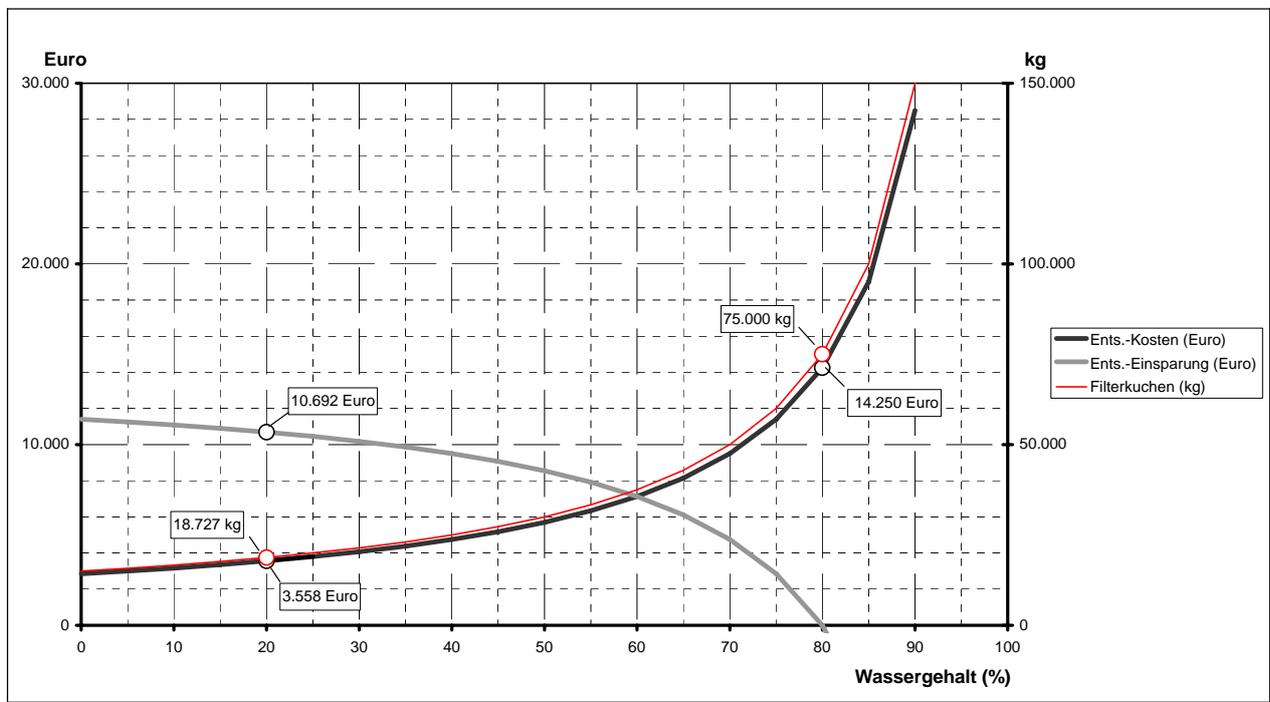


Diagramm 3-14: Gewicht und Entsorgungskosten in Abhängigkeit vom Filterkuchen-Wassergehalt  
(Angaben aus 2002: 75.000 kg Filterkuchen mit 80 % Wassergehalt; Entsorgungskosten 0,19 €/kg)

Man sieht, dass bei einer Trocknung herunter bis auf 20 % Wassergehalt ein jährliches Einsparungspotential von mehr als 10.000 € besteht. Da durch die Trocknung eine Volumsreduktion auf ca. 30 % erfolgt (bei Wassergehaltsreduktion von 80 % auf 20 %), erhöhen sich die Container-Entleerungsintervalle von 2 Wochen auf 6 Wochen, wodurch auch Arbeitszeit gespart wird. Diese Arbeitszeit kann jener zusätzlichen Arbeitszeit gegenübergestellt werden, die für die Handhabung der Trocknungsvorrichtung notwendig ist. Beim oben beschriebenen Konzept der Trocknung im Container unter der Kammerfilterpresse ist dabei einmal täglich die Füllklappe oben am Container zu öffnen und nach der Filterentleerung wieder zu schließen. Bei den selteneren Container-Entleerungen sind die beiden Deckel (bzw. in einem Stück) anzuheben und auf den neuen Container wieder aufzusetzen. Es würde also durch diese Trocknungseinrichtung der personelle Aufwand etwa gleich bleiben.

Als Betriebskosten für die Trocknungseinrichtung fallen nur die Stromkosten für den Ventilator (etwa 2 kW) an, wodurch sich jährliche Kosten von etwa 1.500 € ergeben.

Die notwendigen Investitionen für die Trocknungsvorrichtung sind die (bzw. der) anhebbaren Container-Deckel, die Luftführungsrohre und der Ventilator. Das hohe Einsparungspotential von etwa 9.000 €/Jahr wird diese Investitionen rechtfertigen.

Zum Vergleich wurden die Einsparungsmöglichkeiten durch einen der Joh. Pengg AG angebotenen Kondensationstrockner untersucht. Es muss hier von der Kosteneinsparung von 10.700 €/a durch Reduktion der Entsorgungskosten noch der Energieaufwand zum Trocknen von 2.100 €/a (0,4 kWh pro kg entzogenem Wasser) abgezogen werden (siehe dazu Anhang IV). Daraus ergibt sich ein Einsparungspotential von 8.600 €/a bei Gerätekosten von 40.000 €. Zusätzlich ist ein täglicher Manipulationsaufwand mit Stapler zur Entleerung des Trockners notwendig, wodurch diese Anschaffung wirtschaftlich nicht vertretbar ist.

#### **4 Detailangaben zu den Zielen der "Fabrik der Zukunft"**

Um den Zielen einer auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Wirtschaft gerecht zu werden, stellt die "Fabrik der Zukunft" ein Maximum an Nutzen mit einem Minimum an Ressourcenverbrauch her. Nachhaltiges Wirtschaften unterstützt durch sparsame Nutzung natürlicher Ressourcen einen Technologievorsprung und damit die Erreichung positiver Wirtschafts- und Beschäftigungszahlen.

##### 4.1 Prinzip der Dienstleistungs-, Service- und Nutzenorientierung

Eine nachhaltige Wirtschaft konzentriert sich auf die mit Energie zu erfüllenden Dienst- oder Serviceleistungen. Aufgrund der Arbeiten im gegenständlichen Projekt kann der Druckluftverbrauch zur Filterreinigung optimiert und die Entsorgungskosten für den Filterkuchen deutlich reduziert werden.

##### 4.2 Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen

Die Abwärme, die zur Trocknung eingesetzt wird, ist im weitesten Sinn ein erneuerbarer Energieträger.

#### 4.3 Effizienzprinzip

Dem Effizienzprinzip wird durch Optimierung des Druckluftverbrauchs beim Ausblasen des Filters und durch Trocknung des Filterkuchens mit Abwärme entsprochen, da sich die Entsorgungskosten auf etwa ein Viertel reduzieren.

#### 4.4 Prinzip der Rezyklierungsfähigkeit

Da zur Trocknung Abwärme eingesetzt wird, wird das Prinzip der Rezyklierung in Form von Wärmerezyklierung berücksichtigt.

#### 4.5 Prinzip der Einpassung, Flexibilität, Adaptionfähigkeit und Lernfähigkeit

Aus den Ausblas- und Trocknungsversuchen wurden Diagramme gezeichnet, die das Erzielen des Optimums auch bei geänderten Bedingungen ermöglichen. Durch die Versuche wurde Know-how aufgebaut, das eine kontinuierliche Anpassung an neue Entwicklungen ermöglicht.

#### 4.6 Prinzip der Fehlertoleranz und Risikovorsorge

Bei Störungen in der Druckluftversorgung des Betriebes kann das Filterausblasen unterbrochen werden. Im Bedarfsfall kann auch die Ausblaszeit (entspricht dem Druckluftverbrauch) verringert werden, zu Lasten eines höheren Filterreinigungsaufwands und erhöhter Entsorgungskosten (höherer Wassergehalt). Störungen an der Trocknungsanlage selbst erhöhen die Entsorgungskosten (sind jedoch nie höher als ohne Trocknung), haben jedoch keinerlei Rückwirkung auf den Produktionsprozess.

