

Schlussbericht, 23. Dezember 2016

# Bericht «Druckluftoptimierung»

## Druckluftoptimierung Metallwarenwerk



**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>6</b>
3.1	Laserstanzmaschine .....	6
3.2	Pulverbeschichtungsanlage .....	8
3.3	Membranpumpen .....	12
3.4	Bearbeitungsmaschinen und Anlagen .....	14
3.5	Handwerkzeuge .....	17
<b>4</b>	<b>Druckluftverteilung</b> .....	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>Druckluftbereitstellung</b> .....	<b>20</b>
5.1	Abwärmenutzung .....	21
5.2	Strommessungen Kompressor 1 und 2 .....	21
5.3	Strommessung Kompressor 3 .....	23
<b>6</b>	<b>Auswertung</b> .....	<b>25</b>
6.1	Luftverbrauch der Anwendungen.....	26
6.2	Bereitstellung der Druckluft und Energieverbrauch .....	26

# 1 Ausgangslage

Firma:	Metallwarenfabrik, etwa 90 Mitarbeiter
Produktion:	Blechbearbeitung und Pulverbeschichten
Untersuchung:	26. Mai bis 7. Dezember 2016
Druckluft:	3 Schraubenkompressor zweimal 18.5 kW und einmal 7.5 kW, 95'000 kWh/a (13'000 CHF/a)

## 2 Ergebnis und Empfehlungen

Das Druckluftsystem weist keine grossen Mängel auf, es ist aber nicht redundant. Beim Ausfall eines 18.5 kW Kompressors kann der Netzdruck auf unter 6 bar fallen. Zudem ist nur ein Kältetrockner vorhanden, wenn er ausfällt, ist Wasser im Druckluftnetz.

### Druckluftanwendungen

Die Laserstanzmaschine ist der grösste Druckluftverbraucher während der Arbeitszeit, gefolgt von diversen Bearbeitungsmaschinen. Diese sollten ein automatisches Eingangsventil haben, welches die Maschine bei Nichtbetrieb vom Druckluftnetz trennt.

Die Pulverbeschichtungsanlage verursacht während dem Farbwechsel die grösste Belastung für das Druckluftnetz, so dass jeweils für eine knappe Minute der zweite 18.5 kW Kompressor anläuft. Mit einem grossen Speicher direkt bei der Pulverbeschichtungsanlage und einer Optimierung des Luftverbrauchs beim Farbwechsel könnten die Druckeinbrüche im Netz reduziert werden.

Zwei Membranpumpen benötigen etwa 20 % der Druckluft. Elektrische Kreiselpumpen sind viel energieeffizienter. Wahrscheinlich ist auch die Membranpumpe beim Vorbehandlungsbad der Grund, dass das Druckluftnetz ausserhalb der Arbeitszeit (Ausnahme Spätschichten der Laserstanzmaschine) rund um die Uhr in Betrieb ist und die Druckluftlecks den kleinen 7.5 kW Kompressor auf Trab halten.

Die Leckverluste an den Maschinen und Werkzeugen verursachen über 30 % des jährlichen Luftverbrauchs. Mindestens einmal jährlich sollte man die Leckstellen aufspüren und stopfen.

### Druckluftverteilung

Die Druckluftspeicher mit total 5 m<sup>3</sup> Volumen und die Hauptleitungen mit den 3 Ringsystemen aus verzinktem Stahlrohr mit 1½ Zoll Durchmesser sind genügend gross. Die Schnellkupplungen sind die Effizienten mit 7.2 mm Innendurchmesser (Euro-Norm).

Zur Reduktion der Leckverluste sollten Sektoren des Druckluftnetzes ausserhalb der Arbeitszeit automatisch abgestellt werden.

### Druckluftbereitstellung

Durch die übergeordnete Steuerung läuft die Druckluftanlage in einem schmalen Druckband und die einzelnen Kompressoren haben eine kurze Nachlaufzeit. Sollte der kleine Kompressor aus

Redundanzgründen durch einen Grösseren ersetzt werden, so könnte er prioritär laufen und seine Abwärme in das Vorbehandlungsbad eingespeist werden.

Zur dauernden Überprüfung der Druckluftanlage sollte für den Kompressorraum ein eigener Stromzähler installiert werden.

### **Zusammenfassung**

Das Optimierungspotential beträgt rund 40 % (5000 Franken pro Jahr) bei einer Rückzahldauer von etwa 4 Jahren.

## 3 Druckluftanwendungen

Die Produktionsräume der Metallwarenfabrik befinden sich auf 3 Ebenen. Im Erdgeschoss befinden sich die grossen Stanzmaschinen, das Rohwarenlager und die Trowalisieranlage. Im mittleren Geschoss ist die Schweisserei, die Bearbeitungsmaschinen und ein Teil der Montage. Im Obergeschoss ist der andere Teil der Montage und die Pulverbeschichtungsanlage.

### 3.1 Laserstanzmaschine

Die grösste Maschine ist eine Laserstanzmaschine, welche etwa 4000 Stunden pro Jahr läuft und somit einer der grossen Druckluftverbraucher ist. Ihr Luftverbrauch wurde gemessen (Abbildung 1 und 2).



Foto 1: Laserstanzmaschine.



Foto 2: Pneumatisch betriebene Saugheber (Total 46 Stück) für die Zufuhr von Blechtafeln.



Foto 3: Druckluftspeicher für die Laserstanzmaschine mit zusätzlichem Kältetrockner (unten rechts) und provisorisch eingebauter Messstrecke mit Durchflussmessgerät CS Instrument VA520.

Die Maschine wird mit einem Eingangsdruck von 5 bar betrieben. Die Druckluft wird für Druckluftzylinder, als Sperrluft im Strahlgang und für die Saugheber (Foto 2) benötigt.

Der minimale Luftverbrauch beträgt 250 Liter pro Minute (wahrscheinlich die Sperrluft), der maximale Luftverbrauch liegt bei 1200 Liter pro Minute. Bei einer Pause (Abbildung 1 von 11:37 bis 11:55) verbraucht die Maschine praktisch keine Luft, was vorbildlich ist. Im Durchschnitt werden 600 Liter pro Minute verbraucht.

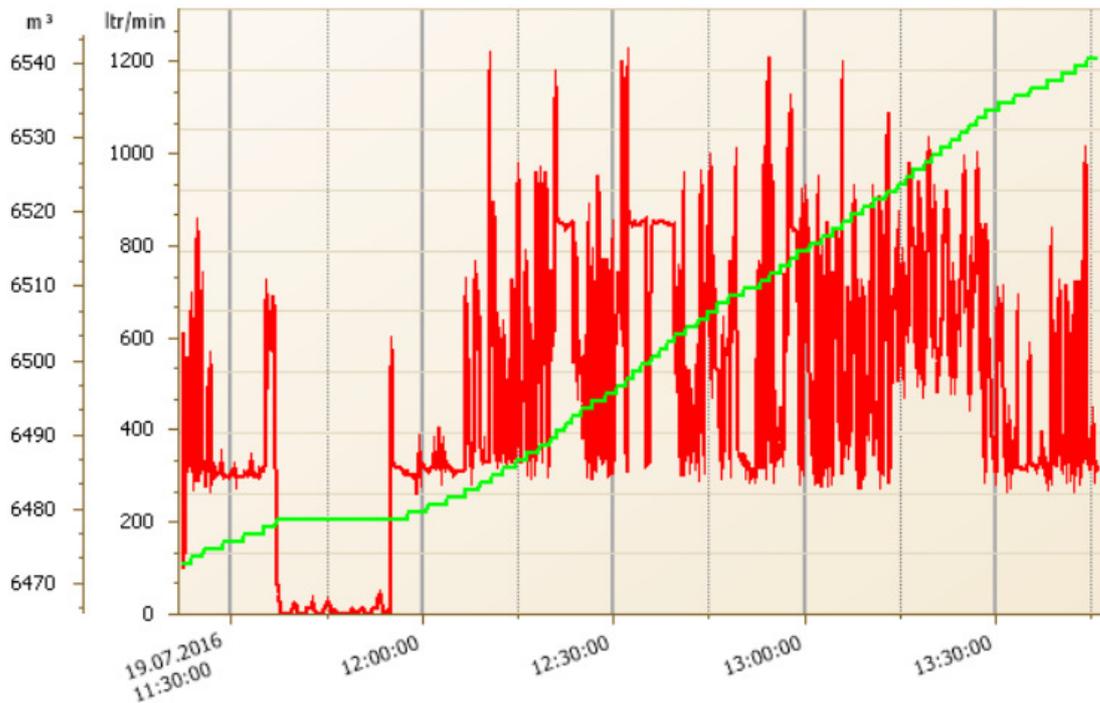


Abbildung 1: Luftverbrauch der Laserstanzmaschine über 2 Stunden. (rot: Luftverbrauch ltr/min, grün: Luftverbrauch m<sup>3</sup>). Durchflussmessgerät CS Instrument VA520 mit 1 Zoll Messrohr, Zeitauflösung 10 Sekunden.



