

Schlussbericht, 10. Juni 2016

# Bericht «Druckluftoptimierung»

## Druckluftoptimierung Schreinerei



**energie schweiz**

Unser Engagement: unsere Zukunft.

**Autoren**

Rolf Gloor, Gloor Engineering

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.  
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

**Adresse**

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE  
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: 3003 Bern  
Infoline 0848 444 444. [www.energieschweiz.ch/beratung](http://www.energieschweiz.ch/beratung)  
[energieschweiz@bfe.admin.ch](mailto:energieschweiz@bfe.admin.ch), [www.energieschweiz.ch](http://www.energieschweiz.ch)

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Ausgangslage</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Ergebnis und Empfehlungen</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Druckluftanwendungen</b> .....	<b>5</b>
3.1	Bandschleifmaschinen .....	6
3.2	Fräsmaschinen.....	7
3.3	Bearbeitungszentren .....	9
3.4	Saugheber.....	10
<b>4</b>	<b>Druckluftverteilung</b> .....	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Druckluftbereitstellung</b> .....	<b>11</b>
5.1	Kompressoren und Laufzeiten .....	12
5.2	Abwärmenutzung .....	12
5.3	Leistungsaufnahme.....	12
5.4	Liefermenge .....	15
5.5	Druckmessung .....	16
5.6	Auswertung Strom und Druckmessungen .....	17

# 1 Ausgangslage

Firma:	Schreinerei, etwa 70 Mitarbeiter
Produktion:	Holztüren
Untersuchung:	9. März bis 7. Juni 2016
Druckluft:	3 Gebäude, 4 Kompressoren, Total 90 kW 125'000 kWh/a (16'000 CHF/a)

## 2 Ergebnis und Empfehlungen

### Druckluftanwendung

Der grösste Teil der Druckluft wird über Blasdüsen zum automatischen Reinigen (Schleifbänder, Führungsbahnen, Sensoren ...) verwendet. Bei den Breibandschleifmaschinen und den Fräsmaschinen gibt es Optimierungsmöglichkeiten.

Ein weiterer grosser Teil der Druckluft wird für die etwa 500 Pneumatikzylinder in der Bearbeitungsstrasse und in den Bearbeitungszentren gebraucht. Die kürzeste Taktzeit beträgt etwa 1 Minute, so dass sich ein Ersatz durch Elektrozyylinder nicht lohnt.

Für das Handling der Holzplatten werden etwa 15 pneumatisch betriebene Saugheber eingesetzt. Da der jeweilige Betrieb nur kurz dauert, ist ein Ersatz durch Gebläse unrentabel.

Im Übrigen werden vor allem Blaspistolen und einige Druckluftwerkzeuge eingesetzt, die aber jeweils nur für kurze Zeit im Einsatz sind.

Mit dem Ultraschallgerät wurde kaum Lecks entdeckt (eine undichte Ventilbatterie).

### Druckluftverteilung

Im Werk 2, wo auch die Kompressoren sind, hat es ein vernetztes Verteilsystem mit 40 mm Alurohren. Zum Werk 1 und das Nebengebäude führt eine 50 mm Chromstahlleitung. Beim geplanten Umbau des Werkes 1 soll auch ein Ringsystem gebaut werden.

Die beiden Hauptabgänge vom Kompressorraum sind ausserhalb der Arbeitszeit mit automatischen Ventilen geschlossen. Für die automatische Entaschung der Holzheizung ist eine zusätzliche dauernd geöffnete Zuleitung vorhanden. Der Luftverbrauch ist gering.

2 Druckluftspeicher mit je 1000 Liter befinden sich im Kompressorraum.

Mit dem Ultraschallgerät wurden keine Lecks in der Verteilung entdeckt.

### Druckluftbereitstellung

4 Kompressoren mit gemeinsamer Steuerung. Nachlauf etwa 30 Sekunden. Druckband 7.5 bar auf 8.2 bar, welches man auf 7 bar reduzieren könnte. Zeitweise laufen alle 4 Kompressoren, so dass beim Ausfall eines Kompressors die Betriebssicherheit nicht sichergestellt ist. Die Regelung und die Abstufung der Kompressoren sollte optimiert werden.

Zyklonabscheider mit niveaugesteuertem Kondensatablass, 2 parallele Kältetrockner und Feinfilter.

Eine Abwärmenutzung ist wegen der Überkapazität von Holzabfällen für die Holzheizung nicht rentabel.

### Zusammenfassung

Die Summe der bereitgestellten Druckluftmenge konnte den Druckluftanwendungen zugeordnet werden.

Das Optimierungspotential beträgt etwa 10% (Optimierung der Regelung, Druckabsenkung, Leckreduktion an den Anwendungen, Optimierung Blasdüsen).

## 3 Druckluftanwendungen

In der folgenden Tabelle sind die verschiedenen Druckluftanwendungen, deren Luftverbrauch und Betriebszeit zusammengefasst.

<i>Anlage</i>	<i>Verbrauch Spitze Kompressor</i>			<i>Dauer</i> h/a	<i>Jahresverbrauch</i>	
	<i>l/s</i>	<i>l/s</i>	<i>kW</i>		<i>m³/a</i>	<i>kWh/a</i>
Leck	8	8	4	3 000	86 400	12 000
2 Fräsmaschinen	40	50	15	1 500	216 000	22 500
1 Bandschleifer	4	30	2	1 500	21 600	3 000
Diverse Verbraucher	8	10	5	2 000	57 600	10 000
<b>Summe Werk 1</b>	<b>60</b>	<b>98</b>	<b>26</b>		<b>381 600</b>	<b>47 500</b>
Leck	8	8	4	5 000	144 000	20 000
2 Bandschleifer	4	30	2	1 500	21 600	3 000
4 Bearbeitungszentren	24	50	10	2 000	172 800	20 000
15 Saugheber	10	10	4	2 000	72 000	8 000
Bearbeitungsstrasse	35	70	15	1 000	126 000	15 000
Diverse Verbraucher	6	8	2	2 000	43 200	4 000
<b>Summe Werk 2</b>	<b>87</b>	<b>176</b>	<b>37</b>		<b>579 600</b>	<b>70 000</b>
<b>Summe Betrieb</b>	<b>147</b>	<b>274</b>	<b>63</b>	<b>8 760</b>	<b>961 200</b>	<b>117 500</b>
Messung (Stromaufnahme)	150	250	60		1 000 000	125 000

Tabelle 1: Abschätzung des Luftverbrauchs der Anwendungen.

Die Luftverbrauchsmessungen wurden in der Zuleitung der Maschinen mit Durchfluss-Messgeräten von CS-Instruments durchgeführt.

### 3.1 Bandschleifmaschinen

Im Betrieb gibt es 4 grosse Bandschleifmaschinen. Die übliche Durchlaufgeschwindigkeit für die Türen liegt bei 20 m/min.