#### 4.7 Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität

Durch wenige zusätzliche Handgriffe für die Trocknung des Filterkuchens können große Einsparungen bei den Entsorgungskosten erzielt werden. Da durch die Trocknung des Filterkuchens eine Gewichtsreduktion auf 25 % und eine Volumsreduktion auf 33 % erfolgt, können zwei Drittel der Fahrten für den Abtransport eingespart werden, was ein Beitrag zur Erzielung einer lebenswerten Umwelt ist. Ein gut ausgebildeter Filterkuchen erleichtert einerseits das händische Abreinigen von den Filtertüchern und reduziert andererseits die Anzahl der notwendigen Abreinigungsvorgänge wodurch die Lebensqualität am Arbeitsplatz erhöht wird.

Die Ergebnisse dieses Projekts sind auf viele Anwendungen übertragbar, da Kammerfilterpressen beispielsweise auch bei der Reinigung kommunaler Abwässer, Industrieabwässer der Glasindustrie, der Steine- und Erdenindustrie und zur mechanischen Trennung von Feststoffen aus Prozesswasser der Fertigteilindustrie verwendet werden. Bei vielen dieser Anwendungen ist auch Abwärme zum Trocknen des Filterkuchens vorhanden. Weiters sind die Ergebnisse auch für die Dimensionierung der Druckluftanlagen von Bedeutung, da Kammerfilterpressen einen kurzzeitigen aber hohen Druckluftverbrauch aufweisen.

## **5 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen**

Durch eine optimale Betriebsführung der Kammerfilterpresse wird die Anzahl der Filterreinigungsszyklen reduziert (Arbeitszeit- und Drucklufteinsparung), beim Ausblasvorgang anhand der ermittelten Kurven der Druckluftverbrauch optimiert und durch die Trocknung des Filterkuchens mit Abwärme insgesamt eine Reduktion der Entsorgungskosten von 14.300 auf 3.600 €/Jahr erzielt, wodurch eine deutliche Ressourceneffizienzsteigerung erreicht wird.

Das Projektteam konnte durch die Messungen und Versuche Know-how aufbauen, das einerseits direkt für den Arbeitsablauf im Betrieb genützt werden kann und andererseits auf viele Anwendungen im Bereich Filtern, Entwässern und Trocknen anwendbar ist.

Die erarbeiteten verfahrenstechnischen Ergebnisse (z. B. Optimierung der Ausblaszeit) werden bereits angewendet. Für die Auslegung und den Bau des Prototyps der Trocknungsanlage sind noch weitere Messungen und Entwicklungen an einem Versuchsaufbau erforderlich.

## **6 Ausblicke/Empfehlungen**

Die Trocknung des Filterkuchens im Transport-Container unter der Kammerfilterpresse ist insofern interessant, dass kein eigener Behälter benötigt wird und dadurch auch der Manipulationsaufwand (z. B. Umleeren, Transportieren) klein gehalten werden kann. Durch die Containermaße und die täglich anfallende Filterkuchenmenge ergibt sich eine Schichtdicke die täglich durchtrocknet werden muss. Ob diese erforderliche Trockengeschwindigkeit auch mit der verfügbaren niedrigen Ablufttemperatur (25 °C bis 50 °C) erreicht wird, bzw. ob dafür noch Zusatzeinrichtungen (z.B. zum Wenden) notwendig sind, sollte in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

## Literaturverzeichnis

- 1 Bayer H., et al.: "Abwärmennutzung und Einsatz erneuerbarer Energieträger in einem metallverarbeitenden Betrieb", Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), "Fabrik der Zukunft" Proj.Nr.: 804130
- 2 Recknagel, H., Sprenger, E., Schramek, E.-R.: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik, Schramek, E.-R., (Hrsg.), 68. Auflage, R. Oldenbourg Verlag, Münschen, Wien, 1997, ISBN 3-486-26214-9
- 3 Kampagne "Druckluft effizient" der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena), des Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) und der VDMA Fachverband Kompressoren, Druckluft und Vakuumtechnik.  
<http://www.druckluft-effizient.de>

## Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1-1 Kammerfilterpresse
- Abbildung 1-2 Filterplatten-Seitenansicht
- Abbildung 1-3 Händisches Abreinigen des Filterkuchens durch Schütteln der Filtertücher und gegebenenfalls mit dem Schaber
- Abbildung 1-4 Anlagenschema der Kammerfilterpresse
- Abbildung 3-1 Schema der Wasser-Ablaufmengenmessung und Luftverbrauchsmessung
- Abbildung 3-2 Messaufbau mit Luft/Wasser-Abscheider
- Abbildung 3-3 Luftmengenmessung
- Abbildung 3-4 Anschluss der Filterplatten an das Abscheiderrohr
- Abbildung 3-5 Ablaufmengen-Messbehälter
- Abbildung 3-6 Niveaustandsmessvorrichtung
- Abbildung 3-7 Niveaustandsanzeige aller Messbehälter
- Abbildung 3-8 Schema der Druckmessung
- Abbildung 3-9 Druckmessstelle am Eingang der Kammerfilterpresse
- Abbildung 3-10 Auffangplattform für den Filterkuchen auf dem Container unter der Kammerfilterpresse
- Abbildung 3-11 PC-Messanlage
- Abbildung 3-12 Gitterbox zum Trocknen des Filterkuchens
- Abbildung 3-13 Schema des abgasbetriebenen Trockners
- Abbildung 3-14 Konzept für die Trocknung unter der Kammerfilterpresse

## Tabellenverzeichnis

- Tabell 3-1 Ursprüngliches Arbeitsprogramm
- Tabell 3-2 Angepasstes Arbeitsprogramm

### **Diagrammverzeichnis**

- Diagramm 3-1 Filterbeladung am 1.12.2003; (1.Teil)
- Diagramm 3-2 Filterbeladungfortsetzung am 2.12.2003; (2.Teil)
- Diagramm 3-3 Ausblasvorgang am 2.12.2003
- Diagramm 3-4 Wasserablauf in die Messzellen während des Ausblasens
- Diagramm 3-5 Druckluftverbrauch und ausgeblasene Wassermenge am 3.3.2004; viel Filterkuchen
- Diagramm 3-6 Druckluftverbrauch und ausgeblasene Wassermenge am 6.3.2004; wenig Filterkuchen
- Diagramm 3-7 Zusammenhang von Wassergehalt, ausgeblasener Wassermenge und Pumpendruck
- Diagramm 3-8 Abhängigkeit des erzielten Wassergehaltes vom Pumpendruck
- Diagramm 3-9 Kennlinie der Exzentrerschneckenpumpe; Messung vom 2.3.2004
- Diagramm 3-10 Druckluftkosten und Entsorgungskostenersparnis am 3.3.2004; viel Filterkuchen
- Diagramm 3-11 Druckluftkosten und Entsorgungskostenersparnis am 6.3.2004; wenig Filterkuchen
- Diagramm 3-12 Trocknungsverlauf des gesamten Filterkuchens vom 2.12.2003; Schütthöhe 30 cm
- Diagramm 3-13 Trocknungsverlauf des Filterkuchens vom 8.3.2003; Schütthöhe 10 cm
- Diagramm 3-14 Gewicht und Entsorgungskosten in Abhängigkeit vom Filterkuchen-Wassergehalt

### **Anhangverzeichnis**

- Anhang I: Abschätzungen zum Trocknen des Filterkuchens in der Kammerfilterpresse durch Druckluft-Vorwärmung
- Anhang II: Messungen an der Kammerfilterpresse am 2.10.2003
- Anhang III: Trocknen des täglichen Filterkuchens
- Anhang IV: Einsatz eines Kondensationstrockners
- Anhang V: Messdiagramme vom 2.3. bis 8.3.2004

## **ANHANG I**

### **Abschätzungen zum Trocknen des Filterkuchens in der Kammerfilterpresse durch Druckluft-Vorwärmung**

Laut Messungen vom 2.10.03:

Maximale Luftmenge/Kammer : 20 m<sup>3</sup>/h

Durchschnittliche Luftmenge / Kammer : 6 m<sup>3</sup>/h

Laut Messung 15.6.02 (Druckluftverbrauch-Zunahme während Abblasevorgang):

Gesamte Luftmenge: 3,5 m<sup>3</sup>/min = 210 m<sup>3</sup>/h (für alle 41 Kammern) =>

Mittlere Luftmenge/Kammer: 210 / 41 = 5,1 m<sup>3</sup>/h

Für die Abschätzung wird der mit ca. 7 bar maximal erreichbare Luft-Durchfluss durch eine Kammer von 20 m<sup>3</sup>/h angenommen:

- Nicht vorgewärmte Luft (Ist-Zustand):

Maximale Wasser-Aufnahmefähigkeit: 6 g (H<sub>2</sub>O) / kg (trockener Luft)

$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

$m(\text{H}_2\text{O}) = 20 * 1,25 * 6 = 150 \text{ g/h}$

#### **Zeitbedarf für die Trocknung von w = 78 % auf w = 77 %:**

Bei 78 % :      TS = 1,76 kg      H<sub>2</sub>O = 6,24 kg

Bei 77 % :      TS = 1,76 kg      H<sub>2</sub>O = 5,89 kg

Trockenzeit: (6,24 – 5,89) / 0,15 = 2,33 Stunden

Der Anteil der Trocknung durch die Druckluft ist minimal, da die während der Ausblasphase (ca. 30 Minuten) anfallende Wassermenge pro Kammer ca 4,5 kg beträgt (Messung 2.10.03). Der Wasseraustrag erfolgt daher hauptsächlich durch Ausblasen von Wassertröpfchen.

- Auf 90 °C erwärmte Druckluft:

Maximale Wasser-Aufnahmefähigkeit: 25 g (H<sub>2</sub>O) / kg (trockener Luft)

$$\rho = 1,13 \text{ kg/m}^3$$

$$m (\text{H}_2\text{O}) = 20 * 1,13 * 25 = 565 \text{ g/h}$$

**Zeitbedarf für die Trocknung:**

Bei 78 % :      TS = 1,76 kg      H<sub>2</sub>O = 6,24 kg

Bei 77 % :      TS = 1,76 kg      H<sub>2</sub>O = 5,89 kg

Bei 20 % :      TS = 1,76 kg      H<sub>2</sub>O = 0,44 kg

Trockenzeit (78 % -> 77 %): (6,24 – 5,89) / 0,565 = 0,2 Stunden

Trockenzeit (78 % -> 20 %): (6,24 – 0,44) / 0,565 = 10,3 Stunden

Für die Erreichung der gewünschten Endfeuchte des Filterkuchens von  $w = 20 \%$  müsste daher mindestens 10 Stunden getrocknet werden. Dies ist jedoch wegen des hohen Energiebedarfs für die Druckluft-Bereitstellung nicht sinnvoll und wegen des hohen Zeitbedarfes nicht möglich.

Es wird daher vorgeschlagen in der Kammerfilterpresse den Wassergehalt mit Druckluft nur soweit zu reduzieren bis eine leichte Entfernung des Filterkuchens von den Filtertüchern möglich ist.

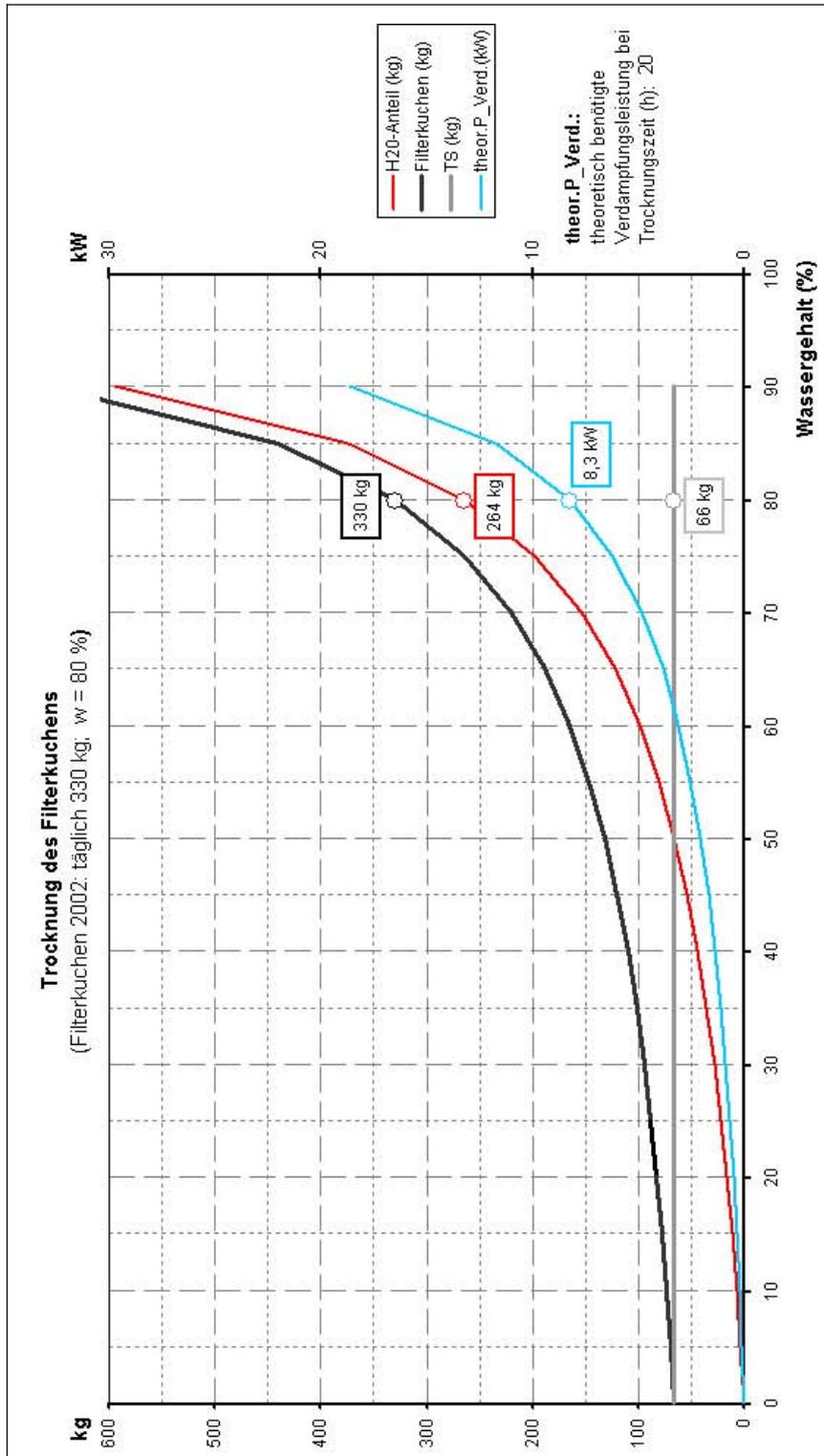
Die Trocknung soll mit einem abwärmebetriebenen Trockner erfolgen, der unabhängig von der Kammerfilterpresse ist. Dieser ist in der weiteren Projektphase zu konzipieren.