Abbildung 2: Luftverbrauch in ltr/min der Laserstanzmaschine über 30 Minuten. Durchflussmessgerät CS Instrument VA520 mit 1 Zoll Messrohr. Zeitauflösung 10 Sekunden.

### 3.2 Pulverbeschichtungsanlage

Die automatische Pulverbeschichtungsanlage besteht aus einer Vorbehandlungszone, einem Trocknungsofen, einer Pulverbeschichtungskabine und dem Einbrennofen. Die zu beschichtenden Teile werden an einem Kettenförderer aufgehängt, durchlaufen die Anlage und werden dann wieder abgenommen. Die Anlage läuft während 1400 Stunden pro Jahr.

Am Eingang der Lackierkabine ist eine Lichtschranke, welche die Pulverpistolen bei einer Lücke im Gehänge automatisch abstellt.



Foto 4: Pulverlackierkabine mit 2 mal 10 Automatikpistolen



Foto 5: Pulverküche, bereit für Pulverbehälter.



Foto 6: Pulverrückgewinnung unter Zyklon.



Foto 7: 12 Ventile für Abreinigung Absolutfilter.



Foto 8: Steuerung für Filterabreinigung.



Foto 9: Einbau eines Luftabgangs für die temporäre Luftverbrauchsmessung der Pulverbeschichtungsanlage.

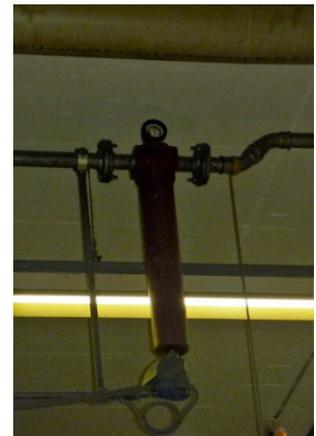


Foto 10: Filter vor der Pulverbeschichtungsanlage mit niveaugesteuertem Kondensatablass. Unter der Pulverküche hat es weitere Filter.

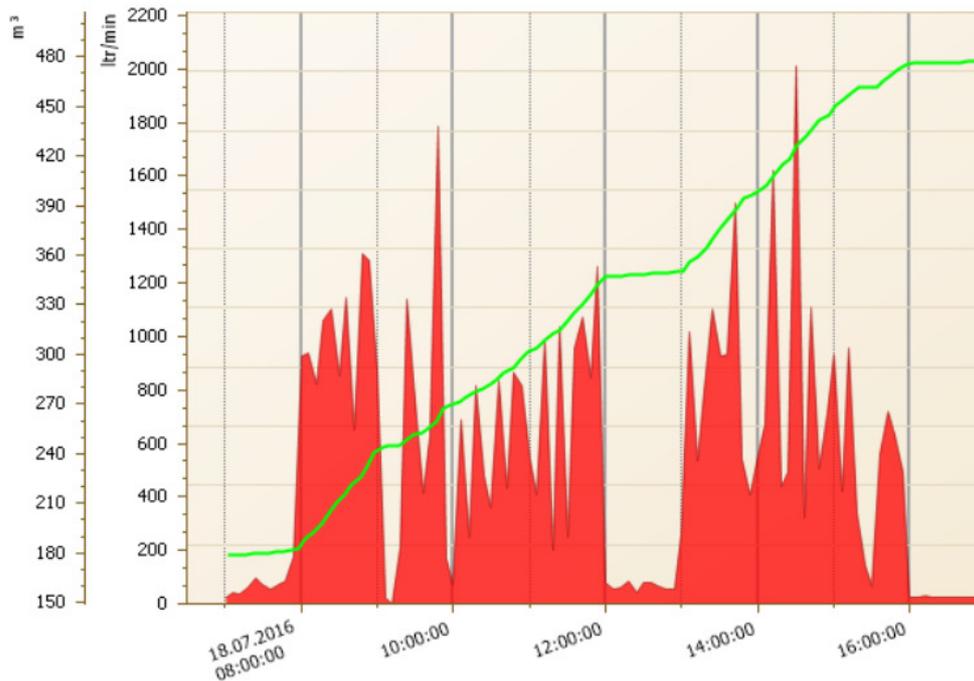


Abbildung 3: Luftverbrauch in Liter pro Minute der Pulverbeschichtungsanlage am Montag, den 18. Juli 2016. (rot: Luftverbrauch l/min, grün: Luftverbrauch m<sup>3</sup> kumuliert). Durchflussmessgerät CS Instrument VA500 in 1½ Zoll Zuleitung.

Die Pulverbeschichtungsanlage verbraucht rund 300 m<sup>3</sup> Druckluft in 8 Stunden, was einen Durchschnitt von etwa 600 Liter pro Minute ergibt. Die Abreinigung der Filterpatronen im Absolutfilter erfolgt nach Schichtende.

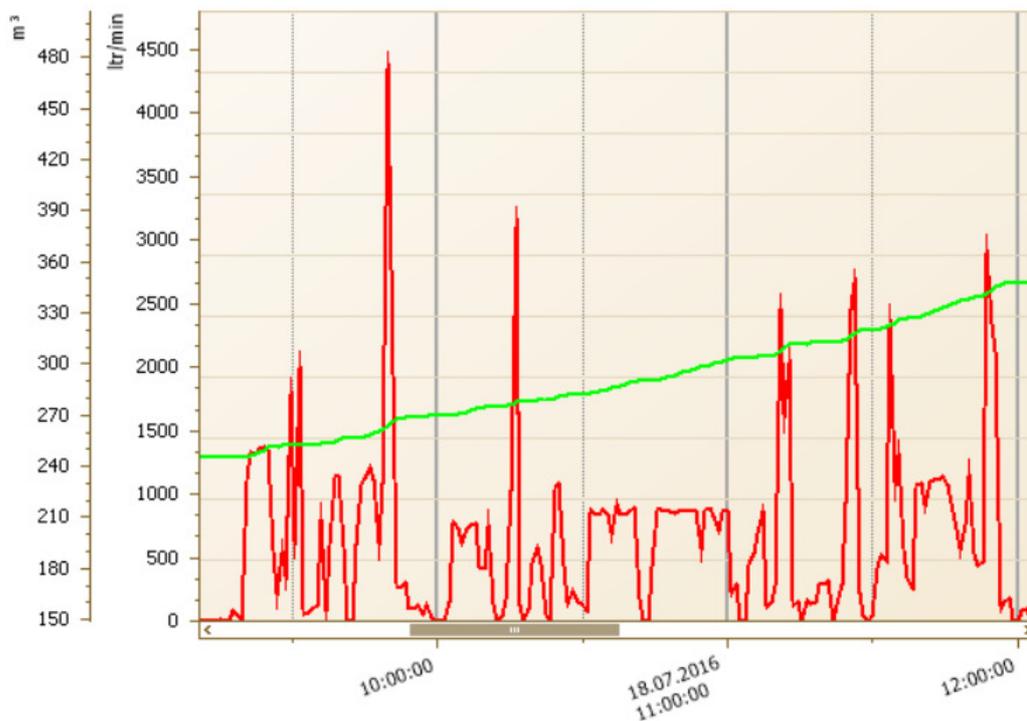


Abbildung 4: Luftverbrauch in Liter pro Minute (Maximalwerte) der Pulverbeschichtungsanlage über 3 Stunden am Montag, den 18. Juli 2016. (rot: Luftverbrauch l/min, grün: Luftverbrauch m<sup>3</sup> kumuliert). Durchflussmessgerät CS Instrument VA500 in 1½ Zoll Zuleitung. Zeitauflösung 1 Minute