Foto 1: Bandschleifmaschine

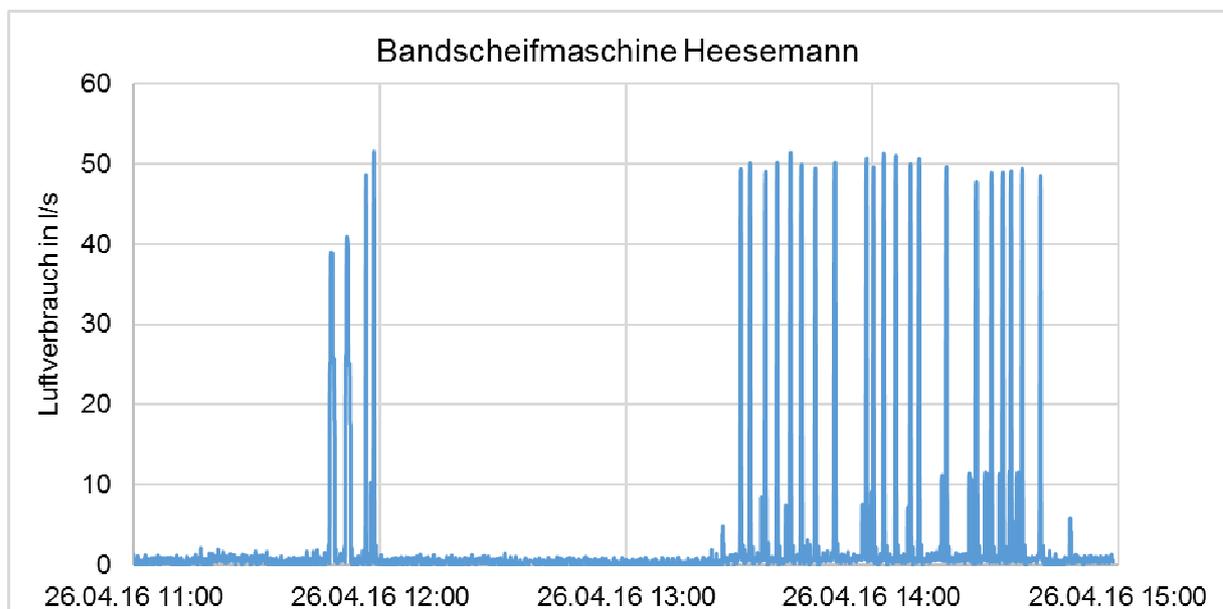


Abbildung 1: Luftverbrauch Bandschleifmaschine über 4 Stunden

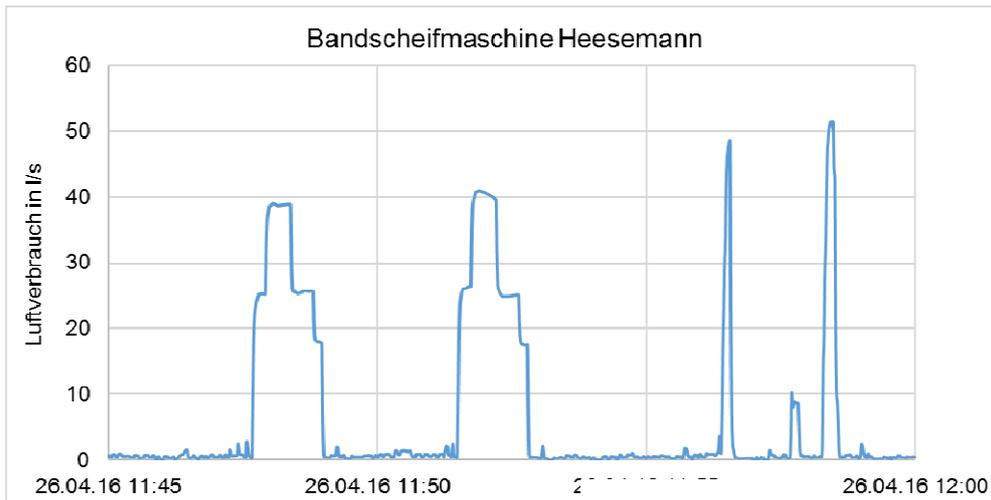


Abbildung 2: Luftverbrauch Bandschleifmaschine über 15 Minuten.

Dominant sind die oszillierenden Blasdüsen für die Reinigung des Schleifbandes. Beim Betrieb von einem Band liegt die Spitze bei 40 l/s, bei zwei Bändern bei 50 l/s, was auf einen grossen Druckverlust bei der inneren Druckluftverteilung hinweisen könnte.

Sehr positiv ist, dass meistens nur während dem Schleifen (etwa 6 bis 8 Sekunden) abgeblasen wird, ausser bei den ersten 2 Zyklen, bei der für etwa 60 Sekunden abgeblasen wurde. Der Luftverbrauch in der übrigen Zeit ist sehr gering.

### 3.2 Fräsmaschinen

Im Werk 1 gibt es 2 automatische Fräsmaschinen für Türrahmen.



Foto 2: Die 6 Abblasdüsen der Fräsmaschine

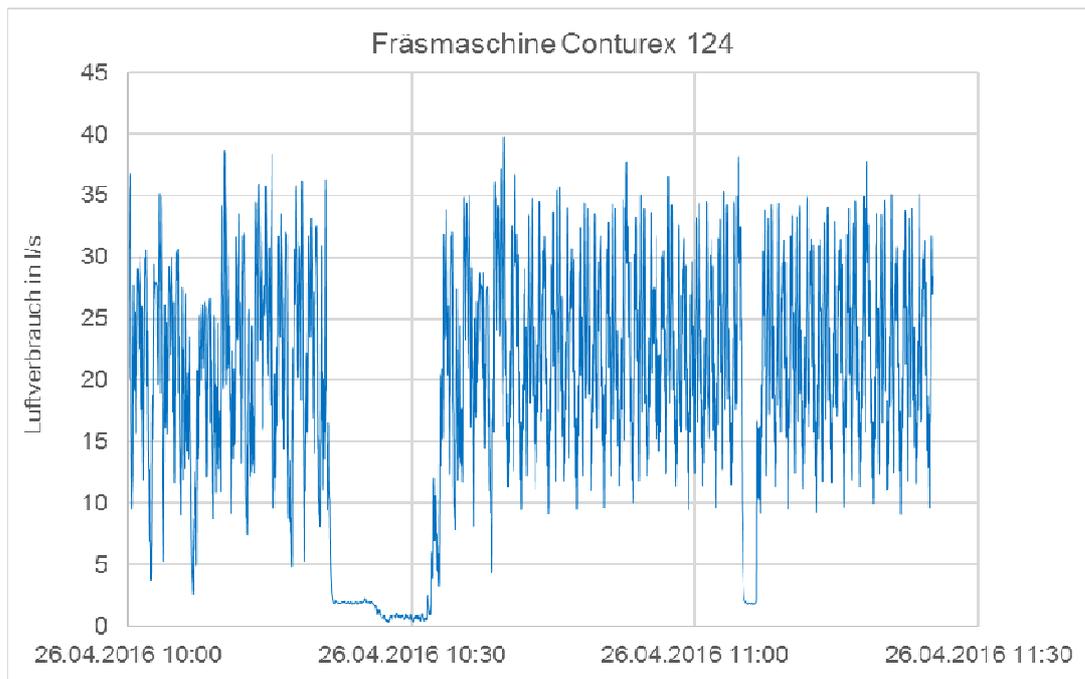


Abbildung 3: Luftverbrauch der Fräsmaschine über 90 Minuten.