### ANHANG III

#### Trocknung des täglichen Filterkuchens

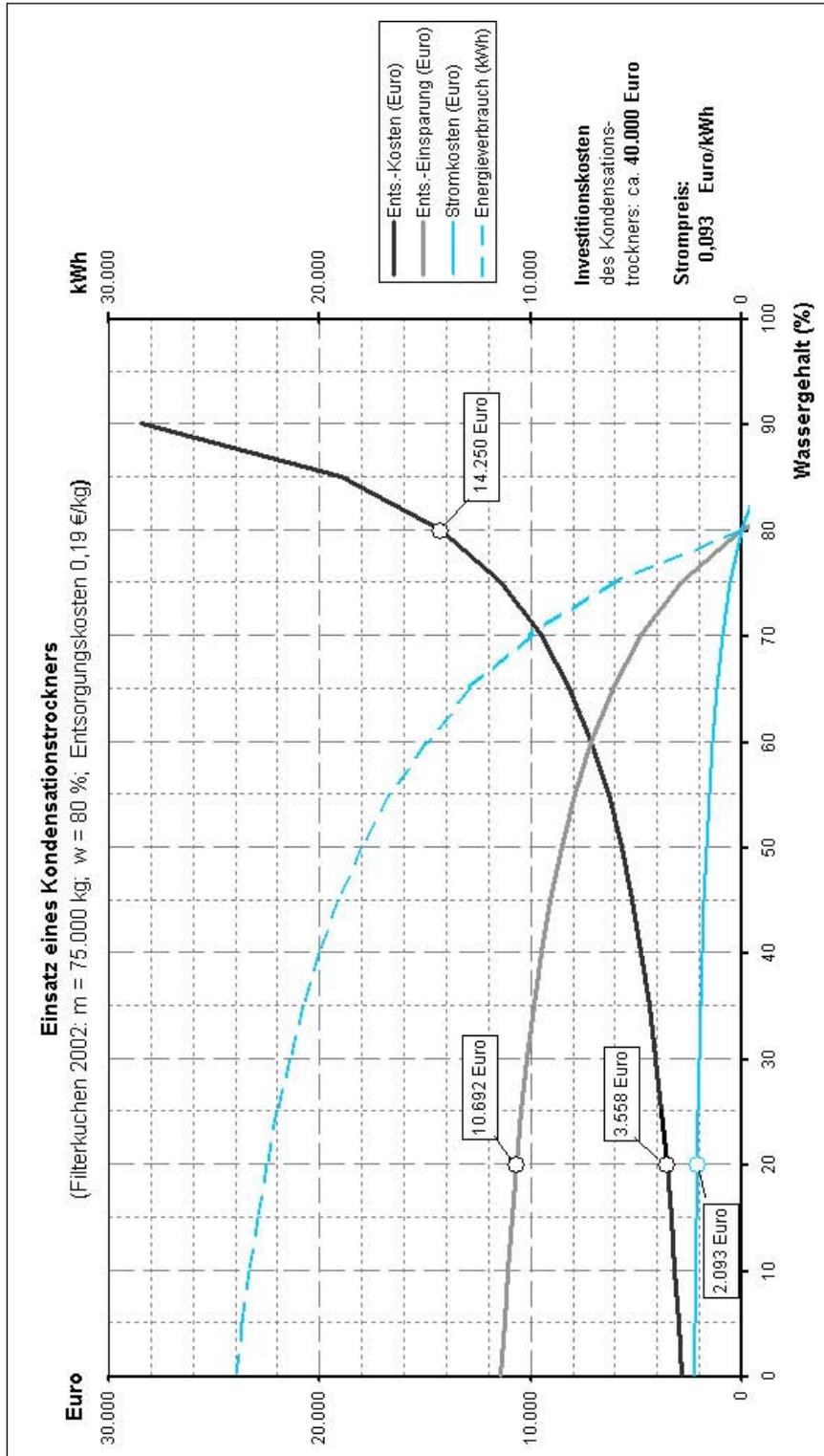
Gesamtgewicht, Trockensubstanz, Wasseranteil und theoretisch benötigte Verdampfungsleistung (bei 20-stündiger Trocknung) in Abhängigkeit vom jeweiligen Wassergehalt. Ausgangssituation: täglich 330 kg Filterkuchen mit 80 % Wassergehalt (Mittelwert aus 2003)



## ANHANG IV

### Kostensituation bei Einsatz eines Kondensationstrockners

Die tatsächliche jährliche Kosteneinsparung beträgt: Filterkuchenentsorgungskosten-einsparung (=Ents. -Einsparung) minus Stromkosten. Bei Trocknung auf 20 % Wassergehalt sind dies 10.692 € – 2.093 € = 8.599 € pro Jahr. Dem gegenüber stehen Investitionskosten für den Trockner von etwa 40.000 €

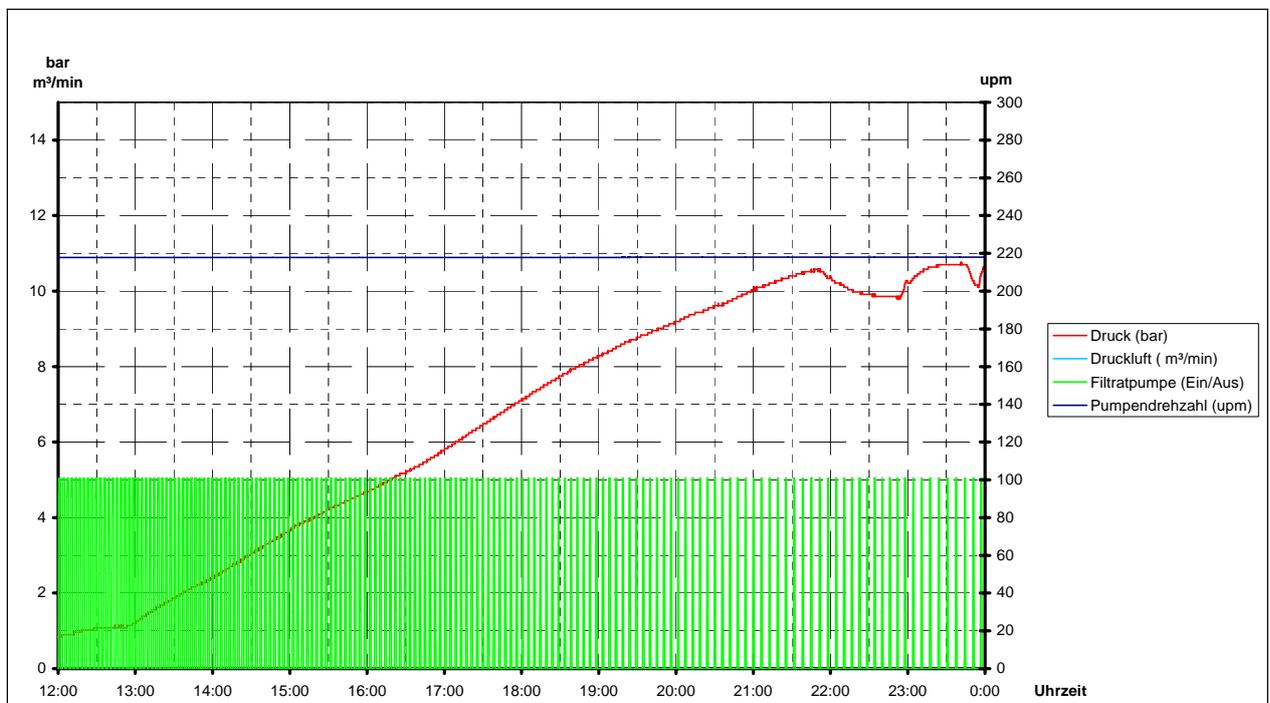
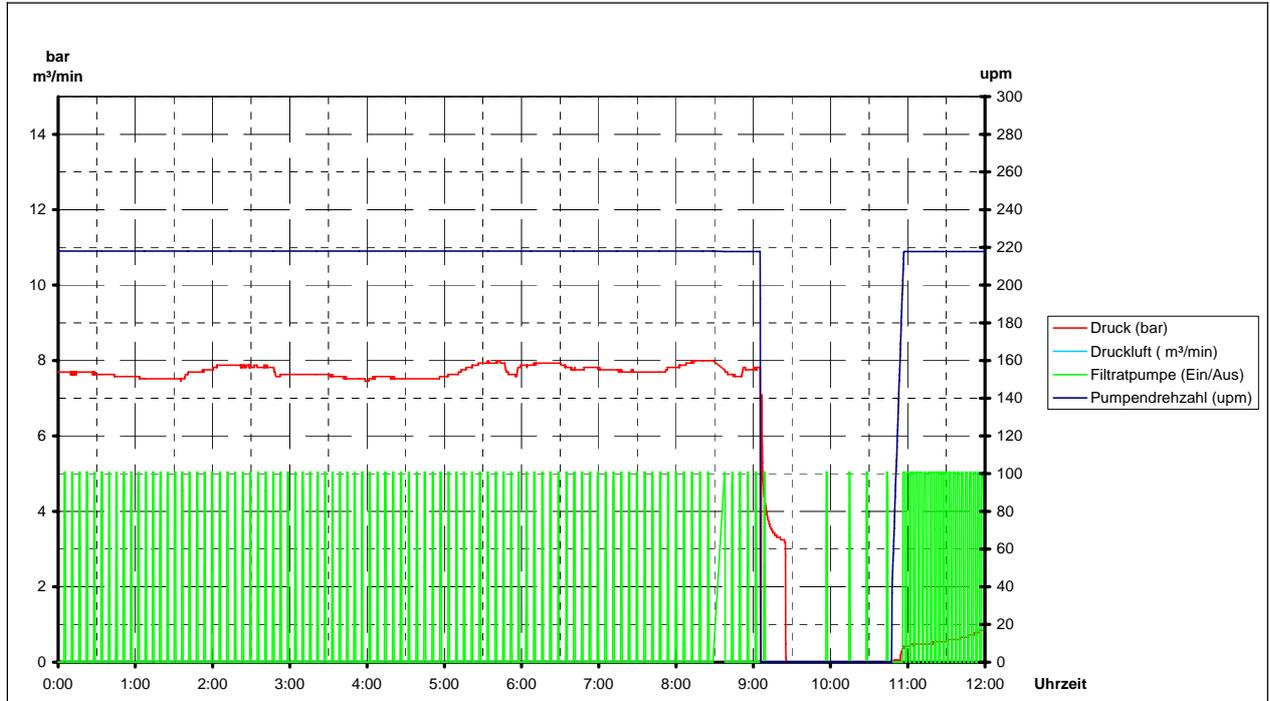