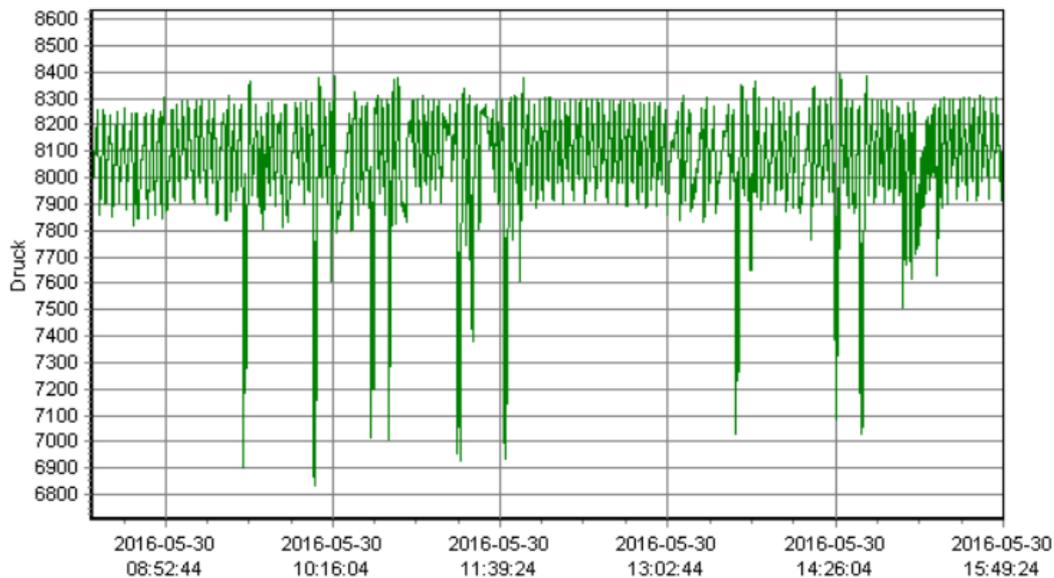


Abbildung 5: Druckverlauf am Montag, den 30. Mai 2016, gemessen an einen Anschluss in der Lackiererei, Messwert in mbar absolut. (Druckmessgerät: MSR 145 mit 14 bar Absolutwert Sensor, Auflösung 1 Sekunde)

In der Abbildung 5 kann man erkennen, dass der Netzdruck in der Lackiererei mehrmals pro Tag von seinem Sollwert um 7 bar Überdruck in den Bereich von 6 bar gerät. Beim Farbwechsel hört man jeweils auch sehr laute Blasgeräusche aus dem Bereich der Pulverrückgewinnung (Foto 6).

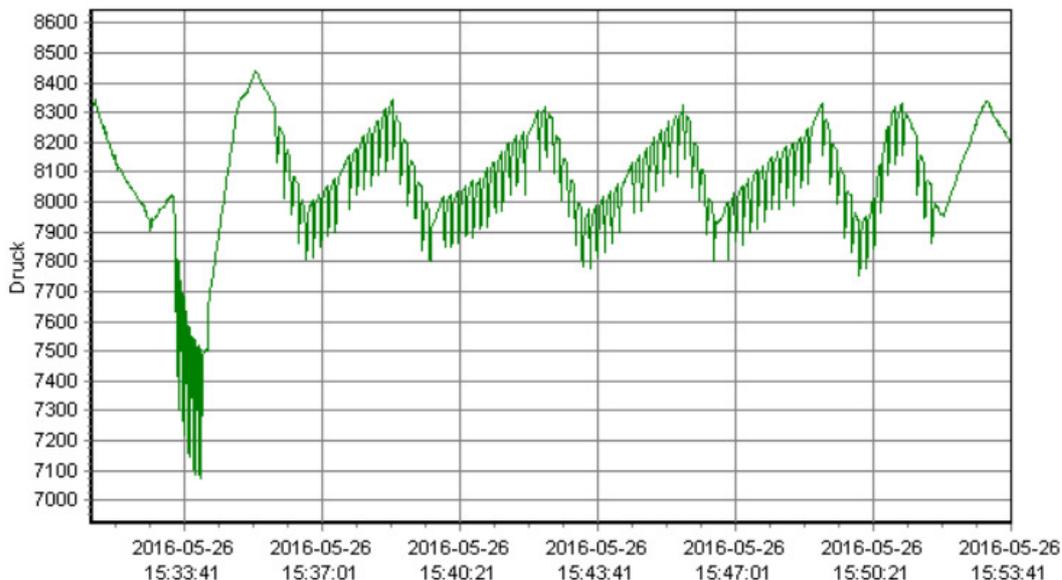


Abbildung 6: Druckverlauf am Donnerstag, den 26. Mai 2016 am Ende der Lackierschicht, gemessen in der Lackiererei, Messwert in mbar absolut. (Druckmessgerät: MSR 145 mit 14 bar Absolutwert Sensor, Auflösung 1 Sekunde).

In der Abbildung 6 sieht man von 15:36 bis 15:51 zahlreiche regelmässige kleine Einbrüche im Druckverlauf. Der Druckabfall innerhalb einer Sekunde beträgt etwa 0.2 bar, die Zykluszeit liegt

bei 10 Sekunden. Für 12 Filter und 7 Durchgänge ergibt das eine Abreinigungsdauer von etwa 14 Minuten.

Die eingestellte Blasdauer (Foto 8) für die rotierenden Abreinigungsflügel beträgt 600 Millisekunden. Nach Aussage des Anlagenbetreuers ist diese minimale Zeit für eine ordentliche Abreinigung erforderlich. Die Abreinigung erfolgt nach dem Abstellen des Ventilators, in der Regel nur einmal pro Beschichtungstag.

Aus dem Luftverbrauch (Abbildungen 3 und 4) sowie dem Druckverlauf (Abbildungen 5 und 6) wurde folgende Aufteilung (Tabelle 1) der Komponenten und Prozesse abgeleitet:

Komponente, Prozess	Luftverbrauch	Dauer	Tagesverbrauch
10 Automatikpistolen (Datenblatt 2 m <sup>3</sup> /h)	300 l/min	4 h/d	80 m <sup>3</sup> /d
Undichte Pulverejektoren (Pulverküche)	400 l/min	4 h/d	100 m <sup>3</sup> /d
10 Farbwechsel (Peaks Abb. 3 und 5)	1200 l/min	1 h/d	70 m <sup>3</sup> /d
10 Kabinenreinigung (Blaspistole)	600 l/min	1 h/d	35 m <sup>3</sup> /a
Abreinigung Absolutfilter (Abb. 6)	1000 l/min	¼ h/d	15 m <sup>3</sup> /d
<b>Summe / Schnitt</b>	<b>600 l/min</b>	<b>8 h/d</b>	<b>300 m<sup>3</sup>/d</b>

Tabelle 1: Abschätzung Luftverbrauch der Pulverbeschichtungsanlage.

Nach Datenblatt verbraucht eine automatische Pulverpistole 2 m<sup>3</sup> Luft pro Stunde, was bei 10 Pistolen einen Luftverbrauch von etwa 300 Liter pro Minute ergibt. In den Abbildungen 4 sieht man Phasen mit einem konstanten Verbrauch von etwa 700 Liter pro Minute. Die Differenz könnte von den hörbaren Leckstellen bei den Ejektoren über den Pulverrohren (Foto 5) stammen.

### 3.3 Membranpumpen

Für die Umwälzung von verschmutzten Flüssigkeiten sind 2 druckluftbetriebe Membranpumpen im Einsatz. Die eine Pumpe ist bei der Trowalisieranlage und läuft nach Arbeitsende noch 2 Stunden nach, was eine jährliche Laufzeit von rund 2800 Stunden ergibt. Die andere Membranpumpe fördert das Wasser aus dem Bad der Vorbehandlung in die Zentrifuge zur Reinigung. Diese Pumpe läuft etwa 6000 Stunden pro Jahr.



Foto 11: Trowalisieranlage mit dahinterliegenden Membranpumpe.



Foto 12:  
Einstellrichtung für  
Membranpumpe bei 4  
bar.



Foto 13: Membranpumpe hinter der Zentrifuge.



Foto 14: Pneumatische Membranpumpe.