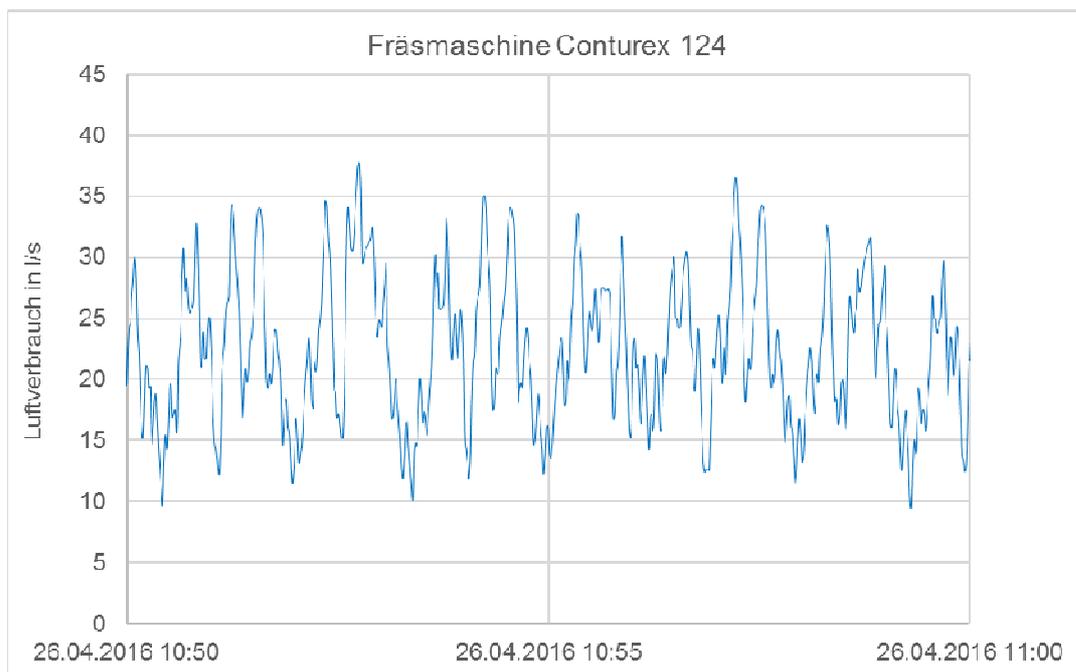


Abbildung 4: Luftverbrauch der Fräsmaschine über 10 Minuten

Der durchschnittliche Luftverbrauch liegt bei etwa 20 Liter pro Sekunde, der maximale Wert bei 37 Liter pro Sekunde. Wenn die Maschine abgestellt wird, liegt der Verbrauch bei 2 Liter pro Sekunde.

Die grossen Druckluftverbraucher an der Fräsmaschine sind je 6 Blasdüsen am Ein- und Ausgang der Kabine.