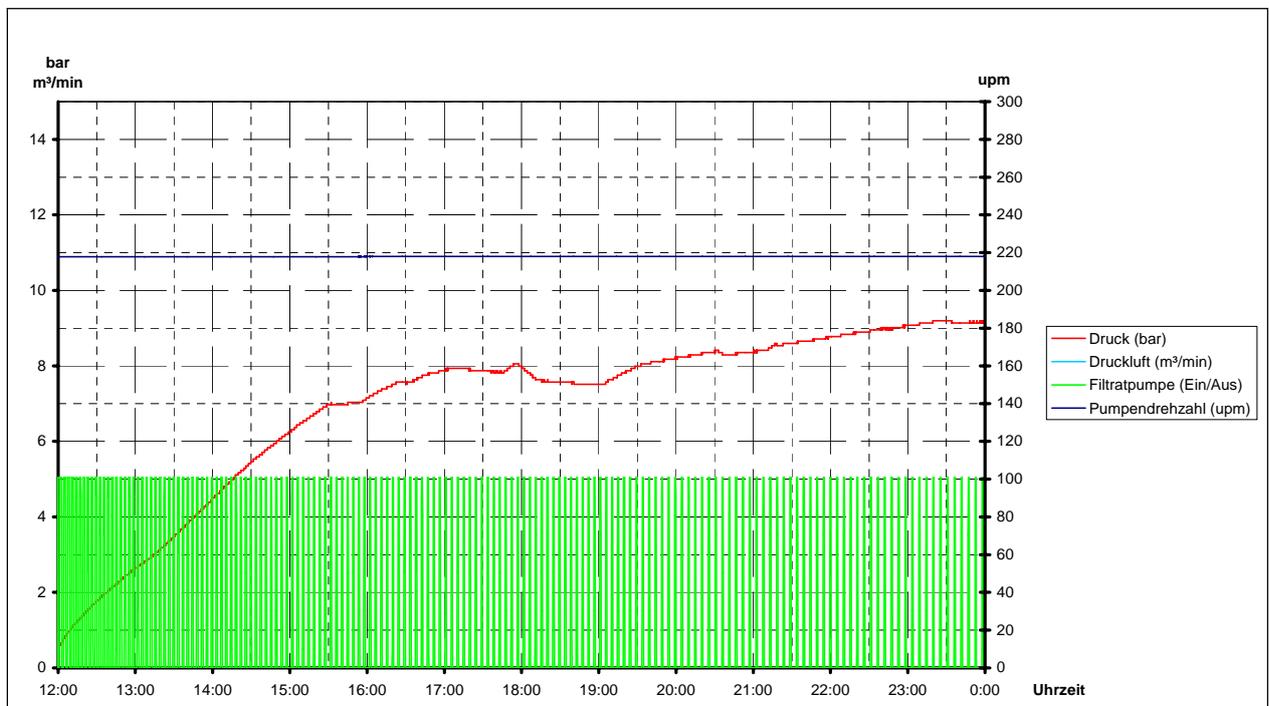
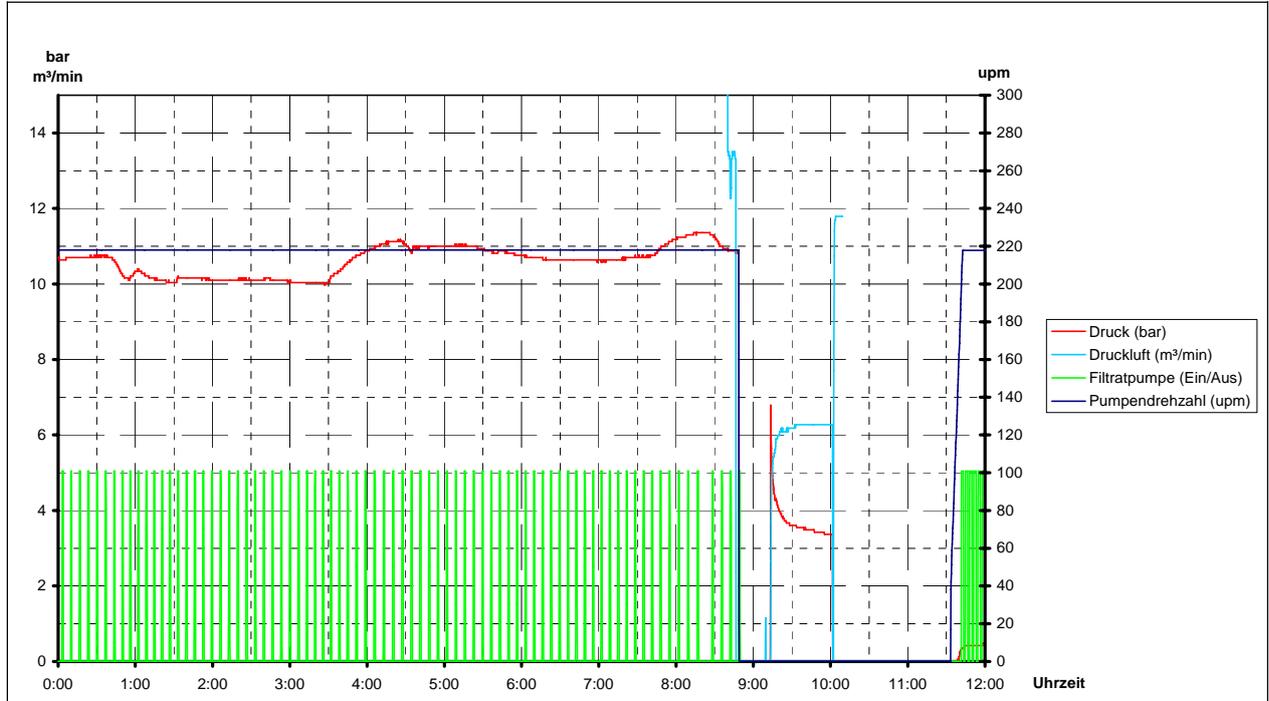
## ANHANG V