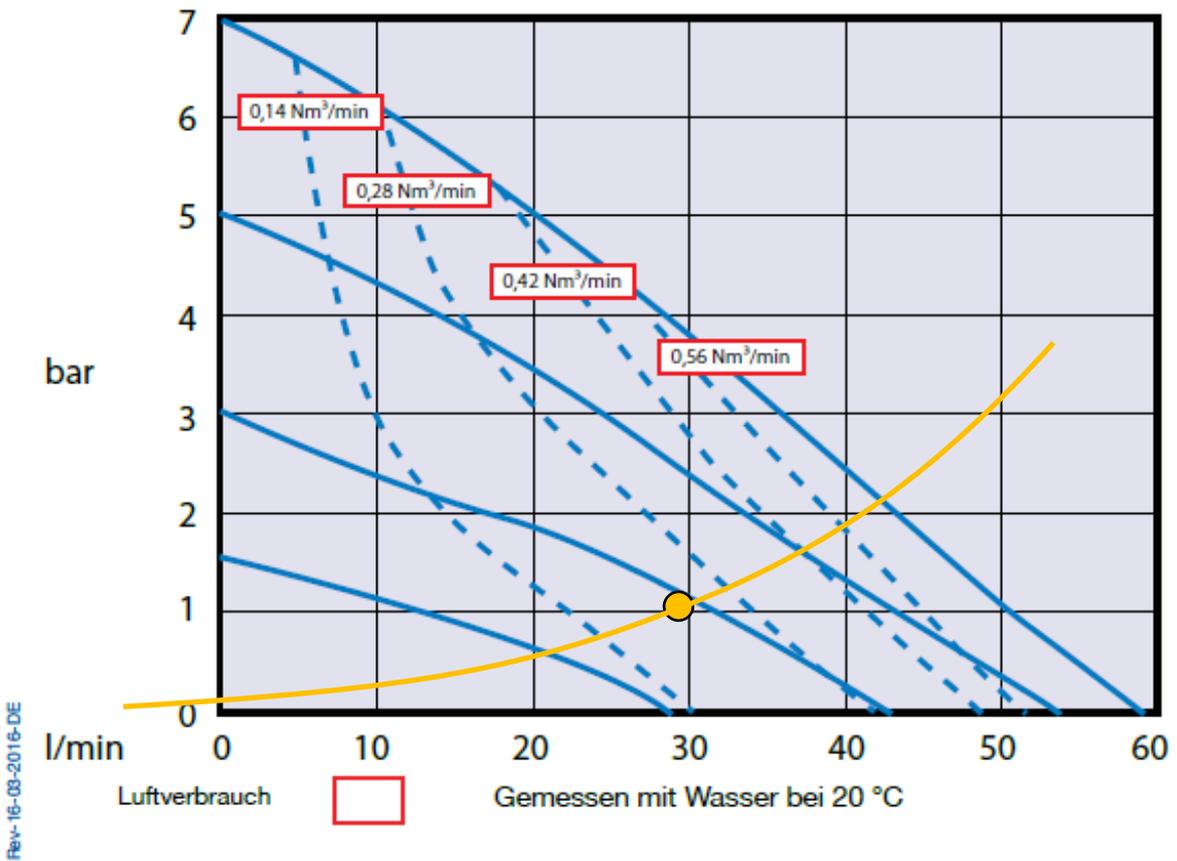


Abbildung 7: Kennlinien der Membranpumpe. (Kopie aus Prospekt Verderair VA15)

Im gelb eingezeichneten Betriebspunkt (Abbildung 7, angenommene gelbe Lastkennlinie und Betriebsdruck 3.5 bar) der Membranpumpe VA15 wird 36 Liter Wasser pro Minute über eine Druckdifferenz von 1 bar gefördert. Das entspricht einer hydraulischen Leistung von  $0.0006 \text{ m}^3/\text{s}$  mal  $100'000 \text{ Pa} = 60 \text{ Watt}$ . Eine elektrische Umwälzpumpe würde dazu eine Leistung von 200 W aufnehmen (Wirkungsgrad 30 %).

Die Membranpumpe benötigt dazu 3.5 bar und 300 Liter Druckluft pro Minute (gestrichelte Kurve in Abbildung 7), was bei einem Nenndruck von 7 bar eine Kompressorleistung von etwa 1.8 kW erfordert (Gesamtwirkungsgrad 3.3 %).

Zusätzlich muss für den Betrieb der Membranpumpe für das Vorbehandlungsbad ausserhalb der Arbeitszeit das ganze Druckluftnetz dauernd betrieben werden und somit werden auch die zahlreichen Leckstellen dauernd versorgt.

### 3.4 Bearbeitungsmaschinen und Anlagen

Die typischen Druckluftanwendungen an den Bearbeitungsmaschinen sind Druckluftzylinder und Sperrluft.



Foto 15: Blick in den Raum mit den Stanzmaschinen.



Foto 16: CNC Fräsmaschine.



Foto 17: Pneumatische Spannvorrichtung.



Foto 18: Pneumatischer Einpressmaschine.



Foto 19: Zwei Sandstrahlanlagen mit wenig Betriebsstunden.



Foto 20: Sortiermaschine mit hörbarer Leckstelle.



Foto 21: Pneumatisch betriebene Absaugbox für Einzelteile mit nur wenig Betriebsstunden pro Jahr.



Foto 22: Pneumatisch betriebene automatische Schmiereinrichtung für den Kettenförderer.



Foto 23: Absauganlage für Schweisserei mit pneumatischer Abreinigung.

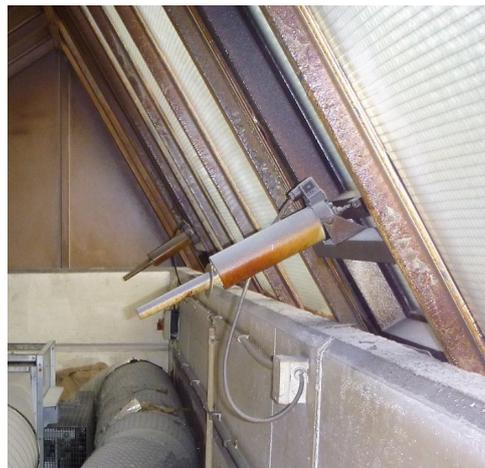


Foto 24: Pneumatische Zylinder zur Öffnung der Shed-Fenster.

Druckluftzylinder mit nur wenig Hubzyklen pro Tag und Druckluftanlagen mit nur ein paar wenigen Betriebsstunden pro Jahr verursachen keinen grossen Druckluftverbrauch. Oft verbrauchen die Leckstellen an den Anschlüssen mehr Luft. Zur systematischen Reduktion der Leckverluste sollten die Maschinen mit einem automatischen Eingangsventil ausserhalb der Betriebszeit vom Druckluftnetz getrennt werden.

### 3.5 Handwerkzeuge

An den Montageplätzen sind pneumatisch und elektrisch betriebene Handwerkzeuge anzutreffen. An den Druckluftanschlüssen wurden zahlreiche Lecks gehört.



Foto 25: Pneumatischer Heber.



Foto 26: Pneumatische Schleifmaschine.

## 4 Druckluftverteilung

Die Druckluftverteilung in mehreren Ringleitungen besteht aus verzinkten Stahlrohren mit 2 bis 1½ Zoll Durchmesser. Es gibt 3 Druckluftspeicher, einen mit 1000 Liter und zwei mit 2000 Liter Inhalt. Zusammen mit dem Druckluftnetz beträgt das Speichervolumen etwa 6 m<sup>3</sup>, was für eine Anlage mit einer maximalen Liefermenge von 7.6 m<sup>3</sup>/min grosszügig ist.



Foto 27: 2000 Liter Druckluftspeicher in der Druckluftzentrale im mittleren Geschoss mit den 3 Abgängen zu den Ringnetzen auf den 3 Gebäudeebenen.



Foto 29: 2000 Liter Druckluftspeicher im Obergeschoss im Raum mit der Pulverbeschichtungsanlage.



Foto 28: 1000 Liter Druckluftspeicher im Erdgeschoss.

In der Hauptverteilung gibt es keine Druckluftfilter und nur manuelle Absperrventile.

In der Druckluftverteilung wurden keine Leckstellen gefunden.

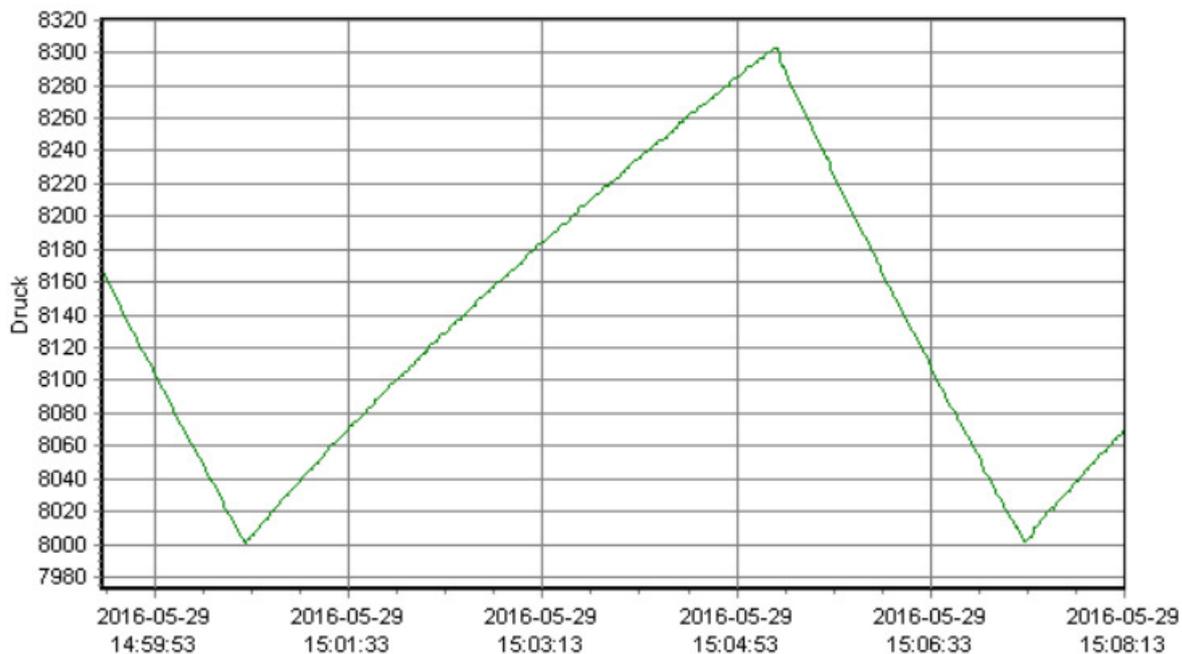


Abbildung 8: Druckverlauf an einem Sonntagnachmittag in mbar absolut.  
(Druckmessgerät: MSR 145 mit 14 bar Absolutwert Sensor)

Die Analyse des Druckverlaufs aus Abbildung 8 ergibt:

Betriebsart	Luftmenge	Dauer	Volumen	Druckdifferenz	Speicher
Füllen	400 l/min	4.5 min	1800 l	0.3 bar	6000 l
Leeren	800 l/min	2.2 min	1800 l	0.3 bar	6000 l
Kompressor	1200 l/min	4.5 min	5400 l	Einschaltdauer 4.5 min / 6.7 min = 67 %	
Zyklus	800 l/min	6.7 min	5400 l		

Tabelle 2: Berechnung der Luftmenge aus dem Druckverlauf und dem Speichervolumen.