### 3.3 Bearbeitungszentren

Im Werk 2 gibt es 4 Bearbeitungszentren



Foto 3: Lecksuche am Druckluftanschluss des Bearbeitungszentrums

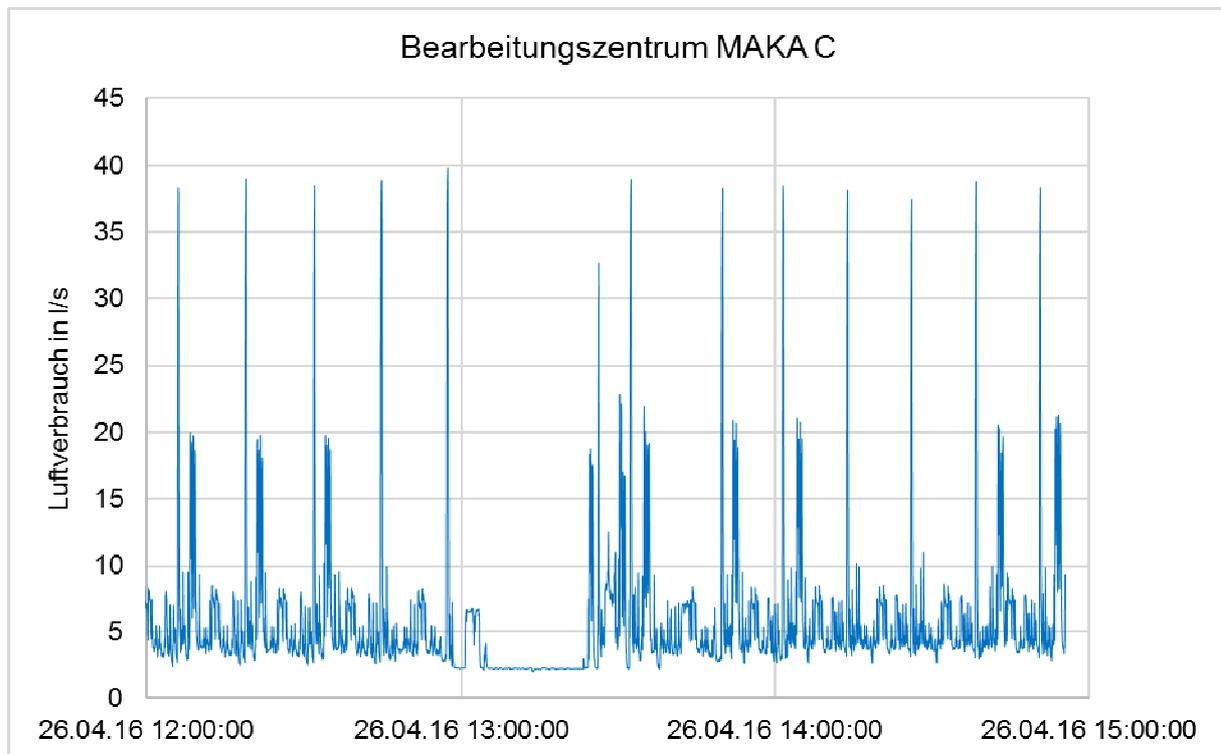


Abbildung 5: Luftverbrauch des Bearbeitungszentrums über 3 Stunden

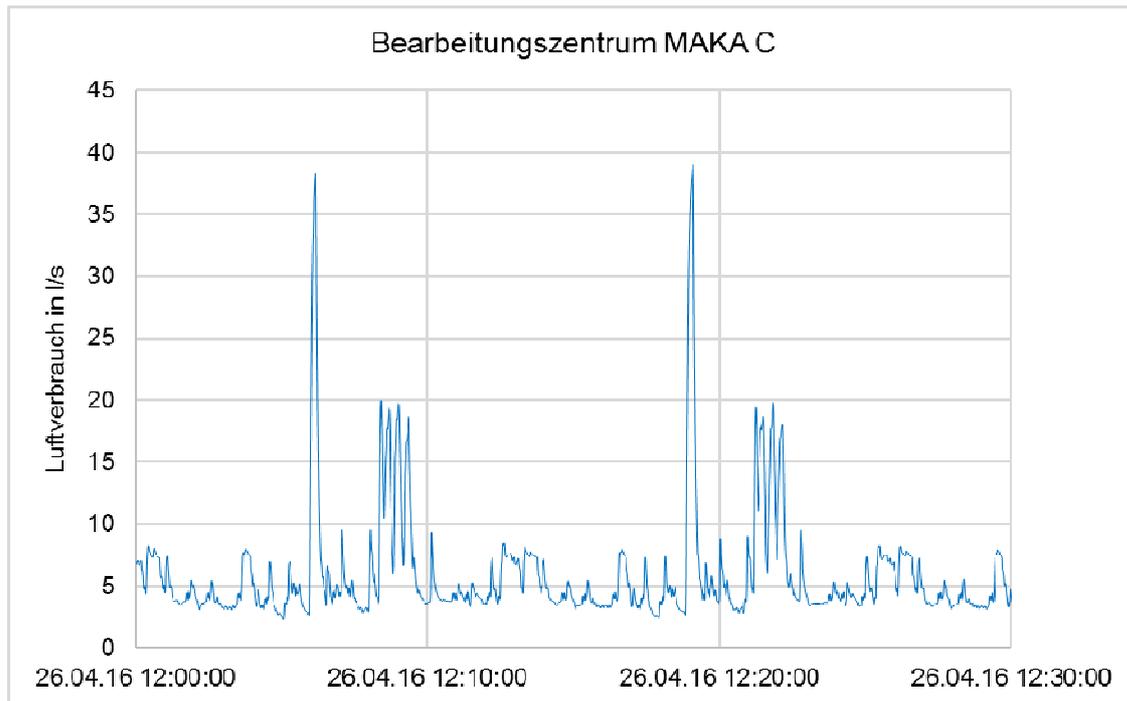


Abbildung 6: Luftverbrauch des Bearbeitungszentrums über 30 Minuten

Der maximale Druckluftverbrauch liegt bei 38 Liter pro Sekunde, er dauert im Zyklus von 12 Minuten aber nur etwa 10 Sekunden. Der durchschnittliche Luftverbrauch liegt bei etwa 6 Liter pro Sekunde.

Die Saugnäpfe der Werkstückhalter haben eine separate Vakuumpumpe.

Eine der 4 Maschinen ist schon mit einem automatischen Absperrventil ausgerüstet.

### 3.4 Saugheber

Im Betrieb hat es etwa 15 Saugheber mit Druckluftejektor.

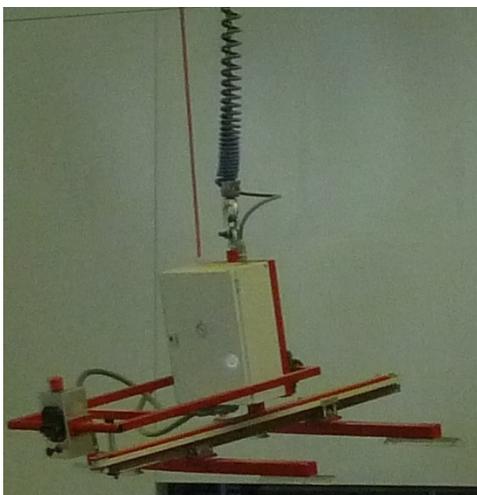


Foto 4: Druckluftbetriebener Saugheber am Kleinkran

Der gemessene Luftverbrauch beträgt 2.4 Liter pro Sekunde.

## 4 Druckluftverteilung

Druck 7.5 bis 8.2 bar

2 Speicher mit je 1000 Liter, Dauernetz etwa 300 Liter, Summe Speichervolumen 2300 Liter

Werk 1 mit 150 m D 50 = 300 Liter, 200 m Stichleitungen D 22 = 100 Liter, Summe 300 Liter, am Netz von 4:15 bis 20:00 an Werktagen

Werk 2 mit 70 m D 50 = 140 Liter, 500 m Netz D 36 = 500 Liter, Summe 700 Liter, am Netz von 4:55 bis 20:00 an Werktagen



Foto 5: Zeitgesteuerte Absperrventile für Werk 1 und Werk 2

## 5 Druckluftbereitstellung



Foto 6: Kompressorraum. Links die 4 Kompressoren, rechts die beiden Kältetrockner und Speicher

## 5.1 Kompressoren und Laufzeiten

- Kompressor 1: 22 kW, 0.8 bis 4.0 m<sup>3</sup>/min, 3800 h/a, Last 93%, Baujahr 2007
- Kompressor 2: 18.5 kW, 3.2 m<sup>3</sup>/min, 1400 h/a, Last 80%, Baujahr 2007
- Kompressor 3: 18.5 kW, 3.2 m<sup>3</sup>/min, 1800 h/a, Last 83%, Baujahr 2012
- Kompressor 2: 30 kW, 5.5 m<sup>3</sup>/min, 600 h/a, Last 88%, Baujahr 2014
- Summe: 89 kW, 16.5 m<sup>3</sup>/min, 7600 h/a, Spezifische Leistung 185 (l/min)/kW
- Übergeordnete Steuerung von Kaeser
- 2 Kältetrockner TE91, Jahrgang 2007

Während der Produktionszeit werden die verschiedenen Kompressoren sehr oft ein- und ausgeschaltet. Die Nachlaufzeit beträgt nur 30 Sekunden. Der drehzahlvariable Kompressor 1 scheint meistens am oberen oder unteren Bereich zu sein. Eine Laufanalyse durch eine Speicherkarte in der übergeordneten Steuerung konnte leider nicht durchgeführt werden.

## 5.2 Abwärmenutzung

Keine, da Überkapazität der Holzheizung (Entsorgung Holzabfälle).

## 5.3 Leistungsaufnahme

Die Leistungsaufnahme wurde aus der gemessenen Stromaufnahme (Fluke 3001 FC) im Schaltschrank abgeschätzt.

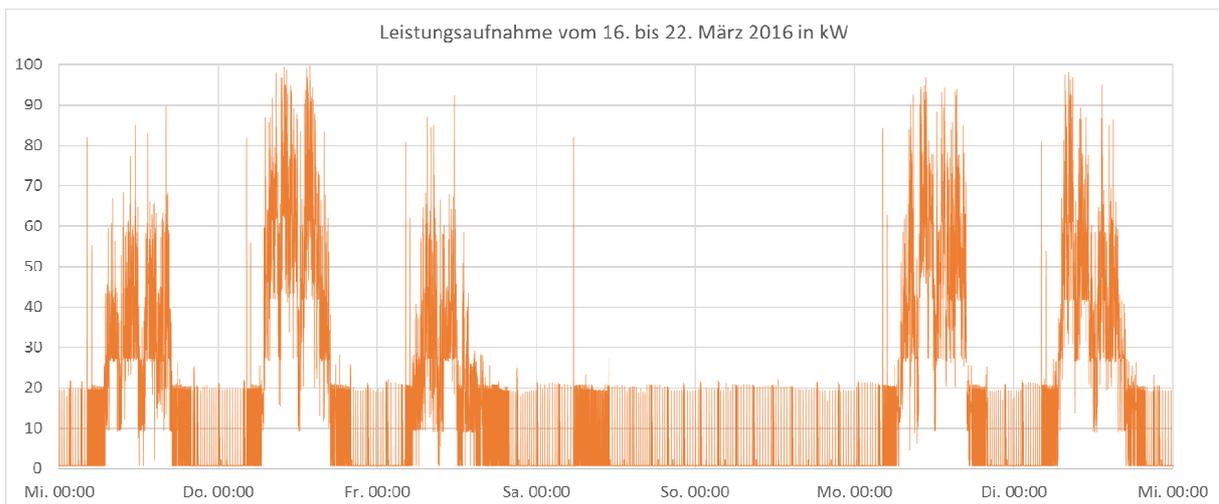


Abbildung 7: Leistungsaufnahme der Kompressoren über eine Woche.