### Messung vom 2.3.2004

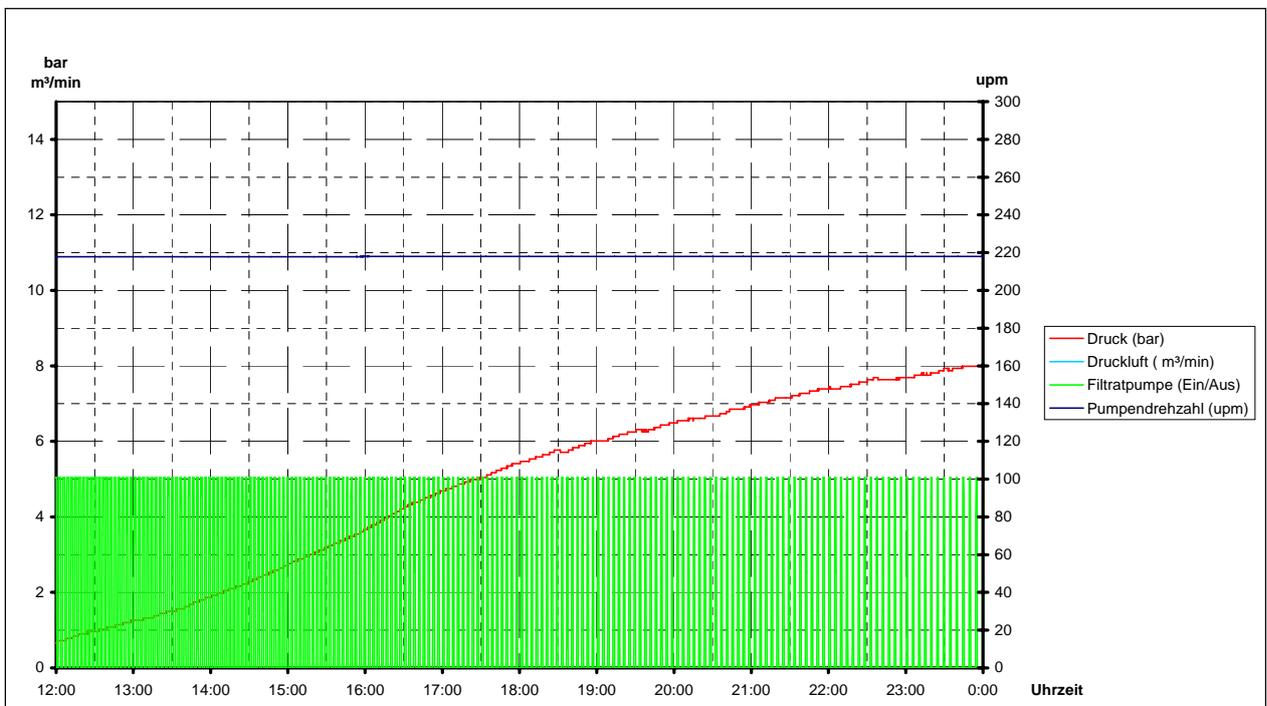
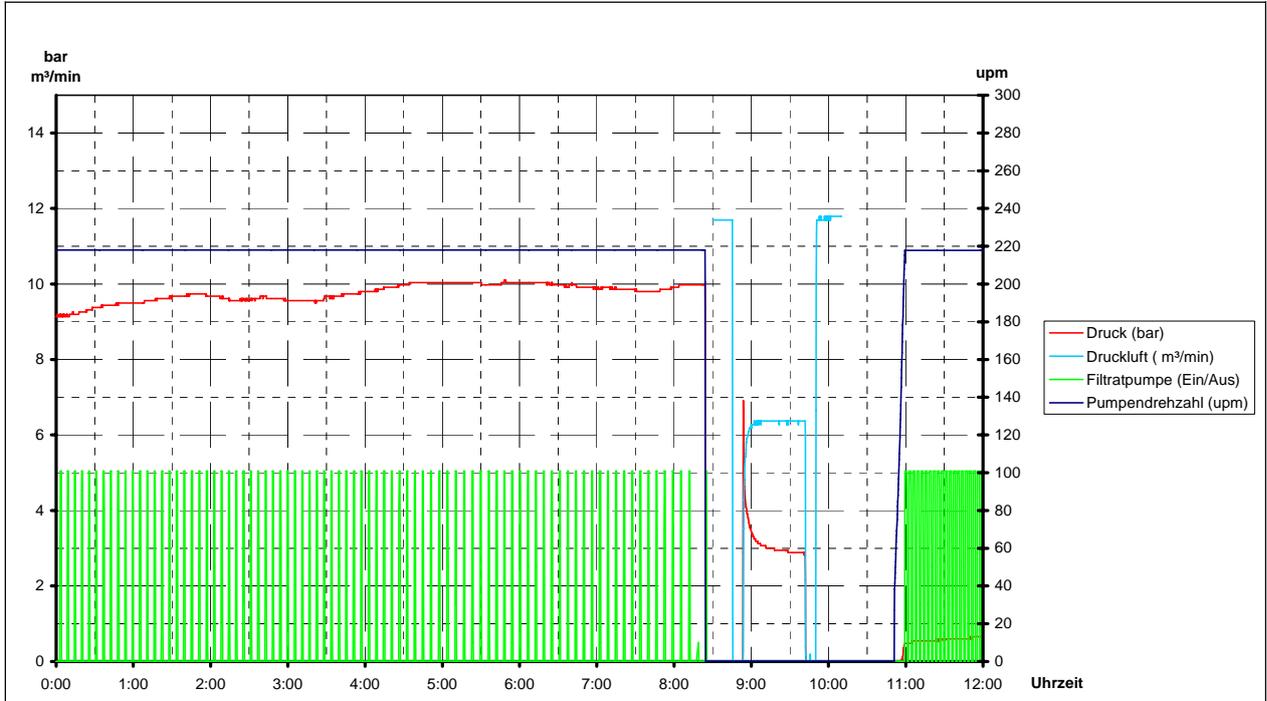
Filterausblasen zwischen 9:00 und 9:30 Uhr; Auslitern des Filtratsammelbehälters zwischen 10:00 und 11:00 Uhr