Ausserhalb der Arbeitszeit läuft der Kompressor 3. Für die Deckung der Leckverluste.

## 5 Druckluftbereitstellung

Die Komponenten der Druckluftbereitstellung sind:

Kompressor 1: 18.5 kW, 3.2 m<sup>3</sup>/min, KAESER ASD 32, Baujahr 2008  
35'715 h / 19'580 h => 55% und 4400 h/a  
Anschluss 1¼ Zoll

Kompressor 2: 18.5 kW, 3.2 m<sup>3</sup>/min, KAESER ASD 32, Baujahr 2008  
35'430 h / 21'312 h => 60% und 4400 h/a  
Anschluss 1¼ Zoll

Kompressor 3: 7.5 kW, 1.2 m<sup>3</sup>/min, KAESER SM 12, Baujahr 2008  
37'007 h / 33'947 h => 92% und 4600 h/a  
Anschluss Kunststoffschlauch mit  
nur 10 mm Innendurchmesser

Steuerung: KAESER Sigma Air Manager Basic  
Druckband 7 bis 7.4 bar

Kältetrockner: 8.2 m<sup>3</sup>/min, KAESER TD 76,  
Baujahr 2010, 0.2 bis 1.4 kW

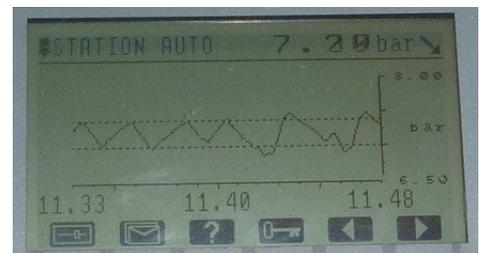


Foto 30: Übergeordnete Kompressorsteuerung.



Foto 31: Kompressorraum mit den 3 Schraubenkompressoren (links der mit 7.5 kW, dann die beiden mit 18.5 kW), dem Kältetrockner (rechts) und dem Druckluftspeicher (rechts unten).

## 5.1 Abwärmenutzung

Die Abwärme (75'000 kWh/a) der Kompressoren wird nicht genutzt. Mögliche Wärmenutzer wären in der kalten Jahreszeit der angrenzende Montageraum oder über das ganze Jahr das Warmwasser (derzeit Elektroboiler für die Lavabos) oder besser noch das Bad für die Vorbehandlungsanlage (60 °C, Energiebedarf 180'000 kWh/a).

## 5.2 Strommessungen Kompressor 1 und 2

Die Stromaufnahme der Kompressoren 1 und 2 wurde Ende Mai / Anfang Juni 2016 mit einem Stromlogger Fluke 3001 FC aufgezeichnet.

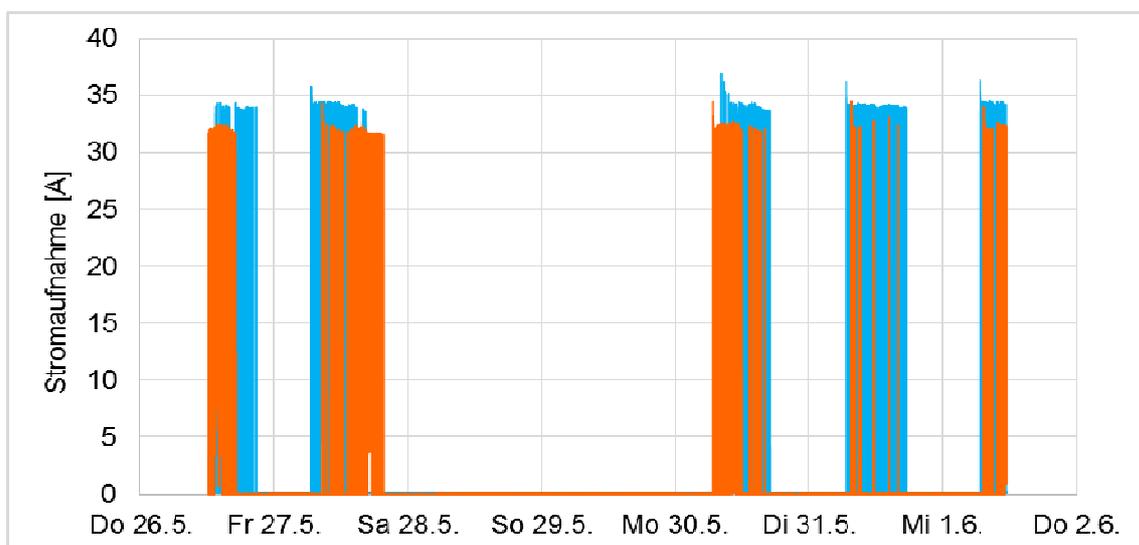


Abbildung 9: Stromaufnahme Kompressor 1 (blau) und 2 (orange) vom Donnerstag 26. Mai bis zum Mittwoch 1. Juni 2016. Messgerät Fluke 2001 FC.

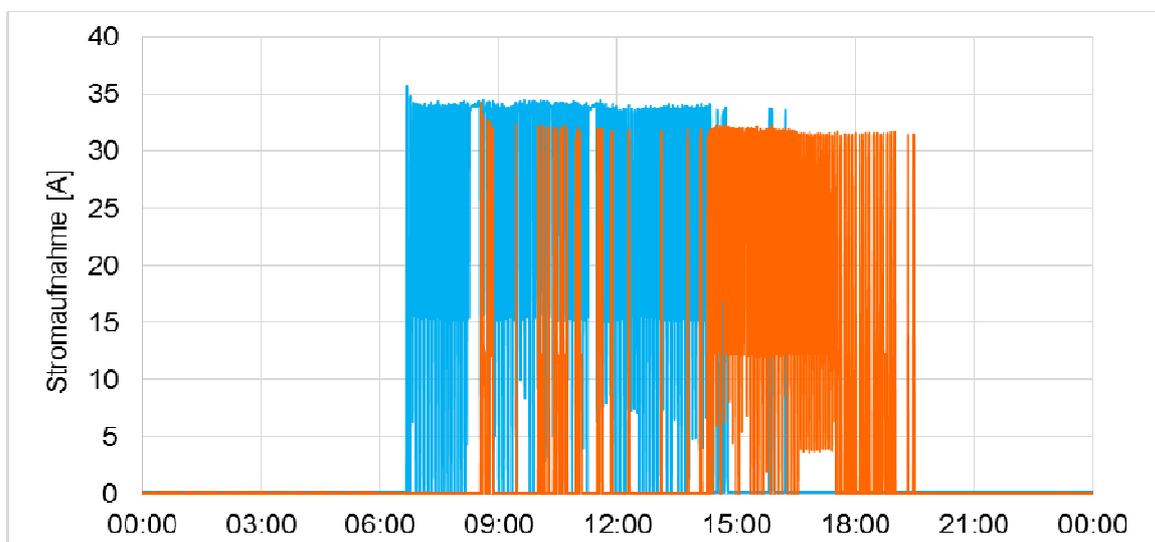


Abbildung 10: Stromaufnahme Kompressor 1 (blau) und 2 (orange) vom Freitag 27. Mai 2016. Auflösung 15 Sekunden.