Aus den Wochenverlauf erkennt man, dass am Mittwoch und Freitag weniger Leistung benötigt wird. Die Bearbeitungsstrasse ist nur Montag, Dienstag und Donnerstag im Betrieb.

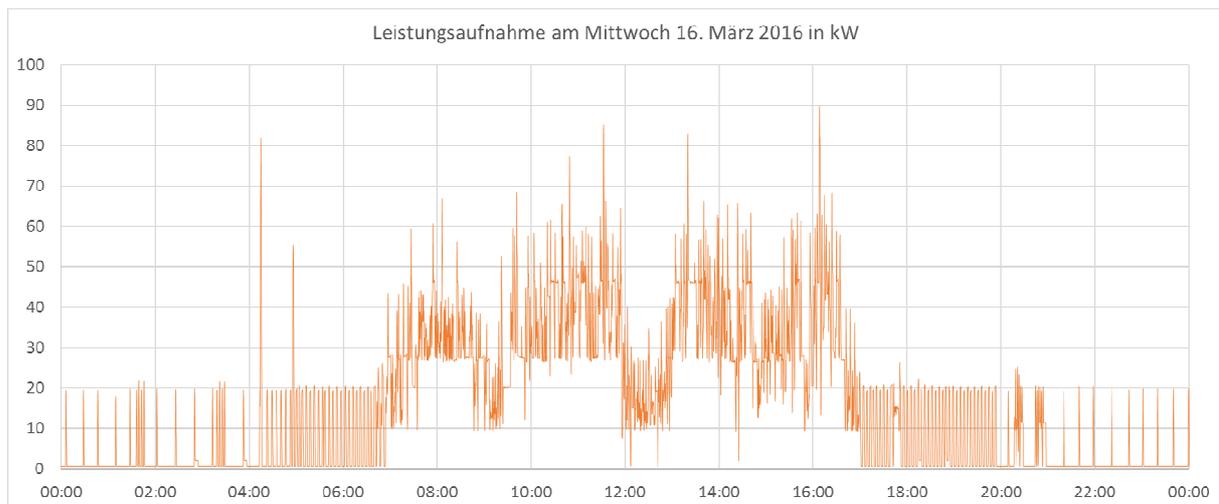


Abbildung 8: Leistungsaufnahme der Kompressoren am Mittwoch.

Am Tageslastgang sieht man die geringe Leistungsaufnahme in der Nacht, die erhöhte Leistung nach dem Öffnen der Absperrventile ab etwa 4 Uhr und den Arbeitsbeginn um 7 Uhr, die Pause um 9 Uhr, die Mittagspause von 12 bis 13 Uhr, das Arbeitsende um 17 Uhr und das Schliessen der Absperrventile um 20 Uhr.

Während der Arbeitszeit beträgt die durchschnittliche Leistungsaufnahme etwa 40 kW.

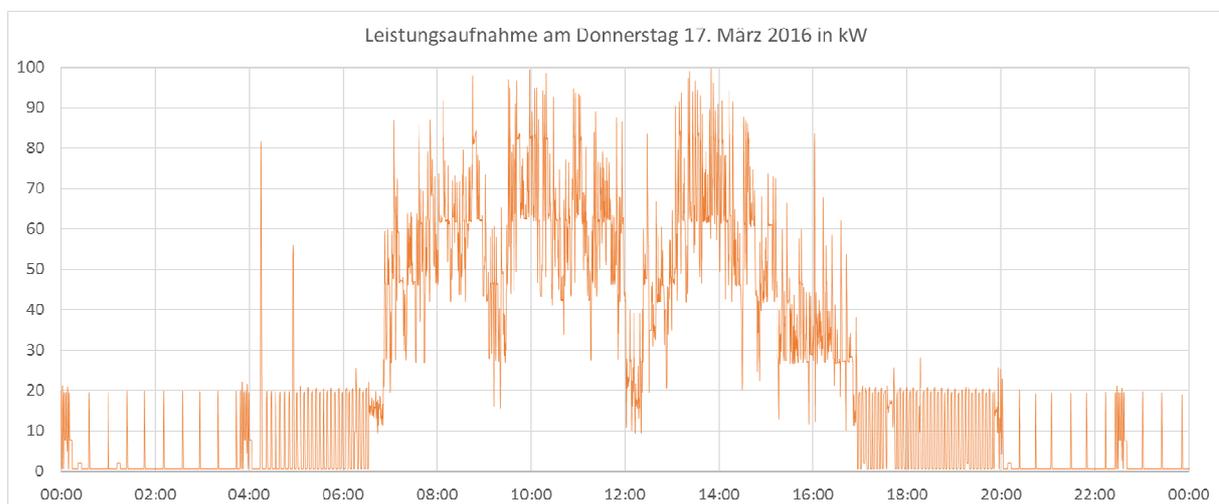


Abbildung 9: Leistungsaufnahme der Kompressoren am Donnerstag (Betrieb der Rohlingstrasse)

Der Tageslastgang mit dem Betrieb der Bearbeitungsstrasse zeigt eine um etwa 30 kW höhere Leistungsaufnahme der Druckluftkompressoren als an den übrigen Tagen.