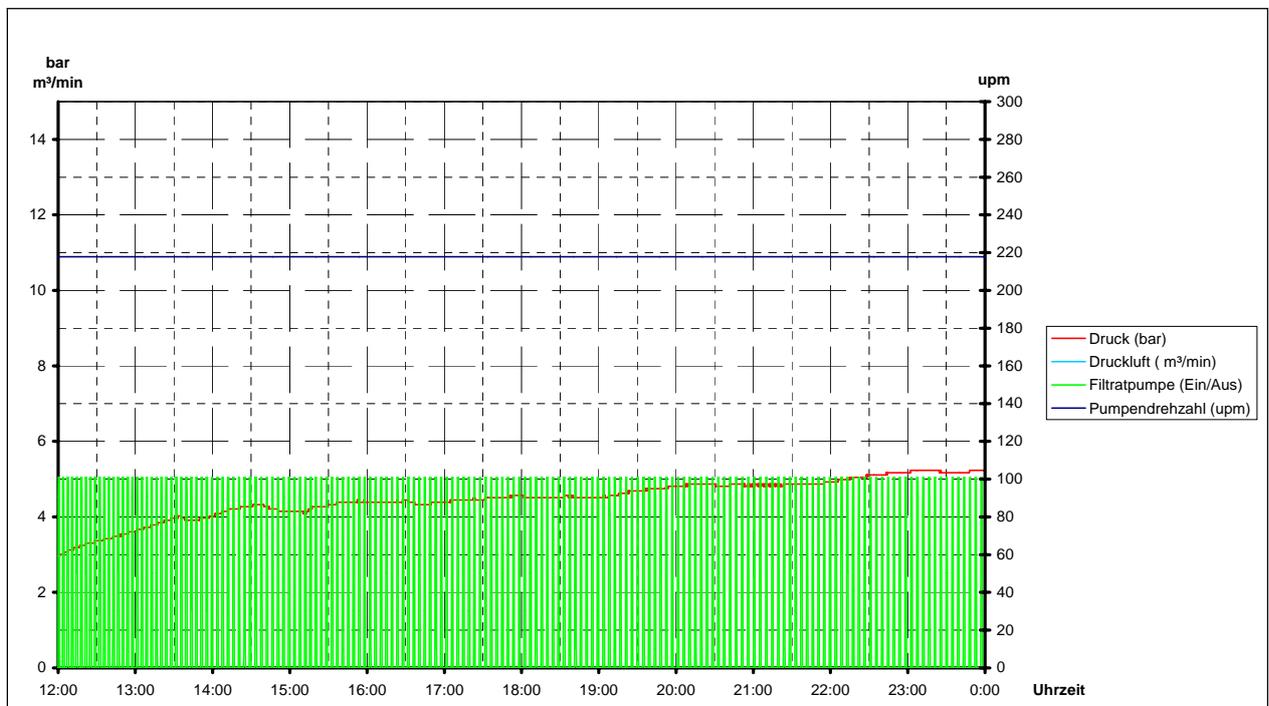
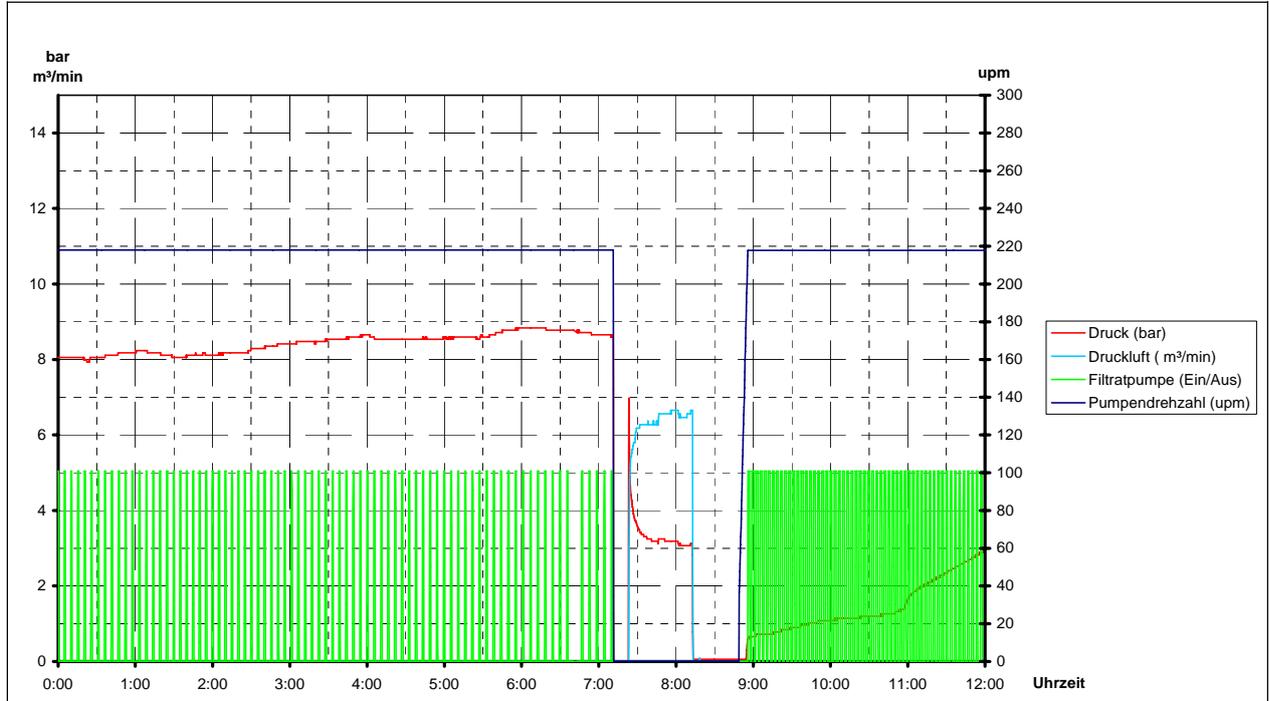
Messung vom 3.3.2004



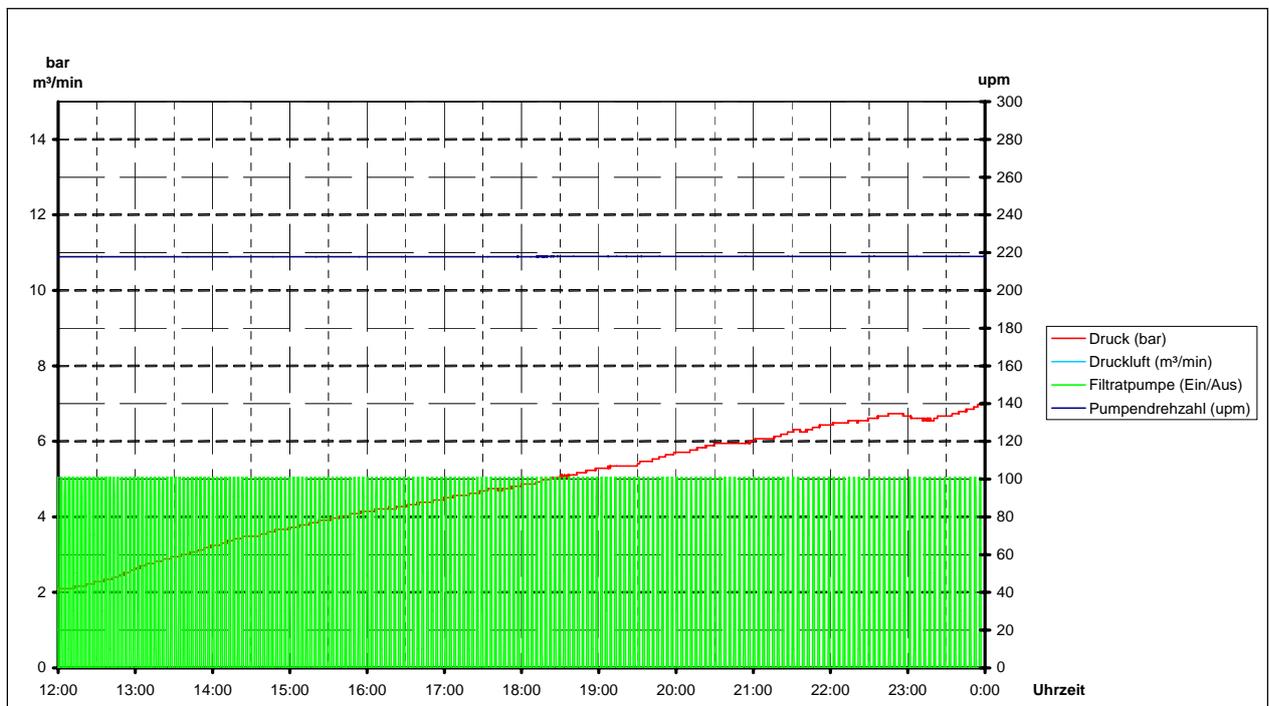
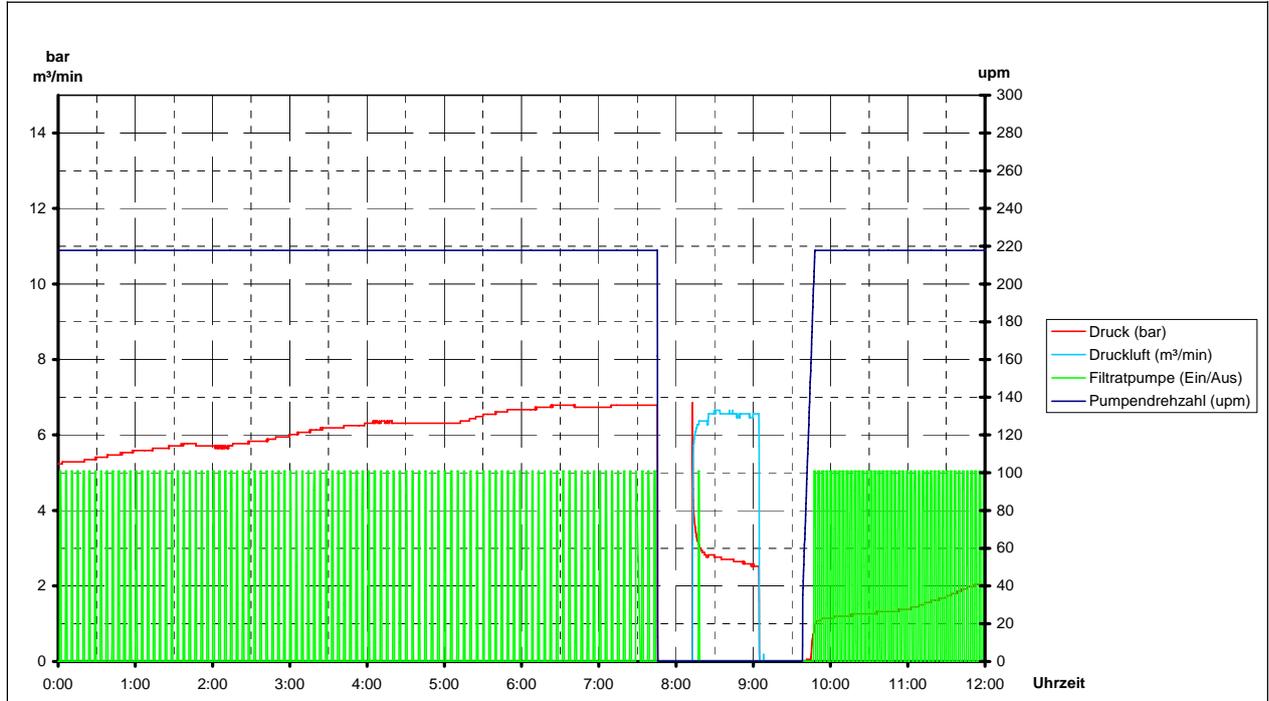
Messung vom 4.3.2004