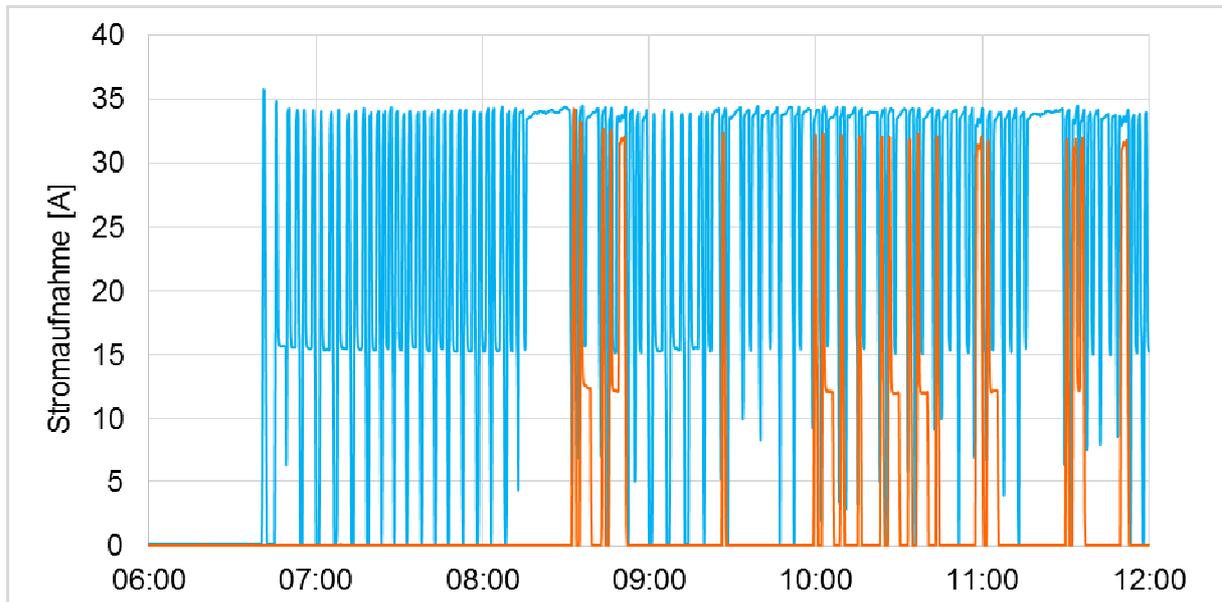


Abbildung 11: Stromaufnahme Kompressor 1 (blau) und 2 (orange) vom Freitagmorgen 27. Mai 2016. Auflösung 15 Sekunden.

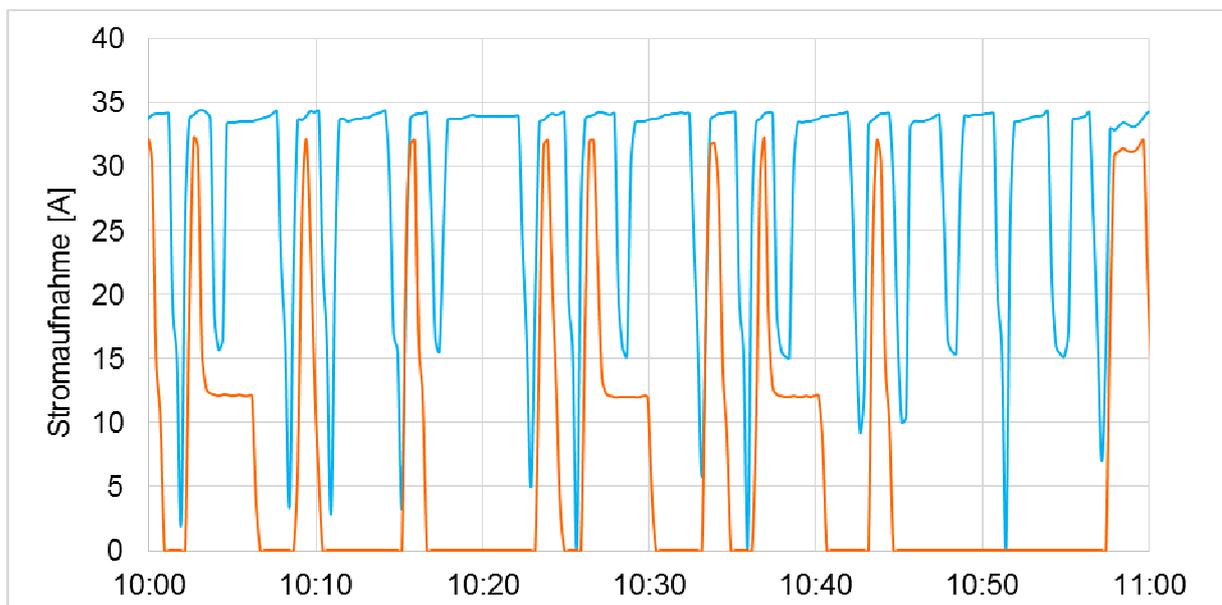


Abbildung 12: Stromaufnahme Kompressor 1 (blau) und 2 (orange) vom Freitagmorgen 27. Mai 2016 von 10 bis 11 Uhr. Auflösung 15 Sekunden.

Die Kompressoren 1 und 2 haben eine Aufnahmeleistung von etwa 18,5 kW bei einer Stromaufnahme um die 33 A. Im Leerlauf bei 12 A beträgt die Leistungsaufnahme rund 7 kW.

In der Abbildung 9 bis 12 sieht man, dass sich die Priorität der beiden Kompressoren abgewechselt wird und dass sie nur während der Arbeitszeit laufen. Der gleichzeitige Betrieb der beiden Kompressoren dauert jeweils weniger als eine Minute (Abbildung 12 und 13). Über einen Arbeitstag (7 bis 19 Uhr) etwa 30 Minuten.

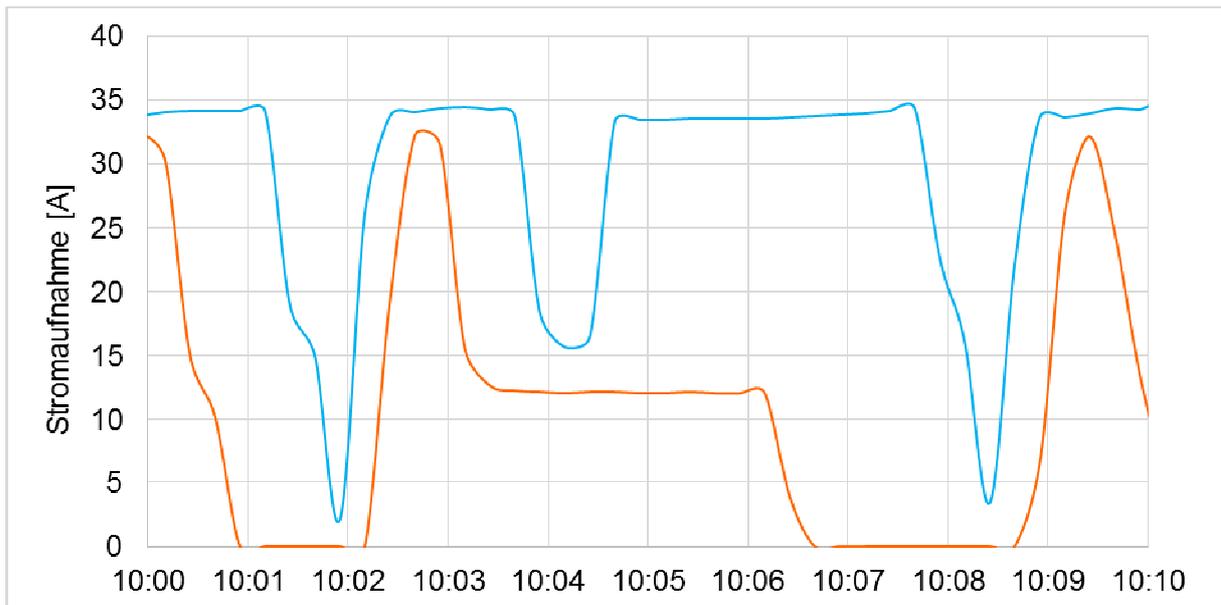


Abbildung 13: Stromaufnahme Kompressor 1 (blau) und 2 (orange) vom Freitagmorgen 27. Mai 2016 von 10:00 Uhr bis 10:10 Uhr. Auflösung 15 Sekunden.

In den Abbildungen 12 und 13 sieht man, dass der Nachlauf nicht immer erfolgt, die Kompressoren werden ab und zu nach der Auslaufphase direkt abgestellt. Das ist der intelligenten Ansteuerung durch die übergeordnete Kompressorsteuerung zu verdanken, welche die thermische Belastung der Motoren durch den Anlaufvorgang kontrolliert.