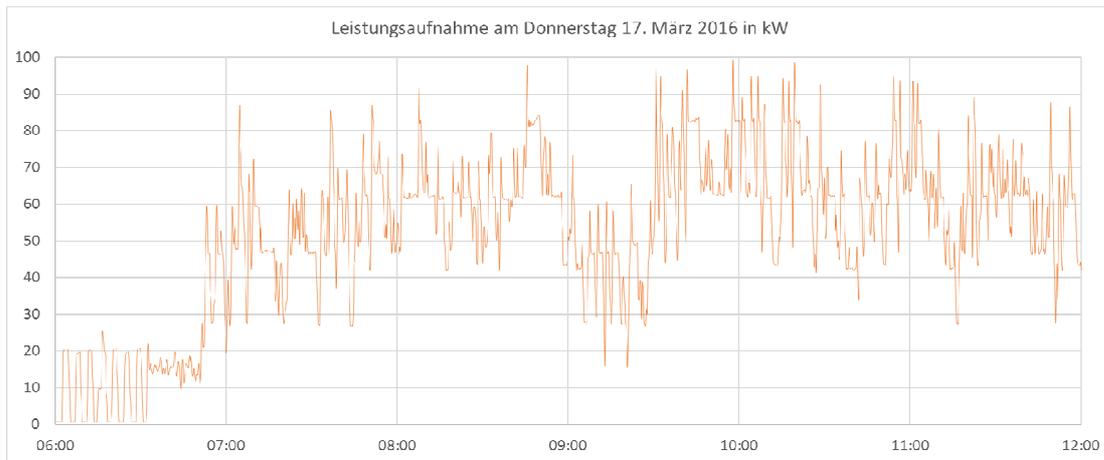


Abbildung 10: Leistungsaufnahme der Kompressoren am Donnerstagmorgen

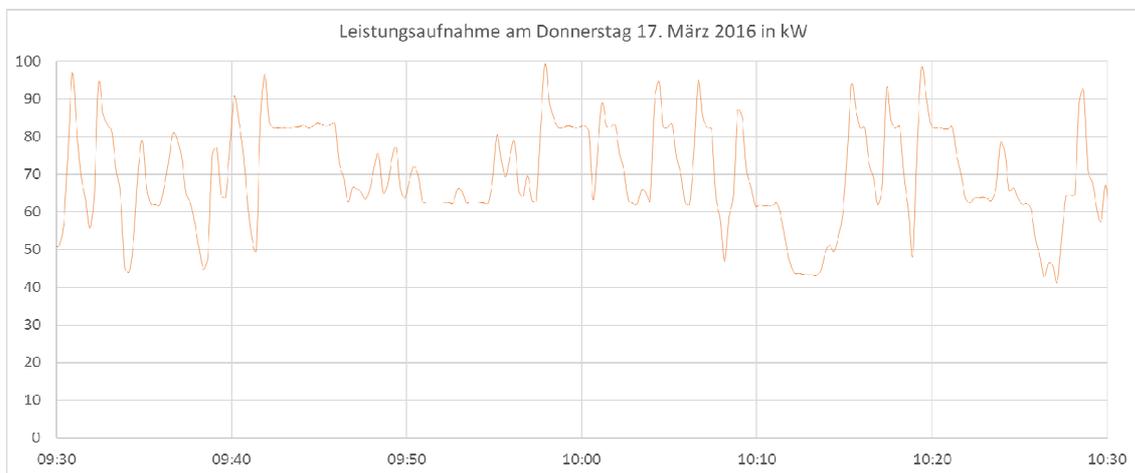


Abbildung 11: Leistungsaufnahme der Kompressoren Donnerstag nach der Pause

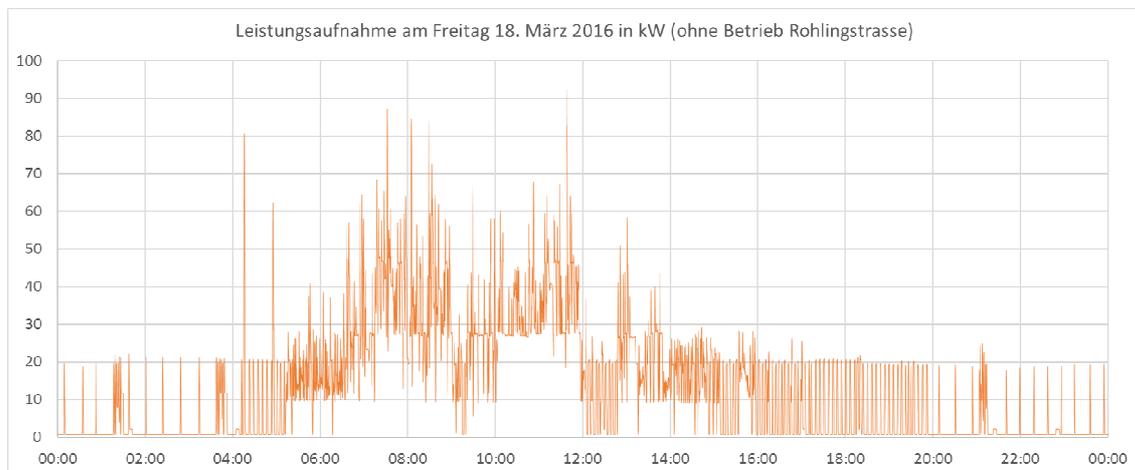


Abbildung 12: Leistungsaufnahme der Kompressoren am Freitag (ohne Betrieb der Bearbeitungsstrasse)

## 5.4 Liefermenge

Aus den technischen Daten der Kompressoren und ihrer einzelnen gemessenen Stromaufnahmen wurden folgende Liefermengen abgeschätzt.