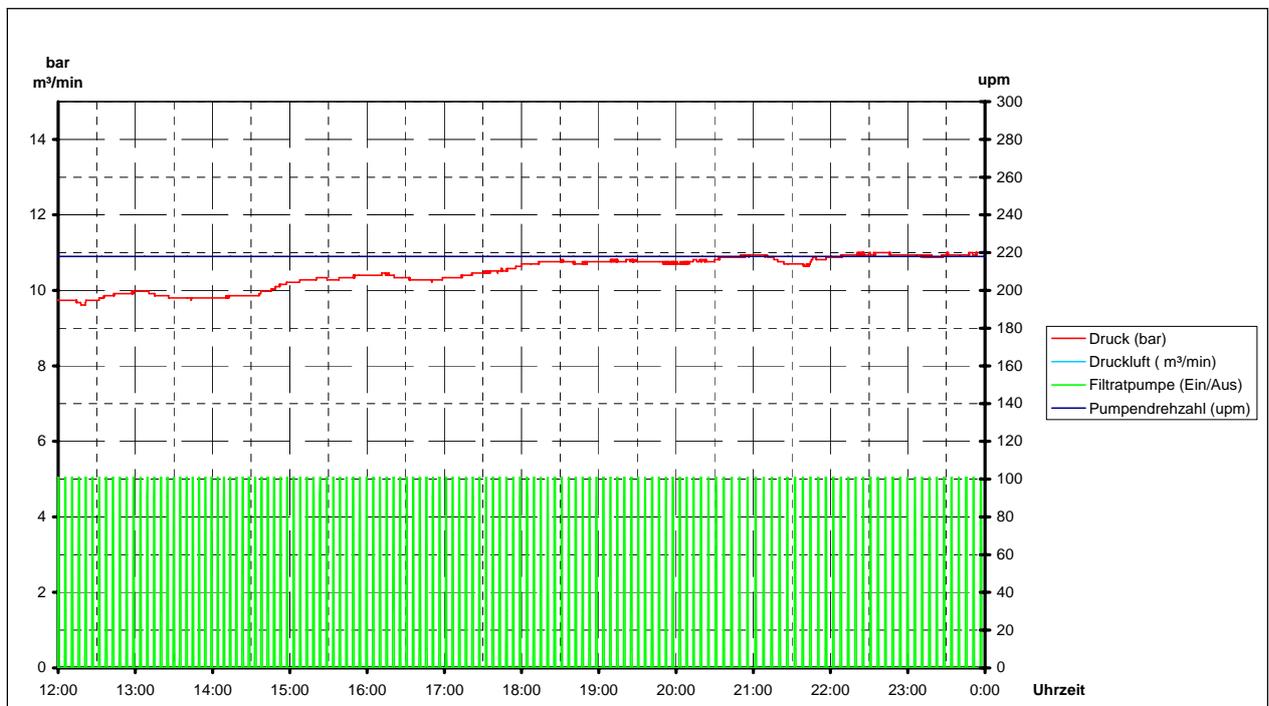
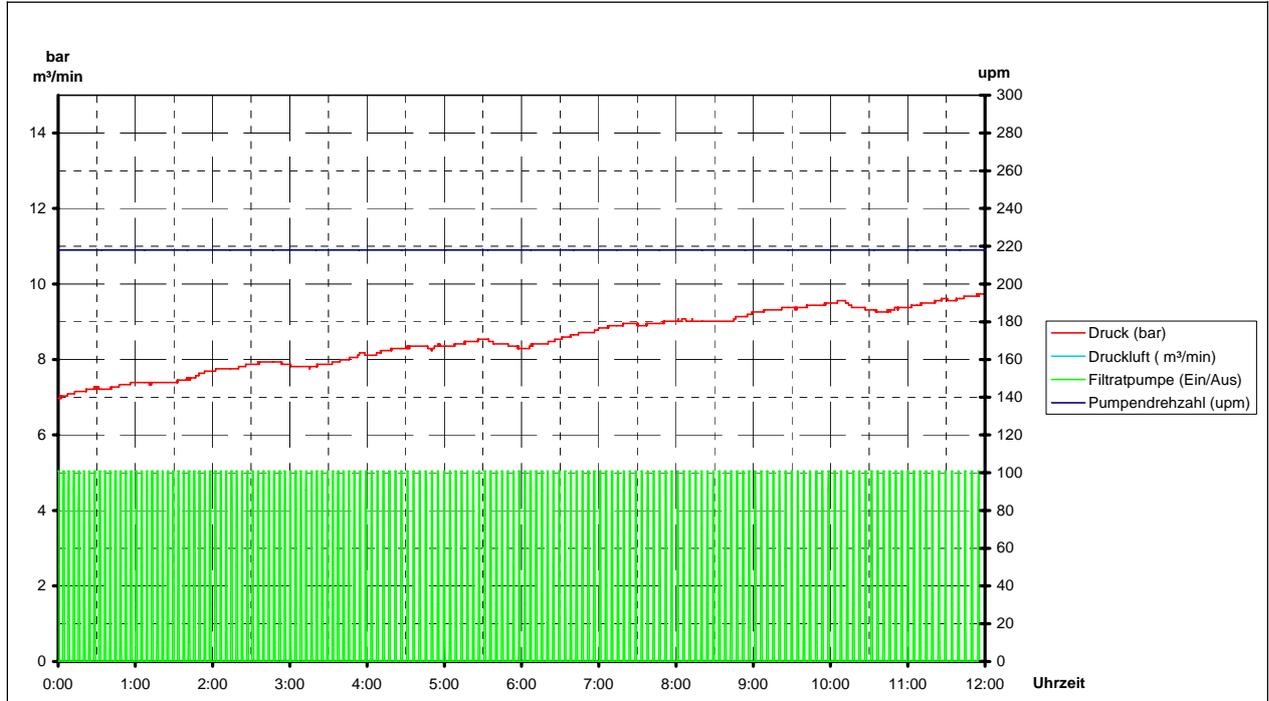
Messung vom 5.3.2004



Messung vom 6.3.2004



Messung vom 7.3.2004



Messung vom 8.3.2004