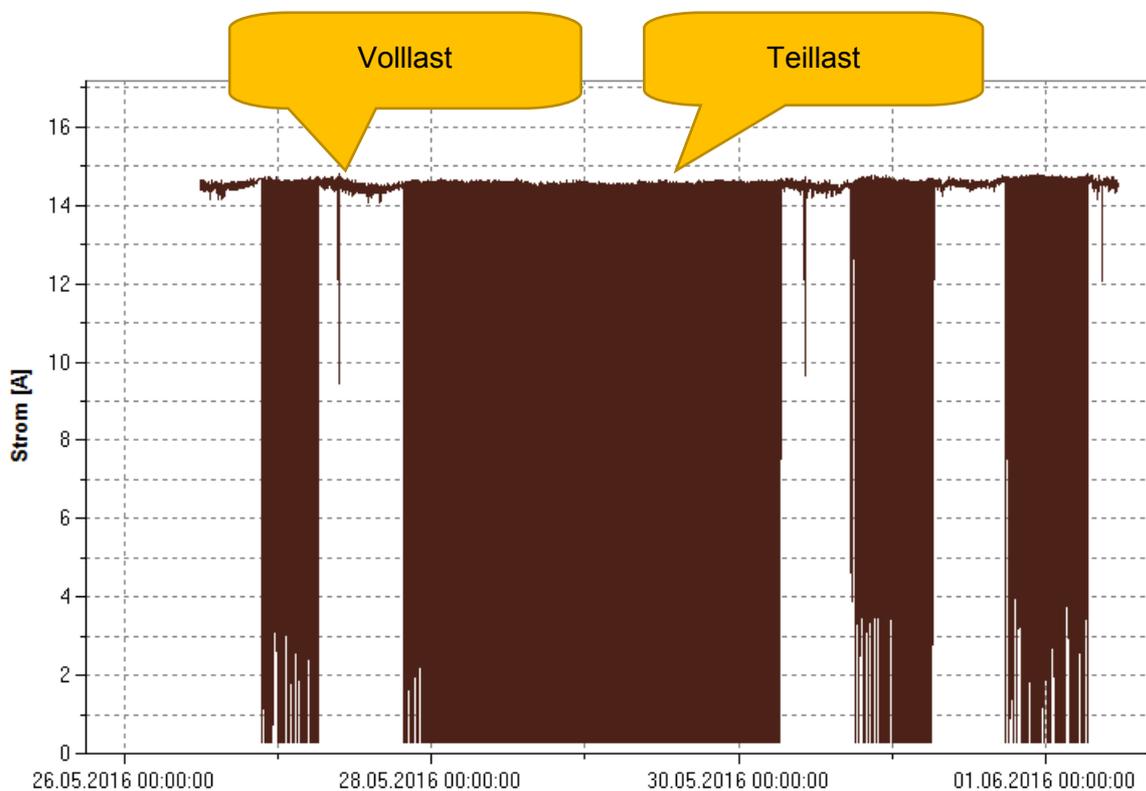


Abbildung 14: Stromaufnahme des Kompressors 3 vom Donnerstag 26. Mai bis zum Mittwoch 1. Juni 2016. Messgerät Fluke 1738. Zeitaufösung 10 Sekunden.

In Abbildung 14 sieht man, dass der Kompressor 3 dauernd in Betrieb ist. Während der Arbeitszeit läuft er auf Volllast, in der übrigen Zeit auf Teillast (Abbildung 15).

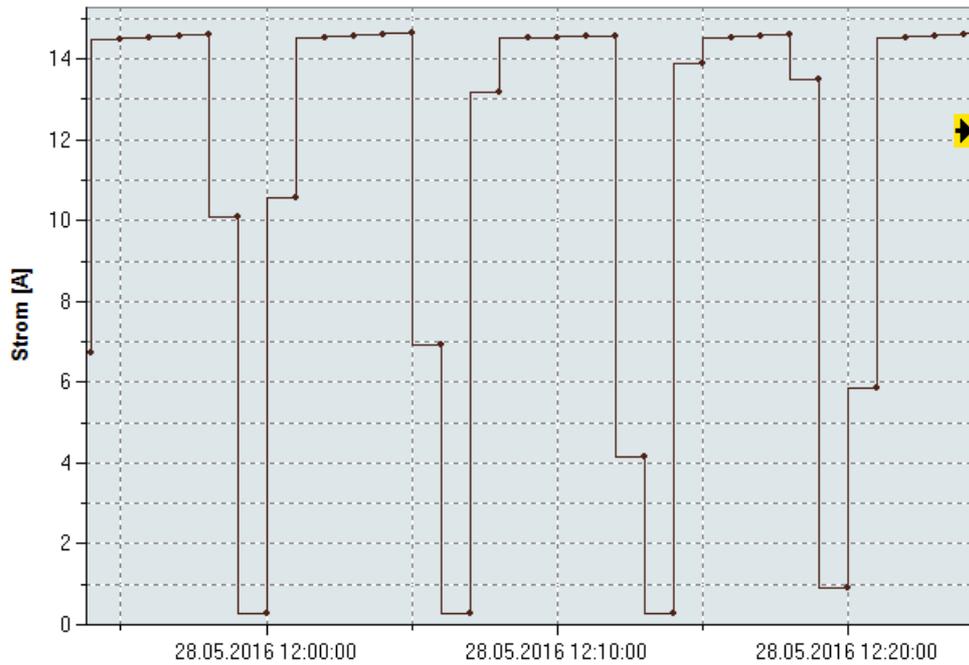


Abbildung 15: Stromaufnahme des Kompressors 3 am Samstag, den 28. Mai 2016 von 11:55 bis 12:25. Messgerät Fluke 1738. Zeitaufösung 10 Sekunden.

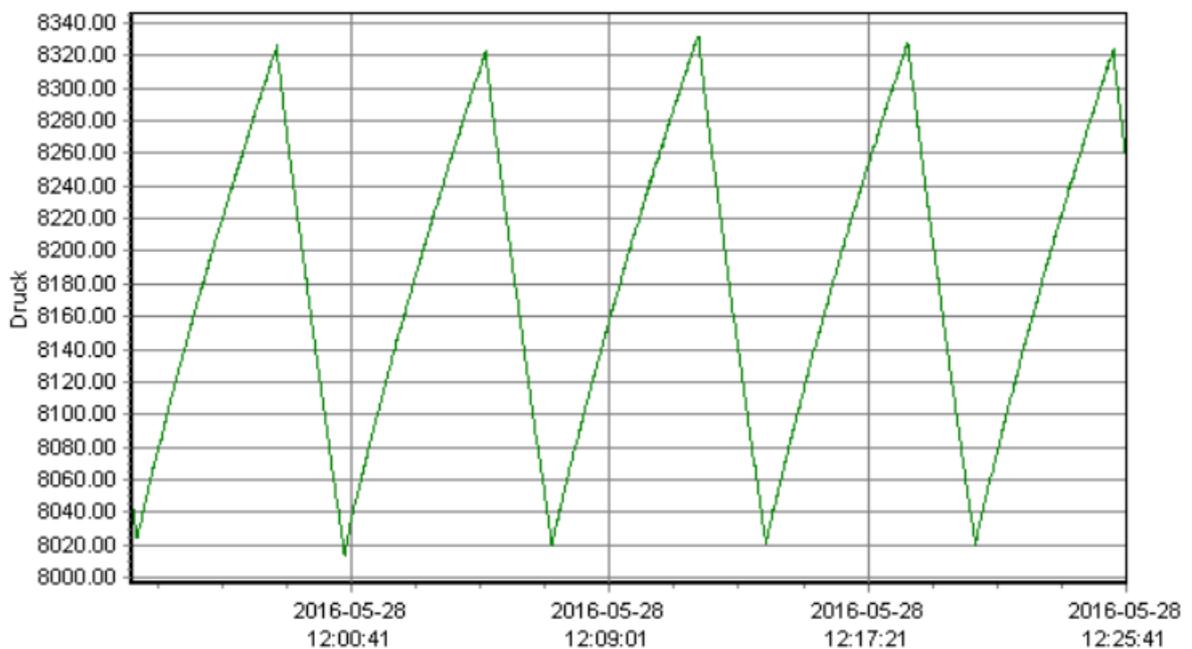


Abbildung 16: Druckverlauf am Samstag, den 28. Mai 2016 von 11:55 bis 12:25 in mbar absolut. (Druckmessgerät: MSR 145 mit 14 bar Absolutwert Sensor)

Abbildung 15 und 16 zeigen den gleichen Zeitbereich. Die durchschnittliche Leistungsaufnahme beträgt 5 kW.