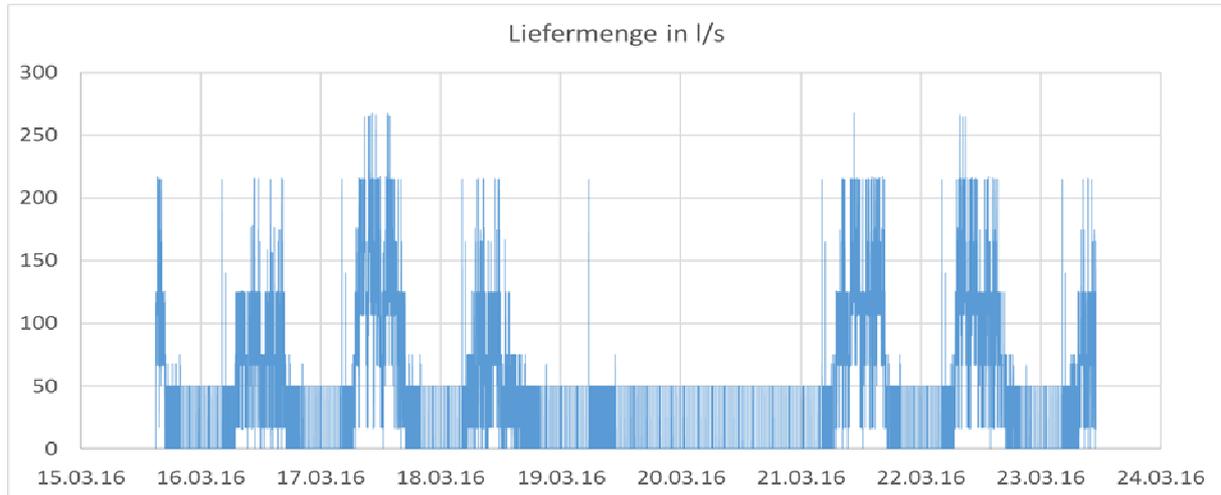


Abbildung 13: Liefermenge der Kompressoren über eine Woche

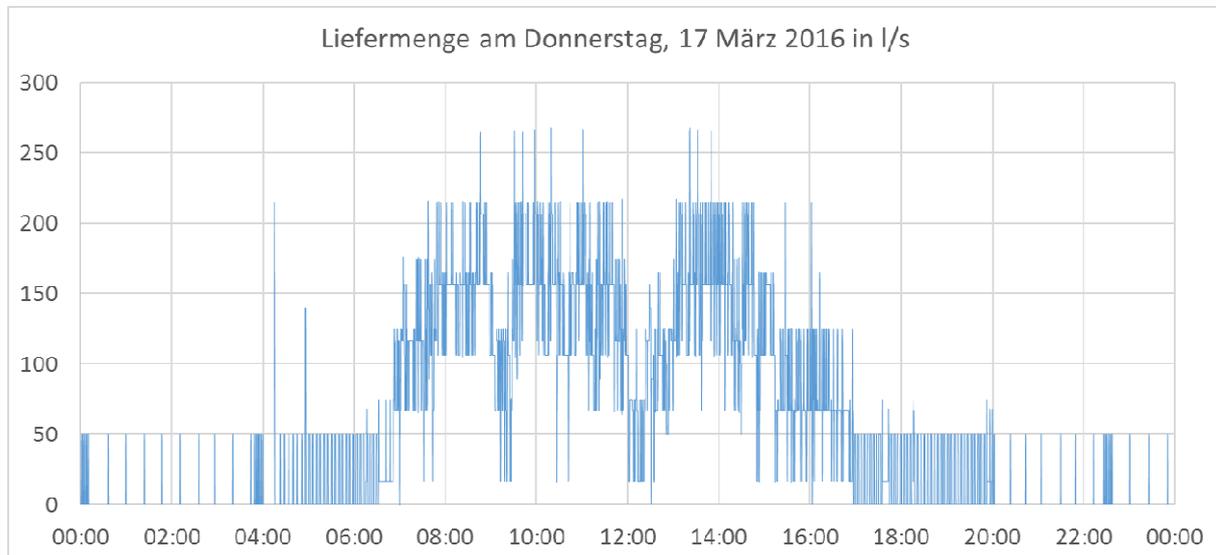


Abbildung 14: Liefermenge am Donnerstag (Betrieb der Rohlingstrasse)

## 5.5 Druckmessung

Der Verlauf des Netzdruckes wurde mit einer Drucksonde, welche den Absolutdruck misst, in der Druckluftzentrale aufgezeichnet.

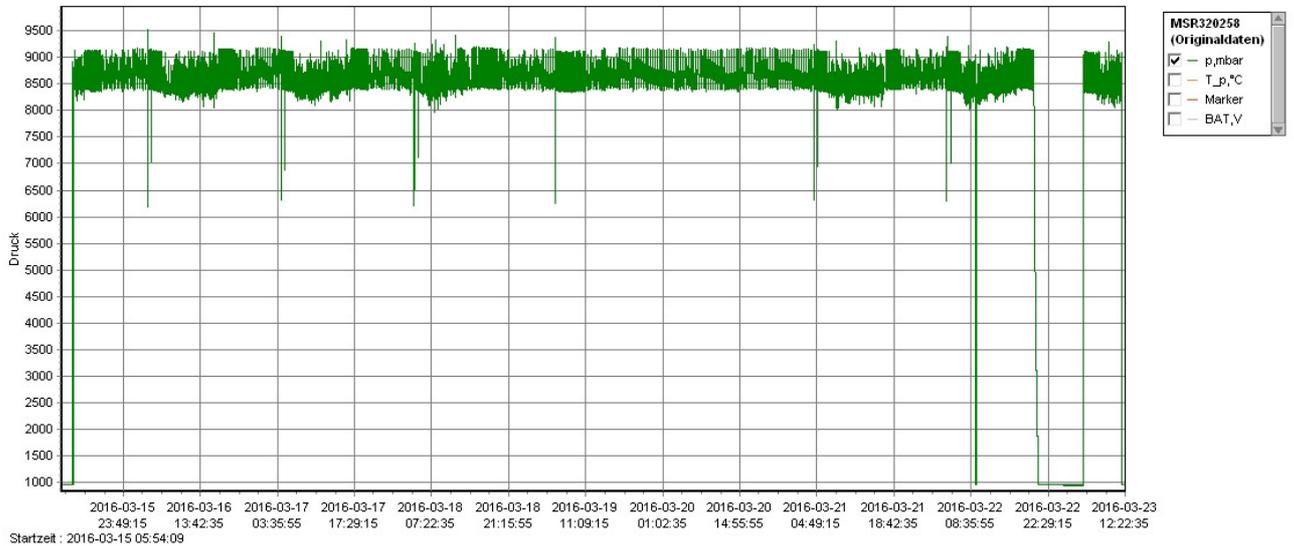


Abbildung 15: Druckverlauf über die Woche (Druck in mbar absolut: 9000 mbar = 8 bar Überdruck)

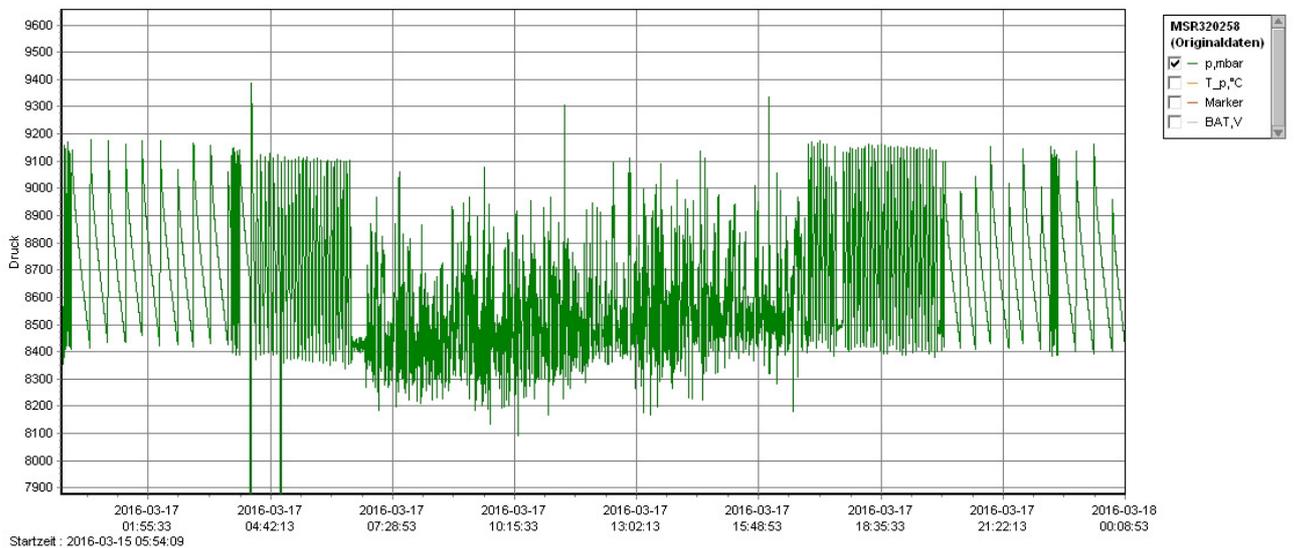


Abbildung 16: Druckverlauf am Donnerstag (Druck in mbar absolut: 9000 mbar = 8 bar Überdruck)

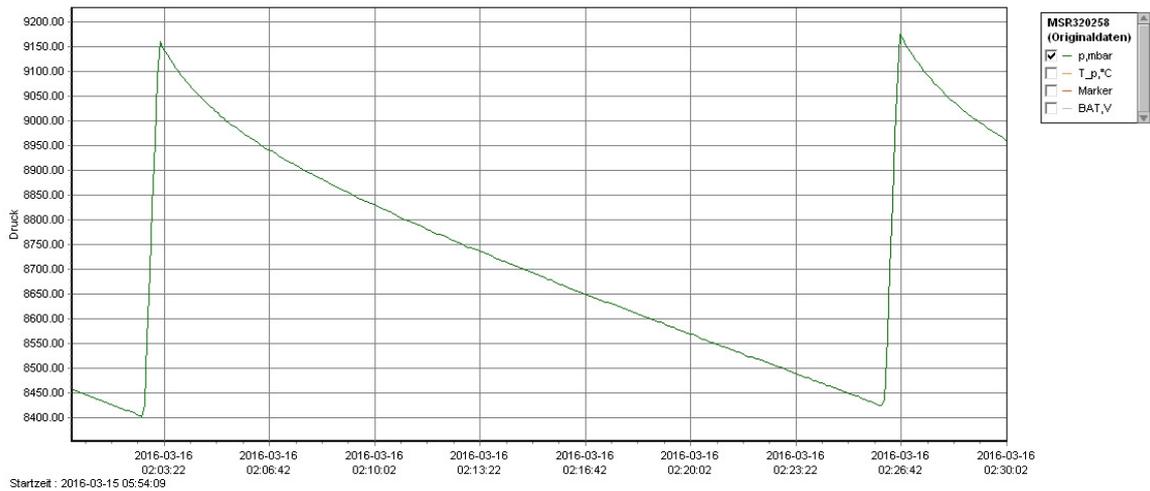


Abbildung 17: Druckverlauf in der Nacht über 30 Minuten (Druck in mbar absolut: 9000 mbar = 8 bar Überdruck)

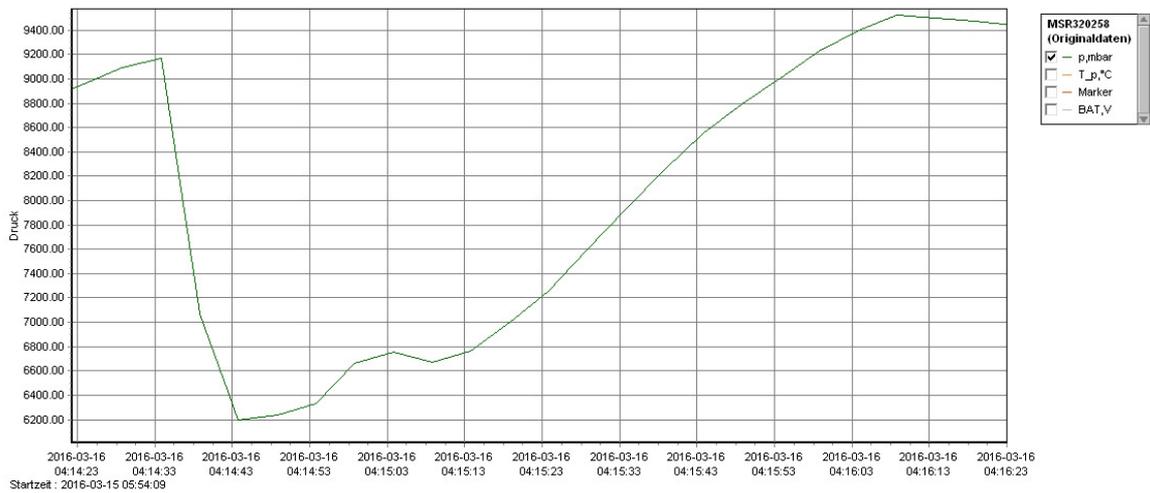


Abbildung 18: Druckverlauf nach der Ventilöffnung für Werk 2 um 04:15 (Druck in mbar absolut: 9000 mbar = 8 bar Überdruck).

Nach den Ventilöffnungen um 4:15 und 4:55 laufen alle 4 Kompressoren für kurze Zeit, obwohl einer genügen würde. Der Kunde möchte das nicht ändern, denn wenn man ausserhalb der üblichen Arbeitszeit Druckluft benötigt und die Ventile öffnet, müsste man etwa 2 Minuten länger warten, bis der Netzdruck wieder vorhanden ist.

## 5.6 Auswertung Strom und Druckmessungen

Aus der gemessenen Stromaufnahme, den technischen Daten der Kompressoren, dem Druckverlauf und dem Speichervolumen im Druckluftnetz können folgende Betriebszustände und Verbrauchswerte abgeschätzt werden:

**Nachtbetrieb (20:00 bis 04:15, Sa bis 05:30 und ab 11:00 sowie ganzer Sonntag)**

1 Zoll Abgang nur für Leimpresse und Heizung

Leckverluste (Basis  $2.3 \text{ m}^3/\text{bar} \cdot (8.2 - 7.5 \text{ bar}) / 22 \text{ min} = 70 \text{ Liter/min}$ ),

Ladezeit mit Kompressor 2 oder 3 für 30 Sekunden ( $3.2 \text{ m}^3/\text{min}$ )

Heizung etwa alle 3 Stunden für 12 Minuten, Verbrauch 1000 Liter/Minute

Durchschnittliche Kompressorleistung 2 kW für 130 Liter/min

04:15 Öffnen Ventil Werk 2, Druckabfall von 8.2 bar auf 5.2 bar in 10 Sekunden ( $40 \text{ m}^3/\text{min}$ )

Druckaufbau auf 8.5 bar in 85 s ( $4.2 \text{ m}^3/\text{min}$  für 3000 Liter)

04:55 Öffnen Ventil Werk 1, Druckabfall von 7.8 bar auf 6.0 bar in 13 Sekunden ( $20 \text{ m}^3/\text{min}$ )

Druckaufbau auf 8.1 bar in 70 s ( $6 \text{ m}^3/\text{min}$  für 3400 Liter)

**Randbetrieb (04:15 bis 07:00, 17:00 bis 20:00)**

Füllen in 85 s, Leeren in 185 s, Verbrauch  $1 \text{ m}^3/\text{min}$ , etwa 10 kW Kompressorleistung

**Arbeit (07:00 bis 17:00, Pausen von 09:00 bis 09:30 und 12:00 bis 13:00)**

Druck zwischen 7.2 und 8.3 bar, Kompressorleistung im Schnitt etwa 55 kW (Mo, Di, Do) und 30 kW (Mi, Fr).

Spitze mit allen 4 Kompressoren nur für 15 bis 30 Sekunden. Mit zusätzlichen Druckluftspeicher könnte diese Spitze gebrochen werden.

**Energieverbrauch über die Woche**

Montag, 21.03.16	550 kWh	Bearbeitungsstrasse in Betrieb
Dienstag, 22.03.16	520 kWh	Bearbeitungsstrasse in Betrieb
Mittwoch, 16.03.16	400 kWh	Bearbeitungsstrasse Teilbetrieb
Donnerstag, 17.03.16	600 kWh	Bearbeitungsstrasse in Betrieb
Freitag, 18.03.16	320 kWh	Bearbeitungsstrasse nicht in Betrieb
Samstag, 19.03.16	70 kWh	Am Morgen etwas Betrieb
Sonntag, 20.3.16	50 kWh	kein Betrieb
Woche	2'500 kWh	
<b>Jahr</b>	<b>125'000 kWh</b>	<b>etwa 16'000 Franken pro Jahr</b>
	+/- 10%	rund 6% vom Gesamtstromverbrauch

**Energieverbrauch über das Jahr**

Nacht und Wochenende	5000 h/a	2 kW	10'000 kWh/a
Randzeiten	1500 h/a	10 kW	15'000 kWh/a
Arbeitszeit	2250 h/a	45 kW	100'000 kWh/a
<b>Jahr</b>	<b>8750 h/a</b>	<b>15 kW</b>	<b>125'000 kWh/a</b>