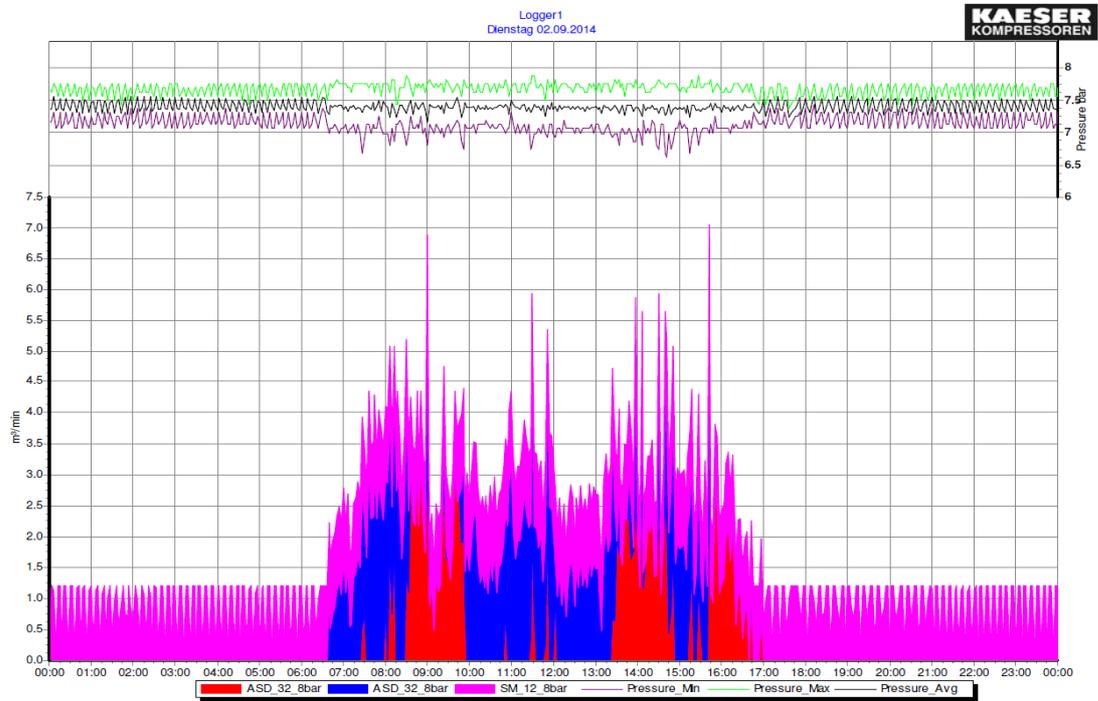


Abbildung 17: Luftverbrauchsmessung der Firma KAESER am Dienstag, den 2. September 2014. Ein Arbeitstag mit Betrieb der Pulverbeschichtungsanlage.

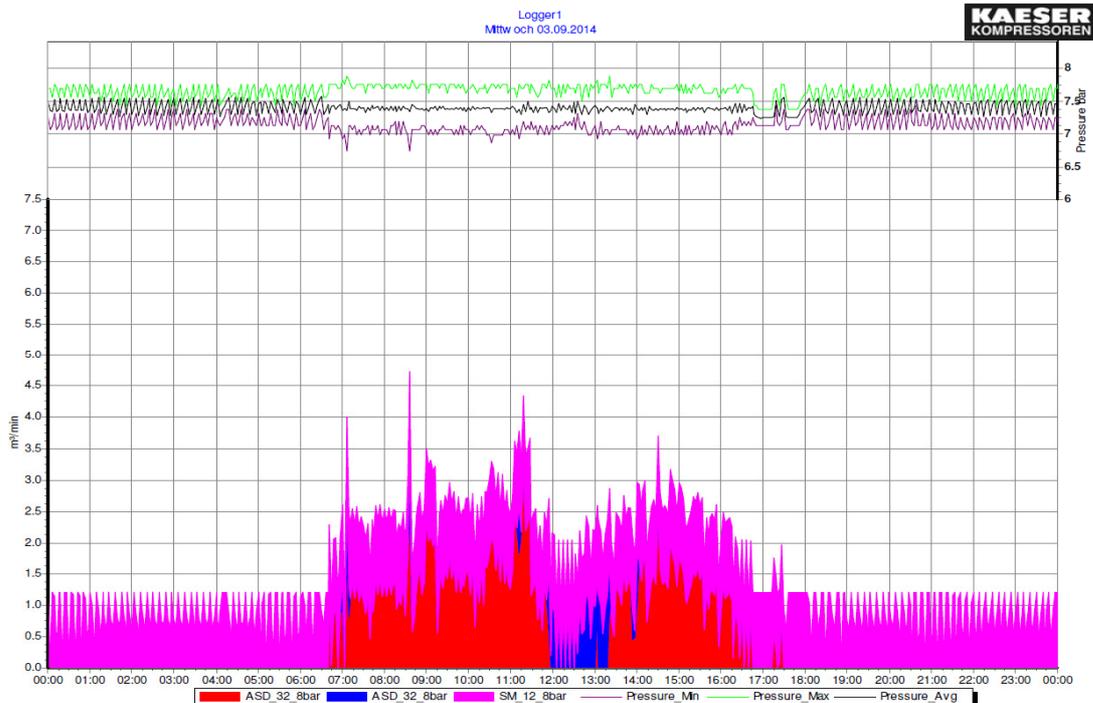


Abbildung 18: Luftverbrauchsmessung der Firma KAESER am Mittwoch, den 3. September 2014. Ein Arbeitstag ohne Betrieb der Pulverbeschichtungsanlage.

Die Abbildungen 17 und 18 zeigen den errechneten Luftverbrauch der Druckluftanlage an einem Arbeitstag mit Lackierbetrieb (Abbildung 17) und ohne Lackierbetrieb (Abbildung 18). Der Luftverbrauch wird über die Veränderung des Druckverlaufs bei bekannten Speichervolumen und die Stromaufnahme der Kompressoren mit hinterlegten Luftlieferwerten berechnet.

Verbrauchsspitzen von 4.5 m<sup>3</sup>/min gibt es auch an Arbeitstagen ohne Lackierbetrieb. Sie sind aber deutlich geringer und weniger häufig als die Spitzen von 6 bis 7 m<sup>3</sup>/min an Tagen mit Lackierbetrieb.

## 6.1 Luftverbrauch der Anwendungen

Druckluftanwendung	Luftverbrauch			Dauer	Menge	Anteil
	Spitze	Grundlast	Schnitt			
	l/min	l/min	l/min	h/a	m <sup>3</sup> /a	%
Leck	500	500	500	8'760	263'000	34%
Membranpumpe Bad	300	300	300	6'000	108'000	14%
Laserstanzmaschine	1'000	600	600	4'000	144'000	19%
Membranpumpe Trowalisieren	300	300	300	2'800	50'000	6%
Bearbeitungsmaschinen	1'200	700	1'000	2'000	120'000	15%
Pulverbeschichtungsanlage	1'500	300	600	1'400	50'000	6%
Handwerkzeuge	1'000	200	600	1'000	36'000	5%
Abreinigung Lüftungsanlage	800		500	120	4'000	1%
<b>Summe</b>	<b>6'600</b>	<b>2'900</b>	<b>4'400</b>		<b>775'000</b>	<b>100%</b>

Tabelle 3: Zusammenstellung Luftverbrauch der Anwendungen.

## 6.2 Bereitstellung der Druckluft und Energieverbrauch

Druckluftbereitstellung	Dauer		Luftmenge		Elektrizität		
	Betrieb	Last	Last	Summe	Last	Leer	Summe
	h/a	h/a	l/min	m <sup>3</sup> /a	kW	kW	kWh/a
Kompressor 1	1'400	800	3'200	150'000	18.5	7.0	19'000
Kompressor 2	1'400	800	3'200	150'000	18.5	7.0	19'000
Kompressor 3	7'500	6'700	1'200	480'000	7.5	3.0	53'000
Kältetrockner	8'760	6'700			0.5	0.2	4'000
<b>Summe</b>			<b>6'400</b>	<b>780'000</b>	<b>38</b>	<b>14</b>	<b>95'000</b>

Tabelle 4: Zusammenstellung der Komponenten für die Druckluftbereitstellung und Stromverbrauch.

<i>Druckluftbereitstellung</i>	<i>Dauer</i>	<i>Luftmenge</i>		<i>Elektrizität</i>		<i>Anteil</i>
	<i>h/a</i>	<i>m<sup>3</sup>/min</i>	<i>m<sup>3</sup>/a</i>	<i>kW</i>	<i>kWh/a</i>	<i>%</i>
Grundlast	8 700	700	365 000	5.0	44 000	46%
Arbeit	2 800	2 200	370 000	15.0	42 000	44%
Spitze	120	6 200	45 000	40.0	5 000	5%
Kältetrockner	8 700			0.5	4 000	4%
<b>Summe, Mittelwert</b>	<b>8 760</b>	<b>1 500</b>	<b>780 000</b>	<b>10.8</b>	<b>95 000</b>	100%

Tabelle 5: Zusammenstellung der Betriebsdauer für die Druckluftbereitstellung und Stromverbrauch.

Pro m<sup>3</sup> Druckluft wird 0.12 kWh Elektrizität benötigt, was ein sehr guter Wert ist. Die Spitzenleistung (alle 3 Kompressoren laufen gleichzeitig) ist während etwa 30 Minuten pro Arbeitstag erforderlich.